平成２４年度発電用原子炉等利環境調査
（核燃料サイクル技術等調査）

報告書

平成２５年３月

一般財団法人　日本エネルギー経済研究所

本書は、「平成２４年度発電用原子炉等利用環境調査」として経済産業省から一般財団法人日本エネルギー経済研究所が受託して実施した『核燃料サイクル技術等調査』の報告書である。

目次

第１章　海外の核燃料サイクル施設の現状及び役務動向

1.　ウラン精錬施設 ……1-1
1-1　施設一覧……1-1
1-2　オーストラリア……1-3
1-3　ブラジル……1-5
1-4　カナダ……1-6
1-5　中国……1-8
1-6　チェコ……1-10
1-7　インド……1-11
1-8　カザフスタン……1-13
1-9　マラウイ……1-15
1-10　ナミビア……1-16
1-11　ニジェール……1-17
1-12　ロシア……1-19
1-13　南アフリカ……1-21
1-14　ウクライナ……1-22
1-15　アメリカ……1-24
1-16　ウズベキスタン……1-28

2.　転換・再転換施設 ……1-29
2-1　施設一覧……1-29
2-2　アルゼンチン……1-31
2-3　ブラジル……1-33
2-4　カナダ……1-34
2-5　中国……1-35
2-6　フランス……1-36
2-7　ドイツ……1-38
2-8　インド……1-39
2-9　イラン……1-40
2-10　カザフスタン……1-41
2-11　パキスタン……1-42
2-12　韓国……1-43
2-13　ロシア……1-44
2-14　イギリス……1-46
2-15　アメリカ……1-48

3.　濃縮施設……1-50
3-1　施設一覧……1-50
3-2　アルゼンチン……1-51
3-3　ブラジル……1-53
3-4　中国……1-54
3-5　EURODIF（フランス、イタリア、ベルギー、スペイン、イラン）……1-55
3-6　フランス……1-56

3-7 インド 1-57
3-8 イラン 1-58
3-9 北朝鮮 1-62
3-10 パキスタン 1-63
3-11 ロシア 1-64
3-12 URENCO（イギリス・ドイツ・オランダ） 1-66
3-13 アメリカ 1-69

4. ウラン燃料成型加工施設（重水炉以外） 1-74
4-1 施設一覧 1-74
4-2 ベルギー 1-75
4-3 ブラジル 1-77
4-4 中国 1-78
4-5 フランス 1-79
4-6 ドイツ 1-81
4-7 インド 1-82
4-8 韓国 1-84
4-9 ロシア 1-86
4-10 スペイン 1-87
4-11 スウェーデン 1-89
4-12 イギリス 1-90
4-13 アメリカ 1-92

5. ウラン燃料成型加工施設（重水炉用） 1-94
5-1 施設一覧 1-94
5-2 アルゼンチン 1-95
5-3 カナダ 1-96
5-4 中国 1-97
5-5 インド 1-98
5-6 韓国 1-99
5-7 パキスタン 1-101
5-8 ルーマニア 1-102

6. 再処理施設 1-103
6-1 施設一覧 1-103
6-2 中国 1-104
6-3 フランス 1-106
6-4 インド 1-108
6-5 ロシア 1-110
6-6 イギリス 1-111

7. MOX燃料加工施設 1-115
7-1 施設一覧 1-115
7-2 ベルギー 1-116
7-3 フランス 1-117
7-4 インド 1-118
7-5 アメリカ 1-119
7-6 イギリス 1-120

8. 放射性廃棄物処理施設 ……1-122
8-1 施設一覧 1-122
8-2 ベルギー 1-124
8-3 カナダ 1-125
8-4 チェコ 1-127
8-5 フィンランド 1-129
8-6 フランス 1-131
8-7 ドイツ 1-134
8-8 ハンガリー 1-136
8-9 ノルウェー 1-138
8-10 スロバキア 1-139
8-11 スペイン 1-140
8-12 スウェーデン 1-142
8-13 スイス 1-144
8-14 イギリス 1-145
8-15 アメリカ 1-147

9. 使用済燃料貯蔵施設 ……1-150
9-1 施設一覧 1-150
9-2 中国 1-151
9-3 フランス 1-151
9-4 ドイツ 1-152
9-5 インド 1-154
9-6 ロシア 1-154
9-7 韓国 1-154
9-8 アメリカ 1-156
9-9 イギリス 1-160

10. MOX燃料装荷実績 ……1-161

第2章　核燃料サイクル企業の動向と市場分析

1.　各国の核燃料サイクル企業の状況 2-1
1-1　サイクル企業の一覧 2-1
1-2　AREVA 2-2
1-2-1　企業概要 2-2
1-2-2　主要事業 2-3
1-2-3　業績概要 2-8
1-2-4　技術開発概要及び中長期事業計画 2-12
1-2-5　考察 2-15
1-3　Energy Resources of Australia Ltd.（ERA） 2-17
1-3-1　企業概要 2-17
1-3-2　主要業務 2-17
1-3-3　業績概要 2-18
1-3-4　技術開発概要及び中長期事業計画 2-21
1-4　BHP Billiton Ltd. 2-23
1-4-1　企業概要 2-23
1-4-2　主要業務 2-25
1-4-3　業績概要 2-26
1-4-4　技術開発概要及び中長期事業計画 2-30
1-5　Cameco 2-31
1-5-1　企業概要 2-31
1-5-2　主要事業 2-33
1-5-3　業績概要 2-33
1-5-4　技術開発概要及び中長期事業計画 2-36
1-6　China National Nuclear Corporation（CNNC） 2-37
1-6-1　企業概要 2-37
1-6-2　主要業務 2-37
1-6-3　業績概要 2-40
1-6-4　技術開発概要及び中長期事業計画 2-40
1-7　Kazatomprom 2-41
1-7-1　企業概要 2-41
1-7-2　主要事業 2-42
1-7-3　業績概要 2-45
1-7-4　技術開発概要及び中長期事業計画 2-48
1-8　ARMZ Uranium Holding Co.（ARMZ） 2-49
1-8-1　企業概要 2-49
1-8-2　主要業務 2-50
1-8-3　業績概要 2-51
1-8-4　技術開発概要及び中長期事業計画 2-52
1-9　TVEL Fuel Company（TVEL） 2-54
1-9-1　企業概要 2-54
1-9-2　主要業務 2-55
1-9-3　業績概要 2-58
1-9-4　技術開発概要及び中長期事業計画 2-58
1-10　URENCO 2-59

1-10-1 企業概要 2-59
1-10-2 主要事業 2-60
1-10-3 業績概要 2-61
1-11 Nuclear Decommissioning Authority（NDA） 2-65
1-11-1 企業概要 2-65
1-11-2 主要事業 2-66
1-11-3 業績概要 2-68
1-11-4 技術開発概要及び中長期事業計画 2-69
1-12 USEC 2-71
1-12-1 企業概要 2-71
1-12-2 主要事業 2-72
1-12-3 業績概要 2-73
1-12-4 技術開発概要及び中長期事業計画 2-74
2. 役務別寡占度分析 2-76
2-1 ウラン精錬寡占度分析 2-76
2-2 転換役務寡占度分析 2-79
2-3 濃縮役務寡占度分析 2-80
2-4 再転換役務 2-82
2-5 燃料成型加工役務寡占度分析 2-84
2-6 MOX燃料成型加工役務寡占度分析 2-86
2-7 再処理役務寡占度分析 2-87
2-8 企業別寡占度分析のまとめ 2-89

第３章　世界全体における核燃料のフローとバランス

1. はじめに 3-1
2. 世界の原子力発電設備容量の長期見通し 3-1
3. 2035 年までのウラン燃料貿易フローの見通し 3-7
4. 結論 3-24

第４章　国内外の核燃料サイクル動向及び最新の技術開発動向

1. 主要国の核燃料サイクル動向 4-1
1-1. アメリカ 4-1
1. 核燃料サイクルに関する政策・事業動向 4-1
2. 使用済燃料中間貯蔵の取り組み 4-4
3. 回収ウラン・劣化ウランの利用状況と関連技術 4-5
4. 施設立地関連の取り組み 4-8
1-2. フランス 4-10
1. 核燃料サイクルに関する政策・事業動向 4-10
2. 使用済燃料中間貯蔵の取り組み 4-13
3. 回収ウラン・劣化ウランの利用状況と関連技術 4-14
4. 施設立地関連の取り組み 4-15
1-3. イギリス 4-20
1. 核燃料サイクルに関する政策・事業動向 4-20
2. 使用済燃料中間貯蔵の取り組み 4-22
3. 回収ウラン・劣化ウランの利用状況と関連技術 4-22
4. 施設立地関連の取り組み 4-25
1-4. ロシア 4-29
1. 核燃料サイクルに関する政策・事業動向 4-29
2. 使用済燃料中間貯蔵の取り組み 4-32
3. 回収ウラン・劣化ウランの利用状況と関連技術 4-32
4. 施設立地関連の取り組み 4-34
1-5. インド 4-36
1. 核燃料サイクルに関する政策・事業動向 4-36
2. 使用済燃料中間貯蔵の取り組み 4-37
3. 回収ウラン・劣化ウランの利用状況と関連技術 4-38
4. 施設立地関連の取り組み 4-38
1-6. 中国 4-40
1. 核燃料サイクルに関する政策・事業動向 4-40
2. 使用済燃料中間貯蔵の取り組み 4-42
3. 回収ウラン・劣化ウランの利用状況と関連技術 4-42
4. 施設立地関連の取り組み 4-43
1-7. 韓国 4-45
1. 核燃料サイクルに関する政策・事業動向 4-45
2. 使用済燃料中間貯蔵の取り組み 4-48
3. 回収ウラン・劣化ウランの利用状況と関連技術 4-48
4. 施設立地関連の取り組み 4-49

2. 最新の核燃料サイクル技術開発動向 4-51
1. 国際的な協力の枠組みにおける技術開発 4-51
2. 再処理技術開発 4-59
3. アクチニド燃焼に関する技術開発 4-64
4. プルトニウム燃焼に関する技術開発 4-67

第１章　海外の核燃料サイクル施設の現状及び役務動向

1.　　ウラン精錬施設

1-1　施設一覧

世界の主要なウラン精錬施設を国別・企業別に表 1-1 に示す。

表1-1 世界のウラン粗精錬施設一覧

国名	会社名	所在地	年間生産容量（tU）	操業開始
オーストラリア	ヒースゲート社	サウスオーストラリア、Beverley	848	2001
	BHPビリトン社	サウスオーストラリア、Olympic Dam	3,930	1988
	オーストラリアエネルギー資源株式会社	ノーザンテリトリー、Ranger	4,660	1981
ブラジル	ブラジル原子力工業	Bahia州、Caetite	400	1999
カナダ	AREVA NC社	サスカチュワン州、McClean Lake	5,900	1999
	Cameco社(Key Lake)	サスカチュワン州、McArthur River	7,200	1983
	Cameco社(Rabbit Lake)	サスカチュワン州、Rabitt Lake	2,300	1975
中国	中国核工業総公司	江西省、Fuzhou （撫州）	350	1966
		江西省、Chongyi （崇義）	150	1979
		陝西省、Lantian （藍田）	100	1993
		新疆ウイグル自治区イリ･カザフ自治州、Yining（伊寧）	330	1993
		遼寧省、Benxi （本渓）	120	1996
		遼寧省、Qinglong（清龍）	100	2007
		広東省、Shaoguan（韶関）	200	2008
チェコ	ディアモ国営企業	Vysočina行政区、Dolní Rožínka	400	1957
		Liberec行政区、Stráž pod Ralskem	100	1996
インド	インドウラン株式会社	Jharkhand州、Jaduguda	200	1968
		Jharkhand州、Turamdih	190	2009

国名	会社名	所在地	年間生産容量（tU）	操業開始
カザフスタン	カザトムプロム社	Mpinkum(site 1,3)	1,200	1982
		Mynkuduk(eastern site)	1,300	1978
		North & South Karamurun	1,000	1985
		Inkai(site 4)	3,000	2001
		Moinkum(site 1,2,3)	4,000	2004
		Inkai(site 1,2,3)	1,500	2004
		Zvezdnoe	500	1958
		South Zarechnoye	1,000	2007
		Budenovskoe(site 2)	3,000	2007
		Mynkuduk(central site)	1,400	2007
		Mynkuduk(western site)	1,000	2008
		North Kharasan(site 1)	1,000	2008
		North Kharasan(site 2)	2,000	2009
		Budenovskoe(site 1,3,4)	3,000	2009
		Irkol	1,100	2007
マラウイ	パラディン・アフリカ社	Northern州、Kayelekera	1,270	2009
ナミビア	ロッシングウラン社	Erongo州、Roessing	4,000	1976
	パラティン・エネルギー社	Erongo州、Langer Heinrich	2,000	2006
ニジェール	COMINAK	Agadez州、Akouta	2,000	1978
	SOMAÏR	Agadez州、Arlit	2,000	1971
	SOMINA	Agadez州、Azelik	700	2010
ロシア	アトムレッドメットゾラタ社（ロスアトム）	東シベリア・ザバイカリスク地方 Priargunsky	3,000	1968
		ウラル地方南部クルガンスク地方 Dalur	800	2004
		東シベリア・ブリヤート共和国 Khiagda	1,800	2010
南アフリカ	アングロゴールド鉱山会社	Vaal Reefs	1,272	1977
ウクライナ	ヴォストゴーク 社	Vody市, ドネプロペトロフスク州	1,500	1958
米国	デニソン社	ユタ州White Mesa	3,629	1980
	カメコ社	ワイオミング州Smith Ranch/Highland	1,814	1997
		ネブラスカ州Crow Butte	454	1991
	ウラニウムワン社	ワイオミング州Willow Creek	500	2010（試験操業） 2012（本格操業）
	メステナ社	テキサス州Alta Mesa	385	2005
	ウラニウムエネルギー社	テキサス州Hobson/Palangana	385	1979
ウズベキスタン	国営ナボイ鉱業精錬コンビナート社	Navoi	2,350	1964

（出所）　Uranium2011 (OECD/NEA-IAEA)等各種資料より作成

1-2　オーストラリア

オーストラリアのウラン精錬施設一覧を表 1-2 に、ウラン鉱山・精錬施設位置図を図 1-1 に示す。

表1-2 オーストラリアのウラン精錬施設一覧

会社名	所在地	年間生産容量 (tU)	生産量実績(tU)			生産量累計	操業開始
			2009	2010	2011	2011	
ヒースゲート社	サウスオーストラリア、Beverley	848	N/A	N/A	N/A		2001
BHPビリトン社	サウスオーストラリア、Olympic Dam	3,930	4,007	2,279	4,045	170,263(注	1988
オーストラリアエネルギー資源株式会社	ノーザンテリトリー、Ranger	4,660	5,240	3,793	2,641		1981

（出所）　BHPビリトンホームページ、オーストラリアエネルギー資源社ホームページ、
年間生産容量はIAEA INFCISに基づく値であり、各社発表の生産量実績と整合しない場合がある。
注：Uranium2011 (OECD/NEA-IAEA)による 2010 年末時点の累計

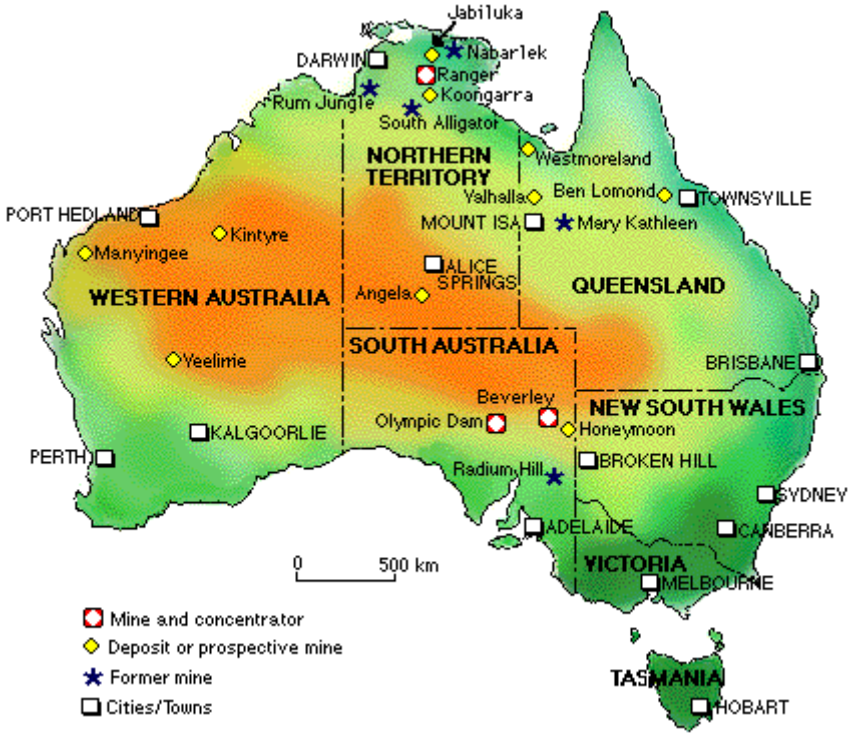


図1-1 オーストラリアのウラン鉱山・精錬施設位置図

（出所）　World Nuclear Associationホームページ、http://www.world-nuclear.org/info/inf48.html

Beverley精錬所はサウス・オーストラリア地区に位置しており、米国Genaral Atomics社の現地法人Heathgate pty.Ltd.が運営している。
年間生産容量は、IAEA 核燃料サイクル情報システム（Integrated Nuclear Fuel Cycle Information Systems：INFCIS）によれば 848tUであり、原位置溶液採鉱法（In Situ Leaching：ISL[1]）による化学的な採掘法を採用している。

Olympic Dam精錬所はBeverley精錬所と同じサウス・オーストラリア地区のOlympic Dam地下鉱山に位置しており、BHP Billitonの関係会社WMC Resourcesが運営している。2012 年度（2011 年 7 月～2012 年 6 月）の生産実績は 3,885tUであり、同鉱山では併せて約 192,600 トンの銅を産出している。2012 年 8 月には、経

[1] 鉱床において井戸を掘り、硫酸や過酸化水素水を注入して鉱物を溶解させ、ポンプで抽出する方法

済性を向上させるため、露天掘りによる拡張を検討することを発表している[2]。

Ranger精錬所はノーザン・テリトリー地区のRanger露天掘り鉱山内の施設であり、リオ・ティントが 68.4%を出資するEnergy Resources of Australia Ltd.（ERA：オーストラリアエネルギー資源㈱）によって運営されている。2012 年 11 月末でRenger鉱山のPit3 からの採掘を終了した。1997 年から 2011 年の間にPit3 から約67,000tUが採掘された。
Renger鉱山は 30 年にも渡り、露天掘りで採掘を続けてきたが、今後、深地層からの資源採掘を進める予定。、2013 年の早い段階で、採掘許可を得るための規制当局に対する最初の申請を実施し、2013 年第二四半期には調査採掘を開始する予定である[3]。

[2] BHP Billiton, Annual Report 2012
[3] ERA ホームページ、http://www.energyres.com.au/media/38_media_releases_2923.asp

1-3　ブラジル

ブラジルのウラン精錬施設一覧を表 1-3 に、ウラン鉱山・精錬施設位置図を図 1-2 に示す。

表1-3 ブラジルのウラン精錬施設一覧

会社名	所在地	年間生産容量 (tU)	生産量実績(tU)			生産量累計	操業開始
			2009	2010	2011	2011	
ブラジル原子力工業	Bahia州、Caetite	400	347	148	360*	3,334(注	1999

（出所）　Uranium2011 (OECD/NEA-IAEA)、ブラジル原子力鉱業（INB）ホームページ
*：予測値　注：Uranium2011 (OECD/NEA-IAEA)による 2010 年末時点の累計



図1-2 ブラジルのウラン鉱山・精錬施設位置図

（出所）　INBホームページ、http://www.inb.gov.br/inb/

Bahia州のCaetité は国営のIndústrias Nucleares do Brasil（ブラジル原子力工業、INB）が運営するウラン精錬施設である。同施設は、1999 年から操業を行なっており、精錬能力は 400tU/年で、同国の原子力発電所 Angra　I および II の必要な量を賄っている。
ブラジルは世界全体のウラン埋蔵量の 5%を占めていることもあり、1970 年代および 1980 年代に積極的なウラン探鉱活動が行われてきた。Minas Gerais州のCaldas、Bahia州のLagoa Real/Caetité、Ceará州Santa Quitériaの 3 ヶ所が主なウランの鉱脈である。1982 年からCaldasでウラン採掘が始まったが経済性がなくなったため同鉱山からの生産は休止中であり、現在はLagda Real（Caetité精錬施設に隣接するウラン鉱山）、Espinharas、Amdrinopolis、Rio Cristarino等のウラン鉱山で鉱石が産出されている。

INBはブラジルの原子力産業を統括する企業であり、本社はリオデジャネイロにあり、Bahia州、Ceará州、Minas Gerais州、Rio de Janeiro州およびSão Paulo州に事業所がある。
INBは数年の内に精錬能力を 2 倍の 800tU/年とする目標を立てている[4]。

[4] Uranium2011 (OECD/NEA-IAEA)によれば、2015 年に 670tU/年までの拡張予定。

1-4　カナダ

カナダのウラン精錬施設一覧を表 1-4 に、ウラン鉱山・精錬施設位置図を図 1-3 に示す。

表1-4 カナダのウラン精錬施設一覧

会社名	所在地	年間生産容量 (tU)	生産量実績(tU)			生産量累計	操業開始
			2009	2010	2011	2011	
AREVA NC社	サスカチュワン州、McClean Lake	5,900	1,388	657	2,722	N/A	1999
Cameco社(Key Lake)	サスカチュワン州、McArthur River	7,200	7,339	7,654	N/A	95,708	1983
Cameco社(Rabbit Lake)	サスカチュワン州、Rabitt Lake	2,300	1,724	1,724	1,724	84,504	1975

（出所）　AREVA NCホームページ、カメコホームページ、Uranium2011 (OECD/NEA-IAEA)

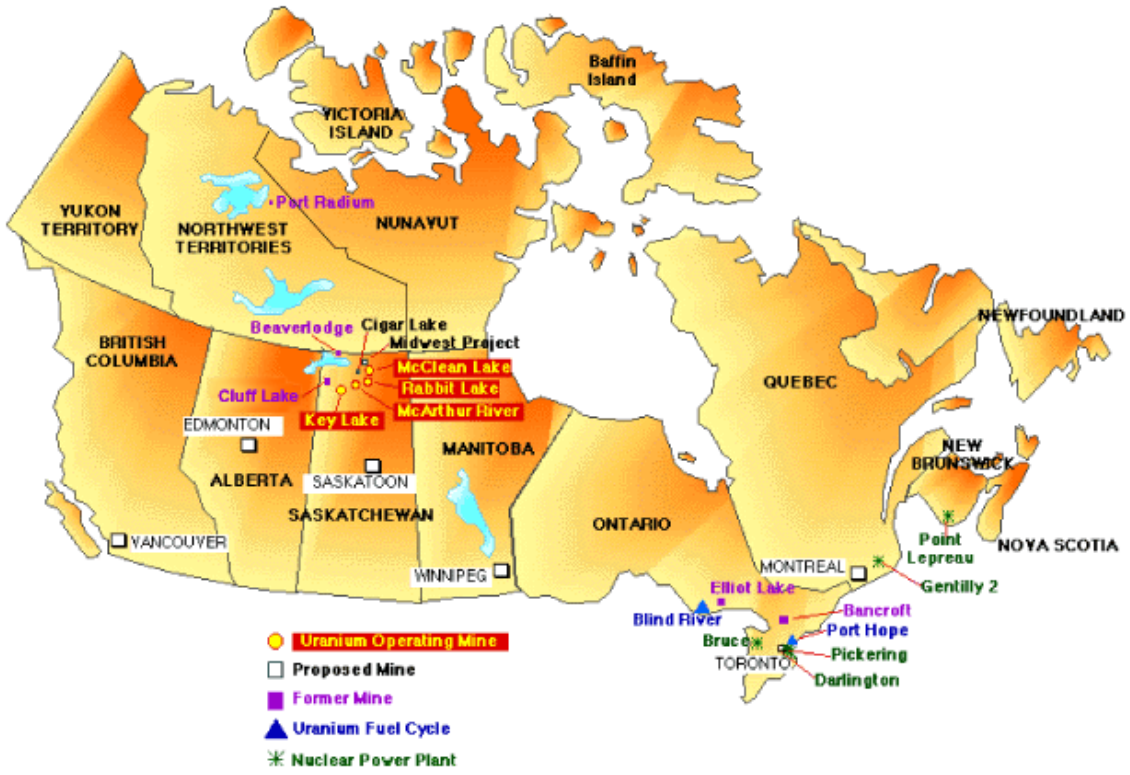


図1-3 カナダのウラン鉱山・精錬施設位置図

（出所）　World Nuclear Association、Country Briefings>Canada (Uranium Production)
http://www.world-nuclear.org/info/inf49.html

カナダには 3 つの精錬所が存在しており、全てサスカチュワン州に存在している。

McCLean Lake精錬所は同名の鉱山近くに位置しており、AREVA NC社によって運営され同鉱山の鉱石を処理している。年間生産容量は 3,600tUであったが、2012 年 12 月 20 日に 5,900tUへの拡張がカナダ原子力規制機関（CNSC）から許可されている[5]。2013 年には 1,800 万lbsU（8,165tU）までの拡張が予定されている。Key Lake精錬所はCameco社が運営しているウラン精錬施設であり、平均品質 16.36%と世界最高級の品質を誇るウラン鉱山McArther River近傍に位置し、同鉱山のウラン鉱石を処理している。かつてはKey Lakeでウランが採掘されていたが、1997 年に閉山しており、Cameco社は廃止コストを 1.207 億ドルと見積もっている。なお、表 1-4 に示した同施設の生産量累計は、両鉱山から産出された鉱石を全て合計したものである。また、McArthur RiverはCamecoが 69.805%、AREVAが 30.195%を、Key LakeはCamecoが 83+1/3%を、AREVA

[5] CNSC ホームページ、http://www.nuclearsafety.gc.ca/eng/mediacentre/releases/news_release.cfm?news_release_id=438

が 16+2/3%を保有している。年間生産容量は 7,200tUである。
Rabbit Lake精錬所はKey Lakeと同様Cameco社が運営、100%所有しており、現在は同名の鉱山からの鉱石を処理している。同社によれば、同地域にあるCigar Lake鉱山の開発を計画しており、そこからの鉱石も同精錬所で処理する予定である。年間生産容量は 2,300t Uである。

1-5　中国

中国のウラン精錬施設一覧を表 1-5 に、ウラン鉱山・精錬施設位置図を図 1-4 に示す。

表1-5 中国のウラン精錬施設一覧

会社名	所在地	年間生産容量 (tU)	生産量実績(tU)			生産量累計	操業開始
			2009	2010	2011	2011	
中国核工業総公司	江西省、Fuzhou （撫州）	350	1,200	1,350	1500*	N/A	1966
	江西省、Chongyi （崇義）	150					1979
	陝西省、Lantian （藍田）	100					1993
	新疆ウイグル自治区イリ・カザフ自治州、Yining（伊寧）	330					1993
	遼寧省、Benxi （本渓）	120					1996
	遼寧省、Qinglong（清龍）	100					2007
	広東省、Shaoguan（韶関）	200					2008

（出所）　IAEA INFCIS、生産量実績と年間生産容量はUranium2011 (OECD/NEA-IAEA)
*2011 年の生産量実績は、Uranium2011 (OECD/NEA-IAEA)による予測値



図1-4 中国のウラン鉱山・精錬施設位置図

中国には 7 箇所のウラン精錬施設があり、全て中国核工業総公司（CNNC）が運営している。これらの施設の合計年間生産容量は現在 1,350tUである。また、Uranium2011 によれば、中国には 2011 年 1 月 1 日現在、221,500tUのウラン資源が埋蔵されており、Fuzhou、Yiningの精錬施設では 500tU/年まで、Chongyiの精錬施設では 300tU/年までの拡張が計画されている。

国内の大規模な原発建設に対応するため、ウラン資源の開発が急務となっており、CNNCはオーストラリア、中東、中央アジアでのウラン探鉱を加速させていると報じられている[6]。また、国内でも活発な探査活動が行われており、2009 年から 2010 年の間に約 50,000tUが新たに発見されている[7]他、2012 年 11 月には内蒙古自治区中部の大営地区で、中国国内最大規模の砂岩型ウラン鉱床が発見されており、同地区の累計ウラン推定埋蔵量は世界規模の大鉱山に並ぶと報じられている[8]。

[6] Nuclear Street、2012/11/14、http://nuclearstreet.com/nuclear_power_industry_news/b/nuclear_power_news/archive/2012/11/14/chinese-nuclear-executive-announces-expanded-uranium-mining-abroad-111401.aspx

[7] Uranium2011 (OECD/NEA-IAEA)

[8] 新華社、2012/11/16

1-6　チェコ

チェコのウラン精錬施設一覧を表 1-6 に、ウラン鉱山・精錬施設位置図を図 1-5 に示す。

表1-6 チェコのウラン精錬施設一覧

会社名	所在地	年間生産容量 (tU)	生産量実績(tU)			生産量累計	操業開始
			2009	2010	2011	2011	
ディアモ国営企業	Vysočina行政区、Dolní Rožínka	400	233	241	214*	110,939（注	1957
	Liberec行政区、Stráž pod Ralskem	100	25	13	12*		1996

（出所）　Uranium2011 (OECD/NEA-IAEA)

*：予測値

注：2010 年末時点の累計で、既に閉山したJachymov鉱山、Horni Slavkov鉱山、Hamr鉱山での生産量を含む。

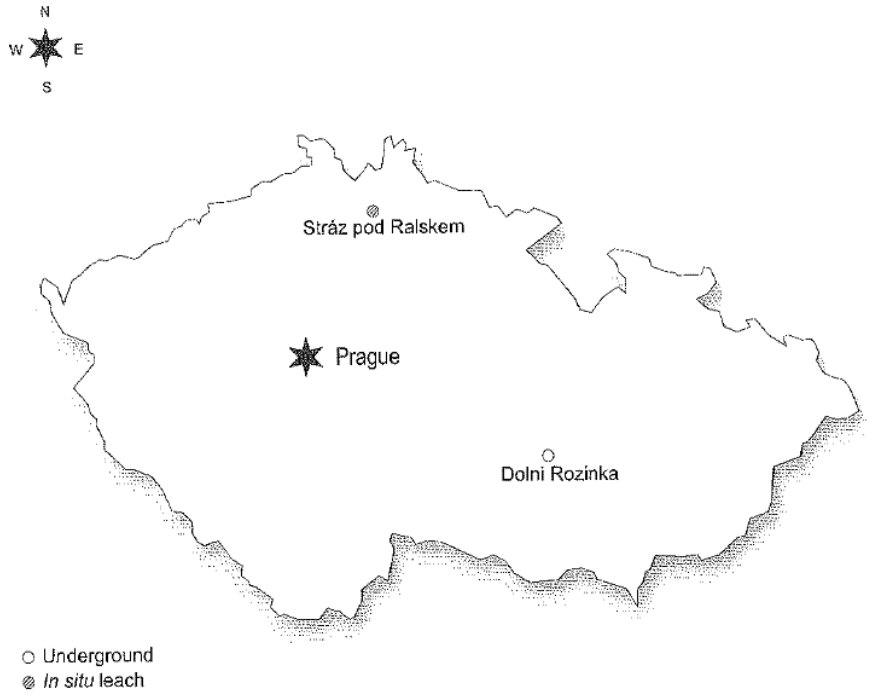


図1-5 チェコのウラン鉱山・精錬施設位置図

（出所）　Uranium2011 (OECD/NEA-IAEA)

チェコ国内には、Dolní Rožínka（Vysočina行政区、Žďár nad Sázavou地区）とStráž pod Ralskem（Liberec 行政区、Česká地区）に精錬施設がある。どちらも、チェコ国営企業であるディアモ（DIAMO）社が所有・操業している。90%以上のウランはDolní Rožínkaで採鉱、精錬されているが、有望な資源が地中深くに存在し、採掘量の回復が困難であることから、年々採掘量が低下している。Stráž pod RalskemではISL法によって地下約 180mから採掘している。2 施設合計の生産容量は 500tUとされているが、年間の生産実績は合計 250tU 程度である。

1-7　インド

インドのウラン精錬施設一覧を表 1-7 に、ウラン鉱山・精錬施設位置図を図 1-6 に示す。

表1-7 インドのウラン精錬施設一覧

会社名	所在地	年間生産容量 (tU)	生産量実績(tU)			生産量累計	操業開始
			2009	2010	2011	2011	
インドウラン株式会社	Jharkhand州、Jaduguda	200	N/A	N/A	N/A	N/A	1968
	Jharkhand州、Turamdih	190					2009

（出所）　Uranium2011 (OECD/NEA-IAEA)

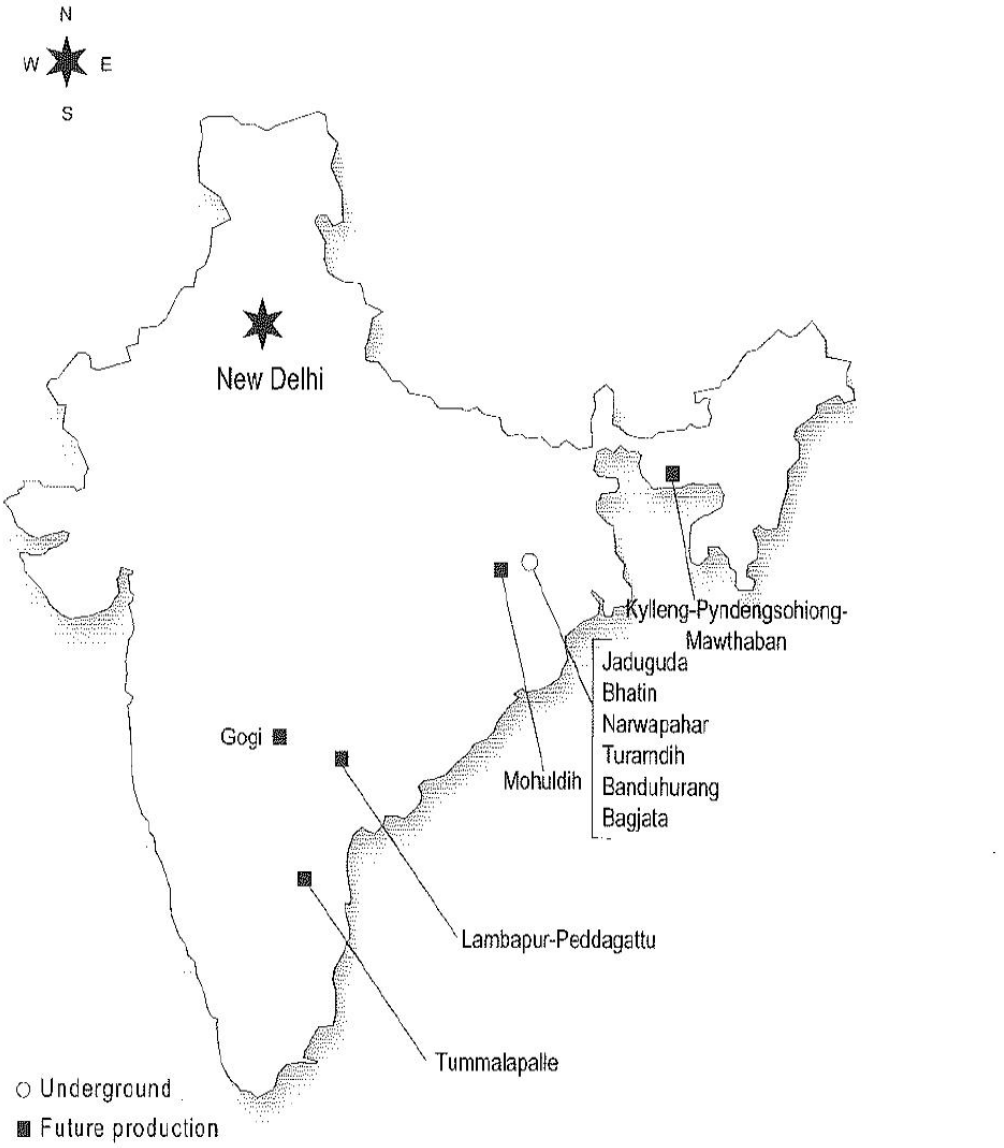


図1-6 インドのウラン鉱山・精錬施設位置図

（出所）　Uranium2011 (OECD/NEA-IAEA)

インドでは国営のUranium Corporation of India Limited（UCIL）が運営するJaduguda 精錬所とTuramdih 精錬所の 2 ケ所のウラン精錬施設がある。

Jaduguda 精錬施設では、Jharkhand州East & West Singhbhum 地方にある長さ 160km、幅 10kmの Singhbhum 鉱床を産地とするJaduguda 鉱山からのウラン鉱石を精錬しており、1968 年に許可を得て現在まで操業を行なっている。Jaduguda精錬所はJaduguda鉱山以外に近隣のBhatin鉱山、Narwapahar鉱山およびBagjata 鉱山の鉱石を処理している。2010 年 1 月に鉱石処理量が 2,090 トン/日から 2,500 トン/日まで拡張され[9]、年間生産容量は 200tUとなった。

Turamdih鉱山にあるTuramdih精錬所は、2009 年 3 月に許可を得てTuramdih鉱山およびBanduhurang鉱山の鉱石を処理している。また、建設中のMohuldih鉱山からの鉱石も処理する予定である。年間生産容量は 190tUである。

また、新規採鉱及び拡張が計画されている鉱山を表 1-8 に示す。

表1-8 インドで開発中及び拡張が計画されているウラン鉱山

プロジェクト名	区分	鉱石生産量(ton/day)	操業開始予定
Mohuldih	地下 35m		2012 年 3 月
Tummalapalle		3,000	2012 年中
Gogi			プレプロジェクト段階
Lambapur	地下		政府承認待ち
Kylleng-Pendengsohiong	露天		許認可取得に向けて活動中
Rohil			調査活動完了間近だが水不足の解決が必要

（出所） UCIL Annual report 2010-2011、http://www.ucil.gov.in/web/Annual%20Report10-11-English.pdf

UCILは 1967 年 10 月 4 日に設立された原子力庁の公的会社で、インド原子力発電開発の重要な役割を担い、インドの主要な原子炉PHWR(Pressurised Heavy Water Reactors)用のウランを供給している。UCILは 2004 年にISO14001、2007 年にISO18001、2008 年にISO9001 を取得し、採鉱・プロセスにおいて最新の技術を採用している。UCILの 2010 年度の売り上げ高は約 76 億ルピー（約 126 億円）であった[10]。

UCILは海外におけるウラン資源の探鉱開発もしており、モンゴル、ロシア、南アフリカ、ナミビア、カザフスタンにおいてインド原子力発電公社（NPCIL）とともに調査を行なっている。

[9] UCIL Annual report 2010-2011、http://www.ucil.gov.in/web/Annual%20Report10-11-English.pdf

[10] （出所） UCIL Annual report 2010-2011 による。なお、インドの会計年度は日本と同じく、4 月から翌年 3 月である。

1-8　カザフスタン

カザフスタンのウラン精錬施設一覧を表 1-9 に、ウラン鉱山・精錬施設位置図を図 1-7 に示す。

表1-9 カザフスタンのウラン精錬施設一覧

会社名	所在地	年間生産容量 (tU)	生産量実績(tU)			生産量累計	操業開始
			2009	2010	2011	2011	
カザトムプロム社	Mpinkum(site 1,3)	1,200	13,500	17,800	19,450	158,723(注	1982
	Mynkuduk(eastern site)	1,300					1978
	North & South Karamurun	1,000					1985
	Inkai(site 4)	3,000					2001
	Moinkum(site 1,2,3)	4,000					2004
	Inkai(site 1,2,3)	1,500					2004
	Zvezdnoe	500					1958
	South Zarechnoye	1,000					2007
	Budenovskoe(site 2)	3,000					2007
	Mynkuduk(central site)	1,400					2007
	Mynkuduk(western site)	1,000					2008
	North Kharasan(site 1)	1,000					2008
	North Kharasan(site 2)	2,000					2009
	Budenovskoe(site 1,3,4)	3,000					2009
	Irkol	1,100					2007

（出所）　Uranium2011 (OECD/NEA-IAEA)、生産実績はカザトムプロム
注：Uranium2011 (OECD/NEA-IAEA)による 2010 年末時点の累計

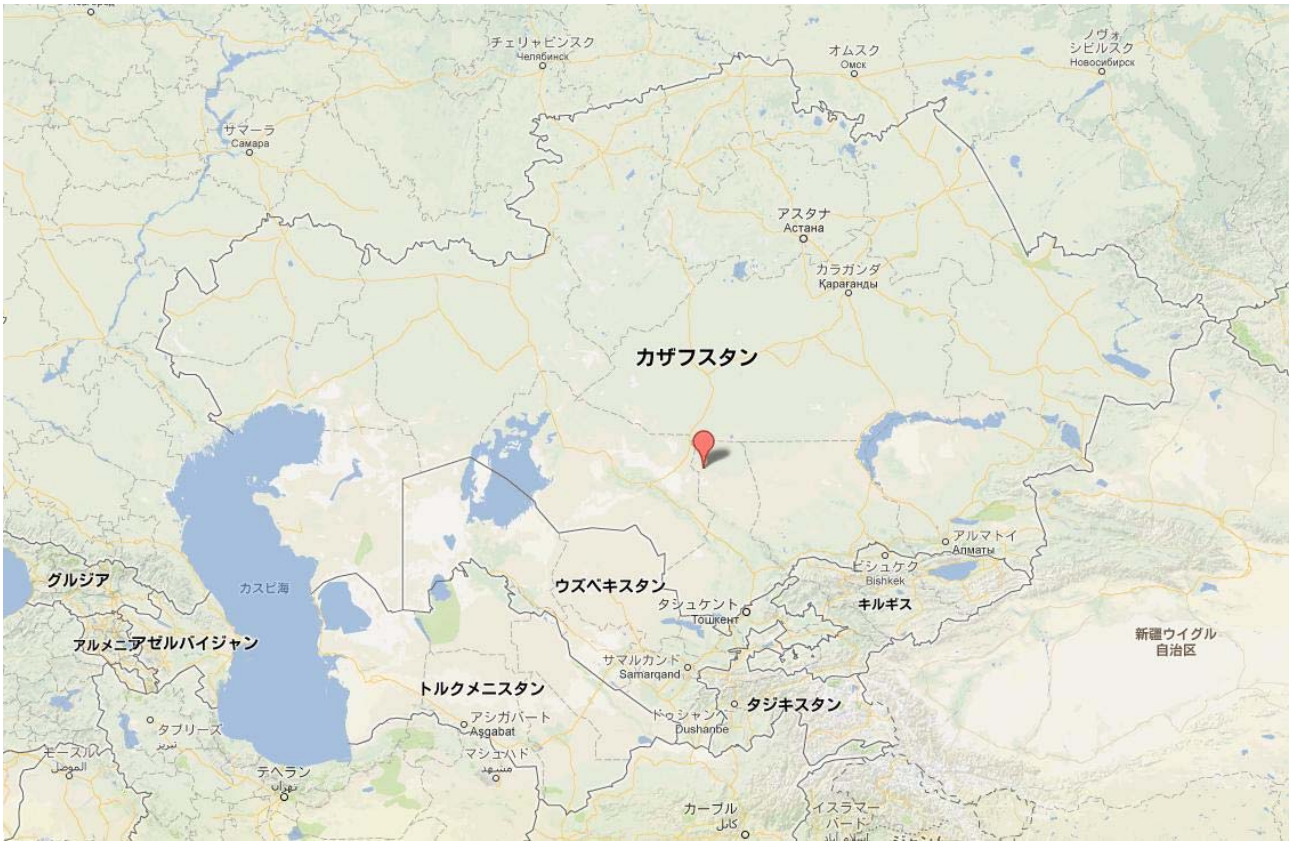


図1-7 カザフスタンのウラン鉱山・精錬施設位置図

カザトムプロム社は 1997 年に設立されたカザフスタン国営原子力会社であり、同国内のウラン鉱山及びウラン精錬施設は全て同社が運営している。所有者は、プロジェクト毎に異なり、海外企業が出資するものもあればカザトムプロム社 100%のものもある。カザトムプロム社が海外企業と合弁で運営しているプロジェクト一覧を表 1-10 に示す。

表1-10 カザトムプロム社と海外企業との合弁プロジェクト一覧

会社、プロジェクト、鉱山名	外資（比率）
Inkai JV (Inkai mines)	Cameco 60%
Betpak Dala JV (South Inkai, Akdala mines)	Uranium One 70%
Appak JV (W.Mynkuduk)	住友商事 25%、関西電力 10%
JSC Karatau (Budenovskoye 2 deposit)	Uranium One 50% (2009 年にARMZより取得)
JSC Akbastau (Budenovskoye 1, 3, 4 deposits)	Uranium One 50% (2010 年にARMZより取得)
Zhalpak	(CNNCの 49%が提案されている)
Katco JV (Moinkium, Tortkuduk mines)	AREVA 51%
Kyzylkum JV (Kharasan 1 mine)	Uranium One 30%、日本 40% (丸紅、東京電力、東芝、中部電力、東北電力、九州電力)
Baiken U JV (Kharasan 2 mine)	日本 40% (丸紅、東京電力、東芝、中部電力、東北電力、九州電力)
Semizbai-U JV (Irkol, Semizbai mines)	CGNPC 49%
Zarechnoye JV (Zarechnoye mine & S.Zarechnoye)	Uranium One 49.67% (2010 年にARMZより取得)

Uranium2011 によれば、カザフスタン国内の年間生産能力は 26,000tUであり、生産方法には全てISL法を用いている。カザトムプロムによれば、2011 年の生産実績は 19,450tUであった。

1-9　マラウイ

マラウイのウラン精錬施設一覧を表 1-11 に、ウラン鉱山・精錬施設位置図を図 1-8 に示す。

表1-11 マラウイのウラン精錬施設一覧

会社名	所在地	年間生産容量 (tU)	生産量実績(tU)			生産量累計	操業開始
			2009	2010	2011	2011	
パラディン・アフリカ社	Northern州、Kayelekera	1,270	90	681	850*	771(注	2009

（出所）　Uranium2011 (OECD/NEA-IAEA)
*：予測値、注：Uranium2011 (OECD/NEA-IAEA)による 2010 年末時点の累計

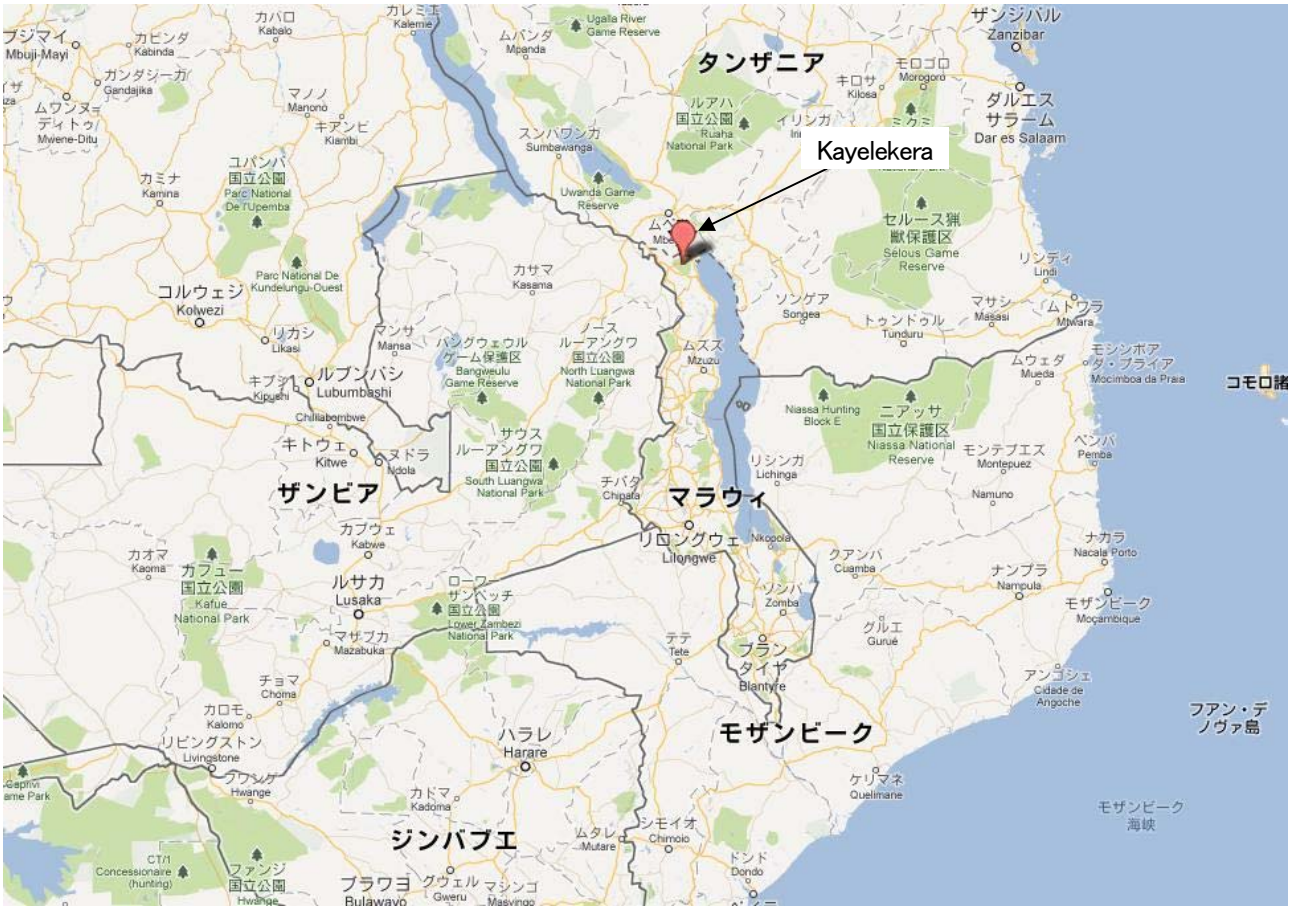


図1-8 マラウィのウラン鉱山・精錬施設位置図

（出所）　Uranium2011 (OECD/NEA-IAEA)

Kayelekera鉱山はマラウイ・北部州のKarongaの西に位置する露天掘り鉱山である。2009 年 4 月に生産を開始しており、2010 年には 681tUを産出。2013 年中旬までに、1,460tUまで生産量を拡大する計画である。
ナミビア企業のパラディンアフリカ社が所有、操業している。なお、同社はオーストラリアのパラディンエネルギー社の 100%子会社である。

1-10　ナミビア

ナミビアのウラン精錬施設一覧を表 1-12 に、ウラン鉱山・精錬施設位置図を図 1-9 に示す。

表1-12 ナミビアのウラン精錬施設一覧

会社名	所在地	年間生産容量 (tU)	生産量実績(tU)			生産量累計	操業開始
			2009	2010	2011	2011	
ロッシングウラン社	Erongo州、Roessing	4,000	4,150	3,628	2,148	120,754	1976
パラティン・エネルギー社	Erongo州、Langer Heinrich	2,000	1,040	1425*	2,000*	N/A	2006

（出所）　Uranium2011 (OECD/NEA-IAEA)、ロッシングウラン社、パラディンエネルギー社
*：Uranium2011 (OECD/NEA-IAEA)による予測値

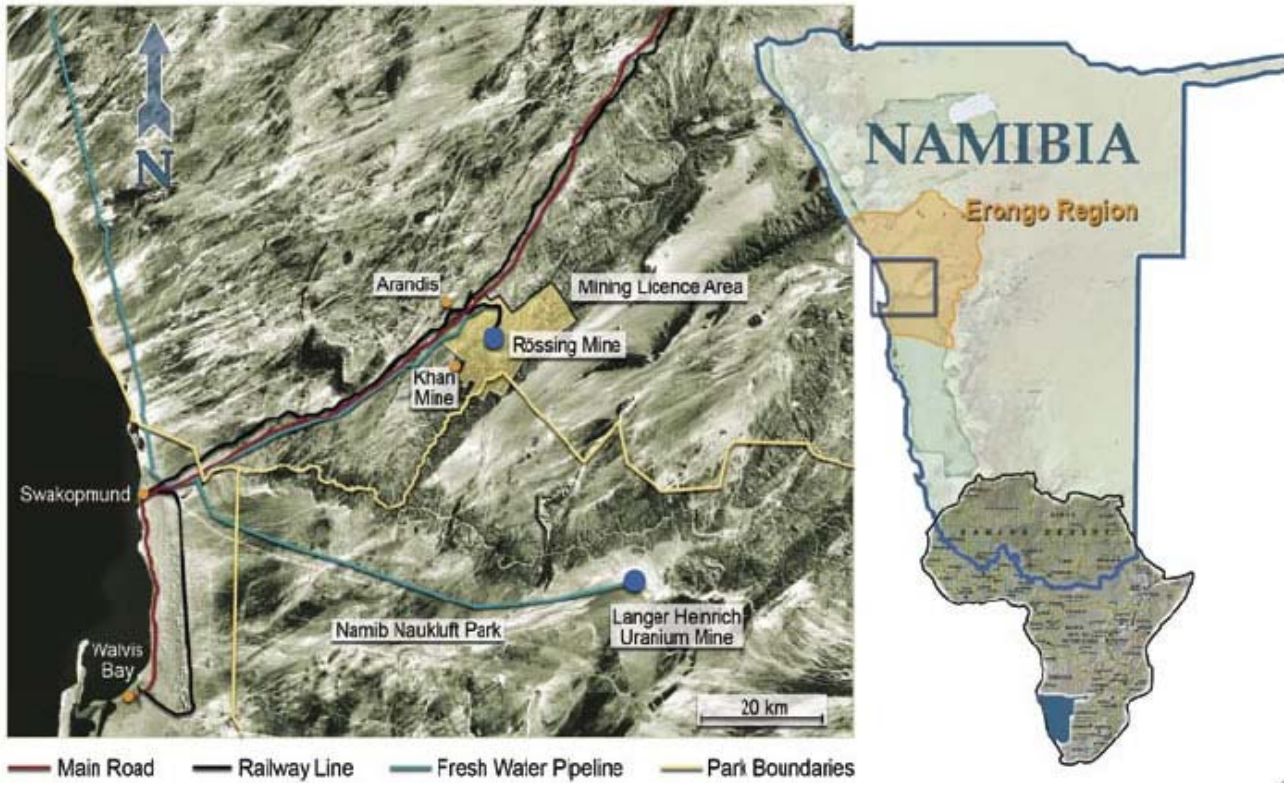


図1-9 ナミビアのウラン鉱山・精錬施設位置図

（出所）　ロッシングウラン社

Roessingは、南西アフリカに位置するナミビアのErongo州にあるウラン精錬施設であり、Roessing Uranium Limitedが運営している。同施設は 1976 年、ナミビアにおける最初の商業ウラン精錬を開始し、露天掘りウラン鉱山からのウラン鉱石を精錬しており、年間生産容量は 4,000tUである。ナミビアのウラン生産シェアは世界の 11.8%を占め、その内の 8%がRoessingにより生産されている。Roessingの主な株主はRio Tintoの 69%であり、ナミビア政府の所有比率は 3%である。

Langer Heinrichは、同じくErongo州にあるウラン精錬施設で、パラディンエネルギー社が運営している。同施設は、2006 年より操業を開始した露天掘り鉱山で、年間生産容量は 2,000tUである。2011 年に 2,000tUまでの拡張を完了しており、3,850tUまでの拡張を進めるためのフィージビリティスタディが実施されている。

ナミビアのウラン鉱床は低品位であるが、大鉱床であり大規模採掘により、低コストで生産を行っている。ナミビア政府は今後少なくとも 2023 年までの操業を計画している。

1-11　ニジェール

ニジェールのウラン精錬施設一覧を表 1-13 に、ウラン鉱山・精錬施設位置図を図 1-10 に示す。

表1-13 ニジェールのウラン精錬施設一覧

会社名	所在地	年間生産容量 (tU)	生産量実績(tU)			生産量累計	操業開始
			2009	2010	2011	2011	
COMINAK	Agadez州、Akouta	2,000	3,245	4,197	1,433	62,900	1978
SOMAÏR	Agadez州、Arlit	2,000			2,726	52,700	1971
SOMINA	Agadez州、Azelik	700	–	–	N /A	N/A	2010

（出所）　AREVA社、Azelik 、2009・2010 年生産量実績はUranium2011 (OECD/NEA-IAEA)

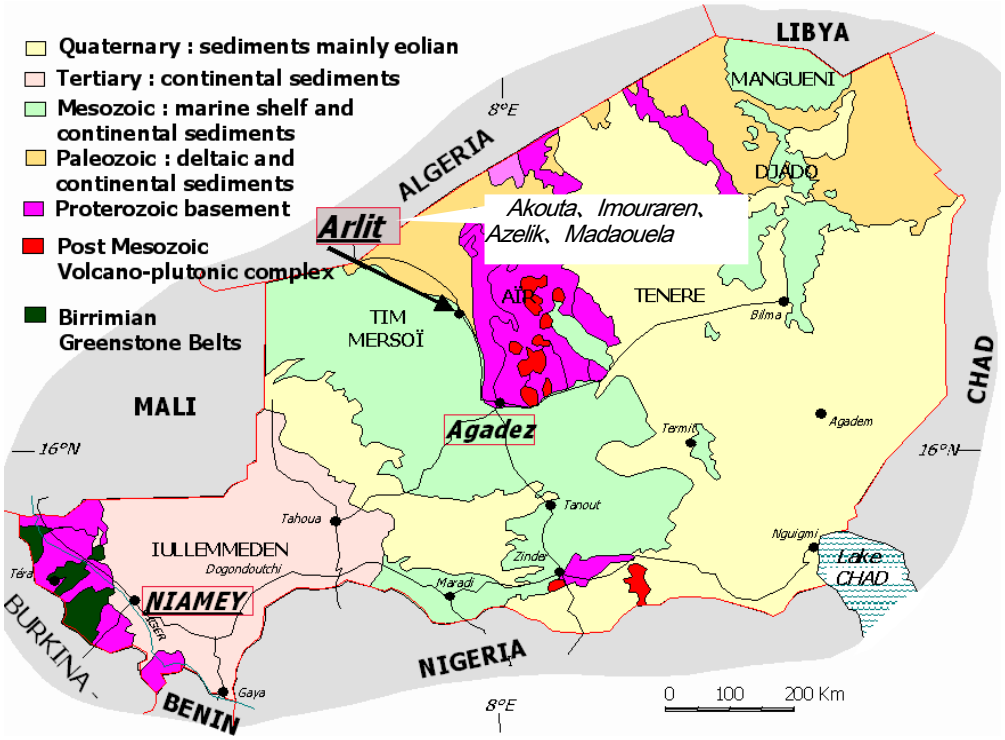


図1-10 ニジェールのウラン鉱山・精錬施設位置図

（出所）　World Nuclear Association、Annual Symposium 2004 - Uranium Mining in Niger

ニジェールの北西Agadez州に位置するAkoutaは、アクータ鉱石会社（COMINAK（Compagnie Miniere d'Akouta)）の運営するウラン精錬施設である。COMINAKは 1974 年に設立され、1978 年に操業を開始した民間企業で、株主構成は、AREVA Niger 34%、海外ウラン資源開発 25%、 SOPAMIN(Niger)31% 、ENUSA（Empresa Nacional des Uranio S.A）10%等となっている。年間生産容量は 2,000tUで、2011 年の生産実績は 1,433tUである。

同じくAgadez州に位置するArlitのウラン精錬施設はニジェールの国営鉱山会社であるSOMAIRにより運営される、中北部のアガデス堆積盆地に分布する砂岩型鉱床から生産されるウラン鉱石を精鉱しているウラン精錬施設である。Arlitはサハラ砂漠の中央部に位置し、ニジェールにおけるウラン採掘の中心都市である。ウラン鉱は 1969 年に発見され、1971 年にSOMAIR社により露天掘りウラン生産が開始された。ウラン生産の最盛期だった 1980 年代には、ArlitとAkoutaの鉱山で世界のウラン需要の 40%を賄っており、ニジェールの輸出額の 90%を占めていた。現在、SOMAIR社の株主構成は、AREVA NC 63.4%、SOPAMIN(Niger)36.6%となっている。現在はフランス、日本の他、世界の原子力発電利用国に輸出されている。生産容量を 3,000tUまで拡張する計画であり、2012 年時点での拡張目標は 2,910tU。2011 年の生産実績は 2,726tUである。

Agadez州Azelikのウラン精錬施設は、2010 年末より操業を開始している。同鉱山は、2007 年に新たに設立されたSOMINAにより運営されている。SOMINAの株主構成は、CNUC 37.2%、SOPAMIN(Niger) 33%、ZXJOY invest 24.8%、KORES 5%となっている。埋蔵量は 15,900tU、年間生産容量は 700tUとされている。
また、Imourarenで新たなウラン鉱山開発が計画されており、2009 年 1 月 5 日、ニジェール政府はAREVA社に鉱山開発の許可を与えた[11]。出資比率は、ニジェール政府 33.35%、AREVA 56.65%、韓国電力公社（KEPCO）10%となっている。

[11] AREVA 社ホームページ、“AREVA and Niger: a lasting partnership”
http://www.areva.com/EN/operations-592/a-lasting-partnership-with-niger.html

1-12　ロシア

ロシアのウラン精錬施設一覧を表 1-14 に、ウラン鉱山・精錬施設位置図を図 1-11 に示す。

表1-14 ロシアのウラン精錬施設一覧

会社名	所在地	年間生産容量 (tU)	生産量実績(tU)			生産量累計
			2009	2010	2011	2011
アトムレッドメットゾラタ社（ロスアトム）	東シベリア・ザバイカリスク地方 Priargunsky	3,000	3,005	2,920	2,191	146,862(注
	ウラル地方南部クルガンスク地方 Dalur	800	463	508	535	
	東シベリア・ブリヤート共和国 Khiagda	1,800	97	135	266	

（出所）　Atomredmetzoloto社、年間生産容量はUranum2011
注：Uranium2011 (OECD/NEA-IAEA)による 2010 年末時点の累計



図1-11 ロシアのウラン鉱山・精錬施設位置図

（出所）　Atomredmetzoloto（ARMZ）ホームページ、http://www.armz.ru/eng/.

アトムレッドメットゾラタ（Atomredmetzoloto：ARMZ）は、2007 年に設立されたAtomenergoprom傘下の国営ウラン採掘・炭鉱企業である。ARMZ社の詳細は 2 章参照。

東シベリアのザバリカリスク地方にあるPriargunsky はPPGHO（Industrial Mining & Chemical Union）社（ARMZ社傘下）の運営するロシア最大のウラン採掘施設である。年間生産容量は 3,000tU年であり、2011 年の生産量は 2,191tUである。

ウラル地方南部のクルガンスク州にあるDalurはARMZ社の運営するウラン精錬施設である。1984～94 年にDalmatovskoe鉱床およびKhokhlovskoe鉱床で試験生産が行われ、1997 年から本格生産し、現在に至る。年間生産容量は 800tU年で、2011 年の生産量は 535tUである。

東シベリアのブリヤート共和国にあるKhiagdaはARMZ社の運営するウラン採掘施設である。1999 年より当

時の運営者であったTVEL社がKhiagdanskoe鉱床でウランの試験的な採掘を開始し、2008 年に 150tU/年で試験生産開始している。2018 年に本格生産の開始を予定しており、設備容量は 1,800tU/年、2011 年の生産量は 266tUである。
なお、Priargunsky, Dalur、Khiagdaの各施設は、かつてロスアトム社の燃料事業部門 TVEL社傘下にあったが、2008 年 9 月にARMZ社の傘下に入った。

その他の新規生産計画は、表 1-15 のとおりである。

表1-15 ロシアのウラン資源開発計画

所在地	埋蔵量(tU)	年間生産容量(tU)	操業開始
極東 サハ共和国Elkon Mining and Metallurgical Complex	271,310	5,000	2020
東シベリア・ザバリカリスク地方 Olovskaya Mining and Chemical Company	8,210	600	2016
東シベリア・ザバリカリスク地方 Gornoe Uranium Mining Company	3,230	300	2014

1-13　南アフリカ

南アフリカのウラン精錬施設一覧を表 1-16 に、ウラン鉱山・精錬施設位置図を図 1-12 に示す。

表1-16 南アフリカのウラン精錬施設一覧

会社名	所在地	年間生産容量 (tU)	生産量実績(tU)			生産量累計	操業開始
			2009	2010	2011	2011	
アングロゴールド鉱山会社	Vaal Reefs	1,272	626	663	654	157,390(注	1977

（出所）　アングロゴールド社、年間生産容量と操業開始年は、IAEA INFCIS
注：Uranium2011 (OECD/NEA-IAEA)による 2010 年末時点の累計（1980 年代前半には年間 6,000tU程度の生産量があった[12]）



図1-12 南アフリカのウラン鉱山・精錬施設位置図

（出所）　アングロゴールド社ホームページ、http://www.anglogoldashanti.co.za/

アングロゴールド・アシャンティ（AngloGold Ashanti）社は、世界有数の産金企業であり、南アフリカのVaal River 及び West Witsで金鉱山の開発・採掘を進めている。両鉱山での金採掘の副産物として、Vaal Reefsでウランの精錬を実施している。年間生産容量は 1,272tU、2011 年の生産量は 654tUである。継続的な生産を進めるため、Kopanang鉱山から精錬施設へのルート整備や設備更新などを進めている。

[12] Uranium2011 (OECD/NEA-IAEA)

1-14　ウクライナ

ウクライナのウラン精錬施設一覧を表 1-17 に、ウラン鉱山・精錬施設位置図を図 1-13 に示す。

表1-17 ウクライナのウラン精錬施設一覧

会社名	所在地	年間生産容量 (tU)	生産量実績(tU)			生産量累計	操業開始
			2009	2010	2011	2011	
ヴォストゴーク 社	Vody市, ドネプロペトロフスク州	1,500	815	837	850*	102,114(注	1958

（出所）　Uranium2011 (OECD/NEA-IAEA)
注：Uranium2011 (OECD/NEA-IAEA)による 2010 年末時点の累計

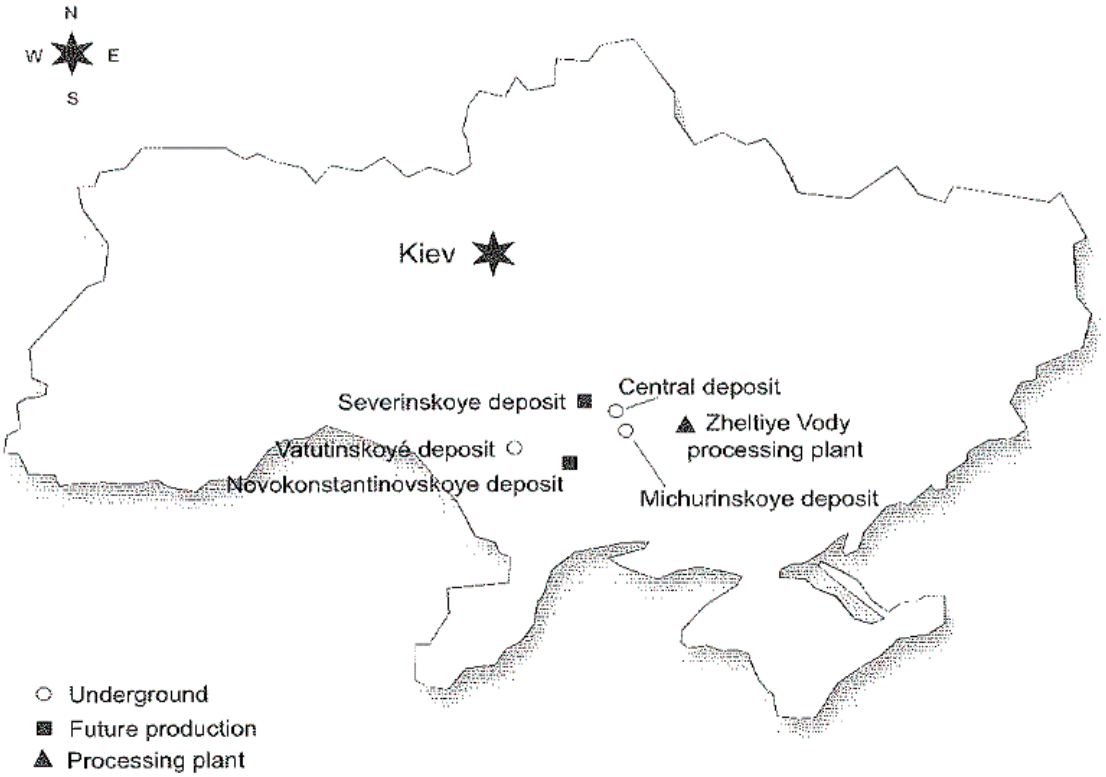


図1-13 ウクライナのウラン鉱山・精錬施設位置図

（出所）　Uranium2011 (OECD/NEA-IAEA)

ウクライナのドネプロペトロフスク(Dnepropetrovsk)州Zheltiye Vody市にあるThe Eastern Mining and Processing Complex は、ヴォストゴーク (VostGOK) 社が運営するウクライナ唯一のウラン精錬施設である。1958 年に操業を開始しているが、1970 年代に施設の改修が行われている。現在の年間生産容量は 1,500tUである。ウクライナでのウラン採鉱はPervomayskoye鉱床で 1948 年に開始された。同鉱床での 2010 年の生産量は 837tUである。主たる未開発のウラン鉱床としては、Novokonstantinovskoye鉱床、キロヴォフラード州のMikhailovskoye鉱床がある[13]。

[13] World Nuclear Association, “Nuclear Power in Ukraine ”, http://world-nuclear.org/info/inf46.html

ウクライナは今後、外資導入により、国内ウラン生産量の増産を図ろうとしている。Novokonstantinovskoye 鉱床では、2013 年に 500tU/年で生産を開始し、最終的には約 2,500tU/年で生産する計画であり、2008 年から開発が続けられている。2011 年には 99tUを産出しており、2012 年の産出量は 180～190tUと期待されている[14]。

[14] World Nuclear Association, “Nuclear Power in Ukraine ”, http://world-nuclear.org/info/inf46.html

1-15　アメリカ

アメリカのウラン精錬施設一覧を表 1-18 に、ウラン鉱山・精錬施設位置図を図 1-14 に示す。

表1-18 アメリカのウラン精錬施設一覧

会社名	所在地	年間生産容量 (tU)	生産量実績(tU)			生産量累計	操業開始
			2009	2010	2011	2011	
デニソン社	ユタ州White Mesa	3,629	647	654	459	N/A	1980
カメコ社	ワイオミング州Smith Ranch/Highland	1,814	816	816	635	6,804	1997
	ネブラスカ州Crow Butte	454	363	318	363	3,447	1991
ウラニウムワン社	ワイオミング州Willow Creek	500	N/A	N/A	80	N/A	2010(試験操業) 2012(本格操業)
メステナ社	テキサス州Alta Mesa	385	N/A	N/A	N/A	N/A	2005
ウラニウムエネルギー社	テキサス州Hobson/La Palangana	385	N/A	N/A	N/A	N/A	1979

(出所)　デニソン社、カメコ社、ウラニウムワン社、Uranium2011 (OECD/NEA-IAEA)
注 : Uranium2011 (OECD/NEA-IAEA)による 2010 年末時点の累計



図1-14 アメリカのウラン鉱山・精錬施設位置図

(出所)　Uranium2011 (OECD/NEA-IAEA)に一部加筆修正

表 1-19 に、アメリカのウラン精錬及びウラン採掘施設の操業状況を含む概要を示す。

表1-19 アメリカのウラン鉱山（採掘施設）及びウラン精錬施設の操業状況を含む概要

＜ウラン鉱山（採掘施設）＞

事業者	施設名	立地場所	生産能力 (tU/year)	操業状況
Cameco	Crow Butte	Nebraska	454	操業中
Hydro Resources, Inc	Crownpoint	New Mexico	454	認可済
	Church Rock	New Mexico	454	認可済
Lost Creek ISR	Lost Creek	Wyoming	907	認可済
Mestena Uranium	Alta Mesa	Texas	385	操業中
Cameco	Smith Ranch	Wyoming	1,814	操業中
Powertech Uranium	Centennial	Colorado	-	未開発
	Dewey Burdock	South Dakota	-	未開発
South Texas Mining Venture	Hobson	Texas	454	操業中
	La Palangana	Texas	454	操業中
Strata Energy	Ross	Wyoming	-	開発中
URI	Kingsville Dome	Texas	454	休止中
	Rosita	Texas	454	休止中
	Vasquez	Texas	363	復元中
Uranerz Energy Corporation	Nichols Ranch	Wyoming	907	建設中
Uranium Energy	Goliad	Texas	454	認可済
Uranium One Americas	Jab and Antelope	Wyoming	907	開発中
	Moore Ranch	Wyoming	227	認可済
Uranium One USA	Texas Operations	Texas	0	開放済
	Willow Creek	Wyoming	500	操業中

＜精錬施設＞

事業者	施設名	立地場所	処理能力 (short tones/day)	操業状況
Cotter Corporation	Canon City	Colorado	400	開発中
Denison White Mesa LLC	White Mesa	Utah	3,629	操業中
Energy Fuels Resources Corporation	Piñon Ridge	Colorado	500	認可済
Kennecott Uranium Company/Wyoming Coal Resource Company	Sweetwater Uranium Project	Wyoming	3,000	休止中
Uranium One Americas	Shootaring Canyon	Utah	750	休止中

（出所） Energy Information Administration “2011 Domestic Uranium Production Report”に加筆修正
ただし、生産能力は 1 ポンド=453.592 グラムとして換算した。

米国内で操業している粗精錬施設等について、以下、企業別にその概要を述べる。

1-15-2 Denison

White Mesa MillはDenison（デニソン）が 100%所有・運営する、米国内で操業している唯一の製錬工場であり、デニソンが所有するColorado Plateau、Henry Mountains Complex、Arizona Strip等の鉱山に近いユタ州に立地している。

White Mesa工場の建設は 1979 年に始まり、1980 年 5 月に操業開始した。ウラン浸出方法としては硫酸を用いた酸浸出法を採用しており、副産物としてバナジウムが生産される。粉砕工程の能力は 2,000t/日、U_3O_8 生産能力は 800 万ポンド/年（3,629tU/年）、従業員数名は約 130 名である。2011 年のU_3O_8 生産量は 100 万ポンド（454tU）であり、V_2O_5 生産量は 130 万ポンド（590t）である。

White Mesa工場は、ウラン転換過程その他で生じた廃材（alternate materials）からのウラン回収も行っている。2007 年には廃材から 25.4 万ポンド（115tU）のU_3O_8 を回収した後、ウラン鉱石精錬に向けた工場の改装が行われ、2008 年 4 月末からウラン鉱石の精錬が再開された。この、廃材処理とウラン鉱石精錬の両方を並行して行うための設備改修が 2009 年に実施された。今後、U_3O_8 生産能力 1,000 万ポンド（4,536tU）とすることを目標としている。

1-15-3 Cameco

Crow Butte鉱山はCameco（カメコ）社が運営するウラン採掘施設である。この鉱山は 1980 年に発見され、1990 年開発許可を受けて 1991 年に生産を開始した。当初はUrenza USA Inc.及びGeomax Minerals Inc.が所有・運営していたが、1994 年にCamecoがGeomex Minerals Inc.買収を通じてCrow Butte鉱山に資本参加し、1998 年には、58%所有していたUrenza USA Inc.から残りの権益を獲得した。さらに 2000 年に、韓国電力（KEPCO Resources America）が所有していた 10%を取得して、カメコの単独出資となった。

ウラン回収方法としては運営当初からISL法を採用しており、カメコ社によれば、年間生産能力は 100 万ポンド（454tU）である。

Smith RanchおよびHighlandの 2 鉱山もカメコの操業するウラン採掘施設である。

Smith Ranch鉱山は、1975 年に坑内掘によるウラン生産を開始したが 1978 年に生産を停止、その後 1981 年からISL法の試験操業を開始し、1997 年にISL法による商業生産を開始した。2002 年にカメコがRio Algom Mining CorporationからSmith Ranch鉱山を獲得し、Highland鉱山と統合した。現在はCameco Resources の 100%所有となっている。

Highland鉱山は 1972 年に生産開始したが、1984 年に一旦生産を停止し、1988 年にISL法を採用して生産を再開した。1997 年、カメコがHighland鉱山のオペレーターであるPower Resources社を買収し、現在に至っている。ただし現在、Highland鉱山は操業停止している。

ウラン回収方法は、ISL法を採用しており、年間生産能力は 400 万ポンド（1,814tU）、2011 年の生産量は 140 万ポンド（635tU）であった。

1-15-4 Uranium One

ワイオミング州に位置するWillow Creekは、Uranium one（ウラニウムワン）社の運営するウラン鉱山である。同鉱山には、Irigaray、Christensen Ranchのライセンスが含まれている。2010 年 12 月より試験操業を開始し、2012 年 5 月に操業を開始。ISL法により生産しており、U_3O_8 年間生産能力は、130 万ポンド（500tU）であるが、Moore Ranch計画と併せて 250 万ポンド（962tU）までの拡張計画があり、既に米原子力規制委員会（Nuclear Regulatory Commission : NRC）の承認を得ている。2011 年の生産量は 214,800 ポンド（80tU）であった[15]。

[15] ウラニウムワン社ホームページ、http://www.uranium1.com/index.php/en/mining-operations/united-states/willow-creek

1-15-5 Mestena

テキサス州南部に位置しているAlta Mesa ProjectはMestena（メステナ）社の運営するウラン採掘施設である。1970 年代にウランが発見され、2005 年に商業生産を開始した[16]。
ウラン回収方法はISL法を採用しており、U_3O_8 生産能力は年間 385tUである。

1-15-6 Uranium Energy

テキサス州南部に位置するHobson及びLa Palanganaは、Uranium Energy（ウラニウムエネルギー）社が100%出資する、サウステキサスマイニングベンチャー（South Texas Mining Venture）社が運営するウラン鉱山。Hobsonは、1978 年に操業を開始したが、2008 年に施設を更新し、ISL法によるウラン生産を行っている。La PalanganaでもISL法によるウラン生産が行われている。2012 年 11 月末までのU_3O_8 生産量は 352,000 ポンド（約 60tU）である[17]。

[16] Mestena 社は 1937 年に石油・天然ガス探鉱開発を開始、2004 年にウラン鉱山の開発を開始した。
[17] ウラニウムエネルギー社ホームページ、http://www.uraniumenergy.com/projects/texas/palangana/

1-16　ウズベキスタン

ウズベキスタンのウラン精錬施設一覧を表 1-20 に、ウラン鉱山・精錬施設位置図を図 1-15 に示す。

表1-20 ウズベキスタンのウラン精錬施設一覧

会社名	所在地	年間生産容量 (tU)	生産量実績(tU)			生産量累計	操業開始
			2009	2010	2011	2011	
国営ナボイ鉱業精錬コンビナート社	Navoi	2,350	2,657	2,874	3,350*	117,891(注	1964

（出所）　Uranium2011 (OECD/NEA-IAEA)
注：Uranium2011 (OECD/NEA-IAEA)による 2010 年末時点の累計



図1-15 ウズベキスタンのウラン鉱山・精錬施設位置図

（出所）　Navoi Mining and Metallurgy Combinat (NMMC)社ホームページ

ウズベキスタンにはNavoi Hydrometallurgical Combinat（以下ナボイ社）の所有するウラン精錬施設がある。この施設は、1964 年に操業開始し、旧ソ連崩壊の翌年 1992 年までは全生産量がロシアに供給されていた。ソ連時代は軍産複合体への供給元であり、1980 年代半ばにはピーク時の年間生産量が 3,800tUに達した。1992 年以降はNukem Inc.が操業者となり、米国その他の国々に輸出が開始されている。また、当初は、地下及び露天掘りにより採掘を実施していたが、1994 年以降は全てISL法により産出されている[18]。
Uranium2011 によれば、年間生産容量は 2,350tU[19]で、2010 年の生産実績は 2,874tUであった。

ウズベキスタンのウラン鉱山に対しては、諸外国から以下のような参入実績がある。

- 2006 年、ロシアがナボイ社等と採掘を目的とする合弁会社設立のMOU締結（後に撤退）
- 2006 年、日本とウズベキスタン政府がウラン開発への金融支援に関する政府間協定を締結。2007 年には伊藤忠、2008 年に三井物産、2009 年にJOGMECがそれぞれ参入している。
- 2008 年、韓国電力公社が 2010 年～2015 年の間に 2,600tUのウランを 4 億ドルで購入する協定を締結。
- 2009 年、中广核燃料有限公司（CGN-URC）がウズベキスタン当局と合弁企業を設立。

[18] World Nuclear Association、Uranium in Central Asia、http://world-nuclear.org/info/inf118_centralasiauranium.html
[19] IAEA INFCIS によれば、年間生産容量は 3,000tU。

2. 転換・再転換施設

2-1 施設一覧

世界の主要なウラン転換施設を国別・企業別に表 2-1 に、再転換施設を表 2-2 に示す。

表2-1 世界のウラン転換施設一覧

国名	会社名	所在地	年間生産能力（tU）	操業開始
アルゼンチン	アルゼンチン国家原子力委員会（CNEA）	Pilcaniyeu	62	1984
カナダ	Cameco	オンタリオ州,Port Hope	12,500	1984
中国	中国核工業総公司	甘粛省、蘭州市（Lanzhou）	1,000	1980
		甘粛省、酒泉市（Jiuquan）	500	N/A
フランス	AREVA NC	ドローム県、Pierrelatte/Malvési	14,000	1963
		ドローム県、Pierrelatte/Malvési	15,000	2013～2015（予定）
イラン	イラン原子力庁	エスファハン州、Esfahan	200	2006
カザフスタン	カザトムプロム社/Cameco社	Ust-Kamenogorsk	12,000	2014（予定）
ロシア	アトムエネルゴプロム（アンガルスク電解化学コンビナート）、TVEL	イルクーツク州、Angarsk	18,700	1954
	アトムエネルゴプロム（シベリア化学コンビナート）、TVEL	トムスク州、Seversk	不明	1953
	アトムエネルゴプロム（エレクトロスタル）、TVEL**	モスクワ州、Elektrostal	700	1949
イギリス	ウエスティングハウス UK	ランカシャー州、Springfields	5,000	1993
アメリカ	コンバーダイン	イリノイ州、Metropolis	17,600	1964

（出所） 原子力ポケットブック 2012（電気新聞）、世界の原子力発電開発の動向 2010～2012（日本原子力産業協会）等各種資料より作成
注：WNA Market Report 2009 によると、ロシア全体の転換設備容量は 25,000tU

表2-2 世界のウラン再転換施設一覧

国名	会社名	所在地	年間生産能力（tU）	操業開始
アルゼンチン	アルゼンチン国家原子力委員会（CNEA）	Cordoba	175	1984
ブラジル	Industrias Nucleares do Brasil（INB）	リオデジャネイロ州、Rio de Janeiro	160	1982
カナダ	Cameco	オンタリオ州,Port Hope	2,800	1984
フランス	FBFCインターナショナル（AREVA 子会社）	ドローム県、Romans-sur-Isère	1,400	1991
ドイツ	Advanced Nuclear Fuels GmbH（ANF：AREVA 子会社）	ニーダーザクセン州、Lingen	650	1979
インド	原子力エネルギー庁（DEA）	アーンドラ・プラデーシュ州、Hyderabad	450	1972
パキスタン	パキスタン原子力委員会（PAEC）	Islamabad	不明	1986
日本	三菱原子燃料株式会社（MNF）	茨城県東海村	440	1972
韓国	韓電原子力燃料（KEPCO NF）	大田	600	1990
ロシア	Fuel Company of Rosatom TVEL	モスクワ州、Elektrostal	1,200	1965
		ノヴォシビルスク州、Nobosibirsk	700	1979
イギリス	ウエスティングハウス UK	ランカシャー州、Springfields	550	1993
アメリカ	Areva NP	ワシントン州、Richland	1,700	1970
	GNF-Americas	ノースカロライナ州、Wilmington	1,200	1982

（出所） 原子力ポケットブック 2012（電気新聞）、世界の原子力発電開発の動向 2010～2012（日本原子力産業協会）等各種資料より作成

2-2　アルゼンチン

アルゼンチンのウラン転換・再転換施設一覧を表 2-3 に、ウラン転換・再転換施設位置図を図 2-1 に示す。

表2-3 アルゼンチンのウラン転換施設一覧

＜転換施設＞

会社名	所在地	年間生産能力 (tU)	生産量実績(tU)			生産量累計	操業開始
			2009	2010	2011	2011	
アルゼンチン国家原子力委員会（CNEA）	Pilcaniyeu	62	N/A	N/A	N/A	N/A	1984

＜再転換施設＞

会社名	所在地	年間生産能力 (tU)	生産量実績(tU)			生産量累計	操業開始
			2009	2010	2011	2011	
アルゼンチン国家原子力委員会（CNEA）	Cordoba	175	N/A	N/A	N/A	N/A	1984

（出所）　IAEA INFCIS



図2-1 アルゼンチンのウラン転換施設位置図

（出所）　Google Map

アルゼンチンの国内には、アルゼンチン国家原子力委員会（CNEA）が所有・運営する転換施設がPilcaniyeuとCordobaにある。

Pilcaniyeuの転換施設は、同施設に隣接して存在する濃縮施設向けのUF_6を供給しており、IAEA INFCISによれば、年間生産能力は62tUである。
Cordobaの転換施設は、UO_2への再転換施設であり、IAEA INFCISによれば年間生産能力は175tUである。

2-3　ブラジル

ブラジルのウラン再転換施設一覧を表 2-4 に、ウラン再転換施設位置図を図 2-2 に示す。

表2-4 ブラジルのウラン転換施設一覧

＜再転換施設＞

会社名	所在地	年間生産能力 (tU)	生産量実績(tU)			生産量累計	操業開始
			2009	2010	2011	2011	
Industrias Nucleares do Brasil (INB)	リオデジャネイロ州、Rio de Janeiro	160	N/A	N/A	N/A	N/A	1982

（出所）　INBホームページ

図2-2 ブラジルのウラン転換施設位置図



（出所）　Google Map

ブラジルにはIndústrias Nucleares do Brasil (INB)のFábrica de Combustível Nuclear（FCN）に再転換設備があり（能力は 160tU/年）、UO_2粉末に転換されてペレットに加工されている[20]。

[20] INB ホームページ、http://www.inb.gov.br/pt-br/WebForms/Interna2.aspx?secao_id=57

2-4　カナダ

カナダのウラン転換・再転換施設一覧を表 2-5 に、ウラン転換・再転換施設位置図を図 2-3 に示す。

表2-5 カナダのウラン転換施設一覧

＜転換施設＞

会社名	所在地	年間生産能力 (tU)	生産量実績(tU)			生産量累計	操業開始
			2009	2010	2011	2011	
Cameco	オンタリオ州,Port Hope	12,500	12,300	15,400	14,700	N/A	1984

＜再転換施設＞

会社名	所在地	年間生産能力 (tU)	生産量実績(tU)			生産量累計	操業開始
			2009	2010	2011	2011	
Cameco	オンタリオ州,Port Hope	2,800	12,300	15,400	14,700	N/A	1984

（出所）　カメコ社 Fuel Services Fact Sheet 2010 – 2012
なお、表中の生産量実績は、同社の転換・再転換量の総合計である（Port Hope以外に英国Springfieldsにおける転換量を含んでいる）

図2-3 カナダのウラン転換施設位置図



（出所）　カメコ社ホームページ、http://www.cameco.com/fuel_and_power/refining_and_conversion/port_hope/

オンタリオ州にあるPort Hope転換工場は、Cameco社が運営するウラン転換施設であり、カナダにある唯一の転換施設である。

同地では 1935 年からラジウム及びウランの生産を行っていたが、1955 年からUO_3の、1962 年からUO_2の、1970 年から軽水炉向けUF_6の生産を始めている。UO_3については同社のBlind River精錬所との競合のため、Port Hopeでの生産は停止した。

生産容量はUF_6への転換について年間 12,500 トン、UO_2への再転換について年間 2,800 トンとなっている。2011 年の年間生産量は、Cameco社が実施した転換・再転換の総量として 14,700 トンである。なお、表 2-5 に示した年間生産量を含めて、Cameco社の年間生産量には、Springfieldsの転換施設に役務委託して得た転換ウランの数量が含まれている[21]。

この工場はUO_2からUF_6へと転換する際に湿式[22]を用いている世界で唯一の施設である。

---

[21] Cameco, 2011 Annual information form

[22] 溶媒抽出法など、液体溶媒を用いる転換法を「湿式」と総称している。Port Hope では、UO_2粉末をフッ化水素酸と混合する事で、UF_4スラリー（粘土を含む濁水のような懸濁液）に転換している。

2-5　中国

中国のウラン転換施設一覧を表 2-6 に、ウラン転換施設位置図を図 2-4 に示す。

表2-6 中国のウラン転換施設一覧

＜転換施設＞

会社名	所在地	年間生産能力（tU）	生産量実績（tU）			生産量累計	操業開始
			2009	2010	2011	2011	
中国核工業総公司	甘粛省、蘭州市（Lanzhou）	1,000	N/A	N/A	N/A	N/A	1980
	甘粛省、酒泉市（Jiuquan）	500	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A

（出所）　World Nuclear Assosiation



図2-4 中国のウラン転換施設位置図

（出所）　Google map

甘粛省にある蘭州転換工場は、中国核工業総公司（CNNC：China National Nuclear Corporation）が運営するウラン転換施設である。同工場は 1980 年に運転開始したが、World Nuclear Associationでは同施設が現在閉鎖されている可能性を指摘している。なお、年間生産能力に関しては、World Nuclear Associationでは 1,000tUとされている。

また、甘粛省北西部玉門付近の酒泉にもう一つの転換施設があり、World Nuclear Associationによれば年間生産能力は 500tU／年である。

なお、AREVA社によれば、両施設合計の生産能力は、2007 年時点で 2,000tUである[23]。

[23] AREVA IN CHINA(PRESS KIT),, November 2007, http://contractchina2007.areva.com/events_home/liblocal/docs/China%20Press%20kit%20November%202007.pdf

2-6　フランス

フランスのウラン転換・再転換施設一覧を表 2-7 に、ウラン転換・再転換施設位置図を図 2-5 に示す。

表2-7 フランスのウラン転換施設一覧

＜転換施設＞

会社名	所在地	年間生産能力 (tU)	生産量実績(tU)			生産量累計	操業開始
			2009	2010	2011	2011	
AREVA NC	ドローム県、Pierrelatte/Malvési	14,000	13,000	12,850	10,500	N/A	1963
	ドローム県、Pierrelatte/Malvési	15,000	-	-	-	-	2013～2015(予定)

＜再転換施設＞

会社名	所在地	年間生産能力 (tU)	生産量実績(tU)			生産量累計	操業開始
			2009	2010	2011	2011	
AREVA NC	ドローム県、Pierrelatte W	14,000	12,070	12,100	13,000	N/A	1984
	ドローム県、Pierrelatte TU2/TU5	1,600	1,670	985	710	N/A	1984
FBFCインターナショナル (AREVA 子会社)	ドローム県、Romans-sur-Isère	1,400	N/A	N/A	N/A	N/A	1991

(出所)　AREVA NCホームページ、世界の原子力発電開発の動向 2010～2012（日本原子力産業協会）

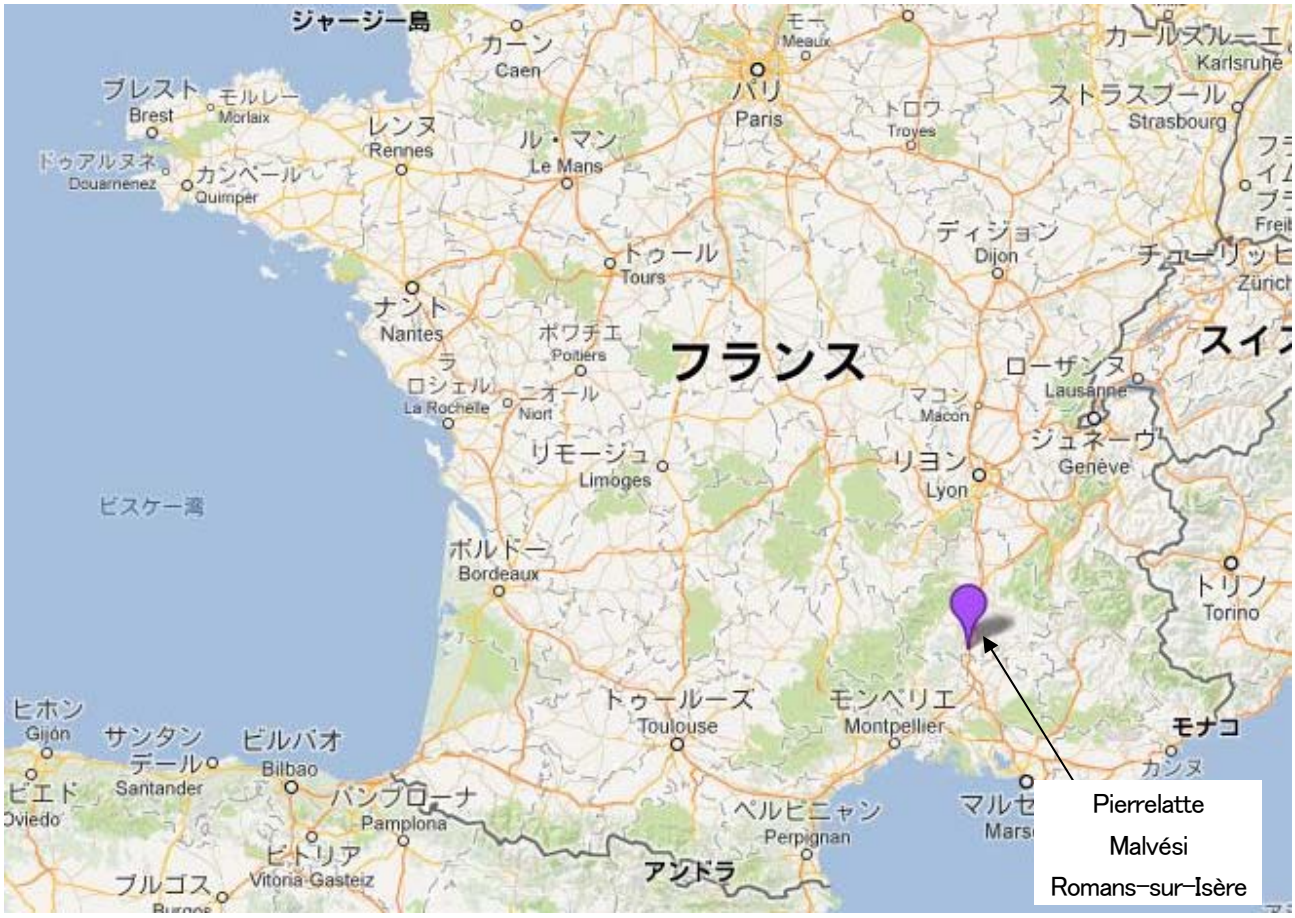


図2-5 フランスのウラン転換施設位置図

(出所)　Google map

ドローム県Narbonne市にあるPierrelatte転換施設は、AREVA子会社のComurhex社が運営するウラン転換施設である。1959 年にウラン精錬企業であるSRU社が設立され、1961 年にPierrelatteの化学企業であるSUCP社が設立された。その後 1971 年にSRU社とSUCP社が合併し、Comurhex社が設立された。同社は 1992 年

にCOGEMAの完全子会社となり、2001 年に新しく設立したAREVA社の傘下に入った。Comurhex社はMalvesiにある工場でウラン精鉱からUF_4の製造までを行い、その後このPierreatte転換工場でUF_4からUF_6への転換を行っている。年間の転換容量は、14,000tUであり、2011 年の生産量実績は 10,500tUである[24]。
AREVA社は需要の増加を見越して転換工場の拡充を計画しており、新たな技術を投入したComurhex IIの建設を計画している。当初生産能力は 15,000tUを予定しており、将来的には 21,000tUまで拡張される予定である。このために、AREVAは 2007 年には 6.1 億ユーロを投じて、計画をスタートさせており、2009 年 7 月に建設が開始されている。Comurhex IIの操業開始は、2013 年～2015 年を計画している[25]。

Pierrelatteではウラン廃棄物からのウランの回収・リサイクル、回収ウラン（LaHagueから硝酸ウランの形で運ばれる）の酸化やUF_6への転換、フッ素の利用も手掛けている。
回収ウランの転換は、年間生産量が 350tUであるTU2 と呼ばれる施設で実施されていたが、2009 年に閉鎖され、現在は 1996 年に生産を開始したTU5 と呼ばれる施設で転換が行われている。年間生産量は 1,600tUであり、2011 年の生産量実績は 710tUである。
Pierrelatte Wには、劣化ウランをUO_2に再転換する施設がある。年間生産量は 14,000tUであり、2011 年の生産量実績は 13,000tUである。
フランスのドローム県Romans-sur-IsèreにあるRomans 工場は、AREVAの子会社であるFranco-Belgian Fuel Fabrication （FBFC）が操業する燃料成型加工施設に併設された再転換施設である。設備容量は 1,400tHMであり、1991 年に操業を開始している。

[24] 生産量実績は、世界の原子力発電開発の動向 2010～2012（日本原子力産業協会）による。
[25] AREVA,
http://www.areva.com/EN/operations-806/the-comurhex-ii-project-modernization-of-the-industrial-conversion-facility.html

2-7　ドイツ

ドイツのウラン再転換施設一覧を表 2-8 に、ウラン再転換施設位置図を図 2-6 に示す。

表2-8 ドイツのウラン転換施設一覧

＜再転換施設＞

会社名	所在地	年間生産能力 (tU)	生産量実績(tU)			生産量累計	操業開始
			2009	2010	2011	2011	
Advanced Nuclear Fuels GmbH (ANF)	ニーダーザクセン州、Lingen	650	N/A	N/A	N/A	N/A	1979

（出所）　IAEA INFCIS



図2-6 ドイツのウラン転換施設位置図

（出所）　Google map

ドイツのニーダーザクセン州にあるLingen工場は、AREVAグループの燃料部門Advanced Nuclear Fuels GmbH（ANF）が運営する再転換・加工施設である。Lingen工場は、1979 年に操業を開始した。これまでに、20,000 体以上の燃料集合体を製造している[26]。

再転換施設では、乾式法を使用してUO_2を製造している。製造能力は 650tHM/年であるが、800tHM/年まで製造能力を拡大する計画がある[27]。

[26] AREVA ホームページ、http://www.areva.com/EN/operations-924/anf-lingen-production-of-components-for-fuel-assemblies.html
[27] AREVA ホームページ、http://de.areva.com/EN/areva-germany-650/advanced-nuclear-fuels-gmbh.html

2-8　インド

インドのウラン再転換施設一覧を表 2-9 に、ウラン再転換施設位置図を図 2-7 に示す。

表2-9 インドのウラン転換施設一覧

＜再転換施設＞

会社名	所在地	年間生産能力 (tU)	生産量実績(tU)			生産量累計	操業開始
			2009	2010	2011	2011	
原子力エネルギー庁(DEA)	アーンドラ・プラデーシュ州、Hyderabad	450	N/A	N/A	N/A	N/A	1972

（出所）　IAEA INFCIS、DEAホームページ

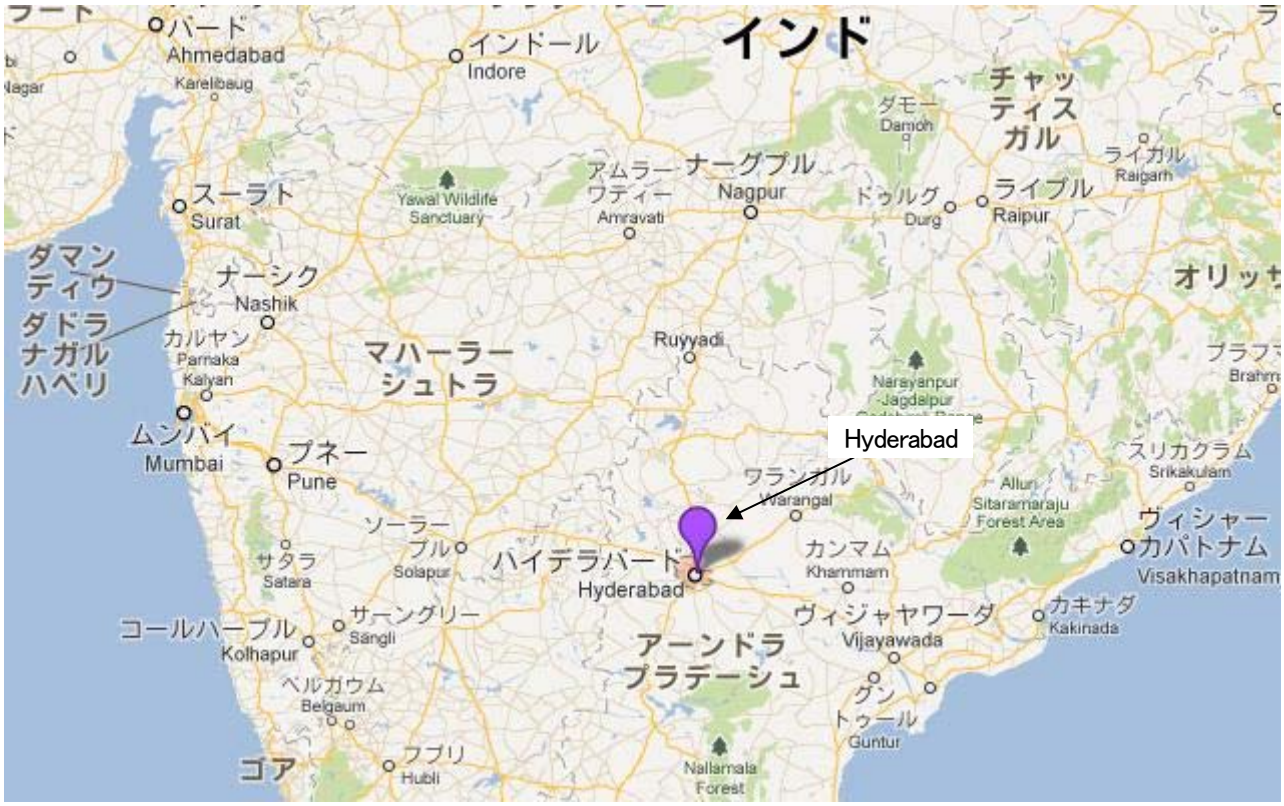


図2-7 インドのウラン転換施設位置図

（出所）　Google Map

アーンドラ・プラデーシュ州、Hyderabad（ハイデラバード）に再転換施設が存在する。IAEA INFCISによれば、原子力エネルギー庁（DEA）が所有・運転しており、1972 年に操業開始、年間生産量 450tUである。なお、国内の重水炉ではウラン濃縮を必要とせず、軽水炉では濃縮されたUF_6を輸入して用いているため、国内にウラン転換施設は存在しない。

2-9　イラン

イランのウラン転換施設一覧を表 2-10 に、ウラン転換施設位置図を図 2-8 に示す。

表2-10 イランのウラン転換施設一覧

＜転換施設＞

会社名	所在地	年間生産能力 (tU)	生産量実績(tU)			生産量累計	操業開始
			2009	2010	2011	2011	
イラン原子力庁	エスファハン州、Esfahan	200	N/A	N/A	N/A	N/A	2006

（出所）　IAEA INFCIS（2009 年版）



図2-8 イランのウラン転換施設位置図

（出所）　Google Map

イラン中央部のエスファハン州にあるEsfahan Nuclear Technology Center内にウラン転換施設が存在する。この施設は 2006 年 7 月から操業を開始しており、設計上の生産容量は 200tUである。2004 年 3 月以降転換されたUF_6の総量は 371 トンであり、その一部が濃縮およびパイロット濃縮プラントに送られた。イランでは 1981 年から 1993 年までTehran Nuclear Research Centre（TNRC）およびEsfahan Nuclear Technology Centre（ENTC）でウラン転換の実験が行われ、更にパルスカラムを含むいくつかの実験が 2002 年初めまで行われてきた。1991 年からイランは海外のサプライヤーと現在のEsfahanに商業規模のウラン転換施設建設の協議を開始し、1990 年代後半に施設の建設が始まった。2004 年 3 月にイランはウラン精鉱をUO_2とUF_4、UF_4をUF_6に転換する試験を開始し[28]、上述の通り 2006 年 7 月から操業を開始している[29]。
なお、2009 年 8 月 10 日以降転換は行われていなかったが、2010 年 9 月 23 日からフル運転を再開する予定である[30]とされるが、その後の状況は不明である。

[28] IAEA「Implementation of the NPT Safeguards Agreement in the Islamic Republic of Iran」2004 年 11 月 15 日
[29] IAEA「Implementation of the NPT Safeguards Agreement in the Islamic Republic of Iran」2006 年 11 月 14 日
[30] IAEA「Implementation of the NPT Safeguards Agreement and relevant provisions of Security Council resolutions in the Islamic Republic of Iran」2010 年 9 月 6 日

2-10　カザフスタン

カザフスタンのウラン転換施設一覧を表 2-11 に、ウラン転換施設位置図を図 2-9 に示す。

表2-11 カザフスタンのウラン転換施設一覧

＜転換施設＞

会社名	所在地	年間生産能力 (tU)	生産量実績(tU)			生産量累計	操業開始
			2009	2010	2011	2011	
カザトムプロム社/カメコ社	Ust-Kamenogorsk	12,000	N/A	N/A	N/A	N/A	2014(予定)

(出所)　Kazatomprom社

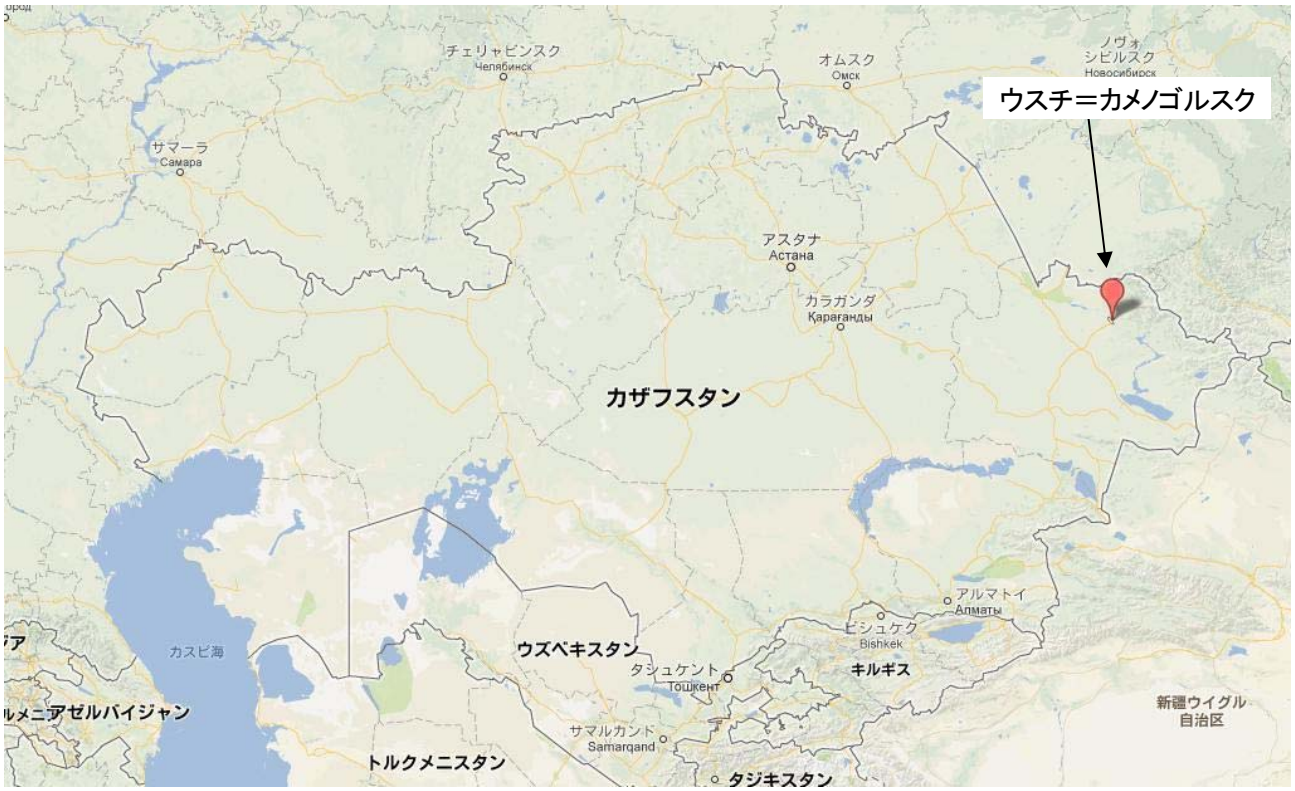


図2-9 カザフスタンのウラン転換施設位置図

(出所)　Google Map

カザフスタン・ウスチ＝カメノゴルスクのUlba転換工場は、Kazatomprom社 51%、Cameco社 49%の出資で計画されているウラン転換施設である。

同工場の建設計画は 2008 年 6 月に発表された。年間生産能力は 12,000tUとされる。この新たな工場は、ロシアとカザフスタンの合弁による濃縮事業に対応することになる。2014 年から 750tUF_6/年の生産開始が計画されている[31]。

[31] カザトムプロム社ホームページ、http://www.kazatomprom.kz/en/pages/Conversion

2-11　パキスタン

パキスタンのウラン再転換施設一覧を表 2-12 に、ウラン再転換施設位置図を図 2-10 に示す。

表2-12 パキスタンのウラン転換施設一覧

＜再転換施設＞

会社名	所在地	年間生産能力 (tU)	生産量実績(tU)			生産量累計	操業開始
			2009	2010	2011	2011	
パキスタン原子力委員会(PAEC)	Islamabad	不明	N/A	N/A	N/A	N/A	1986

（出所）　IAEA INFCIS



図2-10 パキスタンのウラン転換施設位置図

（出所）　Google Map

IAEA INFCISによれば、パキスタンの首都、イスラマバードに、パキスタン原子力委員会（PAEC）が所有・運営する転換施設が存在するとされている。1986 年に操業を開始した、UO_2 への転換（再転換）施設であるとされるが、年間生産量及び現在の操業状況等に関する情報は無い。

2-12　韓国

韓国のウラン再転換施設一覧を表 2-13 に、ウラン再転換施設位置図を図 2-11 に示す。

表2-13 韓国のウラン転換施設一覧

＜再転換施設＞

会社名	所在地	年間生産能力 (tU)	生産量実績(tU)			生産量累計	操業開始
			2009	2010	2011	2011	
韓電原子力燃料(KEPCO NF)	大田	600	N/A	N/A	N/A	N/A	1990

（出所）　韓国水力原子力会社（KHNP）、IAEA Country Nuclear Fuel Cycle Profile Second Edition

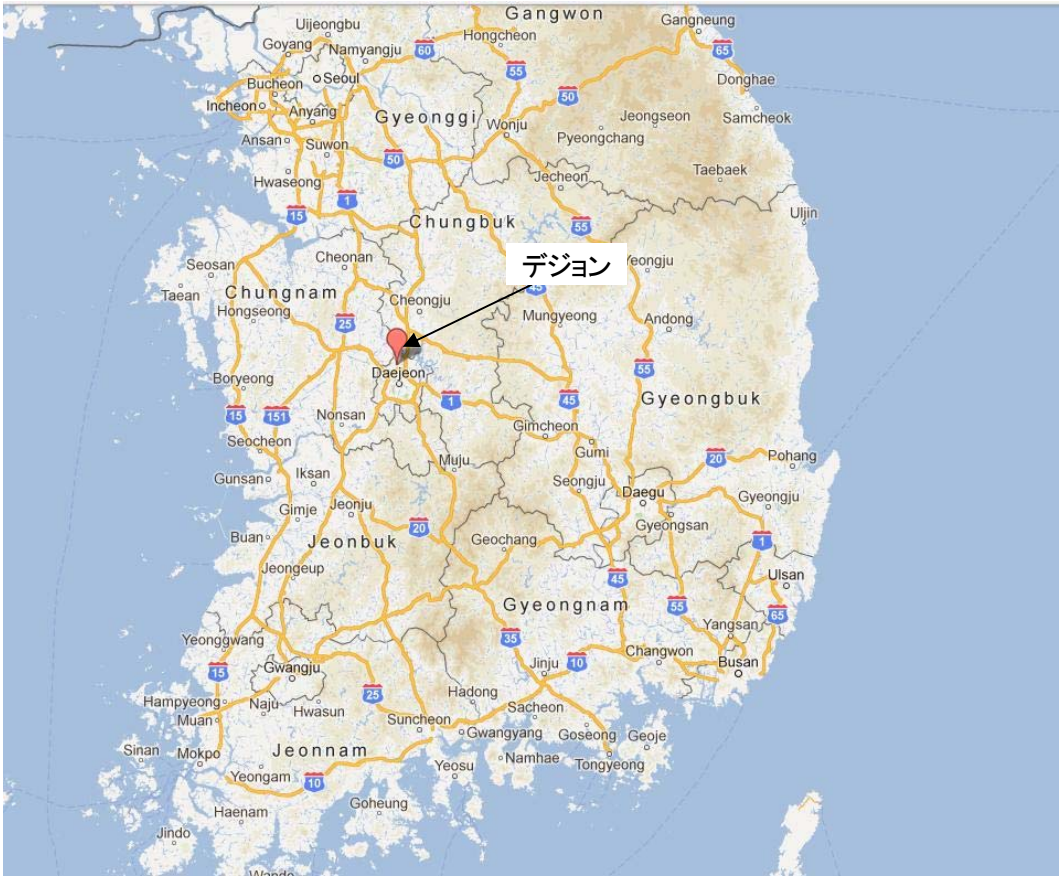


図2-11 韓国のウラン転換施設位置図

（出所）　Google Map

韓国・デジョン（大田）にある再転換施設は、燃料成型加工施設に併設されており、韓国原子力燃料(KEPCO Nuclear Fuel Co, KEPCO NF)が運営している。1990 年に操業を開始しており、乾式の再転換方式を採用している[32]。

KHNP（韓国水力原子力会社）によれば、再転換能力は 300tHM/年であったが、2009 年に燃料体製造能力を増強したことに併せて、再転換能力も 600tHM/年まで強化されている[33]。

[32] IAEA Country Nuclear Fuel Cycle Profile Second Edition
[33] KHNP、http://www.khnp.co.kr/nutech/upload/McKinsey%20data-KHNP.doc

2-13　ロシア

ロシアのウラン転換・再転換施設一覧を表 2-14 に、ウラン転換・再転換施設位置図を図 2-12 に示す。

表2-14 ロシアのウラン転換施設一覧

＜転換施設＞

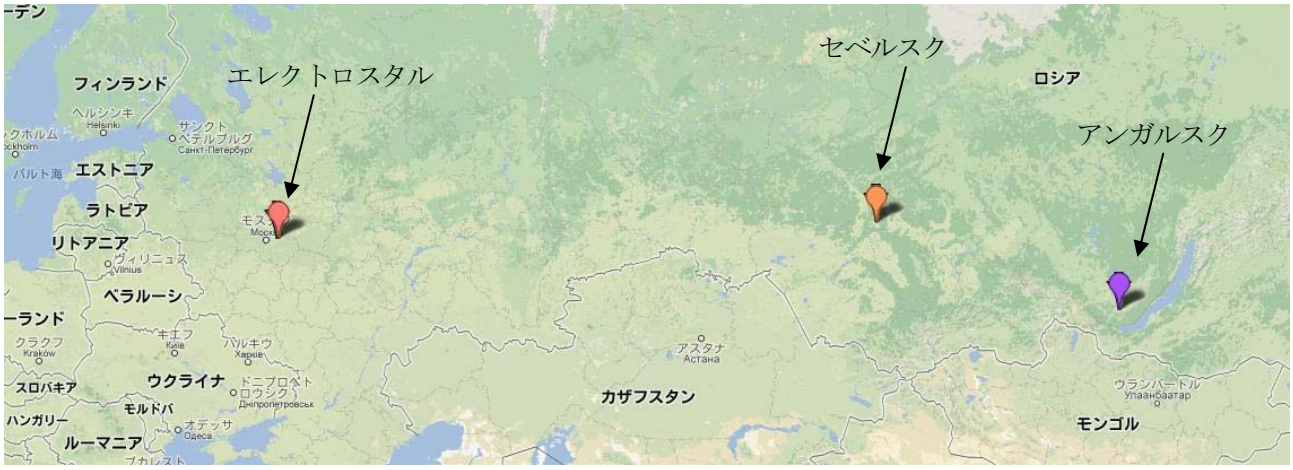
会社名	所在地	年間生産能力 (tU)	生産量実績(tU)			生産量累計	操業開始
			2009	2010	2011	2011	
アトムエネルゴプロム(アンガルスク電解化学コンビナート)、TVEL	イルクーツク州、Angarsk	18,700**	N/A	N/A	N/A	N/A	1954
アトムエネルゴプロム(シベリア化学コンビナート)、TVEL	トムスク州、Seversk	不明***	N/A	N/A	N/A	N/A	1953
アトムエネルゴプロム(エレクトロスタル)、TVEL**	モスクワ州、Elektrostal	700**	N/A	N/A	N/A	N/A	1949

＜再転換施設＞

会社名	所在地	年間生産能力 (tU)	生産量実績(tU)			生産量累計	操業開始
			2009	2010	2011	2011	
Fuel Company of Rosatom TVEL	モスクワ州、Elektrostal	1,200	1,200	1,200	N/A	N/A	1965
	ノヴォシビルスク州、Nobosibirsk	700	500	700	N/A	N/A	1979

（出所）　原子力ポケットブック 2012(電気新聞)、世界の原子力発電開発の動向（日本原子力産業協会）
*WNA Market Report 2009 によると、ロシア全体の転換設備容量は 25,000tUであるが、実態としては 12,000～18,000tU程度であるとされている。
**出所：World Nuclear Assosiation
***原子力ポケットブックによれば、Angarskと合計して 15,000 t Uとある。

＜転換施設＞



＜再転換施設＞



図2-12 ロシアのウラン転換施設位置図

（出所）　Google map

ロシアの転換、濃縮、再転換、燃料製造はロスアトム傘下のTVELがその全てを担っている。TVELに関する詳細は、2 章参照。
イルクーツク州アンガルスクにあるAngarskiy Electrolysis Chemical Plant (AECP)は 1954 年に設立された転換施設である。生産容量は 18,700tUである。
トムスク州セベルスクにあるシベリア化学コンビナート社は、1953 年に設立された転換施設である。生産容量は不明。
モスクワ州エレクトロスタルにあるMSZ (Machine Building Plant : "Elemash")は、1949 年に設立された転換施設である。生産容量は 700tUである。

モスクワ州、エレクトロスタル（Elektrostal）にある再転換施設は、燃料成型加工施設に併設されたLWR向け燃料の再転換を行う施設で、1965 年に設立された。生産容量は 1,200tUである。
ノヴォシビルスク州、ノヴォシビルスク（Nobosibirsk）にある再転換施設は、同じく燃料成型加工施設に併設されたVVER-1000 向け燃料の再転換を行う施設で、1979 年に設立された。生産容量は 700tUである。

2-14　イギリス

イギリスのウラン転換・再転換施設一覧を表 2-15 に、ウラン転換・再転換施設位置図を図 2-13 に示す。

表2-15 イギリスのウラン転換施設一覧

＜転換施設＞

会社名	所在地	年間生産能力 (tU)	生産量実績(tU)			生産量累計	操業開始
			2009	2010	2011	2011	
ウエスティングハウス UK	ランカシャー州、Springfields	5,000	N/A	4,719	～5,000	N/A	1993

＜再転換施設＞

会社名	所在地	年間生産能力 (tU)	生産量実績(tU)			生産量累計	操業開始
			2009	2010	2011	2011	
ウエスティングハウス UK	ランカシャー州、Springfields	550	N/A	N/A	N/A	N/A	1993

（出所）　原子力ポケットブック 2012(電気新聞)、ウエスティングハウスUK社、生産量実績は世界の原子力発電開発の動向 2010～2012（日本原子力産業協会）

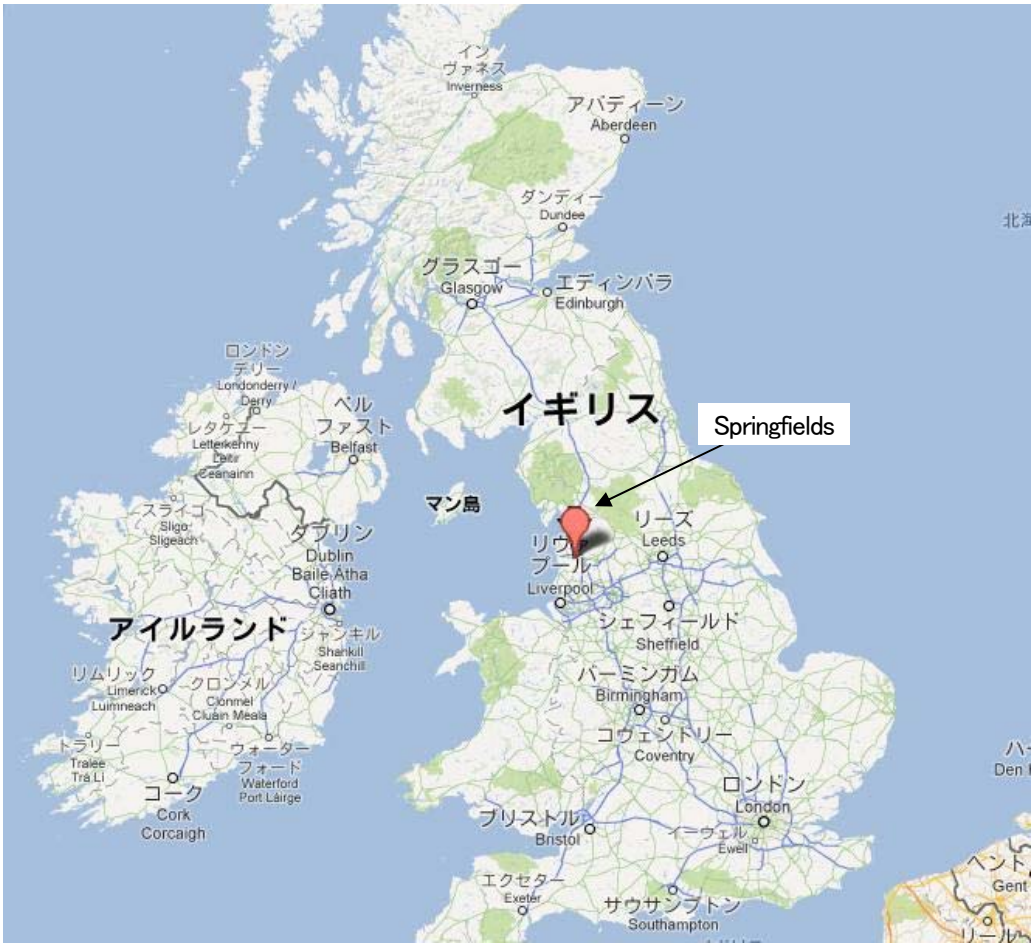


図2-13 イギリスのウラン転換施設位置図

（出所）　Google Map

ランカシャー州にあるSpringfields転換施設は、原子力廃止措置機構（NDA：Nuclear Decommissioning Authority）が所有する転換施設である。

同施設は 1946 年に英国原子力計画の下で設立されており、当初は英国原子力公社（UKAEA）が運営主体となって、AGR燃料・Magnox燃料の製造、UF_6への転換役務サービスを行っていた。その後 1971 年にBNFLに移管され、1996 年にはBNFLはWestinghouseに操業させるようになった。2005 年 4 月 1 日の組織再編に

より、Springfieldsサイトの資産と負債は新しい政府の組織であるNDAに移管され、現在はNDAの管理下にある。
Springfieldsの転換施設を運転するライセンスを持つ会社は、2005 年の組織再編により設立された Springnelds Fuels Limitedであり、実際に施設を操業する会社はウエスティングハウスUK（Westinghouse Electric UK Limited：WH UK）である。2010 年にWH UKはNDAと長期リース契約を締結し、現在は Springfields Fuels Limitedを通じて、WH UKが操業を行っている。
WH UKによれば、Springfieldsにおける主な活動は以下の 4 点である[34]。

- AGR及びLWR向けの酸化燃料及び粉末・粒子・ペレット状の燃料製品製造
- フッ化物ウランの製造
- （ウラン）残渣の加工
- 余剰設備及び建物の廃止措置と解体

UF_6 の年間生産能力は 5,000tUである。世界の原子力発電開発の動向 2011 によれば、2010 年の転換量実績は 4,719tUである。
UO_2 への年間再転換能力は 550tUである。
なお、NDAによれば、ウラン残渣からの年間転換能力は 65tUである[35]。

[34] Westinghouse ホームページ、http://www.westinghousenuclear.com/ProductLines/Nuclear_Fuel/springfields_site.shtm
[35] NDA, Annual Report & Accounts 2008/2009
なお、ウラン残渣がどの工程から生じたものであるかについての記載は無いが、ペレット加工によって生じた破片等であると考えられる。

2-15　アメリカ

アメリカのウラン転換・再転換施設一覧を表 2-16 に、ウラン転換・再転換施設位置図を図 2-14 及び図 2-15 に示す。

表2-16 アメリカのウラン転換施設一覧

＜転換施設＞

会社名	所在地	年間生産能力 (tU)	生産量実績(tU)			生産量累計	操業開始
			2009	2010	2011	2011	
コンバーダイン	イリノイ州、Metropolis	17,600	10,000	N/A	N/A	N/A	1964

＜再転換施設＞

会社名	所在地	年間生産能力 (tU)	生産量実績(tU)			生産量累計	操業開始
			2009	2010	2011	2011	
Areva NP	ワシントン州、Richland	1,700	N/A	N/A	N/A	N/A	1970
GNF-Americas	ノースカロライナ州、Wilmington	1,200	N/A	N/A	N/A	N/A	1982

（出所）　コンバーダイン社、AREVA社、生産量実績は世界の原子力発電開発の動向（日本原子力産業協会）

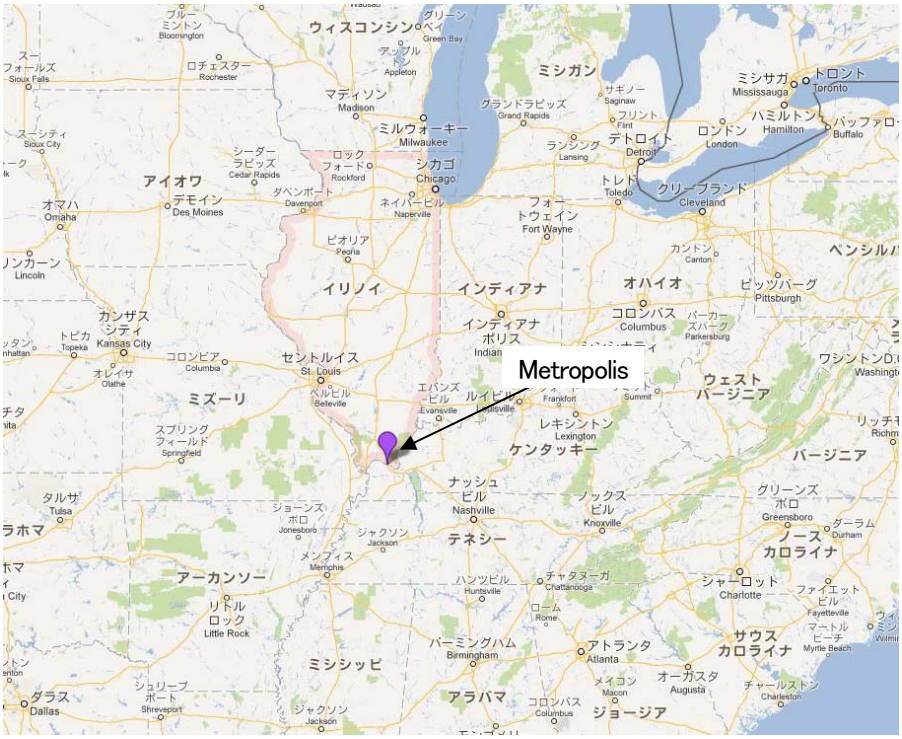


図2-14 アメリカのウラン転換施設（コンバーダイン）位置図

（出所）　Google Map

イリノイ州にあるMetropolis転換工場は、ConverDyn社が運営する米国で唯一のウラン転換施設である。ここで転換されたUF_6は、USECのPaducah濃縮工場および国外の供給先に供給されている。

このMetropolis転換工場は、1950 年代半ばに米国原子力委員会（AEC：Atomic Energy Commission）が軍事用原子燃料の供給確保のため転換工場の建設を検討開始、1958 年に完成した。1964 年に一度運転停止、その後 1968 年に運転を再開している。年間生産能力は 1969 年時点で 9,000tU、その後 1975 年に 11,500tU、1995 年に 12,700 tU、2001 年に 14,000 tU、2007 年に 15,000 tUと拡張を続けた[36]。なお、ConverDyn社に

[36] コンバーダインホームページ、http://www.converdyn.com/metropolis/mtwhistory.html

よれば、年間生産能力 15,000tUは実質の年間生産能力であり、名目上の年間生産能力（name plate capacity）は 17,600tUである。
当初 1959 年から 1964 年にかけてAllied Signal Inc.により操業されていたが、1964 年の運転停止後、1968 年に再開する際には同社から転じたHoneywell社とGeneral Atomics社とが折半出資した合弁企業であるConverDyn社が操業を行い、現在に至っている。
転換方式は乾式（Honeywell社が開発したフッ化物揮発法：dry fluoride volatility conversion process）を採用している。具体的な工程は次の 5 段階である。

- Sizing（粒度調整）
- Reduction（還元）
- Hydroflourination（HFフッ化）
- Flourination（F2 フッ化）
- Distillation（蒸留精製）

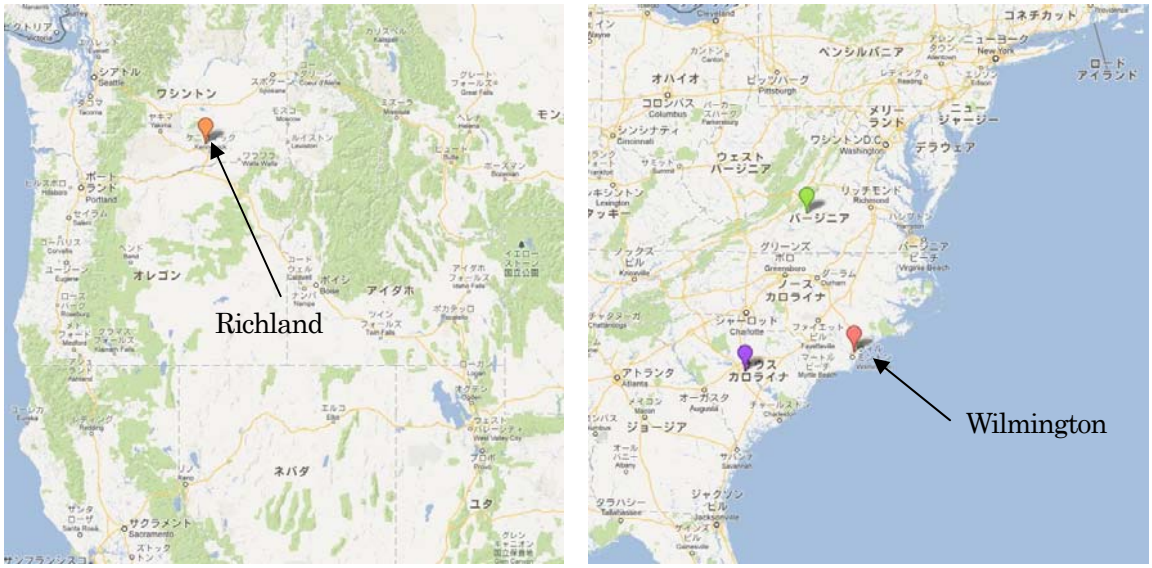


図2-15 アメリカのウラン再転換施設位置図

（出所） Google Map

米国ワシントン州の南部ベントン郡にあるRichland工場は、AREVA NP社が運営する再転換施設と加工施設である。この施設は、1970 年より操業を開始しており、年間製造能力は 1700tHMである。
再転換施設では、乾式法（気体であるUF_6を溶媒に溶解させることなく、水素等で還元させることでUO_2粉末を得る方法）を使用してUO_2粉末を製造している。Richland工場はAREVA社の工場であるため、使用している製造機器はフランスのRomans工場で使用されている機器と同様であり、製造工程もRomans工場と同様である。なお、同工場では、乾式の再転換方式を採用していることで、湿式の再転換に伴って発生する液体廃棄物が発生せず、環境負荷の低減に貢献している[37]。

ノースカロライナ州ウィルミントンにあるWilmington工場は、GNF-Americasが運営する再転換施設と加工施設である。この施設は、1982 年より操業を開始しており、年間製造能力は 1,200tHMである[38]。
当初、GE（General Electric）により操業されていたが、2000 年にGEと日立、東芝が合弁でGNF（Global Nuclear Fuel）社を設立したことに伴い、GNF-Americasの所有となった。再転換施設では乾式法を使用してUO_2粉末を製造している。

[37] AREVA ホームページ、http://us.areva.com/EN/home-427/fuel-production.html
[38] IAEA INFCIS による。

3. 濃縮施設

3-1 施設一覧

世界の主要なウラン濃縮施設を国別・企業別に表 3-1 に示す。

表3-1 世界のウラン濃縮施設一覧

国名	会社名	所在地	濃縮法	年間生産容量（tSWU／年）	操業開始
アルゼンチン	アルゼンチン国家原子力委員会（CNEA）	リオネグロ州、Pilcaniyeu（ピルカニエウ）	ガス拡散法	20	N/A
ブラジル	ブラジル原子力工業（INB）	リオデジャネイロ州、Resende Fábrica de Combustível Nuclear	遠心分離法	120	2005
中国	中国核工業総公司（CNNC）	甘粛省、蘭州	遠心分離法	500	2005
		陝西省、漢中	遠心分離法	1,000	1997
Eurodif（フランス他4カ国）	Eurodif （AREVA NC他）	ジョルジュベス（ドローム州トリカスタン）	ガス拡散法	10,800	1979
フランス	AREVA NC	ジョルジュベスII（ドローム州トリカスタン）	遠心分離法	2,500	2011
インド	インド原子力庁	Ratnahalli（カルナータカ州）	遠心分離法	25	N/A
イラン	-	エスファン州、ナタンツ(Natanz)	遠心分離法	不明	N/A
	-	ゴム州、ゴム（Qom）	遠心分離法		N/A
日本	日本原燃	青森県六ヶ所村	遠心分離法	1,050	1992
北朝鮮	-	平安北道、寧辺郡、西位里	遠心分離法	不明	N/A
	-	平安北道、東倉郡	遠心分離法	不明	N/A
パキスタン	パキスタン原子力委員会（PAEC）	パンジャブ州クンディアン	不明	N/A	N/A
ロシア	アンガルスク電解化学コンビナート	イルクーツク州アンガルスク	遠心分離法	2,500	1954
	ウラル電気化学コンビナート	スヴェルドロフスク州ノヴォウラルスク	遠心分離法	13,200	1949
	生産合同電気化学コンビナート	クラスノヤルスク地方ゼレノゴルスク	遠心分離法	7,800	1964
	シベリア化学コンビナート	トムスク州セヴェルスク	遠心分離法	3,700	1953
イギリス オランダ ドイツ	Urenco	チェシャー州カーペンハースト（英）	遠心分離法	5,000	1972
		ノルトライン＝ヴェストファーレン州グロナウ（独）	遠心分離法	4,200	1985
		オーファーアイセル州アルメロ（蘭）	遠心分離法	5,000	1972
アメリカ	USEC	ケンタッキー州、パデューカ	ガス拡散法	11,300	1960年代半ば
		オハイオ州、パイクトン（American Centrifuge Plant）	遠心分離法	3,800	未定
	Urenco	ニューメキシコ州、ユーニス（Louisiana Energy Services）	遠心分離法	400	2010
	AREVA NC	アイダホ州、アイダホフォールズ（Eagle Rock）	遠心分離法	6,600	2014
	GE Hitachi Nuclear Energy	ノースカロライナ州、ウィルミントン（Global Laser Enrichment）	レーザー法	6,000	N/A
	Louisiana Energy Services	ルイジアナ州、クレイボーン	遠心分離法	1,500	N/A

（出所） 原子力ポケットブック 2012（電気新聞）、世界の原子力発電開発の動向 2010～201（日本原子力産業協会）2 等各種資料より作成

3-2　アルゼンチン

アルゼンチンのウラン濃縮施設一覧を表 3-2 に、ウラン濃縮施設位置図を図 3-1 に示す。

表3-2 アルゼンチンのウラン濃縮施設一覧

会社名	所在地	濃縮法	年間生産容量（tSWU／年）	生産量実績（tSWU）			濃縮量累計	操業開始
				2009	2010	2011	2011	
アルゼンチン国家原子力委員会（CNEA）	リオネグロ州、Pilcaniyeu（ピルカニエウ）	ガス拡散法	20	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A

（出所）　WISE Uranium Project



図3-1 アルゼンチンのウラン濃縮施設位置図

（出所）　Google Map

アルゼンチンではリオネグロ州Pilcaniyeuにおいて、同国の技術会社INVAP[39]がRio Negro州でCNEA向けに20tSWU/年の小規模なガス拡散型ウラン濃縮プラントを運転していた。この運転は 1983 年から 1989 年まで続いたが、信頼性に欠け、非常に低い濃度の濃縮しか出来なかった[40]。

2006 年 8 月に発表された原子力計画では、ウラン濃縮を再開する計画が出され、Río Negro州PilcaniyeuのComplejo Tecnológico Pilcaniyeu（CTP）に、先進的で競争力のあるガス拡散型ウラン濃縮技術SIGMA（Separación Isotópica Gaseosa por Métodos Avanzados）を使ったパイロットプラントが計画されている。原子力計画では 2007 年にパイロットプラントを建設し、その後能力を 3,000tSWU/年に拡張するスケジュールとなっている[41]。SIGMAの実験装置を図 3-2 に示す。

2010 年 10 月、アルゼンチン大統領はPilcaniyeuで演説を行い、CTPは間もなく稼動し 2011 年には最初の濃縮ウランのサンプルを製造できるようになると報じられていた[42]が、IAEA INFCISによれば、2012 年後半か

[39] INVAP の株主は Rio Negro 州（100%）。
[40] Nuclear Power in Argentina：http://www.world-nuclear.org/info/inf96.html
[41] Nuclear Power in Argentina：http://www.world-nuclear.org/info/inf96.html および
CNEA ホームページ：http://www.cnea.gov.ar/proyectos/enriqueimiento_uranio.php
[42] Buenos Aires Herald「CFK promises nuclear plants works to be ready by 2011, first enriched uranium sample」2010 年 10 月

ら 2013 年頃までに稼動する見込みは無い、としている。なお、CNEAは稼働状況に関して言及していない。

図3-2 SIGMAの実験装置





Vortex Tube

3-3　ブラジル

ブラジルのウラン濃縮施設一覧を表 3-3 に、ウラン濃縮施設位置図を図 3-3 に示す。

表3-3 ブラジルのウラン濃縮施設一覧

会社名	所在地	濃縮法	年間生産容量（tSWU／年）	生産量実績（tSWU）			濃縮量累計	操業開始
				2009	2010	2011	2011	
ブラジル原子力工業（INB）	リオデジャネイロ州Resende　Fábrica de Combustível Nuclear	遠心分離法	120	N/A	N/A	N/A	N/A	2005

（出所）　INBホームページ、World Nuclear Association



図3-3 ブラジルのウラン濃縮施設位置図

（出所）　Google Map

リオデジャネイロ州にあるResende濃縮工場(Fábrica de Combustível Nuclear de Resende: FCN)は、サンパウロ海軍技術センターCTMSP（Centro Tecnológico da Marinha em São Paulo）で開発され、ブラジル原子力工業(INB)が運営するウラン濃縮施設である。

同濃縮工場は 2006 年に最初のモジュールが完成した。プロジェクトの第 1 フェーズは 4 つのモジュールに 10 のカスケードで構成され、設備容量は 115tSWU/年。INBは 2012 年 9 月末に第 1 フェーズの施設設置を完了しており、これが稼動することで、同国のAngra I 原子力発電所の濃縮ウラン必要量の 100%、Angra II 原子力発電所の濃縮ウラン必要量の 20%を賄えるようになるとしている[43]。濃縮技術は、遠心分離法である。

第 2 ステージでは設備容量は 200tSWU/年となる見込みである。ここで用いられる遠心分離技術はブラジル国内で開発されたもので、Urencoの技術に極めて似ている[44]。

[43] INB ホームページ：http://www.inb.gov.br/pt-br/WebForms/interna2.aspx?campo=2532

[44] Nuclear Power in Brazil：http://www.world-nuclear.org/info/inf95.html

3-4　中国

中国のウラン濃縮施設一覧を表 3-4 に、ウラン濃縮施設位置図を図 3-4 に示す。

表3-4 中国のウラン濃縮施設一覧

会社名	所在地	濃縮法	年間生産容量（tSWU／年）	生産量実績（tSWU）			濃縮量累計	操業開始
				2009	2010	2011	2011	
中国核工業総公司（CNNC）	甘粛省、蘭州	遠心分離法	500	N/A	N/A	500	N/A	2005
	陝西省、漢中	遠心分離法	1,000	N/A	N/A	1,000	N/A	1997

（出所）　電気事業連合会、原子力エネルギー図面集 2011



図3-4 中国のウラン濃縮施設位置図

（出所）　Google Map

甘粛省にある蘭州濃縮工場及び陝西省にある漢中濃縮工場は、ともにCNNCが運営するウラン濃縮施設である。蘭州濃縮工場は1960年代に、漢中濃縮工場は1996年に操業を開始した。生産容量は蘭州濃縮工場が500tSWU/年、漢中濃縮工場が1000tSWU/年である。

当初、旧ソ連からの技術移入により蘭州においてガス拡散法による濃縮工場が稼動していた。これは1997年に運転が中止され、それに代って陝西省漢中市に1996年より遠心分離法による工場が稼動した。現在は500tSWU/年の濃縮役務容量を有している。その後蘭州市には新たに遠心分離法の工場が建設され、これも現在稼働中となっている。なお、2013年2月には、蘭州で新たに国産の遠心分離機が備え付けられたと報じられている[45]が、設備容量等の詳細は報じられていない。

2007年11月、ロシアのTENEX社と中国原子能工業公司との間で、漢中に500tSWU/年規模の遠心分離濃縮工場を建設し、それにあたってロシアが技術支援を行うという枠組み協定が調印された。2008年5月には、総額10億ドルの建設契約が正式に結ばれている。中国核工業集団公司の邱建剛・副総経理は、ウラン濃縮についても国産化を進める方針のもと、外国の市場もにらみつつ今後2020年にかけてウラン濃縮能力の拡張を行い、中国がアジアのウラン濃縮センターとしての地位を確立する考えを明らかにしている[46]。

45 新華社、2013/2/24、World Nuclear News 2013/2/25

46 「全方位立体経営確保核電発展的燃料供応」、中国核工業雑誌第七期、2008/9/9

3-5　EURODIF（フランス、イタリア、ベルギー、スペイン、イラン）

EURODIFのウラン濃縮施設一覧を表 3-5 に、ウラン濃縮施設位置図を図 3-5 に示す。

表3-5 EURODIFのウラン濃縮施設一覧

会社名	所在地	濃縮法	年間生産容量（tSWU／年）	生産量実績（tSWU）			濃縮量累計	操業開始
				2009	2010	2011	2011	
Eurodif（AREVA NC他）	ジョルジュベス(ドローム州トリカスタン)	ガス拡散法	10,800	N/A	N/A	N/A	N/A	1979

（出所）　原子力ポケットブック 2012(電気新聞)

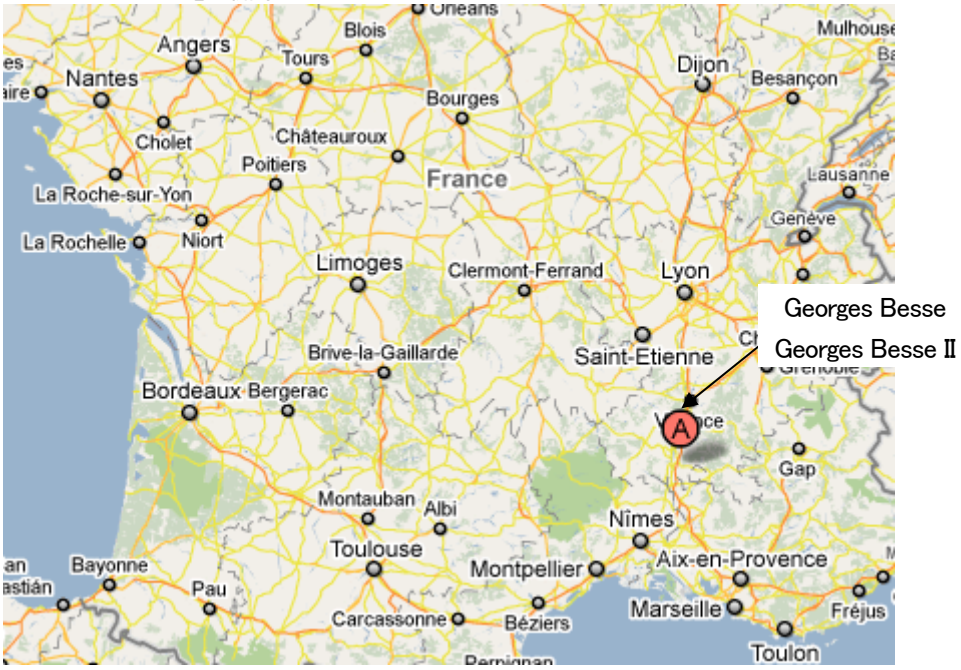


図3-5 EURODIFのウラン濃縮施設位置図

（出所）　Google Map

ドローム州TricastinにあるGeorges Besse濃縮工場は、AREVA社の子会社EURODIF社が運営するウラン濃縮施設である。EURODIF社は 1973 年にフランスと、イタリア、ベルギー、スペイン、イラン（当初はスウェーデン）の共同出資で設立され、現在は株式の 59.3%をAREVA社が、その他を海外の事業者が保有する。Georges Besse濃縮工場の実際の運営は、EURODIFの子会社であるEURODIF productionが行っている。同工場は、1979 年にガス拡散方式を用いたウラン濃縮工場として運転を開始、生産能力は 1982 年において 1,100tSWU/年であった。30 年の間安定した運転を続け、1,500tSWU/年を超える生産を行なってきた。現在、同工場は 1,400 のカスケードプロセスが 70 のグループに分けられており、最大生産能力が 10,800t SWU/年となっている。濃縮方法は、ガス拡散法である。

Georges Besse濃縮工場は、ガス拡散法を採用していることから、エネルギー効率がよくないことと、老朽化が進んでいることから、AREVAはGeorges Besseを閉鎖し、後述するGeorges Besse Ⅱでの生産に移行する計画である[47]。

[47] AREVA Refference Document 2011

3-6　フランス

フランスのウラン濃縮施設一覧を表 3-6 に示す。

表3-6 フランスのウラン濃縮施設一覧

会社名	所在地	濃縮法	年間生産容量（tSWU／年）	生産量実績（tSWU）			濃縮量累計	操業開始
				2009	2010	2011	2011	
AREVA NC	ジョルジュベスII(ドローム州トリカスタン)	遠心分離法	2,500	N/A	N/A	N/A	N/A	2011

（出所）　AREVA NC

上述したドローム州TricastinのGeorges Besse に隣接するGeorges Besse II（図 3-5 参照）は、AREVA社の子会社SET(Société d’ Enrichissement du Tricastin)社が運営するウラン濃縮施設である。

同工場は 2009 年 12 月に試験運転が実施され、最初の濃縮役務を実施した後、2010 年 12 月 14 日に本格操業を開始した[48]。2012 年末時点の生産能力は、2,500tSWU/年である。2 つの濃縮ユニットをもつ工場としてフル操業が可能となる 2016 年には、生産能力 7,500MTSWU/年に到達する見込みである[49]。
AREVAは、同工場の総費用は 30 億ユーロと見込んでおり、同工場の完成に合わせて段階的に現行のGeorges Besseの役割を引き継いでいく事になる。このプロジェクトにはAREVA NCのほか、フランスのエネルギー企業GDF-Suez、関西電力等の日本企業、韓国水力・原子力公社が出資している。各社の出資比率及びスキームを表 3-7 に示す。

表3-7 Georges Besse II出資スキーム

会社名							プロジェクト持分
SET Holdings	88.0%	Areva NC					88.0%
	5.0%	GDF Suez/COGAC					5.0%
	4.5%	Japan France Enrichment Investing	55.6%	Kansai Sojiz Enrichment Investing	80.0%	関西電力(株)	2.0016%
					20.0%	双日(株)	0.5004%
			44.4%	Kyushu Tohoku Enrichment Investing	50.0%	九州電力(株)	0.9990%
					50.0%	東北電力(株)	0.9990%
	2.5%	KHNP					2.5%
合計	100.0%						100.0%

（出所）　関西電力他各社プレスリリースより作成

[48] AREVA プレスリリース、2010/12/14
[49] AREVA ホームページ

3-7　インド

インドのウラン濃縮施設一覧を表 3-8 に、ウラン濃縮施設位置図を図 3-6 に示す。

表3-8 インドのウラン濃縮施設一覧

会社名	所在地	濃縮法	年間生産容量（tSWU／年）	生産量実績（tSWU）			濃縮量累計	操業開始
				2009	2010	2011	2011	
インド原子力庁	Ratnahalli（カルナータカ州）	遠心分離法	25	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A

（出所）　原子力ポケットブック 2012(電気新聞)



図3-6 インドのウラン濃縮施設位置図

（出所）　Google Map

カルナータカ州マイソールの近くRatnahalliにある原子力庁Rare Materials Plantにおいて、小規模の遠心分離濃縮施設の運転が行なわれている。これは一時的には潜水艦を含む軍事用途であるが、研究用原子炉にも供給されている。

本施設は 1990 年頃に運転を開始し、現在 25tSWU/年まで拡張されており、更に 2016 年までに 30MTSWU/年を達成するという目標を立てていると報じられている[50]。

なおWorld Nuclear Associationによれば、この他にいくつかの研究開発用の遠心分離機がMaharashtra 州Mumbai郊外Trombayにある原子力庁Bhaba Atomic Research Centre（BARC）の施設内にある[51]。

[50] http://www.wise-uranium.org/epasi.html#RATNAHALLI
[51] World Nuclear Association, Nuclear Power in India：http://www.world-nuclear.org/info/inf53.html

3-8　イラン

イランのウラン濃縮施設一覧を表 3-9 に、ウラン濃縮施設位置図を図 3-7、図 3-8 に示す。

表3-9 イランのウラン濃縮施設一覧

会社名	所在地	濃縮法	年間生産容量（tSWU／年）	生産量実績（tSWU）			濃縮量累計	操業開始
				2009	2010	2011	2011	
-	エスファン州、ナタンツ(Natanz)	遠心分離法	不明	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
-	ゴム州、ゴム（Qom）	遠心分離法		N/A	N/A	N/A	N/A	N/A

（出所）　原子力ポケットブック 2012(電気新聞)

3-8-1　Natanz濃縮工場



図3-7 Natanz濃縮工場の位置図

（出所）　Google Map

エスファハン州Natanzにある濃縮工場は、イランが推進するウラン濃縮施設であり、2001 年から建設が開始され、2006 年に濃縮に成功したと報道された。正確な年間生産容量は不明である。

イランでは 1985 年にガス遠心分離法濃縮を手がけ始められ、1987 年にパキスタン 1 型遠心分離機[52]（以下、P-1 遠心分離機）・部品を入手した。遠心分離法のテストはTehran Nuclear Research Centre（TNRC）で 1988 年から開始され、1995 年まで継続された。そしてこれらの活動はAtomic Energy Organization of Iran（AEOI）傘下のKalaye Electric Companyの工場に移された。1994 年から 1996 年の間、イランは別のP-1 遠心分離機の設計書および 500 台の遠心分離機の部品を入手し、またこの時期、パキスタン 2 型遠心分離機（以下、P-2 遠心分離機）の設計書も入手した。1997 年から 2002 年の間、イランはKalaye Electric Company の工場で P-1 遠心分離機を組み立て、試験を行ない、1999 年にここでUF_6ガスが初めて遠心分離機に投入され、2002 年には相当量の核燃料が遠心分離機に投入された（最大 19 台）。

[52] P-1 遠心分離機：長さ 2m で、4 つの短いアルミチューブが 3 つのマルエージング鋼製ふいご（bellows）に接続されている。回転数は通常、330m/秒。（http://iranprimer.usip.org/blog/2011/jan/18/iran%E2%80%99s-nuclear-setbacks-key-us-diplomacy）

2001年、イランはU-235を5%まで濃縮するために約1,000台の遠心分離機を備える計画の小規模のパイロット濃縮プラント（PFEP[53]）、およびU-235を5%まで濃縮するために50,000台以上のP-1遠心分離機を備える計画の大規模商業濃縮プラント（FEP[54]）、合計2つのプラントの建設をNatanzで開始した[55]。
PFEPはR&D用の施設および低濃縮ウラン（U-235を20%まで濃縮）の生産を行うパイロット施設であり、2003年10月に運転を開始した。PFEPには6つのカスケード（カスケード1～6）を備えたホールがあり、それぞれのカスケードには164台の機械が設置されている。（PFEPには計算上、計984台の遠心分離機設置済）
FEPにはProduction Hall A とProduction Hall B の2つのカスケード・ホールがある。イランからIAEAに提出された設計情報によると、Production Hall Aには8つのユニット（A21 からA28）が計画され、それぞれのユニットに18のカスケードが計画されていた。Production Hall Bに関しては詳細な設計情報はIAEAに提供されていない[56]。2010年11月5日時点、Hall Aには8つのユニット中、3つのユニットに54のカスケードが設置され、うち29のカスケードにUF_6が投入された。それぞれのカスケードには164台の遠心分離機が設置されているが、イランは最近6つのカスケードを改良して、それぞれ174台の遠心分離機が設置できるようになった。設置されている遠心分離機はすべてイランのIR-1型（P-1遠心分離機のコピー）である。残り5つのユニットには遠心分離機は設置されていない。またProduction Hall Bでの遠心分離機設置作業は2010年11月5日時点まで行なわれていない[57]。P1型遠心分離機は2010年現在6000台あり、将来は6万台に増設予定である[58]。

2003年11月、イランはIAEAに対して全てのウラン濃縮および再処理に関する活動を中断すると伝えた。特にNatanzでは全ての活動が中断され、濃縮プロセス用の材料製造および濃縮関連品の輸入も行なわれなかった。2004年2月には成型加工および遠心分離機の試験まで自主的な中断を拡大し、国内での遠心分離機の部品製造も中断された。しかし、2006年1月にはIAEAに対して原子力の平和利用に関するR&D活動を再開すると通告し、2006年2月にパイロット濃縮プラントにおける濃縮テストを、2007年2月に大規模な濃縮プラントの運転を再開した[59]。

53 PFEP：Pilot Fuel Enrichment Plant
54 FEP：Fuel Enrichment Plant
55 IAEA「Implementation of the NPT Safeguards Agreement in the Islamic Republic of Iran」、2004/11/15
56 IAEA「Implementation of the NPT Safeguards Agreement and relevant provisions of Security Council resolutions in the Islamic Republic of Iran」、2010/9/6
57 IAEA「Implementation of the NPT Safeguards Agreement and relevant provisions of Security Council resolutions in the Islamic Republic of Iran」、2010/11/23
58 http://www.wise-uranium.org/epasi.html#QOMENR
59 IAEA「Implementation of the NPT Safeguards Agreement and relevant provisions of Security Council resolutions 1737 (2006), 1747 (2007), 1803 (2008) and 1835 (2008) in the Islamic Republic of Iran」、20102/18

3-8-2　　Qom濃縮工場



図3-8 Qom濃縮工場

（出所）　Google Map

ゴム州Qomにある濃縮工場は、イランが建設中のウラン濃縮施設である。
2009年9月、イランはIAEAに対して、Qom市の近くでFordow Fuel Enrichment Plant（FFEP）を建設中であると報告した。IAEAが2012年8月30日にまとめたイランの核問題に関する報告書によれば、同施設のウラン濃縮用の遠心分離機は同年5月の1064基から2140基に増加。うち約700基が稼働し、20%の高濃縮度のウランを製造している[60]。

3-8-3　　レーザー濃縮

イランはウランのレーザー濃縮技術（施設）を有するとされているが、その詳細は不明である。
1975年から1998年の間に、波長可変レーザーを用いてウランガスからウラン同位体を分離するAVLIS（Atomic Vapour Laser Isotope Separation）技術、及び、波長可変レーザーを用いてUF_6分子からウラン同位体を分離するMLIS （Molecular Laser Isotope Separation）技術を使ったレーザー濃縮に関する契約を4つの外国企業と締結した。しかしイランが入手したAVLIS spectroscopy装置は機能せず、またMLIS設備の部品全てが入手できた訳ではなかった。1993年から2000年の間、TNRCにLaser Separation Laboratory（LSL）とComprehensive Separation Laboratory（CSL）が設置されたが、これらは2000年から2003年の間に解体された。
2002年、イランはLashkar Ab'ad にisotope separation のパイロットプラントを建設し、2002年12月から2003年1月の間にレーザー濃縮の実験を行った。しかし、イランは2003年5月にこの装置を解体し、以降、レーザー法による濃縮を再開する計画はないとした[61]。
しかしながら2010年2月7日、イランはウランのレーザー濃縮技術を有していると発表した。また、2010年4月9日、イランは第3世代遠心分離機の開発に関する発表を行った。

[60] http://sankei.jp.msn.com/world/news/120831/mds12083113070002-n1.htm
[61] IAEA「「Implementation of the NPT Safeguards Agreement in the Islamic Republic of Iran」、2004/11/15

3-8-4　　P-2 遠心分離機

イランでは、P-2 遠心分離機を用いた濃縮技術の開発が行われていた。

当初、パキスタンの核兵器プログラムの原子力関連サプライ・ネットワーク A.Q. Khan networkから提供されたP-1 遠心分離機の部品の品質が良くなかったため、1996 年にドバイの会合でA.Q. Khan networkから一般的なP-2 遠心分離機設計図フルセットを提供された。しかし、2002 年以前はイランに遠心分離機製造に関する技術的・科学的能力がなかったため、P-2 遠心分離機に関する作業は行なわれなかった。

2002 年、イラン原子力庁（Atomic Energy Organization of Iran（AEOI））は民間会社と改良型P-2 遠心分離機の製造に関する契約を締結した。この会社のオーナーはベアリング、オイル、マグネットを除いて、全ての原材料や必要部品を国内で入手することができた。このオーナーはP-2 遠心分離機が要求する性能のマグネット 150 個を入手し、さらに数万のマグネットを入手しようとしたが、サプライヤーから断られた。なお、P-2 遠心分離機の複合ロータはDefence Industries Organiztion（DIO）[62]サイトにある工場で製造された。

IAEAは、イランが研究を行っていると発表した場所で入手した試料などに基づけば、これら実験において核物質が使われた形跡はないとしている[63]。なお、IAEAの報告書では 2008 年以降、P-2 遠心分離機に関する記載は見られない。

[62] イランの国営軍需工場。武器など軍隊の装備品材料、部品などを製造する工場がイラン国内に数箇所ある。

[63] IAEA「Implementation of the NPT Safeguards Agreement and relevant provisions of Security Council resolutions 1737 (2006) and 1747 (2007) in the Islamic Republic of Iran」、2007/11/15

3-9　北朝鮮

北朝鮮のウラン濃縮施設一覧を表 3-10 に示す。

表3-10 北朝鮮のウラン濃縮施設一覧

会社名	所在地	濃縮法	年間生産容量（tSWU／年）	生産量実績（tSWU）			濃縮量累計	操業開始
				2009	2010	2011	2011	
-	平安北道、寧辺郡、西位里	遠心分離法	不明	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
-	平安北道、東倉郡	遠心分離法	不明	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A

（出所）　**朝鮮日報** 2011/10/20、**読売新聞** 2010/11/22

東倉郡にあるとされる濃縮施設は、2010 年 10 月に存在が発覚した。北朝鮮当局に拠れば、2001 年に建設を開始し、2009 年からウラン濃縮を開始したと報じられているが、詳細は不明である[64]。

寧辺郡西位里にあると報じられている濃縮施設は、北朝鮮が開発を進めているとされるウラン濃縮施設であり、北朝鮮当局は、米国のヘッカー博士に施設を公開し、博士が 2010 年 11 月に述べたところによると、約 2,000 台の遠心分離機が設置されていた。北朝鮮当局は軽水炉用ウラン濃縮施設とであると主張している[65]。なお、2012 年 12 月には、これ以外にも複数の濃縮施設がある可能性が報じられている[66]が、詳細は不明である。

[64] **朝鮮日報**、2011/10/20
[65] **読売新聞**、2010/11/22
[66] **日経新聞**、2012/12/21、http://www.nikkei.com/article/DGXNASGM2103K_R21C12A2EB1000/

3-10　パキスタン

パキスタンのウラン濃縮施設一覧を表 3-11 に示す。

表3-11 パキスタンのウラン濃縮施設一覧

会社名	所在地	濃縮法	年間生産容量（tSWU／年）	生産量実績（tSWU）			濃縮量累計	操業開始
				2009	2010	2011	2011	
パキスタン原子力委員会（PAEC）	パンジャブ州クンディアン	不明	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A

（出所）　ATOMICA、パキスタンの原子力開発と原子力施設（14-02-12-01）

2006 年にパキスタン原子力委員会は商業用原子炉への核燃料供給のために、軍事用と商業用の核燃料施設の分離を準備していると発表した。以下、そのパキスタン原子力委員会発表によると、新施設の建設費は 12 億ドルで、転換施設、濃縮施設、燃料加工施設の全てがIAEAの保証措置下に入り、濃縮施設は、2013 年頃までに 150tSWU/年、2030 年までにさらに 150tSWU/年を増設する予定であり、8,800MWの需要の 3 分の 1 を供給する。濃縮工場については 2010 年 1 月、政府が建設を承認した。施設群は、チャシュマ原子力発電所と同じパンジャブ州クンディアン（Kundian）に立地する[67]。

参考情報として、米国の核不拡散・核セキュリティ専門シンクタンクJames Martin Center for Nonproliferation Studies (CNS)レポートによる情報[68]も付記する。
CNSによれば、首都イスラマバード近くのKahuta及びSihalaにウラン濃縮パイロットプラントがあり、Golra Sharifにもウラン濃縮施設が建設中である可能性がある。いずれもIAEA保障措置の対象外施設であり、詳細は不明である。

[67] ATOMICA、パキスタンの原子力開発と原子力施設（14-02-12-01）、
http://www.rist.or.jp/atomica/data/dat_detail.php?Title_Key=14-02-12-01
[68] CNS、http://cns.miis.edu/reports/pdfs/pakistan.pdf

3-11　ロシア

ロシアのウラン濃縮施設一覧を表 3-12 に、ウラン濃縮施設位置図を図 3-9 に示す。

表3-12 ロシアのウラン濃縮施設一覧

会社名	所在地	濃縮法	年間生産容量（tSWU／年）	生産量実績（tSWU）			濃縮量累計	操業開始
				2009	2010	2011	2011	
アンガルスク電解化学コンビナート	イルクーツク州アンガルスク	遠心分離法	2,500	N/A	N/A	1,000	N/A	1954
ウラル電気化学コンビナート	スヴェルドロフスク州ノヴォウラルスク	遠心分離法	13,200	N/A	N/A	N/A	N/A	1949
生産合同電気化学コンビナート	クラスノヤルスク地方ゼレノゴルスク	遠心分離法	7,800	N/A	N/A	N/A	N/A	1964
シベリア化学コンビナート	トムスク州セヴェルスク	遠心分離法	3,700	N/A	N/A	4,000	N/A	1953

（出所）　原子力ポケットブック 2012(電気新聞)、世界の原子力発電開発の動向 2012（日本原子力産業協会）

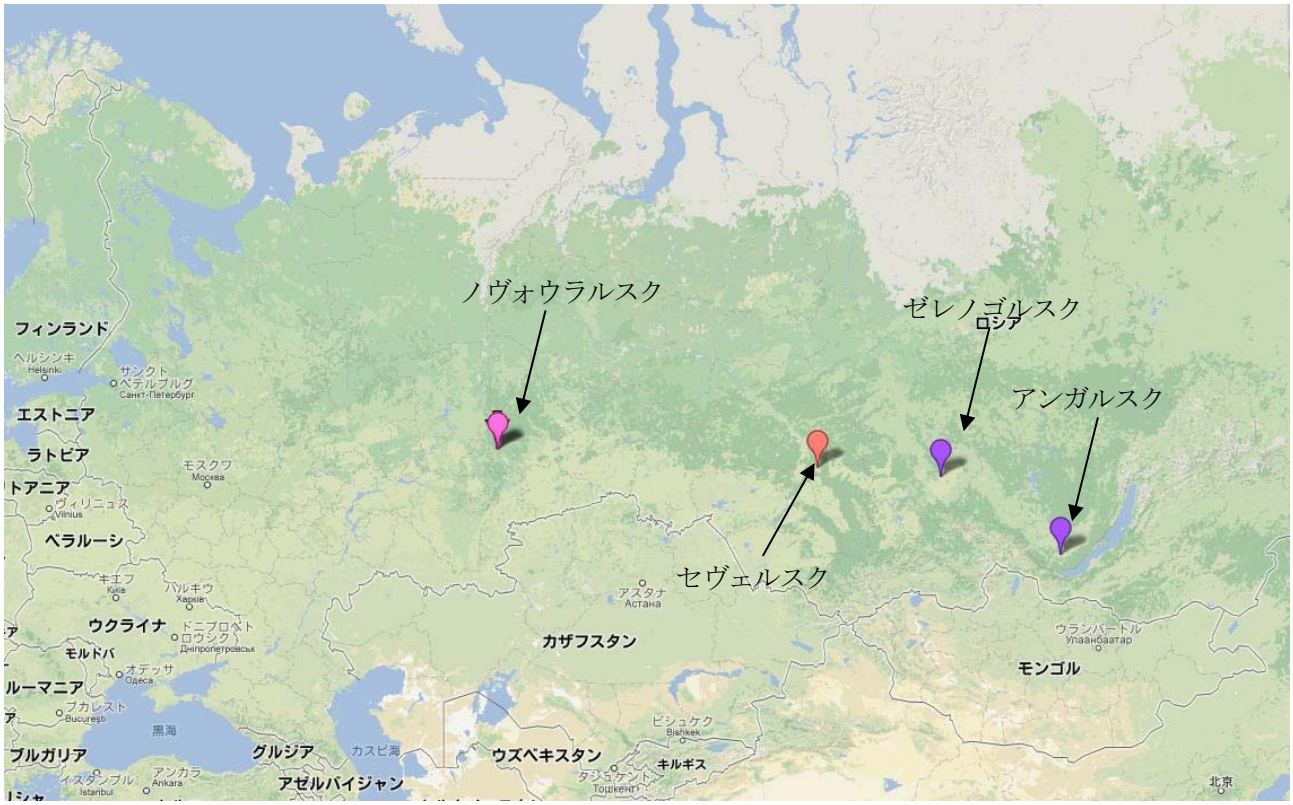


図3-9 ロシアのウラン濃縮施設位置図

（出所）　TVEL Annual report 2011

ロシアでは、Atomenergoprom社傘下のTVEL燃料社が 4 つのウラン濃縮工場を運営している。Atomenergoprom社の公式発表によると、同社は世界のウラン濃縮量の 40%を生産しており、生産量は合計で 27,200tSWU/年とされる。

イルクーツク州にあるAngarsk電気化学コンビナート（Angarskiy Electrolysis Chemical Plant）は、1954 年に操業を開始した。年間生産容量は 2,500tSWU/年である。1980 年代後半から 1990 年代前半にかけてガス拡散方式から遠心分離方式へ移行した[69]。現在、同コンビナート内に国際ウラン濃縮センターの建設が計画されている。

[69] 坂口泉「世界展開を強めるロシア原子力産業」『ロシア NIS 調査月報』2010 年 7 月号。

スヴェルドロフスク州ノヴォラリスクにあるUral電気化学コンビナート（Ural Electrochemical Integrated Plant）は1949年に操業を開始した。年間生産容量は13,200tSWU/年である。

トムスク州セヴェルスクにあるシベリア化学コンビナート社（Siberia Chemical Complex）は1964年に操業を開始した。年間生産容量は7,800tSWU/年である。ここでは再処理回収ウランの濃縮も実施している。

クラスノヤルスク地方ゼレノゴルスクに生産合同「電気化学コンビナート」社（Production Association "Electrochemical Plant）は、1953年に操業を開始した。年間生産容量は3,700tSWU/年である。

2006年1月にプーチン大統領（当時）は国際ウラン濃縮センター（The International Uranium Enrichment Center）の設立構想を発表した。2007年3月、IAEAが同構想に関する作業部会を設置し、同年5月、ロシア・カザフスタン両大統領が「ウラン国際濃縮センターの設置に関する協定」に調印した。IAEA理事会は2009年11月、アンガルスクにIAEAの監視下で低濃縮ウランを備蓄する「国際核燃料バンク」を創設するロシアの提案を承認し、それを受け2010年12月、IAEAの定例理事会において、同バンクの設立決議案を採択した。このシステムは原子力エネルギーの導入・拡大を図る国にとって、異例の事態による燃料供給の途絶に対応できる安全装置となる。IAEAは今後、核バンクのホスト国を決め、100万kW級加圧水型原子炉の1炉心分の低濃縮ウランを貯蔵し、包括的保障措置（査察）協定を結ぶ加盟国が一般市場から核燃料を入手できなくなった場合、市場価格で供給するとしている[70]。

1993年、米ロ解体核高濃縮ウラン協定により、ロシアの核兵器解体に伴い高濃縮ウラン500トンを希釈し低濃縮ウランにしたものを米国が20年間にわたり買い取ることが定められ、以後供給が続けられている。この協定は2012年に期限を迎えることとされており、2011年3月には2013年以降の長期契約が締結された。それによれば、これまでは解体核からの2次供給が主であったが、今後はロシアの濃縮施設で生産された民生用低濃縮ウランが供給される見込みとなっており、また2015年の供給量は現在の約半分となる見通しである。

TVEL Annual report 2011によれば、現在第8世代遠心器から第9世代遠心器への設備更新を行っており、2011年には6ブロックを交換しており、2012年には8ブロックを交換する予定である。ただし、設備更新による分離能の増減には言及していない。

[70] IAEA プレスリリース、2010/12/3

3-12　URENCO（イギリス・ドイツ・オランダ）

URENCOのウラン濃縮施設一覧を表 3-13 に、ウラン濃縮施設位置図を図 3-10、図 3-11、図 3-12 に示す。

表3-13 URENCOのウラン濃縮施設一覧

会社名	所在地	濃縮法	年間生産容量（tSWU／年）	生産量実績（tSWU）			濃縮量累計	操業開始
				2009	2010	2011	2011	
Urenco	チェシャー州カーペンハースト（英）	遠心分離法	5,000	5,050	5,000	5,000	N/A	1972
	ノルトライン＝ヴェストファーレン州グロナウ（独）	遠心分離法	4,200	2,750	3,200	4,200	N/A	1985
	オーファーアイセル州アルメロ（蘭）	遠心分離法	5,000	4,400	4,600	5,000	N/A	1972

（出所）　Urenco HP

URENCO社は欧州域内では 3 ヶ国 3 つのサイトに濃縮施設を有している（このほかに、米国内に濃縮施設を有しているが、その詳細については本節 3-13 にて後述する）。同社の 100%子会社でウラン濃縮施設の運営とマーケティング事業を実施しているEnrichment Company社(UEC社)の傘下にUrenco United Kingdom（URENCO UK）（英国）、URENCO Deustchland GmbH（ドイツ）、URENCO Nederland B.V.（オランダ）があり、それらがそれぞれのサイトにおける濃縮施設を運営している。濃縮は全て遠心分離法によっている。Annual Report 2011 によれば、2015 年に米国も含めた同社の全設備容量を 18,000tSWU/年まで拡張する計画である。ただし、欧州域内の各施設の具体的な設備増強計画は明かされていない。

3-12-1　Urenco UK（英国）



図3-10 Urenco UK（Carpenhurst）位置図

（出所）　Urencoホームページ　http://www.urenco.com/content/87/Contact-us.aspx

英国チェシャー州にあるCapenhurstの 3 つの工場は、URENCO UK 社(UUK社)が運営するウラン濃縮施設である。2011 年 12 月 31 日現在の年間生産容量は、5000tSWU/年。
Capenhurst にある工場のうち、1997 年に操業を開始したE23 工場が生産能力の 80%を占めている。この他、E22 工場及びA3 工場がある。これらの工場には 300 名を超える人員が勤務している。
UUK社の前身であるURENCO (Capenhurst) Limited (UCL社)は、1993 年にURENCOグループの再編に伴い、URENCO Limitedの完全子会社となった。その後、2008 年に現在のUUKに名称を変更している。

3-12-2　　Urenco Deutschland（ドイツ）

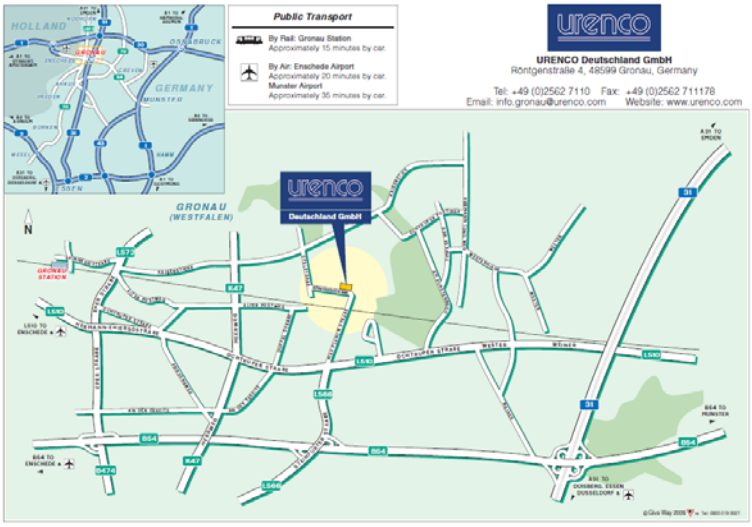


図3-11 Urenco Deutschland GmbH（Gronau）位置図

（出所）　Urencoホームページ　http://www.urenco.com/content/87/Contact-us.aspx

ドイツ・ノルトライン＝ヴェストファーレン州にあるGronau濃縮工場は、URENCO Deutschland社が運営するウラン濃縮施設である。2011 年 12 月 31 日現在の年間生産容量は、4,200tSWU/年。

同工場は 1985 年 8 月に運転を開始している。運転開始当初の生産能力は 1,000tSWU/年であったが、それ以降も設備の拡張を続けており、2010 年には 450 t SWU/年、2011 年には 1,000tSWU/年の設備を増強している。

2010 年 1 月 21 日、このGronau工場内でUF_6溶液が流出する事故が発生した[71]。流出領域が「充填準備室」という放射性管理区域であり、同領域は周囲とは隔離され、空調にフィルターが設置されていたことから、環境への放射性物質の放出は認められなかった。この事故により現場作業員 1 名に流出液がかかり、この作業員はDusseldolf大学の診療所に搬送されて手当を受けたが、健康状態は良好であり、被曝線量は最大で 1.1mSv と推定された。1 月 26 日、州政府の保安検査官が施設立ち入り検査を行い、URENCOの措置について評価を行なった。2010 年 7 月 8 日、ドイツ安全規制機関はURENCOの安全対策を妥当と認め、事故対策は終結している。

[71] 出所：URENCO プレスリリース、2010/1/22、同年 1/25、1/26、7/8

3-12-3　　URENCO Nederland（オランダ）

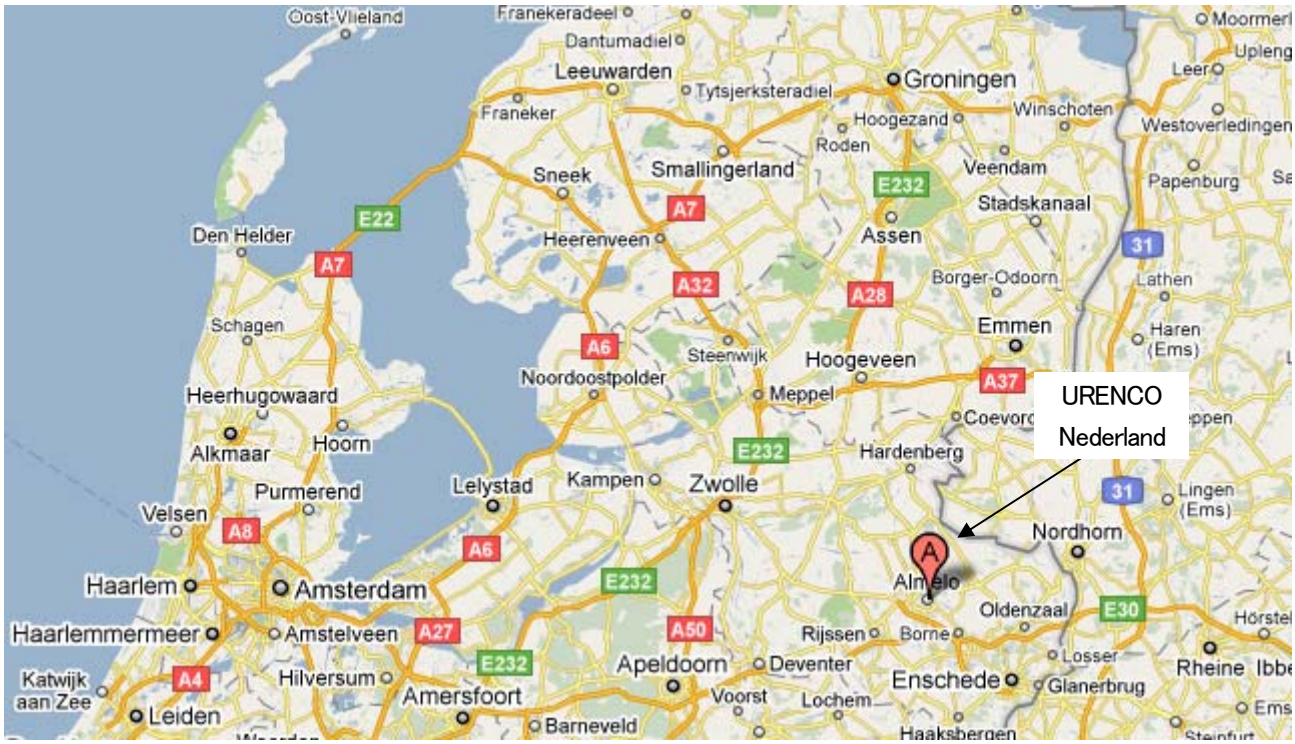


図3-12 URENCO Nederland（Almelo）位置図

（出所）　Google Map

オランダ・オーファーアイセル州にあるAlmelo濃縮工場は、URENCO Nederland社が運営するウラン濃縮施設である。2011 年 12 月 31 日現在の年間生産容量は、5,000tSWU/年。

同濃縮工場には、SP1～SP5 までの 5 つの工場が存在したが、現在では、SP4 とSP5 の二工場が運転中であり、SP1～3 の廃止措置は完了している。勤務している従業員は約 260 名である。最新のSP5 工場は 2000 年に運転を開始しており、現状では合計の生産能力の 80%を占めている。継続的に設備増強をおこなっており、2010 年には 200tSWU/年、2011 年には 400tSWU/年の設備を増強している。

3-13　アメリカ

アメリカのウラン濃縮施設一覧を表 3-14 に、ウラン濃縮施設位置図を図 3-13、図 3-14、図 3-15、図 3-16 に示す。

表3-14 アメリカのウラン濃縮施設一覧

会社名	所在地	濃縮法	年間生産容量（tSWU／年）	生産量実績（tSWU）			濃縮量累計	操業開始
				2009	2010	2011	2011	
USEC	ケンタッキー州、パデューカ	ガス拡散法	11,300	>6,000	約6,000	>5,000	N/A	1960年代半ば
	オハイオ州、パイクトン（American Centrifuge Plant）	遠心分離法	3,800	－	－	－	－	未定
Urenco	ニューメキシコ州、ユーニス（Louisiana Energy Services）	遠心分離法	400	0	200	400	600	2010
AREVA NC	アイダホ州、アイダホフォールズ（Eagle Rock）	遠心分離法	6,600	－	－	－	－	2014
GE Hitachi Nuclear Energy	ノースカロライナ州、ウィルミントン（Global Laser Enrichment）	レーザー法	6,000	－	－	－	－	N/A
Louisiana Energy Services	ルイジアナ州、クレイボーン	遠心分離法	1,500	－	－	－	－	N/A

（出所）　INFCIS、Urenco HP、AREVA HP、GE-Hitachi Nuclear Energy



図3-13 USEC社の濃縮工場の位置図

（出所）　USECホームページ　http://www.usec.com/locations.htm

3-13-2　USEC

ケンタッキー州にあるパデューカ濃縮工場は、USEC社が運営する現在米国で唯一の運転中商業用ウラン濃縮施設である。同工場は、1952 年米国政府の軍事用ウラン濃縮施設として操業開始した。生産容量は 11,300tSWU/年である。

当初は同工場での生産物は低濃縮ウランに限定されており、それらがOak RidgeやPiketonにある施設に送られて高濃縮され、軍事用途として利用されていたが、1962 年から民生用原子力発電所向け低濃縮ウランの生産も始められた。2001 年 5 月より、Piketonにあるウラン濃縮施設との統合に向け作業が開始され、2002 年 6 月、統合作業が完了し、Piketonの濃縮施設は稼動停止している。

本施設での濃縮はガス拡散法によるものであり、1,760 段という多段の工程を用いている。最大消費電力は 304

万kWと多大な電力を消費するため、同施設では電力会社（TVA）との間で定期的に電力供給契約をしている。2012 年 5 月には、USEC社がDOEより減損ウランを入手し、それを再濃縮してTVAに供給する契約を締結しており、併せて、電力供給契約も延長されている[72]。

オハイオ州PiketonのAmerican Centrifuge Plant (ACP)は、USEC社が建設中のウラン濃縮施設である。生産容量は 3,800tSWU/年、濃縮方法は遠心分離法である。
USEC社は 2007 年にACPの建設・運転一体許認可をNRCに申請、2008 年 9 月には米国エンジニアリング企業Flour Corporationとの間で、2012 年までの 10 億ドルという条件で技術・調達契約（EPC）を締結した。遠心分離機を供給するメーカーはTeledyne Brown Engineering.Inc（TBE）社であり、その他の主要部品はB&W Clinch River社（B&Wの子会社）等、多くの企業から調達することとなっている。なお、2008 年に発表したACPの総プロジェクト・コストは約 35 億ドル（うち 2008 年 12 月までの消費分は約 12 億ドル）となっている。USECはこのうち 20 億ドル分について 2008 年 7 月、DOEの融資保証制度適用の申請を行ったが、2009 年 8 月、DOEは認可するかどうかの判断を若干延期する旨を発表し、USECもそれに合意した。

その後、2010 年 5 月 25 日、東芝及びBabcock & Wilcox社はACP建設・運転プロジェクトに対して、それぞれ 1 億ドルずつ計 2 億ドルを 3 回に分割して投資する内容の契約をUSEC社との間で締結した[73]。これも踏まえ、2010 年 8 月 3 日、USECは最新の設備動向及び計画を反映し、DOEに融資保証制度適用の再申請を行なった[74]。これまでに実施した 48 万設備時間（machine hours）のカスケード試験[75]において技術成立性、経済性の実証データを蓄積しており、既に商業規模の生産可能な 40 基のAC100 遠心分離機が設置済みであること、東芝及びB&Wから総計 2 億ドルの戦略的融資を得る見通しがあることがこの再申請の背景となっている。

しかし、融資保証の適用が遅々として進まず、この融資保証の代わりにDOEによる資金提供がなされることとなった。計画では、3.5 億ドルに及ぶウラン濃縮実証プログラムの一部として、120 機の遠心分離機からなるカスケードの建設、設置、運転、試験が予定されている。なお、政府からの資金提供は、プロジェクト 2 年目となる 2013 年度まで承認されている[76]。

[72] USEC プレスリリース、2012/5/15
[73] USEC プレスリリース、2010/5/25
[74] USEC プレスリリース、2010/8/3
[75] 2011 年 1 月現在の累積運転設備時間は 50 万設備時間（2011/1/5、"USEC & American Centrifuge Update", Pritchard Capital Partners "Energize 2011" Conference、USEC.Inc）
[76] USEC プレスリリース、2012/6/13

3-13-3　　Urenco

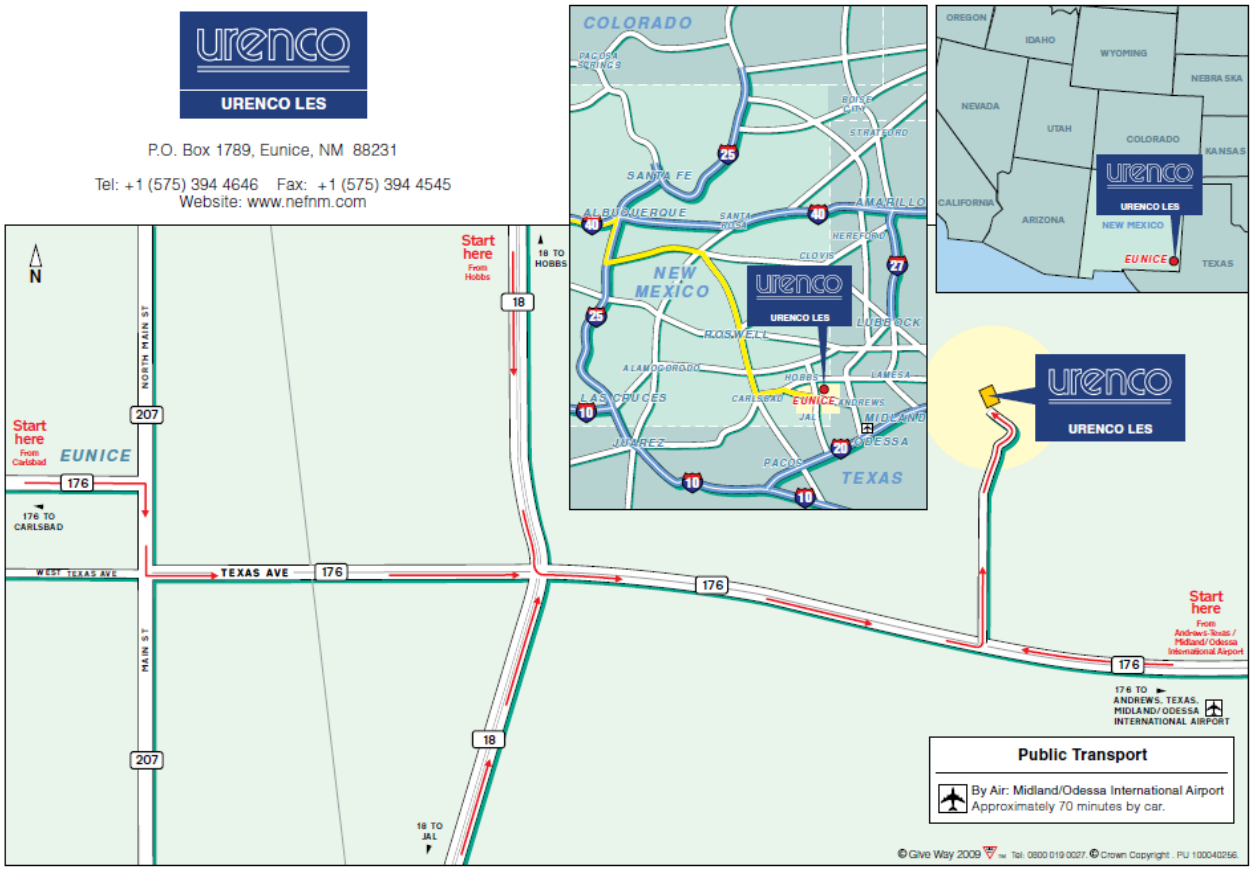


図3-14 Eunice濃縮工場位置図

（出所）　Urencoホームページ　http://www.urenco.com/content/87/Contact-us.asp

ニューメキシコ州のEunice濃縮工場は、Urencoが米国に設立した現地法人Louisiana Energy Services社（LES社）が運営するウラン濃縮施設である。

2011 年末現在の生産容量は 400tSWU/年であり、2015 年には生産容量 2,000tSWU/年まで増強される予定である。なお、Urencoによれば、5,700tSWU/年まで増強される計画であるとしているが、具体的な時期については言及していない。

2003 年 9 月 2 日、LES社はサイトをニューメキシコ州Lea Countyとすることを発表した。2003 年 12 月 12 日LES社は、NRCに米国でのウラン濃縮施設建設（設備容量 3,000tSWU/年）の申請を提出した。2006 年 6 月 23 日、NRCはLES社に同施設の建設・運転認可を発給したが、その後LES社は 2008 年 11 月 21 日、設備容量を 5,700tSWU/年に拡張する計画を発表した。2009 年 2 月にはNRCから六フッ化ウランを用いた試験操業を認可され、同月試験を開始している。2010 年 6 月 11 日NRCが操業を認可し、6 月 25 日、ウラン濃縮の本格操業が開始された。

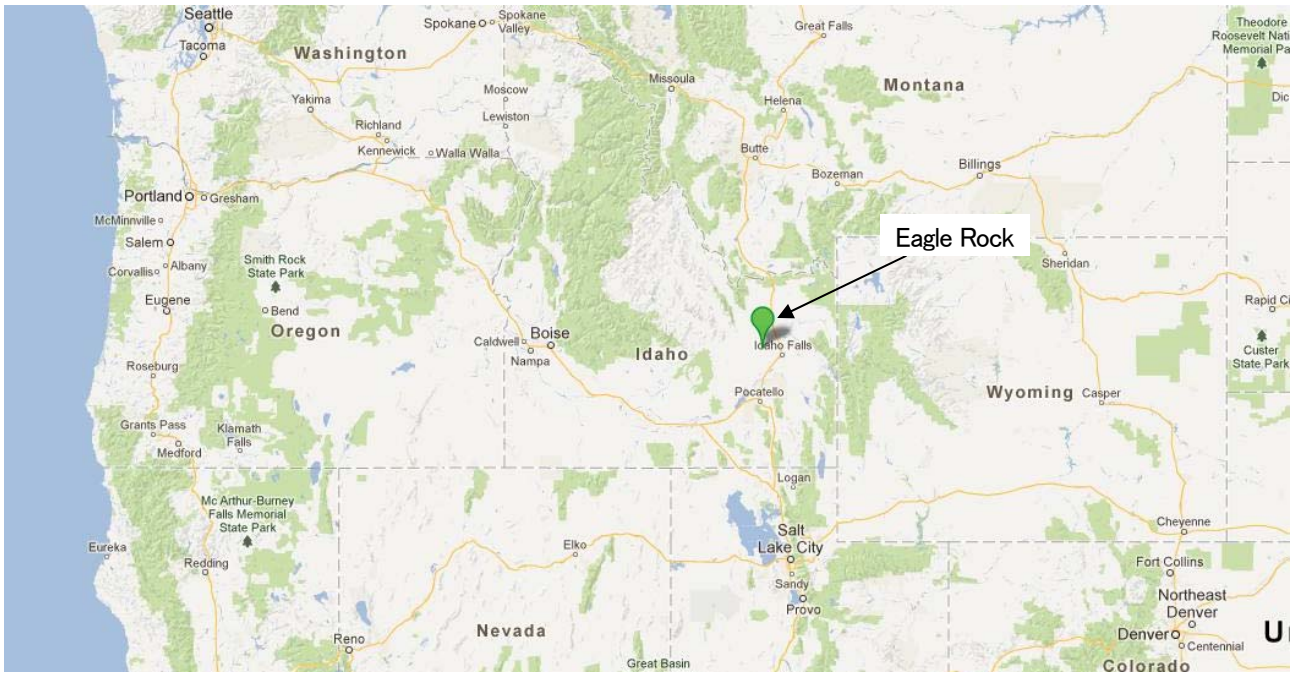


図3-15 Eagle Rock濃縮工場位置図

（出所）　Google Map

アイダホ州Idaho Falls近郊のEagle Rock濃縮工場は、AREVA NCの米国現地法人AREVA Enrichment Services社（AES社）が建設を計画しているウラン濃縮施設である。生産容量は6,600tSWU/年、濃縮方法は遠心分離法である。

2008年12月30日AES社はNRCに、ウラン濃縮施設建設・運転の認可申請を提出した[77]。同施設にはGeorges Besse IIで適用されているのと同じ最新鋭の遠心分離技術を適用し、申請設備容量は当所3,300tSWU/年としていたが、2009年4月にはこれを6,600tSWUに拡大する修正申請が提出されている。

2010年5月20日、DOEは、本ウラン濃縮プロジェクトに20億ドルの融資保証を発行すると発表し[78]、翌5月21日、AREVAもこれを受領すると発表した[79]。これは2010年2月に発表されたボーグル発電所(AP1000)に続く2件目の原子力関連の債務保証適用対象候補（全体では9件目）である。2010年10月、NRCはEagle Rock濃縮工場に関する安全評価書を発行し、その中で、この施設の運転による従業員や環境への悪影響は見られないと述べている[80]。最終の環境影響声明書（EIS）は2011年2月14日に承認された[81]。

2011年12月、AREVAは2016年に向けた経営戦略を発表し、Eagle Rockの設計等の活動は継続して実施するものの、30億ドルにも及ぶプロジェクト費用の削減とDOEからの融資保証確定が必要であるとしている[82]が、融資保証は未だ確定していない。なお、AREVAは、施設の建設開始時期として、2013年後半か2014年を想定していると述べたと報じられている[83]。

---

77 NRC ホームページ。　http://www.nrc.gov/
78 DOE プレスリリース、2010/5/20
79 AREVA プレスリリース、2010/5/21
80 NRC 文書「Safety Evaluation Report for the Eagle Rock Enrichment Facility in Bonneville County, Idaho (NUREG-1951)」、2010 年 9 月
81 AREVA プレスリリース、http://www.areva.com/EN/news-8739/nrc-issues-final-eis-for-areva-enrichment-facility-in-idaho.html
82 AREVA プレスリリース、http://us.arevablog.com/2011/12/13/areva-continues-eagle-rock-commitment/
83 Washington post 2011/12/20、http://www.washingtonpost.com/business/economy/crunch-time-at-troubled-nuclear-fuel-plant/2011/12/20/gIQAIpUJwP_story_1.html

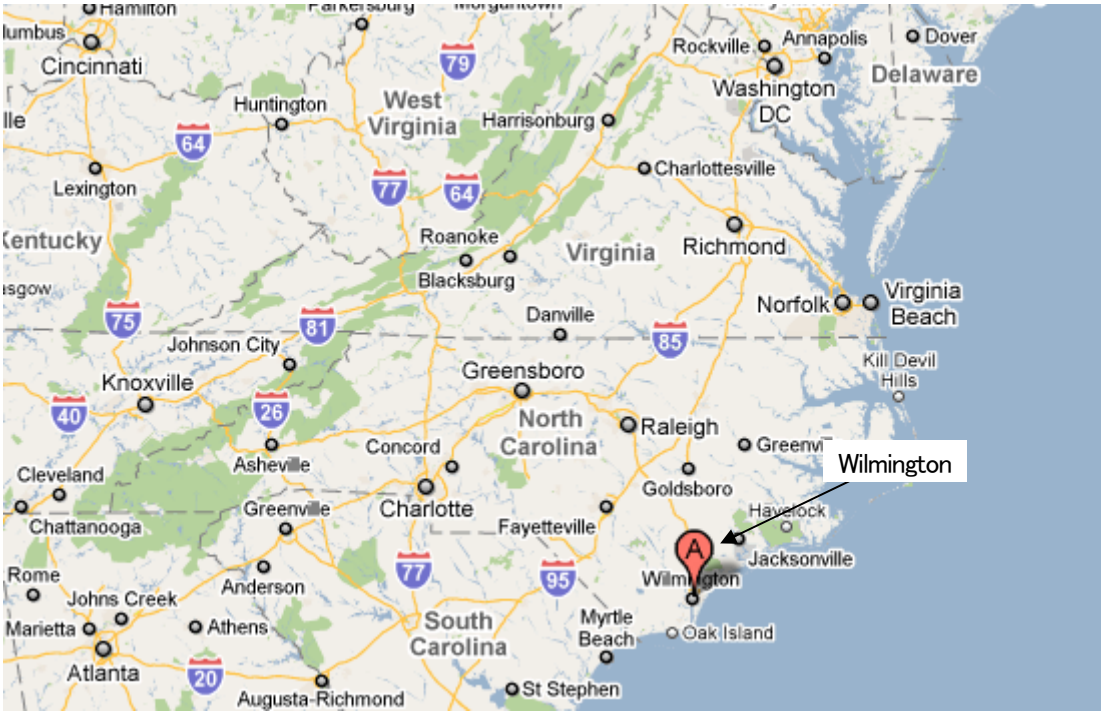


図3-16 Global Laser Enrichment（GLE）位置図

（出所）　Google Map

ノースカロライナ州WilmingtonのGlobal Laser Enrichment（GLE）は、GE-Hitachi Nuclear Energy社が建設を計画しているウラン濃縮施設である。
2012年9月25日にNRCから建設認可を得た。最終的な設備容量目標は3,500～6,000tSWU/年とされている。濃縮方法はレーザー励起同位体分離法（Separation of Isotopes by Laser Excitation (SILEX)）である。

同社はこのプロジェクト遂行を「試験フェーズ」と「商業フェーズ」との2段階に分けており、試験装置で事業性が実証できたら、商業フェーズに進むこととしている。2009年7月から既に小規模のベンチスケール試験が実施されており、2010年12月現在、試験ループが運転中である。なお、NRCから建設認可は得たものの、商業化についての最終判断はいまだ下されておらず、本格的な建設は進められていない[84]。

SILEXはもともとオーストラリアの企業Silex Systems Limited of Australiaが開発したレーザーによるウラン同位体選別（濃縮）技術であるが、2006年、GEが同社からこの技術の独占的使用権を買い取ったものである。2007年7月、GE-Hitachi社は同社のグループ企業があるWilmingtonのGlobal Nuclear Fuel Americas LCC.の施設におけるSILEX法によるウラン濃縮施設の建設・運転認可をNRCに申請し、2008年5月、NRCはこれを受理。上述の通り、2012年9月25日にNRCは建設認可を発給した。

[84] GEH プレスリリース、http://www.genewscenter.com/Press-Releases/GE-Hitachi-Nuclear-Energy-s-Global-Laser-Enrichment-Receives-Nuclear-Regulatory-Commission-License-for-Uranium-Plant-3b4a.aspx

4. ウラン燃料成型加工施設（重水炉以外）

4-1 施設一覧

世界の主要な重水炉以外の商業用原子力発電所向けのウラン燃料成型施設を国別・企業別に表 4-1 に示す。

表4-1 世界のウラン燃料成型加工施設（重水炉以外）一覧

国名	会社名	施設名	所在地	対象炉	設備容量(tHM/年)	操業開始
ベルギー	FBFCインターナショナル	Dessel Fuel Fabrication Plant	フランドル地方、アントウェルペン州、Dessel	PWR、BWR	500	1960
ブラジル	Industrias Nucleares do Brasil(INB)	Nuclear Fuel Factory	リオデジャネイロ州、Rio de Janeiro	PWR	250	1982
中国	China Nuclear Fuel South Co., Ltd	Jianzhong	四川省、Yibin(宜賓)	PWR	600	1998
		North	内モンゴル自治区、Baotou(包頭)	PWR	200	2010
フランス	FBFCインターナショナル	Romans Fuel Fabrication Plant	ドローム県、Romans-sur-Isère	PWR	1400	1991
ドイツ	Advanced Nuclear Fuels GmbH (ANF)	Advanced Nuclear Fuels GmbH Lingen Plant	ニーダーザクセン州、Lingen	PWR、BWR	650	1979
インド	Nuclear Fuel Complex(NFC)	NFC	アーンドラ・プラデーシュ州、	BWR、FBR	24	1974
日本	グローバル・ニュークリアフュエル・ジャパン(GNF-J)	久里浜工場	神奈川県横須賀市	BWR	750	1970
	三菱原子燃料株式会社(MNF)	三菱原子燃料株式会社(MNF)	茨城県東海村	PWR、BWR	440	1972
	原子燃料工業株式会社(NFI)	NFI熊取事業所	大阪府熊取町	PWR	284	1975
		NFI東海事業所	茨城県東海村	BWR、HTR	250	1980
韓国	韓電原子力燃料(KEPCO NF)	PWR Fuel Fabrication Plant	大田	PWR	550	1989
ロシア	Fuel Company of Rosatom TVEL	Machine Building Plant, JSC MSZ	モスクワ州、Elektrostal	VVER-1000、PWR	1800	1965
	Fuel Company of Rosatom TVEL	Machine Building Plant, JSC MSZ	モスクワ州、Elektrostal	RBMK	460	1965
	Fuel Company of Rosatom TVEL	Novosibirsk Chemical Concentrates Plant, JSC(NCCP)	ノヴォシビルスク州、Nobosibirsk	VVER-1000	1080	1979
スペイン	ENUSA Industrias Avanzadas, S.A.	Fabrica de combustible	サラマンカ県、Juzbado	PWR、VVER、BWR、	500	1985
スウェーデン	Westinghouse Eiectric Sweden AB	Westinghouse Sweden Nuclear Fuel Factory	ヴェストマンランド県、Vasteras	PWR、BWR	600	1969
イギリス	Westinghouse/UK	Springfields OFC AGR Line	ランカシャー州、Springfields	AGR	290	1996
		Springfields OFC LWR Line	ランカシャー州、Springfields	LWR	330	1996
米国	Westinghouse	Columbia	サウスカロライナ州、Columbia	PWR、BWR	1150	1986
	AREVA NP	Lynchburg - FC Fuels	バージニア州、Lynchburg	PWR	400	1982
		Richland	ワシントン州、Richland	LWR	700	1970
	GNF-Americas	Wilmington	ノースカロライナ州、Wilmington	BWR	750	1982

（出所） 世界の原子力発電開発の動向 2010～2012（日本原子力産業協会）、IAEA INFCIS等各種資料より作成
注：設備容量は燃料集合体の製造能力を表す。

4-2　ベルギー

ベルギーの軽水炉用ウラン燃料成型加工施設一覧を表 4-2 に、軽水炉用ウラン燃料成型加工施設位置図を図 4-1 に示す。

表4-2 ベルギーの軽水炉用ウラン燃料成型加工施設一覧

会社名	施設名	所在地	対象炉	設備容量 (tHM/年)	生産量実績			生産量累計	操業開始
					2009	2010	2011	2011	
FBFCインターナショナル	Dessel Fuel Fabrication Plant	フランドル地方、アントウェルペン州、Dessel	PWR、BWR	500	N/A	N/A	N/A	N/A	1960

（出所）　IAEA INFCIS、世界の原子力発電開発の動向 2012（日本原子力産業協会）

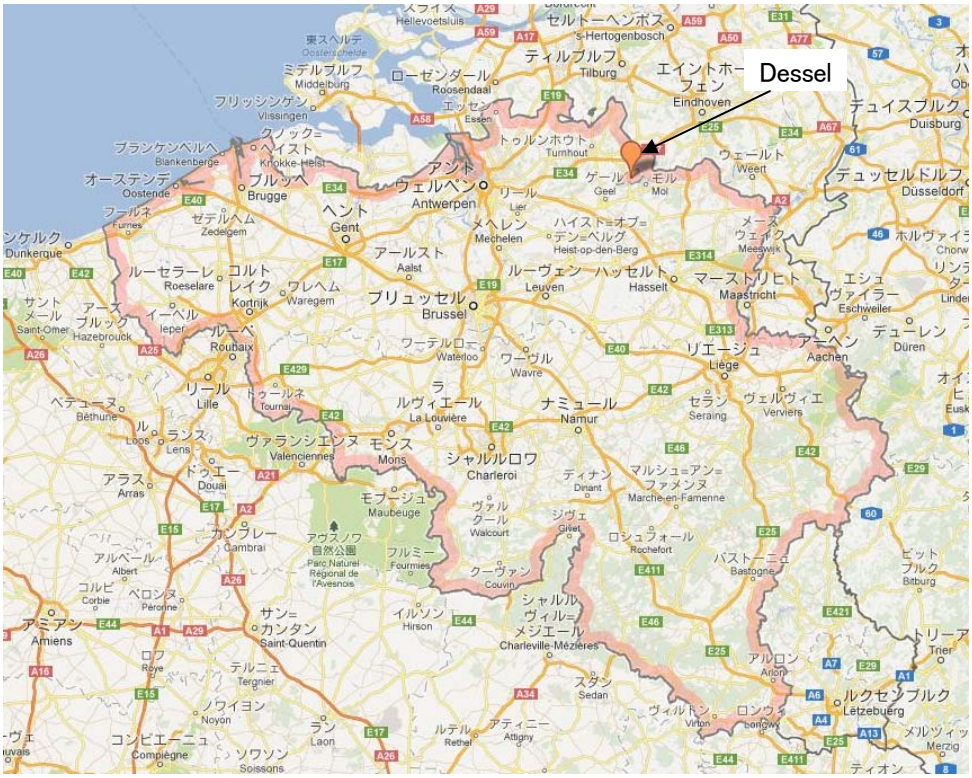


図4-1 ベルギーの軽水炉用ウラン燃料成型加工施設位置図

（出所）　Google map

ベルギー・アントウェルペン州にあるDessel工場は、FBFCインターナショナル社が運営する燃料成型加工施設である。このDessel工場は、1960 年に操業を開始した。製造能力は 500tHM/年である。

FBFCインターナショナル社は、フランスのAREVA のグループ会社であるが、デッセル（Dessel）工場（ベルギー北部中央に位置するアントウェルペン州にあり、1961 年操業開始）において様々な設計のPWR燃料集合体を中心に製造している。再転換施設は有しておらず、フランスのRomans工場及びドイツのLingen工場から,UO2 粉末を受け入れて、PWR用のガドリニウム・ペレットおよび燃料棒の製造や、後述するMOX燃料成型加工施設MeloxからMOX燃料棒を受け入れて、MOX燃料集合体の組み立ても行っているが、PWR集合体の大部分は輸出されている。Dessel工場は、AREVA社が保有する工場である為、使用している製造機器はRomans工場で使用されている機器と同様の機器であり、製造工程もRomans工場の工程と同様である。

AREVAは2011年末に、東ヨーロッパでの需要低迷と設備容量過剰のため、Desselの燃料成型加工施設を閉鎖する意向であることを発表した。発表によれば、PWR燃料集合体に関しては2012年に製造終了に向けた作業を開始するが、MOX燃料製造と関連部門は2015年まで維持するとしている[85]。

[85] 2011 AREVA REFERENCE DOCUMENT

4-3　ブラジル

ブラジルの軽水炉用ウラン燃料成型加工施設一覧を表 4-3 に、軽水炉用ウラン燃料成型加工施設位置図を図 4-2 に示す。

表4-3 ブラジルの軽水炉用ウラン燃料成型加工施設一覧

会社名	施設名	所在地	対象炉	設備容量 (tHM/年)	生産量実績			生産量累計	操業開始
					2009	2010	2011	2011	
Industrias Nucleares do Brasil (INB)	Nuclear Fuel Factory	リオデジャネイロ州、Rio de Janeiro	PWR	250	70tHM	70tHM	N/A	N/A	1982

（出所）　IAEA INFCIS、世界の原子力発電開発の動向 2012（日本原子力産業協会）、INBホームページ



図4-2 ブラジルの軽水炉用ウラン燃料成型加工施設位置図

（出所）　Google map

ブラジルにはIndústrias Nucleares do Brasil (INB)のFábrica de Combustível Nuclear（FCN）に再転換設備とペレット製造設備、燃料集合体製造設備がある。ペレット製造能力は 120tU/年である[86]。
燃料集合体の製造施設は 1982 年に操業を開始した。INBによれば、製造能力は 250tU/年であるが 1,300MWe の原子炉への初装荷または当該サイズの 3 基の原子炉への取替燃料を供給するためには、100tU/年あれば十分な能力であり、国内需要分は賄えているとしている。燃料集合体はウエスティングハウス社の製造技術に基づいて製造されている[87]。

[86] INB ホームページ、http://www.inb.gov.br/pt-br/WebForms/Interna2.aspx?secao_id=58
[87] INB ホームページ、http://www.inb.gov.br/pt-br/WebForms/Interna2.aspx?secao_id=56

4-4　中国

中国の軽水炉用ウラン燃料成型加工施設一覧を表 4-4 に、軽水炉用ウラン燃料成型加工施設位置図を図 4-3 に示す。

表4-4 中国の軽水炉用ウラン燃料成型加工施設一覧

会社名	施設名	所在地	対象炉	設備容量 (tHM/年)	生産量実績			生産量累計	操業開始
					2009	2010	2011	2011	
China Nuclear Fuel South Co., Ltd	Jianzhong	四川省、Yibin（宜賓）	PWR	600	N/A	N/A	871体	N/A	1998
	North	内モンゴル自治区、Baotou（包頭）	PWR	200	N/A	N/A	N/A	N/A	2010

（出所）　IAEA INFCIS、世界の原子力発電開発の動向 2012（日本原子力産業協会）、World Nuclear Association
注：燃料集合体当りの金属ウラントン数が不明なため、生産量実績は体数単位で記載している。



図4-3 中国の軽水炉用ウラン燃料成型加工施設位置図

（出所）　Google map

中国四川省、Yibin（宜賓）にある燃料成型加工工場は、CNNCの傘下にある中核建中核燃料元件有限公司が所有する施設である。IAEA INFCISによれば、1998 年に操業を開始したとされる。
2012 年末現在の生産容量は、600tHM/年であり、2013 年までに 800tHM/年、2015 年までに 1,500tHM/年まで拡張が予定されている。VVER向け燃料は、TVELより技術供与を受け、2009 年より製造を開始している[88]。
また、CNNCは、燃料製造会社CNNC Baotou Nuclear Fuel Co Ltdを設置し、AP1000 用の燃料を内モンゴル自治区のBaotou（包頭）で 2010 年より製造している。PWR向け燃料の年間製造能力は 200tHM/年である。
なお、包頭では重水炉向け燃料も製造している（詳細は後述）[89]。

[88] World Nuclear Association、
http://www.world-nuclear.org/info/Country-Profiles/Countries-A-F/China--Nuclear-Fuel-Cycle/#.UT2RBNZXWHg
[89] World Nuclear Association、
http://www.world-nuclear.org/info/Country-Profiles/Countries-A-F/China--Nuclear-Fuel-Cycle/#.UT2RBNZXWHg

4-5　フランス

フランスの軽水炉用ウラン燃料成型加工施設一覧を表 4-5 に、軽水炉用ウラン燃料成型加工施設位置図を図 4-4 に示す。

表4-5 フランスの軽水炉用ウラン燃料成型加工施設一覧

会社名	施設名	所在地	対象炉	設備容量 (tHM/年)	生産量実績			生産量累計	操業開始
					2009	2010	2011	2011	
FBFCインターナショナル	Romans Fuel Fabrication Plant	ドローム県、Romans-sur-Isè	PWR	1400	N/A	N/A	N/A	N/A	1991

（出所）　IAEA INFCIS、世界の原子力発電開発の動向 2012（日本原子力産業協会）

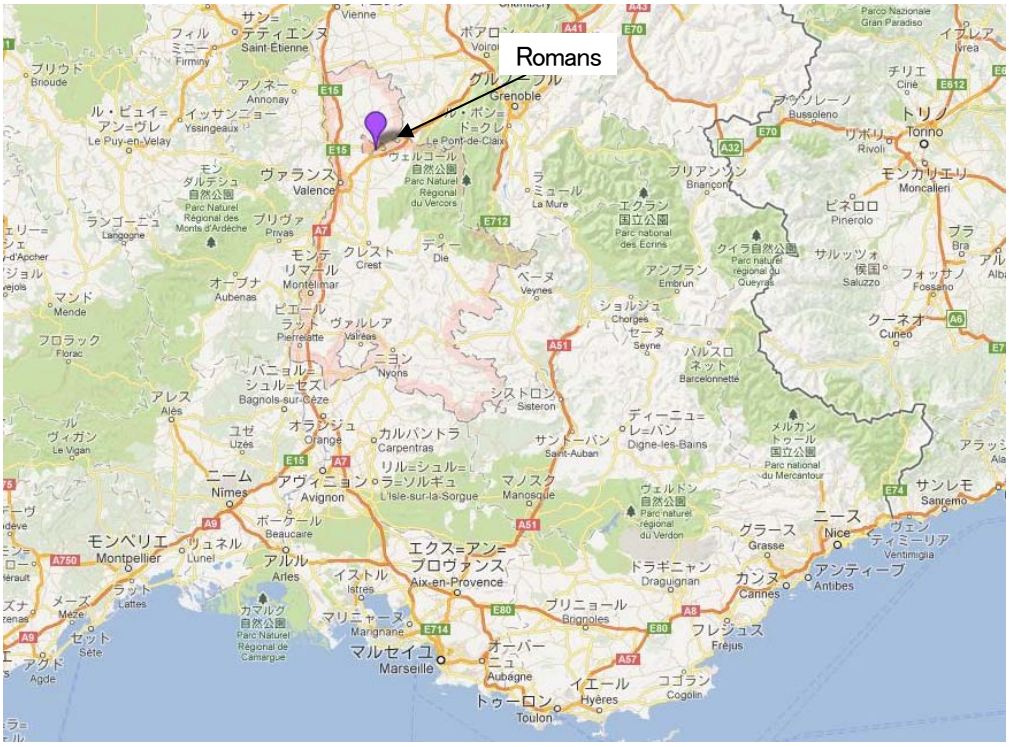


図4-4 フランスの軽水炉用ウラン燃料成型加工施設位置図

（出所）　Google map

フランスのドローム県Romans-sur-IsèreにあるRomans 工場は、AREVAの子会社であるFranco-Belgian Fuel Fabrication （FBFC）が操業する再転換施設、及び燃料集合体の成型加工施設である。このRomans 工場は、1991 年に操業を開始しており、設備容量は 1,400tHM/年である。なお、製造燃料体数ベースの製造能力は 1,000 体である[90]。

FBFC（Franco-Belgian Fuel Fabrication）は、2001 年にAREVAの子会社になった企業であり、PWR用の燃料の成形加工を手掛ける企業である。FBFCはフランス国内でPierrelatte、Romans、ベルギー国内のDessel、三つのサイトで事業を行っている。AREVAは、2007 年から 2009 年にかけて、同工場の生産能力を向上させるために 1 億ユーロの投資を行っている。

90 世界の原子力発電開発の動向 2012（日本原子力産業協会）

Romansサイトは1957年にCERCA（Company for the Study and Creation of Atomic Fuels）社所属の工場として稼働を開始しており、現在は乾式法を用いてEurodifから供給されたUF_6をUO_2に再転換する事業を行っている。また、同サイトでは、ウランペレット、ロッド、燃料集合体の成形加工事業も行っている。AREVAによれば、同工場に勤務する従業員数は830名である[91]。

[91] AREVA　ホームページ、http://www.areva.com/EN/operations-1010/fbfc-romans-fuel-assemblies-for-nuclear-reactors.html

4-6　ドイツ

ドイツの軽水炉用ウラン燃料成型加工施設一覧を表 4-6 に、軽水炉用ウラン燃料成型加工施設位置図を図 4-5 に示す。

表4-6 ドイツの軽水炉用ウラン燃料成型加工施設一覧

会社名	施設名	所在地	対象炉	設備容量 (tHM/年)	生産量実績			生産量累計	操業開始
					2009	2010	2011	2011	
Advanced Nuclear Fuels GmbH (ANF)	Advanced Nuclear Fuels GmbH Lingen Plant	ニーダーザクセン州、Lingen	PWR、BWR	650	N/A	N/A	N/A	N/A	1979

（出所）　IAEA INFCIS



図4-5 ドイツの軽水炉用ウラン燃料成型加工施設位置図

（出所）　Google map

ドイツのニーダーザクセン州にあるLingen工場は、AREVAグループの燃料部門Advanced Nuclear Fuels GmbH（ANF）が運営する再転換・加工施設である。Lingen工場は、1979 年に操業を開始した。これまでに、20,000 体以上の燃料集合体を製造している[92]。

再転換施設と加工施設を有しており、再転換施設では、乾式法を使用してUO_2を製造し、加工施設ではBWR、PWR用のペレット、燃料棒及び燃料集合体の製造を行っている。製造能力は 650tHM/年であるが、800tHM/年まで製造能力を拡大する計画がある[93]。また、回収ウランの取り扱い許可を有していることが特徴である。年間 50tHMの回収ウランの加工許可を有しているが、ロシアで製造されたペレットを受け入れて、燃料棒及び燃料集合体を組み立てる工程に限定された許可となっている。

92 AREVA ホームページ、http://www.areva.com/EN/operations-924/anf-lingen-production-of-components-for-fuel-assemblies.html
93 AREVA ホームページ、http://de.areva.com/EN/areva-germany-650/advanced-nuclear-fuels-gmbh.html

4-7　インド

インドの重水炉用以外のウラン燃料成型加工施設一覧を表 4-7 に、軽水炉用ウラン燃料成型加工施設位置図を図 4-6 に示す。

表4-7 インドの重水炉用以外のウラン燃料成型加工施設一覧

会社名	施設名	所在地	対象炉	設備容量 (tHM/年)	生産量実績			生産量累計	操業開始
					2009	2010	2011	2011	
Nuclear Fuel Complex（NFC）	NFC	アーンドラ・プラデーシュ州、Hyderabad	BWR、FBR	24	N/A	N/A	N/A	N/A	1974

（出所）　IAEA INFCIS

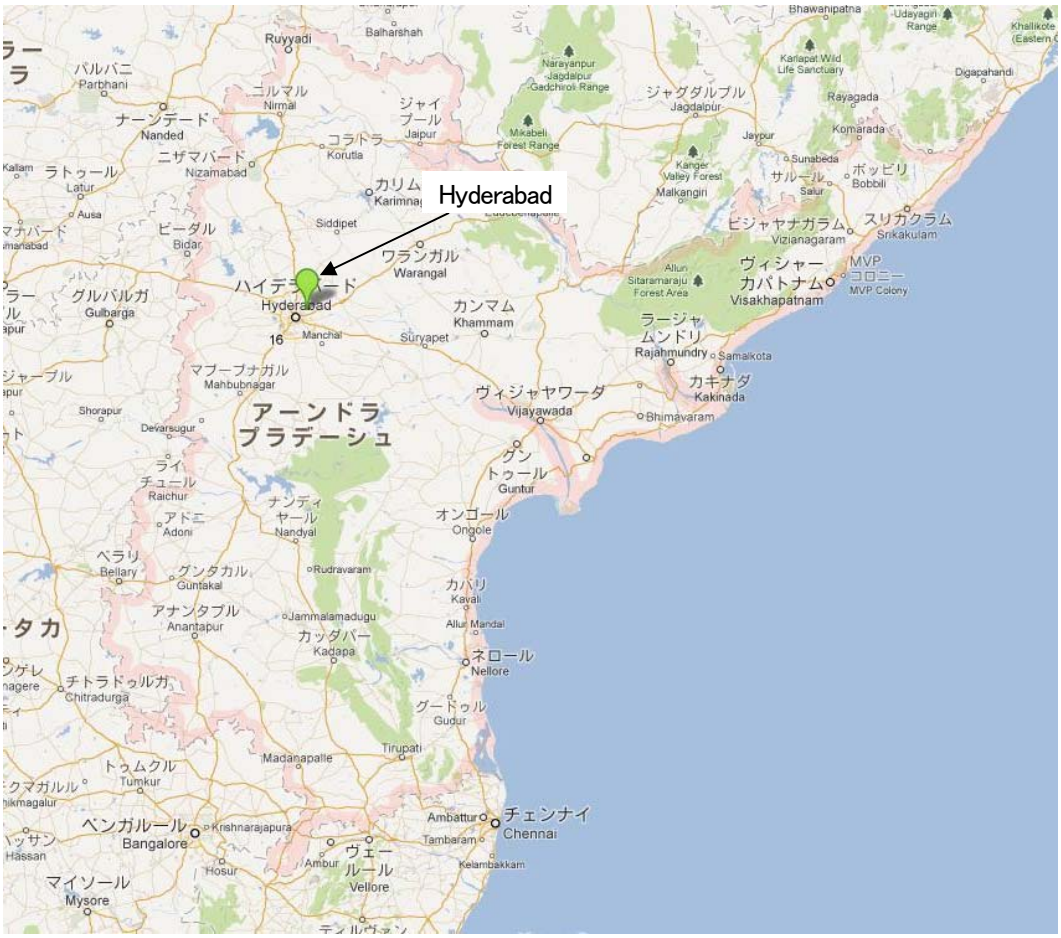


図4-6 Hyderabadウラン燃料成型加工施設位置図

（出所）　Google map

南部のAndhra Pradesh州の州都Hyderabadにある燃料成型加工施設は、原子力庁傘下のNuclear Fuel Complex（NFC）が操業している。
BWR向けの施設は 1974 年から操業しており、製造能力は 24tHM/年である[94]。BWR向け燃料は輸入濃縮UF_6から製造される。Tarapur原子力発電所向け燃料集合体は 6×6 または 7×7 の仕様である[95]。

また、NFCは熱出力 40MWのFBR研究炉および電気出力 500MWのFBR原型炉の燃料成型加工も行なってい

94 IAEA INFCIS
95 NFC ホームページ、http://www.nfc.gov.in/html-products-7.htm

る。FBR研究炉向けの燃料成型加工施設は1980年に立ち上げられた。酸化トリウムのペレット製造は商業規模で実施されている。NFCは燃料、ブランケット燃料、ステンレス金属の反射材その他特殊材向け燃料集合体を供給している。なお、同施設ではプルトニウムの取扱は行われていない。高速炉の燃料なので6角形をしており、2面距離が48.8mm、長さが1,650mmである。ThO_2 ペレットが含まれるブランケット燃料集合体もNFCが供給している[96]。

[96] NFC **ホームページ**、http://www.nfc.gov.in/html-products-8.htm

4-8　韓国

韓国の軽水炉用ウラン燃料成型加工施設一覧を表 4-8 に、軽水炉用ウラン燃料成型加工施設位置図を図 4-7 に示す。

表4-8 韓国の軽水炉用ウラン燃料成型加工施設一覧

会社名	施設名	所在地	対象炉	設備容量（tHM/年）	生産量実績			生産量累計	操業開始
					2009	2010	2011	2011	
韓電原子力燃料（KEPCO NF）	PWR Fuel Fabrication Plant	大田	PWR	550	350tU	約330tU	500tU	6,202tU	1989

（出所）　世界の原子力発電開発の動向 2012（日本原子力産業協会）、生産量累計はKEPCO　NFホームページ

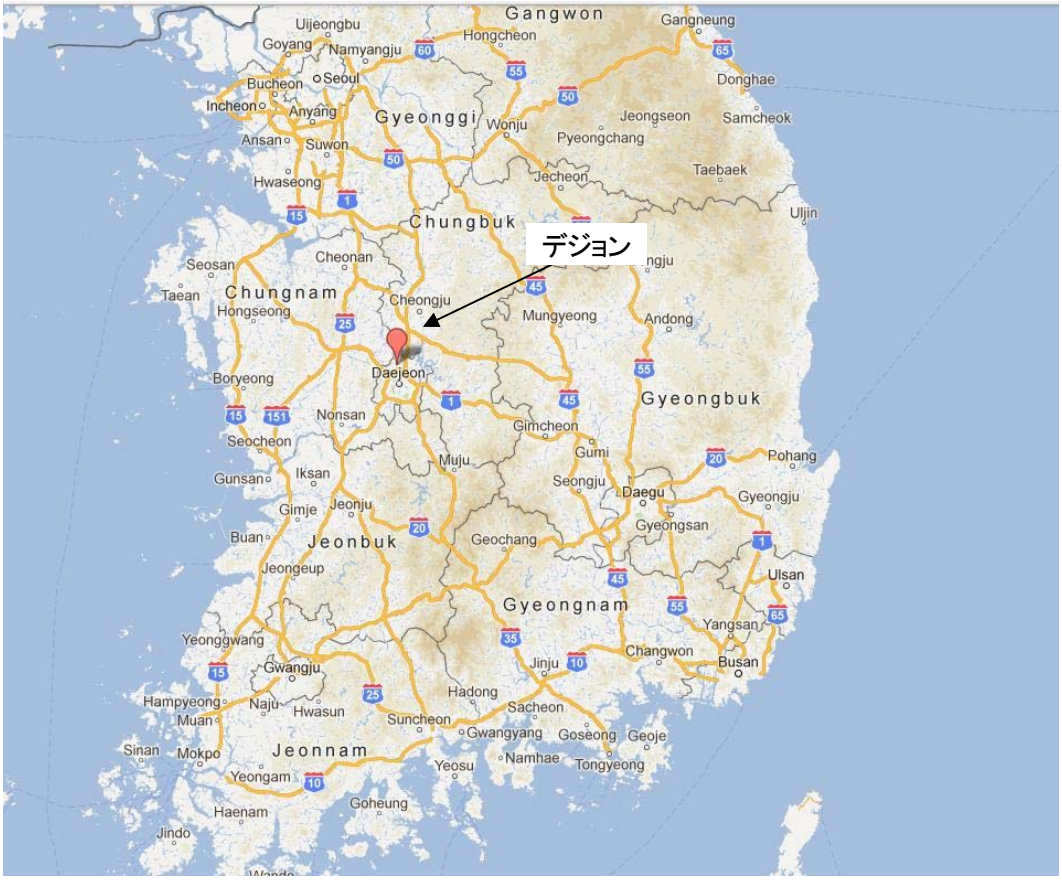


図4-7 韓国の軽水炉用ウラン燃料成型加工施設位置図

（出所）　Google map

韓国・デジョン（大田）にある燃料成型加工施設は、韓国原子力燃料（KEPCO Nuclear Fuel Co, KEPCO NF）が運営し、世界で唯一、軽水炉用と重水炉用の燃料が同時に生産できる燃料成型加工施設である。KEPCO NF 工場は、1989 年に操業を開始した。現在は軽水炉及び重水炉燃料をそれぞれ 550tU/年，400tU/年生産できる施設を保有している。

KEPCO NFは、韓国電力公社（KEPCO）の子会社であり、国内唯一の原子力燃料設計・製造会社として韓国国内の原子燃料の製造を担当してきた。1989 年最初に国産軽水炉用の燃料を提供して以来、韓国国内の軽水炉発電所向けに必要となる燃料を、2011 年には 500tU、2011 年末までの累計で 6,202tU製造している[97]。

表 4-9 にKEPCO NFの燃料仕様を表す。

表4-9 KEPCO NFで製造されている燃料仕様

[97] KEPCO NF ホームページ、http://www.knfc.co.kr/main/?en_skin=1113&left=4

プラント名	炉型	燃料型式	配列
古里１号	加圧水型軽水炉（WH型）	14OFA	14 x 14
古里２号		16ACE7	16 x 16
古里３，４号、霊光１，２号		17ACE7	17 x 17
蔚珍１，２号		17RFA	17 x 17
霊光３，４，５，６号、 蔚珍３，４，５，６号、 新古里１，２号、新月城１号	加圧水型軽水炉（OPR1000）	PLUS7	16 x 16
月城１，２，３，４号	加圧水型重水炉（CANDU6）	CANDU6	37

（出所）　KEPCO NFホームページ、http://www.knfc.co.kr/main/?en_skin=1114&left=5

4-9　ロシア

ロシアのウラン燃料成型加工施設一覧を表 4-10 に、ウラン燃料成型加工施設位置図を図 4-8 に示す。

表4-10 ロシアのウラン燃料成型加工施設一覧

会社名	施設名	所在地	対象炉	設備容量（tHM/年）	生産量実績			生産量累計	操業開始
					2009	2010	2011	2011	
Fuel Company of Rosatom TVEL	Machine Building Plant, JSC MSZ	モスクワ州、Elektrostal	VVER-1000、PWR	1800	N/A	N/A	N/A	N/A	1965
Fuel Company of Rosatom TVEL	Machine Building Plant, JSC MSZ	モスクワ州、Elektrostal	RBMK	460	N/A	N/A	N/A	N/A	1965
Fuel Company of Rosatom TVEL	Novosibirsk Chemical Concentrates Plant, JSC（NCCP）	ノヴォシビルスク州、Nobosibirsk	VVER-1000	1080	2000tHM	1200tHM	N/A	N/A	1979

（出所）　IAEA INFCIS、世界の原子力発電開発の動向 2010～2012（日本原子力産業協会）

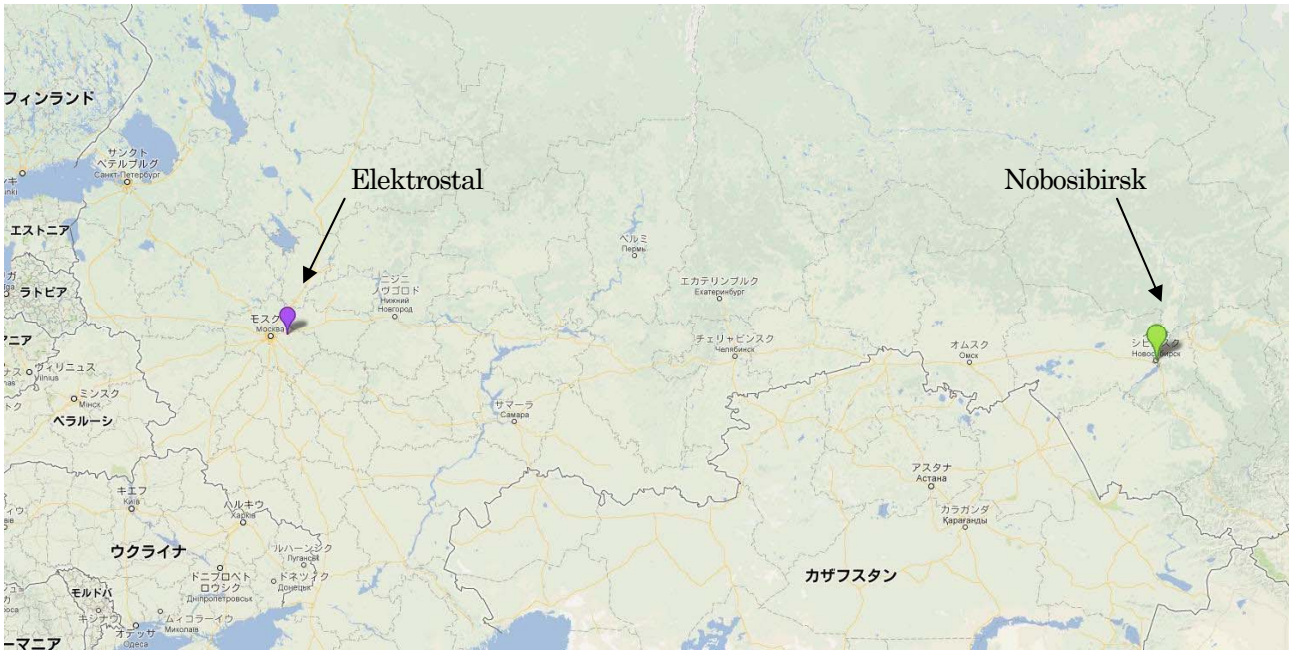


図4-8 ロシアのウラン燃料成型加工施設位置図

（出所）　Google map

モスクワ州Elektrostalには、TVEL社が所有・運転する燃料成型加工施設がある。VVER-1000 向けの燃料集合体を製造しており、年間生産能力は 1,800tMHである。1965 年に操業を開始した。また、Elektrostalには、軽水炉燃料ペレット製造工場（年間生産能力 1450tMH）、RBMK向け燃料製造工場（同 460tMH）、FBR燃料製造工場（同 50tMH）も存在する。

また、TVEL社はノヴォシビルスク州Nobosibirskにも燃料成型加工施設を所有・運転しており、VVER-1000 向けの燃料とペレットを製造している。年間生産能力は 1,080tMHで、年間のペレット製造能力は 760tMHである。2010 年の製造実績は、燃料集合体が 1,200tMH、燃料ペレットが 660tMHである[98]。

なお、TVEL社によると、同社が製造した研究炉用も含めた総燃料集合体数は 2009 年が 6,984 体、2010 年が 7,568 体であった[99]。

[98] 世界の原子力発電開発の動向 2010（日本原子力産業協会）によれば、2010 年以前の燃料集合体製造能力は 2,000tHM/年、ペレット製造能力は 900tHM/年であった。

[99] TVEL 年次報告書 2010、http://www.tvel.ru/wps/wcm/connect/tvel/tvelsite.eng/resources/7206498048a6e3089cf5dcdb97771387/tvel_report_12-08-2011_eng_pages.pdf

4-10　スペイン

スペインの軽水炉用ウラン燃料成型加工施設一覧を表 4-11 に、軽水炉用ウラン燃料成型加工施設位置図を図 4-9 に示す。

表4-11 スペインの軽水炉用ウラン燃料成型加工施設一覧

会社名	施設名	所在地	対象炉	設備容量 (tHM/年)	生産量実績			生産量累計	操業開始
					2009	2010	2011	2011	
ENUSA Industrias Avanzadas, S.A.	Fabrica de combustible	サラマンカ県、Juzbado	PWR、VVER、BWR、	500	322tHM	322tHM	341.4tHM	N/A	1985

（出所）　IAEA INFCIS、世界の原子力発電開発の動向 2010～2012（日本原子力産業協会）



図4-9 スペインの軽水炉用ウラン燃料成型加工施設位置図

（出所）　Google map

スペイン西部サラマンカ県にあるJuzbado工場は、Enusa Industrias Avanzadas, S.A（ENUSA）が運営する燃料成型加工施設である。Juzbado工場は、1985 年に操業を開始し、核燃料の設計・製造を行うとともに、燃料管理や最適化のサービス事業、使用済燃料の管理・燃料施設保守などの燃料サービス事業を担っている。年間生産能力は、500tHMであり、2011 年の製造実績は 341.4tHMであり、内 107tHMが国内向け、234tHMが国外に輸出されている。また、2011 年にはPWR向け燃料を 532 体、BWR向け燃料を 497 体製造している。同工場に勤務する従業員は 379 名である。

ENUSAは 1972 年に政府からウランの採掘事業を移管され発足した企業である。その後、1974 年にWestinghouse及びGEと技術移転に合意し、核燃料事業を開始している。また、同年に、フランス、イタリア、ベルギーと共同でEURODIFを設立し、濃縮契約を締結するとともに、転換に関する長期契約をロシアのTVELと締結している。現在では採鉱事業は行っていないが、株式の 60%を国営企業（SEPI）、40%を科学革新省傘下のエネルギー環境技術センター（Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas：CIEMAT）が保有する公営の貿易企業として活動している。

ENUSAの事業は三つの事業から構成され、核燃料サイクルのフロントエンド、環境、産業投資から成る。

- フロントエンド
  同社のコア事業であり、主として濃縮ウランをスペインの原子力発電所に供給する事業を展開している。加えて、同社はEURODIFとニジェールでウラン探鉱事業を行っているCOMINAKの株式を保有している。
- 環境
  同社の探鉱事業の経験の蓄積を生かして、環境マネジメントに特化した事業を行っている。
- 産業投資
  原子力分野における経験と技術革新に関するポテンシャルをベースに、事業多様化を進める観点から、他の科学技術系企業に対して資本の所有などの事業を推進している。

4-11　スウェーデン

スウェーデンの軽水炉用ウラン燃料成型加工施設一覧を表 4-12 に、軽水炉用ウラン燃料成型加工施設位置図を図 4-10 に示す。

表4-12 スウェーデンの軽水炉用ウラン燃料成型加工施設一覧

会社名	施設名	所在地	対象炉	設備容量 (tHM/年)	生産量実績			生産量累計	操業開始
					2009	2010	2011	2011	
Westinghouse Eiectric Sweden AB	Westinghouse Sweden Nuclear Fuel Factory	ヴェストマンランド県、Vasteras	PWR、BWR	600	390tU	400tU	～500tU	N/A	1969

（出所）　IAEA INFCIS、世界の原子力発電開発の動向 2010～2012（日本原子力産業協会）

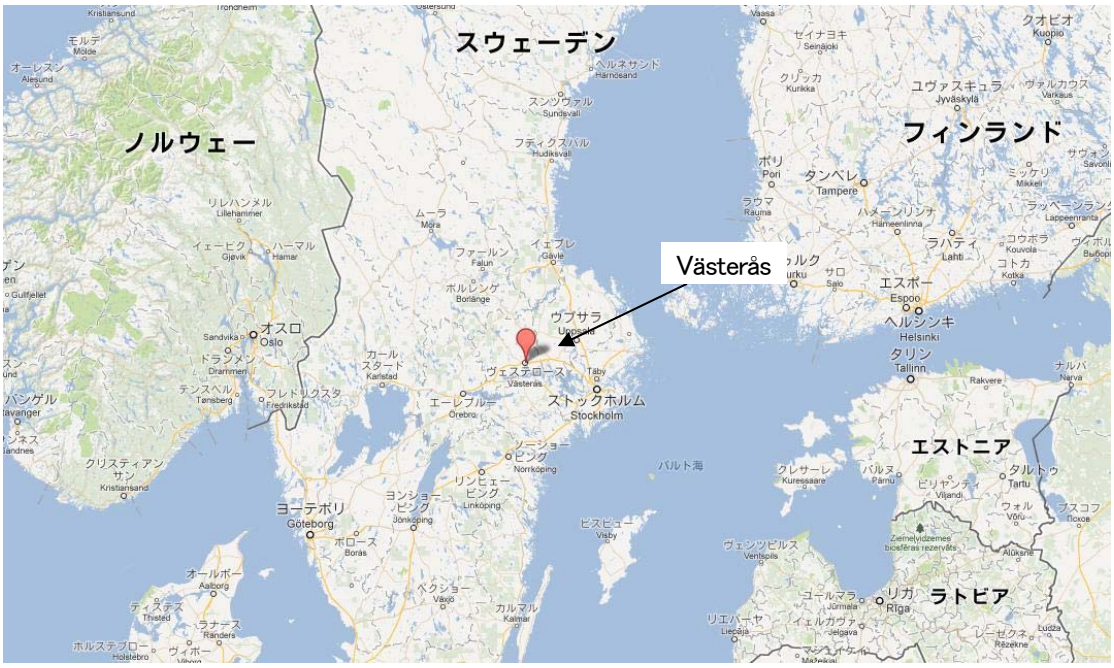


図4-10 スウェーデンの軽水炉用ウラン燃料成型加工施設位置図

（出所）　Google map

スウェーデン中部ヴェストマンランド地方にあるVästerås工場は、Westinghouse Electric Sweden が運営する燃料集合体及び燃料被覆管、BWR用制御棒の製造施設である。このVästerås工場は、1971 年に操業を開始した。生産能力は 600tU/年まで認可されているが、年間の生産実績は約 400tUとされている[100]。

Västerås工場は、1969 年にスウェーデンの電力会社であるASEA(ASEA-Allmänna Svenska Elektriska Aktiebolaget)と国がそれぞれ出資して設立した企業であるASEA-ATOMの所有で、初年度の従業員は 355 名であった。その後、1988 年には完全民営化し、Asea Brown Boveri(ABB)グループ傘下となった。2000 年にABBが原子力事業をBNFLに売却し、同社はWestinghouse Electric Companyに統合され、Westinghouse Atom ABと改称。更に、2003 年 11 月にWestinghouse Electric Swedenに改称され、現在に至る[101]。
なお、Västerås工場は米国NRCの 10CFR 50 Appendix Bの要求事項を満たした品質保証体系が整備されている。

100 Wesinghouse ホームページ、http://www.westinghousenuclear.com/ProductLines/Nuclear_Fuel/nf_swedish_operations.shtm
101 Wesinghouse ホームページ、http://www.westinghousenuclear.com/ProductLines/Nuclear_Fuel/w_sweden_history.shtm

4-12　イギリス

イギリスのウラン燃料成型加工施設一覧を表 4-13 に、ウラン燃料成型加工施設位置図を図 4-11 に示す。

表4-13 イギリスのウラン燃料成型加工施設一覧

会社名	施設名	所在地	対象炉	設備容量 (tHM/年)	生産量実績			生産量累計	操業開始
					2009	2010	2011	2011	
Westinghouse/UK	Springfields OFC AGR Line	ランカシャー州、Springfields	AGR	290	163.2tU (AGR)	181tU(AGR)	～180tU	N/A	1996
	Springfields OFC LWR Line	ランカシャー州、Springfields	LWR	330	N/A	N/A	N/A	N/A	1996

（出所）　IAEA INFCIS、世界の原子力発電開発の動向 2010～2012（日本原子力産業協会）

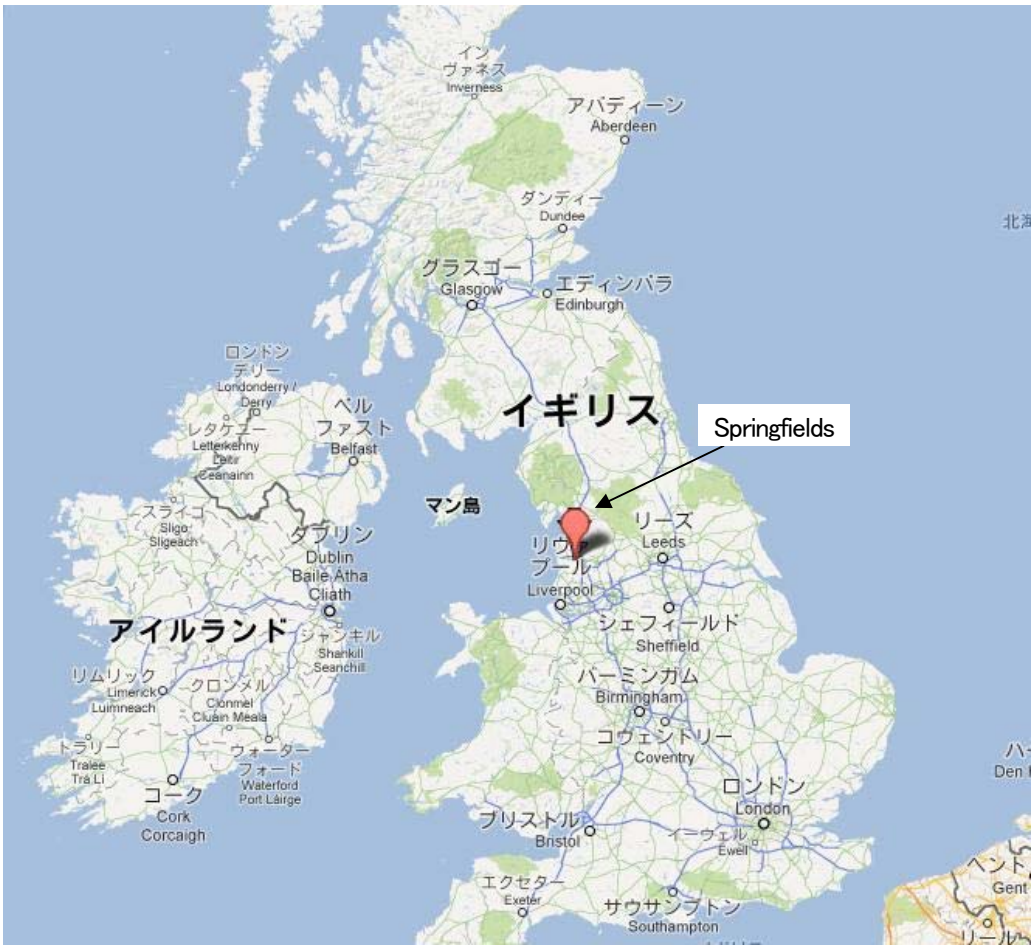


図4-11 イギリスのウラン燃料成型加工施設位置図

（出所）　Google map

英国にあるSpringfields 工場は、原子力廃止措置機構（NDA：Nuclear Decommissioning Authority）が所有し、Westinghouse が操業する軽水炉用燃料成型加工施設である。このSpringfields工場は、1996 年より操業を開始した。施設の燃料製造成型加工容量は、AGR向けが 290tHM/年、軽水炉向けが 330tHM/年であり[102]、2010 年のAGR燃料製造実績は 181tUである[103]。施設の再転換容量は、残渣からの再転換が 65tHM/年、UF_6 からの再転換が 550tHM/年である[104]。

[102] IAEA INFCIS
[103] 世界の原子力発電の動向 2011 年版による。
[104] NDA, Annual Report & Accounts 2008/2009

1946 年に英国原子力計画の下で設立されて以来、Springfieldsサイトは当初、英国原子力公社（UKAEA）が運営主体となって、AGR燃料・Magnox燃料の製造、UF_6への転換役務サービスを行っていた。その後 1971 年にBNFLに移管され、1996 年にはBNFLはWestinghouseに操業させるようになった。2005 年 4 月 1 日の組織再編により、Springfieldsサイトの資産と負債は新しい政府の組織であるNDAに移管され、現在はNDAの管理下にある。

Springfieldsの転換施設を運転するライセンスを持つ会社は、2005 年の組織再編により設立されたSpringnelds Fuels Limitedであり、実際に施設を操業する会社はWestinghouse Electric UK Limited（WH UK）である。2010 年にWH UKはNDAと長期リース契約を締結し、現在はSpringfields Fuels Limitedを通じて、WH UKが操業を行っている。

WH UKによれば、Springfieldsにおける主な活動は以下の 4 点である[105]。

- AGR及びLWR向けの酸化燃料及び粉末・粒子・ペレット状の燃料製品製造
- フッ化物ウランの製造
- ウラン残渣の加工
- 余剰設備及び建物の廃止措置と解体

[105] Westinghouse ホームページ、http://www.westinghousenuclear.com/ProductLines/Nuclear_Fuel/springfields_site.shtm

4-13　アメリカ

アメリカの軽水炉用ウラン燃料成型加工施設一覧を表 4-14 に、軽水炉用ウラン燃料成型加工施設位置図を図 4-12 に示す。

表4-14 アメリカの軽水炉用ウラン燃料成型加工施設一覧

会社名	施設名	所在地	対象炉	設備容量 (tHM/年)	生産量実績			生産量累計	操業開始
					2009	2010	2011	2011	
Westinghouse	Columbia	サウスカロライナ州、Columbia	PWR、BWR	1150	N/A	N/A	N/A	N/A	1986
AREVA NP	Lynchburg – FC Fuels	バージニア州、Lynchburg	PWR	400	N/A	N/A	N/A	N/A	1982
	Richland	ワシントン州、Richland	LWR	700	N/A	N/A	N/A	N/A	1970
GNF-Americas	Wilmington	ノースカロライナ州、Wilmington	BWR	750	N/A	N/A	N/A	N/A	1982

（出所）　IAEA INFCIS、AREVA

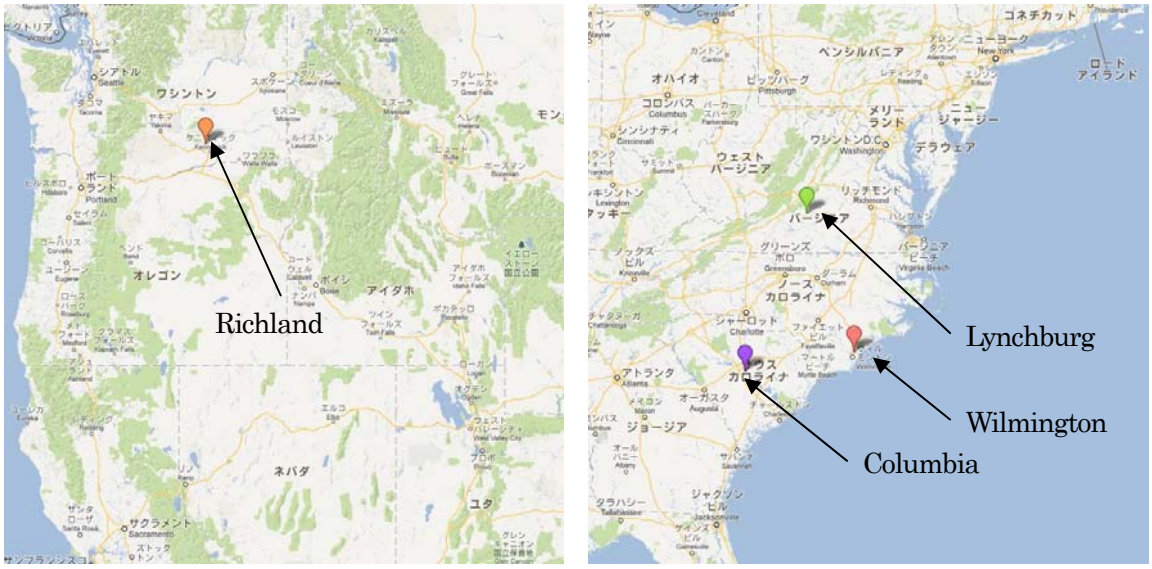


図4-12 アメリカの軽水炉用ウラン燃料成型加工施設位置図

（出所）　Google map

4-13-2　Westinghouse

米国南東部サウスカロライナ州のコロンビア市にあるColumbia工場は、Westinghouseが運営する再転換施設と加工施設である。現在の施設は、1986 年より操業を開始しており、年間製造能力は 1,150tHM[106]である。なお、同施設は 2005 年にBWR燃料も製造できるように改造されているが、その技術は同社がスウェーデンで運転するVasteras工場の技術を用いている[107]。

Westinghouse社によれば、これまで 51,000 体以上の燃料集合体を製造しており、燃料集合体及び燃料関連製品をベルギー、ブラジル、チェコ、フランス、日本、スロベニア、韓国、スペイン、スウェーデン、台湾、イギリスに輸出した実績がある[108]。

4-13-3　AREVA NP

米国ワシントン州の南部ベントン郡にあるRichland工場は、AREVA NP社が運営する再転換施設と加工施設である。この施設は、1970 年より操業を開始しており、年間製造能力は 700tHMである。

106 IAEA INFCIS による。
107 Westinghouse ホームページ、http://westinghousenuclear.mediaroom.com/index.php?s=43&item=61
108 Westinghouse ホームページ、http://www.westinghousenuclear.com/ProductLines/Nuclear_Fuel/columbia_site.shtm

再転換施設では、乾式法（気体であるUF_6を溶媒に溶解させることなく、水素等で還元させることでUO_2粉末を得る方法）を使用してUO_2粉末を製造し、加工施設ではBWR、PWR用のペレット、燃料棒及び燃料集合体の製造を行なっている。Richland工場はAREVA社の工場であるため、使用している製造機器はRomans工場で使用されている機器と同様であり、製造工程もRomans工場と同様である。
2009年4月、原子力規制委員会（NRC）はRichland工場の40年間の操業許可が2010年で満了することを受けて、さらに40年間の操業を許可した。40年間の操業延長許可は、米国で初の事例（従来は、操業許可の期間は20年間だったが、2006年に40年の許可が可能になった）。[109]。
2010年12月、三菱原子燃料はAREVAと、50%－50%で出資する合弁企業US Nuclear Fuelを設立し、Richland工場でAPWR向け燃料を製造することを発表している。

米国バージニア州リンチバーグ市にあるLynchburg工場は、AREVA NP社が運営する燃料棒及び燃料集合体の製造施設である。この施設は、1982年より操業を開始しており、年間製造能力は400tHMであった。
再転換施設は有しておらず、Richland工場からUO_2粉末を受け入れて、PWR用のペレット、燃料棒及び燃料集合体の製造を行なっていた。Lynchburg工場も、使用している製造機器はRomans工場で使用されている機器と同様であり、製造工程もRomans工場と同様であった。
2009年9月、AREVA社はLynchburgの燃料製造事業をRichlandへと移転・集約する方針を発表した。2012年9月にNRCは、Lynchburgのライセンスを終結させており、同施設での燃料製造は終了している。

4-13-4 GE Nuclear Energy

ノースカロライナ州ウィルミントンにあるWilmington工場は、GNF-Americasが運営する再転換施設と加工施設である。この施設は、1982年より操業を開始しており、IAEA INFCISによれば年間製造能力は1,200tHMである。また、World Nuclear Associationによれば、再転換能力は1,200tHM、燃料集合体製造能力は750tHMである。
当初、GE（General Electric）により操業されていたが、2000年にGEと日立、東芝が合弁でGNF（Global Nuclear Fuel）社を設立したことに伴い、GNF-Americasの所有となった。再転換施設では乾式法を使用してUO_2粉末を製造し、加工施設ではBWR用のペレット、燃料棒及び燃料集合体の製造を行なっている。

[109] AREVA **ホームページ、**http://us.areva.com/EN/home-427/fuel-production.html

5. ウラン燃料成型加工施設（重水炉用）

5-1 施設一覧

世界の主要な重水炉用ウラン燃料成型施設を国別・企業別に表 5-1 に示す。

表5-1 世界の重水炉用ウラン燃料成型加工施設一覧

国名	会社名	施設名	所在地	対象炉	製造能力（tHM/年）	操業開始
アルゼンチン	原子力委員会（CNEA）	Ezeiza – Nuclear Fuel Manufacture Plant	Buenos Aires州、Ezeiza	PHWR	270	1982
カナダ	GEカナダ	Peterborough Facility	オンタリオ州、Peterborough	PHWR	1,200	1956
	Cameco Fuel Manufacturing Inc.	Port Hope	オンタリオ州、Port Hope	PHWR	1,200	1957
中国	中国核工業集団公司（CNNC）	Candu Fuel Plant	内モンゴル自治区、包頭	PHWR	200	2003
インド	Nuclear Fuel Complex（NFC）	NFC（PHWR）-2	アーンドラ・プラデーシュ州、Hyderabad	PHWR	300	1997
		NFC-（PHWR）-Block-A	アーンドラ・プラデーシュ州、Hyderabad	PHWR	300	1974
韓国	韓電原子力燃料（KEPCO NF）	PHWR Fuel Fabrication Plant	大田	PHWR	400	1998
パキスタン	Pakistan Atomic Energy Commission（PAEC）	Chashma	Chashma	PHWR	20	1986
ルーマニア	S N. Nuclearelectrica SA	Fabrica de Combustibil Nuclear	Arges	PHWR	240	1995

（出所） 世界の原子力発電開発の動向 2010～2012（日本原子力産業協会）、IAEA INFCIS等各種資料より作成
注：PHWRにはCANDU炉を含む。

5-2　アルゼンチン

アルゼンチンの重水炉用ウラン燃料成型加工施設一覧を表 5-2 に、重水炉用ウラン燃料成型加工施設位置図を図 5-1 に示す。

表5-2 アルゼンチンの重水炉用ウラン燃料成型加工施設一覧

会社名	施設名	所在地	対象炉	製造能力 (tHM/年)	生産量実績			生産量累計	操業開始
					2009	2010	2011	2011	
原子力委員会(CNEA)	Ezeiza – Nuclear Fuel Manufacture Plant	Buenos Aires州、Ezeiza	PHWR	270	N/A	N/A	N/A	N/A	1982

（出所）　IAEA INFCIS



図5-1 アルゼンチンの重水炉用ウラン燃料成型加工施設位置図

（出所）　Google map

アルゼンチンではBuenos Aires州Ezeizaにある施設で、アルゼンチン原子力委員会（CNEA）の関連会社 Combustibles Nucleares Argentinos S.A.[110]（CONUAR）が 1982 年からウラン燃料の成型加工を行なっており、同国の原子力発電所に必要な全燃料を供給している。IAEA INFCISによれば、年間製造能力は 270tHM である。

また、研究用及び放射性同位元素製造用原子炉向けの燃料（20%までの濃縮度）の成型加工を行なっているほか、制御棒（ホワイトコバルト及びAg-In-Cd）の製造も行なっている[111]。

[110] CONUAR ホームページによれば、CONUAR の株主は CNEA が 33%、Grupo Perez Companc が 67%である。
[111] CONUAR ホームページ、http://www.conuar.com.ar/home.htm

5-3　カナダ

カナダの重水炉用ウラン燃料成型加工施設一覧を表 5-3 に、重水炉用ウラン燃料成型加工施設位置図を図 5-2 に示す。

表5-3 カナダの重水炉用ウラン燃料成型加工施設一覧

会社名	施設名	所在地	対象炉	製造能力 (tHM/年)	生産量実績			生産量累計	操業開始
					2009	2010	2011	2011	
GEカナダ	Peterborough Facility	オンタリオ州、Peterborough	PHWR	1,200	N/A	N/A	N/A	N/A	1956
Cameco Fuel Manufacturing Inc.	Port Hope	オンタリオ州、Port Hope	PHWR	1,200	N/A	N/A	N/A	N/A	1957

（出所）　IAEA INFCIS

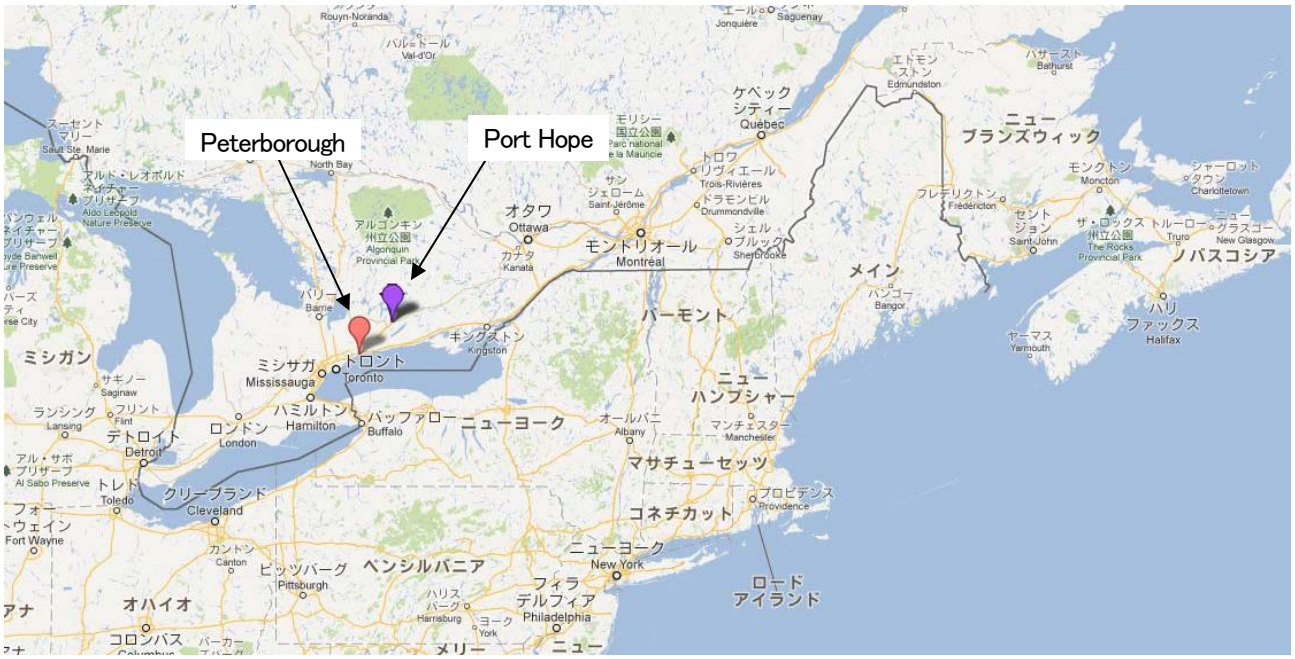


図5-2 カナダの重水炉用ウラン燃料成型加工施設位置図

（出所）　Google map

オンタリオ州Peterboroughにある燃料成型加工施設は、GE Hitachi Nuclear Energy Canada社が所有、運転しており、重水炉（CANDU）向けの燃料集合体を製造している。IAEA INFCISによれば、年間製造能力は1,200tHMである。同社は、CAMECO社よりUO_2粉末を購入し、Torontoの施設でペレットに加工し、Peterboroughの施設で燃料集合体に加工されているため、再転換施設は併設されていない[112]。

オンタリオ州Port Hopeにある燃料成型加工施設は、Cameco Fuel Manufacturing社が所有、運転しており、CANDU向けの燃料集合体を製造している。IAEA INFCISによれば、年間製造能力は 1,200tHMである。なお、ライセンス上、月間のUO_2ペレット製造量は 125tHMに制限されている。
操業ライセンスは 2012 年 3 月までであったが、2012 年 2 月、カナダ原子力委員会（CNSC）は 10 年間のライセンス延長を認めており、2022 年 2 月末までの操業が可能である。従業員は約 190 名であるが、オンタリオ州Cobourg,にある、ウランを取り扱わない金属加工工場に約 110 名の従業員が働いている[113]。

[112] GE-Hitachi Nuclear Energy Canada Inc.、2011 Annual Compliance Report
[113] CAMECO、2011 Annual Compliance Monitoring & Operational Performance Report、http://www.cameco.com/fuel_services/fuel_manufacturing/environment_safety/

5-4　中国

中国の重水炉用ウラン燃料成型加工施設一覧を表 5-4 に、重水炉用ウラン燃料成型加工施設位置図を図 5-3 に示す。

表5-4 中国の重水炉用ウラン燃料成型加工施設一覧

会社名	施設名	所在地	対象炉	製造能力 (tHM/年)	生産量実績			生産量累計	操業開始
					2009	2010	2011	2011	
中国核工業集団公司(CNNC)	Candu Fuel Plant	内モンゴル自治区、包頭	PHWR	200	-	-	-	-	2003

(出所)　IAEA INFCIS



図5-3 中国の重水炉用ウラン燃料成型加工施設位置図

(出所)　Google map

中国・包頭にある核燃料成型加工施設は、中国核工業集団公司(China National Nuclear Corporation：CNNC)の傘下にある中核北方核燃料元件有限公司が、2000 年に着工・2003 年に操業開始した重水炉燃料生産施設であり、IAEA INFCISによれば年間製造能力は200tHMである。また、9%濃縮ウランにより、ペブルベッドモジュラー型高温ガス炉[114]向けの燃料を製造するための設備整備も進められ、2011 年より最大で年間 300,000 個のペブルベッド燃料の製造が可能となっている[115]。

[114] 直径 0.5～0.6mm の UO_2 粒子を燃料の核として、その表面を黒鉛の被膜で覆った直径 1mm 程度の燃料を黒鉛粉末と混合し、直径 60mm 程度の球状に成型した燃料球を用いる高温ガス炉。

[115] World Nuclear Association、http://www.world-nuclear.org/info/inf63b_china_nuclearfuelcycle.html

5-5　インド

インドの重水炉用ウラン燃料成型加工施設一覧を表 5-5 に、重水炉用ウラン燃料成型加工施設位置図を図 5-4 に示す。

表5-5 インドの重水炉用ウラン燃料成型加工施設一覧

会社名	施設名	所在地	対象炉	製造能力 (tHM/年)	生産量実績			生産量累計	操業開始
					2009	2010	2011	2011	
Nuclear Fuel Complex (NFC)	NFC(PHWR)-2	アーンドラ・プラデーシュ州、Hyderabad	PHWR	300	-	-	-	-	1997
	NFC-(PHWR)-Block-A	アーンドラ・プラデーシュ州、Hyderabad	PHWR	300	-	-	-	-	1974

（出所）　IAEA INFCIS

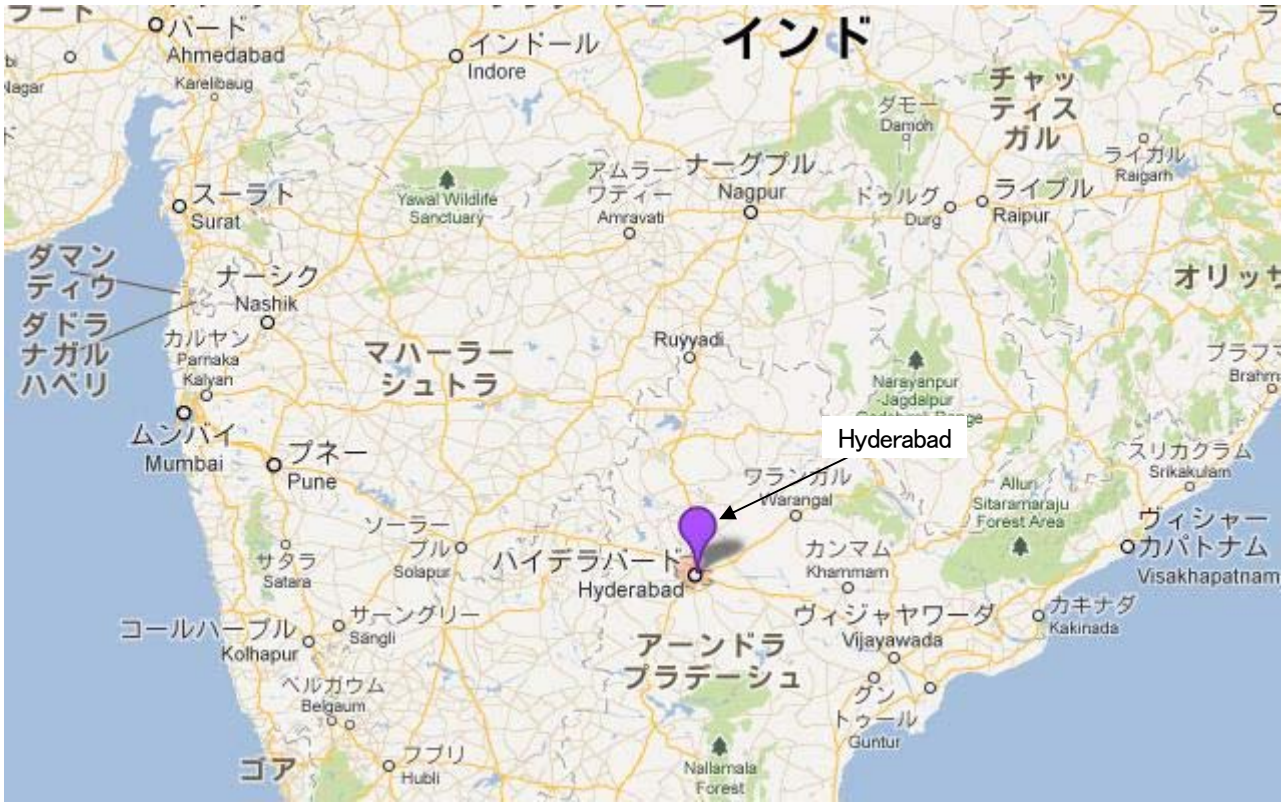


図5-4 インドの重水炉用ウラン燃料成型加工施設位置図

（出所）　Google map

ハイデラバード（Hyderabad）にある燃料成型加工施設は、同国原子力省傘下の製造部門であるNFC（Nuclear Fuel Complex）がPHWR向け燃料を成型加工する施設であり、1974 年から操業している。2 施設あり、IAEA INFCISによれば年間生産能力はそれぞれ 300tMHである。

220MWe原子炉用に 19 本の燃料棒で構成される燃料集合体を製造することができる。燃料集合体 1 本当り 15.2kgのUO2 が入っており、これまでに 25 万本以上の集合体を製造している。また、NFCは 540MWe用原子炉用に 37 本の燃料棒で構成される集合体も製造しており、こちらには燃料集合体 1 本当り 22.0kgのUO_2が入っている。さらに、NFCは原子炉起動時に融解する二酸化トリウムを含む燃料集合体も製造しており、これまでに 253 本が製造された[116]。

[116] NFC ホームページ、http://www.nfc.gov.in/html-products-phwr.htm
ただし、少なくとも 2010 年 10 月以降に更新されておらず、製造実績は古いものであると考えられる。

5-6　韓国

韓国の重水炉用ウラン燃料成型加工施設一覧を表 5-6 に、重水炉用ウラン燃料成型加工施設位置図を図 5-5 に示す。

表5-6 韓国の重水炉用ウラン燃料成型加工施設一覧

会社名	施設名	所在地	対象炉	製造能力 (tHM/年)	生産量実績			生産量累計	操業開始
					2009	2010	2011	2011	
韓電原子力燃料(KEPCO NF)	PHWR Fuel Fabrication Plant	大田	PHWR	400	330	約360	400	5,237	1998

（出所）　世界の原子力開発の動向 2010～2012 年版、生産量累計はKEPCO NF

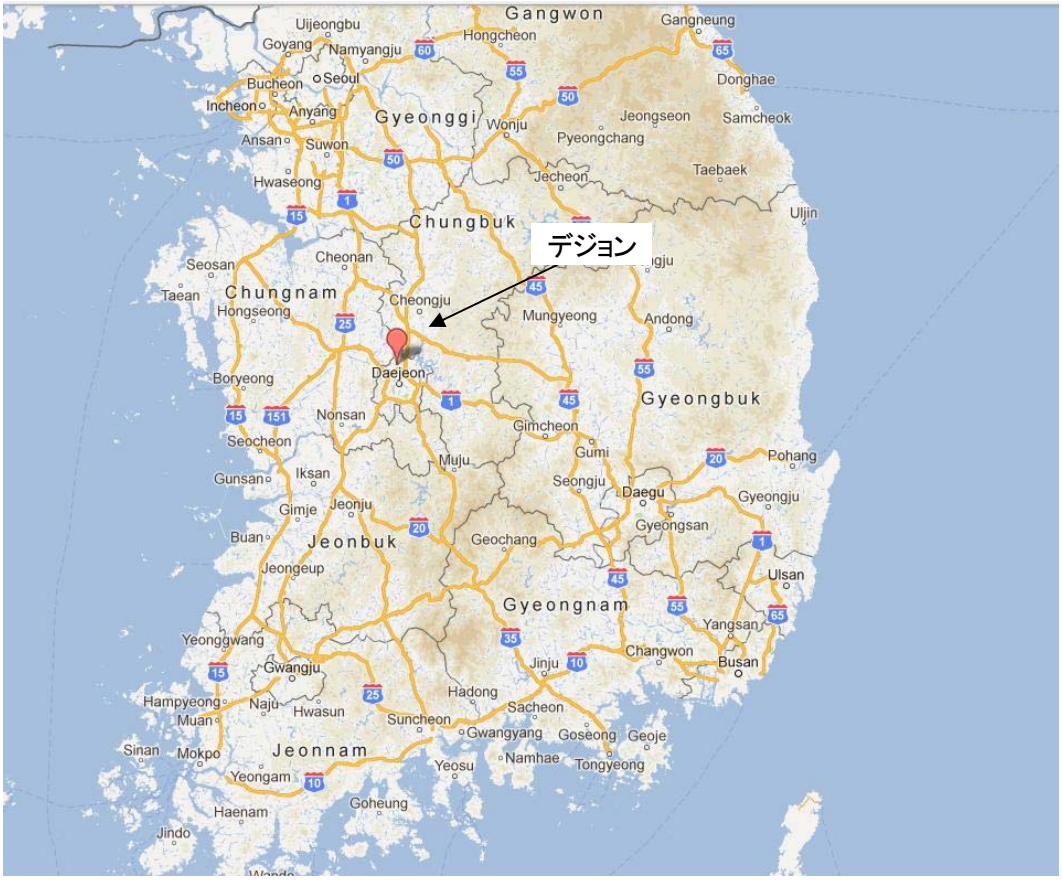


図5-5 韓国の重水炉用ウラン燃料成型加工施設位置図

（出所）　Google map

韓国・デジョン（大田）にある燃料成型加工施設は、韓国原子力燃料(KEPCO Nuclear Fuel Co, KEPCO NF)が運営し、世界で唯一、軽水炉用と重水炉用の燃料が同時に生産できる燃料成型加工施設である。KEPCO NF 工場は、1989 年に操業を開始した。現在は軽水炉及び重水炉燃料を各 550tU/年，400tU/年生産できる施設を保有している。

KEPCO NFは、韓国電力公社（KEPCO）の子会社であり、国内唯一の原子力燃料設計・製造会社として韓国国内の原子燃料の製造を担当してきた。1989 年最初に国産軽水炉用の燃料を提供して以来、韓国国内の重水炉発電所向けに必要となる燃料を、2011 年には 400tU、2011 年末までの累計で 5,237tU製造している[117]。

表 5-7 にKEPCO NFの燃料仕様を表す。

[117] KEPCO NF ホームページ、http://www.knfc.co.kr/main/?en_skin=service04.html&left=4

表5-7 KEPCO NFの燃料仕様

プラント名	炉型	燃料型式	配列
古里１号	加圧水型軽水炉（WH型）	14OFA	14 x 14
古里２号		16ACE7	16 x 16
古里３，４号、霊光１，２号		17ACE7	17 x 17
蔚珍１，２号		17RFA	17 x 17
霊光３，４，５，６号、 蔚珍３，４，５，６号、 新古里１，２号、新月城１号	加圧水型軽水炉（OPR1000）	PLUS7	16 x 16
月城１，２，３，４号	加圧水型重水炉（CANDU6）	CANDU6	37

（出所）　KEPCO NFホームページ、http://www.knfc.co.kr/main/?skin=1114&left=5

5-7　パキスタン

パキスタンの重水炉用ウラン燃料成型加工施設一覧を表 5-8 に、重水炉用ウラン燃料成型加工施設位置図を図 5-6 に示す。

表5-8 パキスタンの重水炉用ウラン燃料成型加工施設一覧

会社名	施設名	所在地	対象炉	製造能力 (tHM/年)	生産量実績			生産量累計	操業開始
					2009	2010	2011	2011	
Pakistan Atomic Energy Commission (PAEC)	Chashma	Chashma	PHWR	20	–	–	–	–	1986

（出所）　IAEA INFCIS

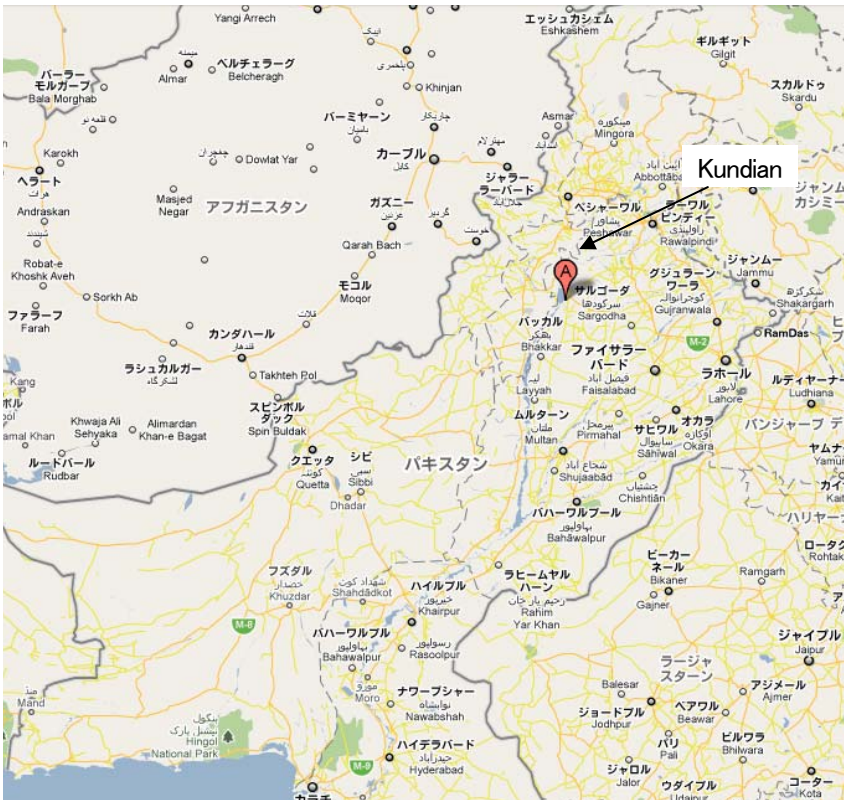


図5-6 パキスタンの重水炉用ウラン燃料成型加工施設位置図

（出所）　Google map

パキスタン北部のインダス川に面するクンディアン（Kundian）にCANDU型燃料の成型加工施設がある。1978 年に生産を開始し、年間生産能力は 20tHMである[118]。米国の核不拡散研究専門機関によれば、保障措置の対象外施設である[119]。なお、カラチ原子力発電所に装荷している燃料は、1991 年 8 月にカナダ製燃料を完全に炉心から取り出して、すべて国産燃料に取替えられ、国産燃料による供給体制を確立している[120]。

[118] IAEA INFCIS
[119] James Martin Center for Nonproliferation Studies, http://cns.miis.edu/reports/pdfs/pakistan.pdf
[120] ATOMICA、パキスタンの原子力開発と原子力施設 (14-02-12-01)、
http://www.rist.or.jp/atomica/data/dat_detail.php?Title_Key=14-02-12-01

5-8　ルーマニア

ルーマニアの重水炉用ウラン燃料成型加工施設一覧を表 5-9 に、重水炉用ウラン燃料成型加工施設位置図を図 5-7 に示す。

表5-9 ルーマニアの重水炉用ウラン燃料成型加工施設一覧

会社名	施設名	所在地	対象炉	製造能力 (tHM/年)	生産量実績			生産量累計	操業開始
					2009	2010	2011	2011	
S N. Nuclearelectrica SA	Fabrica de Combustibil Nuclear	Arges	PHWR	240	215	218.5	218.5	N/A	1995

（出所）　世界の原子力発電開発の動向 2010～2012（日本原子力産業協会）、Nuclear Fuel Fabrication (World Nuclear Association)

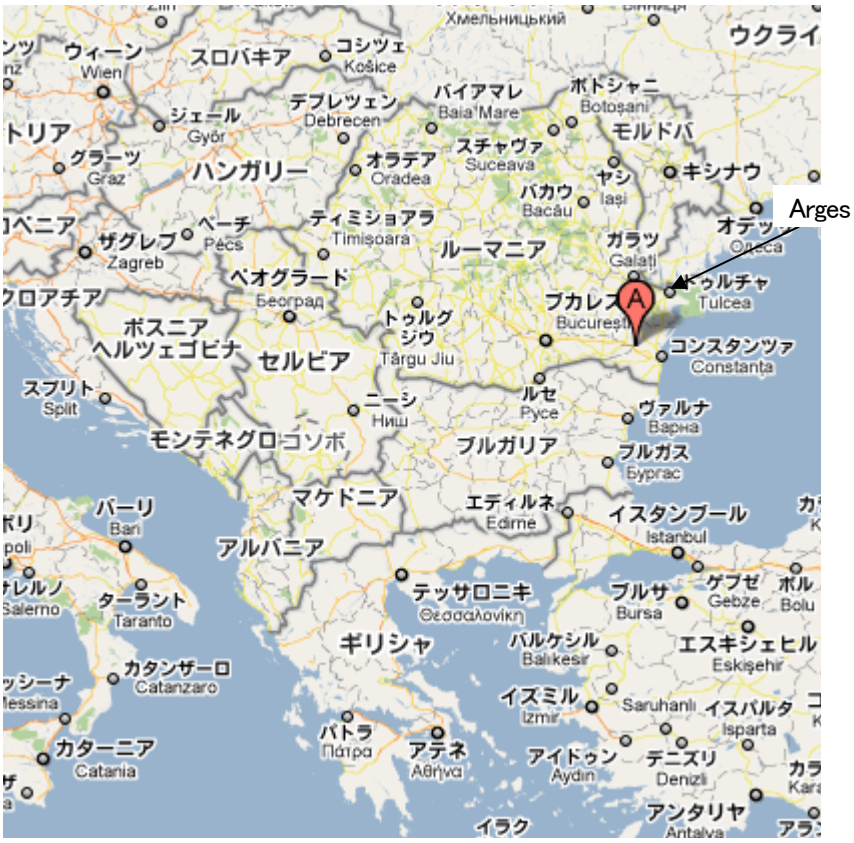


図5-7 ルーマニアの重水炉用ウラン燃料成型加工施設位置図

（出所）　Google map

Argesにある燃料成型加工施設は、ルーマニア国内で稼動している 2 基のCANDU炉（Cernaboda1 号炉と 2 号炉）向け燃料集合体を製造する成型加工施設で、1995 年より稼動している。施設の所有・運営者は国営の電力会社Nuclearelectrica S.A.であり、年間生産容量は 240tHMであり[121]、2011 年の生産実績は 218.5tHMである[122]。

[121] World Nuclear Association,　http://www.world-nuclear.org/info/Nuclear-Fuel-Cycle/Conversion-Enrichment-and-Fabrication/Fuel-Fabrication/#.UVOK7Bfwn4g

[122] 世界の原子力発電開発の動向 2010～2012（日本原子力産業協会）

6. 再処理施設

6-1 施設一覧

世界の主要な再処理施設を国別・企業別に表 6-1 に示す。

表6-1 世界の再処理施設一覧

国名	会社名	施設名	所在地	処理能力（tHM／年）	操業開始
中国	CNNC	蘭州	甘粛省、蘭州	50	2006
フランス	AREVA NC	UP2-800	バス＝ノルマンディー、la Hague	1,000	1994
		UP3		1,000	1989
インド	バーバ原子力センター	トロンベイ再処理工場	マハーラーシュトラ州、トロンベイ	60	1964
		タラプール再処理工場	マハーラーシュトラ州、タラプール	100	2011
		カルパッカム再処理工場	タミルナド州、カルパッカム	100	1998
日本	日本原子力研究開発機構	東海再処理施設	茨城県、東海村	0.7t／日	1981
	日本原燃（株）	六ヶ所再処理工場	青森県、六ヶ所村	800	2013予定
ロシア	マヤク社（ROSATOM子会社）	RT-1	チェリャビンスク州、Ozersk	400	1971
	鉱山化学コンビナート社（ROSATOM子会社）	RT-2	クラスノヤルスク州、Zheleznogorsk	1,400	第1フェーズ（2025） 第2フェーズ（2030）
イギリス	Nuclear Decommissioning Authority(NDA)	B205	カンブリア、Sellafield	1,000	1964
		THORP		900	1994

（出所） 世界の原子力発電開発の動向 2010～2012（日本原子力産業協会）、原子力ポケットブック 2012(電気新聞)等各種資料より作成

6-2　中国

中国の再処理施設一覧を表 6-2 に、再処理施設位置図を図 6-1 に示す。

表6-2 中国の再処理施設一覧

会社名	施設名	所在地	処理能力（tHM／年）	再処理量実績(tHM)			再処理量累計	燃料	操業開始
				2009	2010	2011	2011		
CNNC	蘭州	甘粛省、蘭州	50	N/A	N/A	N/A	N/A	濃縮ウラン	2006

（出所）　World Nuclear Association, China's Nuclear Fuel Cycle



図6-1 中国の再処理施設位置図

（出所）　Google map

甘粛省蘭州の再処理施設は中国核工業総公司（CNNC）が所有している。1994 年に建設が開始され、2000 年にパイロットプラントが完成し、2006 年から操業を開始している。年間処理能力は 50tHMとされているが、2009 年より 100tHMに設備を拡張し、試運転を行っている。なお、使用済燃料貯蔵プール容量は、550tHMであるが、1,300tHMまで拡張の予定である[123]。2020 年頃に年間処理能力 800～1000tHM規模の再処理施設を建設する予定であったが、以下に述べる嘉峪関での再処理施設建設に置き換えられた[124]。

甘粛省嘉峪関で計画されている再処理施設については、フランスAREVA社の技術により建設が進められている。2007 年 11 月には、CNNCはAREVAと年間処理能力 800tHM規模の再処理施設とMOX燃料製造施設を建設するためのFS実施に合意しており、その後、2010 年 11 月には建設合意を締結。投資額は 150 億ユーロで、2025 年からの商業運転開始を目指している[125]。なお、使用済燃料貯蔵プール容量は、3,000～6,000tHMである[126]。

[123] ATOMICA、**中国の核燃料サイクル**（14-02-03-04）、http://www.rist.or.jp/atomica/data/dat_detail.php?Title_No=14-02-03-04
[124] World Nuclear Association、http://www.world-nuclear.org/info/inf63b_china_nuclearfuelcycle.html
[125] World Nuclear Association、http://www.world-nuclear.org/info/inf63b_china_nuclearfuelcycle.html
[126] ATOMICA、**中国の核燃料サイクル**（14-02-03-04）、http://www.rist.or.jp/atomica/data/dat_detail.php?Title_No=14-02-03-04

なお、中国の再処理施設に関する高橋の調査[127]結果によれば、甘粛省、酒泉に 2 つの再処理工場があるが、これらの施設は軍事用であり、現在の稼働状況等は不明。

[127] 高橋啓三, “再処理技術の誕生から現在に至るまでの解析および考察”, 日本原子力学会和文誌, Vol.5 No.2, p.152-165(2006)

6-3　フランス

フランスの再処理施設一覧を表 6-3 に、再処理施設位置図を図 6-2 に示す。

表6-3 フランスの再処理施設一覧

会社名	施設名	所在地	処理能力（tHM／年）	再処理量実績(tHM)			再処理量累計	燃料	操業開始
				2009	2010	2011	2011		
AREVA NC	UP2-800	バス＝ノルマンディー、la Hague	1,000	928.85	1,049	1,045	27,000	濃縮ウラン	1994
	UP3		1,000					濃縮ウラン	1989

（出所）　原子力ポケットブック 2012(電気新聞)、再処理量実績は、世界の原子力発電開発の動向 2010～2012（日本原子力産業協会）、再処理量累計はAREVA NCホームページ

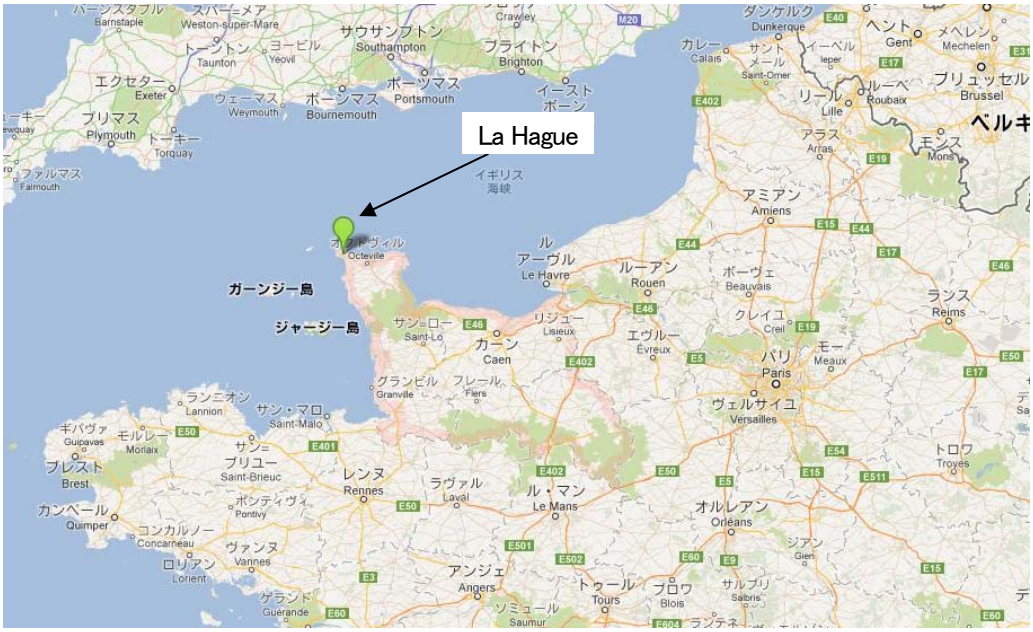


図6-2 フランスの再処理施設位置図

（出所）　Google map

La Hagueにある再処理工場は、AREVA NCが所有・運営しており、使用済燃料貯蔵・前処理施設も併設されている。1961 年にフランス原子力庁（CEA）の決定によりUNGG（ガス冷却炉）の使用済燃料再処理工場UP2の建設が開始された。1967 年にUP2 が商業運転開始、1974 年にCEAがUP2 における軽水炉用使用済燃料の再処理事業を認可した。1976 年、軽水炉用の使用済燃料再処理事業が開始され、同年同サイトの運営権がCEAからCOGEMA（現AREVA NC）に移管された。1981 年、増大する再処理事業の需要に対して、COGEMAがUP3 の建設に着手。同年に両プラントからの廃水処理施設として、STE-3 の建設も承認され、1987 年STE-3、1989 年UP-3 がそれぞれ操業を開始している。1994 年にはUP2 を閉鎖し、UP2-800 が操業開始している。現在のUP2-800 とUP3 の年間再処理能力はそれぞれ 1,000tHMであるが、両施設トータルの年間再処理能力は、1,700tHMである[128]。両施設とも再処理には、PUREX法が用いられている。

また、使用済燃料を貯蔵するプールが併設されており、各プールの貯蔵能力は、Cプール：4,800tHM、Dプール：4,600tHM、Eプール：6,200tHM、HAOプール：400tHM、NPHプール：2,000tHMとなっている[129]。

2011 年末時点での、UP2-800 とUP3 による再処理量累計は、27,000tHMであり、内 62%はEDF（フランス）、20%はドイツ、11%は日本から持ち込まれた使用済燃料を再処理している。その他、オランダ、ベルギー、スイス、イタリア等の使用済燃料を受け入れた実績がある。また、2005 年からは試験研究炉の燃料を再処理する

[128] ATOMICA、フランスの再処理施設（04-07-03-08）、http://www.rist.or.jp/atomica/data/dat_detail.php?Title_No=04-07-03-08
[129] IAEA INFCIS

ことが可能となっており、オーストラリア及びベルギーからの燃料を受け入れている[130]。

再処理に伴って発生し、La Hagueサイトに保管されている放射性廃棄物は、2011 年末時点でガラス固化体（CSD-V）が 11,138 体、固形物収納体（CSD-C）が 11,308 体である。現在保管されている廃棄物の起源国、即ち返還対象となる廃棄物の割合は表 6-4 の通りである。なお、日本向けのCSD-Vは、2007 年 3 月末までに 1,310 本を日本に輸送しており、ガラス固化体の返還は終了している[131]。

また、2011 年末時点で、La Hagueサイトには再処理に伴って発生したウランが 346 トン、プルトニウムが 57 トン保管されている。現在保管されているウラン、プルトニウムの起源国は、表 6-5 の通りである。

なお、2011 年末時点で、La Hagueサイトに再処理を行うために一時的に保管されているウラン燃料は、オーストラリア：0.131tHM、ベルギー：0.143tHM、スイス：0.148tHMとなっている[132]。

表6-4 La Hagueサイトに保管されている廃棄物の起源国（%）

国名	CSD-V（%）	CSD-C（%）
フランス	96.8	55
ドイツ	0	27.2
オーストラリア	<0.1	0
ベルギー	0	1.9
スペイン	0	—*
イタリア	0.6	1.5
日本	0	12.3
オランダ	0.1	0.3
スイス	1.9	1.8

（出所） AREVA、Traitement des combustibles usés provenant de l’étranger dans les installations d’AREVA NC La Hague
*スペインは現在、CSD-Cが返還対象となっていない。

表6-5 La Hagueサイトに保管されているウラン、プルトニウムの起源国（%）

国名	ウラン（%）	プルトニウム（%）
フランス	96.3	63.5
オーストラリア	<0.1	<0.1
ベルギー	<0.1	<0.1
イタリア	0.0	8.0
日本	0	28.3
オランダ	3.7	0.2

（出所） AREVA、Traitement des combustibles usés provenant de l’étranger dans les installations d’AREVA NC La Hague

[130] AREVA、Traitement des combustibles usés provenant de l’étranger dans les installations d’AREVA NC La Hague、http://www.areva.com/activities/liblocal/docs/BG%20aval/Recyclage/La%20hague/Rapport_AREVA_Art-8-2011.pdf

[131] 日本原燃ホームページ、http://www.jnfl.co.jp/recruit/business/chozou.html

[132] AREVA、Traitement des combustibles usés provenant de l’étranger dans les installations d’AREVA NC La Hague、http://www.areva.com/activities/liblocal/docs/BG%20aval/Recyclage/La%20hague/Rapport_AREVA_Art-8-2011.pdf

6-4　インド

インドの再処理施設一覧を表 6-6 に、再処理施設位置図を図 6-3 に示す。

表6-6 インドの再処理施設一覧

会社名	施設名	所在地	処理能力（tHM／年）	再処理量実績(tHM)			再処理量累計	燃料	操業開始
				2009	2010	2011	2011		
バーバ原子力センター	トロンベイ再処理工場	マハーラーシュトラ州、トロンベイ	60	N/A	N/A	N/A	N/A	加圧重水型原子炉用燃料	1964
	タラプール再処理工場	マハーラーシュトラ州、タラプール	100	N/A	N/A	N/A	N/A	加圧重水型原子炉用燃料	2011
	カルパッカム再処理工場	タミルナド州、カルパッカム	100	N/A	N/A	N/A	N/A	加圧重水型原子炉用燃料	1998

（出所）　原子力ポケットブック 2012(電気新聞)、BARC　6 .INDIAN PROGRAMME ON REPROCESSING



図6-3 インドの再処理施設位置図

（出所）　Google map

インドにおける使用済燃料再処理はほぼ 40 年の経験がある 。研究炉CIRUS（Canadian-Indian Reactor, U.S：1954 年にカナダが供給した原子炉、重水は米国が供給）の使用済燃料を再処理するために 1964 年に Trombay（トロンベイ）プルトニウム・プラントを稼働させたのがそのはじめである。その後、このプラントは除染サイクルを経験し、改修され処理能力を向上させた。改修後このプラントは 1983 年以来運転を継続し、研究炉からの使用済燃料（Al被覆の金属ウラン燃料）を再処理している。
その後、加圧重水炉（PHWR）からのZr被覆のウラン酸化物燃料を再処理するため、さらに 2 つの再処理工場が追加された。1978 年から運転開始したTarapur（タラプール）の再処理施設と 2011 年に操業開始した Kalpakkam（カルパッカム）の再処理施設である[133]。

これらの再処理施設はBhabha Atomic Research Centre（BARC）が運営しており、それぞれのサイトではいくつかの小さな施設に分かれて役務が行われている。処理能力はそれぞれ、トロンベイが 60 t U／年、カルバ

[133] IAEA-TECDOC-1529

ッカムが 100 t U／年、タラプールが 100 t U／年となっている[134]。カルバッカムのサイトはPHWR用燃料再処理施設であるが、先進的Purexプロセスを使い混合炭化物燃料を再処理する施設が 2003 年に承認されており、将来はFBR燃料も再処理するために拡張中である。その他の 2 施設も再処理にPurexプロセスを使用している。なお、これらの施設は、IAEAの保障措置下にない。

インドの核燃料サイクル政策では、軽水炉・重水炉ともに使用済燃料を再処理し、それをプルサーマルではなく高速増殖炉（FBR）で繰り返し利用することを想定して関連施設の開発・実用化を進めている。最終目標は先進的重水炉（Advanced Heavy Water Reactors（AHWRs））とトリウム燃料を用いたトリウム・サイクル炉システムの完成となっている。詳細は第四章参照のこと。

現在、確認されている再処理施設の立地計画は以下の通りである[135]。

インドはクダンクラムで建設中のロシア型VVER炉や他の輸入原子力発電炉からの使用済PWR燃料の再処理を行い、Puを保管する予定である。これらに対応する新再処理工場はIAEAの保障措置が適用される計画である。
2010 年 4 月、米国との 18 か月の協議の結果IAEA保障措置を適用する条件で 2 つの新再処理工場の建設合意が得られたと発表。これら工場サイトはカルパッカムの近くとムンバイ近く、多分トロンベイになると思われる。2010 年 7 月、これら再処理工場の 1 つで、米国起源の燃料の再処理を行うことができるとの合意が成立。2010 年後半にインド原子力委員会は、使用済燃料の再処理と廃棄物管理の施設を含む総合的な核燃料リサイクルプラントの設立に向けたエンジニアリング活動を開始したと発表している。

[134] BARC、6 .INDIAN PROGRAMME ON REPROCESSING、
http://www.barc.gov.in/publications/eb/golden/nfc/toc/Chapter%206/6.pdf
[135] World Nuclear Association, “Nuclear Power in India”

6-5　ロシア

ロシアの再処理施設一覧を表 6-7 に、再処理施設位置図を図 6-4 に示す。

表6-7 ロシアの再処理施設一覧

会社名	施設名	所在地	処理能力（tHM／年）	再処理量実績(tHM)			再処理量累計	燃料	操業開始
				2009	2010	2011	2011		
マヤク社（ROSATOM子会社）	RT-1	チェリャビンスク州、Ozersk	400	N/A	114	97.4	N/A	濃縮ウラン	1971
鉱山化学コンビナート社（ROSATOM子会社）	RT-2	クラスノヤルスク州、Zheleznogorsk	1,400	N/A	N/A	N/A	N/A	濃縮ウラン	第1フェーズ（2025） 第2フェーズ（2030）

（出所）　World Nuclear Association, Russia's Nuclear Fuel Cycle

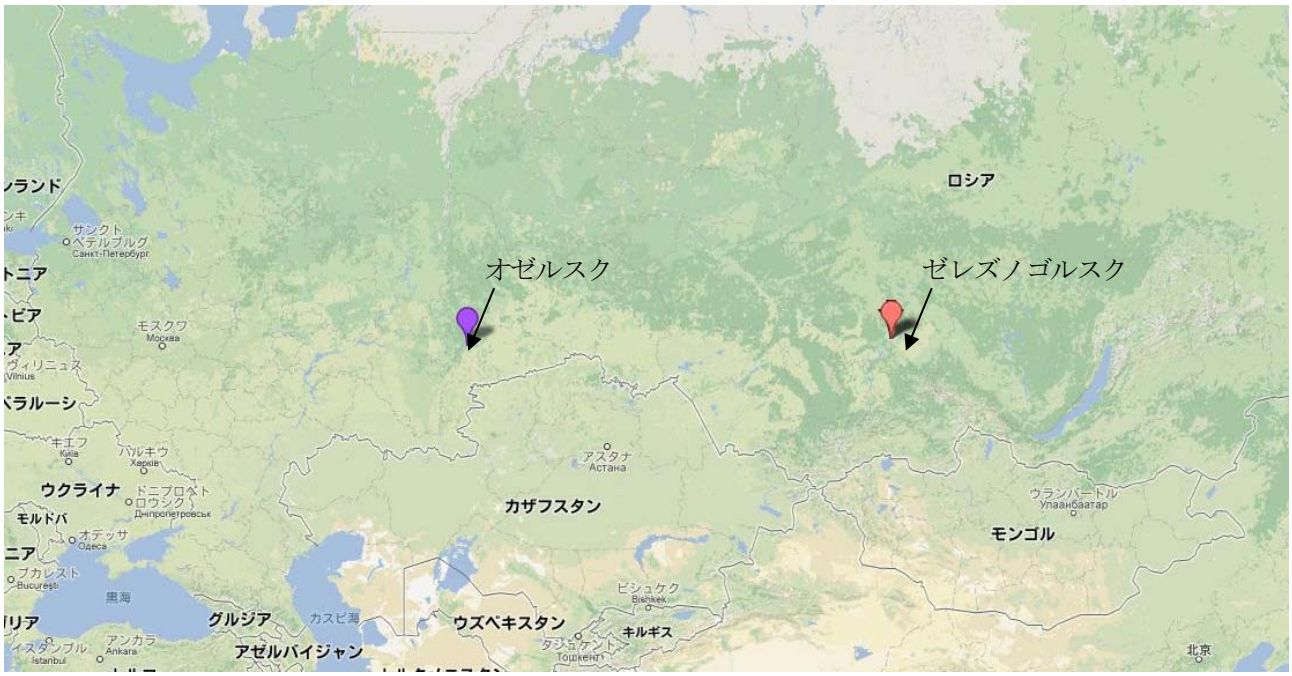


図6-4 ロシアの再処理施設位置図

（出所）　Google map

チェリャビンスク州オゼルスクにあるRT-1 は核兵器部門管轄の生産合同「マヤク」社（Production Association “Mayak”）の運営する施設であり、1971 年操業開始している。処理能力は 400tU/年。再処理方式としては、PUREX法が用いられている。

クラスノヤルスク地方ゼレノゴルスクにあるRT-2 はロスアトム社傘下にある核兵器部門の企業「鉱山化学コンビナート」社（Production Association Plant）が所有している。かつては核兵器製造のためのプルトニウムを製造していたが、1995 年以降は軍需のためのプルトニウム生産受注がなくなった。ロシアのほか、ウクライナ及びブルガリアで発生したVVER1000 の使用済燃料は、RT-2 内の使用済燃料受入貯蔵プールに貯蔵されている。貯蔵容量は 6,000tUであったが、満杯時期が近づいたため、リラッキング（貯蔵燃料の稠密化）により、貯蔵容量を 9,000ｔUまで増加させている。また、RBMKの使用済燃料 27,000tU、VVER1000 の使用済燃料 11,000tUを乾式で貯蔵する計画である[136]。現在、パイロットプラントを建設中であり、2015～2016 年頃に運用を開始する予定である。第一フェーズは 2025 年、第二フェーズは 2030 年に操業を開始する予定である[137]。

[136] 鉱山化学コンビナートホームページ、http://www.sibghk.ru/wps/wcm/connect/ghk/site/company/history/history.part.3/
[137] 原子力産業協会、Rosatom 社顧問講演録、2011/3/3

6-6　イギリス

イギリスの再処理施設一覧を表 6-8 に、再処理施設位置図を図 6-5 に示す。

表6-8 イギリスの再処理施設一覧

会社名	施設名	所在地	処理能力（tHM／年）	再処理量実績(tHM)			再処理量累計	燃料	操業開始
				2009	2010	2011	2011		
Nuclear Decommissioning Authority(NDA)	B205	カンブリア、Sellafield	1,000	369	314	453	－	天然ウラン	1964
	THORP		900	165	294	375	－	濃縮ウラン	1994

（出所）　世界の原子力発電開発の動向 2010～2012（日本原子力産業協会）



図6-5 イギリスの再処理施設位置図

（出所）　Google map

イギリスでは、当初、軍事用プルトニウムの生産を目的に再処理開発を始めたが、その後、民間原子力発電計画に基づき発生する使用済燃料の処理、再処理施設を持たない国に対しての再処理請負へと転換してきた。

Sellafieldサイトでは軍事用再処理施設B204 が 1951 年から 1964 年まで稼動した。この施設はMagnox燃料（金属ウラン燃料）の再処理施設であり、高燃焼度燃料の場合年間 300 t、低燃焼度燃料の場合年間 750 t の処理能力であった。その後B204 は民生用燃料も処理できるより大きなB205 施設（処理能力 1,000t HM/y、1964 年 1 月に完成・運転開始）に置き換えられ、B204 はB205 の前処理施設に衣替えした。B205 はイギリスの全てのMagnox炉からの使用済燃料を再処理するとともに、再処理契約のある海外（日本とイタリア）のMagnox燃料の再処理を行うことになった。

B205 ではPurex法を用いており、これまでに発生した 60,000tHMの使用済燃料のうち約 55,500tHMがSellafieldで再処理された。2012 年 7 月に発表されたMagnox Operating Programme(MOP)9[138]では、現存のMagnox炉閉鎖に伴い発生する使用済燃料の処理完了時期を 2017 年（年間処理量 740tHMの場合）～2028 年（年間処理量 250tHMの場合）と想定している。2008 年に発表されたMOP8 では、2016 年に処理完了として

[138] NDA, Magnox Operating Programme (MOP9) , http://www.nda.gov.uk/news/mop9.cfm

いたが、2010/2011 年度の処理実績は 233tHMと、目標の 703tHMを大幅に下回る結果となった[139]ように、処理実績が低迷していることが完了時期見直しの主な原因である。なお、2012 年 4 月現在、3,800tHMの未再処理Magnox炉燃料が保管されている。また、2011/2012 までのMagnox炉燃料処理実績は図 6-6 の通りである。

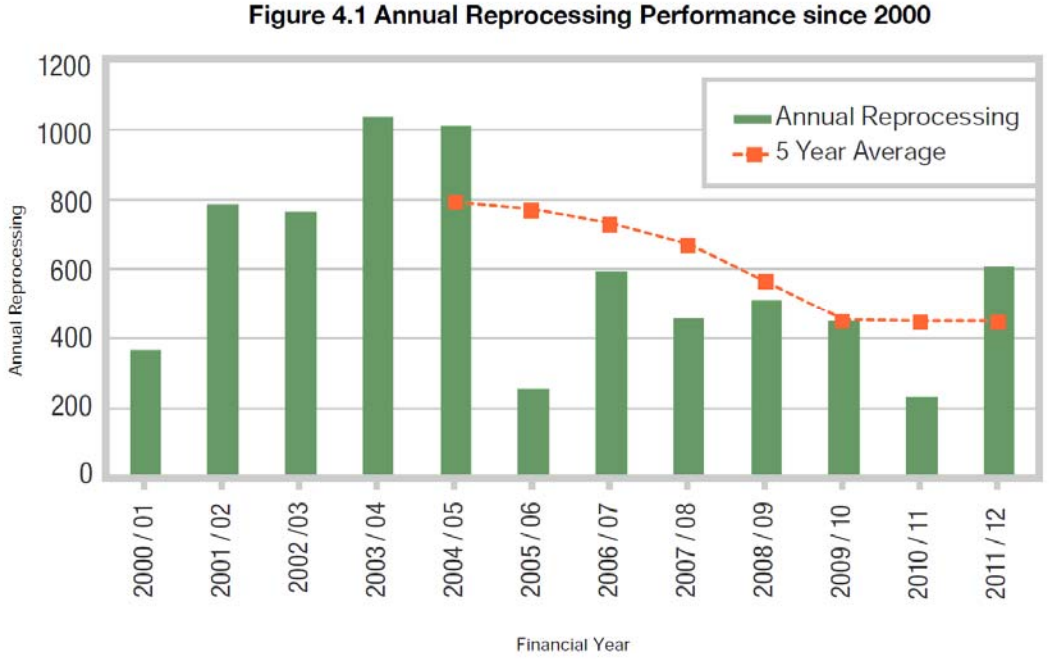


図6-6　Magnox燃料の再処理実績

（出所）　NDA、Magnox Operating Programme MOP9

AGR使用済燃料と軽水炉使用済燃料の再処理施設としてSellafield サイトにThorp工場が建設され、1992 年に完成した。Thorpの処理能力は 900 t HM/y である。2005 年 4 月に発見されたホットセル内の配管破損による溶解液流出事故があったが、Thorp工場は 2008 年 1 月に運転を再開した。

Thorp施設もPurex法を用いており、国内のAGR炉用の使用済燃料処理だけでなく、ドイツや日本など海外からの再処理事業を請け負うことを想定していたため、国内需要の約 3 倍の処理容量を持つ施設として設計されている。同施設では国内の使用済燃料に加えて、日本やドイツなど海外の燃料の処理も行われている。同施設は 2011 年まで運転を続ける計画であったが、2005 年 4 月に判明した硝酸溶液漏洩事故以来、操業を長期停止したため、2007 年に処理量を削減し操業を再開した。しかし、2012 年 6 月には現在締結されている外国との再処理契約が完了する 2018 年末を目処に閉鎖することを発表した[140]。

2010/2011 年度のMagnox燃料以外の燃料も含めた総再処理量実績は 350.5tHMであり、目標の 200tHMを上回る実績をあげた[141]。

139 NDA, Annual Report & Accounts 2010/2011
140 NDA プレスリリース, 2012/6/7, https://www.nda.gov.uk/news/oxide-fuels-preferred-option.cfm
141 NDA, Annual Report & Accounts 2010/2011

6-7　アメリカ

アメリカの再処理施設一覧を表 6-9 に、再処理施設位置図を図 6-7 に示す。なお、表 6-9 に示す施設には軍事用が含まれている。また、全て既に閉鎖済みであるため、表 6-1 には含まれていない。

表6-9 アメリカの再処理施設一覧

用途/事業者	所在地/施設名		再処理法	容量	実績	運転開始	運転終了
軍事用	ハンフォードWest	T工場	沈殿	1～1.5 トン/日	T+B工場合計 8,900 トン	1994	1956
	ハンフォードEast	B工場	沈殿			1945	1952
	REDOX工場	S工場	Redox	3～12 トン/日	24,600 トン	1951	1967
	ハンフォードEast	Purex工場	Purex	10～33 トン/日	73,100 トン	1956	1990
	ハンフォード	U工場	Purex	-	建設されたが使用されず	1952	1958
	サバンナリバー	Fキャニオン	Purex	14 トン/日	Pu回収	1954	2002
	サバンナリバー	Hキャニオン	Purex	同上	高濃縮ウラン回収も後に付加	1955	(閉鎖済)
	アイダホ	ICPP	Purex	700kgU/年	3.15 トン高濃縮ウラン	1953	1992
Nuclear Fuel Services (NFS)	ウェストバレー		Purex	1 トン/日	641 トン	1966	1972
GE	モリス		半乾式	1 トン/日	1974 年技術的な理由で断念		
Allied General Nuclear Services (AGNS)	バーンウェル		Purex	5 トン/日	1983 年政治的な理由で断念		

(出所)　高橋啓三「再処理技術の誕生から現在に至るまでの解析および考察」『日本原子力学会和文誌』Vol. 5、No. 2 (2006)



図6-7 アメリカの再処理施設位置図

(出所)　Google map

ハンフォード、サバンナリバー、アイダホの各施設は軍用の再処理施設であり、ウェストバレー、モリス、バーウェルの各施設は商業用再処理施設となっている。
ハンフォードでは、T工場とB工場で 8,900 トン、レドックス工場で 24,600 トン、ピュレックス工場で 73,100 トンの合計 106,600 トンを再処理している。
サバンナリバーの再処理量は不明であるが、サバンナリバー原子炉の運転年数はハンフォード施設の 2 倍であり、生産量が比例して増加すると仮定して、再処理量は 20 万トン程度と試算される。
アイダホにおいては、1992 年に運転を停止するまでに、海軍の舶用炉燃料を 5.1 トン、研究炉および試験炉の燃料を 31.5 トン処理し、高濃縮Uを回収したが、Pu回収量は少ない。
ウェストバレーでは、1966 年に世界初の商業用のNFS再処理工場（Nuclear Fuels Services, 1 t/d）が運転を開始し、1972 年までに軽水炉燃料 245 トンを含む計 625.7 トンの再処理を行った。あまりにも早い企業化のため、工場そのものは順調に運転したが、処理燃料の不足という事態にみまわれた。
GE モリス工場（MFRP : Midwest Fuel Recovery Plant）は、1965 年にイリノイ州のシカゴ近くで処理能力 1t/dのプロジェクトが開始され、GEが開発したウランの精製と粉末への転換にフッ化物揮発法を用いた半乾（Aquafluor）法を採用した 300t/yの再処理工場を 3,600 万ドルの費用で建設することとなったものである。
1974 年 3 月に、GEはホット運転の開始を半年後に控えて、社内にMFRPの技術・運転能力レビューを行う委員会を設けた。その報告書では、MFRPは所定の能力が期待できないこと、新しい工場を建設するには最低 4 年間、さらに費用が 9,000～1 億 3,000 万ドルを要するとの評価結果が得られた。その結果、6,400 万ドル（当時の日本の価格では 230 億円）という巨額の資金を投じながら、ホット運転に入らないままプロジェクトは断念された。
その理由は、建設費の削減のため中間貯槽を省き、機器配置の間隔を狭める等のあまりにコンパクトな設計としたため、工場の運転裕度が少なく、小さな故障が直ちに工場全体の運転中止を招く等が予想されたためである。また、Uを用いた試験中、液体を固体に転換するフッ素を用いた工程で配管の詰まり等が生じ、これを遠隔で修理するのが困難なことが判明したためとしている。
1971 年に着工したAGNS（Allied General Nuclear Services）のバーンウェル工場（BNFP）は、1975 年にはほぼ完成し、順次完成部の試験を続けていたが、1976 年より規制当局により開始されたGESMO（混合酸化物燃料使用に伴う環境評価）により付属施設の認可手続きが停止され、1977 年にはカーター政権による商業再処理禁止政策により、その後の進行が凍結された。レーガン政権の登場により 1982 年には凍結は解除されたものの、運転開始には規制の変更による硝酸プルトニウム溶液の固体への転換、高レベル廃液の固化等が新たに義務づけられ、また運転により回収されるPuの買上げの見込みもつかなかったため、1983 年 12 月末正式に工場を閉鎖した。

7. MOX燃料加工施設

7-1 施設一覧

世界の主要なMOX燃料加工施設を国別・企業別に表 7-1 に示す。

表7-1 世界のMOX燃料加工施設一覧

国名	会社名	施設名	所在地	製造能力(tHM/年)	操業期間
ベルギー	Belgonucleaire	デッセル	フランドル地方、アントウェルペン州、Dessel	40	1973～2006
フランス	AREVA NC	カダラッシュ	ガール県 Bagnols-sur-Cèze	40	1962～2003
		メロックス	ガール県、Marcoule	195	1995～
インド	バーバ原子力センター(BARC)	タラプール	マハーラーシュトラ州、タラプール	18	1994～
日本	日本原子力研究開発機構	第二開発室	茨城県東海村	8.8	1972～2001
		第三開発室	茨城県東海村	4.4	1988～
	日本原燃	六ヶ所MOX燃料加工施設	青森県六ヶ所村	130	2016(予定)～
ロシア	Mayak	Packaging Technology (Russian MOX Fabrication Facility) (PAKET)	マヤク	0.3	1986～
	ロシア原子炉科学研究所(RIAR)	Experimental Research Complex (ERC)	ディミトロフグラード	1	1981～
アメリカ	DOE/NNSA	MOX Fuel Fabrication Facility (MFFF)	サウスカロライナ州サバンナリバー	70	建設中
イギリス	Nuclear Decommissioning Authority(NDA)	MOX Demonstration Facility (MDF)	カンブリア、Sellafield	8	1993～2002
		Sellafield MOX Plant (SMP)		15	2004～2011

（出所） 世界の原子力発電開発の動向 2010～2012（日本原子力産業協会）、原子力ポケットブック 2012(電気新聞)等各種資料より作成

7-2　ベルギー

ベルギーのMOX燃料加工施設一覧を表 7-2 に、MOX燃料加工施設位置図を図 7-1 に示す。

表7-2 ベルギーのMOX燃料加工施設一覧

会社名	施設名	所在地	製造能力 (tHM/年)	生産量実績			生産量累計	操業期間
				2009	2010	2011	2011	
Belgonucleaire	デッセル	フランドル地方、アントウェルペン州、Dessel	40	-	-	-	約600tHM	1973～2006

（出所）　世界の原子力開発の動向 2012 年版、生産量累計はATOMICA

図7-1 ベルギーのMOX燃料加工施設位置図



（出所）　Google map

Desselにあった成型加工施設は、Belgonucleaireが運用していたが、現在は停止している。Eurochemic社の再処理工場(1974-1996 年操業)に併設された高速炉および軽水炉用MOX燃料施設として 1973-1984 年の間操業した後、Pu原料に対してウランを 2 回に分けて混合する、Micronized Masterblend（MIMAS）法を採用したプラントへと改修して、1986-2006 年の間軽水炉用MOX燃料施設として操業した。年間生産容量は 40tHM であった[142]。廃止措置に関しては、勅令に基づく廃止措置ライセンス取得後に実施することとしている[143]。

[142] Survey of Worldwide Light Water Reactor Experience with Mixed Uranium-Plutonium Oxide Fuel, ORNL/TM13428, Cowell, B S , 1999　及び　MOX Fabrication: External Communication at BELGONUCLEAIRE Dessel Plant in Belgium, 2002

[143] Belgonucleaire ホームページ

7-3　フランス

フランスのMOX燃料加工施設一覧を表 7-3 に、MOX燃料加工施設位置図を図 7-2 に示す。

表7-3 フランスのMOX燃料加工施設一覧

会社名	施設名	所在地	製造能力 (tHM/年)	生産量実績			生産量累計	操業期間
				2009	2010	2011	2011	
AREVA NC	カダラッシュ	ガール県 Bagnols-sur-Cèze	40	-	-	-	N/A	1962～2003
	メロックス	ガール県、Marcoule	195	134tHM	128t	145t	N/A	1995～

（出所）　世界の原子力開発の動向 2010 年版～2012 年版



図7-2 フランスのMOX燃料加工施設位置図

（出所）　Google map

Cadaracheの再処理施設は、1962 年から 1991 年まではCEAが操業しており、1991 年に当時COGEMA社（現在のAREVA NC社）が、南仏Cadaracheに設置された原子力庁(CEA)の高速炉用MOX燃料製造施設を譲り受けて、軽水炉用MOX燃料の製造を開始した。原料には、UP-2 再処理工場で回収されたプルトニウムが用いられた。しかし、より容量の大きなMELOX施設が 1995 年に運開して順調に操業されたことから、2000 年に操業停止の方針が決定され、2003 年に操業が停止された。MOX燃料の製造能力は、年間 40tHMであった。

フランス南部のマルクールにあるMELOX工場は1985年に電力庁(EdF)と当時COGEMA社、Framatom社（現在のAREVA NP社）の間で建設が合意され、1990 年に建設開始、1995 年に操業を開始したMOX燃料成型加工施設である。UP-2 およびUP-3 における国内および海外委託の再処理で回収されたプルトニウムを原料とする、100tHM/年の商業用のMOX燃料製造技術施設であり、これまでに、国内、および、ドイツ、ベルギー、スイス、日本に軽水炉用MOX燃料を供給してきている。また、2003 年、2006 年に容量が拡大され、現在は195tHM/年となっている。2011 年の製造実績は、145tHMであり、MIMAS法を採用している。

7-4　インド

インドのMOX燃料加工施設一覧を表 7-4 に、MOX燃料加工施設位置図を図 7-3 に示す。

表7-4 インドのMOX燃料加工施設一覧

会社名	施設名	所在地	製造能力 (tHM/年)	生産量実績			生産量累計	操業期間
				2009	2010	2011	2011	
バーバ原子力センター (BARC)	タラプール	マハーラーシュトラ州、タラプール	18	N/A	N/A	N/A	N/A	1994～

（出所）　世界の原子力開発の動向 2012 年版



図7-3 インドのMOX燃料加工施設位置図

（出所）　Google map

TarapurにあるMOX燃料製造施設は、Bhabha Atomic Research Centre（BARC）が運営しており、1994 年に操業を開始、年間製造能力は 18tHMである。現在の操業状況等詳細は不明である。

7-5　アメリカ

アメリカのMOX燃料加工施設一覧を表 7-5 に、MOX燃料加工施設位置図を図 7-4 に示す。

表7-5 アメリカのMOX燃料加工施設一覧

会社名	施設名	所在地	製造能力 (tHM/年)	生産量実績			生産量累計	操業期間
				2009	2010	2011	2011	
DOE/NNSA	MOX Fuel Fabrication Facility (MFFF)	サウスカロライナ州 サバンナリバー	70	-	-	-	-	建設中

（出所）　世界の原子力開発の動向 2012 年版

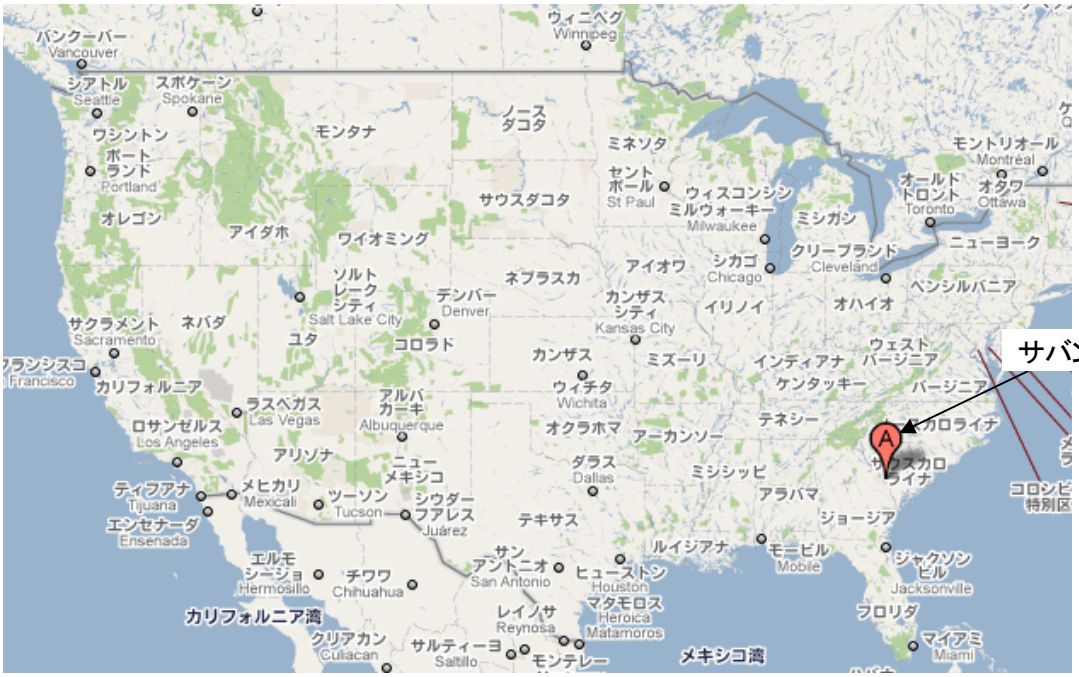


図7-4 アメリカのMOX燃料加工施設位置図

（出所）　Google map

現在、サバンナリバー・サイトでMOX燃料製造工場の建設が進行中である。1999 年に、米国エネルギー省(DOE)の国家核安全保障局(NNSA; National Nuclear Security Administration)が、余剰核弾頭の兵器級プルトニウムを用いたMOX燃料製造工場の建設契約を、現在のShaw-AREVA MOX Service社と結んだ。施設の設計は、AREVA NC社MELOX施設の設計に基づくものであり、プルトニウムを精製し、ウラン酸化物と混合して、プルトニウム富化度数%の軽水炉用MOX燃料を製造する。二酸化ウランと二酸化プルトニウム混合物の粉末化には、高富化度の混合物をボールミルで粉末化した後に二酸化ウラン粉末を加えるMIMAS法が採用されている。年間約 3.5tHMの兵器級プルトニウムを処理し、約 70tHMの軽水炉用MOX燃料を製造する[144]。NRCによれば、2001 年に建設ライセンスの申請が行われ、NRCは 2005 年に建設認可を承認した。2007 年から建設が開始されている[145]。操業のライセンスは 20 年で、2030 年代までの操業を予定している[146]。

144 Shaw-AREVA MOX Service 社 HP、http://www.moxproject.com/about/
145 NRC ホームページ、http://www.nrc.gov/materials/fuel-cycle-fac/mox/licensing.html
146 Shaw-AREVA MOX Service 社 HP、http://www.moxproject.com/about/

7-6　イギリス

イギリスのMOX燃料加工施設一覧を表 7-6 に、MOX燃料加工施設位置図を図 7-5 に示す。

表7-6 イギリスのMOX燃料加工施設一覧

会社名	施設名	所在地	製造能力 (tHM/年)	生産量実績			生産量累計	操業期間
				2009	2010	2011	2011	
Nuclear Decommissioning Authority(NDA)	MOX Demonstration Facility (MDF)	カンブリア、Sellafield	8	N/A	N/A	N/A	N/A	1993～2002
	Sellafield MOX Plant (SMP)		15	N/A	N/A	-	N/A	2004～2011

（出所）　世界の原子力開発の動向 2012 年版



図7-5 イギリスのMOX燃料加工施設位置図

（出所）　Google map

MOX Demonstration Facility（MDF）は、MOX燃料製造技術実証のために当時の英国燃料公社(BNFL; British Nuclear Fuel Ltd.)がSellafieldに設置されていた高速原型炉PFR用のMOX燃料製造施設を改修した施設である。1993 年に操業を開始し、1999 年までスイス、ドイツ、日本からの委託再処理で回収されたプルトニウムを用いたMOX燃料製造が行われた。MOX粉末製造法としては、高速炉燃料製造に用いられた、富化度調整した二酸化ウランと二酸化プルトニウムの混合物をアトライタ（混合粉砕機）で粉末化するSBR法が採用された[147]。しかし、1999 年に関西電力向けのMOX燃料製造において試験データの捏造があったことが発覚し、操業停止となった。その後、2002 年に、SMP運転支援データを得るための操業が行われたが、2007 年から解体に入っている。年間の製造能力は、8tHMであった。

同じくSellafieldにあるSellafield MOX Plant（SMP）は、原子力廃止措置機関（NDA; Nuclear Decommissioning Authority）傘下のSellafield社が運用していた。当初は、海外からの委託再処理で回収されたプルトニウムを原料とする、120tHM/年の商業用のMOX燃料製造施設として英国燃料公社(BNFL; British Nuclear Fuel Ltd.)が 1997 年までに建設し、2002 年に操業を開始した。しかし、操業開始後、粉末工程などの稼動が順調に進まず、スイスなどへの燃料供給が計画通りに実施できなかった。その後、達成すべき容量の

147 Nuclear Safety The Safety of the Nuclear Fuel Cycle - Third Edition, OECD/NEA

目標を 40tHM/年に下げて、安定操業をめざした取組みがなされてきたが、2011 年 8 月 3 日、NDAは福島第一原子力発電所事故により日本の原発稼動見通しが不透明となり、MOX成型加工事業の先行きが見通せなくなったこと理由として、SMPを閉鎖することを発表した[148][149]。

[148] NDA プレスリリース、2011/8/3、https://www.nda.gov.uk/news/smp-future.cfm

[149] 参考資料：英国 NDA HP、http://www.nda.gov.uk/
英国保健安全省 HP、http://www.hse.gov.uk/nuclear/mox/moxappx1.htm
Sellafield 社 HP、http://www.sellafieldsites.com/
Survey of Worldwide Light Water Reactor Experience with Mixed Uranium-Plutonium Oxide Fuel, ORNL/TM13428, 1999

8. 放射性廃棄物処理施設

8-1 施設一覧

世界の主要な放射性廃棄物処理施設を国別・企業別に表 8-1、表 8-2 に示す。

表8-1 世界の放射性廃棄物処理施設一覧（高レベル放射性廃棄物）

国名	会社名	所在地	対象廃棄物	処分方法	埋設規模(m3)	操業開始
ベルギー	ベルギー放射性廃棄物・濃縮核分裂性物質管理機関（ONDRAF/NIRAS）	未定	未定	深地層（粘土層）	未詳	未定
カナダ	核燃料廃棄物管理機関（NWMO）	22地域が関心表明、1地域が不良、19地域が結果良好(内、8地域でFS中）	使用済燃料	深地層	未詳	2035年頃
フィンランド	ポシヴァ	サタクンタ県、ユーラヨキ、オルキルオト	使用済燃料	深地層（結晶質岩）	最大9,000tU	2020年頃
フランス	放射性廃棄物管理機関（ANDRA）	ビュール地下研究所近傍	ガラス固化体、長寿命中レベル廃棄物	深地層（粘土層）	ガラス固化体（6,690） 中レベル廃棄物（59,300）	2025年頃
ドイツ	連邦放射線防護庁（BfS）（ドイツ廃棄物処分施設建設・運転会社（DBE）に委託）	ニーダーザクセン州、ゴアレーベン（代替処分サイト選定手続き検討中）	ガラス固化体、使用済燃料	深地層（岩塩ドーム：ゴアレーベン）	使用済燃料約17,770tU分と推定	2035年頃
スペイン	放射性廃棄物管理公社（ENRESA）	選定活動凍結中	ガラス固化体、使用済燃料	深地層を有力なオプション	未詳	2050年頃
スウェーデン	スウェーデン核燃料・廃棄物管理会社（SKB）	ウプサラ県、フォルスマルク	使用済燃料	深地層（結晶質岩）	約12,00tU	2025年頃
スイス	放射性廃棄物管理共同組合（NAGRA）	候補区域は3ヶ所	ガラス固化体、使用済燃料	深地層（オパリナス粘土層）	約3,600tU*	2050年頃
イギリス	原子力廃止措置機関（NDA）	（カンブリア州と同州内の2市が関心表明するも、州議会が次段階に進まないことを決議。募集継続中）	浅地中処分で処分できない放射性廃棄物	深地層	約500,000 内、ガラス固化体（7,454）	中低レベル 2040年頃 HLW 2070年代半ば
アメリカ	DOE（民間放射性廃棄物管理局（OCRWM））	ネバダ州、ユッカマウンテン（現政権は中止方針）	ガラス固化体、使用済燃料	深地層（凝灰岩：ユッカマウンテン）	70,000t	従来は2020年の開始を予定

（出所） （公財）原子力環境整備促進・資金管理センター、IAEA NEWDB等各種資料より作成

表8-2 世界の放射性廃棄物処理施設一覧（中・低レベル放射性廃棄物）

国名	会社名	所在地	対象廃棄物	処分方法	埋設規模(m3)	操業開始
チェコ	放射性廃棄物処分機関（SÚRAO）	リチャード	中低レベル（医療・産業・研究機関）	岩盤空洞	8,500	1964
		ブラツィリトビ	中低レベル（天然起源）	岩盤空洞	1,200	1974
		ドコバニ	中低レベル（原子力発電所起源）	コンクリートピット	55,000	1995
		ホスティム	中低レベル	坑道（コンクリート閉鎖）	1,690	1959
フィンランド	TVO	サタクンタ県、ユーラヨキ、オルキルオト	短寿命中低レベル	岩盤サイロ	15,500	1992
	フォルツム・パワー＆ヒート（FPH）	ウーシマー県、ロビーサ	短寿命中低レベル	坑道	2,500	1998
フランス	放射性廃棄物管理機関（ANDRA）	オーブ県、オーブ	短寿命中低レベル	コンクリートピット	1,000,000	1992
		ラ・マンシュ	短寿命中低レベル	コンクリートピット	527,225	1969
		オーブ県、モルヴィリエ	極低レベル	素掘トレンチ	650,000	2003
ハンガリー	ハンガリー放射性廃棄物管理公社（PURAM）	Tolna州、パタアパチ	中低レベル	浅地中処分	ドラム缶4,600本	2012
		Pest州、プスポクスズィラギ	中低レベル	浅地中処分	5,040	1977
ノルウェー	エネルギー技術研究所（IFE）	ヒムダーレン	中低レベル（超寿命等を除く）	岩盤空洞内コンクリートピット	1,575	1999
スロバキア	スロバキア電力会社	モホフチェ	中低レベル	浅地中処分	11,160	2001
スペイン	放射性廃棄物管理公社（ENRESA）	コルドバ州、エルカブリル	短寿命中低レベル	地表処分（覆土）	85,000	1993
スウェーデン	スウェーデン核燃料・廃棄物管理会社（SKB）	ウプサラ県、フォルスマルク、SFR-1	短寿命中低レベル	岩盤内空洞	63,000	1988
イギリス	原子力廃止措置機関（NDA）	カンブリア、ドリッグ（LLWR）	低レベル	浅地中処分	1,800,000	1959
		ハイランド、ドーンレイ	低レベル	浅地中処分	34,000	1950
アメリカ	USエコロジー	ワシントン州、リッチランド	低レベル（クラスA～C）	素掘トレンチ	1,700,000	1965
	ケム・ニュークリアシステム	サウスカロライナ州、バーンウェル	低レベル（クラスA～C）	素掘トレンチ	880,000	1971
	エネルギーソリューションズ	ユタ州、クライブ	低レベル（クラスA）	処分セル	8,827,000	1988
	Waste Control Specialists（WCSテキサス）	テキサス州、アンドリューカウンティ	低レベル（クラスA～C）	素掘トレンチ	51,051	2012

（出所）　（公財）原子力環境整備促進・資金管理センター、IAEA NEWDB等各種資料より作成

8-2　ベルギー

ベルギーの放射性廃棄物処理施設一覧を表 8-3 に示す。

表8-3 ベルギーの放射性廃棄物処理施設一覧

会社名	所在地	対象廃棄物	処分方法	埋設規模(m3)	埋設量実績(m3)			総埋設量(m3)	操業開始
					2009	2010	2011	2011	
ベルギー放射性廃棄物・濃縮核分裂性物質管理機関（ONDRAF/NIRAS）	未定	未定	深地層（粘土層）	未詳	-	-	-	-	未定

（出所）　（公財）原子力環境整備促進・資金管理センター

8-2-2　高レベル放射性廃棄物

2013 年 1 月現在、ベルギーには放射性廃棄物処分場は存在しない。1980 年に国内の全ての放射性廃棄物を一元的に行う機関としてベルギー放射性廃棄物・濃縮核分裂性物質管理機関（ONDRAF/NIRAS）が設立された。ベルギーでは、放射性廃棄物の長期管理計画は策定されていなかったが、ONDRAF/NIRASは、2009 年より検討作業を開始し、2011 年 9 月に「高レベル放射性廃棄物及び長寿命・低中レベル放射性廃棄物の長期管理に関する国家廃棄物計画」を取りまとめて政府に提出しており[150]、今後政府が長期管理方針を決定する予定である。

研究開発は、1974～1988 年までの第 1 段階、1989～2000 年までの第 2 段階、そして 2001 年から現在実施中の第 3 段階に区分されており、第 2 段階の成果から、高レベル放射性廃棄物は、国内の粘土層が地層処分に適していると評価されている。ONDRAF/NIRASは第 3 段階の成果を 2013 年及び 2020 年に取りまとめる予定で、これらの報告書の公表後にサイト選定や処分場の設計を開始する予定としている。[151]

[150] ONDRAF/NIRAS プレスリリース、2011/9/23、
http://www.ondraf-plandechets.be/nieuw/downloads/Communiqu%C3%A9%20de%20presse%2023%2009%2011_FR.pdf

[151] （公財）原子力環境整備促進・資金管理センター、諸外国での高レベル放射性廃棄物処分、
http://www2.rwmc.or.jp/wiki.php?id=hlw:be:start

8-3　カナダ

カナダの放射性廃棄物処理施設一覧を表 8-4 に、関心表明地域とその後の状況を表 8-5 に示す。

表8-4 カナダの放射性廃棄物処理施設一覧

会社名	所在地	対象廃棄物	処分方法	埋設規模(m3)	埋設量実績(m3)			総埋設量(m3)	操業開始
					2009	2010	2011	2011	
核燃料廃棄物管理機関（NWMO）	22地域が関心表明、1地域が不良、19地域が結果良好(内、8地域でFS中)	使用済燃料	深地層	未詳	-	-	-	-	2035年頃

（出所）　（公財）原子力環境整備促進・資金管理センター

表8-5 関心表明を行った地域とその後の状況一覧

地域名	関心表明	回答日	結果	現状
サスカチュワン州 、クレイトン・タウンシップ（Township of Creighton ）	2010-03-11	2011-06-22	良好	→ 第 3 段階実施中 地域連絡委員会を設置
サスカチュワン州 、パインハウス村（Northern Village of Pinehouse ）	2010-08-17	2011-03-04	良好	→ 第 3 段階実施中 地域連絡委員会を設置
オンタリオ州 、イグナス・タウンシップ（Corporation of the Township of Ignace ）	2010-08-26	2011-03-24	良好	→ 第 3 段階実施中 地域連絡委員会を設置
オンタリオ州 、イアーフォールズ・タウンシップ（Corporation of the Township of Ear Falls ）	2010-08-26	2011-05-05	良好	→ 第 3 段階実施中 地域連絡委員会を設置
サスカチュワン州 、イングリッシュリバー先住民族保留地（English River First Nation ）	2010-09-13	2011-03-04	良好	→ 第 3 段階実施中
オンタリオ州 、シュライバー・タウンシップ（Corporation of the Township of Schreiber ）	2010-09-28	2011-06-09	良好	→ 第 3 段階実施中 地域連絡委員会を設置
オンタリオ州 、レッドロック・タウンシップ（Township of Red Rock ）	2011-02-25	2011-06-17	不適	（注 1 参照）
オンタリオ州 、ホーンペイン・タウンシップ（Corporation of the Township of Hornpayne ）	2011-03-21	2011-06-10	良好	→ 第 3 段階実施中 地域連絡委員会を設置
オンタリオ州 、ワワ自治体（Municipality of Wawa ）	2011-05-03	2011-10-07	良好	→ 第 3 段階実施中 地域連絡委員会を設置
オンタリオ州 、ニピゴン・タウンシップ（Township of Nipigon ）	2011-11-09	2012-02-12	良好	
オンタリオ州 、ブロックトン自治体（Municipality of Brockton ）	2012-01-09	2012-05-14	良好	
オンタリオ州 、エリオットレイク市（City of Elliot Lake ）	2012-03-12	2012-08-27	良好	
オンタリオ州 、ブラインドリバー町（Town of Blind River ）	2012-03-19	2012-08-27	良好	
オンタリオ州 、スパニッシュ町（Town of Spanish ）	2012-03-21	2012-08-27	良好	
オンタリオ州 、ノースショア・タウンシップ（Township of The North Shore ）	2012-03-21	2012-08-27	良好	
オンタリオ州 、サウスブルース自治体（Municipality of South Bruce ）	2012-03-27	2012-08-09	良好	
オンタリオ州 、ホワイトリバー・タウンシップ（Township of White River）	2012-04-11	2012-10-17	良好	
オンタリオ州 、ヒューロン＝キンロス・タウンシップ（Township of Huron-Kinloss ）	2012-04-16	2011-08-09	良好	
オンタリオ州 、ソーギーンショアーズ町（Town of Saugeen Shores ）	2012-05-14	2012-09-19	良好	
オンタリオ州 、マニトウェッジ・タウンシップ（Township of Manitouwadge）	2012-09-12	2013-01-07	良好	
オンタリオ州 、アラン＝エルダースリー自治体（(Municipality of Arran-Elderslie)）	（第 2 段階実施中）		（未公表）	
オンタリオ州 、セントラルヒューロン自治体（(Municipality of Central Huron)）	（第 2 段階実施中）		（未公表）	

注 1：レッドロック・タウンシップはサイト選定プロセスへの関心表明を行ったが、初期スクリーニングの結果、地層処分場の母岩として潜在的に適するような地層を含んでいる可能性が低いと判断された。このため、サイト選定プロセスの検討対象から排除されている。

（出所）　（公財）原子力環境整備促進・資金管理センター、http://www2.rwmc.or.jp/parts/ca-sitingprogress-2013-01-21.pdf

8-3-2　高レベル放射性廃棄物

2002 年 11 月に高レベル放射性廃棄物の管理の枠組みを定めた法律（核燃料廃棄物法）が施行され、同法に基

づいて、処分の実施主体となる核燃料廃棄物管理機関（NWMO）が設立された。NWMO は、核燃料廃棄物法の規定に従って、地層処分、サイト貯蔵、集中貯蔵の各々の方法に基づいた長期管理アプローチを検討した結果、2005 年 11 月にこれらを組み合わせた「適応性のある段階的管理」（APM）を天然資源大臣に対して提案、2007 年 6 月に、天然資源大臣の勧告を受けて行われた総督決定により、この長期管理アプローチが正式に採用された。APMの基本方針は、従来どおりサイト内で廃棄物を管理しつつ、集中管理を行うサイト選定プロセスを実施し、サイト選定後は段階的に集中貯蔵、地層処分を実施することとしている。

サイト選定プロセスについては、2010 年 5 月にサイト選定計画である報告書『連携して進む：カナダの使用済燃料の地層処分場選定プロセス』をNWMOが策定し、 全 9 段階からなるサイト選定を開始している。核燃料サイクルに直接関わる州内で集中管理を行うこと、 公募による地元意思の尊重すること、 最終合意までの地元自治体の撤退権を確保すること、処分場の受入れにより恩恵を受ける権利確保することを主な指針としている。

2012 年 9 月末までに 22 地域の地元自治体による関心表明がなされたため、NWMOは現在、当面は受付済みの地域を対象とした調査とサポートに注力するとして、新たな関心表明の受付は 2012 年 9 月 30 日をもって一時中断している。関心表明を行った地域とその後の状況は、表 8-5 の通りである。なお、第２段階では初期のスクリーニング調査が実施され、第３段階ではフィージビリティ調査が実施される[152]。

[152] （公財）原子力環境整備促進・資金管理センター、諸外国での高レベル放射性廃棄物処分、http://www2.rwmc.or.jp/wiki.php?id=hlw:ca:start

8-4　チェコ

チェコの放射性廃棄物処理施設一覧を表 8-6 に、放射性廃棄物処理施設位置図を図 8-1 に示す。

表8-6 チェコの放射性廃棄物処理施設一覧

会社名	所在地	対象廃棄物	処分方法	埋設規模(m3)	埋設量実績(m3)			総埋設量(m3)	操業開始
					2009	2010	2011	2011	
放射性廃棄物処分機関(SÚRAO)	リチャード	中低レベル(医療・産業・研究機関)	岩盤空洞	8,500	4	57	35	2,446(注	1964
	ブラツィリトビ	中低レベル(天然起源)	岩盤空洞	1,200	3	7	0	317(注	1974
	ドコバニ	中低レベル(原子力発電所起源)	コンクリートピット	55,000	501	498	200Lドラム2,474本＋パレット25台	5,225(注	1995
	ホスティム	中低レベル	坑道(コンクリート閉鎖)	1,690	0	0	0	330(注	1959

（出所）　SÚRAOホームページ、2009 年と 2010 年の埋設実績及び総埋設量はIAEA NEWMDB
注：2010 年現在の値

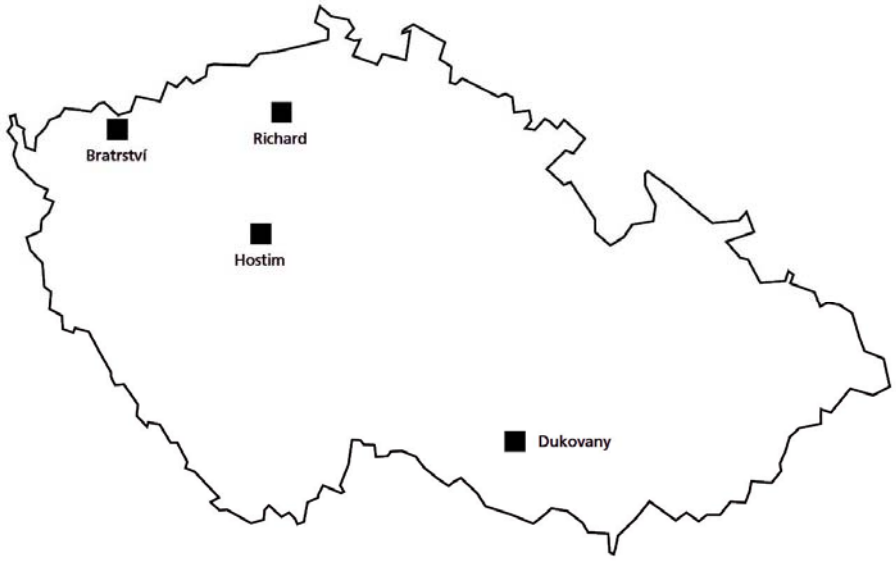


図8-1 チェコの放射性廃棄物処理施設位置図

（出所）　SÚRAO Annual report 2011

8-4-2　中低レベル放射性廃棄物

チェコ国内には、4 箇所に放射性廃棄物処分場がある。処分事業の実施主体は、放射性廃棄物処分庁（Radioactive Waste Repository Authority：SÚRAO）である。1997 年に制定された原子力法に従い、2000 年 1 月に国内の中・低レベル放射性廃棄物処分施設の運営が国に移管され、放射性廃棄物の処分事業はSÚRAOが全ての責任を負っている[153]。

Richardの放射性廃棄物処分場は、医療、産業、研究機関といった原子力発電所以外を起源とする中低レベルの放射性廃棄物の処分場である。施設規模は 8,500m^3 で、2011 年の埋設実績は 35m^3 であった。2010 年現在、2,446m^3 の廃棄物が埋設されている。

Bratrstviの放射性廃棄物処分場は、天然起源の放射性物質[154]を埋設する放射性廃棄物処分場である。施設規模は 1,200m^3 であり、2010 年時点で 317m^3 の廃棄物が埋設されている。なお、2011 年の埋設実績はない。

Dukovanyの放射性廃棄物処分場は、国内の発電所より発生する中低レベル放射性廃棄物の処分場である。

[153] ATOMICA、チェコの原子力事情 (14-06-07-02)、http://www.rist.or.jp/atomica/data/dat_detail.php?Title_No=14-06-07-02
[154] SÚRAO によれば、自然を起源とするが、人体に影響を及ぼす恐れのある放射性物質が対象とされている。

IAEA NEWMDBによれば、埋設深さは5.3mで、コンクリートピットに埋設されている。1995年より操業を開始しており、2100年まで操業する計画であり、閉鎖後は300年間監視作業が行われる計画である。埋設規模は55,000m^{3}で、2011年の埋設実績は、200Lドラム缶2,474本と、輸送用パレット25台であった。2010年時点の総埋設量は、5,225m^{3}である。Dukovany処分場の状況を図8-2に示す。



図8-2 Dukvany処分場

（出所） SÚRAOホームページ、
http://www.rawra.cz/eng/Radioactive-Waste-Repository/LLW-Repositories/Dukovany-repository/Downloads

Hostim処分場は、1959年に操業を開始した、チェコ最古の中低レベル放射性廃棄物処分場である。1965年に全ての搬入を恒久的に停止し、1997年に完全に閉鎖された。現在は監視段階にある。IAEA NEWMDBによれば、埋設容量は1,690m^{3}で、330m^{3}の廃棄物が埋設されている[155]。

[155] SÚRAO Annual report 2011、http://www.rawra.cz/eng/Information-corner/Downloads/Annual-reports

8-5　フィンランド

フィンランドの放射性廃棄物処理施設一覧を表 8-7 に、放射性廃棄物処理施設位置図を図 8-3 に示す。

表8-7 フィンランドの放射性廃棄物処理施設一覧

会社名	所在地	対象廃棄物	処分方法	埋設規模(m3)	埋設量実績(m3)			総埋設量(m3)	操業開始
					2009	2010	2011	2011	
ポシヴァ	サタクンタ県、ユーラヨキ、オルキルオト	使用済燃料	深地層(結晶質岩)	最大9,000tU	-	-	-	-	2020年頃
TVO	サタクンタ県、ユーラヨキ、オルキルオト	短寿命中低レベル	岩盤サイロ	15,500	199	127	173*	5,315(注	1992
フォルツム・パワー&ヒート(FPH)	ウーシマー県、ロビーサ	短寿命中低レベル	坑道	2,500	225	155	97	2,023**	1998

(出所)　IAEA NEWMDB、TVO、FPH
注：2010 年現在の値
*廃棄物発生量、**NEWMDBに基づく 2010 年現在の値に 2011 年の埋設量を加えたもの

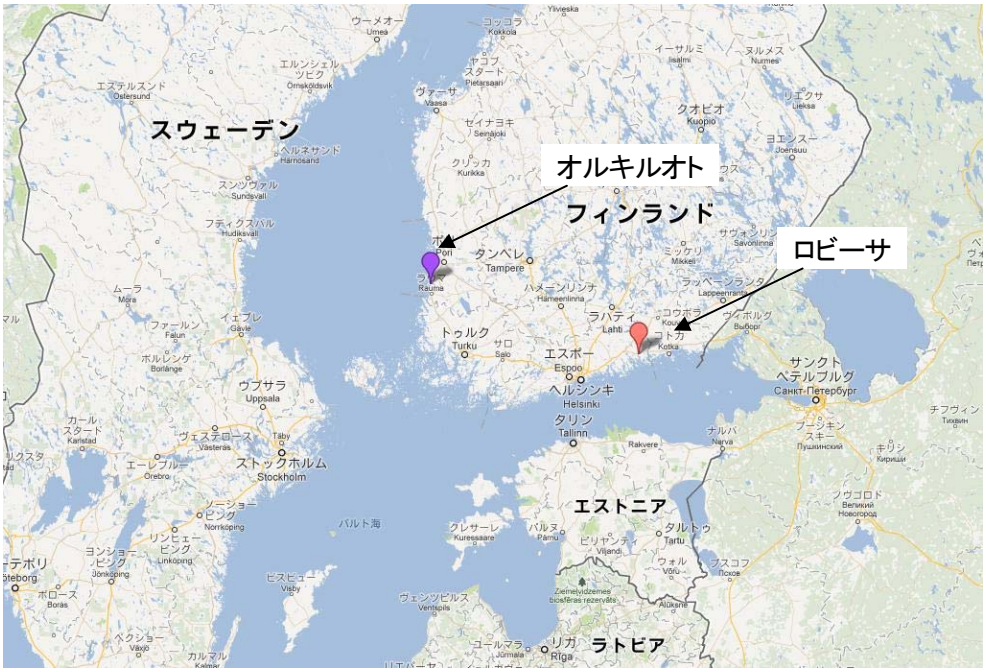


図8-3 フィンランドの放射性廃棄物処理施設位置図

(出所)　SÚRAO Annual report 2011

8-5-2　中低レベル放射性廃棄物

オルキルオトの中低レベル放射性廃棄物処分場は、オルキルオト発電所より発生する放射性廃棄物を処分するため、同発電所の構内に建設され、1992 年に操業を開始した処分場である。発電所と同様に、テオリスーデン・ヴォイマ社(Teollisuuden Voima Oyj (TVO))が操業している。地表から約 60mの深さにある花崗岩質の岩盤に 2 つのサイロが掘削されており、それぞれ低レベル用と中レベル用に別れている。低レベル放射性廃棄物用は掘削した岩盤サイロに直接処分する方法としており、中レベル用は掘削した岩盤内部にコンクリートサイロを設け、その内部に廃棄体を定置するコンクリートサイロ処分方法となっている。埋設規模は 15,500m^3 であり、その内 6,400m^3 が中レベル用、9,100m^3 が低レベル用となっている[156]。IAEA NEWMDBによれば、2010 年の埋設量は 127m^3、総埋設量は 5,315m^3 である。なお、TVOによれば、2012 年 5 月現在の総埋設量は約 5,500m^3

[156] 原子力環境整備促進・資金管理センター、http://www.rwmc.or.jp/disposal/low-level/4-1.html

であり[157]、2011 年の廃棄物発生量は 173m^3 であった[158]。ライセンスは 2051 年まで有効であるが、工事が進められているオルキルオト 3 号機の放射性廃棄物の処分を勘案すると、2030 年頃に満杯となることが予想されており、TVOは処分場の拡張を計画している[159]。

ロビーサの中低レベル放射性廃棄物処分場は、ロビーサ発電所より発生する放射性廃棄物を処分するため、同発電所の構内に建設され、1998 年に操業を開始した処分場である。こちらの処分場も発電所の所有運転者である、フォルツム・パワー&ヒート社（Fortum Power and Heat Oy（FPH））が操業している。現在、低レベル処分施設のみが操業しており、引き続き中レベル用の処分施設建設が進められている。将来的には、発電所の廃止措置に伴って発生する廃棄物のための処分施設の建設も計画されている。現在操業中の低レベル用の処分施設は、地表から約 110mの深さの岩盤に水平空洞を掘削し、掘削された空洞内に廃棄体を直接定置する処分方法としている。現在 1 基の処分施設が完成しており、さらにもう 1 基の処分空洞の建設が計画されている。また中レベル用の処分施設も同様に水平空洞を掘削し、空洞内にコンクリートピットを構築し、その内部に廃棄体を定置する処分方式が計画されており、現在その建設が進められている[160]。
IAEA NEWMDBによれば、埋設規模は 2,500m^3 であるが、拡張により埋設規模は 8,740m^3 となる計画である。2011 年には、120m^3 の中･低レベル放射性廃棄物が発生し、低レベル放射性廃棄物を 200Lドラム缶で 486 本埋設した。また、2011 年時点で埋設可能容量の内約 70%が使用済みである[161]。

8-5-3　　高レベル放射性廃棄物

フィンランドでは、2001 年に使用済燃料の処分地としてオルキルオトが選定されており、処分計画を政府及び国会が承認済みである。フィンランドは、使用済燃料を再処理しない方針であることから、稼働中及び建設中の原子炉が閉鎖されるまでに発生する全ての使用済燃料を直接処分する計画である。政府の目標では、2020 年頃の操業開始を予定している。また、Posiva社が使用済燃料処分事業の実施主体である。Posiva社は、フィンランド国内で原子力発電所を操業するTVOとFPHが共同出資して設立した民間企業であり、処分概念等はPoshiva社が主体となって検討を進めている。同社は、2012 年 12 月 28 日、地層処分に関する施設建設許可申請書の作成を終え、規制当局である放射線および核安全局（Strålsäkerhetscentralen：STUK）に申請書を提出している[162]。
現在の検討では、処分場の設置深度は地下約 400mとされており、地質は結晶質岩である。2004 年から地下特性調査施設の建設が始まっており、並行して詳細特性調査が実施されている。処分場の規模は、最大 9,000tU 分が予定されており、建設中のオルキルオト 3 号機に加え、計画されているオルキルオト 4 号機より発生する使用済燃料が全量処分できる[163]。

---

157 TVO プレスリリース、http://www.tvo.fi/page-1659
158 TVO、Environmental Report 2011、http://www.tvo.fi/uploads/File/2012/ymparistoraportti_2011_en.pdf
159 TVO プレスリリース、http://www.tvo.fi/page-2200
160 原子力環境整備促進・資金管理センター、http://www.rwmc.or.jp/disposal/low-level/4-2.html
161 FPH、Sustainability report 2011、http://apps.fortum.fi/gallery/fortum_sustainabilityreport_2011_final.pdf
162 STUK、http://www.stuk.fi/stuk/tiedotteet/en_GB/news_811/
163 （公財）原子力環境整備促進・資金管理センター、http://www2.rwmc.or.jp/wiki.php?id=hlw:fi:prologue

8-6　フランス

フランスの放射性廃棄物処理施設一覧を表 8-8 に、放射性廃棄物処理施設位置図を図 8-4 に示す。

表8-8 フランスの放射性廃棄物処理施設一覧

会社名	所在地	対象廃棄物	処分方法	埋設規模(m3)	埋設量実績(m3)			総埋設量(m3)	操業開始
					2009	2010	2011	2011	
放射性廃棄物管理機関（ANDRA）	ビュール地下研究所近傍	ガラス固化体、長寿命中レベル廃棄物	深地層（粘土層）	ガラス固化体（6,690）中レベル廃棄物（59,300）	-	-	-	-	2025年頃
	オーブ県、オーブ	短寿命中低レベル	コンクリートピット	1,000,000	12,363	12,179	11,918	255,143	1992
	ラ・マンシュ	短寿命中低レベル	コンクリートピット	527,225	0	0	0	527,225	1969
	オーブ県、モルヴィリエ	極低レベル	素掘トレンチ	650,000	31,027	33,354	32,512	222,054	2003

（出所）　ANDRA

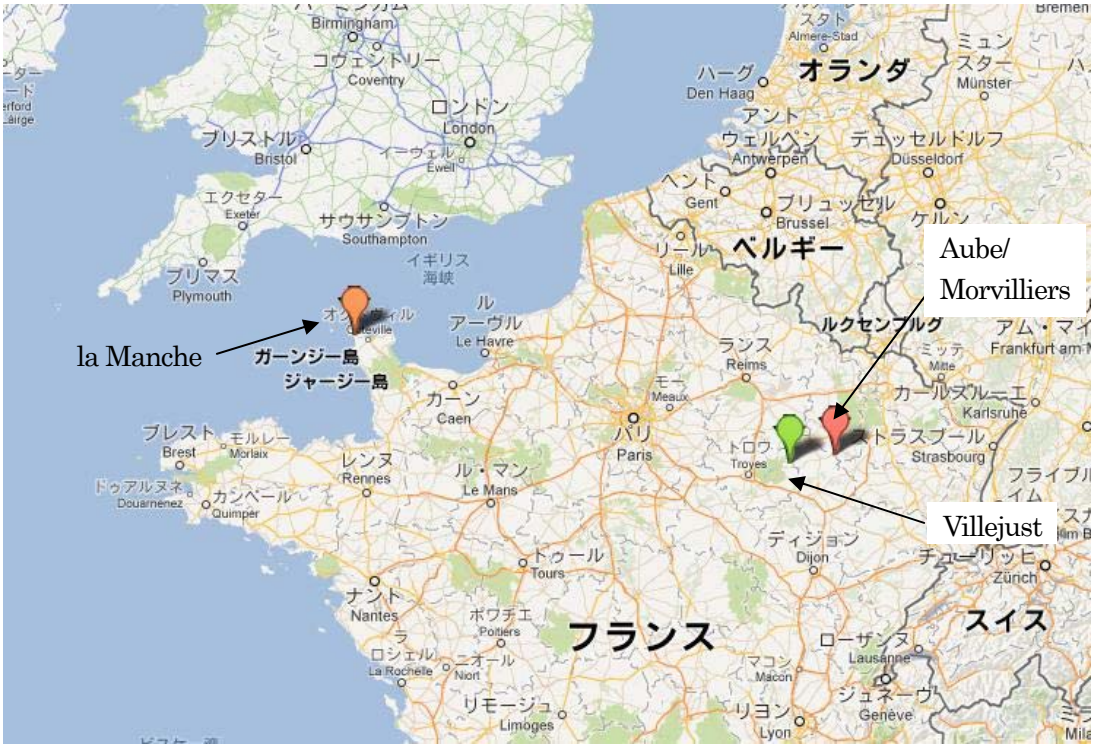


図8-4 フランスの放射性廃棄物処理施設位置図

（出所）　Google map

8-6-2　中低レベル放射性廃棄物

フランス国内には、3 箇所に放射性廃棄物処分場がある。フランスの放射性廃棄物は、放射性廃棄物管理機関（ANDRA）が実施主体となって管理している。ANDRAは 1979 年に原子力・代替エネルギー庁（CEA）の一部門として創設されたが、1991 年、分離・公社化されている[164]。

オーブの放射性廃棄物処分場は、中低レベル放射性廃棄物の処分場で、処分方式はコンクリートピット方式である。短寿命のものを埋設しており、埋設規模は 1,000,000m^3 である。後述するラ･マンシュ処分場の閉鎖に伴い、1992 年に操業を開始しており、2050 年頃までの操業が見込まれている。2011 年中には延べ 1,422 台の車両により、21,917 個、容積にして 13,317m^3 の放射性廃棄物が搬入され、11,268 個、容積にして 11,918m^3 の放射性廃棄物が埋設された。これまでに 318,409 個、容積にして 255,143m^3 の放射性廃棄物が埋設されてい

164 （公財）原子力環境整備促進・資金管理センター、諸外国での高レベル放射性廃棄物処分、http://www2.rwmc.or.jp/wiki.php?id=hlw:fr:prologue

る。2011 年に搬入された廃棄物の 52%はEDF、34%はCEA、8%はAREVAが発生者である[165]。

ラ・マンシェの放射性廃棄物処分場は、オーブ同様、短寿命中低レベル放射性廃棄物処分場で、コンクリートピット方式を採用している。1969 年に操業を開始したが、埋設量が限界に達したため 1994 年に搬入を終了した。1991 年から 1997 年にかけて、屋根が設置されている。現在は、継続的な監視フェーズに移行しているが、2003 年には、職員の配置が局所化されている。総埋設量は、527,225m^3 である[166]。

モルヴィリエの放射性廃棄物処分施設は、2003 年に操業を開始した、極低レベルの放射性廃棄物処分場で、素掘トレンチにより処分されている。埋設容量は 650,000m^3 であり、2030 年頃までの操業が見込まれている。なお、同施設は、処分される廃棄物中の放射性核種濃度が低いため、原子力基本施設に適用される規制は受けず、環境保護指定施設に適用される規制を受ける[167]。
2011 年中には延べ 2,235 台の車両により、35,685 個、容積にして 32,512m^3 の放射性廃棄物が搬入されており、これまでに 238,231 個、容積にして 222,054m^3 の放射性廃棄物が埋設されている。2011 年に搬入された廃棄物の 27%はAREVA、53%はCEA、12%はEDFが発生者である[168]。

8-6-3　　高レベル放射性廃棄物

フランスでは、使用済燃料を全量再処理することが基本方針であり、再処理によって生じるガラス固化体と長寿命中レベル放射性廃棄物の処分場が必要となる。処分の実施主体は、中低レベルと同様ANDRAが担っている。
2009 年 10 月、ANDRAは「放射性物質及び放射性廃棄物管理国家計画（PNGMDR）」に基いて、政府に地層処分サイトの提案をおこなった。ANDRAは 2005 年の研究成果報告において、地上及びビュール地下研究所での調査から、同地域の深度約 500mに位置するカロボ・オックスフォーディアン粘土層が地層処分に適しているとして、ビュール地下研究所と同等の特性を有する区域として、地下研究所を含む周辺約 250km^2 を互換区域として特定していた。ZIRA（今後詳細な地下の調査を行う区域）1 と称して特定された地層処分場の地下施設の展開が予定される区域は、上記の互換区域や地質特性等の情報を含めて、地図上に明示されている。ZIRA（赤枠）及び互換区域（青枠）を図 8-5 に示す。処分場は、この粘土層と同等の地質環境を有する地層内に設置する計画である。なお、高レベル放射性廃棄物及び長寿命中レベル放射性廃棄物は「可逆性のある地層処分」を行なう方針である。
既存の原発を全て 40 年間運転した場合、約 45,000 トンの使用済燃料が発生するが、これらを全量再処理した場合に発生するガラス固化体（6,690m^3）及び長寿命中レベル放射性廃棄物（59,300m^3）が処分対象となる。
2006 年に制定された「放射性廃棄物等管理計画法」では、2025 年に操業を開始する計画になっている[169]。

---

165 ANDRA、Rapport d'information sur la sûreté nucléaire et la radioprotection du Centre de stockage des déchets radioactifs de faible et moyenne activité de l'Aube 2011、http://www.andra.fr/download/site-principal/document/editions/472.pdf

166 ANDRA、Rapport d'information sur la sûreté nucléaire et la radioprotection du Centre de stockage de la Manche 2011、http://www.andra.fr/download/site-principal/document/editions/474.pdf

167 ATOMICA、フランス、ベルギー、スイスに於ける放射性廃棄物処理・処分の動向 (05-01-03-26)、http://www.rist.or.jp/atomica/data/dat_detail.php?Title_No=05-01-03-26

168 ANDRA、Rapport annuel du Centre de stockage des déchets de très faible activité de l'Aube (CSTFA) 2011、http://www.andra.fr/download/site-principal/document/editions/481.pdf

169 （公財）原子力環境整備促進・資金管理センター、諸外国での高レベル放射性廃棄物処分、http://www2.rwmc.or.jp/wiki.php?id=hlw:fr:prologue

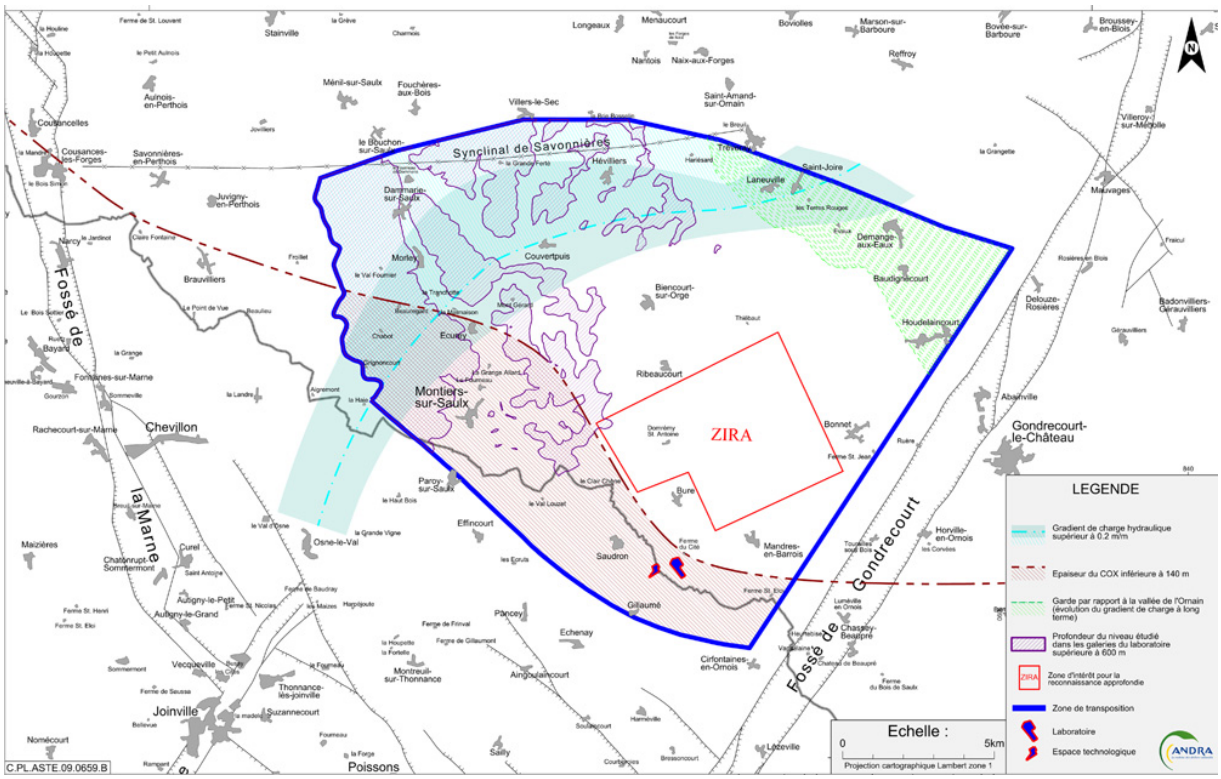


図8-5 ビュール研究所周辺地図

（出所） ANDRA、http://www.andra.fr/index.php?id=actualite_1_1_1&art=5312

8-7　ドイツ

ドイツの放射性廃棄物処理施設一覧を表 8-9 に、放射性廃棄物処理施設位置図を図 8-6 に示す。

表8-9 ドイツの放射性廃棄物処理施設一覧

会社名	所在地	対象廃棄物	処分方法	埋設規模(m3)	埋設量実績(m3)			総埋設量(m3)	操業開始
					2009	2010	2011	2011	
連邦放射線防護庁(BfS)(ドイツ廃棄物処分施設建設・運転会社(DBE)に委託)	ニーダーザクセン州、ゴアレーベン(代替処分サイト選定手続き検討中)	ガラス固化体、使用済燃料	深地層(岩塩ドーム:ゴアレーベン)	使用済燃料約17,770tU分と推定	-	-	-	-	2035年頃

(出所)　(公財) 原子力環境整備促進・資金管理センター

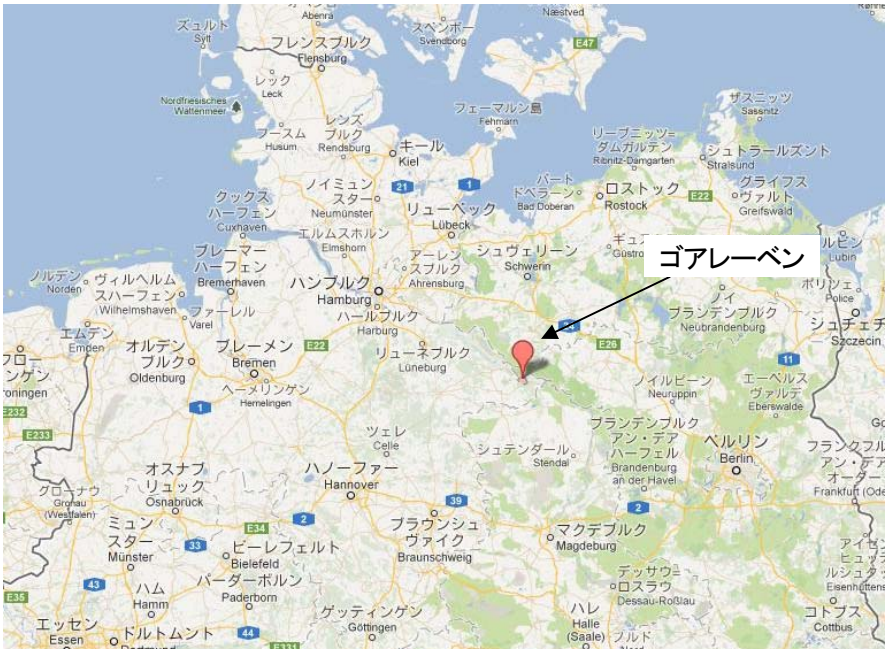


図8-6 ドイツの放射性廃棄物処理施設位置図

(出所)　Google map

8-7-2　高レベル放射性廃棄物

ドイツでは、高レベル放射性廃棄物処分場を建設・操業する責任は連邦政府にあり、連邦放射線防護庁（BfS）が所管している。BfSは実務を電力会社傘下のドイツ廃棄物処分施設建設・運転会社（DBE）に委託している。ドイツは、使用済燃料を再処理することを原則としていたが、2002 年に改正された原子力法において、2005 年 7 月以降は、使用済燃料を海外の再処理施設に輸送することが禁じられており、これまでの再処理により生じたガラス固化体及び使用済燃料が処分対象となる。使用済燃料の累積発生量は、17,770tHMと推定されており、これらが処分対象となる。なお、その内約 6,670tHMは主に英仏に委託して再処理されている。

ドイツ北部の岩塩ドームが処分場に適していると考えられていたため、候補地の選定作業は連邦政府と岩塩ドームが広く分布するニーダーザクセン州が中心となって 1970 年代に始まり、調査の結果を踏まえ同州は 1977 年に連邦政府に対して核燃料サイクル・バックエンドセンターをゴアレーベンに誘致する提案を行った。1983 年にまとめられた中間報告書では、ゴアレーベンが敵地であるとの評価が下され、1986 年から地下探査坑道の建設を伴う調査活動が開始された。しかし、1998 年の総選挙に伴う政権交代で、連邦政府は原子力発電の段階的廃止に転換し、ゴアレーベンでの新規に開始する地下探査活動も2000 年から 10 年間凍結されることとなる。併せて、サイト要件等の再検討が着手されるものの、新たなサイト選定手続きはなんら決定に至らないという状況が続いた。10 年後の 2010 年 11 月、ゴアレーベンでの探査活動は再開され、また、並行して 2011 年秋から代替処分サイトの選定手続きの検討が始まっている。

ゴアレーベンでの処分サイトは、岩塩ドーム内の地下 840～1,200mの範囲が検討されている。ゴアレーベンが適地であると判明した場合は、2017 年頃から計画の確定に関する手続きを開始することとなる。処分場は、貯蔵ライセンスの有効期限の観点から 2035 年頃には必要となる見通しである[170]。

[170] （公財）原子力環境整備促進・資金管理センター、諸外国での高レベル放射性廃棄物処分、http://www2.rwmc.or.jp/wiki.php?id=hlw:de:prologue

8-8　ハンガリー

ハンガリーの放射性廃棄物処理施設一覧を表 8-10 に、放射性廃棄物処理施設位置図を図 8-7 に示す。

表8-10 ハンガリーの放射性廃棄物処理施設一覧

会社名	所在地	対象廃棄物	処分方法	埋設規模(m3)	埋設量実績(m3)			総埋設量(m3)	操業開始
					2009	2010	2011	2011	
ハンガリー放射性廃棄物管理公社(PURAM)	Tolna州、バタアパチ	中低レベル	浅地中処分	ドラム缶4,600本	-	-	-	-	2012
	Pest州、プスポクスズィラギ	中低レベル	浅地中処分	5,040	-	-	-	5,040	1977

（出所）　ニュークレオニクスウィーク 2012/12/20 版、IAEA NEWMDB

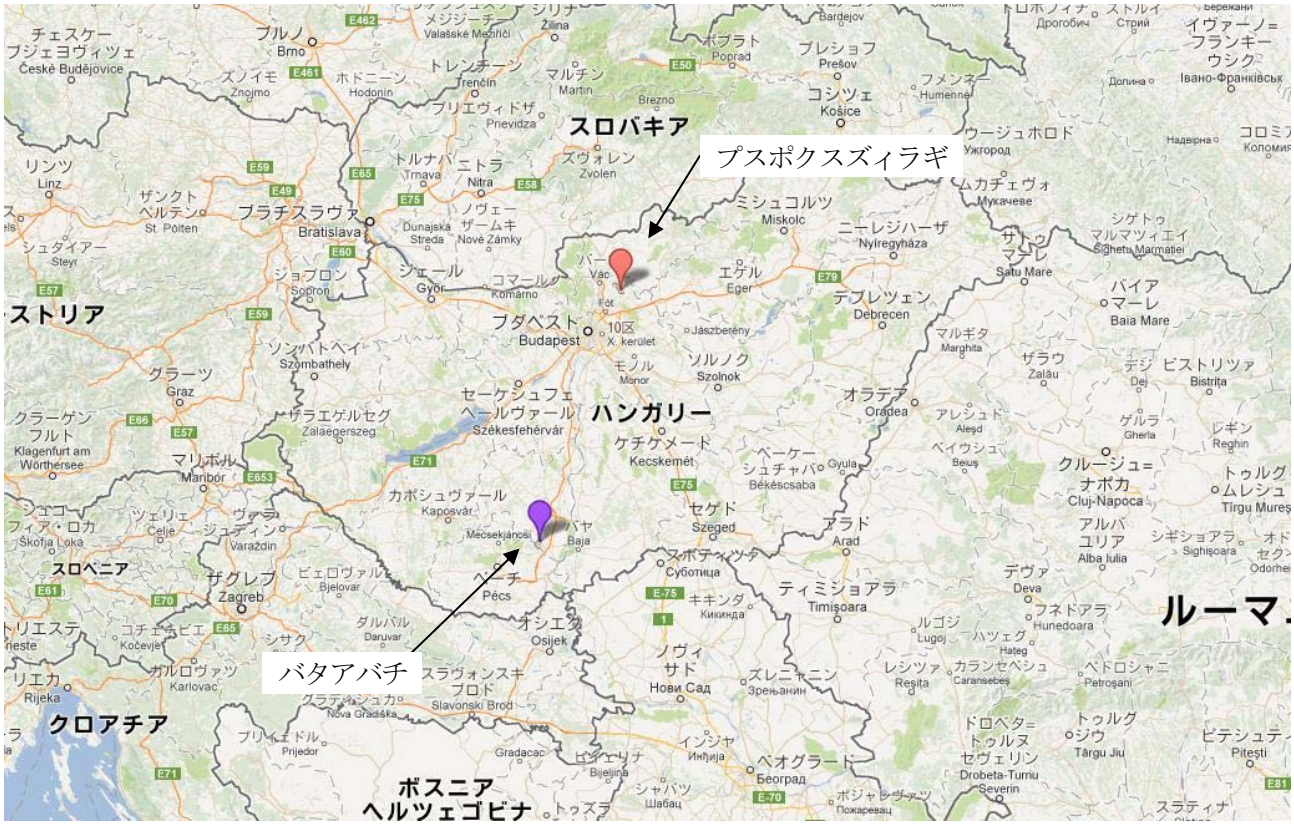


図8-7 ハンガリーの放射性廃棄物処理施設位置図

（出所）　Google map

8-8-2　中低レベル放射性廃棄物

ハンガリーの中低レベル放射性廃棄物は、バタアパチ（Bátaapáti）にある処分場で処分されている。バタアパチ処分場は、国営企業であるハンガリー放射性廃棄物管理公社が操業している。

従来、これらの廃棄物パッケージ（ドラム缶）は、プスポクスズィラギ処分場（(Püspökszil）に処分されていた。プスポクスズィラギ処分場はパクシュ原子力発電公社（PAV）が運営していたが、サイトを拡張する際、周辺地域が地震帯に属すること、地層の浸水性や岩盤移動性など、放射性廃棄物を安全に処分するうえで憂慮されること、廃棄物の移送経路に問題があることなどが指摘され、住民の反対運動が激化したことから、1997 年から搬送は中止された[171]。IAEA NEWDBによれば、総埋設量は 5,040m^3 である。

バタアパチ処分場は、プスポクスズィラギ処分場の代替であり、2012 年 12 月 5 日に操業を開始した。処分方法は浅地中処分であり、操業開始時点の埋設規模はドラム缶 4,600 本分となっている。2013 年中に二つ目のボ

[171] ATOMICA、ハンガリーの核燃料サイクル（14-06-09-03）、
http://www.rist.or.jp/atomica/data/dat_detail.php?Title_Key=14-06-09-03

ールトの建設を開始する予定であると報じられている[172]。IAEA NEWMDBによれば、埋設規模 27,000m^3 まで拡張が計画されている。

[172] ニュークレオニクスウィーク日本語版、2012/12/20

8-9　ノルウェー

ノルウェーの放射性廃棄物処理施設一覧を表 8-11 に示す。

表8-11 ノルウェーの放射性廃棄物処理施設一覧

会社名	所在地	対象廃棄物	処分方法	埋設規模(m3)	埋設量実績(m3)			総埋設量(m3)	操業開始
					2009	2010	2011	2011	
エネルギー技術研究所(IFE)	ヒムダーレン	中低レベル(超寿命等を除く)	岩盤空洞内コンクリートピット	1,575	N/A	N/A	N/A	1,031*	1999

(出所)　IAEA NEWMDB
*2008 年現在の総埋設量

8-9-2　中低レベル放射性廃棄物

ノルウェーには原子力発電所は存在しないが、中低レベル放射性廃棄物は国の責任の下、エネルギー技術研究所 (IFE) がヒムダーレン処分場を操業している。処分方法は岩盤空洞内コンクリートピット方式であり、1999 年に操業を開始。埋設規模は 1,575m^3 で、2008 年現在、1,031m^3 が処分されている。

8-10　スロバキア

スロバキアの放射性廃棄物処理施設一覧を表 8-12 に、放射性廃棄物処理施設位置図を図 8-8 に示す。

表8-12 スロバキアの放射性廃棄物処理施設一覧

会社名	所在地	対象廃棄物	処分方法	埋設規模(m3)	埋設量実績(m3)			総埋設量(m3)	操業開始
					2009	2010	2011	2011	
スロバキア電力会社	モホフチェ	中低レベル	浅地中処分	11,160	N/A	N/A	N/A	5,558*	2001

（出所）　（公財）原子力環境整備促進・資金管理センター



図8-8 スロバキアの放射性廃棄物処理施設位置図

（出所）　Google map

8-10-2　中低レベル放射性廃棄物

モホフチェにある中低レベル放射性廃棄物処分場は、モホフチェ原子力発電所の近傍にある中低レベル放射性廃棄物処分場である。発電所と同じく、スロバキア電力会社が運営しており、処分方法は浅地中処分である。2011 年に操業を開始しており、埋設規模は 11,160m³ であり、2008 年現在 5,558m³ が埋設済である。なお、IAEA NEWDBによれば、2008 年時点で 22,320m³ までの拡張計画があるとされている。

8-11　スペイン

スペインの放射性廃棄物処理施設一覧を表 8-13 に、放射性廃棄物処理施設位置図を図 8-9 に示す。

表8-13 スペインの放射性廃棄物処理施設一覧

会社名	所在地	対象廃棄物	処分方法	埋設規模(m3)	埋設量実績(m3)			総埋設量(m3)	操業開始
					2009	2010	2011	2011	
放射性廃棄物管理公社（ENRESA）	選定活動凍結中	ガラス固化体、使用済燃料	深地層を有力なオプション	未詳	-	-	-	-	2050年頃
	コルドバ州、エルカブリル	短寿命中低レベル	地表処分（覆土）	85,000	1,826	1,721	1,957	33,721	1993

（出所）　（公財）原子力環境整備促進・資金管理センター、IAEA NEWMDB、埋設量実績及び総埋設量はENRESA



図8-9 スペインの放射性廃棄物処理施設位置図

（出所）　Google map

8-11-2　　中低レベル放射性廃棄物

エルカブリルにある中低レベル放射性廃棄物処分場は、1984 年に設立された国営企業である放射性廃棄物管理公社（Empresa Nacional de Residuos Radiactivos, S.A.：ENRESA）が運営する放射性廃棄物処分場である。処分方法は覆土による地表処分であり、埋設規模は 85,000m³ である。1993 年に操業を開始しており、2011 年には 1,957m³ の廃棄物が搬入され、総埋設量は 33,721m³ となっている。また、170,000 m³ まで埋設容量を拡大する計画がある[173]。

8-11-3　　高レベル放射性廃棄物

スペインの高レベル放射性廃棄物管理はENRESAが実施主体となっている。
1986 年からは複数の地層を対象としたサイト選定プロジェクトが開始され、サイト選定は、花崗岩、岩塩、粘土質岩の各地層を対象とした好適地層のリスト作成から始まり、地方レベル（ERAプロジェクト）、地域レベル（AFAプロジェクト）、地区レベル（ZOAプロジェクト）と段階的に進められたが、1995 年の各地域レベルでの反対運動を受けて、1998 年に方針を変更し、サイト選定活動は中断された。その後 2006 年に定められ

[173] ENRESA、
http://www.enresa.es/busquedade/publicaciones_y_audiovisuales/documentacion?categoria=dossieres%20de%20prensa

た第 6 次総合放射性廃棄物計画において、地層処分が採用された場合の計画として、2040 年に処分場の建設開始、2050 年に操業開始というスケジュールを提示しているが、最終的な管理方針の決定は先送りされており、サイト選定活動も凍結されたままである。なお、当面は集中中間貯蔵施設で管理する方針であり、公募の結果、2011 年 12 月にビジャル・デ・カニャス自治体が受入れ自治体として選定された[174]。

[174] （公財）原子力環境整備促進・資金管理センター、諸外国での高レベル放射性廃棄物処分、http://www2.rwmc.or.jp/wiki.php?id=hlw:es:start

8-12　スウェーデン

スウェーデンの放射性廃棄物処理施設一覧を表 8-14 に、放射性廃棄物処理施設位置図を図 8-10 に示す。

表8-14 スウェーデンの放射性廃棄物処理施設一覧

会社名	所在地	対象廃棄物	処分方法	埋設規模(m3)	埋設量実績(m3)			総埋設量(m3)	操業開始
					2009	2010	2011	2011	
スウェーデン核燃料・廃棄物管理会社(SKB)	ウプサラ県、フォルスマルク	使用済燃料	深地層(結晶質岩)	約12,00tU	-	-	-	-	2025年頃
	ウプサラ県、フォルスマルク、SFR-1	短寿命中低レベル	岩盤内空洞	63,000	267	584	540	34,432	1988

（出所）　（公財）原子力環境整備促進・資金管理センター、IAEA NEWMDB、埋設量実績及び総埋設量はSKB

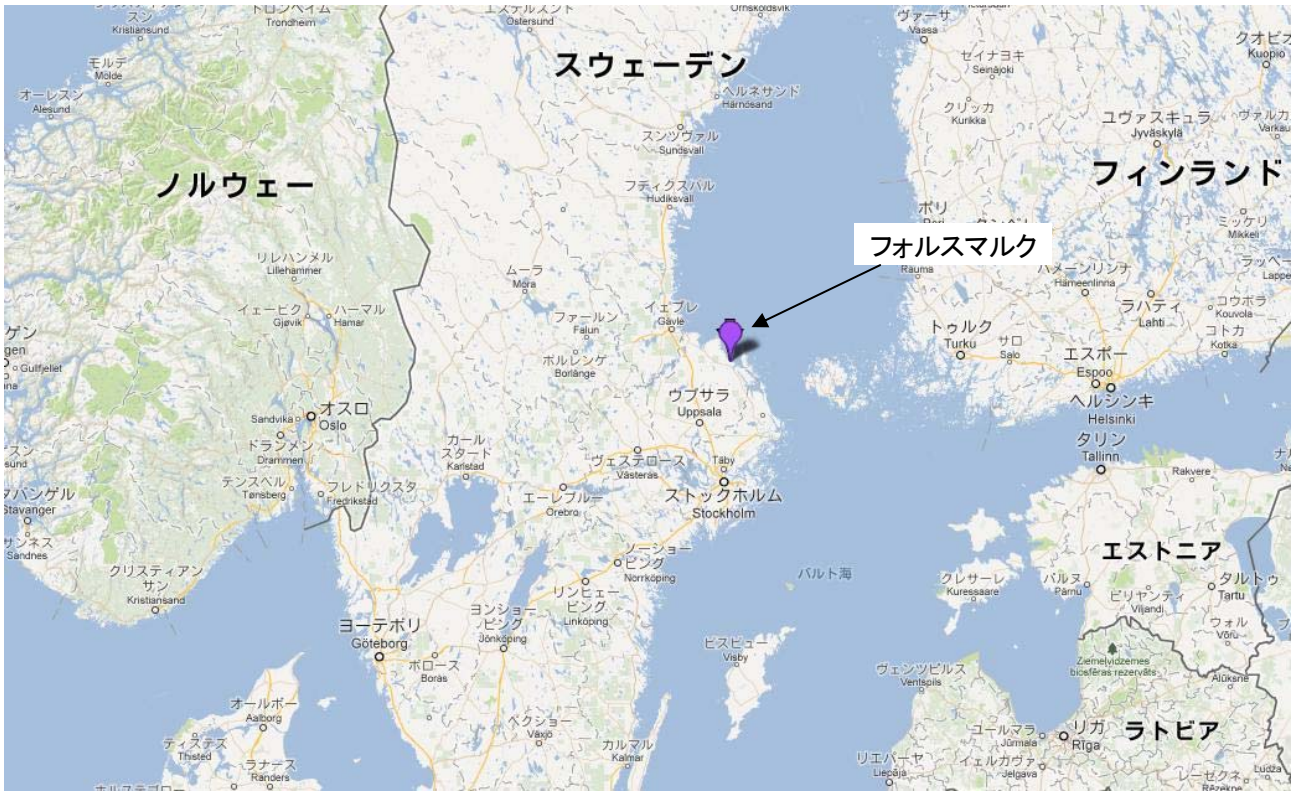


図8-10 スウェーデンの放射性廃棄物処理施設位置図

（出所）　Google map

8-12-2　中低レベル放射性廃棄物

SFR-1 は、1984 年に電力会社 4 社が共同出資して設立した民間会社である、スウェーデン核燃料・廃棄物管理会社（SKB）が操業する短寿命中低レベル放射性廃棄物処分場である。SFR-1 は、フォルスマルク原子力発電所の沖合 3kmの海面下 50mに建設されており、1988 年から操業を開始している。なお、極低レベル放射性廃棄物は原子力発電所サイト内で浅地中処分され、クリアランス・レベル以下の廃棄物は、産業廃棄物として埋設処分または再利用される[175]。

埋設規模は、63,000m^3 であり、2011 年の埋設量実績は 540m^3、総埋設量は 34,432m^3 である。なお、SKBは埋設規模を 190,000m^3 まで拡張する計画である[176]。

[175] ATOMICA、スウェーデンの核燃料サイクル (14-05-04-05)、
http://www.rist.or.jp/atomica/data/dat_detail.php?Title_No=14-05-04-05

[176] SKB、http://www.skb.se/Templates/Standard____15476.aspx

8-12-3　高レベル放射性廃棄物

スウェーデンの高レベル放射性廃棄物処分場の建設・操業実施主体は、SKB社である。処分場サイトの選定方法は、法令で定められていないが、SKBが3年毎の研究開発計画を作成し、これを規制機関等がレビューし、最終的に政府が承認する手続きを通じた間接的な規制が行なわれている。

1995年から行なわれたFS調査受入れ承認が得られた6自治体でのSKBによる調査が行なわれ、その結果2000年に3ヶ所が候補地となり、サイト調査を受入れた2自治体で2005年まで調査を進めた結果、2009年にSKBはフォルスマルクを処分場の建設予定地点として選定した。2011年3月に、SKBは立地・建設の許可申請書を提出している。SKBの計画によれば、2025年頃の操業開始を予定している。

全ての使用済燃料をそのまま処分する方針であり、合計約12,000tUが処分される計画である。処分場は結晶質岩層の深さ約500mの地点に設置される予定である。

8-13　スイス

スイスの放射性廃棄物処理施設一覧を表 8-15 に示す。

表8-15 スイスの放射性廃棄物処理施設一覧

会社名	所在地	対象廃棄物	処分方法	埋設規模(m3)	埋設量実績(m3)			総埋設量(m3)	操業開始
					2009	2010	2011	2011	
放射性廃棄物管理共同組合（NAGRA）	候補区域は3ヶ所	ガラス固化体、使用済燃料	深地層（オパリナス粘土層）	約3,600tU*	-	-	-	-	2050年頃

（出所）　（公財）原子力環境整備促進・資金管理センター

8-13-2　高レベル放射性廃棄物

スイスの放射性廃棄物処分場の建設実施主体は、スイスの原子力発電会社 5 社と連邦政府が 1972 年に設立した協同組合である放射性廃棄物管理協同組合（NAGRA）である。

2005 年に施行された原子力令に基き、都市計画法の定めるプロジェクト確定手続きに基いてサイト選定が実施されている。2011 年 11 月、ジュラ東部、北部レゲレン、チューリッヒ北東部の 3 ヶ所が正式に候補地点として選定され、サイト選定手続きの第一段階である候補サイト区域の確定作業と、第二段階である候補サイト選定作業に必要な検討が並行して実施されている。候補区域図を図 8-11 に示す。

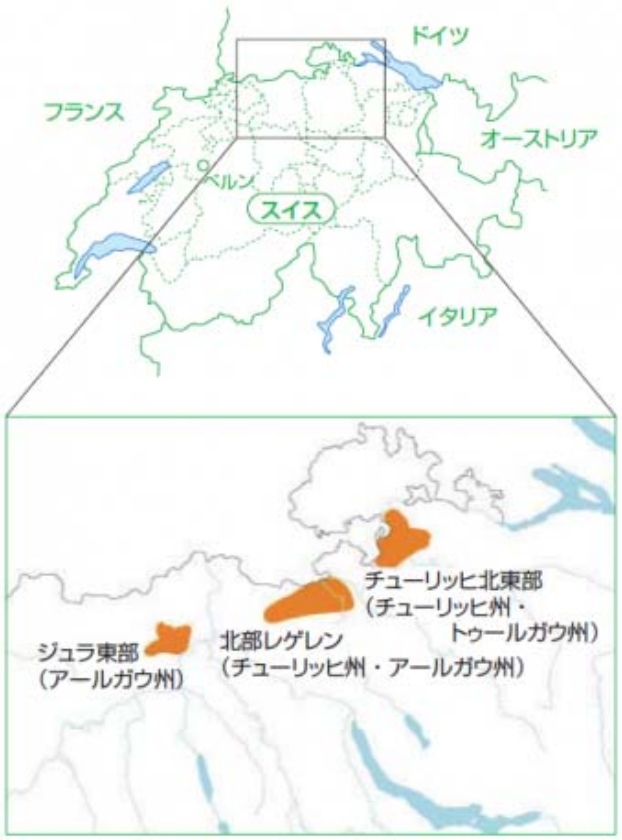


図8-11 スイスの高レベル放射性廃棄物処分場候補区域図

（出所）　（公財）原子力環境整備促進・資金管理センター、http://www2.rwmc.or.jp/wiki.php?id=hlw:ch:chap4

ガラス固化体と使用済燃料を処分する計画であり、国内 5 基の原子炉を 50 年間運転した場合に想定される使用済燃料発生量は、約 3,600tUと推定されている。処分場は、オパリナス粘土層が広く存在している地下約 450～900mが検討されており、操業開始は 2050 年ごろを予定している。[177]

177 （公財）原子力環境整備促進・資金管理センター、諸外国での高レベル放射性廃棄物処分、http://www2.rwmc.or.jp/wiki.php?id=hlw:ch:prologue

8-14　イギリス

イギリスの放射性廃棄物処理施設一覧を表 8-16 に、放射性廃棄物処理施設位置図を図 8-12 に示す。

表8-16 イギリスの放射性廃棄物処理施設一覧

会社名	所在地	対象廃棄物	処分方法	埋設規模(m3)	埋設量実績(m3)			総埋設量(m3)	操業開始
					2009	2010	2011	2011	
原子力廃止措置機関(NDA)	(カンブリア州と同州内の2市が関心表明するも、州議会が次段階に進まないことを決議。募集継続中)	浅地中処分できない放射性廃棄物	深地層	約500,000 内、ガラス固化体(7,454)	-	-	-	-	中低レベル2040年頃 HLW 2070年代半ば
	カンブリア、ドリッグ(LLWR)	低レベル	浅地中処分	1,800,000	N/A	N/A	N/A	800,000*	1959
	ハイランド、ドーンレイ	低レベル	浅地中処分	34,000	0	0	0	34,000	1950

（出所）　（公財）原子力環境整備促進・資金管理センター、IAEA NEWMDB



図8-12 イギリスの放射性廃棄物処理施設位置図

（出所）　Google map

8-14-2　中低レベル放射性廃棄物

ドリッグにある放射性廃棄物処分施設は、2005 年に設立された政府外郭団体である原子力廃止措置期間（NDA）が操業する低レベル放射性廃棄物処分施設である。1959 年より操業を開始しており、埋設規模は 1,800,000m³ で、埋設方法は浅地中処分である。また、2007 年現在の総埋設量は 800,000m³ である[178]。

ドーンレイにある放射性廃棄物処分施設も、NDAが操業する低レベル放射性廃棄物処分施設である。1950 年より操業を開始したが、2005 年に閉鎖されている。総埋設量は 34,000m³ である[179]。

178 IAEA NEWMDB、http://newmdb.iaea.org/REPORTS.ASPX?ByCountry=GB&ByYear=
179 IAEA NEWMDB、http://newmdb.iaea.org/REPORTS.ASPX?ByCountry=GB&ByYear=

8-14-3　高レベル放射性廃棄物

イギリスの高レベル放射性廃棄物処分場の建設実施主体は、NDAである。2008 年に政府が白書『地層処分の実施に向けた枠組み』を定め、英国政府がサイト選定を進めている。サイト選定プロセスは、以下に示す 6 段階である。

第 1 段階：自治体からの関心表明
- 「サイト選定プロセスへの参加を確約することなく」、政府との協議を開始。

第 2 段階：初期選別
- 文献調査により、白書で設定された除外基準に基づき、不適格な地域の存在に関する助言を受ける

第 3 段階：サイト選定プロセス参加の意思決定
- 「将来の処分場立地受入を確約することなく」、サイト選定プロセスへの参加を決定。

第 4 段階：机上調査
- NDAが机上作業により複数サイトを比較・検討。
- 地域立地パートナーシップと協力。
- 第 5 段階に進む 1 つもしくは複数のサイトを決定。

第 5 段階：地表からの調査
- NDAが地表からの調査を実施。
- 地域立地パートナーシップの助言を受け、自治体が次段階への参加意思を決定。これが撤退権を行使できる最後の機会となる。

第 6 段階：地下での活動
- NDAが必要な規制手続き等を行った上で、地下調査・処分場建設を実施。

2008 年 7 月にカンブリア州のコープランド市が、12 月に同州アラデール市が関心表明。地質調査所（BGS）の調査のもと第 3 段階まで達し、更に 2 市は第 4 段階に進むことを決議したが、2013 年 1 月、州議会が第 4 段階に進まないことを決議し、当面、同州でのサイト選定プロセスは終了した。
引き続きサイト選定を進め、2040 年頃に操業（低中レベル廃棄物の処分）開始、2070 年代半ばから高レベル放射性廃棄物の処分を開始する計画である。

処分対象となる廃棄物は、既存の処分場で処理できない放射性廃棄物であり、パッケージの総量は約 50 万m^3と推定されている。その内、ガラス固化体の処分用パッケージの総量は 7,454m^3と推定されている。
廃棄物の処分深度は 200～1,000mが想定されており、NDAは操業開始時期を 2040 年頃（高レベル放射性廃棄物の処分は 2070 年代半ば）から開始する計画としている[180]。

[180] （公財）原子力環境整備促進・資金管理センター、諸外国での高レベル放射性廃棄物処分、http://www2.rwmc.or.jp/wiki.php?id=hlw:uk:prologue

8-15　アメリカ

アメリカの放射性廃棄物処理施設一覧を表 8-17 に、放射性廃棄物処理施設位置図を図 8-13 に示す。

表8-17 アメリカの放射性廃棄物処理施設一覧

国名	会社名	所在地	対象廃棄物	処分方法	埋設規模(m3)	埋設量実績(m3)			総埋設量(m3)	操業開始
						2009	2010	2011	2011	
アメリカ	DOE（民間放射性廃棄物管理局（OCRWM））	ネバダ州、ユッカマウンテン（現政権は中止方針）	ガラス固化体、使用済燃料	深地層（凝灰岩：ユッカマウンテン）	70,000t	-	-	-	-	従来は2020年の開始を予定
	USエコロジー	ワシントン州、リッチランド	低レベル（クラスA～C）	素掘トレンチ	1,700,000	1,039	641	1,212	397,593	1965
	ケム・ニュークリアシステム	サウスカロライナ州、バーンウェル	低レベル（クラスA～C）	素掘トレンチ	880,000	322	989	329	797,739	1971
	エネルギーソリューションズ	ユタ州、クライブ	低レベル（クラスA）	処分セル	8,827,000	49,626	59,266	49,720	4,414,241	1988
	Waste Control Specialists（WCSテキサス）	テキサス州、アンドリューカウンティ	低レベル（クラスA～C）	素掘トレンチ	51,051	-	-	-	-	2012

（出所）　（公財）原子力環境整備促進・資金管理センター、IAEA NEWMDB、WCSテキサスホームページ、埋設量はManifest Information Management Systemによる搬入量、
総埋設量は、IAEA NEWMDBの 2008 年総埋設量に 2009 年～2011 年の搬入量を加えた値であり、正確ではない。

図8-13 アメリカの放射性廃棄物処理施設位置図



（出所）　Google map

8-15-2　中低レベル放射性廃棄物

リッチランド処分場は、USエコロジー社が操業する低レベル放射性廃棄物処分場である。リッチランド処分場では、クラスA～Cまでの放射性廃棄物を受入れており、素掘トレンチによる処分である。1965 年に操業を開始しており、埋設規模は 1,700,000m^3 である。2011 年の搬入量は 1,212 m^3（42,810ft^3）であり、2008 年現在の総埋設量は 394,700 m^3 である

バーンウェル処分場は、ケム・ニュークリアシステムが操業する低レベル放射性廃棄物処分場である。バーンウェル処分場では、クラスA～Cまでの放射性廃棄物を受入れており、素掘トレンチによる処分である。1971 年に操業を開始しており、埋設規模は 880,000 m^3 である。2011 年の搬入量は 329 m^3（11,608ft^3）であり、2008 年現在の総埋設量は 796,100 m^3 である。

クライブ処分場は、エネルギーソリューションズが操業する低レベル放射性廃棄物処分場である。クライブ処

分場では、クラスAの放射性廃棄物のみを受入れており、処分セルによる処分を行っている。1988 年に操業を開始しており、埋設規模は 8,827,000 m^3 である。2011 年の搬入量は 49,720 m^3（1,755,829ft^3）であり、2008 年現在の総埋設量は 4,255,630 m^3 である[181]。

アンドリューカウンティ（WCSテキサス）処分場は、Waste Control Specialists Texasが操業する低レベル放射性廃棄物処分場である。WCSテキサス処分場では、クラスA～Cまでの放射性廃棄物を受け入れている。2012 年 4 月より、廃棄物の受け入れを開始した、アメリカでもっとも新しい処分場である。許認可上の埋設規模は、1,802,865 ft^3（51,051 m^3）である[182]。

8-15-3 高レベル放射性廃棄物

アメリカでは、1982 年放射性廃棄物政策法で、DOEが処分場を開発すると定められており、DOEが実施主体となる。なお、同法によりDOE内に民間放射性廃棄物管理局（OCRWM）が設置されている。
DOEは、1983 年に 9 箇所の候補地点を選定され、候補サイトの環境アセスメント案が公表され、公聴会が開催された後、1986 年にDOEはサイト特性調査の実施に適したサイトとして 5 箇所を指定、このうち 3 ヶ所（ユッカマウンテン、デフスミス、ハンフォード）がDOE長官から大統領に推薦され、大統領の承認を得た。しかし、翌 1987 年には放射性廃棄物政策修正法が成立し、サイト特性調査を行う候補地点として、ユッカマウンテンが指定される。予算削減により検討作業がおくれたものの、1998 年にDOEはユッカマウンテンがサイトとして実現可能であることを示す報告書を公表した。ネバダ州が大統領の推薦に対して承認しないとの通知を行ったものの、連邦議会の立地承認決議を法律とすることにより、2002 年にユッカマウンテンが正式に処分場として決定された。その後、2008 年にDOEはNRCに建設許認可申請書を提出したが、2009 年の政権交代後に成立した民主党政権は、ユッカマウンテン計画の中止を決定。2010 年には申請自体も取り下げられた（ただし、NRCは申請の取り下げを認めていない）。

ユッカマウンテン計画の中止後、バックエンド対策の代替案を検討するとの方針を受けて、DOE長官は、放射性廃棄物管理を含むバックエンド政策の代替案を検討する「米国の原子力の将来に関するブルーリボン委員会（ブルーリボン委員会）」を 2010 年 1 月に設置し、検討を進めた結果、2012 年 1 月に最終報告書が発表され、8 項目の勧告が行われた。現在、この勧告に基づいて使用済燃料などの管理の実施シナリオを検討中である。8 項目の勧告は以下のとおりである。

1. 適応性があり、段階的で、同意に基づき、透明性があり、基準及び科学に基づいて、放射性廃棄物管理及び処分施設のサイト選定を行い、開発するための新たなアプローチ
2. 国内での放射性廃棄物の輸送、貯蔵及び処分のため、集中的で、統合されたプログラムを開発し、実施するための単一の目的を有する新たな組織
3. 放射性廃棄物管理プログラムによる、放射性廃棄物基金の残高と毎年の放射性廃棄物拠出金を放射性廃棄物管理プログラムが利用可能であること
4. 使用済燃料及び高レベル放射性廃棄物の安全な処分のための１つまたは複数の地層処分施設の開発のための可能な限り迅速な取組
5. 核燃料サイクルのバックエンドの管理のための計画の一部として、１つまたは複数の集中中間貯蔵施設の開発のための可能な限り迅速な取組
6. 集中貯蔵施設や処分場が利用可能となった際に開始される使用済燃料及び高レベル放射性廃棄物の大規模な輸送のための迅速な取組
7. 先進的な原子炉及び核燃料サイクル技術に関する研究開発・実証のための安定した長期的なサポート
8. 全世界の原子力施設及び核物質の安全性及びセキュリティを向上させるための国際的なリーダーシッ

[181] IAEA NEWMDB。搬入量は、Manifest Information Management System による。
[182] WCS テキサスホームページ、http://www.wcstexas.com/

プ

なお、ユッカマウンテンで予定されていた処分量は 70,000tHMで、その内 63,000tHMは商業用原子力発電所より発生した使用済燃料、7,000tHMはDOEが保有する使用済燃料やガラス固化体である。また、地表から 201m～488m（平均 305m）の不飽和帯（凝灰岩）に建設する計画であり、DOEが提出した許認可申請書では、2020 年の操業開始を予定していた[183]。

[183] （公財）原子力環境整備促進・資金管理センター、諸外国での高レベル放射性廃棄物処分、http://www2.rwmc.or.jp/wiki.php?id=hlw:us:prologue

9. 使用済燃料貯蔵施設

9-1 施設一覧

世界の主要な軽水炉（PWR/BWR/VVER）使用済燃料貯蔵容量と貯蔵量を国別に表 9-1 に示す。なお、この一覧表には、再処理施設に併設されている貯蔵施設は含まれていない。

表9-1 世界の使用済燃料貯蔵容量状況一覧

国名	On/Off	Dry/Wet	施設数	設備容量 (tHM)	貯蔵量		
					2009	2010	2011
アルメニア	On	Dry	1	235	103	112	121
		Wet	1	89	47	47	47
ベルギー	On	Dry	1	−*	683	718	785
		Wet	8	1,758	1,984	2,046	2,106
ブラジル	On	Wet	2	1,059	487	530	573
ブルガリア	On	Dry	1	786	0	0	0
		Wet	7	878	923	910	943
中国	On	Wet	13	5,332	1,145	1,257	1,406
チェコ	On	Dry	2	3,310	721	765	799
		Wet	6	998	632	671	710
フィンランド	On	Wet	6	2,341	1,689	1,753	1,817
フランス	On	Wet	58	13,088	4,472	4,472	4,472
ドイツ	On	Dry	13	14,610	2,923	3,262	3,468
		Wet	20	7,329	3,448	3,448	4,242
	Off	Dry	2	7,760	92	92	92
ハンガリー	On	Dry	1	864	929	965	1,000
		Wet	4	497			
インド	On	Dry	1	21	21	21	21
		Wet	2	N/A	503	516	530
	Off	Wet	1	275	N/A	N/A	N/A
イラン	On	Wet	1	295	0	0	0
メキシコ	On	Wet	2	1,112	462	502	502
オランダ	On	Wet	1	148	73	71	80
パキスタン	On	Wet	2	609	57	68	80
ロシア	On	Wet	17	3,811	1,674	1,900	2,156
	Off	Wet	1	8,300	4,300	4,300	4,300
スロバキア	On	Wet	7	1,879	1,326	1,363	1,399
スロベニア	On	Wet	1	696	357	378	378
南アフリカ	On	Dry	1	52	52	52	52
		Wet	2	1,416	795	819	844
韓国	On	Wet	19	11,726	4,847	5,169	5,517
スペイン	On	Dry	2	1,780	279	299	319
		Wet	9	5,680	3,708	3,779	3,946
スウェーデン	On	Wet	12	1,912	596	596	596
	Off	Wet	1	8,000	5,040	5,222	5,404
スイス	On	Dry	1	585	36	36	36
		Wet	6	1,085	596	653	711
	Off	Dry	1	−*	N/A	346	N/A
台湾	On	Wet	6	4,822	3,094	3,191	3,278
アメリカ	On	Dry	55	−*	13,535	15,303	17,155
		Wet	107	64,521	48,341	48,427	49,768
	Off	Dry	1	−*	81	81	81
		Wet	1	(3,308体)	674	674	674
ウクライナ	On	Dry	1	3,970	633	633	633
		Wet	15	6,165	1,923	2,156	4,112
イギリス	On	Wet	1	694	362	399	399

＊ 許認可等で設備容量が定められていない

（出所） NAC International調べ

注：Onはサイト内貯蔵を、Offはサイト外貯蔵を示す。

Dryは乾式貯蔵施設を、Wetは湿式（プール）貯蔵施設を示す。

9-2　中国

中国の原子力発電所から発生した使用済燃料集合体は、今のところ、発電所内のプールに一時保管されている。これらは、集中貯蔵と再処理のため中間貯蔵サイトに移される予定[184]であるが、現時点ではサイト外の専用の使用済燃料貯蔵設備は存在していない。また、使用済燃料の貯蔵容量には余裕があり、サイト内貯蔵容量の拡張等の計画も確認されていない。

なお、4 章で述べるとおり、重水炉向けには乾式貯蔵施設が立地されている。

9-3　フランス

フランスでは、使用済燃料を基本的に全量再処理する方針であり、発電所では再処理施設へ搬出するまでの間、貯蔵されている。発電所内貯蔵施設容量の拡張、中間貯蔵施設の立地計画等は確認されていない。

184 IAEA-TECDOC-1529, "*Management of Reprocessed Uranium* - Current Status and Future Prospects", February 2007 http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/te_1529_web.pdf

9-4　ドイツ

ドイツでは、３箇所の中央中間貯蔵施設と、13 箇所のオンサイト中間貯蔵施設が操業している。施設立地地点を図 9-1 に示す。

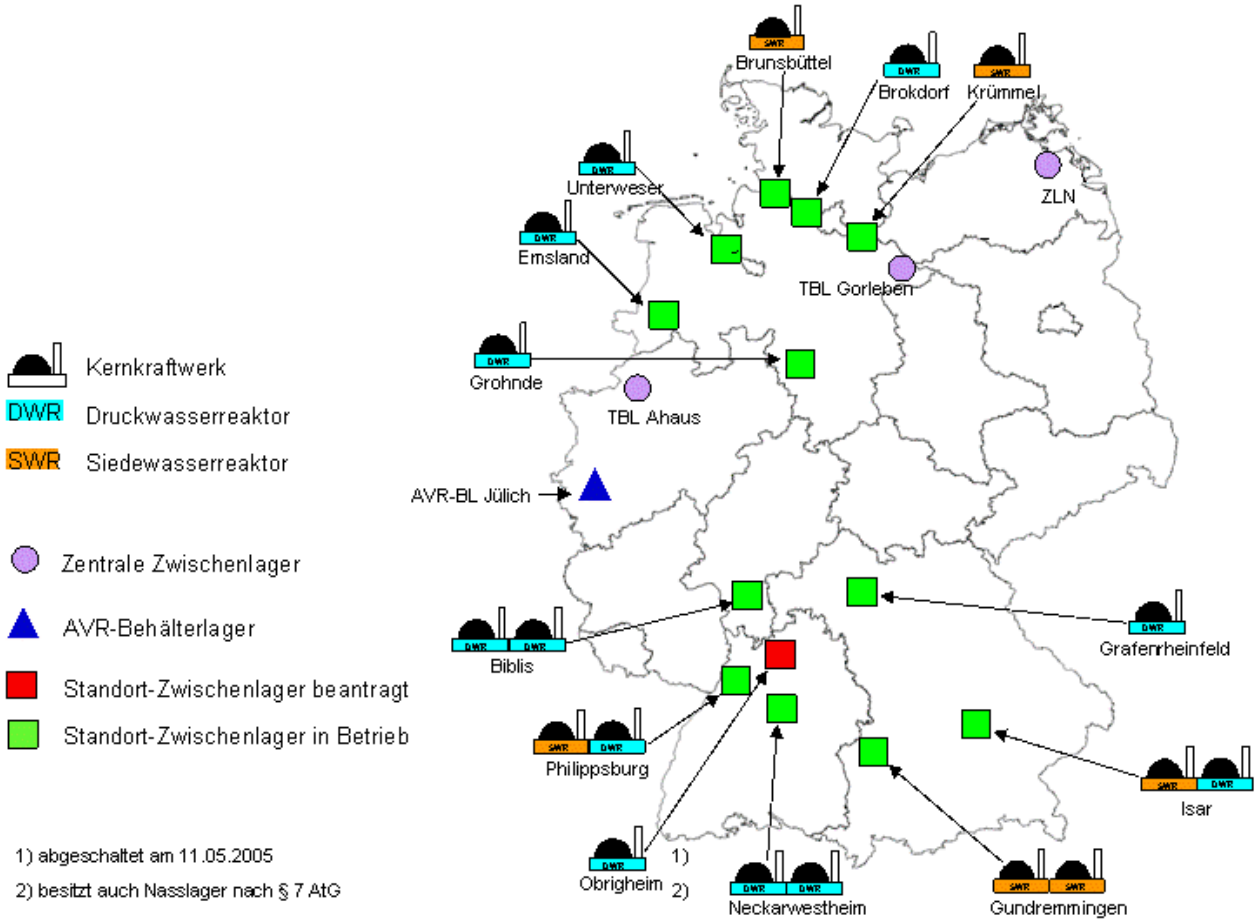


図9-1　ドイツの中間貯蔵施設立地地点

（出所）　BfS（ドイツ連邦放射線防護庁）ホームページ、
http://www.bfs.de/en/transport/zwischenlager/dezentrale_zwischenlager/einfuehrung.html

ドイツでは、当初使用済燃料の再処理を義務付けていたが、1994 年の法改正により再処理も直接処分も可能となり、さらに 2002 年の原子力法改正に伴い、2005 年 6 月以降は、再処理委託が禁止され、使用済燃料は全量を直接処分することとなった。当初、使用済燃料は放射性廃棄物とともにAhausとGorlebenの中央中間貯蔵施設に貯蔵されていたが、1998 年の政策方針変更を受け、使用済燃料を中央中間貯蔵施設に集中貯蔵させる方針を取りやめ、2000 年には発電所敷地内に中間貯蔵する方針を国内電力会社と連邦政府の間で合意している。現在は、中央中間貯蔵施設への搬送は行われておらず、新たに発生する使用済燃料は各サイトに保管されている[185]。

9-4-1　中央中間貯蔵施設[186]

Ahaus中央中間貯蔵施設は、Ahausの中心部から東約 3kmに位置し、GNS Gesellschaft für Nuklear-Service mbH社（以下、単にGNSという）が操業している。貯蔵エリアは二つに別けられており、エリアIは最大 10

[185] 平成 22 年度中間貯蔵施設に係る最新動向調査に関する報告書、平成 23 年 8 月、独立行政法人 原子力安全基盤機構
[186] 以下、特段の出典なきものは、BfS ホームページによる。

年間の放射性廃棄物一時貯蔵施設であり、エリアIIでは、軽水炉用燃料を最大でキャスク 370 基、3,960tHM 貯蔵することができる。貯蔵ライセンスは、1997 年に発行されており、ライセンス期限は 2036 年末である。エリアIIでは、2011 年末現在、329 体のCASTOR型のキャスク[187]に使用済燃料が収納され、保管されている。貯蔵されているキャスクの内、305 体は、THTR[188]の使用済燃料である。また、研究炉使用済燃料が 18 体のキャスクに収められて貯蔵されている。

Gorleben中央中間貯蔵施設は、Gorlebenの南 2kmに位置し、GNSが操業している。軽水炉使用済燃料のほか、ガラス固化体も貯蔵されている。軽水炉用燃料は最大でキャスク 420 基、3,800tHM貯蔵することができる。貯蔵ライセンスは 1995 年に発行されており、ライセンス期限は 2034 年末である。
2011 年末時点で、キャスク 113 基の使用済燃料が、また、ガラス固化体がキャスク 108 基に収められて貯蔵されている。

North near Lubmin中央中間貯蔵施設は、Greifswald発電所とRheinsberg発電所の使用済燃料を貯蔵しており、連邦財務省が所管しているEWN GmbHの 100%子会社であるThe ZLN GmbHによって運用されている。いくつかのホール（Halls）に分割されており、Hall 1~7 は熱量が無視できる放射性廃棄物の貯蔵に、Hall 8 が使用済燃料の貯蔵に充てられている。ライセンスは 199 年に発行されており、ライセンス期限は 2039 年末である。
2011 年末時点で、Hall 8 には 74 基のキャスクに収められた使用済燃料が貯蔵されている。

9-4-2 サイト内中間貯蔵施設

上述の通り、2000 年の連邦政府と電力会社の合意に基づき、使用済燃料は各サイト内で貯蔵する方針となったことから、以降サイト内の中間貯蔵施設の建設が進んだ。サイト内貯蔵施設と貯蔵容量の一覧を表 9-2 に示す。

表9-2 サイト内中間貯蔵施設の一覧

事業者名	施設名	炉型	貯蔵方式	貯蔵容量(tHM)	ライセンス取得
E.ON	Brokdorf	PWR	Dry	1000	2003
	Grafenrheinfeld	PWR	Dry	800	2003
	Grohnde	PWR	Dry	1000	2003
	Isar	BWR/PWR	Dry	1500	2003
	Unterweser	PWR	Dry	800	2003
EnKK	Obrigheim	PWR	Wet	924	1999
	Neckar	PWR	Dry	1600	2003
	Philippsburg	B/P	Dry	1600	2003
RWE Power	Biblis	PWR	Dry	1400	2003
	Emsland	PWR	Dry	1250	2002
	Gundremmingen	BWR	Dry	1850	2003
VENE	Brunsbuettel	BWR	Dry	450	2003
	Kruemmel	BWR	Dry	775	2003

[187] ドイツで開発された、鋳鉄製の輸送・貯蔵兼用キャスクである。
[188] 1989 年に閉鎖された、30 万 kW 級の高温ガス炉。

9-5　インド

インド国内唯一の軽水炉であるTarapur発電所で発生する使用済燃料は、同サイト内及びサイト付近に貯蔵されている。
サイト内には、発電所の使用済燃料プールの他、4 体のキャスクが保管されている。キャスクに貯蔵されている使用済燃料は、10 年以上冷却したものであり、総量 20.7tHMである。なお、このキャスクは 1 基当り 37 体のBWR燃料集合体を収納可能な輸送キャスクである。また、これらのほかに、サイト近傍に別のプール型の使用済燃料貯蔵施設が 1985 年から 1991 年にかけて建設されており、その貯蔵容量は 275tHMである。

今後の施設拡張計画等は不明である。

9-6　ロシア

ロシアは、使用済燃料を再処理する方針である。ロシア型軽水炉であるVVER-440 の使用済燃料はRT-1 にて再処理されているが、VVER-1000 の使用済燃料は再処理施設RT-2 の建設が中断していることから、国内に貯蔵されている状態である。

RT-2 はいまだ稼動していないが、使用済燃料貯蔵プールのみが使用されており、その容量は 8,300tHMである。なお、VVER-440 の使用済燃料を再処理しているRT-1 には貯蔵容量 9,000tHMのプール型使用済燃料貯蔵施設がある。
また、RT-2 では 2011 年末に、RBMK-1000 とVVER-1000 向けの使用済燃料乾式貯蔵施設が操業を開始しているが、VVER-1000 向け貯蔵施設は運用を開始していない。なお、この乾式貯蔵施設では、RBMK-1000 使用済燃料を 8,129tHM貯蔵可能であり、最終的にはVVER向け燃料と合わせて 38,000tHMの使用済燃料を貯蔵する予定である[189]。これ以外の使用済燃料貯蔵施設の立地計画は確認されていない。

9-7　韓国[190]

2010 年 10 月時点の予測では、Kori及びYounggwang発電所では 2016 年に、Ul chin発電所は 2017 年に使用済燃料プールが満杯となる見込みであり、中間貯蔵施設を持たない韓国にとって、使用済燃料対策は喫緊の課題となっている。そのため、以下のような使用済燃料貯蔵対策が行われている。

- 使用済燃料の構内移動：Kori 1 号機→3,4 号機、2 号機→3,4 号機、4 号機→3 号機で合計 928 体
- 高密度ラックの設置（使用済燃料プール貯蔵の稠密化）：Kori 3,4 号機、Ul chin 1,2 号機

また、中間貯蔵施設の設置に向けた検討が進められており、2014 年にライセンス取得、2016 年末貯蔵開始を目指して検討が進められている。貯蔵システム開発計画を図 9-2 に示す。

189 World Nuclear News、2012/1/30、
http://www.world-nuclear-news.org/WR-Russia_commissions_fuel_storage_facility-3001124.html
190 第三回中間貯蔵使用済燃料国際セミナー（ISSF2010）資料「Spent Fuel Management and Storage in Korea」, Jongwon Choi

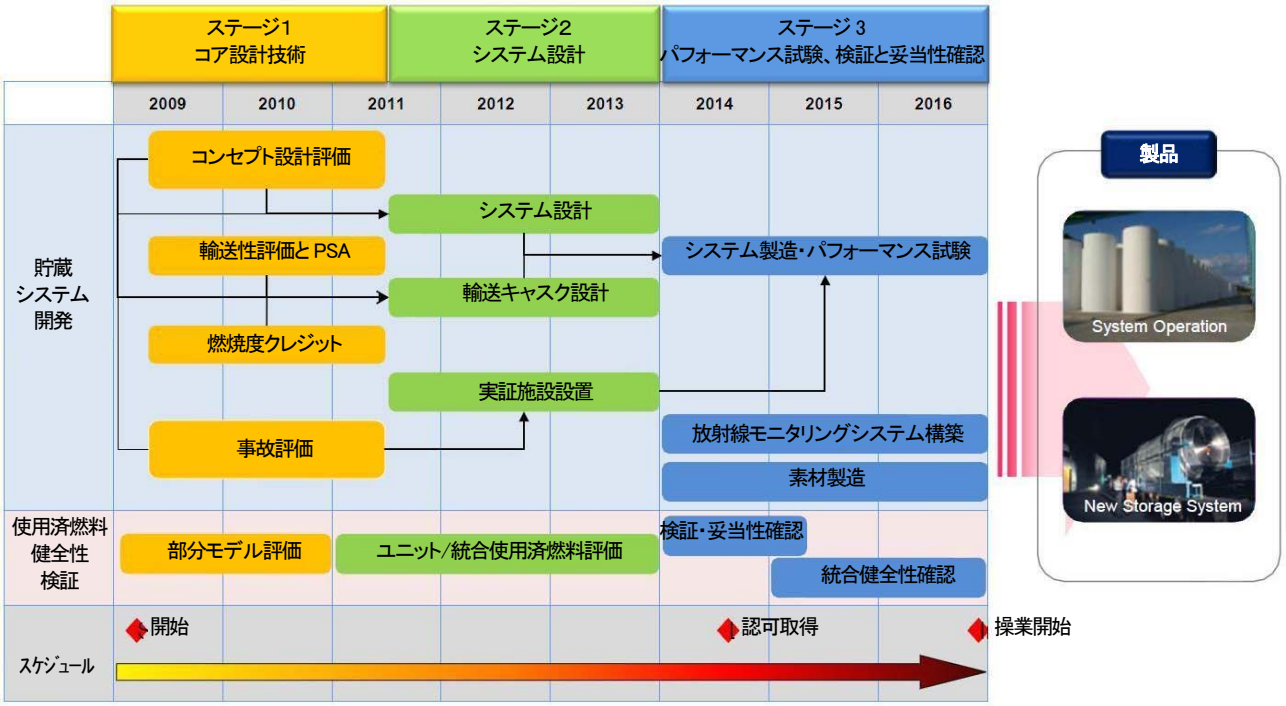


図9-2 韓国の貯蔵システム開発計画図

（出所） 第三回中間貯蔵使用済燃料国際セミナー（ISSF2010）資料「Spent Fuel Management and Storage in Korea」を和訳

最新の動向として、知識経済部（MKE）は 2012 年 9 月 2 日、「使用済み核燃料政策フォーラム」が「中間貯蔵庫」建設を骨子とする勧告書を政府に提出しており、この報告書では、2016 年に構内の貯蔵施設が満杯となるため、2024 年までに中間貯蔵施設を建設する必要性があると述べられていると報じられている[191]。MKEは報告書を公開していないため詳細は不明であるが、MKEは 2024 年までに中間貯蔵施設を建設する方針を決定した事実は無いことについてのみ、その立場を明らかにしており[192]、報告書の内容に関する報道は事実に反するものではないと考えられる。

なお、重水炉の使用済燃料は、1990 年よりWolsongで乾式貯蔵が行われている。

[191] 中央日報、http://japanese.joins.com/article/729/158729.html

[192] http://m.mke.go.kr/common/jsp/fileDownload.jsp?fileName=%BB%E7%BF%EB%C8%C4%C7%D9%BF%AC%B7%E1+%C0%FA%C0%E5%BD%C3%BC%B3+2024%B3%E2%B1%EE%C1%F6+%B0%C7%BC%B3(%C1%B6%BC%B1%2C%C1%DF%BE%D3).pdf&filePath=P_04_02_07/68193&seq=76350&boardId=GPMS.P_04_02_07

9-8　アメリカ

9-8-1　　経緯

アメリカは、使用済燃料を再処理せず、直接処分を行う事を基本方針としている。1982 年放射性廃棄物政策法によれば、DOEが建設する高レベル廃棄物処分場への発電所からの使用済燃料の輸送は、1998 年 1 月 31 日までに開始される規定であった。しかし処分場建設計画は大幅に遅れ、DOEは 2008 年に、ネバダ州ユッカマウンテンにおける高レベル廃棄物処分場の建設計画に関して、米国原子力規制委員会NRCに事業許可申請を提出した。3 年から 4 年を要するとされたこの申請の結果を待つことなく、2009 年にオバマ政権はユッカマウンテンに反対の方針を表明し、2010 年に事業許可申請は取り下げられた。
ユッカマウンテンは 2017 年の操業開始が予定されていたが、この申請取下げにより、使用済燃料の最終処分が短･中期的に実現する見込みはほぼ失われている。

9-8-2　　貯蔵状況

使用済燃料は、各発電所のプール等に貯蔵されていたが、上述の通り最終処分場の操業開始が遅れていることから、乾式貯蔵施設の設置が各サイトで進められており、現在53のサイトで乾式貯蔵施設が設置されている[193]。乾式貯蔵施設の一覧を表 9-3 に、貯蔵施設の位置を図 9-3 に示す。

2011 年時点の使用済燃料貯蔵量は、乾式貯蔵施設に 17,115tHM、発電所の使用済燃料貯蔵プール等に 49,768tHMである。なお、米国の乾式貯蔵施設には許認可上の貯蔵容量限度は設定されていない。

表9-3 アメリカの乾式使用済燃料貯蔵施設一覧

事業者	施設名	貯蔵燃料
Arizona Public Service	Palo Verde	PWR
Connecticut Yankee	CY	PWR
Constellation Nuclear	Calvert Cliffs	PWR
Consumers Power	Big Rock Point	BWR
Constellation Nuclear	Ginna	PWR
Dominion	Kewaunee	PWR
Dominion	Millstone	PWR
Dominion	North Anna	PWR
Dominion	Surry	PWR
Duke Energy	Catawba	PWR
Duke Energy	McGuire	PWR
Duke Energy	Oconee	PWR
Energy Northwest	Columbia	BWR
Entergy	ANO	PWR
Entergy	Fitzpatrick	BWR
Entergy	Grand Gulf	BWR
Entergy	Indian Point	PWR
Entergy	Palisades	PWR
Entergy	River Bend	BWR
Entergy	Vermont Yankee	BWR

[193] このほかに、アイダホ国立研究所と Fort St. Vrain 発電所（1989 年閉鎖済みの高温ガス炉）サイトにも乾式貯蔵施設が存在する。

事業者	施設名	貯蔵燃料
Entergy	Waterford	PWR
Exelon	Braidwood	PWR
Exelon	Byron	PWR
Exelon	Dresden	BWR
Exelon	LaSalle	BWR
Exelon	Limerick	BWR
Exelon	Oyster Creek	BWR
Exelon	Peach Bottom	BWR
Exelon	Quad Cities	BWR
First Energy	Davis-Besse	PWR
FPL	Duane Arnold	BWR
FPL	Point Beach	PWR
FPL	Seabrook	PWR
FPL	St. Lucie	PWR
FPL	Turkey Point	PWR
Maine Yankee	Maine Yankee	PWR
Nebraska Public Power	Cooper	BWR
Omaha Public Power	Fort Calhoun	PWR
Pacific Gas & Electric	Diablo Canyon	PWR
Pacific Gas & Electric	Humboldt Bay	BWR
Portland General Electric	Trojan	PWR
PPL Susquehanna	Susquehanna	BWR
Progress Energy	Brunswick	BWR
Progress Energy	Robinson	PWR
PSEG Nuclear	Hope Creek / Salem	BWR
Southern California Ed.	San Onofre	PWR
Sacramento Utility District	Rancho Seco	PWR
Southern NOC	Farley	PWR
Southern NOC	Hatch	BWR
TVA	Browns Ferry	BWR
TVA	Sequoyah	PWR
Xcel Energy	Monticello	BWR
Xcel Energy	Prairie Island	PWR
Yankee	Yankee Rowe	PWR

（出所）　NAC International調べ

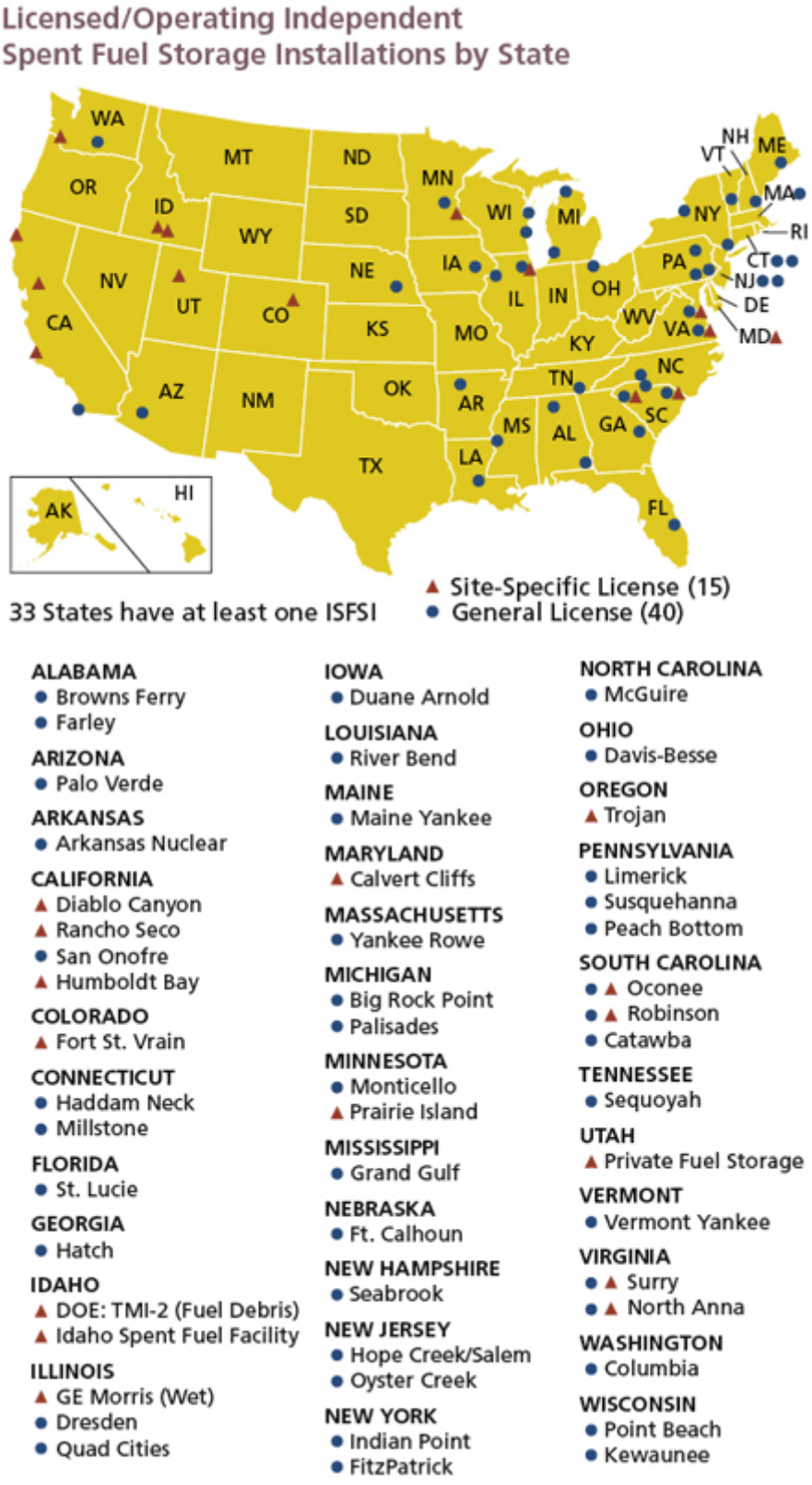


図9-3 米国の使用済燃料中間貯蔵施設の認可状況

（注） General Licenseは、運転認可を受けた発電所構内でNRCの認証を受けたキャスクを用いて貯蔵する場合に発行されるライセンスで、Site-Specific Licenseは、サイト個別に審査を受けて得るライセンスである。

（出所） NRCホームページ、http://www.nrc.gov/waste/spent-fuel-storage/locations.html

9-8-3　　貯蔵に関する許認可

これらの中間貯蔵施設は、「独立使用済燃料貯蔵施設（Independent Spent Fuel Storage Installation：ISFSI）」として認可を受け、貯蔵されるケースが多い。ISFSIとして認可を受ける場合、原子炉としての認可を受けているサイト内において、その炉から取り出された燃料をNRCの認可を受けているキャスクを使用して貯蔵する場合は、申請者は事前届出のみで認可される。また、安全解析書（SAR）や安全評価書（SER）を必要とせず、パブリックコメントの期間も設けられておらず、許認可手続きの時間と費用は大幅に軽減されている。この認可方法は、1990 年から採用されている[194]。

9-8-4　　敷地外貯蔵施設

民間企業PFS（Private Fuel Storage LLC）社により、敷地外乾式使用済燃料貯蔵施設PFSF（Private Fuel Storage Facility）の建設が、ユタ州トゥーエル郡のゴシュート・インディアン居留地、スカルバレー（Skull Valley）で計画され、1997 年 6 月にNRCへサイト固有認可が申請されている。PFS社は電力会社 8 社（Xcel Energy 社、Genoa Fuel Tech社、American Electric Power社、Southern California Edison社、Southern Nuclear社、First Energy社、Entergy社、Florida Power and Light社）のコンソーシアムである。
2001 年 12 月に最終修正安全評価書（SER）が、2002 年 1 月に最終環境影響評価書（EIS）がNRCから発行され、安全審査が開始された。NRCは国家歴史保存法（National Historic Preservation Act）に基づいた遺跡調査と保護に関して歴史保存諮問委員会から合意を得て、2006 年 2 月にPFS社に対し最終的に認可を与えた。
しかし、建設予定地がユタ州のGoshuteインディアン保護区にあることから内務省が土地使用を認められず、計画は頓挫。2012 年 12 月 20 日にPFSはNRCに許認可の取り消しを申し立てた[195]。

なお、DOEの諮問機関であるブルーリボン委員会（Blue Ribbon Commission for American Nuclear Future）は、2012 年 1 月に提出した最終報告書で、「速やかな集中中間貯蔵施設の設置」を提言している。また 2013 年 1 月にDOEが公表した「使用済燃料及び高レベル放射性廃棄物の管理・処分戦略」では、「2021 年までに、閉鎖された原子炉からの使用済燃料の受け入れに焦点を当て、パイロット規模の中間貯蔵施設の立地、設計と許認可、建設と操業を開始」し、「2025 年までに、より大規模な中間貯蔵施設を建設」することが計画されており、今後集中貯蔵施設の立地検討が進められるものと考えられる。なお、ブルーリボン委員会に関連した政策動向は、第 4 章を参照のこと。

[194] ATOMICA、**アメリカの使用済燃料の中間貯蔵**（14-04-01-27）、
http://www.rist.or.jp/atomica/data/dat_detail.php?Title_Key=14-04-01-27
[195] NRC **ホームページ**、http://pbadupws.nrc.gov/docs/ML1235/ML12356A063.pdf

9-9　イギリス

イギリス国内ではガス炉が主流であり、軽水炉は、Sizewell Bの 1 基（PWR）のみである。同発電所で発生する使用済燃料は、発電所内の使用済燃料貯蔵プールに貯蔵されている。

同発電所の所有・操業者であるEDF Energy社は、2015 年に貯蔵容量が限界に達するため、2011 年 7 月に乾式貯蔵施設の設置許可を得て、2013 年 1 月 14 日より建設工事を開始している。乾式貯蔵施設の完成は 2015 年を予定しており、貯蔵期間は、発電所の存続期間中若しくは最終処分場が操業を開始するまでである[196]。

Sizewell B発電所の位置を図 9-4 に示す。

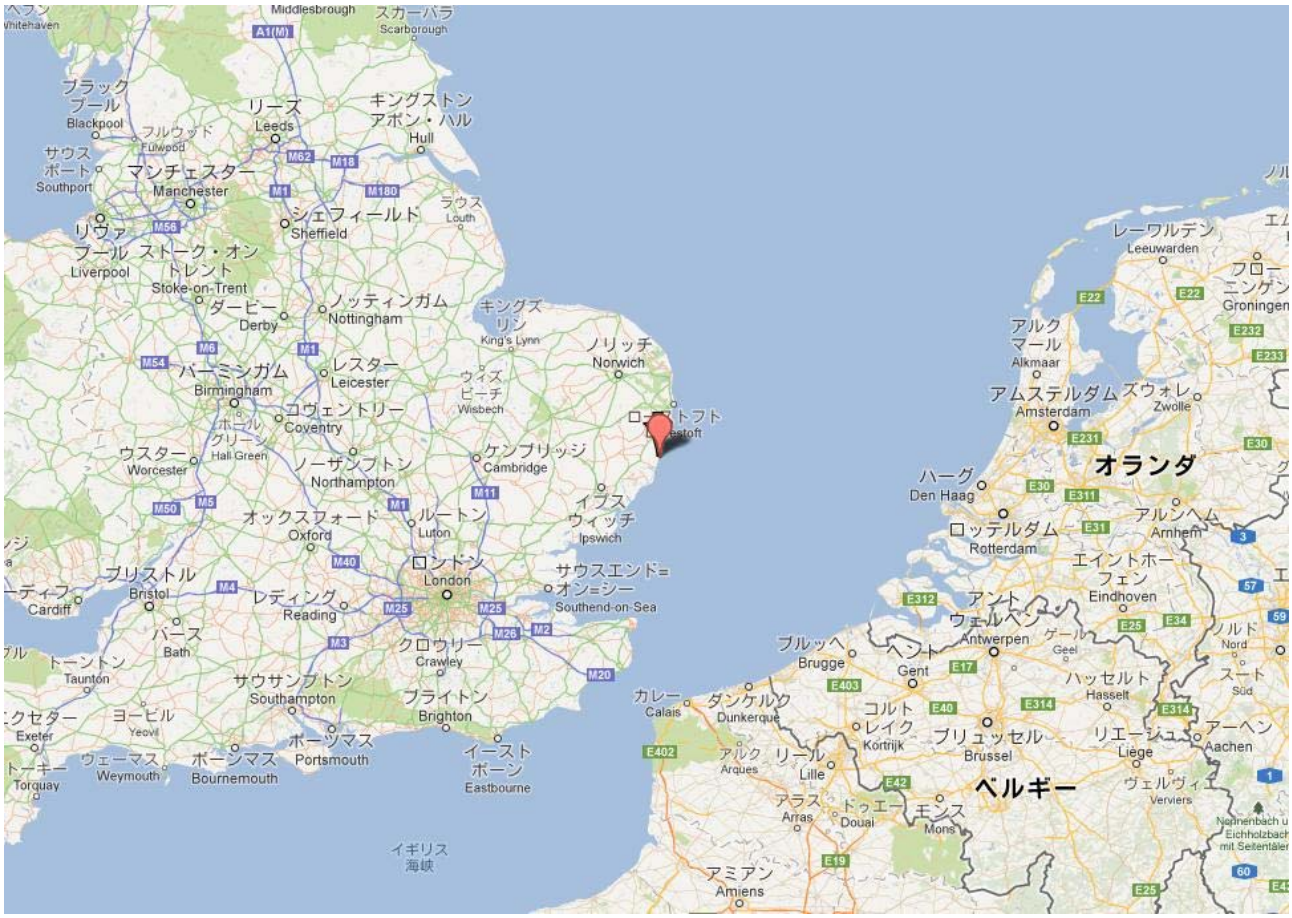


図9-4 Sizewell B発電所の位置

（出所）　Google map

[196] EDF Energy プレスリリース、http://www.edfenergy.com/media-centre/press-news/Sizewell-B-dry-fuel-store-update.shtml

10. MOX燃料装荷実績

2011 年末現在の各国の軽水炉におけるMOX燃料集合体使用実績を表 10-1 に、各国の累積装荷数を図 10-1 に示す。

表10-1 各国の軽水炉におけるMOX燃料使用実績（2011 年末現在）

国名	炉型	全炉心燃料体数	装荷開始年	最高燃焼度（GWd/t）	最高装荷率（%）	最高装荷体数	累積装荷体数	備考
ベルギー	PWR	73	1963	N/A	N/A	N/A	151	
	PWR	157	1995	49.5	20	32	96	
	PWR	157	1995	49	20	32	48	
フランス	PWR	157	1997	38.5	25	40	148	
	PWR	157	1994	38.5	31	48	216	
	PWR	157	2000	38.5	23	36	100	
	PWR	157	1998	38.5	31	48	128	
	PWR	157	1998	38.5	31	48	164	
	PWR	157	1998	38.5	31	48	168	
	PWR	157	1990	38.5	31	48	244	
	PWR	157	1993	54	25	40	168	
	PWR	157	1998	38.5	23	36	132	
	PWR	157	1998	38.5	31	48	152	
	PWR	157	1997	38.5	23	36	148	
	PWR	157	1998	38.5	31	48	136	
	PWR	157	1989	38.5	31	48	288	
	PWR	157	1989	54	25	40	220	
	PWR	157	N/A	～13	8	12	12	
	PWR	157	2008	～11	20	32	32	
	PWR	157	1987	38.5	31	48	40	
	PWR	157	1988	38.5	31	48	292	
	PWR	157	1997	52	31	48	252	
	PWR	157	1996	38.5	31	48	236	
	PWR	157	1996	38.5	31	48	232	
	PWR	157	1997	38.5	31	48	208	
	PWR	112	1974	14	14	16	22	
ドイツ	BWR	88	1966	≥ 16	100	100	113	
	BWR	284	1970	20	< 1	1	1	
	BWR	368	1974	14.9	17	64	64	
	BWR	784	1996	58	38	272	524	累積装荷体数は2010年末現在
	BWR	784	1995	51	34	264	412	累積装荷体数は2010年末現在
	PWR	193	2004	50-55	25	48	112	
	PWR	177	1982	42	9	16	32	
	PWR	193	1998	62	21	40	62	累積装荷体数は2010年末現在
	PWR	193	1985	42	33	64	172	
	PWR	193	1998	51	33	64	152	累積装荷体数は2010年末現在
	PWR	97	1972	37	25	24	78	
	PWR	193	1989	55	33	64	248	累積装荷体数は2010年末現在
	PWR	193	1988	> 50	25	48	112	
	PWR	193	1984	> 50	33	64	200	
	PWR	193	1988	58	37	76	212	2008年末現在の情報
スイス	PWR	121	1978	56	34	41	124	
	PWR	121	1984	55	30	36	108	
	PWR	177	1997	57	36	64	160	
インド	BWR	284	1994	～22.5	< 2	4	6	
	BWR	284	1994	> 22.5	2	6	6	
イタリア	BWR	208	1968	23.6	24	49	63	
	PWR	112	1976	32	7	8	8	
オランダ	BWR	156	1971	34.8	4	6	7	
スウェーデン	BWR	448	1974	～22	< 1	3	3	
アメリカ	BWR	464	1969	17.5	3	15	15	
	BWR	84	1969	17.5	31	26	53	
	BWR	724	1974	8	< 1	5	5	
	PWR	193	2005	42	2	4	4	
	PWR	21	1965	17.4	43	9	15	
	PWR	157	1970	18.9	< 3	4	4	
	PWR	121	1980	52.1	< 1	1	4	

（出所） NAC International 調べ

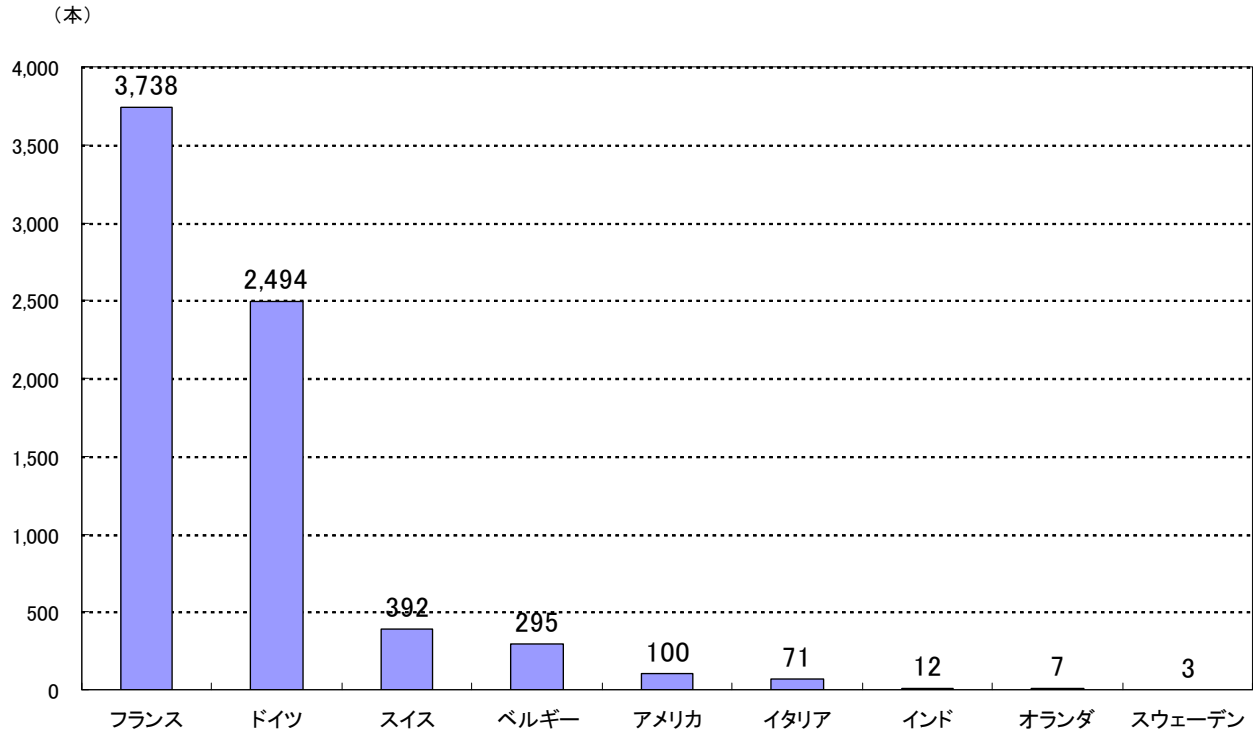


図10-5 各国の累積装荷数（2011 年末現在）

2011 年末時点で、世界 58 基で累計 7,112 本のMOX燃料が装荷されている。
軽水炉におけるMOX燃料の利用は、その殆どが欧州地域で行われている。これは、フランスとイギリスで軽水炉燃料の再処理が実施されていた一方で、アメリカでは商業規模での再処理を行っていないこと、ロシアはプルトニウムを高速炉で燃焼させる方針であるために、再処理で得られたプルトニウムを貯蔵しており、MOX燃料として利用していないためである。なお、プルトニウムの利用状況等に関しては、4 章で後述する。

第２章　核燃料サイクル企業の動向と市場分析

1.　　各国の核燃料サイクル企業の状況

1-1　サイクル企業の一覧

本項で述べるサイクル企業の一覧を表 1-1に示す。

表1-1 サイクル企業の一覧

企業名	株主構成	2011 年売上高	2011 年営業利益	事業範囲
AREVA	政府関係 83%、クウェート投資庁 4.82%一般投資家 4.01%他	88.72 億ユーロ（約 114.8 億ドル）	▲19.23 億ユーロ（約▲24.9 億ドル）	サイクル事業全般、発電所建設・運営、再生可能エネルギー
Energy Resources of Australia Ltd.（ERA）	Rio Tinto68.4%、日豪ウラン資源開発 10%他	＜2012 年＞3.95 億豪ドル（約 3.0 億ドル）	＜2012 年＞1.51 億豪ドル（約 1.2 億ドル）	豪Ranger鉱山におけるウラン採掘
BHP Billiton Ltd.	二元上場企業（最大株主はPLC Nominees 19.72%（英側）とHSBC Australia Nominees Pty 17.36%（豪側）	＜2012 年＞722.26 億ドル	＜2012 年＞237.52 億ドル	非金属、石油、鉄鋼石、石炭等資源採掘
Cameco	上場企業（元国営）	＜2012 年＞23.21 億加ドル（約 22.8 億ドル）	＜2012 年＞7.23 億加ドル（約 7.1 億ドル）	ウラン採掘、精鉱、濃縮、発電所運営
中国核工業集団公司（CNNC）	国営（国資委直轄）	不明	不明	発電所建設運転、サイクル関連業務、放射線技術開発
Kazatomprom	国営	3,220 億テンゲ（約 21.3 億ドル）	866 億テンゲ（約 5.7 億ドル）	ウラン資源採掘
ARMZ Uranium Holding Co.（ARMZ）	Atomenergoprom（国営）の子会社	444.95 億ルーブル（約 15.1 億ドル）	32 億ルーブル（約 1.1 億ドル）	ウラン資源採掘
TVEL	Atomenergoprom（国営）の子会社	1047 億ルーブル（約 35.6 億ドル）	278 億ルーブル（約 9.5 億ドル）	転換、濃縮、燃料成型加工、濃縮器製造
URENCO	英政府 1/3、蘭政府 1/3、独企業（RWE、E.ON、GmbH）1/3	13.02 億ユーロ（約 16.8 億ドル）	7.85 億ユーロ（約 10.15 億ドル）	ウラン濃縮
NDA	独立公共団体（政府外公共機関）	〈2012 年事業収入〉10.04 億ポンド（約 6.5 億ドル）	〈2012 年純支出〉56.87 億ポンド（約 36.8 億ドル）	発電所運営、廃止措置、最終処分、再処理
USEC	上場企業（元国家（DOE管轄）事業）	16.718 億ドル	▲2.474 億ドル	ウラン濃縮

1-2　AREVA

本項ではフランスの原子力企業であるAREVA社について、サイクル事業を中心として、事業・業績・技術等の特徴及び中長期の事業計画見通しを概観する。

1-2-1　企業概要

AREVA社は、世界最大級の総合原子力企業である。フランスの首都パリに本社があり、株主の80%以上は政府関係となっている。

主要事業は、原子燃料サイクル関連事業等（AREVA NC社）、原子炉プラント製造事業等（AREVA NP社）、ウラン採鉱関連業務（AREVA MINES社）、再生可能エネルギー事業（AREVA Renouvelables社）等となっている。

図1-1にAREVA社の株主構成及び主としてサイクル事業に関連するグループ会社の構成を示す。

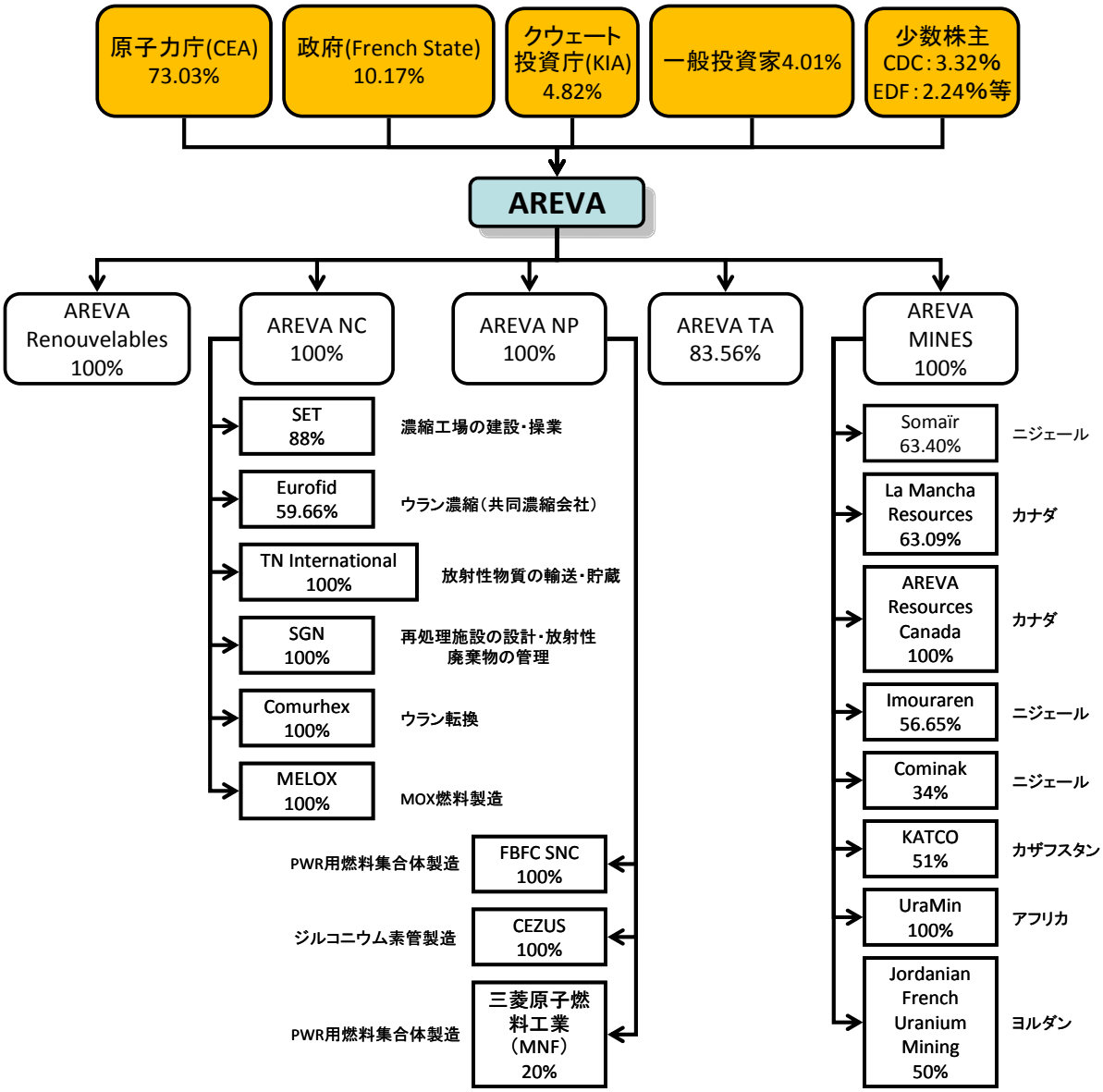


図1-1 AREVA社の株主構成及び主なグループ会社構成（2011年末現在）

（出所）　AREVA, 2011 Reference document、P121/196、
http://www.areva.com/finance/liblocal/docs/doc-ref-2011/DDR%202011%20AREVA_uk.pdf

(1) 設立の経緯

フランスの原子力開発は、当初フランス原子力庁（CEA）により研究開発が進められてきた。CEAの子会社であるフランス核燃料公社（COGEMA）が核燃料サイクル関係を、Framatome社が原子炉製造に携わってきた。このうち、原子燃料サイクルの天然ウランの採掘・精錬から転換、濃縮までのフロントエンド役務とバックエンド役務（再処理）についてはCOGEMAグループが、フロントエンド部分のうち再転換・成型加工についてはFramatome社がそれぞれ実施してきた。なお、2001 年 1 月にFramatome社は自社とドイツのシーメンス社の原子力部門を統合し、共同子会社・Framatome ANP社を設立している。

2001 年 9 月にフランス政府は、原子力関連企業の業務効率化・合理化および国際競争力の向上を目的に、持株会社アレバ社（AREVA）を設立した。アレバ社を頂点として、Framatome ANP社、COGEMA社、Framatome Connecters International（FCI）等の関連企業をグループ化し、原子力産業の再編を行った。
その後、2006 年 3 月 1 日付でFramatome ANP社はAREVA NP社に、COGEMA社はAREVA NC社に、それぞれ名称変更された。なお、FCI社は 2005 年 10 月に投資ファンド（ベインキャピタル（Bain Capital）社）に売却されている。

(2) 事業所及び従業員数

2011 年末の全世界におけるAREVAグループ全体の従業員数は、47,541 人となっている。従業員の内、90%は主要な 5 カ国（フランス、ドイツ、アメリカ、ニジェール、イギリス）に勤務している。従業員の 1/3（約 32.4%）はエンジニア及び管理者で、1/2（49.7%）は技術・事務職員である。なお、現場労働者が 18%を占めている[1]。また、AREVAグループは世界 30 の国と地域[2]に展開している。展開先を図 1-2 に示す。

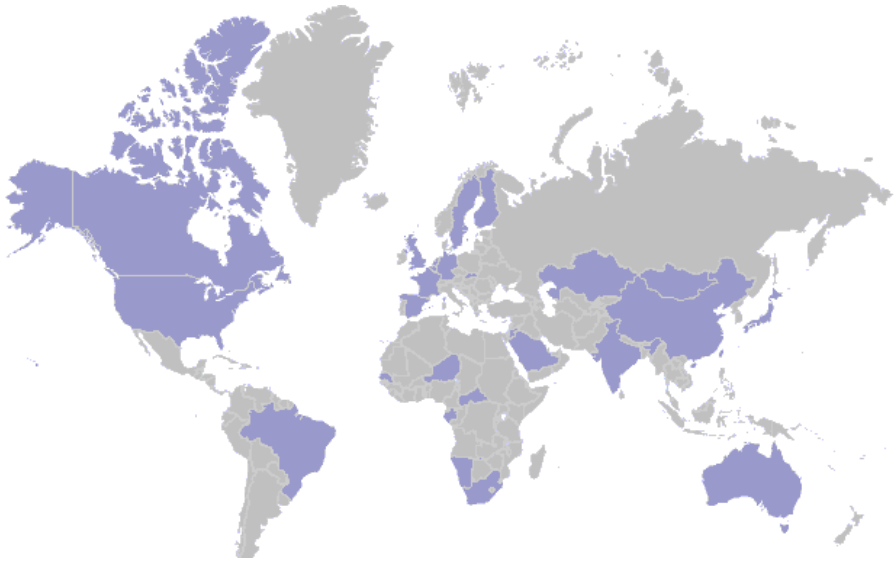


図1-2 AREVAグループの展開先

（出所） AREVA社ホームページ、http://www.areva.com/EN/maps-59/index.html

1-2-2 主要事業

本節では、AREVA社の事業グループ毎の主要事業概要を示す。AREVA社には、鉱業、フロントエンド、原子

[1] 2011 Reference document P189
[2] 具体的には、オーストラリア、ブルガリア、ベルギー、ブラジル、カナダ、中央アフリカ共和国、中国、フィンランド、ガボン、ドイツ、インド、日本、ヨルダン、カザフスタン、モンゴル、ナミビア、オランダ、ニジェール、ロシア、セネガル、スウェーデン、サウジアラビア、シンガポール、スロバキア、南アフリカ、スペイン、台湾、トルコ、イギリス、アメリカ

炉・サービス、バックエンド、再生可能エネルギーの 5 つの事業グループがある。

(1) 鉱業事業グループ

鉱業事業グループの主な事業は以下の 4 点である。

- 探鉱：将来有望な鉱山を調査する
- 採掘：種々の採掘方式によりウラン鉱石を採掘する
- 精錬：天然ウランを精錬し、イエローケーキとする
- サイト修復：採掘後のサイト環境を修復する

AREVAは世界第二位のウラン採掘会社であり、2011 年には 9,142tUのウラン鉱石を産出している。また、2011 年にはAREVAグループ全体の総収入の 14%を挙げており、5,320 名の従業員が従事している[3]。収入の 24%はフランス、13%はフランスを除くヨーロッパ、18%は北南米、36%アジア太平洋地域、8%は中東・アフリカで上げられている[4]。

なお、鉱業事業グループでは子会社のLa Manchaを通じて、オーストラリア、スーダン、コートジボアールで金の採掘も行っており、2011 年には 2,394kgの金を産出している。

鉱業事業グループの展開先を図 1-3 に、AREVAが参画しているプロジェクトを表 1-2 に示す。

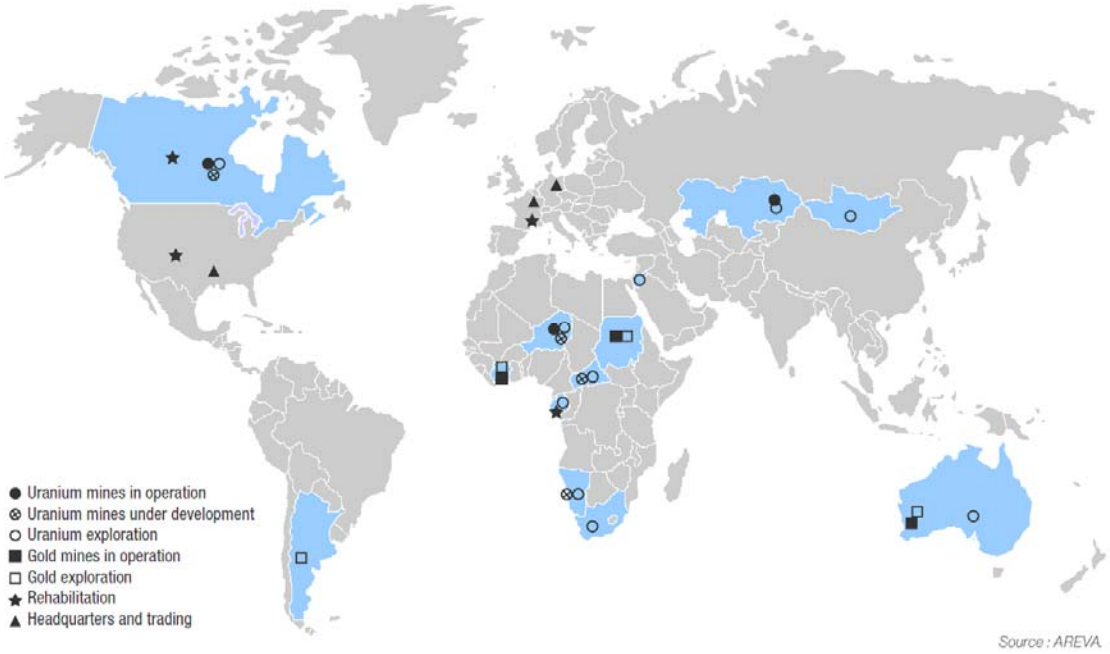


図1-3 鉱業事業グループの展開先

（出所） 2011 Reference document P70

[3] AREVA ホームページ、
http://www.areva.com/EN/operations-635/mining-uranium-production-yellowcake-exploration-mining-milling.html

[4] 2011 Reference document P68

表1-2 AREVAが資本参加するウラン採掘プロジェクト

国名	サイト名	状態	採掘方法[5]	オペレータ	シェア(%)	備考
南アフリカ	Ryst Kuil Project	探鉱中	未定	AREVA NC	74.00	
オーストラリア	Koongarra	探鉱中	未定	AREVA NC	100.00	
カナダ	Cigar Lake	開発中	地中	Cameco	37.10	2013 操業開始予定
	Dawn Lake	探鉱中	未定	Cameco	23.09	
	Key Lake	閉山	開削	Cameco	16.67	1997 年採鉱終了
	Kiggavik	開発中	開削	AREVA NC	64.80	
	McArthur	操業中	地中	Cameco	30.20	1999 年操業開始
	McClean	休止中	開削	AREVA NC	70.00	2009 年より休止
	Midwest	探鉱中	開削	AREVA NC	69.16	
	Millennium	ー	地中	Cameco	27.94	Camecoに売却済
アメリカ	Pathfinder	修復中	開削	AREVA NC	100.00	
フランス	AREVA Mines	修復中	ー	AREVA NC	100.00	国内 210 箇所にあり
カザフスタン	Katco	操業中	ISR	AREVA NC	51.00	2004 年操業開始
モンゴル	Dulaan Uul	探鉱中	未定	AREVA NC	100.00	
ナミビア	Trekkopje Project	開発中	開削	AREVA NC	100.00	試験操業中
ニジェール	Arlit Concession	開発中	未定	AREVA NC	100.00	
	Cominak	操業中	地中	AREVA NC	34.00	1978 年操業開始
	Imouraren	開発中	開削	AREVA NC	56.65	2009 年操業許可取得
	Somair	操業中	開削	AREVA NC	63.40	1971 年操業開始
中央アフリカ	Bakouma	開発中	未定	AREVA NC	100.00	

（出所） 2011 Reference document P70-72, P76

米露間の“Megatons to Megawatts”合意に基づき、1993 年から 2013 年までの間、解体核兵器より生じる高濃縮ウラン 500tUを希釈して商業炉用低濃縮ウランに活用する活動が進められているが、この合意に基づいてAREVAは毎年、約 2,600tUの天然ウランをUF_6の形で供給している。また、この合意に基づく高濃縮ウランの供給が 2013 年に終了するため、近年は鉱山での生産規模拡大を進めている[6]。なお、高濃縮ウランの供給は、濃縮役務にして約 5,500tSWUに相当し、米USECに大半を輸出している[7]。

(2) フロントエンド事業グループ

フロントエンド事業グループの主な事業は以下の 3 点である。

- ウラン鉱石（U_3O_8）のフッ化物（UF_6）への化学的転換
- 天然ウランフッ化物の ^{235}U濃縮
- 原子燃料の設計と製造

2011 年にはAREVAグループ全体の総収入の 26%を占めており、8,888 名以上の従業員が従事している[8]。収入の 11%が転換、36%が濃縮、53%が燃料製造によるものであり、また、28%はフランス、33%はフランスを除くヨーロッパ、17%は北南米、21%がアジア太平洋地域で得られたものである。なお、2011 年の転換実績は

[5] 地中（Under ground）は坑内堀りを、開削（Open pit）は露天掘りを意味する。ISR（In Situ Recovery）は注入井戸から溶液を注入し、ウランを溶解させ、産出井戸より溶液を回収する手法で、原位置抽出法と呼ばれる手法を意味する。

[6] 2011 Reference document P68

[7] 2011 Reference document P90

[8] AREVA 社ホームページ、http://www.areva.com/EN/operations-704/front-end-of-the-nuclear-cycle-uranium-conversion-and-enrichment-fuel-design.html

10,500tUで、2010 年の 12,850tUより低下しているが、これは主に日本からの需要が低迷したことによる[9]。

AREVA社の所有するフロントエンド関連施設を表 1-3 に示す。なお、AREVA社の事業グループ展開としては、Dessel以外のMOX燃料製造工場はバックエンド事業グループに属するとされているが、下表ではフロント関連施設としてまとめて掲載している。

表1-3 AREVA社フロントエンド関連施設

施設種類	施設名	年間生産容量	備考
転換	COMURHEX	14,000tU	
	Pierrelatte (TU5)	1,600tU	回収ウランの転換
	Pierrelatte W	14,000tU	減損ウランの転換
	COMURHEX II	15,000tU	2012 年生産開始予定
濃縮	Georges Besse II	7,500tSWU	2012 年現在 2,500tSWU
成型加工	Romans-sur-Isère	1,400tHM	PWR燃料
	MELOX	195tHM	MOX燃料
	Dessel (ベルギー)	40tHM	MOX燃料
	Richland (アメリカ)	700tHM	LWR燃料
	Lingen (ドイツ)	650tHM	LWR燃料
	Savannah River (アメリカ)	70tHM	MOX燃料、建設中

(3) 原子炉・サービス事業グループ

原子炉・サービス事業グループの主な事業は以下の３点である。

- 新設市場セグメント：新設の提案、建設プロジェクトの推進
- 既設市場セグメント：既設及び新設原子力発電所へのソリューションと製品の提供
- 原子力推進と研究炉市場セグメント：海軍向け原子力推進機関、研究炉等の提供

AREVAが開発した、EPR（European Pressurized Reactor）等の炉型は加圧水型軽水炉（PWR）であるが、発電所メンテナンス、運転、近代化改造、出力向上といったソリューションの提案は、PWR、BWRに関わらず行っている。建設中と運転開始後のものを併せて、世界中で 102 基の原子力発電所の建設に関与しており、将来は世界の新設原子力発電所の 1/3 をAREVA社製で占めることを目標としている。なお、2011 年にはAREVAグループ全体の総収入の 37%を占めており、16,367 名の従業員が従事している[10]。また、収入の 34%はフランス、26%はフランスを除くヨーロッパ、20%は北南米、19%はアジア太平洋地域、2%は中東・アフリカで挙げられたものである。

プラント新設に関しては、国内のフェッセンハイム、フィンランドのオルキルオト、中国の台山でEPRの建設が進められている他、フィンランドのピュハヨキ及びオルキルオト、イギリス各地、チェコのテメリン、インドのラジャスタン及びジャイタプール、ヨルダン、アルゼンチン等、世界各地で建設に向けた入札、交渉が行われている。また、米国ではUS EPRの設計認証（Design Certification：DC）取得に向けた活動が行われている。一方、既設市場に関しては、ヨーロッパでは伝統的に強いつながりを持つフランス及びドイツを中心として事業を展開しており、事業者とも密接な関係を構築している。既設市場に関しては、フランス、ドイツ、ベルギー、イギリス、スウェーデン、スイス等の欧州各国のほか、中国、韓国、日本、台湾、アメリカ、カナ

9 2011 Reference document P84,P87

10 AREVA 社ホームページ、
http://www.areva.com/EN/operations-1669/reactors-services-nuclear-reactors-power-plant-services.html

ダ、ブラジル、南アフリカの事業者等を顧客として全世界に展開している[11]。
なお、福島第一原発事故後に日本向けに食品放射線検査装置やガンマ線検出器を納入したり、福島第一原子力発電所の汚染水処理プラントを納入したりしている[12]。

(4) バックエンド事業グループ

バックエンド事業グループの主な事業は以下の 4 点である。

- 再処理事業
- ロジスティック事業：核関連物質等の輸送に関する事業
- クリーンアップ：既設発電所内の除染、清掃等に関する事業
- サイト修復：廃止措置の遂行とサイト開放による価値の創造

2011 年には、AREVAグループ全体の総収入の 18%を挙げており、11,000 名の従業員が従事している[13]。収入の 60%は再処理事業によって挙げられており、収入の 63%はフランス、18%はフランスを除くヨーロッパ、8%は北南米、11%はアジア太平洋地域で挙げられたものである。

再処理事業に関しては、1 章で述べたとおり、La HagueにあるUP2-800 及びUP3（年間処理能力は両施設併せて 1,700tHM）にて再処理が実施されている。La Hagueでは、フランス国内で発生した使用済燃料を再処理している他、ドイツ、オーストラリア、ベルギー、スペイン、イタリア、日本、オランダ、スイスで発生した使用済燃料の再処理委託を受託した実績がある[14]。各国と再処理施設建設に関する技術協力も行っている。中国とは 2010 年に協力に関する合意文書を交わしている他、日本とは日本原燃（JNFL）の六ヶ所再処理工場に関する協力も行っている。また、アメリカは第 4 章で後述する通り直接処分方針であるものの、再処理に関する研究は継続しており、それに対して協力しているほか、Savannah Riverサイトで、アメリカエネルギー省（DOE）の解体核兵器由来のプルトニウムを原料としたMOX燃料製造工場（MOX Fuel Fabrication Facility：MFFF）の建設を進めている[15]。
ロジスティック事業では、フロント/バックエンドの輸送、使用済燃料の貯蔵などを展開している。フロントエンドの輸送に関しては、URENCOと契約した天然フッ化ウランの輸送を主要な契約としている。
クリーンアップ事業に関しては、フランス電力公社（Électricité de France：EDF）が計画する蒸気発生器のランシング（スラッジ除去）、主配管ノズルの除染、La Hague内の化学セル廃棄作業関連業務等をおこなっている。また、サイト修復事業に関しては、福島第一原発事故関連で東京電力をサポートする業務が 2011 年 4 月より開始されるほか、La Hagueサイト他での廃止措置作業を行っている[16]。

(5) 再生可能エネルギー事業グループ

再生可能エネルギー事業グループは、太陽光、風力、バイオ、水力、エネルギー貯蔵といった、CO_2 フリーなエネルギー源である再生可能エネルギー利用のためのソリューションを提供している。2011 年には、AREVAグループ全体の総収入の 3%を挙げており、1,250 名の従業員が従事している[17]。収入の 4%はフランス、70%はフランスを除くヨーロッパ、19%は北南米、7%はアジア太平洋地域で挙げられたものである。
事業収入の大半（2011 年時点で 68%）は、風力発電事業により挙げられており、135mのローター長を持つ電気出力 5MWeのM5000-135 が主力商品である。販売先としては、欧州国内を主に想定しており、2020 年まで

11 2011 Reference document P95,P100
12 2011 Reference document P98
13 AREVA 社ホームページ、
http://www.areva.com/EN/operations-1135/back-end-used-nuclear-fuel-treatment-and-recycling-mox-fabrication.html
14 AREVA、Traitement des combustibles usés provenant de l’étranger dans les installations d’AREVA NC La Hague
なお、オーストラリアは商業用発電所を保有していないが、研究炉の使用済燃料を再処理した実績がある。
15 2011 Reference document P106,P108
16 2011 Reference document P107
17 AREVA 社ホームページ、
http://www.areva.com/EN/operations-404/renewable-energies-wind-solar-biomass-hydrogen-and-energy-storage.html

の間では、イギリス、ドイツ、フランスを主要な市場として捉えている[18]。

1-2-3　　業績概要

2011 年のAREVAグループの売上高は、88.72 億ユーロ（前年比−2.6%）、営業利益は 19.23 億ユーロの赤字で、営業利益率は−21.7%であった。大幅な赤字決算となった主な理由は、2007 年に 25 億ドルで買収したカナダUraMin社の評価損発生に伴う会計処理で、14.56 億ユーロの損失が発生した事による。また、ドイツSiemens社が原子力事業から撤退し、同社が 34%保有していたAREVA NP株式を 16.79 億ユーロで取得したことも影響している。なお、Siemens社が契約上の義務を履行していなかったと仲介裁判所が認定したことに基づき、6.48 億ユーロがAREVA社に支払われたため、業績への影響額は 10.82 億ユーロとなった。
部門別売上高と営業利益の推移を図 1-4 に、2011 年の部門別業績及び売上高・営業利益を図 1-5 に示す。なお、AREVA社の送配電部門は 2009 年にAlstom及びShcneider Electricへの売却が決定したことにともない、2009 年以降の決算上の数字が大きく変化している。端境期である 2008 年の決算値について、2008 年決算報告書に記載の各事業グループの値と、2009 年度決算報告書に記載の 2008 年度の各事業グループの値に一部齟齬があるため、2008 年の値が不連続となっている。

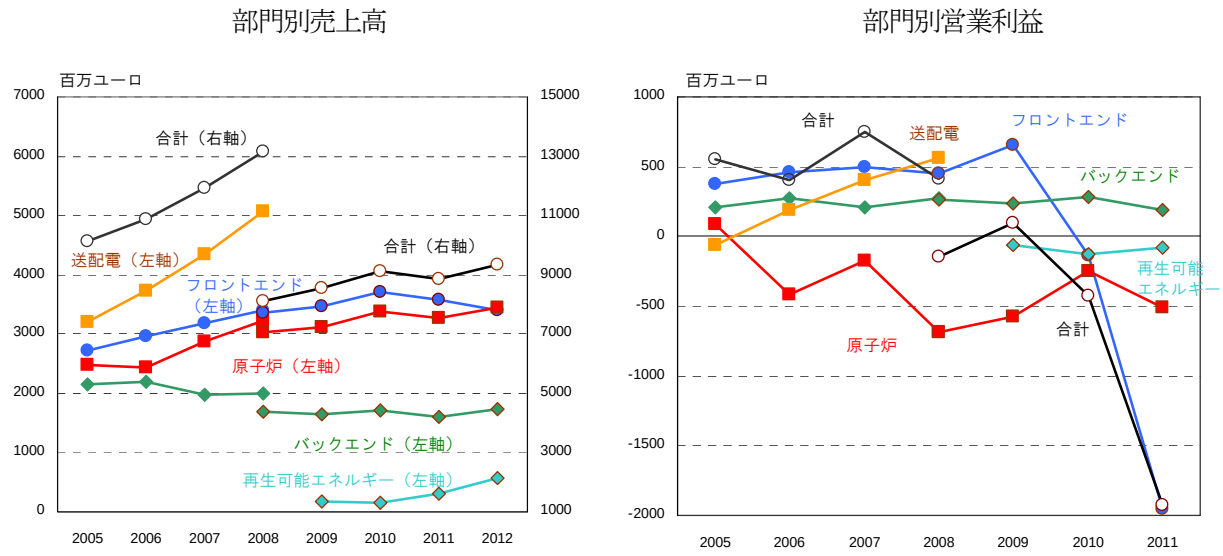


図1-4 部門別売上高及び営業利益の推移

[18] 2011 Reference document P116

2011 年の部門別業績　　2011 年の売上高・営業利益比較

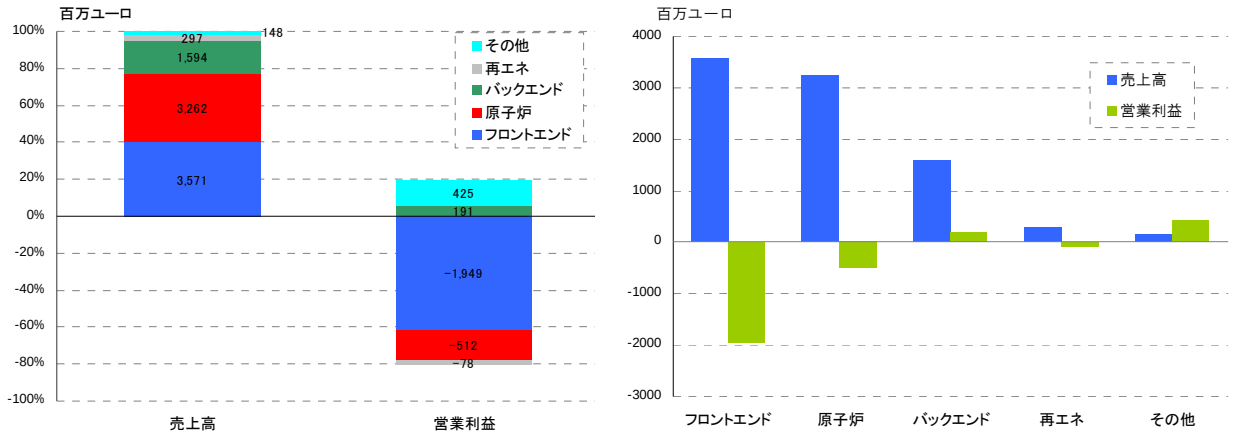


図1-5 部門別業績及び売上高・営業利益比較

（出所）　Annual results 2006～2011
2012 年売上高はAREVA社プレスリリース（2013/1/31）、
http://www.areva.com/finance/liblocal/docs/2012/20130131%20-%20CP%20CA%20FY2012%20VUK%20def.pdf

(1) セグメント別業績

セグメント別の業績推移を図 1-6 及び図 1-7 に示す。

この図では、横軸に前年度からの売上高の増分、縦軸に前年度からの影響利益率の増分をプロットしている。プロットポイントの大きさは当年度の売上高の大きさを示している。即ち、売上高が増加しているセグメントは横軸でプラス側にあり、利益水準が向上したセグメントは縦軸でプラス側にある。そのため、事業は拡大しているが利益率が低下しているセグメントは右下（第四象限）、収益性を向上させるために事業集約を行っているセグメントは左上（第二象限）に位置するなど、事業戦略の方向性やセグメント毎の状況を把握しやすい。

AREVA社の各事業グループ別の収益性に関しては以下の通りである。

再生可能エネルギー事業は売上に占める割合は 3%と小さいが、2011 年には売上がほぼ倍増（98%増）、営業利益率も改善している。なお、2012 年の再生可能エネルギー事業の売上は 5.72 億ユーロとやはりほぼ倍増（93%増）している。

一方、本業であるサイクル関連事業に関してであるが、バックエンド事業は、近年営業利益率 10%以上と堅調に推移しているが、フロントエンド事業はUraMin関連のウラン鉱山に関する評価損を計上したことにより、2010 年、2011 年と 2 年連続で営業赤字となっている。また、原子炉・サービス事業では、フィンランドで建設中の原発を含む建設プロジェクトに対する費用計上により、2006 年以降慢性的な営業赤字状態が続いている。

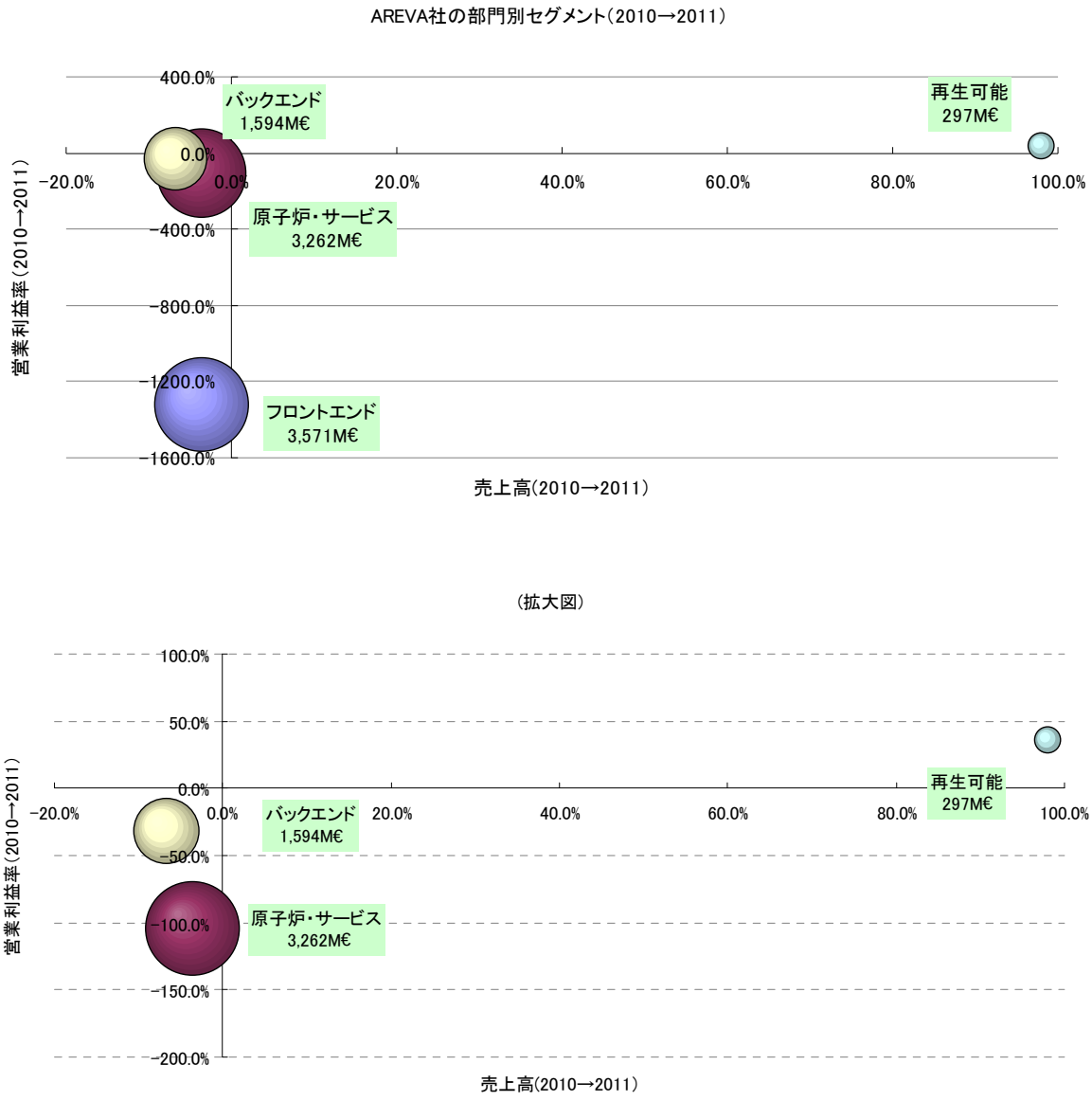


図1-6 2010 年～2011 年のセグメント別業績推移

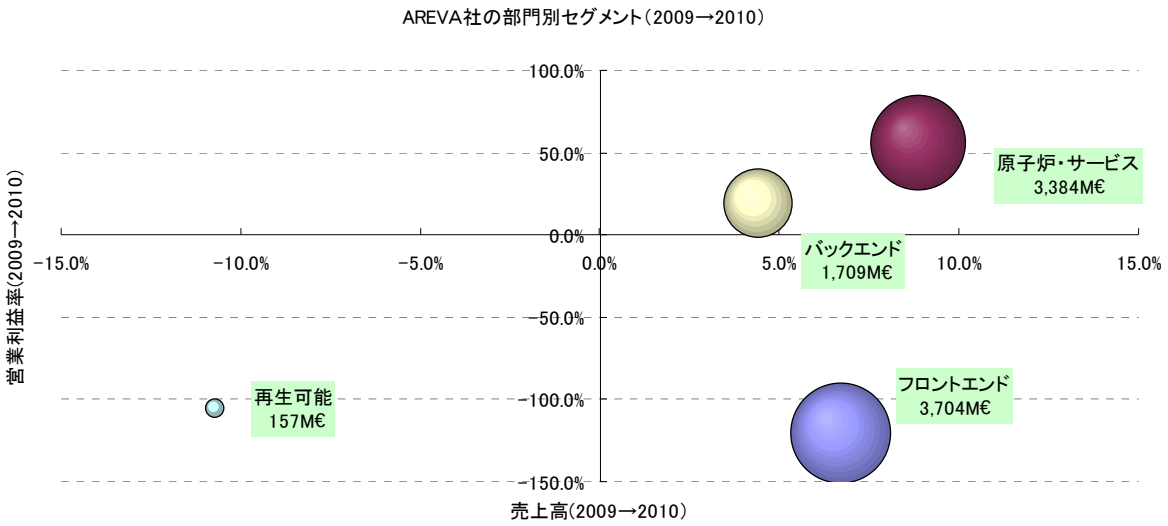


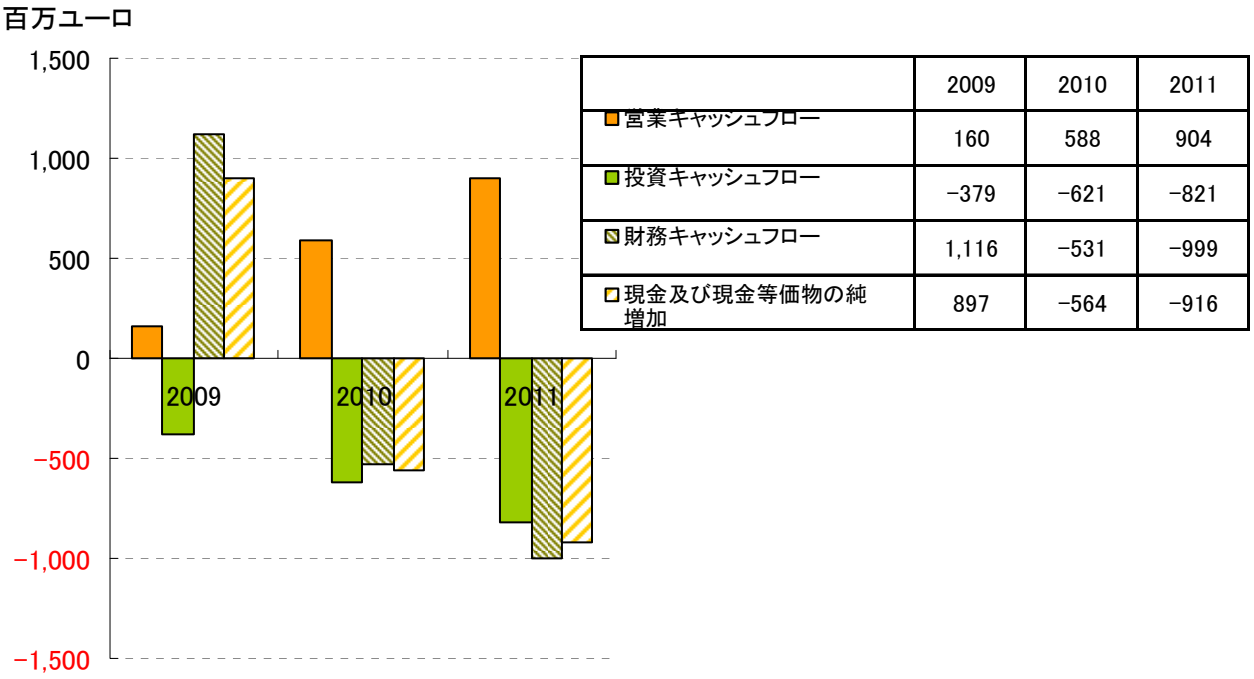
図1-7 2009 年～2010 年のセグメント別業績推移

（出所） Annual results 2010、2011

(2) キャッシュフロー状況

キャッシュフローの推移を図 1-8 に示す。なお、営業キャッシュフローは、生産・営業活動に伴い獲得する現金とそれらの活動に要した現金の差し引きであり、即ち本業に伴う現金の出入状況を示す。また、投資キャッシュフローは、主に資産の獲得と売却に伴う現金の増減を示しており、投資を行えば投資キャッシュフローはマイナスになる。財務キャッシュフローは、借り入れや借金・社債返済等の財務活動に伴う現金の出入状況を示しており、借入金が増加すれば、プラスになる。現金及び現金等価物の純増減は、これらのキャッシュフローの合計値である。即ち、キャッシュフローは現金の流れを示しており、キャッシュフローを見ることで、現金・預金の増減を元に企業の資金裕度を明らかにすることができる。

2009 年にはAREVA T&D売却により投資キャッシュフローが大幅に増加したが、以降損失の計上が続いたためにマイナスに転じている。営業キャッシュフローは増加傾向にあるが、現金及び現金等価物の純増加は減少傾向にある。これらのことから、営業成績の向上と併せて投資活動を継続しつつ負債圧縮も進めており、手持ち資金のより有効な活用を図っているといえる。



	2009	2010	2011
営業キャッシュフロー	160	588	904
投資キャッシュフロー	−379	−621	−821
財務キャッシュフロー	1,116	−531	−999
現金及び現金等価物の純増加	897	−564	−916

図1-8 キャッシュフロー推移

1-2-4 技術開発概要及び中長期事業計画

(1) 技術開発概要

フランスにおける核燃料サイクルに関する技術開発は、主にCEAが主体となって実施していることから、本節ではCEAを含めた、フランス全体での技術開発動向について述べる。

再処理を含めた核燃料サイクルにおいて、アクチニド元素は高速炉体系で核燃料として利用できる一方、放射線量が高い各種が含まれるなど燃料製造において障壁を生じること、また、廃棄物に含めた場合には長寿命核種を含むことになるなどの問題があり、アクチニド元素の管理の観点からの改良が要求されている。

現在採用されている再処理技術である、PUREX法は、プルトニウム（Pu）とウラン（U）を個別に回収する一方、アクチニド元素（MA）と核分裂生成物（FP）は混合されたまま高レベル廃棄物となっている。そのため、以下のような再処理技術の開発が進められている。

- DIAMEX/SANEX法

  このプロセスでは、PUREX法等で処理されたMA及びFPの混合物から、Am、CmといったMAを分離する。DIAMEX法ではマロンアミドを抽出在として分離するが、SANAXはアクチニドの選択分離が可能なプロセスの総称であり、後ろにハイフン（−）をつけ、使用する抽出剤名称などを続けることで、固有のプロセスとして区別している。SANEX試薬（プロセス）としてはBTP、BTBP、ALINA、TODGAの研究が行われた。プロセスの概念を、図 1-9 に示す。

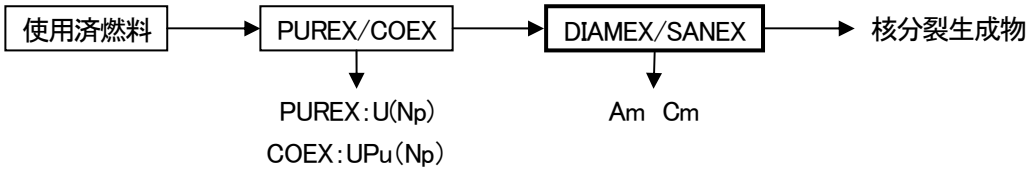


図1-9 DIAMEX/SANEXプロセス概念図

・ GANEX法

このプロセスでは、PUREX法を用いず、先ずモノアミドのDEHiBAでUのみを全量抽出したのち、残りのアクチニドを前述のDIAMEX/SANEX法により分離する方法である。プロセスの概念を、図 1-10 に示す。

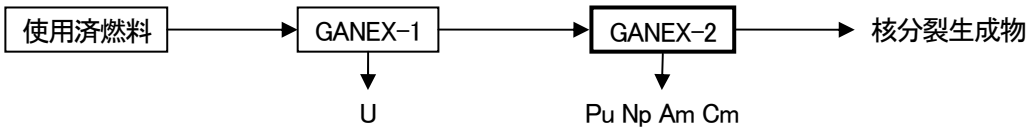


図1-10 DIAMEX/SANEXプロセス概念図

・ EXAm法

このプロセスは、発熱性が高く、中性子が発生するために燃料加工上で問題となる一方、比較的半減期の短いCmの性質に着目し、Cmをあえてリサイクルしない方法として提案されている。このプロセスでは、化学的挙動の似たAmとCmを分離する必要があり、DIAMEX法によりAmとCmを分離した後、AmとCmに選択分離性を有するTEDGAによりCmのみを抽出し、さらにHEDTAによりAmに同伴する軽希土類を分離するというプロセスを経る。プロセスの概念を、図 1-11 に示す。

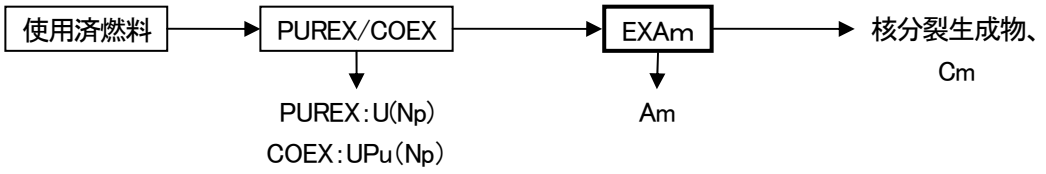


図1-11 DIAMEX/SANEXプロセス概念図

アクチニド核変換プロセス、中間貯蔵、地層処分のそれぞれの関係を考慮しつつ、技術面、経済面を含めた最適化を図る、という「放射性廃棄物管理の研究に関する法律（2006 年制定）」に定められた評価の視点に基づいて評価が実施されていた。同法では 2012 年末までに研究成果を評価し、報告書を政府に提出することとなっており、CEAは 2013 年 3 月に 2012 年 12 月付け報告書「Direction de l’energie nucleaire」を公表した。本報告書に関する詳細は、４章で述べる。

(2) 中長期事業計画

エネルギー需要増加、化石資源の価格高騰、気候変動への対応、の観点から、カーボンフリーなエネルギー開発を行い、よりきれいで、より安全で、より経済的なエネルギーを可能な限り多数の人々に届けることが目標として掲げられている。そのための方策として、原子力発電に関するソリューションの提供と並んで、再生可能エネルギーの開発を進めることが掲げられている。

福島第一原発事故後の原子力発電事業低迷に伴う業績悪化を踏まえ、2012 年 2 月に 2016 年までの経営建て直し計画を定めた「Action 2016」が発表された[19]。この計画では、以下の 3 点を進めることで、パフォーマンス

[19] AREVA 社、Business & Strategy overview、

を向上する事を目指している。

- 商業的優越による価値創造
  一貫した燃料供給（採掘から成型加工まで一貫して請け負う）の提案や、福島第一原発事故後の安全対策（10年で35億ユーロの市場規模と推定）、使用済燃料の再処理又は乾式貯蔵によるプール内貯蔵容量の削減といった、サイクル事業全般の活動が可能でかつ世界最高水準の知見と技術力を持つというAREVA社の優越性を活かし、収益性を2倍に高めることを目標としている。
- 選択的投資
  2007年～2011年までの間の投資総額は、約100億ユーロ（AREVA NP株取得に伴う16億ユーロを除く）であったが、安全性向上への投資（20億ユーロ）以外への投資を、戦略的優先投資先であるCigar Lake（カナダウラン鉱山）、Imouraren（ニジェールウラン鉱山）、Comurhex II（転換施設）、Georges Besse II（濃縮施設）、ATMEA（原子力開発）、Renewables（約3億ユーロ）に絞って実施することで、2012年～2016年までの投資を77億ユーロと34%削減することを目標としている。なお、Comurhex II、Georges Besse II、Melox、La Hagueの設備増強及びEagle Rock濃縮施設、Trekkopje、Bakouma、Ryst Kuilの開発は凍結することとなっている。
- 債務管理
  2012年～2013年の間に、12億ユーロの不要資産等売却を目指す。また、2011年末時点のコマーシャルペーパー及び短期債務総額は10億ユーロ程度であったが、20億ユーロ規模のコマーシャルペーパー発行を目指す。



図1-12 Action 2016

（出所） AREVA社、Business & Strategy overview

また、パフォーマンス向上のため、2015年までに年間の運用コストを10億ユーロ削減する事も目指しているほか、雇用に関しても年間1,000～1,200名の自然減少の補充を凍結するとしている。10億ユーロ削減のため

http://www.areva.com/mediatheque/liblocal/docs/pdf/finances/pdf-2012%2002%2006%20-%20Overview-va.pdf

の具体的方策を表 1-4に示す。

表1-4 コスト削減のための具体的方策

方策	具体的内容	削減コスト
Georges Besse Ⅰから Georges BesseⅡへの移行	消費エネルギー削減により年間 1.8 億ユーロの費用を削減	7 億ユーロ（外部コスト）
下請発注の見直し	2013 年までにエンジニアリング関連の下請発注を 70%削減	
発注見直し	今後のEPRのベースコスト削減、現行プロジェクトの調達見直し	
サポート機能見直し	内製化、ITコスト削減、広告・スポンサー・イベントコスト削減	
給与見直し	役員賞与、定期昇給凍結	3 億ユーロ（内部コスト）
サポート機能見直し	売上コスト率を 15%から 10%に、新規雇用凍結	
ドイツ事業見直し	1,200～1,500 名の雇用削減、Duisburgへの機能集約検討	
フランス事業見直し	検討中のパリ市内サイトを放棄、検討中用地関連機能の集約	
アメリカ事業見直し	検討中サイト数削減、本社費用の削減	

1-2-5 考察

2011 年 3 月 11 日に発生した福島第一原発事故により、メンテナンス等で収益を挙げていたドイツでは脱原子力方針に従って 8 基が閉鎖されたほか、新設の気運も停滞を余儀なくされ、AREVAの事業収入の急速な伸びは期待できない状況になった。また、既に述べたとおり、UraMin関連の評価損等により事業収益は悪化、大幅な費用節減と投資縮小を強いられることとなった。

一方で、福島第一原発事故後の対策等が新たに発生することになり、原子炉・サービス事業グループの受注残高が 2011 年末に上昇し、2010 年末の受注残高を上回るという結果になったという明るい兆しもある（図 1-13）が、恒常的な事業収益に結びつくか否かは不透明な状況であると言えよう。

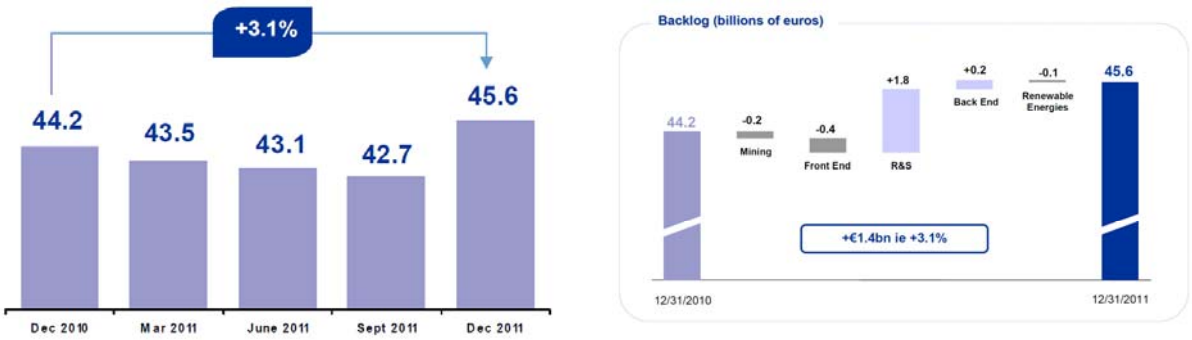


図1-13 AREVA社受注残高推移と 2010 年末と 2011 年末受注残高比較

（出所） Annual results 2011

原子力事業環境は、今回のような事故はもちろんのこと、フランス及び展開先諸外国の原子力政策動向、エネルギー需給動向（例えばシェールガスによるガス価格低下）、といった動きに左右される可能性があり、AREVA社の事業環境にも不確実性が伴う。2009 年以前は、送電配電部門であるAREVA T&Dが原子力以外の安定的な事業の柱として機能しており[20]、この不確実性を吸収していたと考えられるが、同社が売却されて以降に発生した福島第一原発事故は、図らずもT&D無きAREVA社の経営の不確かさを映し出す形となったと言える。

[20] 送配電部門の 2009 年売上は AREVA 社の総売り上げの 140 億ユーロ中 55 億ユーロ、同部門の従業員は、総従業員 12,700 名中 5,400 名を占めていた。

なお、T&Dは、2009年6月30日に発表されたAREVAグループの長期財務計画に基づいて、その売却が決定されている。AREVAの発表[21]によると、AREVAが今後も原子力市場を牽引し、再生可能市場への参入を拡大するため、健全なバランスシートを維持し且つ投資を十分におこなう資金調達を目的としての売却決定であった。2009年11月30日にAREVAは、Alstom/Schneiderコンソーシアムとの優先交渉を開始し、2010年1月20日に売却契約を締結した[22]。

一方、2009年以降に事業グループとして決算上に独立して記載されるようになった再生可能エネルギー事業グループの売上が、福島第一原発事故後に急速に拡大している。Action Plan2016では、再生可能エネルギー事業の売上を12.5億ユーロまで高める計画であり、バックエンド事業（2011年売上15.94億ユーロ）に匹敵する事業グループに拡大する見込みである。従って、今後は再生可能エネルギー事業が、原子力事業の不確実さを補う、AREVA社の事業のもうひとつの柱となる可能性が高いと考えられる。

[21] AREVA社ホームページ、
http://www.areva.com/EN/news-6867/areva-to-open-up-its-capital-to-new-strategic-partners-and-its-employees-the-group-is-set-to-sell-its-transmission-and-distribution-activity.html

[22] 2009 Reference Document P165

1-3　Energy Resources of Australia Ltd.（ERA）

本項では世界最大級のウラン生産企業であり、オーストラリアエネルギー資源（ERA）について、事業・業績・技術等の特徴及び中長期の事業計画見通しを概観する[23]。

1-3-1　企業概要

ERAは1980年設立のウラン生産企業であり、Rio Tintoグループが権益の約68%を保有するRio Tintoのグループ企業である。

ERA権益の68.4%は、多国籍鉱業・資源グループであるRio Tintoが保有している。また、日本の日豪ウラン資源開発株式会社が10%の権益を持つ[24]。

(1) 設立経緯

Ranger鉱山は、1969年にElectrolytic Zinc Company of Australasia Ltd及びPeko-Wallsend Operations Limitedの合弁企業により、鉱脈が発見されたことに始まる。1975年にはERAの前身に当たるThe Ranger Uranium Environmental Inquiryが設立され、1977年には開発の最終報告書を提出、また、同年にノーザンテリトリー議会と採掘を包含する合意を締結。1979年には建設が開始される。

その後の1980年、ERAが公開会社として設立された。1981年8月13日には初出荷されている。

ERAはRangerのほか、1983年に連邦政府が新規ウラン鉱山開発を禁止したために開発が停止していたJabilukaウラン鉱山を1991年に1.25億ドルでPancontinental Miningから買収している。

(2) 事業所及び従業員数

ERAはオーストラリア国内でのみ操業を行っている。本社は、ノーザンテリトリーのダーウィンにある。

2011年時点の従業員は630名で、内99名（約17%）は原住民であるアボリジニを雇用している。

1-3-2　主要業務

ERAの主要業務は、Ranger鉱山からのウラン鉱石採掘、同鉱山付近の精錬施設における精錬である。Ranger及びJabiluka鉱山の位置を図1-14に示す。

[23] 本項の情報出所は、特に注釈がない限り、ERAホームページ（http://www.energyres.com.au/）及び同社2011 Annual Report（http://www.energyres.com.au/documents/ERA_2011_Annual_Report.pdf）による。

[24] 日豪ウランの権益比率については、ATOMICA、オーストラリアのウラン鉱山（04-03-01-07）（http://www.rist.or.jp/atomica/data/dat_detail.php?Title_Key=04-03-01-07）による。

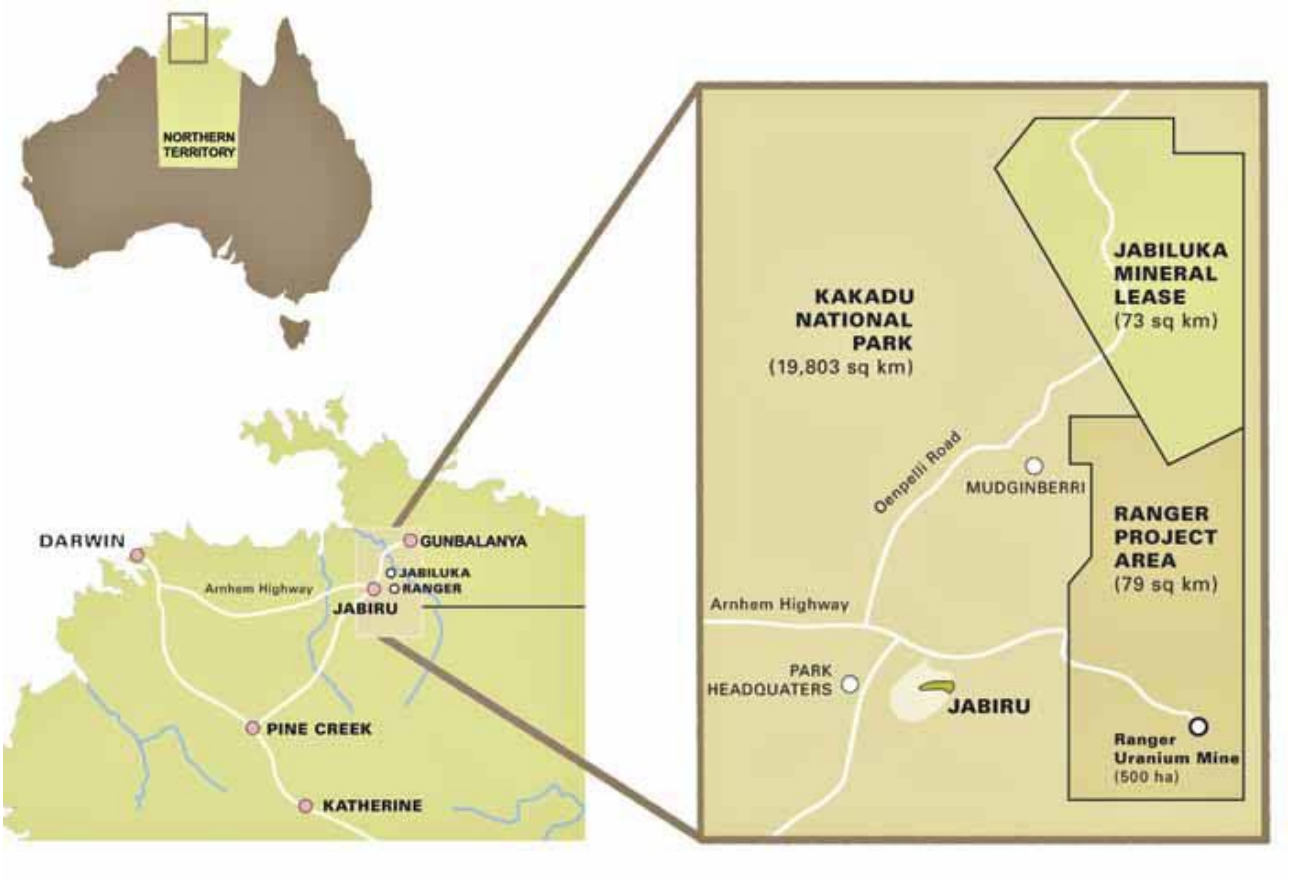


図1-14 ERAのウラン鉱山位置

（出所） ERA、2011 Annual Report

露天掘りで開発された、Ranger Pit #1 は 1994 年末までに 1,978 万トンのウラン原石（平均グレード 0.321%）を産出して操業を終了した。1996 年にはPit #3 の最終開発許可を得て 1997 年 7 月より操業を開始している。Pit #3 からの採掘は 2012 年 11 月末に終了しており、今後はPit #3 深部からの開発許可を 2013 年初頭に得るべく活動を進めている。

なお、Jabiluka鉱山は、長期保護・保全合意に基づき、先住民であるミラル（Mirarr）氏族地権者との合意が得られない限り開発できないこととなっており、開発に向けた活動は行われていない。

1-3-3 業績概要

2012 年のERAの売上高は 3.954 億ドル（2011 年比－39%）、経常収益は 4.228 億ドル（同－37%）、税引後営業利益は 1.507 億ドル（同－42%）、同経常利益は－2.188 億ドル（同－178%）であった。また、2012 年のウラン生産量は 3,710tU、販売量は 3,223tUであった。スポット価格が低迷し、2012 年末に 43.38 米ドル/ポンドとなったが、長期契約が主体であることから、平均販売価格は 58.33 米ドル/ポンドと 2011 年の販売価格（59.32 米ドル/ポンド）から若干の低下となった。

経常損失のうち 0.68 億ドルは営業外損失（ウラン価格見通しの変更及び豪ドル高の影響を参入）によるものであり、営業損失が 2011 年の 0.54 億ドルから 1.51 億ドルに拡大した理由は、減価償却費の増大によるものであり、良好なパフォーマンスは維持している。

売上高及び経常収益の推移は図 1-15 に示すとおり、Pit #3 深部開発に本格的に着手した 2011 年以降、経常収益がマイナスの状態が続いている。

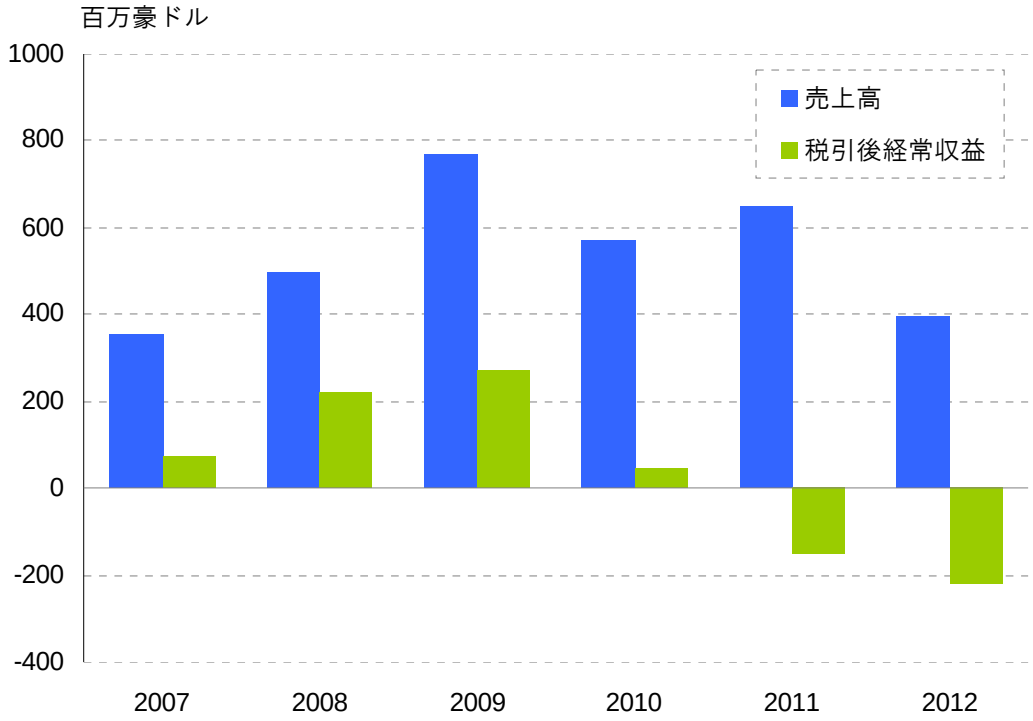


図1-15 売上高及び経常収益の推移

（出所） ERA、2007～2011 Annual Report

(1) セグメント別業績[25]

ERA社はウラン採掘専業であり、セグメント別業績は無いため、以下では、親会社であるRio Tintoのセグメント別業績を示す。なお、ERA社の業績は、豪ドルベースであるが、Rio Tintoグループの業績は米ドル単位である。Rio Tintoの部門別売上高及び当期純利益の推移を図 1-16 に、2011 年の部門別業績及び売上高・純利益比較を図 1-17 に示す。また、2010 年～2011 年のセグメント別業績推移を図 1-18 に示す。

Rio Tintoは、英国に本拠をおく鉱業会社RTZとオーストラリアのCRAが二元上場会社を形成することにより1995 年に成立した世界有数の多国籍鉱業・資源グループである。鉄鋼石、アルミニウム、銅、エネルギー関連資源（石炭、ウラン）、ダイアモンドの採掘等の採掘を行っており、特に鉄鋼石生産量は世界第二位、アルミニウム生産量は世界一位の産出者である。

2011 年の売上高は 656.78 億米ドル、当期純利益は 155.49 億ドルであった。セグメント別では、同社最大の売上を誇る鉄鋼石部門が堅調に推移している一方、2007 年に 380 億ドルでアルキャン・アルミニウム・グループ（カナダ）を買収することで事業を拡大したアルミニウム部門は低調に推移しており、2013 年 1 月 17 日にはアルミニウム部門の評価損 100～110 億ドルを含む 140 億ドルの評価損を計上することが公表されている[26]。

なお、ウラン事業はエネルギー部門に属しており、2011 年のERA売上高は約 6.5 億豪ドルであったことから、ウラン事業は売上ベースではエネルギー部門の 1 割弱、Rio Tinto全体の 1%程度を占める程度である。

[25] セグメント別業績に関しては、Rio Tinto 2011 Annual Report（http://www.riotinto.com/documents/Investors/Rio_Tinto_2011_Annual_report.pdf）による。

[26] Bloomberg、2013/1/17、http://www.bloomberg.co.jp/news/123-MGRHMS6JTSE801.html

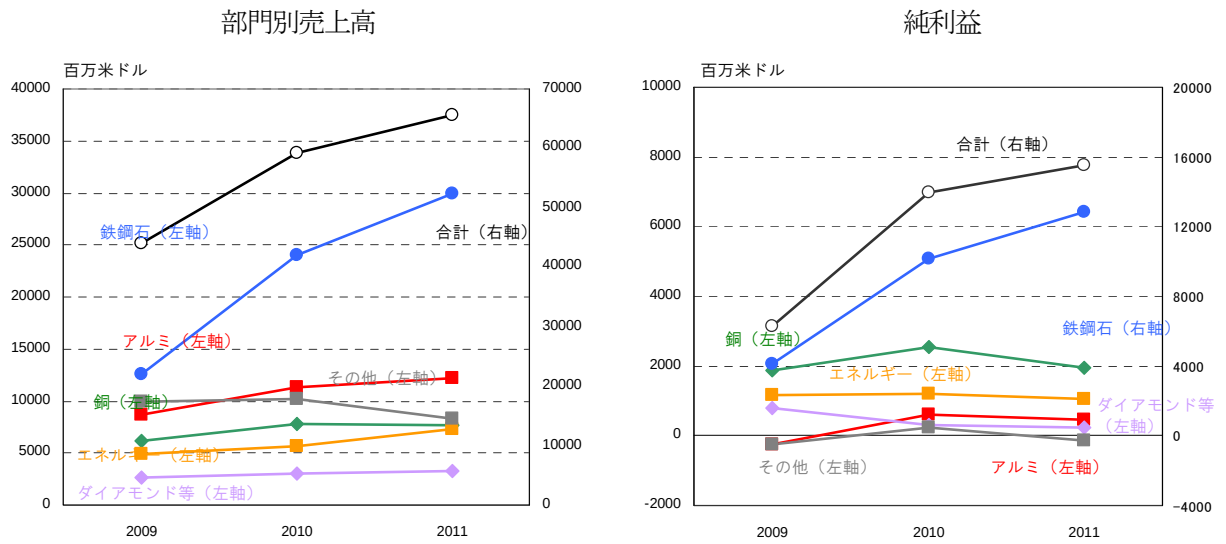


図1-16 Rio Tintoの部門別売上高及び純利益の推移

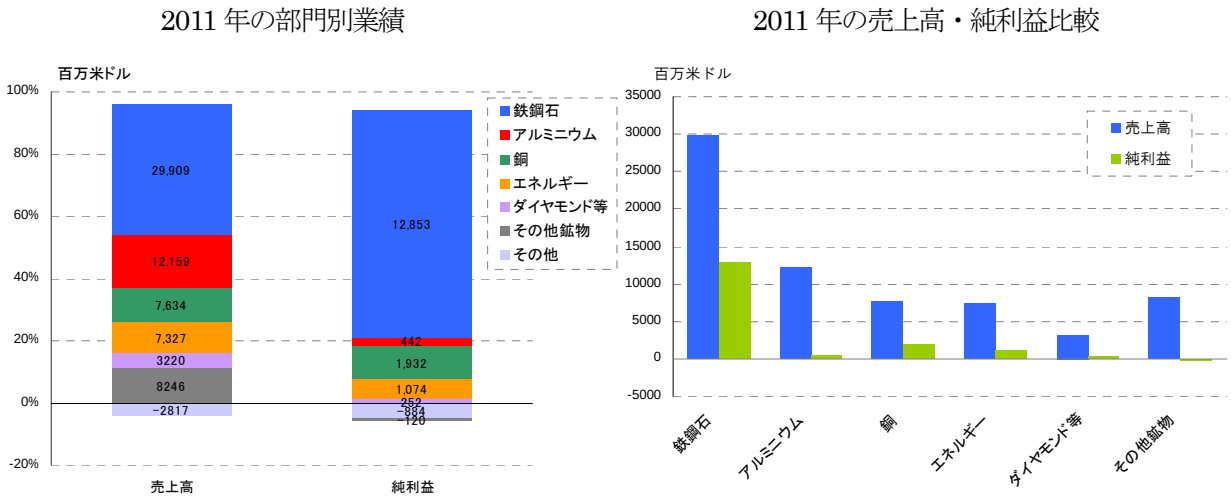


図1-17 Rio Tintoの部門別業績及び売上高・営業利益比較

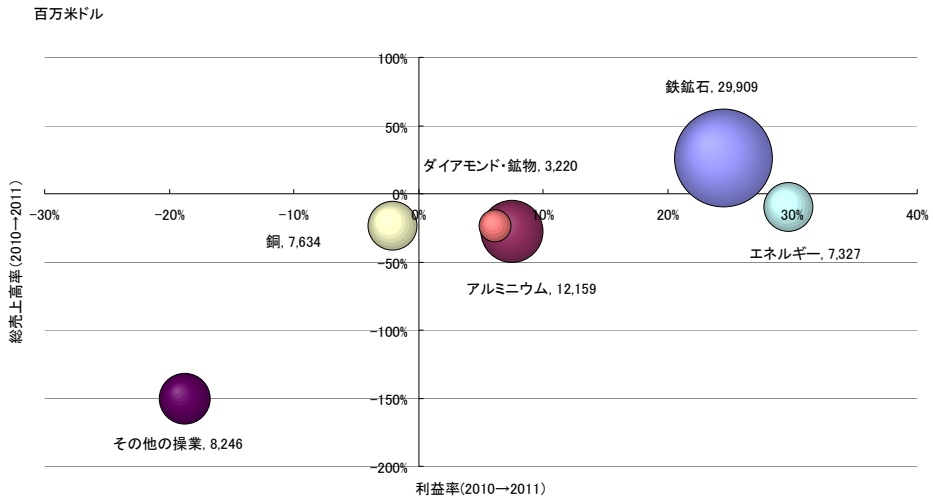


図1-18 Rio Tintoの 2010 年～2011 年のセグメント別業績推移

(2) キャッシュフロー状況

ERAのキャッシュフローの推移を図 1-19 に示す。

Ranger PIT #3 からの産出終了により、営業キャッシュフローは低下傾向にある。2010 年には現金及び現金等価物の純増加がマイナスに転じているが、5,000 万ドルの増資[27]により、2011 年には一転して大幅な増加となっており、今後の開発活動への支障は無いと考えられる。

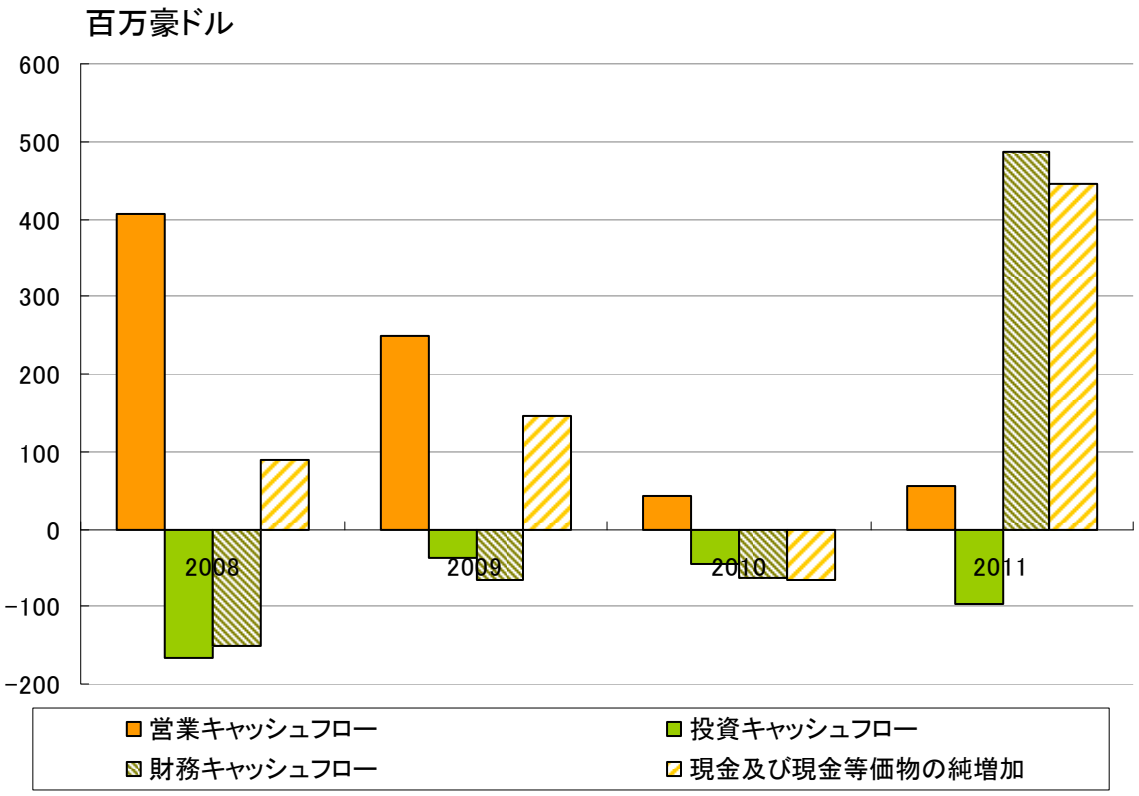


図1-19 キャッシュフロー推移

1-3-4 技術開発概要及び中長期事業計画

Ranger PIT #3 深部には、34,000tU相当の酸化ウランが埋蔵されていると推測されており、PIT#3 深部の開発が進められている。2011 年 8 月には 1.2 億ドルの探査坑建設の契約が交わされ、10 月より掘削開始、2012 年 5 月には探査掘削が開始され、2012 年 12 月には探査坑掘削が完了した。トンネル建設は 2013 年半ばまで続けられる予定であり、埋蔵量確定のための調査掘削は 2013 年 4 月まで続けられる予定である。2013 年 1 月 16 日には、連邦政府の環境・持続可能性・水資源・人口・地域社会省（Department of Sustainability, Environment, Water, Population and Communities）に付議された。開発状況を図 1-20 に示す。

[27] 2011 年 10 月 30 日に、Rio Tinto を含む小売株主の強力なサポートにより、5 千万ドルの増資が完了したことが公表されている。http://www.energyres.com.au/documents/20111130_ERA_completes_successful_entitlement_offer_and_operations_update.pdf

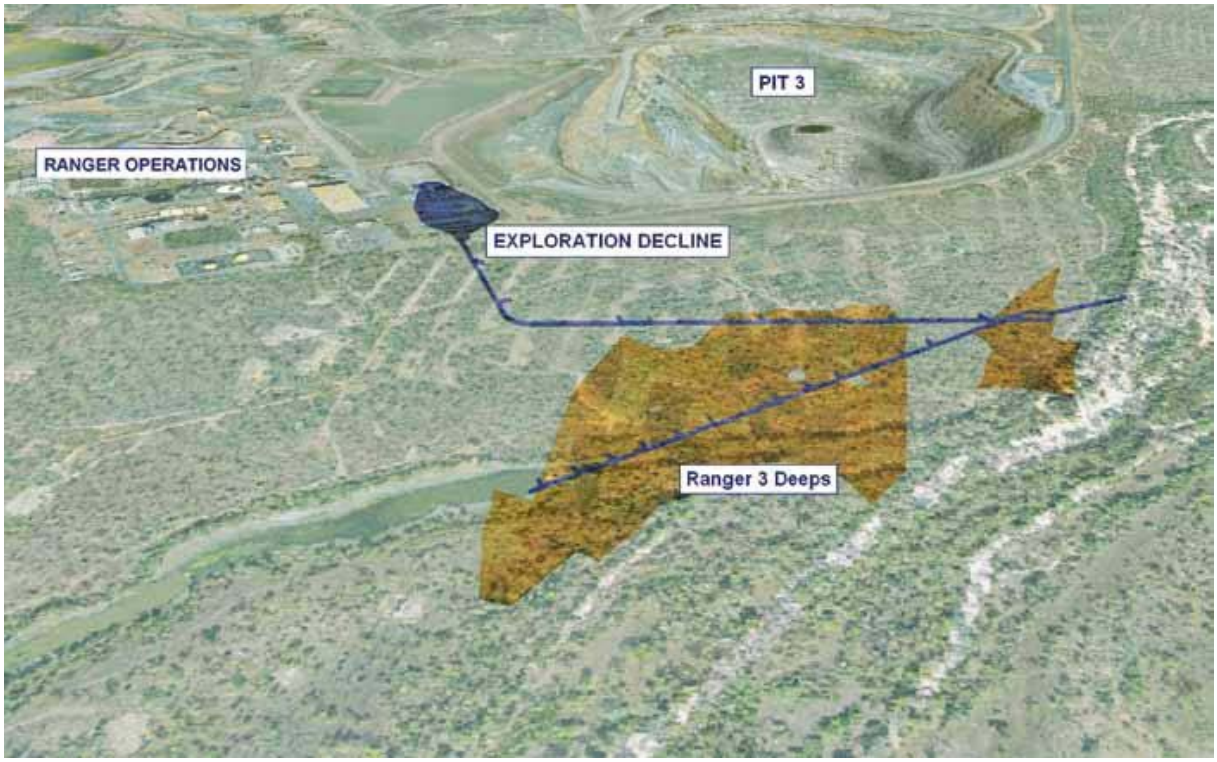


図1-20 Ranger PIT#3 深部開発状況図

1-4　BHP Billiton Ltd.

本項ではオーストラリアと英国を拠点とした世界最大の鉱業会社であり、ウランの生産もしているBHP Billiton Limited & PLCについて、事業・業績・技術等の特徴及び中長期の事業計画見通しを概観する[28]。

1-4-1　企業概要

同社はもともとオーストラリアを拠点とするBroken Hill Proprietary Company(BHP)と、イギリスを拠点とするBillitonとの合弁で誕生したため、オーストラリアのメルボルンと、英国のロンドンの 2 ヶ所に本社がある、2 本社体制(Dual Listed Company Structure)である。本部(Headquarter)は、メルボルンに置かれている。また、オーストラリアを拠点とするBHP Limitedと英国を拠点とするBHP Billiton Plcは、それぞれオーストラリア証券取引所とロンドン証券取引所で、別々に株の取引を行い、株主もそれぞれ別々であるが、取締役会と経営は同一の組織体で実施している。主要事業として、石油、アルミニウム及びニッケル 、ベースメタル（ウランを含む）、ダイアモンド等特殊製品、鉄鉱石、マンガン、原料炭、一般炭の 8 つの部門があり、銅や銀等も扱っている。

(1) 設立経緯

Broken Hill Proprietary Company(BHP)は 1885 年に設立され、オーストラリアのNew South Wales州で銀や鉛鉱を中心に生産をしていた。1915 年に入ると、鉄鋼業に進出し、本社をメルボルンに移転した。1960 年代に入ると、石油採掘に進出し、その後は様々な探鉱事業に進出した。

Billitonは 1860 年 9 月に設立され、当初は錫や鉛の採掘が主要事業であった。1990 年代に入ると、南アフリカやモザンビークにおけるアルミニウム精錬事業、オーストラリア・コロンビアにおけるニッケル事業、オーストラリア・コロンビア・南アフリカにおける石炭採掘事業等により、急成長を遂げた。

2001 年 6 月にBHPとBillitonは正式に合併し、世界最大の鉱業会社BHP Billitonが誕生した。2002 年には、鉄鋼部門を分社化し、Blue Scope Steel社を設立した。

BHP Billitonのウラン産出の全量は、オーストラリアのOlympic Dam鉱山からの産出であるが、もともとOlympic Dam鉱山は、Western Mining Corporation(WMC)が 1975 年に発見し、1987 年から稼働を開始した鉱山である。BHP Billitonは、2005 年にWMC Resourcesを買収したため、現在は同社の主要鉱山の一つとなっており、ウラン以外にも銅・金・銀などを産出し、鉱山全体の収益から言うと、ウランの比率は必ずしも高くはない。しかしながら、現在稼働しているウラン鉱山の中では、その埋蔵量は世界最大級である。

他にも、同社がWMC Resourcesの権益獲得に伴い、獲得した鉱山にYeelirrie(イーリリー)鉱山があるが、2012 年 8 月に、Yeelirrie鉱山の権益を 4 億 3000 万USドルでCamecoに売却することが決まった。

(2) 事業所及び従業員数

2012 年 10 月現在、同社は 15 カ国[29]で探鉱・精製事業を実施しており、子会社も含めた従業員数は全世界で約 46,000 人[30]である。そのうち、20,000 人弱がオーストラリアで、10,000 人強がアフリカで、10,000 人強が南アメリカで業務に従事している。この 3 地域で同社の従業員の約 87%を占める。（図 1-21、図 1-22、表 1-5、表 1-6 参照）

---

[28] 本項の情報出所は、特に注釈がない限り、BHP Billiton ホームページ（http://www.bhpbilliton.com/home/Pages/default.aspx）及び同社 Annual Report 2012
（http://www.bhpbilliton.com/home/investors/reports/Documents/2012/BHPBillitonAnnualReport2012_interactive.pdf）による。

[29] 2008 年時より減少している。アルジェリア、オーストラリア、パキスタン、トリニダード・トバゴ、英国、米国、ブラジル、モザンビーク、南アフリカ、コロンビア、チリ、ペルー、カナダ、マレーシア、シンガポールの 15 カ国

[30] この中には、協力会社の社員(約 78,000 人)は含まれていない。



図1-21 BHP Billitonの主な拠点(北米・南米)

(出所) Annual Report 2012, p.14



図1-22 BHP Billitonの主な拠点(アジア・アフリカ・欧州)

(出所) Annual Report 2012, p.15

表1-5 部門別従業員数(子会社を含む)[31]

CSG (Customer Sector Group)	FY2012	FY2011	FY2010
Petroleum	**3,058**	2,308	2,178
Aluminium	**5,050**	4,599	4,471
Base Metal	**8,775**	7,602	7,434
Diamonds and Specialty Products	**1,905**	1,737	1,689
Stainless Steel Materials	**3,578**	3,412	3,481
Iron Ore	**5,784**	4,047	3,624
Manganese	**2,760**	2,426	2,549
Metallurgical Coal	**4,535**	4,019	3,533
Energy Coal	**8,977**	8,752	8,762
Group and unallocated	**1,948**	1,855	1,849
Total	**46,370**	40,757	39,570

表1-6 地域別従業員数(子会社を含む)

	FY2012	FY2011	FY2010
Africa	**10,311**	10,061	10,622
Asia	**1,114**	970	816
Australasia	**19,330**	16,290	15,178
Europe	**532**	492	515
North America	**4,166**	3,168	2,971
South America	**10,917**	9,776	9,468
Total	**46,370**	40,757	39,570

1-4-2 主要業務

BHP Billitonの主要事業は、Base Metal(卑金属)・石油・鉄鉱石・石炭であり、ウラン採掘は2005年8月に買収したWMC (Olympic Dam) Pty Ltdがオーストラリアで保有しているOlympic Damからの生産がすべてである。なお、同社はウラン採掘に関しては、WMCの権益獲得に伴い、獲得したYeelirrie(イーリリー)鉱山があったが、2012年8月に、Yeelirrie鉱山の権益を4億3000万USドルでCamecoに売却することが決まった。BHP Billitonの保有する豪州のウラン鉱山を表1-7に示す。

表1-7 BHP Billitonが保有する豪州のウラン鉱山

	操業開始年	生産設備容量 (tU/年)	精錬施設容量 (ton/day)	生産技術	埋蔵量(tU)	現状	出資比率
Olympic Dam	1988	3,885	–	UG(Underground)	222,714	操業中	BHP Billiton 100%
Yeelirrie	–	–	–	–	–	Camecoに売却	BHP Billiton 0%
合計		**3,885**					

(出所) Annual Report 2012, P.42

同社は、組織を以下の8つのCSG (Customer Sector Groups) に分けて、事業を展開している。

① 石油部門(原油・天然ガスの探査・開発・生産)

[31] BHP Billiton社の会計年度 (fiscal year: FY)は、7月1日から翌年6月30日までである。

② アルミニウム・ニッケル部門(ボーキサイトの採掘、アルミナへの精錬、アルミニウムへの溶錬、ニッケルの採掘・生産) [32]
③ ベースメタル部門(銅・鉛・亜鉛・金・銀・モリブデン・ウランの採掘)
④ ダイアモンド・特殊品部門(ダイアモンド・チタン鉱物の採掘、炭酸カリウムの開発)
⑤ 鉄鉱石部門
⑥ マンガン部門(マンガン・マンガン合金の採掘・生産)
⑦ 原料炭部門
⑧ 一般炭部門

1-4-3 業績概要

2012 年度の同社の売上高は 722.26 億ドル、営業利益は 237.52 億ドルであり、売上高、営業利益は、それぞれ対前年比 100.7%、74.7%と、売上高は前年と同じ水準なものの、営業利益は減少した。営業利益率は前年に 2008 年度以来の 40%台を達成したが、今年度は、32.9%であった。

同社の売上高は、2009 年に、世界的な金融危機による資源価格の大幅な下落と生産量の縮小の影響で売上高が大幅に下落したが、その後再び売上高を伸ばし、2011 年に 700 億ドル越えを達成。2012 年はほぼ同水準となっている。部門ごとの売り上げを見ると、石油部門、鉄鉱石部門のそれぞれ約 22 億ドルの売上高増加が、他部門、特にベースメタル部門、ステンレス鋼原料部門の売上高減少を補っている形となっている。同社の 2012 年度のAnnual Reportの記載によれば、ベースメタル部門の売上高減少の理由は、販売価格の下落と生産量の減少としている。

一方、営業利益についても、2009 年に大きく減少した後に再び増加し始め、2011 年に近年での最高額の利益を上げる等、売上高と同様の傾向を辿っているが、2012 年に関しては、売上高が横ばいであった一方で、営業利益は減少している。Annual Reportでは、価格と需要の低迷と、需要家からのコスト圧縮圧力がその主たる要因であるとしている[33]。

以下にセグメント別業績推移及びキャッシュフロー状況について概観する。

(1) セグメント別業績

図 1-23 及び図 1-24 に同社の部門別売上高推移・営業利益推移の内訳を、図 1-25 に同社の部門別売上高・営業利益の内訳を、図 1-26 に同社の部門別売上高と営業利益の比較を、図 1-27 及び図 1-28 に、同社のセグメント別業績を示す。

ウランの産出に関しては、「ベースメタル」部門に含まれており、ベースメタル部門は同社の売上高を牽引する主力部門であったが、図 1-23 及び図 1-24 の過去 5 年間の推移を見ると、「ベースメタル」部門と「ステンレス鋼原料」部門が、2009 年度に大幅に下落、以後、「鉄鉱石」部門、「石油」部門が主力部門として売り上げ及び営業利益を伸ばしていることが分かる。特に「鉄鉱石」部門については、2011 年に売上高が約 2 倍の水準に達しており、2012 年も、価格は下落したが、販売量が増えたことによって売上高が増加している。なお、「石油部門」については、2012 年度は販売量が減少したものの、販売価格が上昇したことにより、結果として、売上高も増加した。

[32] 2012 年にアルミニウム部門（アルミニウム・アルミナ）とステンレス鋼原料部門（ニッケル）を統合。なお、ステンレス鋼原料として生産していたクロム鉱山は 2005 年に売却している。
[33] Annual Report 2012, P89

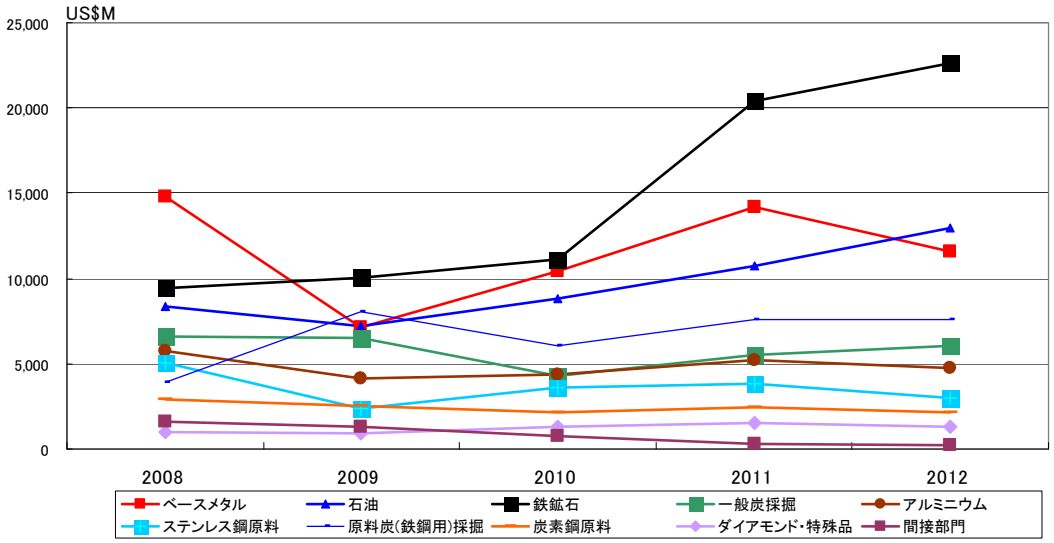


図1-23 部門別売上高推移

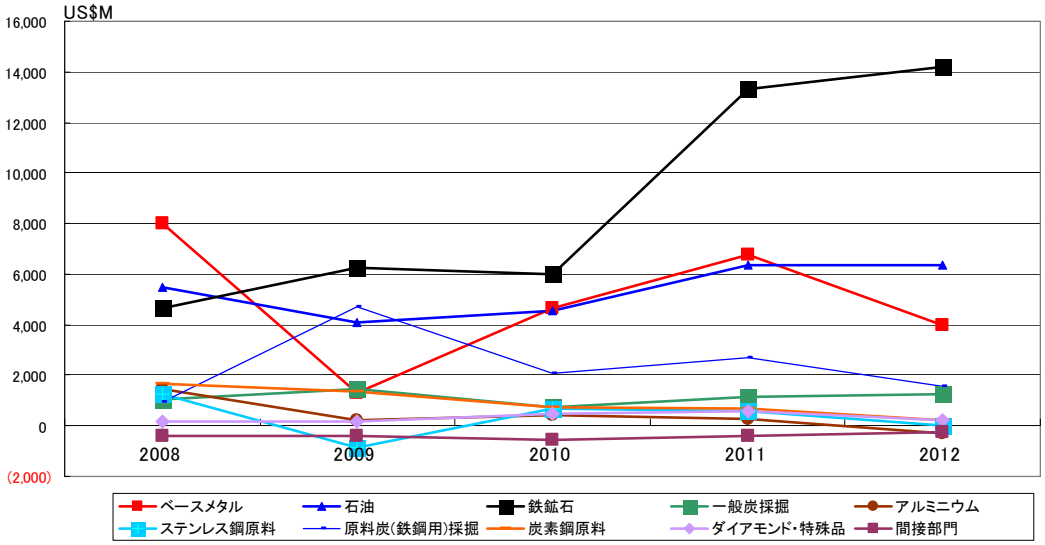


図1-24 部門別営業利益推移

ベースメタル部門は、2008 年度までは同社の売上高の 1/4 を占める主力部門であったが、2009 年度に大幅に下落して以来、「鉄鉱石」部門に取って代わられている。図 1-23 にあるように、その後、再び売り上げを回復する傾向にあったが、図 2-25、図 2-26 に示すとおり、2012 年の売上は同社の各部門の中で、鉄鉱石・石油部門についで、第 3 位となっている。図 1-24 にあるように、ベースメタル部門の営業利益も売上高と同様の傾向を示しており、図 2-25、図 2-26 に示すとおり、2012 年度は第 3 位となっている。なお、図 1-27、図 1-28 に示すとおり、ベースメタル部門の総利益率は堅調に増加している一方で、鉄鋼石や石油部門がそれ以上に売上高と総利益率を伸ばしていることが、ベースメタル部門が占める割合を下げている原因であり、ベースメタル部門の業績が極端に悪化しているという状況ではない。

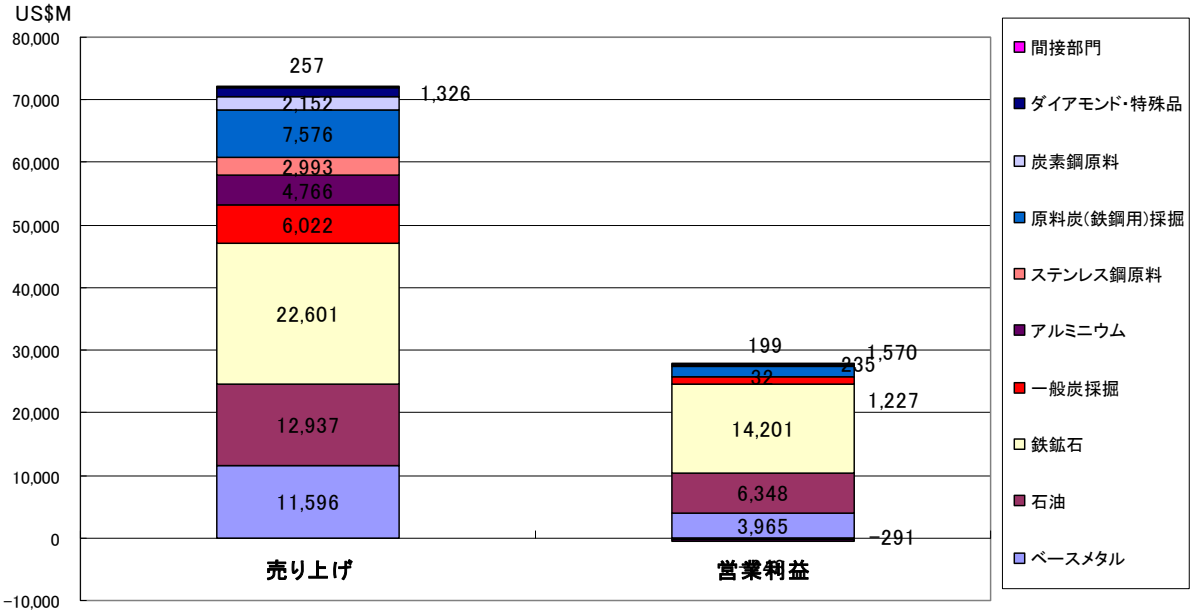


図1-25 部門別売上高・営業利益構成比(2012 年)

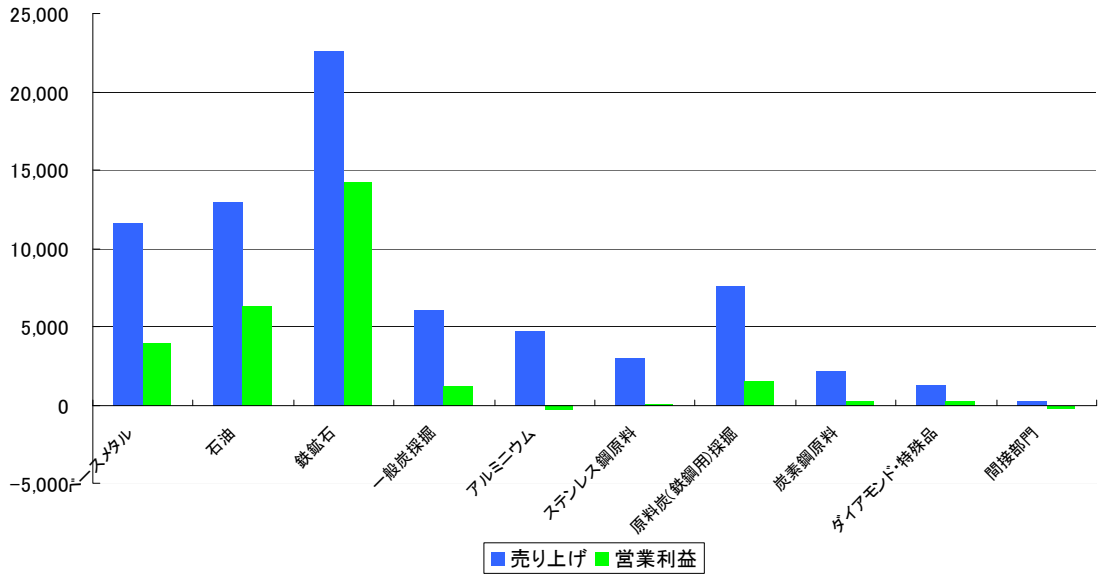


図1-26 部門別売上高・営業利益比較(2012 年)

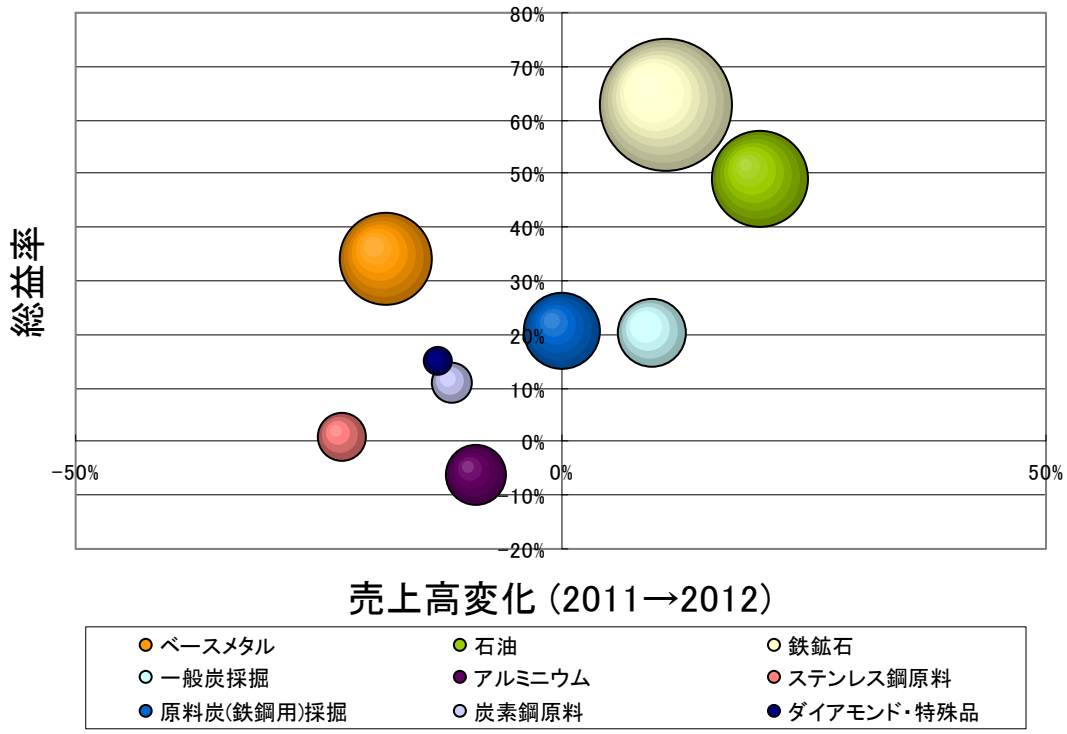


図1-27 2011 年～2012 年の部門別業績推移

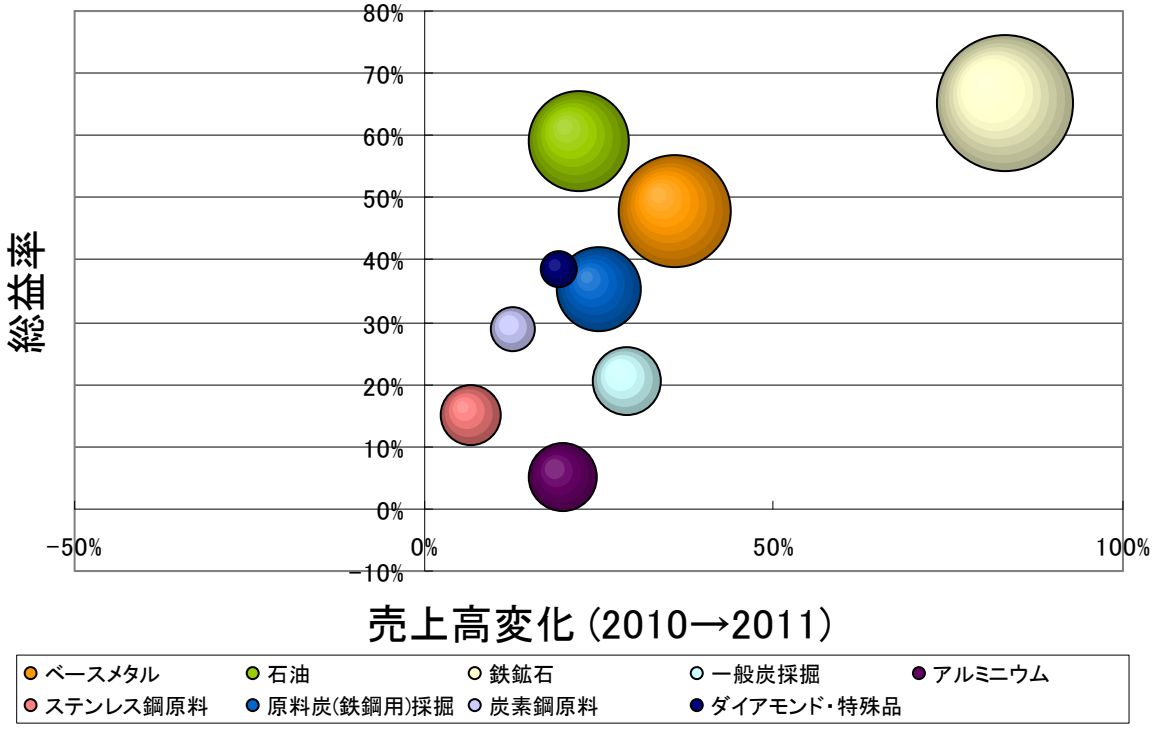


図1-28 2010 年～2011 年の部門別業績推移

(2) キャッシュフロー状況

図 1-29 に、2008 年から 2012 年までのキャッシュフロー状況を示す。

2005 年から 2009 年にかけて増加傾向にあった、営業キャッシュフロー・現金及び現金等価物の純増加は、2010 年に減少し、2011 年に営業キャッシュフローは再び増加に転じたものの、財務キャッシュフローの大幅な減少から、現金及び現金等価物の純増加はマイナスに転じ、2012 年は投資が大幅に増加したため営業キャッシュフロー・現金及び現金等価物の純増加ともに減少する結果となった。

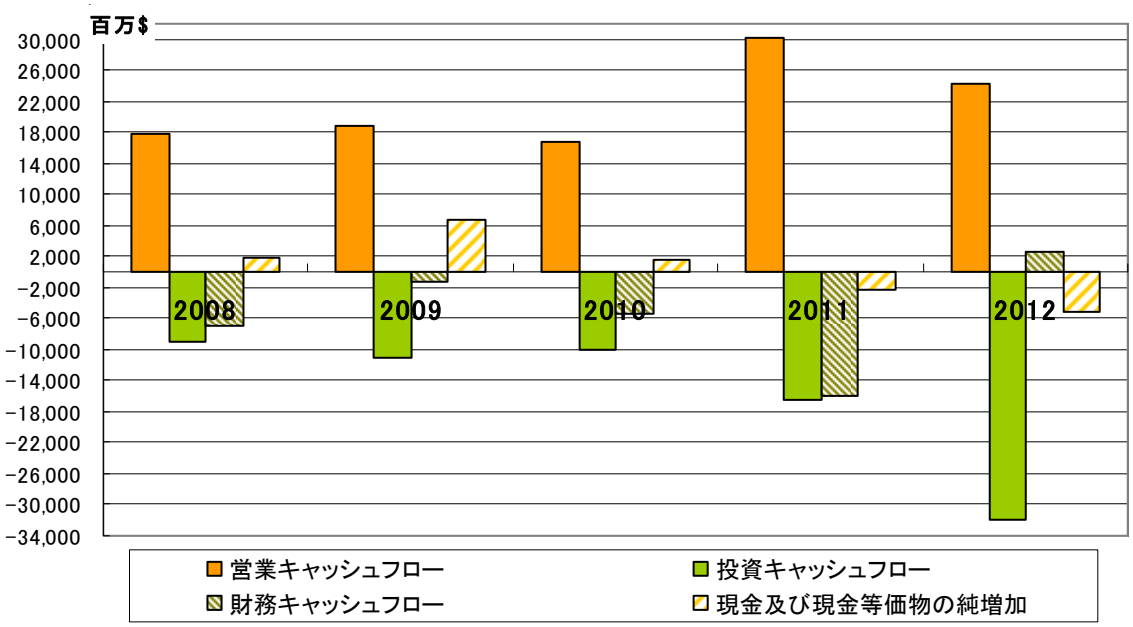


図1-29 キャッシュフロー推移

1-4-4 技術開発概要及び中長期事業計画

現在同社唯一のウラン鉱山であるオーストラリアのOlympic Dam鉱山では、拡張計画が進行中であり、これにより、酸化ウランの年間 19,000 トンの増産を見込んでいる。なお、2011 年 10 月 10 日に、南オーストラリア政府とオーストラリア連邦政府によってOlympic Damプロジェクトの環境影響評価書が承認されている。

1-5　Cameco

本項ではカナダにある世界有数のウラン供給企業であるCamecoについて、事業・業績・技術等の特徴及び中長期の事業計画見通しを概観する[34]

1-5-1　　企業概要

Camecoはサスカチュワン州Sascatoonに本社を置き、ニューヨーク株式市場に「CCO」の略称で上場しているカナダ企業である。主要事業はウラン鉱の生産で、5つの鉱山をカナダ、米国及びカザフスタンで操業する世界有数のウラン資源生産会社である。ウラン精錬所をカナダ、オンタリオ州に2拠点展開している。また濃縮施設についても米国に於いてGEや日立と共同で施設を開発中である（Camecoの出資比率は24%）。本社のあるSascatoonは人口20万人ほどのカナダの地方都市であり、他にはカリウム、石油、小麦の産地として有名である。

(1) 設立経緯

Camecoは1988年に2つの国営会社、Sascatoonでウラン鉱を生産していたSaskatchewan Mining Development Corporationと、主にウランの生産・精錬を行なっていた、Eldorado Nuclear limited（エルドラド核燃料公社）が合併して設立された。後者はもともと金、銀、銅の生産・精錬を行っていたが、1942年ごろ、米国の求めに応じてウラン供給を開始、第二次大戦後は平和利用のウラン生産を行なっていた。

合併により設立されたCamecoはその後、1993年から政府の持ち株比率を段階的に減じることで民営化され、1996年にニューヨーク証券取引所に上場し、また同年、米国最大のウラン製造会社であった、Power Resources Inc.を買収しているが、その埋蔵量規模はCamecoの10分の1と小体であった。

Camecoは1998年にもカナダのUranerz Exploration and Miningを買収し、その生産量を30%も増加させている。それ以外にも2009年末に金事業を総括するCenterra Goldの全株式を売却するなど、資産の入れ替えを実行している。

(2) 事業所及び従業員数

本社はSascatoonにあり、約500名が勤務している。カナダ国内に2つ、米国に2つ、カザフスタンに1つの鉱山を所有しており、カナダに1つの開発中鉱山を持つ。また、カナダで1つ、オーストラリアで1つのウラン鉱山の権益を保有している。また、2012年8月にはオーストラリアで新たに1つの鉱山をBHP Billitonから4億3000万ドルで買収している。ウラン鉱山の一覧を表1-8に示す。

また、表1-9に示す通り、Camecoはカナダ国内に燃料製造までのサイクル施設を保有・運営しているほか、アメリカでの濃縮施設建設計画に出資している。

このほか、発電会社であるBruce Powerの権益を31.6%保有している。Bruce Powerは4基のCANDU炉を運転しており、総電気出力は3260MWである。

[34] 本項の情報出所は、特に注釈がない限り、Cameco ホームページ（http://www.cameco.com/）及び同社 Annual Report 2011（http://www.cameco.com/investors/financial_information/annual_reports/2011/）による。

表1-8 ウラン鉱山一覧表

国名	サイト名	埋蔵量（百万ポンド）	年間生産量（百万ポンド）	採鉱方式[35]	従業員数
カナダ	McArthur River/ Key Lake	385.5	18.7	地中/開削	900
	Rabbit Lake	24.0	16.9(現状 11)	地中	320
	(開発中) Ciger Lake	216.7	9 (最大生産時)	地中	250[36]
アメリカ	Smith Ranch-Highland	6.6	2	ISR	146
	Crow Butte	3.7	1	ISR	69
カザフスタン	Inkai	99.5	3.9	ISR	580
カナダ	(計画) Millennium	28.4	―	N/A	―
豪州	(計画) Kintyre	45.4	―	開削	―
	(計画) Yeelirrie	N/A	―	N/A	―

表1-9 ウラン加工施設一覧表

種別	国名	サイト名	年間生産量 (tU)	従業員数
精錬	カナダ	Key Lake	7,200	*
		Rabbit Lake	2,300	*
転換	カナダ	Port Hope	12,500	400
再転換			2,800	
燃料製造	カナダ	Port Hope	1,200	320
濃縮	アメリカ	(計画中) Wilmington	6,000 tSWU	N/A

* ウラン鉱山の従業員数に含まれる。

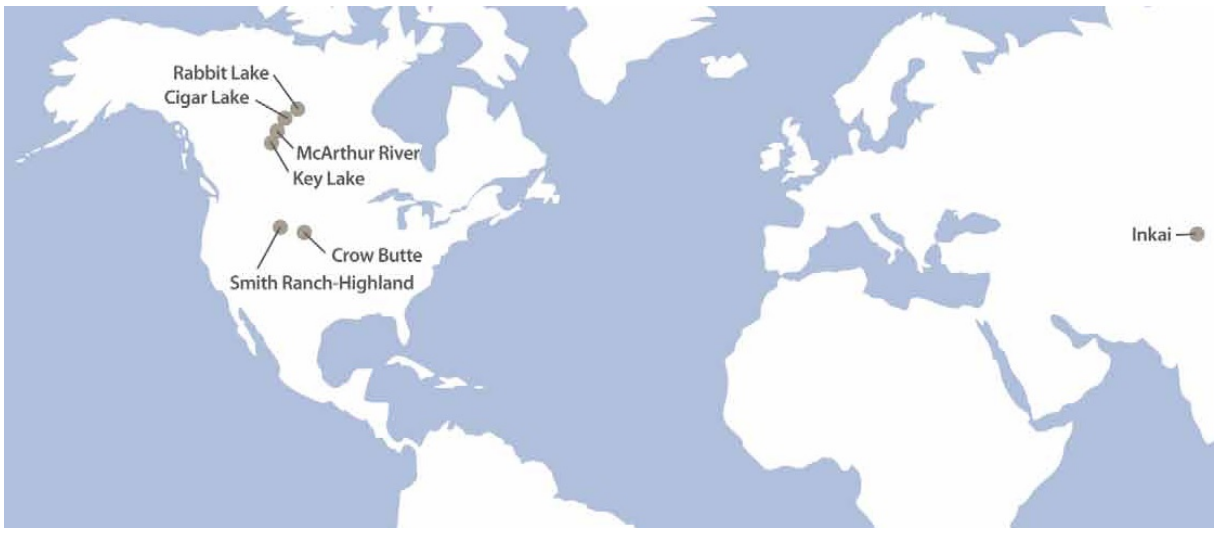


図1-30 Cameco の主な鉱山等の位置

[35] 地中（Under ground）は坑内堀りを、開削（Open pit）は露天掘りを意味する。ISR（In Situ Recovery）は注入井戸から溶液を注入し、ウランを溶解させ、産出井戸より溶液を回収する手法で、原位置抽出法と呼ばれる手法を意味する。

[36] 最大生産量となった時点の長期雇用者数。建設ピーク時は 500 名。

1-5-2　　主要事業

Cameco の主要事業はウラン採掘、精鉱、濃縮および原子力発電所の運営である。原子炉の開発に関しては別のカナダ国営企業、AECL(Atomic Energy of Canada Limited)が担当しており、CANDU 炉と呼ばれる、ウランを濃縮する必要の無い、ユニークな原子炉を開発・製造している。この原子炉はカナダの発電用原子炉の全てと、インド、韓国、中国、東欧等で発電用として一部稼動している。
従ってカナダでは「ウラン濃縮」の過程がほとんど必要無かったために、このCameco もカナダ国内には大規模な濃縮工場を持たない。

Cameco の主力事業はウラン採掘であり、世界最大の高品質ウラン鉱山であるMcArther River(カナダ、サスカチュワン州)等を運営している。出資比率はCameco 約 70%、AREVA 約 30%である。ここの品質は、世界の大部分のウラン鉱山の“グレード”がせいぜい数パーセントに留まるのに対して、平均で 16.46%という超高品質を誇っており、また、生産量も世界最大である。埋蔵量は 3 億 8550 万ポンドである。
その他にも 1975 年から 30 年以上にも渡って生産され続けてきた、Rabbit Lake（平均グレード：0.73%U、埋蔵量 2400 万ポンド、CAMECO 100%出資）や、2013 年第四四半期中に出荷を開始する予定であるCigar Lake（平均グレード：18.3%U、埋蔵量 216.7 万ポンド、出資比率CAMECO 50.025%、AREVA37.1%、出光Canada 7.875%、東京電力 5.0%）等がある。

精錬工場に関しては主なものとしては共にカナダ、サスカチュワン州に存在する、Key Lake精錬所とRabbit Lake精錬所がある。
Key Lake精錬所は世界最大の高品質ウラン鉱山である、McArther Riverからのウラン鉱石を処理している。その規模は一日当りウラン原石 750 トン、平均回収率は 98%である。
Rabbit Lake精錬所は同名の鉱山からの鉱石を処理しているが、今後、Cigar Lakeが開発される時には、そこからの鉱石も処理する予定である。規模は一日でウラン原石 2,300 トン分、平均回収率は 97%である。
また、オンタリオ州Port Hopeで転換工場、再転換工場及び重水炉用燃料加工施設を運営している。転換工場の転換能力は年間 12,500tUで、湿式法を採用している。また、再転換能力は年間 2,800tUであり、カナダ国内のCANDU炉向けUO_2を製造する唯一の施設である。燃料製造能力は年間 1,200tHMであり、CANDU炉向け燃料を製造している。
ウラン濃縮に関しては、前述の理由により、カナダ国内では本格的に行なっていないがGEおよび日立とGlobal Laser Enrichment LLC社を通して、米国ノース・カロライナ州Wilmingtonにおいて濃縮工場プロジェクトに出資している。これは、CANDU炉の発展型として開発されている、ACR（Advanced CANDU Reactor）が微濃縮ウラン燃料を用いていることによる。出資比率は、GE 51%,日立 25%,CAMECO 24%である。なお、ACRとは、カナダ原子力公社（Atomic Energy of Canada Limited　: AECL）が開発した電気出力 1,200MWe 級の第三＋世代炉であり、特徴としては、冷却材に軽水を用いてコスト削減を図るとともに、微濃縮ウランを用いる事で使用済燃料の発生量を低減しているほか、設計寿命は 60 年とされている[37]。
また、前述のとおり、原子力発電事業者であるBruce Powerの権益を一部保有している。

1-5-3　　業績概要

2012 年の売上高は 23.21 億カナダドル、営業利益は 7.23 億カナダドルであった。2011 年と比較すると、それぞれ 3%、7%の減少であった。ウランのスポット価格は、2008 年以降概ね 50 米ドル／ポンド程度で安定していたことから、売上高、営業利益ともに安定して推移している。
部門別売上高と営業利益の推移を図 1-31 に、2012 年の部門別業績及び売上高・営業利益を図 1-32 に示す。

[37] AECL ホームページ、http://www.aecl.ca/NewsRoom/News/Press-2011/110128.htm

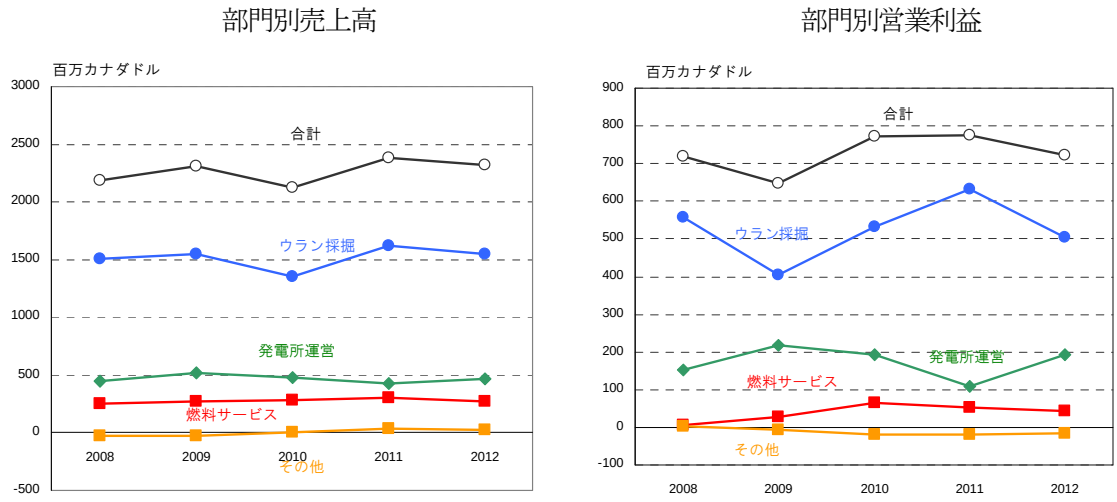


図1-31 部門別売上高及び営業利益の推移

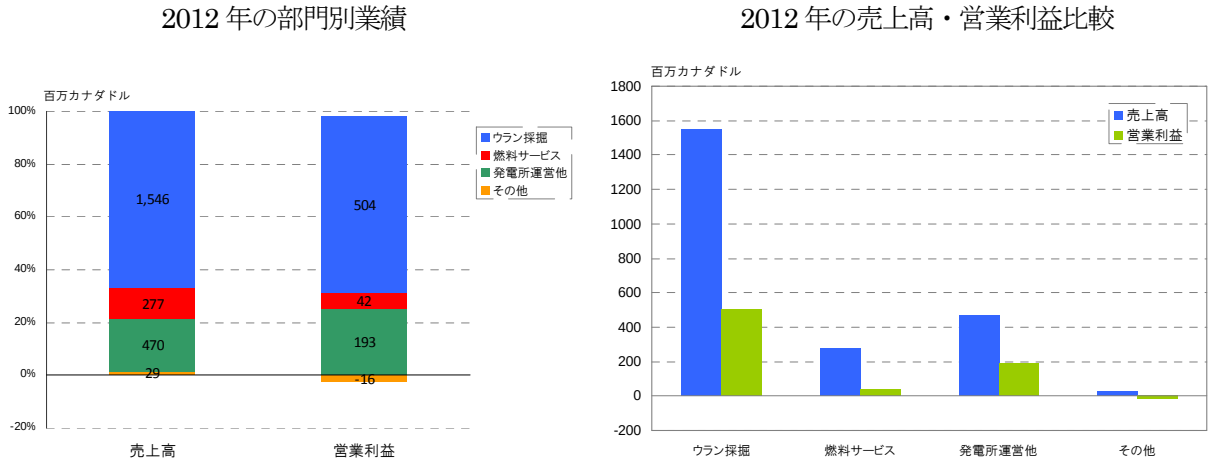


図1-32 部門別業績及び売上高・営業利益比較

(1) セグメント別業績

セグメント別の業績推移を図 1-33 及び図 1-34 に示す。

前述したとおり、ウラン価格の変動等の要因によって、売上高と営業利益が連動して増減しているが、主要事業であるウラン採掘事業で着実な収益を上げている。それに対して“燃料サービス”は年毎の変動が非常に極端である。また利益水準そのものも低い。これは市場そのものが小さいことと、小さい市場にもかかわらず転換役務を提供する企業が、西側企業だけで同社を含めて 4 社（AREVA、Converdyn、WH UK、Cameco）の競争状態にあるからである。

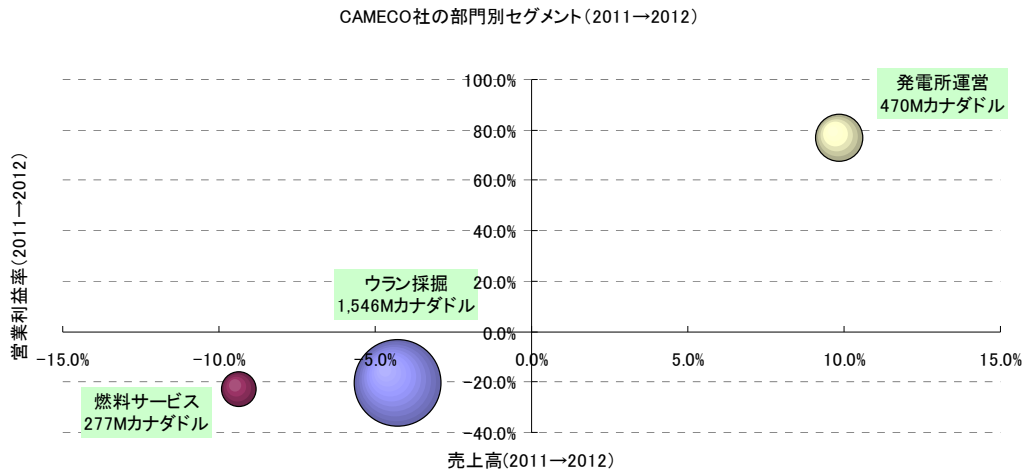


図1-33 2011 年～2012 年のセグメント別業績推移

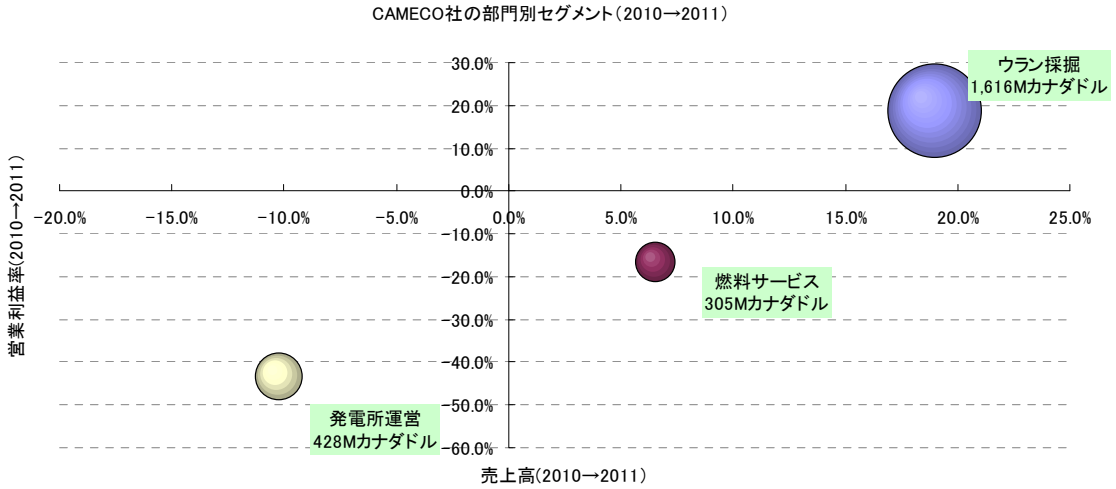


図1-34 2010 年～2011 年のセグメント別業績推移

(3) キャッシュフロー状況

キャッシュフローの推移を図 1-35 に示す。

2009 年に金事業を総括するCenterra Goldを売却したことにより、一時的に投資キャッシュフローがプラスに転じているが、2008 年以降はCigar Lakeの投資活動に伴って、投資キャッシュフローが大幅なマイナスとなっている。2010 年には現金等の増減が大幅なマイナス超過状態であったが、2011 年時点ではわずかながらもプラスに転じており、今後Cigar Lakeの操業が開始すれば、キャッシュフローは改善され、新たな投資活動を行う事が可能となると考えられる。

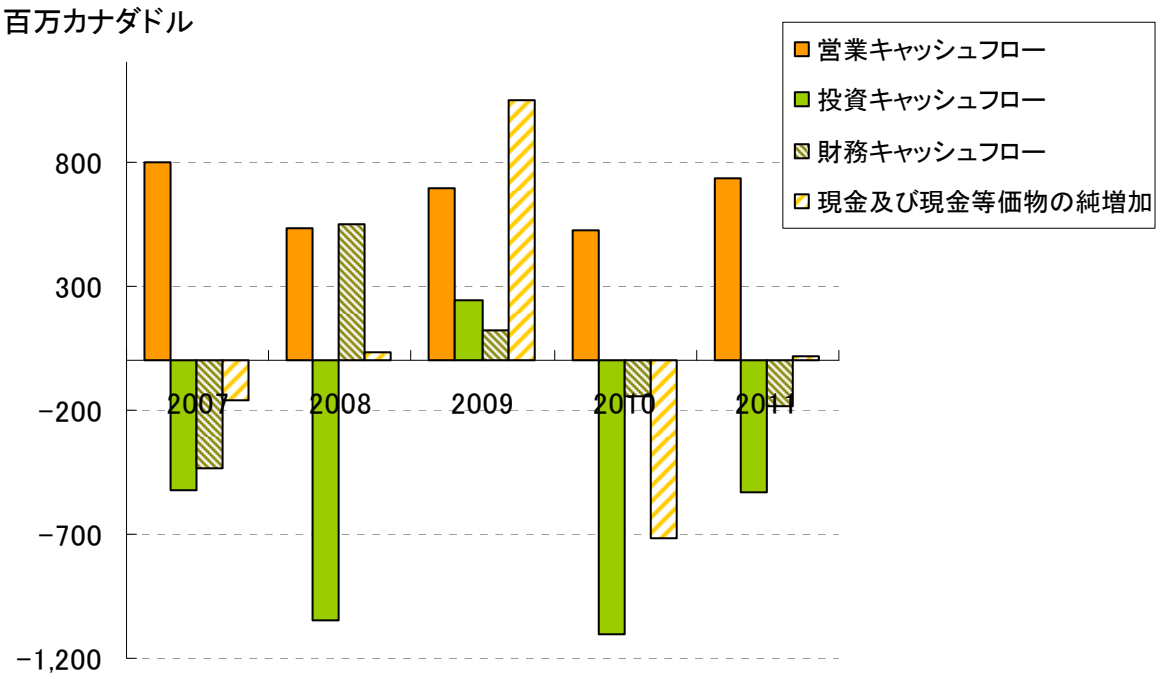


図1-35 キャッシュフロー推移

1-5-4 技術開発概要及び中長期事業計画

CAMECOの中心事業はウラン探鉱であり、この分野での技術開発については特段の公表をしていない。
中長期事業計画としては、これまで触れている通り、Cigar Lakeの開発計画が現在進行中であり、2013 年中に操業を開始する予定。ほかにも、カナダMillennium鉱山、オーストラリアKintyre鉱山の権益を保有している。また、2012 年にはオーストラリアYeelirrie鉱山をBHP Billitonより買収するなど、事業拡大に向けた兆しはあるものの、現状これら鉱山の具体的な開発計画はない。

1-6　China National Nuclear Corporation（CNNC）

本項では、中国の原子力工業の中心的存在である中国核工业集团公司（中国核工業集団公司：CNNC）について、事業・業績・技術等の特徴及び中長期の事業計画見通しを概観する。

1-6-1　　企業概要

CNNCは、中央政府の国有資産監督管理委員会（国資委）が直接管理監督する企業の一つ。中国での原子力発電、核燃料、放射性廃棄物の処理、ウラン資源探査などを行っている。

(1) 設立経緯[38]

中華人民共和国が建国された翌年の 1950 年には、中国科学院近代物理研究所が設置され基礎的研究が開始された。

CNNCの前身は 1956 年に国務院の部門として設立された第三機械工業部である。1958 年には国務院の編成改革で第二機械工業部となり、1982 年には核工業部となった。1988 年には国務院直属機関である中国核工業総公司となった。更に 1999 年 7 月 1 日には、政府部門と企業の分離政策の一環として、中国核工業総公司は中国核工業集団公司と中国核工業建設集団公司に分割され、CNNCが成立した。

CNNCは国防科学技術十大グループ企業のひとつとされる。同社の発展方針にも「軍民の結合」が盛り込んでいることが示すように、核の軍事利用と密接にかかわっている。中国の核技術開発は 1955 年 1 月 15 日の中国共産党中央書記処拡大会議における毛沢東主席の発言に始まった。1964 年 10 月 16 日に原爆実験、1967 年 6 月 17 年に水爆実験に成功。中国は核兵器の全面廃棄と廃絶を主張し、核の先制攻撃を行わないと宣言しているが、「自衛上の必要から」として核兵器を保有しつづけている。また、1971 年 9 月には原子力潜水艦の運航に成功している。

(2) 事業所及び従業員数

100 以上に及ぶ関連企業・団体の所属を含めたグループ全体の従業員は約 10 万人で、内 3.6 万人が技術者である[39]。また、海外 40 カ国以上と技術的・経済的な交流を行っているとされる[40]。

1-6-2　　主要業務

CNNCの主要業務は、原子力発電所建設運転、核燃料サイクル関連業務、放射線関連技術開発の 3 点が挙げられている。なお、軍事関連の業務も行っていると考えられるが、詳細は不明である。

(1) 原子力発電所建設・運転

民間向け原子力発電所の建設が決まったのは 1980 代初期だった。泰山原子力発電所（第 1 期）は 1985 年に着工され 1994 年に商用運転を開始した。CNNCは同発電所（第 1 期）の運営を行っている秦山核電公司の株式 100%を保有している。その他、泰山原子力発電所（第 2・3 期）、大亜湾原子力発電所、田湾原子力発電所、嶺澳原子力発電所など、中国で稼働中あるいは建設中の原子力発電所の運営会社の株式を、CNNCは直接あるいは子会社を通じて保有している。

CNNCの運転・建設する発電所の一覧を表 1-10 に示す。なお、新設に関しては、中国語版のCNNCホームページに 7 プロジェクト 20 基の準備作業を行うことが国家に承認されている[41]、としている[42]。

---

[38] ATOMICA、中国原子能機構、中国核工業集団公司及び国家核安全局 (13-01-02-03)、http://www.rist.or.jp/atomica/data/dat_detail.php?Title_Key=13-01-02-03

[39] CNNC ホームページ、http://www.cnnc.com.cn/publish/portal0/tab669/

[40] CNNC ホームページ、http://www.cnnc.com.cn/publish/portal0/tab105/

[41] CNNC ホームページ、http://www.cnnc.com.cn/publish/portal0/tab432/

[42] CNNC 英語版ホームページでは、表 1-10 に示すプラントに加え、泰山-II で 1 基が建設中とされており、合計すると 8 プロジェク

また、パキスタンのChashma原発2基の建設を請負、着実にプロジェクトを遂行したとされる[43]。
2013年1月には、アルゼンチンに対して技術移転を行う覚書が締結されている[44]など、海外展開を志向する動きがある。

表1-10 運転中・建設中プラント一覧

サイト名	出力(MWe)	基数	炉型	状況
泰山-I	320	1	PWR	運転中
泰山-II	650	4	PWR	運転中
泰山-III	728	2	CANDU	運転中
田湾	1060	2	PWR(VVER)	運転中
大亜湾	980	2	PWR	運転中
嶺澳	1000	2	PWR	運転中
福清	1080	6	PWR(CPR1000)	3基着工
泰山-I(方家山)	1080	2	PWR(CPR1000)	2基着工
三門	1250	2	PWR(AP1000)	2基着工
昌江	650	2	PWR	2基着工
桃花江	1250	2	PWR(AP1000)	2基計画中
田湾	1060	2	PWR(VVER)	2基着工[45]
田湾	1000	2	PWR (CPR1000)	2基計画中

(出所) CNNCホームページhttp://www.cnnc.com.cn/tabid/661/Default.aspxに、原産協会 世界の原子力発電開発の動向等により加筆修正

(2) 核燃料サイクル関連業務[46]

CNNCホームページによれば、サイクル関連事業として以下の業務を遂行している。

- ウラン探査
  中国国内でウラン資源の探査活動を行っているほか、ニジェール、モンゴル、ナミビアでもウラン資源探査を行っている。また、中国は、ジンバブエ、タンザニア、ザンビア、ロシア、オーストラリアでも鉱山の開発を進めていることが公表されている[47]。
- ウラン資源採掘
  中国国内でウラン資源の採掘活動を行っているほか、ニジェール、カザフスタン等において共同開発をおこなっており、国内供給及び国際市場からの調達により、天然ウランの国内需要を満たす事ができる、としている。CNNCが操業もしくは出資等が確認されているウラン鉱山を表1-11に示す。なお、CNNCは自社が操業もしくは出資等を行っているウラン鉱山について、公式な発表をおこなっていない。下表に示す鉱山群は、OECD/NEAとIAEAが共同で実施した調査結果を参照したものである。

ト・19基となり、中国語版ホームページに記載されている7プロジェクト・20基と整合しない点に留意。

[43] CNNC ホームページ、http://www.cnnc.com.cn/publish/portal0/tab432/info41750.htm
[44] NA-SA ホームページ、2013/1/29、http://www.na-sa.com.ar/news/detail
[45] 毎日新聞、2012/12/29
[46] CNNC ホームページ、http://www.cnnc.com.cn/tabid/662/Default.aspx
[47] 日経新聞、2010/11/18、http://www.nikkei.com/article/DGXDASGM17041_X11C10A1FF1000/

表1-11 CNNCの関与するウラン鉱山

サイト名	年間生産容量 (tU)	操業開始	備考
江西省、Fuzhou （撫州）	350	1966	
江西省、Chongyi （崇義）	150	1979	
陝西省、Lantian （藍田）	100	1993	
新疆ウイグル自治区イリ・カザフ自治州、Yining （伊寧）	330	1993	
遼寧省、Benxi （本渓）	120	1996	
遼寧省、Qinglong（清龍）	100	2007	
広東省、Shaoguan（韶関）	200	2008	
ニジェール、Somina	700	2010	CNUC（中国国核海外铀资源开发公司） 37.2%、ZXJOY Invest 24.8%

（出所） OECD/NEA Uranium2011

・ 燃料製造

ウラン転換、ウラン濃縮等の増強を進めており、CNNCによれば、中国国内で全ての原発向け燃料が供給可能であり、AP1000 向け燃料の製造技術も完全に立ち上げられたとされている。中国の転換、濃縮、燃料成型加工等の燃料製造関連施設を表 1-12 に示す。なお、CNNCは自社が操業するサイクル関連施設について、公式な発表をおこなっていない。下表に示す施設群は電気事業連合会、IAEA INFCIS、日本原子力産業協会等が発表している各種資料を参照したものである。

表1-12 中国国内のサイクル関連施設

種類	サイト名	年間生産容量	操業開始	備考
転換	甘粛省、蘭州	1,000tU	1980	出所：World Nuclear Association (WNA)
	甘粛省、酒泉	500(2,000)tU	N/A	出所：WNA。AREVAによれば、2006 年現在の生産能力は 2,000tUとある。
濃縮	甘粛省、蘭州	500tSWU	2005	出所：電事連 原子力・エネルギー図面集
	陝西省、漢中	1,000tSWU	1997	
成型加工	四川省、宜賓	800tHM	1998	出所：IAEA INFCIS、原産協会 世界の原子力発電開発の動向 2012 年版
	内モンゴル自治区、包頭	200tHM	2010	出所：WNA
再処理	甘粛省、蘭州	50tHM	2006	出所：WNA

(3) 放射線関連技術[48]

CNNCグループは、サイクル関連施設の運営のほか、放射線等の利用に関する応用技術として、以下のような機器類の販売及びサービスの提供を行っている。

・ 放射線医療機器
・ コバルト放射線源による放射線照射サービス
・ 放射線による医薬品製造
・ 爆発物探知装置

[48] CNNC ホームページ、http://www.cnnc.com.cn/publish/portal0/tab434/

- 放射性標識の製造
- 放射性物質検知装置
- ハンドフットクロスモニター（身体汚染検出装置）
- 多目的γ線モニター装置
- 低レベルα線検出装置
- 放射線密度計

1-6-3 業績概要

CNNCグループの業績に関する財務関連情報等は公開されていない。

1-6-4 技術開発概要及び中長期事業計画

現在、中国ではWestinghouse社が有するAP1000 の技術を軸に、一体的な原子力産業を築くことを目指しており、CNNCは中国広東核電集団有限公司（CGNPC）と共同で、ACP1000 及びACPR1000 と呼ばれる、第三世代原子炉の設計を進めているとされている。この二炉型は、能動的安全機能と受動的安全機能の両方を組み合わせた安全設備を持ち、国家核電技術公司（SNPTC）が開発を進める、受動的安全機能に重点を置いたウエスティングハウス社製AP1000 の発展型であるCAP1400 とは設計を異にする。なお、ACP1000 とACPR1000 の設計はほとんど同じであり、開発が完了すれば、CNNCはACP1000 の知的所有権を獲得するとされている。
また、CNNCの子会社である中国原子能科学研究院（CIAE）が高速炉開発を進めており、2011 年 7 月には25MWの実験炉が送電網に接続されている。これは、高速炉開発に関する「3 段階」の戦略の第一段階であり、第二段階として 2022 年までに実証炉の建設、第三段階として 2025 年頃の高速炉商業展開をめざしており、CNNCは 100 万kW級商業用高速炉の開発を進めている[49]。

具体的な中長期事業計画は公表されていないが、既に述べたとおり、国内の原発建設と国内需要を賄うための国内外のウラン鉱山開発を進める一方、近年は資金面・技術面での海外展開を進めており、着実な国内原子力産業展開と、積極的な海外展開を併せた事業展開を目指しているものと考えられる。

[49] WNA, Country Profiles

1-7　Kazatomprom

本項ではカザフスタンの国営原子力企業であるKazatomprom社について、事業・業績・技術等の特徴及び中期の事業計画見通しを概観する。

1-7-1　　企業概要

Kazatomprom社はウランの生産・輸出を行う国営企業である。その他にも地質探査やベリリウム・タンタル等のレアメタルの輸出、非鉄冶金、核燃料サイクル関連製品の製造、発電等も行っており、また原子力発電所の建設も行う、とされている。グループ全体の総従業員数は24,707人（2011年末）を数えており、世界有数のウラン鉱山会社の一つであると言える。本社の所在地はアルマティである。

(1) 設立の経緯

Kazatomprom社は1997年7月14日付の大統領令によって、原子力エネルギー公社（KATEP）を前身として設立された。KATEPは元々、旧ソ連体制下で設立された原子力事業者を束ねるために、独立後の1992年に組織された。

1997年当時カザフスタンのウラン産業は、反ダンピング措置に伴う米国への輸出禁止や、ルーブル通貨の下落に伴うロシアへの輸出減少等の問題を抱え、マーケットの縮小に伴い生産量が落ち込んでいた。またベリリウムやタンタルの生産も事実上ストップする状況にあった。この苦境の中で、生産能力を拡大するとともに新たな技術を導入し、品質の向上と販路の拡大につなげることが目指された。その結果として、1997年時点で795tU（世界第13位）であった同社の天然ウラン生産量は、2000年には1,752tU（同第6位）まで上昇した。ベリリウム及びタンタルの生産量も順調に拡大し、2003年には前者で世界2位、後者で同4位のシェアを占めるに至っている。以後、ロシアの他フランス・日本・中国等各国の企業との協力を深め、技術開発と生産量拡大を続けて現在に至っている。

(2) 株主及びグループ会社の構成

Kazatomprom社の株式は国営ファンドであるSAMRUK-KAZYNAが100%保有している。

子会社は以下の通りである。

表1-13 Kazatomprom社の子会社

事業内容	子会社名（出資割合）
地質調査関連	JSC Volkovgeologia (100%)、LLC Korgan-Kazatomprom (100%)、LLC Bailanys-NAC (100%)
ウラン生産関連	LLC The Mining Company (100%)、LLC Semizbai-U (11%)、LLC Appak (65%)、LLC Karatau (50%)、LLC JV Inkai (40%)、LLC JV Katco (49%)、JSC JV Zarechnoye ATP (49.67%)、LLC JV Betpak-Dala (30%)、LLC Baiken-U (5%)、LLC Kyzylkum (30%)、JSC JV Akbastau (50%)、LLC PA Ortalyk (100%)
核燃料サイクル及び冶金関連	JSC The Ulba Metallurgical Plant (100%)、JSC The Kazakhstan-Russian Company Nuclear Power Plants (50%)、IFASTAR (49%)、Closed JSC JV UKR TVS (33.33%)、Closed JSC Center for Uranium Enrichment (50%)、Open JSC International Center for Uranium Enrichment (10%)
科学・教育関連	LLC Institute of High Technologies (100%)、Kyrgyz-Kazakh Regional Training and Methodical Center Geotechnologial (50%)、LLC KAS (50%)
レアメタル関連	LLC Kyzyltu (76%)、LLC SARECO (51%)、LLC JV KT Rare Metal Company (51%)
社会環境関連	LLC Kazatomprom-Demeu (72%)
エネルギー資源関連	LLC MAEK-Kazatomprom (100%)、LLC EcoEnergoMash (100%)、LLC Astana Solar (100%)、LLC Bergstein (100%)、LLC Quartz (100%)、LLC MK Kaz Silicon (100%)

（出所） Annual Report 2011
注：括弧内は株式保有率を示す

1-7-2 主要事業

Kazatomprom社は自社の主要事業として以下の7つを挙げている。

- ウラン鉱山の開発、生産
- 原子燃料サイクルの確立と加工済原子燃料の生産
- 原子力発電プラントの建設
- 非鉄金属及び建設用資材の生産
- 電力事業
- 科学技術開発
- 人材育成

これらのうち収益の上で大きなものは、ウラン生産・輸出を中心とした核燃料サイクル事業と、ベリリウム・タンタル等の非鉄金属（レアメタル）事業、発電・熱供給事業である。その概要を以下に示す。

(1) 核燃料サイクル事業

Kazatompromの最も主要な事業はウランの生産から成型加工、原子力発電所の建設に至る核燃料サイクル事業であり、同社はこの分野で世界有数の多国籍企業となることを経営の主眼としている。核燃料サイクル全体のうち、現状で実施しているものはウラン生産・精錬、再転換と成型加工であるが、今後、転換、濃縮、原子力発電所の建設・運転といった分野に進出することを目指している。一方で、再処理・廃棄物処分には進出しない、とも述べている。

カザフスタンのウラン生産量は急速な拡大を続けており、2011年には19,500tUに達した。このうちKazatompromグループでの生産は11,079tUと、60%弱を占めている（カザフスタン国内のウラン鉱山は全てKazatompromが関与しているが、多数の鉱山で海外企業との合弁で生産をしているため、同社の生産分は

100%とはならない）。2015 年には生産量を 13,789tUまで拡大することが目指されている。
現在同社の保有する確認ウラン埋蔵量は 61.1 万tU、推定・潜在埋蔵量は 37.6 万tUとしている。図 1-37 に示すウラン鉱山において運営・生産を行っている。カザフスタン国内のウラン鉱山は砂岩層にあり、安価かつ環境影響の少ないIn-Situ Leaching（ISL）法による生産に適していることが特徴である。

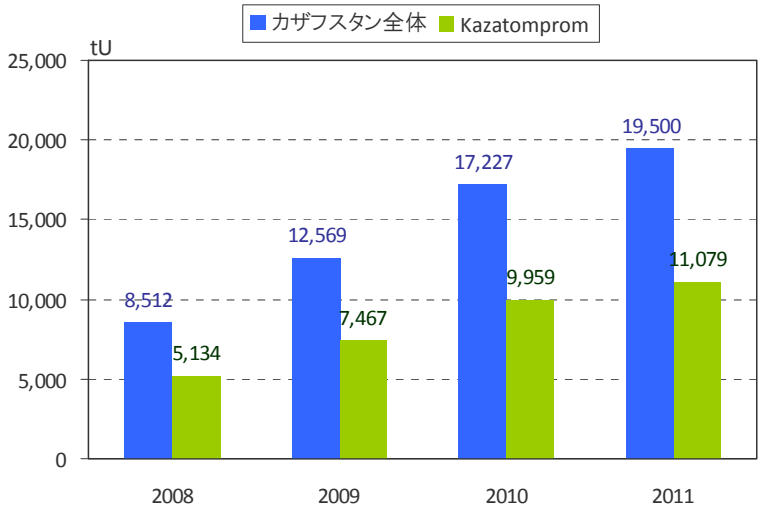


図1-36 ウラン生産量の推移

（出所） Annual Report 2011

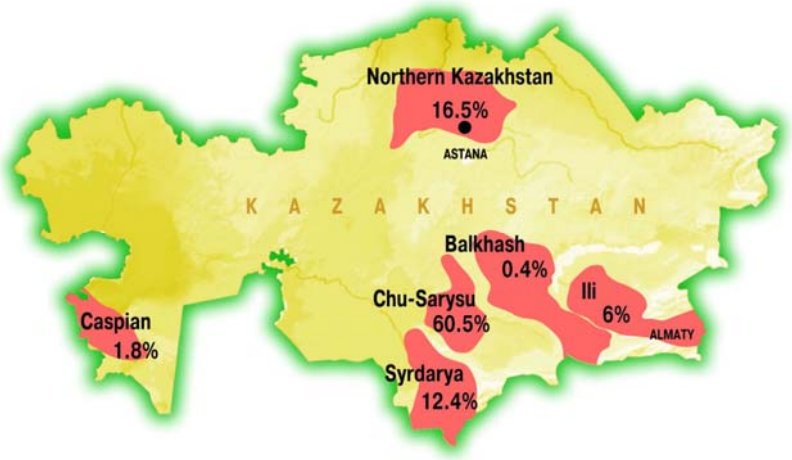


図1-37 カザフスタン国内のウラン鉱床

（出所） Kazatomprom社HP

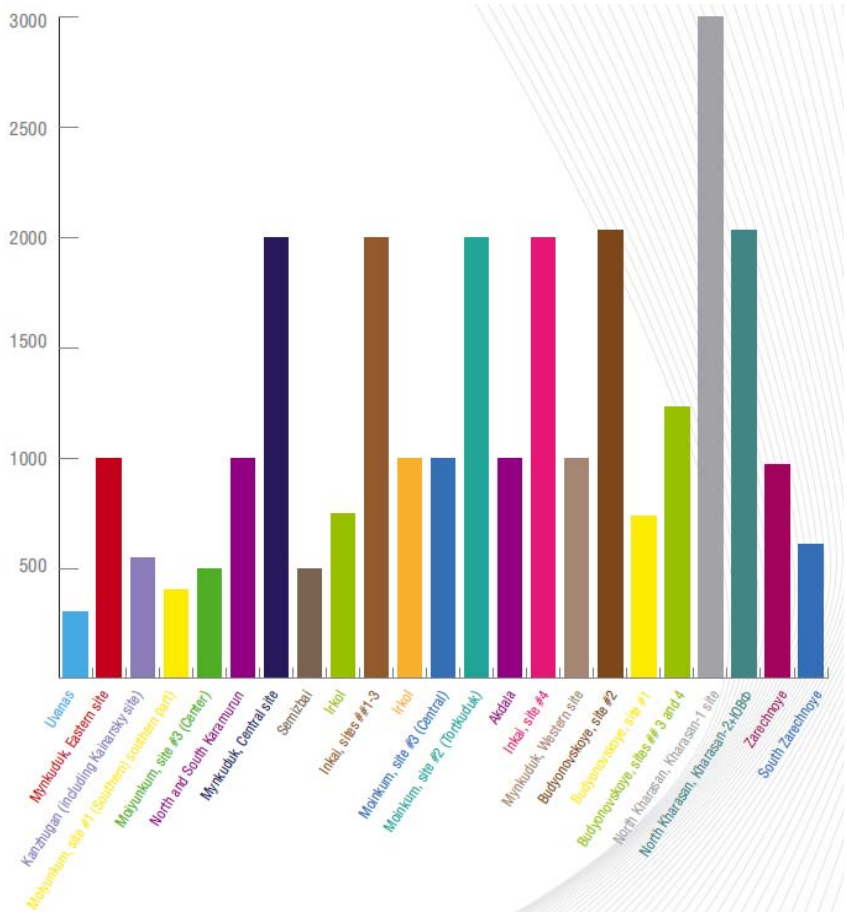


図1-38 ウラン鉱山の設計生産能力（単位：tU）

（出所） Annual Report 2011

(2) レアメタル事業

レアメタル事業もKazatomprom社の事業の中で大きな位置を占めるものとなっている。中でもベリリウムとタンタルの生産が中心である。

ベリリウムは100%子会社であるJSC The Ulba Metallurgical Plant（UMP）社が生産を行っており、2011年の生産量は107トン（世界の生産量に占めるシェア26.3%）であった。2015年には122トンまで生産量を拡大する方針である。国際熱核融合実験炉（ITER）プロジェクトにもベリリウムを供給している。

タンタルの生産もUMP社によって行われている。2011年の生産量は216トンで、世界の生産量に占めるシェアは13.0%であった。

レアメタル分野でも海外との協力が進められており、2010年には住友商事との合弁でSARECO（Summit Atom Rare Earth Company）社を、2011年には東芝と合弁でKT Rare Metals社を立上げている（ともにKazatomprom社が株式の51%を保有）。SARECO社はウラン鉱石残渣からレアアースを回収するものであり、2012年11月に正式に工場を開所した。

(3) 発電・熱供給事業等

Kazatomprom社の100%子会社であるLLC MAEK-Kazatomprom社が火力発電・熱供給及び塩水淡水化の事業を行っている。2011年に同社は4,506 GWhの発電と、299万Gcalの熱供給を行った。後述のように発電・熱供給事業による収益はKazatompromの中ではウラン生産に次ぐ大きな位置を占めており、今後も発電・熱供給量を拡大する方針である。

1-7-3　　業績概要[50]

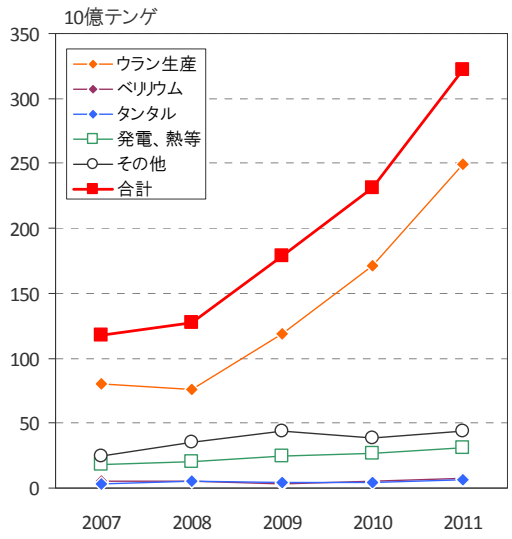
(1) セグメント別業績

2011 年のKazatomprom社の売上高は前年比 39%増の 3,220 億テンゲ[51]、営業利益は 866 億テンゲで、営業利益率は 27%であった（図 1-39）。売上高の 78%をウラン生産が、9%を発電・熱供給等の事業が占める一方で、ベリリウム及びタンタルの比率はそれぞれ 2%程度に過ぎない。ウラン生産量の増大に伴いウラン生産部門の売上高が急速に拡大しており、それに応じて全体の売上高及び営業利益が推移している。但しKazatomprom社は今後のリスクとして、ウラン価格低下のリスクやウラン採掘（ISL法）に必要な硫酸が不足するリスク、金融リスク、原子力の安全に関するリスク、法的リスク等を挙げている。硫酸不足に対しては既に硫酸製造プラントの建設を進めて自社生産による供給確保を目指しており、2011 年時点では供給を全て外部調達に頼っていたのに対し、2015 年には硫酸の自社生産比率を 22%まで拡大することを目指している。

図 1-40 は売上高の国別シェアを示したものである。2007 年から 2011 年にかけて米国への売上が 284 億テンゲ（シェア 24%）から 64 億テンゲ（2%）へと縮小する一方で、中国への売上が 135 億テンゲ（11%）から 1,240 億テンゲ（40%）へと拡大している。日本への売上も 139 億テンゲから 338 億テンゲへと拡大しているが、シェアは 12%から 10%と微減となっている。

[50] Kazatomprom 社 Consolidated Financial Statements for 2007-2009、2010、2011 による。
[51] 2013 年 3 月現在、100 テンゲは約 62 円、約 0.66 ドルである。

部門別売上高



営業利益

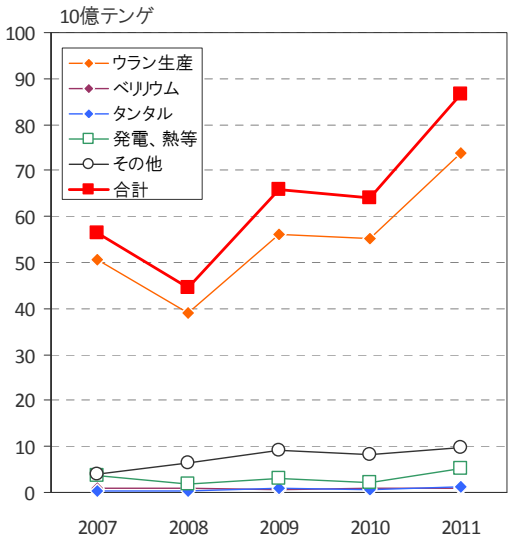
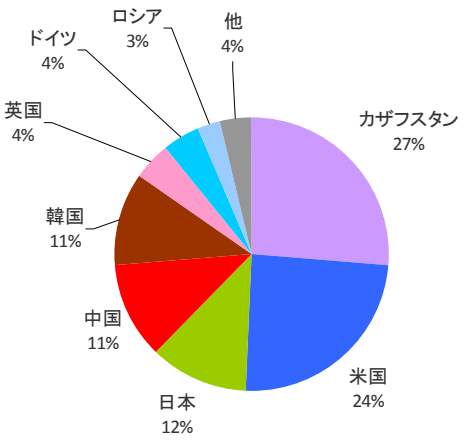


図1-39 部門別売上高及び営業利益の推移

2007 年



2011 年

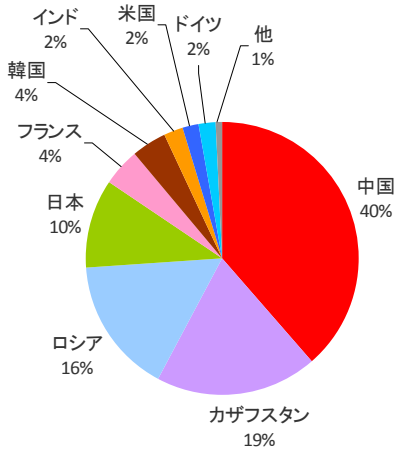


図1-40 売上高の国別シェア

図 1-41 はセグメント別の業績推移を示したものである。2010 年から 2011 年にかけて、各部門ともに売上高が増加しているが、中でも規模が大きく、かつ利益率が高いのはウラン生産である。また発電・熱供給部門も規模が拡大している。

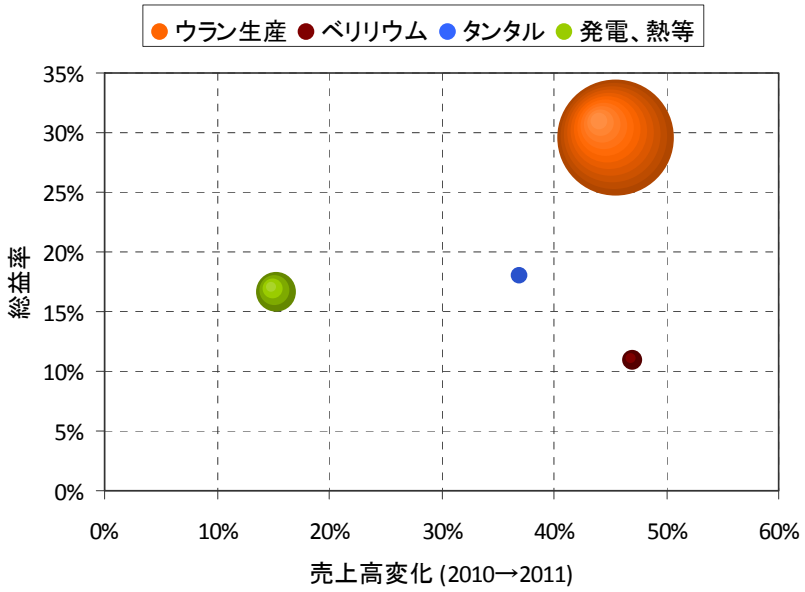


図1-41 2010 年～2011 年の部門別業績推移

(2) キャッシュフロー推移

図 1-42 にキャッシュフローの推移を示す。営業キャッシュフローは 2008 年以降、上昇傾向にある。投資キャッシュフローや財務キャッシュフローの負のために2009年及び2010年では現金及び現金等価物の純増加が負となっているが、2011 年には営業キャッシュフローの増加のため、正に転じている。これらの状況から、積極的な投資活動にかかる資金を、借金等の財務活動で賄っている状況が判る。

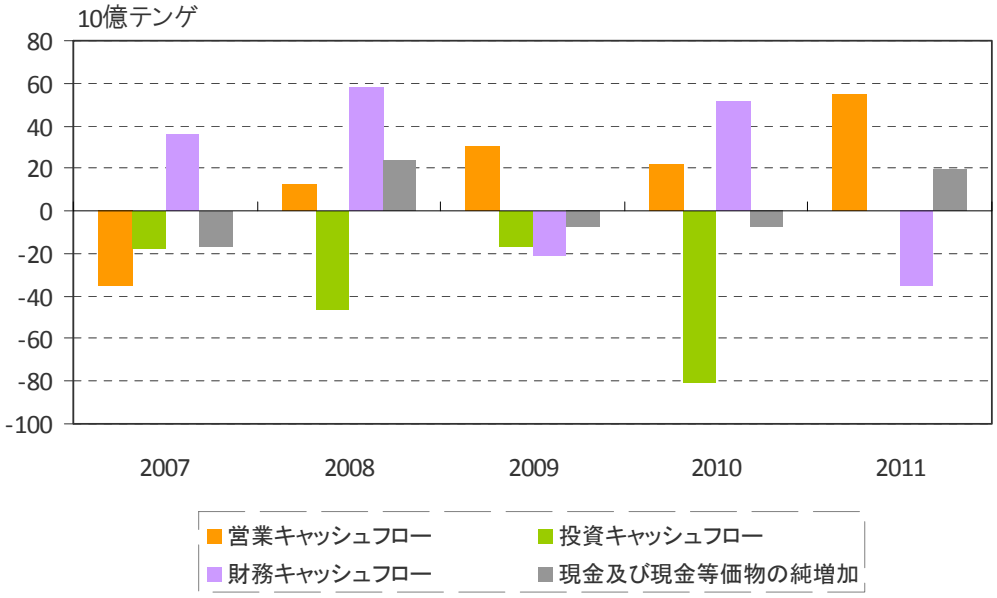


図1-42 2010 年～2011 年の部門別業績推移

1-7-4　　技術開発概要及び中長期事業計画

上述の通り、Kazatomprom社は今後、再処理及び廃棄物処分を除く核燃料サイクルの全ての部分を手がける垂直統合型の企業となるべく、国外、特にロシアの企業との協力を含めた取組みを積極的に推進している。

ウラン濃縮に関しては、2006 年に露Techsnabexport社と合弁でJSC Center for Uranium Enrichment（資本比率は互いに 50%）を設立した。また 2007 年に立ち上げられた国際ウラン濃縮センター（International Center for Uranium Enrichment：ICUE）にも 10%参画しており、これらの合弁事業を通じてウラン濃縮事業を実施し、更に濃縮能力を高めてゆく方針である。

また原子力発電プラント建設については、露Atomstroyexport社との間でJSC The Kazakhstan-Russian Company Nuclear Power Plants（資本比率 50%）を設立しており、これにより小型船舶用原子炉の技術をベースとした第 3+世代中型炉（30～60 万kW）VBER-300 の開発を進めている。2 基のVBER-300 を西部マンギスタウ州アクタウ近郊に建設することが検討されている。

またKazatomprom社は太陽光発電、ヒートポンプ、風力発電等の事業への進出も目指している。2011 年にはシリコン結晶や太陽光パネル生産に関わる企業（Quartz社、MK Kaz Silicon社及びBergstein社）を買収し、それらの技術によって太陽光パネルの生産を行うべく、Astana Solar社を立ち上げた。また仏CEAとも覚書を交し、太陽光発電の分野でR&Dの協力を行うこととしている。

1-8　ARMZ Uranium Holding Co.（ARMZ）

本項ではロシアのウラン採掘企業であるARMZ社について、会社設立の経緯・主要な事業・業績・技術等の特徴を概観する[52]。

1-8-1　　企業概要

AtomRedMetZoloto(ARMZ)は、2007 年にAtomenergopromの子会社としてTENEXとTVELからウラン採掘・炭鉱資源を引き継いだ国営のウラン採掘・炭鉱企業[53]である。同社は合計で 19 のプロジェクト、ウラン資源量が 400,000tUの権益をRosnedraから移管されており、うち 340,000tUがElkonskiy地区のものであり、残りの 60,000tUはStreltsovskiyとVitimskiy地区のものとなっている。資源量ベースで現在世界第二位、ウラン生産量でトップ３のウラン採掘企業であり、2011 年現在では、ロシアと諸外国において 7091.2tUを生産している。

(1) 設立経緯

ARMZは 1991 年に設立され、ソ連崩壊後に世界最大のウラン生産施設を引き継いだ。同社は旧ソ連諸国の６カ国に拠点を置いており、ウラン採掘と同時に金の採掘やレアメタルの採掘も行っている。また、採掘事業に加えて鉱石の処理プラントの設計なども行っている。その後、2007 年にロシアの原子力産業がRosatomに統合されることに伴ってARMZもRosatomの子会社となった。そして、ロシア国内外におけるロシアの原子力企業へのウラン供給事業者として、Rosatom傘下で新たな目標と役割を担うことを期待され、社名をARMZ Uranium Holding Co.,と改めている。ロシアの原子力産業の再編成に伴って、海外政府や企業がウラン採掘事業を行う際には、ロシア国内の全ての鉱山はもとより、旧ソ連諸国や諸外国との合弁企業（JV）に関しても、ARMZと共同で事業を進める事としている。

なお、2013 年 2 月現在のARMZの株式保有者と割合は表 1-14 の通りである。

表1-14 ARMZの株主

企業名	保有割合(%)
Atomenergoprom	80.475
TVEL	18.081
Rosatom	1.444

(2) 事業所及び従業員数

支店及び下請けを含めて、ロシア国内の従業員は 10,000 人以上である。ARMZは、ロシア以外の諸外国にも事業を展開している。事業展開先を図 1-43 に示す。なお、ARMZの本社はモスクワにある。

[52] 本項の情報出所は、特に注釈がない限り、ARMZ ホームページ（http://www.armz.ru/eng/）及び WNA Coutry Briefings による。
[53] 1992 年に旧ソ連の資源を引き継ぐ組織として ARMZ が設立された後、ロシアの原子力関連企業再編によって現在の形に再編成された。

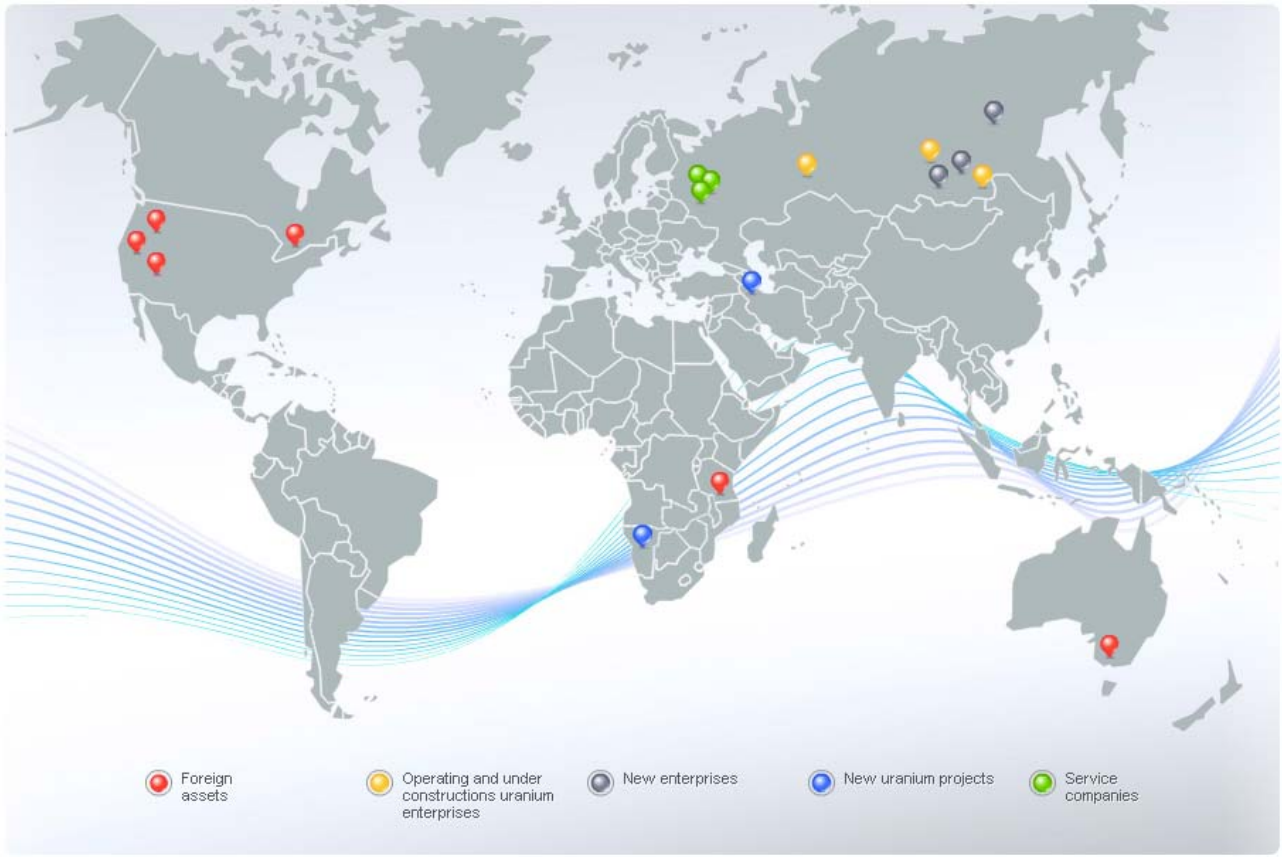


図1-43 ARMZのプロジェクト展開地図

（出所） ARMZホームページ、http://www.armz.ru/eng/companies/map/

1-8-2 主要業務

ARMZの事業の主目的は、ロシア原子力関連企業へのウランの安定供給である。このためにウラン供給源の多様化、積極的な投資、海外での合弁企業（JV）設立による提携事業などを推進している。ロシア国家の戦略的企業であるため安定供給の観点から、主に長期契約を中心として事業を行っている。ARMZは探鉱、採掘、精錬までを担当し、以降の転換、濃縮等はROSATOM（TVEL）が担当する構造となっている。

ARMZは現在、2010 年に 51.4%の株式を取得したUranium One Inc[54]及び 2011 年に 100%の株式を取得したMantra Resources Limitedによるものを含めて、9 カ国でウラン鉱山の開発を進めている。40 年に亘って種々の鉱床の採掘経験があり、地形・気候に関して豊富な経験を有していることが同社の強みである。現在は、豊富な経験を元に炭鉱掘りとIn Situ Leaching法（ISL法）をプロジェクト毎に組み合わせて事業を実施している。主な顧客は、ロシア国内の燃料成型加工企業であるTVELや、濃縮ウラン輸出事業者であるTENEXである。一方で、ロシア国外の国際的な核燃料製品・サービス市場への参画も視野に入れている。

ARMZが保有する、主要なウラン鉱山権益を表 1-15 に示す。

[54] 2013 年 1 月 14 日、Uranium One Inc の残余株式を全て ARMZ が 13 億米ドルで取得し、100%子会社化することを決定している。なお、実際の株式譲渡は Uranium One Inc の株式総会で承認後に行われる予定。
出所：http://forbes.kz/process/economy/kazahstanskiy_uran_perehodit_pod_polnyiy_kontrol_rossii

表1-15 ARMZが保有する主要なウラン権益

操業者・プロジェクト名	鉱山の位置	備考
Priargunsky Industrial Mining and Chemical Union	Priargunsky、Trans-Baikal Territory, Krasnokamensk（ロシア）	生産量3,000tU/年。2011年産出量2,191tU、坑内鉱山。No8鉱山開発中、近代化工事実施中
Dalur	Kurgan Region（ロシア）	生産量800tU/年。2011年生産量535.2tU、ISL法
Khiagda	Republic of Buryatia（ロシア）	2011年生産量266.4tU、ISL法、2019年に1,800tU/まで拡張予定
Uranium One	ZARECHNOYE, JSC JV Akbastau, Karatau, LLP Betpak Dala, LLP Kyzylkum（カザフスタン）	ARMZはUranium Oneに51.4%出資、出資比率を100%に増やす予定
Elkon Mining Metallurgical Plant (Elkon MMP)	Republic of Sakha(ロシア)	生産能力5,000tU/年の計画。開発(FS)中。
JSC Lunnoe joint venture	Republic of Sakha(ロシア)	JSC Zoloto Seligdaraとの合弁でARMZは51%出資。2014年採掘開始予定
Gornoe Uranium Mining Company	Trans-Baikal territory（ロシア）	当初500tU/年、最大1,000tU/年での操業を計画中
JSC OMCC	Chernyshev District, Trans-Baikal territory（ロシア）	600tU/年の計画。埋蔵量11,726tU
Mantra Resources Limited	Mkuju River（タンザニア）	埋蔵量は45,900tU。オペレータはUranium One
Armenian-Russian Mining Co. (ARMC)	（アルメニア）	アルメニアエネルギー天然資源省との合弁会社。2008年設立、2009年ウラン探査許可取得。

1-8-3 業績概要

ARMZの売上高及びウラン生産量の推移を図1-44に示す。2006年の売上高はわずかに33.4百万ルーブルであった[55]が、2007年以降急速に売上を伸ばしており、2011年の売上高は44,495百万ルーブルまで増大している。ウラン生産量も増大を続けており、2006年の3,190tUから2011年には7,091tUと、倍以上に増大している。営業利益も売上高に合わせて順調に増大している。2011年には一転して営業利益が1/4（13,104→3,200百万ルーブル）となったが、これはMantra Resources Ltdの買収にかかる費用（11.6億ドル）の負担によるものと考えられる。

[55] Annual Report 等に特段の注記は無いが、ARMZ の示す売上高には、ROSATOM 等のグループ企業内向けの売上、いわゆる内販分は含まれていないと考えられる。

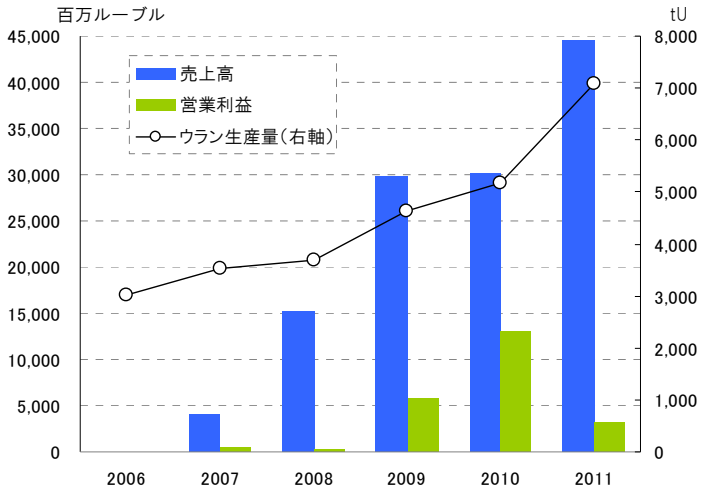


図1-44 ARMZの売上高とウラン生産量の推移

（出所） ARMZ社 Annual Report 2011～2006 よりエネ研作成

1-8-4 技術開発概要及び中長期事業計画

世界トップ3のウラン鉱山会社としての確固たる地位を築き、国際的なウラン販売活動を進めることを事業目標として据えており、Uranium One及びMantra Resources Limitedの買収も、その事業目標を達成するための重要なステップと位置づけている。2030年まで、ウラン生産と加工がARMZのコアビジネスであるとしている。

そのため、積極的な権益獲得と生産拡大を進めており、2006年に発表された計画[56]では、2020年の生産量は28,600tU_3O_8/年を目指すとしており、内18,000 tU_3O_8/年はロシア国内から、残りをカザフスタン、ウクライナ、ウズベキスタン、モンゴル他の諸外国で開発する計画である。

ARMZのウラン生産量拡大見通しを図1-45に示す。

[56] 近年のAnnual Reportではこの計画の遂行状況等は触れられておらず、新たな計画も提起されていない。

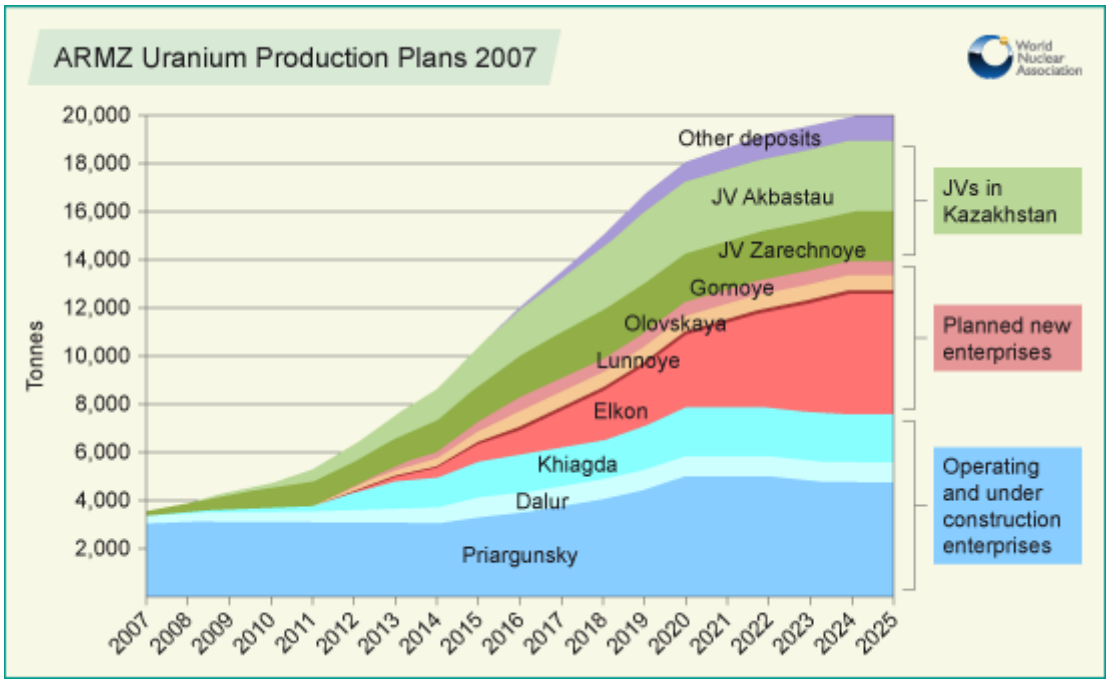


図1-45 ARMZのウラン生産量見通し

（出所） World Nuclear Assosiation、http://www.world-nuclear.org/info/inf45a_Russia_nuclear_fuel_cycle.html

1-9　TVEL Fuel Company（TVEL)

本項ではロシアの燃料製造企業であるTVEL Fuel Companyについて、会社設立の経緯・主要な事業・業績・技術等の特徴を概観する[57]。

1-9-1　　企業概要

TVEL Fuel Company（TVEL）は、2009 年に設置されたAtomenergopromの子会社であり、フロントエンド業務である転換、濃縮、再転換、燃料成型加工業務を行っている。国内及びヨーロッパ、アジアの 15 カ国にある 76 基への燃料供給を果たしているほか、世界各国 30 基の研究炉向け燃料も供給している。また、原子力関連以外ではジルコニウム、リチウム、カルシウム、磁石、薄肉菅、研磨粉、ケーブル添加システム、ゼオライト触媒他の素材の供給も行っている。供給先は国内のほか、CIS諸国（ウクライナ、アルメニア)、中・東欧（ブルガリア、ハンガリー、スロバキア、チェコ、フィンランド)、西欧諸国、アジア諸国と多岐に渡る。

(1) 設立経緯

TVELは、1991 年に原子力省の第三番目の技術部門として設立されたことに始まり、1996 年には、100%国有企業としてTVELが設置された。2007 年に原子力庁が国有の原子力企業であるRosatomとして再編された後の 2009 年にRosatomは燃料製造企業としてTVELの設置を承認し、TVELが正式に発足した。

(2) 事業所及び従業員数

ロシア国内は、南東部のChita地域から中央のMoscow地域の広い範囲に事業所を持ち、約 40,000 名が雇用されている。TVELの保有する施設の位置を図 1-46 に示す。なお、本社はモスクワにある。

[57] 本項の情報出所は、特に注釈がない限り、TVEL ホームページ（http://www.tvel.ru/wps/wcm/connect/tvel/tvelsite.eng/）及びAnnual report 2011 による。

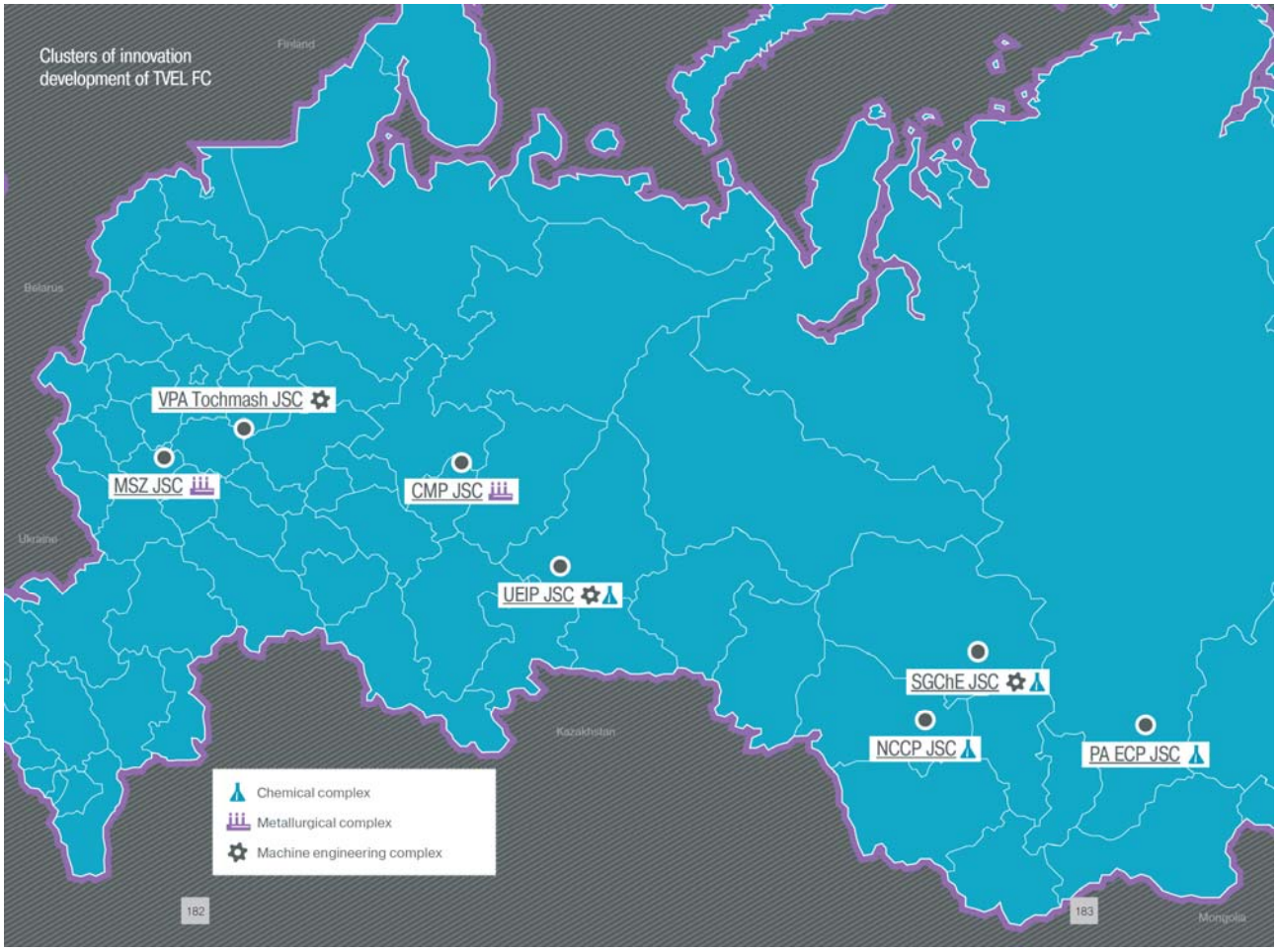


図1-46 TVELの施設図

（出所） TVEL Annual report 2011

1-9-2 主要業務

TVELは、精錬されたウラン・ジルコニウム精鉱等の素材から原子燃料を製造するところまでを担っており、ウラン転換、濃縮、燃料成型加工をおこなっている（ウラン採掘、精錬はARMZが担う範囲）。また、ウラン濃縮用遠心分離機の製造もおこなっている。TVELグループの主要な業務範囲を図1-47に示す。以下ではTVELの各部門の概要を記述する。

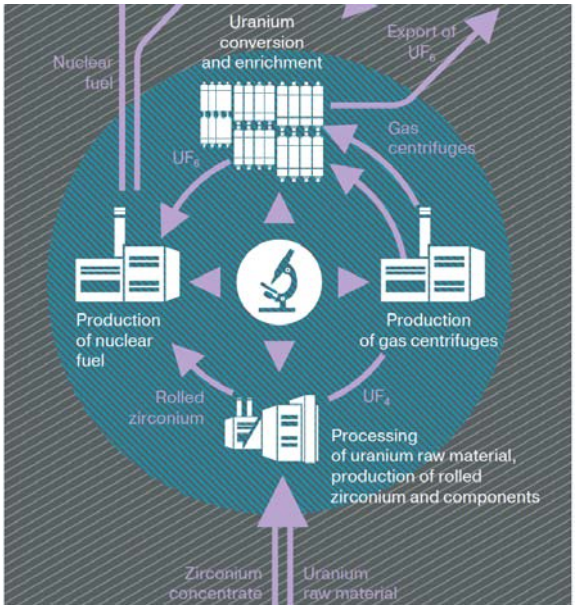


図1-47 TVELの主要業務範囲

（出所） TVEL Annual report 2011

(1) 原子燃料製造部門

燃料の製造は、モスクワ州、Elektrostalにある、Mashinostroitelny zavod（MSZ）が操業する施設と、ノヴォシビルスク州、Nobosibirskにある、ノヴォシビルスク集中化学プラント（Novosibirsk Chemical Concentrates Plant：NCCP）が操業する施設がある。MSZの施設では、VVER-440, VVER-1000, RBMK-1000,RBMK-1500, BN-600, EGP-6, PWR向けの燃料のほか、研究炉向けの燃料も製造している。NCCPの施設では、VVER-1000 向けの燃料と研究炉向けの燃料を製造している。

年間生産能力は、両施設併せて年間 1,400tとされている。また、MSZの施設では再処理時に生じた回収ウランの転換を行っており、年間設備容量は 700tUである。当初はVVER-440 燃料の再処理により生じた回収ウランを転換していたが、後にイギリスSellafieldでの再処理により生じた回収ウランも転換している[58]。

なお、ウドムルト共和国、Glazovにはジルコニウム合金等を製造する施設が、Moscowには VVER-1000,RBMK-1000,RBMK-1500,BN-600,研究炉等向けの制御棒を始めとするプラント資機材を製造する施設がそれぞれあり、これらの施設は原子燃料製造部門の一部とされている。

図 1-48 に示すとおり、2011 年には、7,563 体の燃料を製造しており、総量 1,583tUのセラミック燃料ペレットを製造している。また、燃料の多くはロシア及び欧州に販売されている。

製品	製造数（体）
VVER-1000	1289
VVER-440	1769
RBMK	3210
BN-600	405
EGP-6	144
Research reactors	630
Other PWR	116
合計	7563

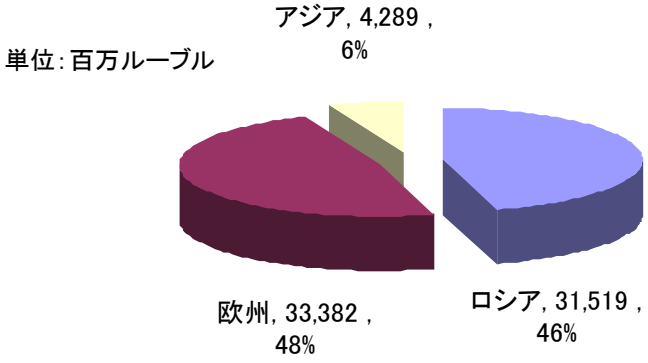


図1-48 2011 年の燃料製造体数と販売先（売上ベース）

[58] World Nuclear Assosiation、http://www.world-nuclear.org/info/inf45a_Russia_nuclear_fuel_cycle.html

(2) 濃縮関連部門

ウラン濃縮は、表 1-16 に示すとおり、ロシア国内 4 施設でおこなわれている。ノヴォウラルスク及びゼレノゴルスクの濃縮施設では、テイルウランの再濃縮が行われている。また、セヴェルスクでは、再処理によって生じた回収ウランの濃縮をおこなっている[59]。

表1-16 TVELが所有する濃縮施設

事業者	施設所在地	濃縮方法	設備規模 (tSWU/年)
アンガルスク電解化学コンビナート Angarsk Electrolysis Chemical Complex(AECC)	イルクーツク州アンガルスク	遠心分離	2,600
ウラル電気化学コンビナート Ural Electrochemical Integrated Plant(UEIP)	スヴェルドロフスク州ノヴォウラルスク	遠心分離	10,000
生産合同電気化学コンビナート Production Association "Electrochemical Plant" (PA ECP)	クラスノヤルスク地方ゼレノゴルスク	遠心分離	8,700
シベリア化学コンビナート Siberian Group of Chemical Enterprises(SGChE)	トムスク州セヴェルスク	遠心分離	3,000

(出所)　TVELホームページ、設備規模はWorld Nuclear Assosiationによる 2011 年初頭の値

また、TVELの転換施設は表 1-17 に示すとおり濃縮施設に併設されており、TVELの事業区分では、濃縮関連部門に整理されている。なお、既に述べたElektrostalにある回収ウランの転換施設は、Annual Reportの濃縮関連部門には記載が無く、原子燃料製造部門に分類されているものと考えられる。

表1-17 TVELが所有する転換施設

事業者	施設所在地	種別	設備規模 (tU/年)
アンガルスク電解化学コンビナート	イルクーツク州アンガルスク	転換	18,700
シベリア化学コンビナート	トムスク州セヴェルスク	転換	不明

(出所)　TVELホームページ、設備規模はWorld Nuclear Assosiationによる

(3) 遠心器製造部門

ウランを濃縮するための、遠心濃縮器を製造する施設がこの部門に整理されている。ウラジミール州Vladimirにある Vladimir Production Amalgation "Tochmash"、同じくウラジミール州Kovrovにある Kovrov Mechanical Plantにて遠心器が製造されている。

(4) 研究開発部門

モスクワにあるA. A. Bochvar High-Technology Research Institute of Inorganic Matirials (VNIINM) では、新型原子燃料や燃料ピンの開発、再処理や放射性廃棄物取扱に関する研究のほか、低・高温超電導物質の開発や、ナノマテリアル、レアアース、超高純度材料の製造等の原子力関連以外の研究も携わっている。

[59] World Nuclear Assosiation、http://www.world-nuclear.org/info/inf45a_Russia_nuclear_fuel_cycle.html

1-9-3　　業績概要

TVEL JSCの売上高及び営業利益の推移を図 1-49 に示す。売上高、営業利益とも順調に増加しており、2011 年の売上高は 1,047 億ルーブル（前年比+61%）、営業利益は 278 億ルーブル（前年比+85%）であった。なお、TVELグループ（FC TVEL）の 2011 年の売上高は 1260 億ルーブル（前年比+3.8%）、営業利益は 283 億ルーブル（前年比+7.1%）であった。

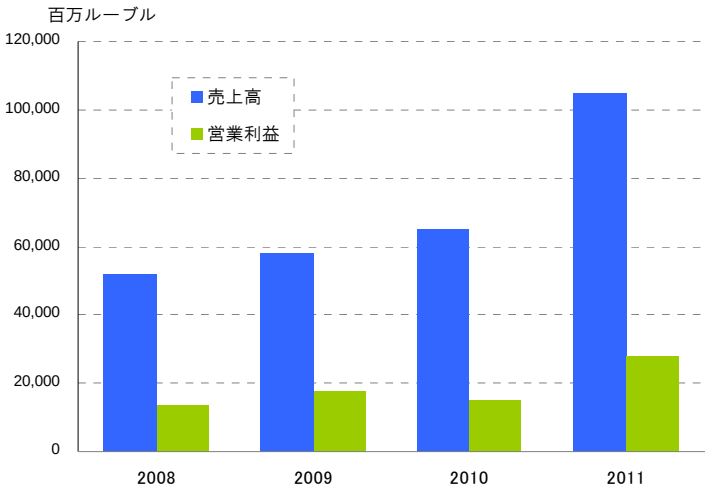


図1-49 TVEL JSCの売上高と営業利益

（出所）　TVEL Annual report 2010、2011

1-9-4　　技術開発概要及び中長期事業計画

現在、第 9 世代型の遠心分離機の開発が完了しており、各濃縮施設では第 8 世代から第 9 世代への置き換えが行われている。この第 9 世代とは、実際に量産が導入されたものだけを数えての世代である。ここ最近 30 年間の年間故障率は 0.1%と比類の無い成果を挙げているが、その集大成として送り出されたものである。第 9 世代は量産された「超共振型」遠心器の第一号であるとされており、第 5 世代と比較して分離能は 5 倍に増していると報じられている[60]。2011 年には 6 ブロックが第 9 世代に交換されており、2012 年には 8 ブロックを交換する予定としている。

[60] Атомные связи、2012/11/9、http://www.atomic-energy.ru/news/2012/11/09/37128

1-10　URENCO

本項では、欧米諸国でウラン濃縮事業を行っているURENCO社について、会社設立の経緯・主要な事業・業績・技術等の特徴を概観する[61]。

1-10-1　　企業概要

URENCO社は世界の核燃料サイクル事業において、ウランの分離濃縮技術に関して世界シェアの29%を占めている濃縮事業のリーディングカンパニーである。同社の事業は、主に欧州で子会社の運営を通じて展開されている。また、同社は民間企業であるが株式を市場の公開しておらず、非公開株式の構成は3分の1を英国政府、3分の1をオランダ政府、残りの3分の1をドイツの電力会社であるRWE POWER AG及びE.ON Kernkraft GmbHが有している。

(1) 設立経緯

URENCOは1971年にドイツ、オランダ、英国間でのアルメロ条約[62]の締結に伴って設立された。各国共同で設置された委員会では、濃縮ウランの輸出など、核不拡散に関する問題に関してIAEA、EURATOMの保障措置枠組み[63]を考慮している。

URENCOの事業拡大に伴って各国で新たな条約を締結している。米国で濃縮事業を進めるにあたって、1992年には米国も交えて条約が結ばれている。また、2005年にはAREVAとの合弁企業（JV）を設立するために、フランスはアルメロ条約に沿った形で新たな条約を締結している。

(2) 経営体制

URENCOは濃縮ウランの生産、販売等を担当する子会社としてUrenco Enrichment Company Limited (“UEC”)を有しており、その子会社として英国(Capenhurst)、ドイツ(Gronau)、オランダ(Almelo)に濃縮事業会社を有している。また、米国では別子会社であるLouisiana Energy Services LLC (“LES”)が濃縮事業を行っている。ニューメキシコ州に濃縮施設持っている。フランスでは、AREVAと共同で遠心分離機の開発、製造、プラントエンジニアリング等を担当するJVであるEnrichment Technology Company Limited (“ETC”)を設立しており、英国、ドイツ、オランダ、フランス、米国の各子会社にガス拡散濃縮プラントの供与を行っている[64]。

表1-18にURENCOの所有する濃縮施設一覧を示す。

---

61 本項の情報出所は、特に断らない限り、Urenco ホームページ（http://www.urenco.com/）を参照。

62 英国、オランダ、ドイツの三国間で濃縮用遠心分離技術開発に関して三国共同で取り組むとした条約.

63 IAEAの保障措置には、核不拡散条約に基づくものと、任意にIAEAと協定を結ぶものがあり、代表的なものとして包括的保障措置協定などがある。また、保障措置強化のために別途追加議定書と呼ばれる規定があり、より広範囲な査察活動などが認められている。具体的な内容は6章を参照。

64 既存技術のガス拡散を供与する事で需要増に対応する一方、より高効率な遠心分離技術の開発を進める事で、幅広い技術を持つ濃縮事業者としてのシェアを高める狙いがあると考えられる。

表1-18 URENCOのウラン濃縮施設一覧

所在地	年間生産容量（tSWU/年）	備考
チェシャー州カーペンハースト（英）	5,000	
ノルトライン＝ヴェストファーレン州グロナウ（独）	4,200	
オーファーアイセル州アルメロ（蘭）	5,000	
ニューメキシコ州、ユーニス（Louisiana Energy Services）（米）	400	2015 年に 2,000tSWU/年まで増強予定、5,700tSWU/年までの増強計画あり

（出所） URENCOホームページ、設備容量データは 2011 年 12 月末現在

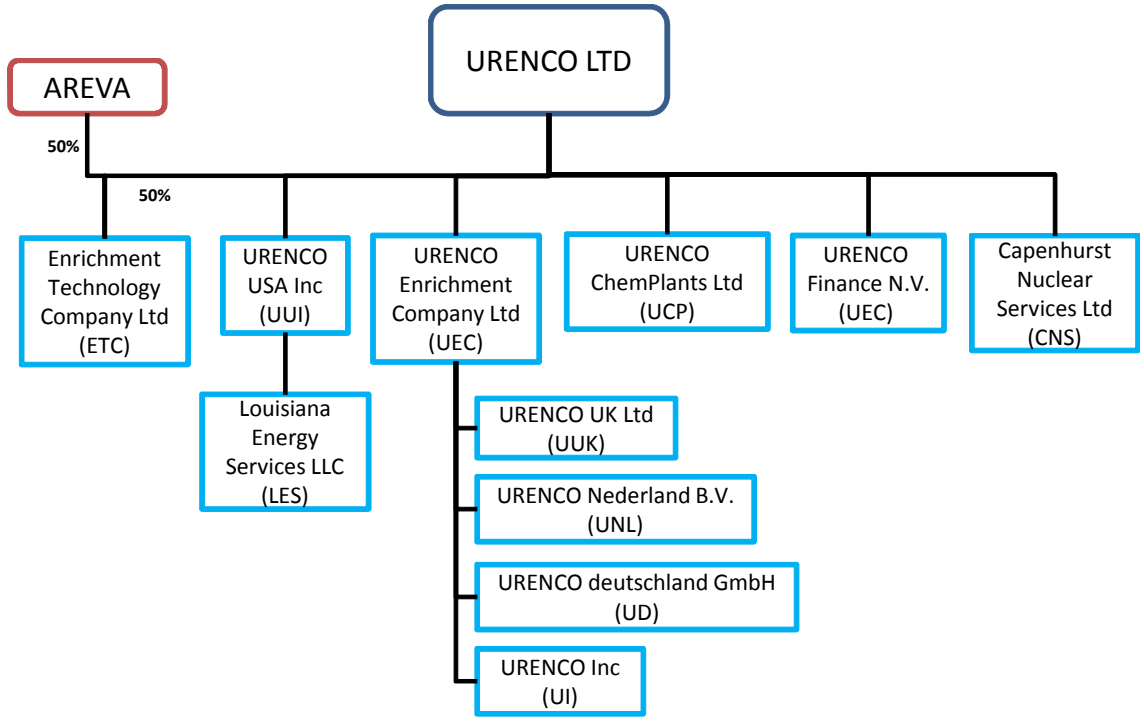


図1-50 URENCO社組織図

（出所） URENCO HPより作成。Enrichment Technology Company Ltd (ETC)についてはAREVAとURENCOが 50%/50%の割合で共同出資を行っている。

1-10-2 主要事業

URENCOは、英国(Capenhurst)、ドイツ(Gronau)、オランダ(Almelo)で濃縮プラントを運営しており、ウラン濃縮分野においては世界屈指の技術力を有している。また、市場でのシェアの拡大と共に、ウラン濃縮供給のリーディングカンパニーとして濃縮市場そのものの拡大も目指している。原子力を化石燃料代替の持続可能なエネルギーの一つと捉えれば、原子力に関する不確実性の低減のために濃縮事業の充実と燃料供給の安全性・信頼性の向上が欠かせない。そのためにURENCOは独自の分離技術[65]を活用する事で、顧客に対して燃料供給の確保と価格の安定化を実現している。同社の有する濃縮設備容量は 2011 年末現在で 14,200tSWUに上る。今後は、各工場の拡張や米国で計画中の濃縮工場の運開によって、2015 年には 18,000tSWUまで拡大する見込み。

[65] 濃縮技術の詳細はブラックボックスであるが、核拡散と密接に結びつく濃縮事業を英、オランダ、ドイツと国を横断して事業を行っていることから、機密性の高さなどに特徴があると考えられる。

1-10-3　　業績概要

2011 年は福島第一原発事故を受けて、日本及びドイツでの需要が減少したものの、その影響は限定的であり、契約済みの案件に取り組み続けた結果、図 1-53 に示すとおり、売上高は前年比 3%増の 1302.4 百万ユーロとなった。同社の売上高は会計基準をIFRSに切り替えた 2004 年から堅調に売上高を伸ばし、2007 年に 1,000 百万ユーロ越えを達成。2009 年に売上高の伸びが一時的に止まったものの翌年から再び売り上げを伸ばしている。一方、図 1-54 に示すとおり、同社のEBITDA[66]はエネルギーコストや進行中のアメリカの濃縮施設の建設費等の運営費の増加などによって、前年 3%減の 784.6 百万ユーロとなっている。また、対売上高利益率は 2007 年時点の 34%から増加し続け、2010 年には 47%に達しているが、2011 年は 40%となっている。
また、キャッシュフローについては、図 1-52 に示すとおり、財務キャッシュフローが減少しているものの、営業キャッシュフロー及び投資キャッシュフローの増加により、現金及び現金等価物の純増加は 2011 年にプラスに転じている。

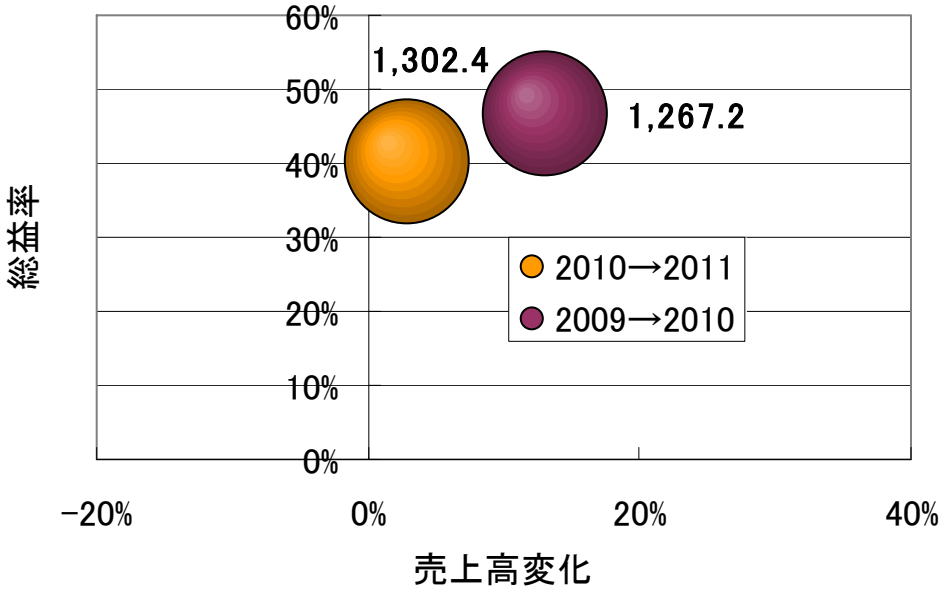


図1-51 URENCO社の業績

（出所）　Annual Report 2011, 2010 より作成
（注）グラフ中の数字は百万ユーロ

[66] Earnings Befor Interest, Taxes, Depreciation, and Amortization の略。財務指標の一つであり、税引前利益に、特別損益、支払利息及び減価償却費を加算した値。

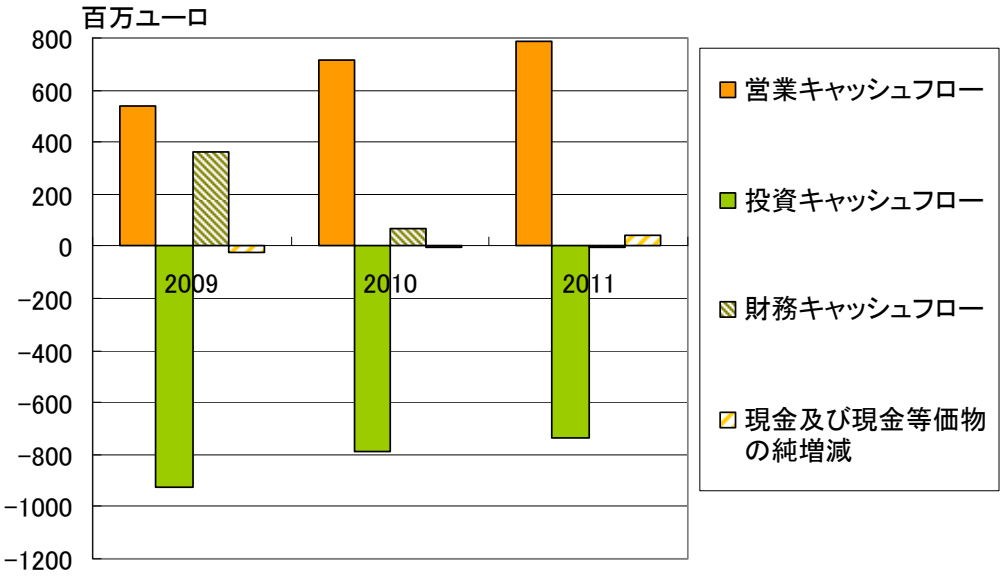


図1-52 URENCO社の業績（キャッシュフロー）

（出所） Annual Report 2011, 2010 より作成

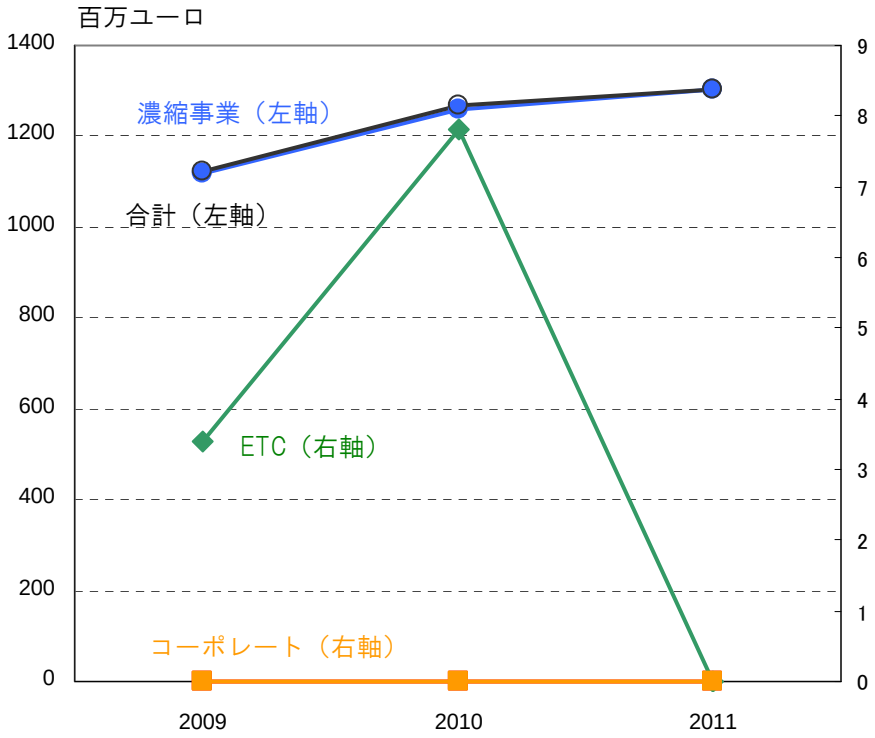


図1-53 URENCO社の部門別売上高

（出所） Annual Report 2011, 2010 より作成

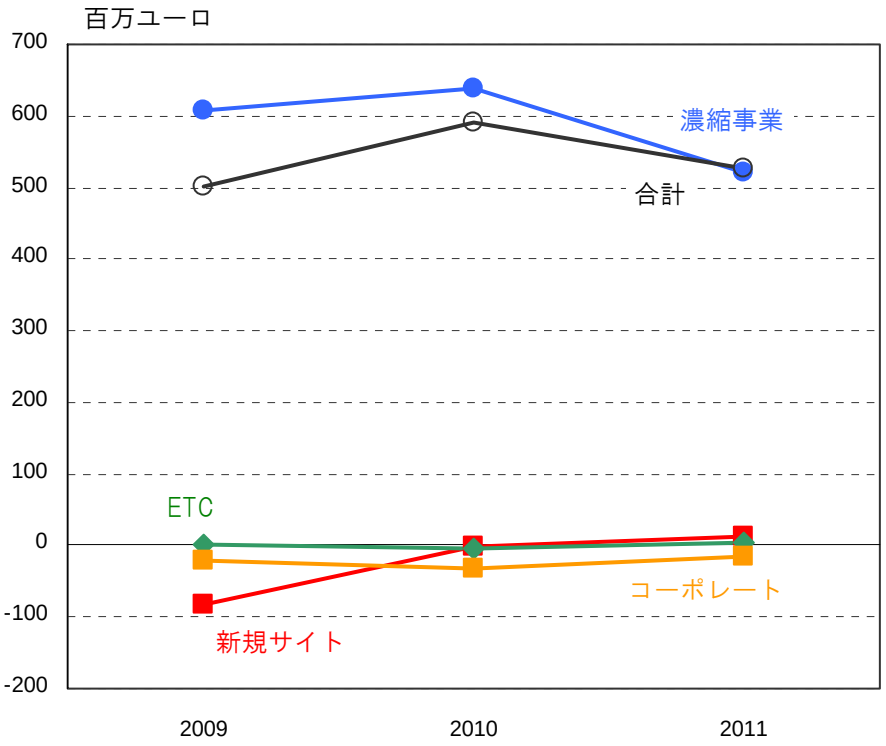


図1-54 URENCO社の部門別営業利益

（出所） Annual Report 2011, 2010 より作成

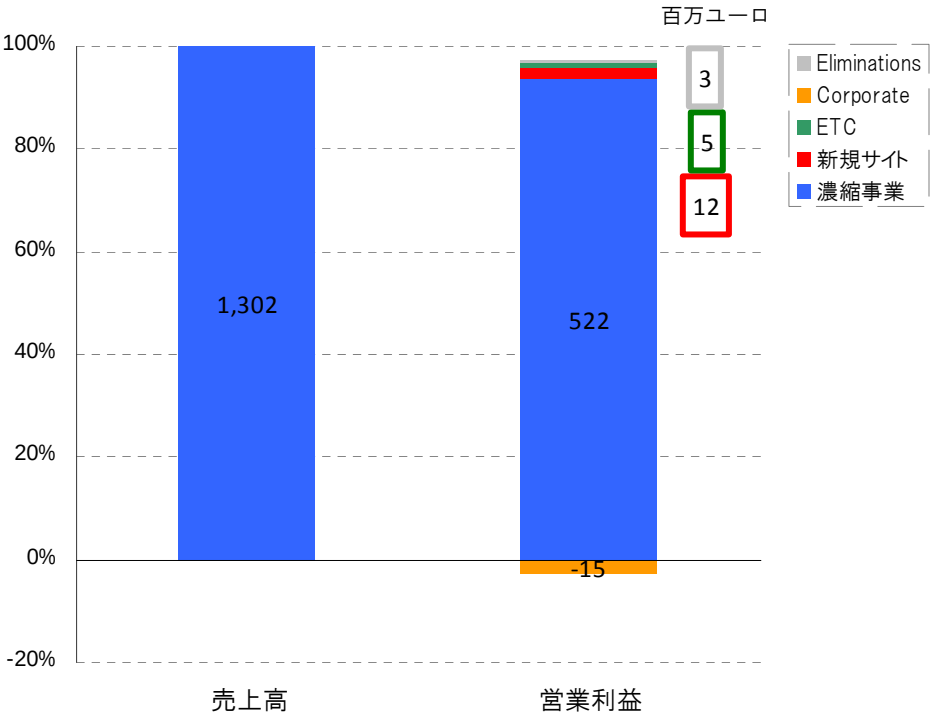


図1-55 URENCO社の部門別売上構成比

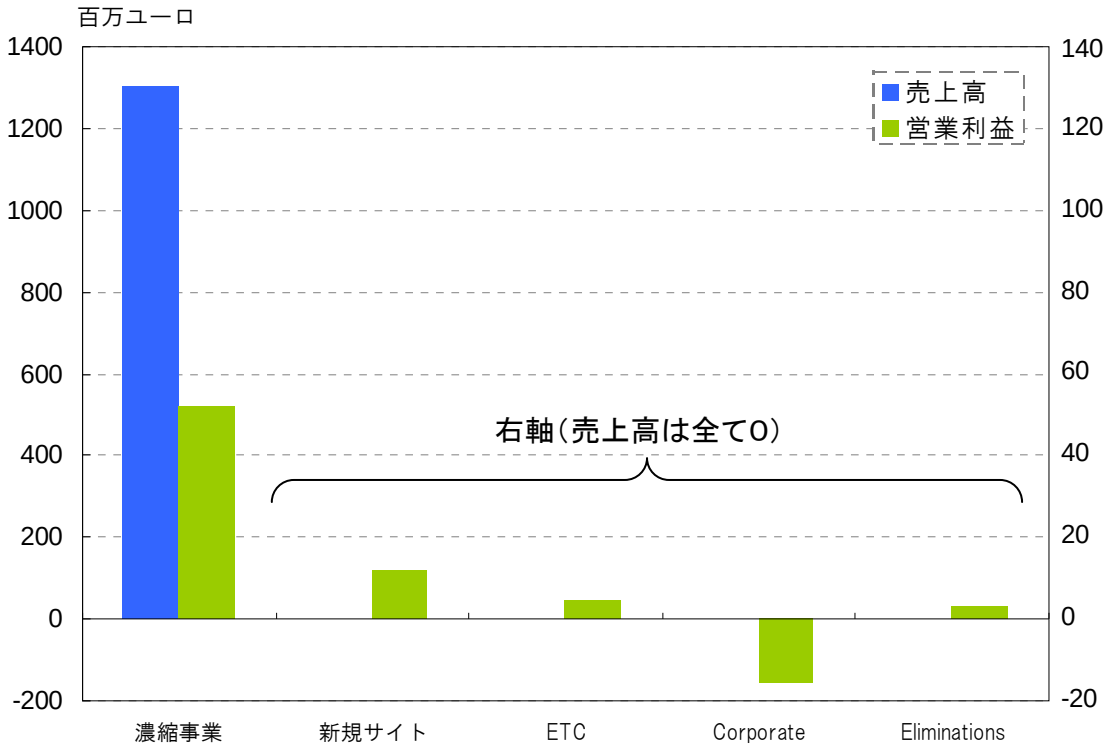


図1-56 URENCO社の部門別売上高・営業利益比較

1-10-4 技術開発概要及び中長期事業計画

URENCO社はドイツ、オランダ、アメリカの施設の設備容量を12%増に当たる1,600tSWU分増強し、URENCOグループ全体で、生産能力を2011年末までに14,600tSWU拡大した。2015年までにはグループ全体で18,000tSWUまで拡張する事を目指している。

1-11　Nuclear Decommissioning Authority（NDA）

本項では英国の原子力債務管理機関としての独立公共団体（政府外公共機関）であるNuclear Decommissioning Authority（以下NDA）について、事業・業績・技術等の特徴及び中長期の事業計画見通しを概観する[67]。

1-11-1　　企業概要

NDAは2004年に議会で成立したエネルギー法に基づいて設立された独立公共団体であり、かつて英国核燃料公社（BNFL）及び英国原子力公社（UKAEA）が管理していた19の原子力サイト及び関連する民生用原子力債務及び公共セクターの資産を所有している。

NDAの主な使命は、以下の5つである。

- 民生用原子力施設の廃炉及び除染事業
- 放射性のあるなしに関わらず、全ての廃棄物の安全に管理
- 核廃棄物の長期的管理に関する政策の実行
- 英国全域の低レベル核廃棄物に関する戦略・計画の進展
- British Energyの廃炉計画の検査

(1) 設立経緯

戦後、英国の民生用原子力計画が進められ、1953年から1971年までに、26の原子力施設を建設した。しかしながら、これらの過去の開発計画は現在のものと違い廃炉まで考えられておらず、核廃棄物や廃炉事業に関する情報が欠如していたため、これらを専門的に調査・研究する必要があるとの機運が高まっていた。また、廃炉事業のような長期間の事業かつ数十億ポンド（数兆円）規模になる費用を調達するのは民間の株式会社等では困難であるという考えも背景もあり、2004年に成立したエネルギー法に基づいて廃炉・除染事業を円滑に進めるために、原子力庁（UKAEA）とBNFLの大半の民生用原子力施設・債務を一括管理する「原子力廃止措置期間（NDA）」が設立された。

(2) 原子力施設

NDA管轄の原子力施設を図1-57に示す。

[67] 本項の情報出所は、特に断らない限り、NDAホームページ（http://www.nda.gov.uk/）、Annual Report & Accounts 2012、2011、2010年度版を参照

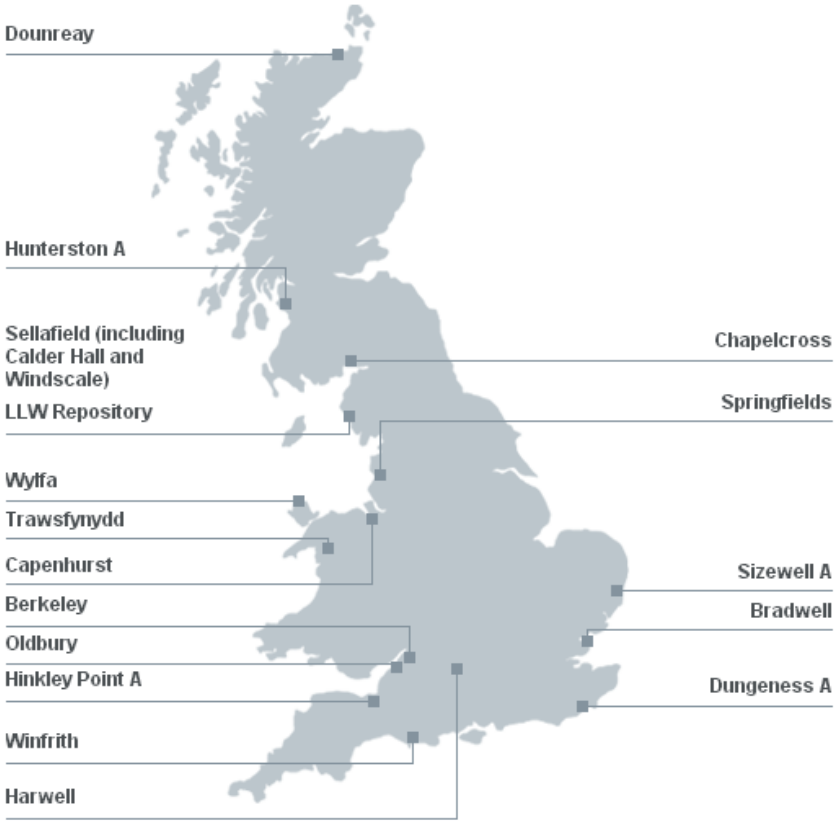


図1-57 対象となる原子力施設

（出所） NDAホームページ

1-11-2 主要事業

NDAは6つ事業部門に分割して廃炉・除染事業を行っている。

- サイト復旧（Site Restoration）部門：所有する施設の危険・債務を減らす。
- 業務最適（Business Optimisation）部門：商業価値の最大化を図る。
- 使用済燃料（Spent Fuels）：危機管理された安全な方法による燃料の再処理・管理を実施。
- 総合廃棄物管理（Integrated Waste Management）：貯蔵・処分の取り決めの実施。
- 核物質管理（Manage Nuclear Materials）：危機管理された安全な方法によるプルトニウム、ウランの管理。
- Critical Enablers部門：効率的な産業の確立。

NDAが管轄する施設一覧を表1-19に示す。

表1-19 対象となる原子力施設の概要

原子力施設	2013 年現在	サイト許可会社	コスト
Berkeley	廃炉・閉鎖[68]	Magnox Limited	£ 660 million
Bradwell	廃炉・閉鎖[69]	Magnox Limited	£ 660 million
Capenhurst	廃炉・閉鎖[70]	Sellafield Limited	-
Chapelcross	燃料抽出	Magnox Limited	£ 843 million
Dounreay	廃炉・閉鎖[71]	Dounreay Site Restoration Ltd	£ 2,471 million
Dungeness A	廃炉・閉鎖[72]	Magnox Limited	£ 709 million
Harwell	廃炉[73]	Research Sites Restoration Ltd	£ 1,178 million
Hinkley Point A	廃炉・閉鎖	Magnox Limited	£ 756 million
Hunterston A	廃炉・閉鎖[74]	Magnox Limited	£ 707 million
Oldbury	燃料抽出	Magnox Limited	£ 939 million
Sellafield	燃料抽出・一部廃炉	Sellafield Limited	£ 32,066 million
Springfields	運転中・一部廃炉	Springfields Fuels Limited	£ 365 million
Sizewell A	燃料抽出	Magnox Limited	£ 789 million
Trawsfynydd	廃炉・閉鎖[75]	Magnox Limited	£ 675 million
Winfrith	廃炉・閉鎖[76]	Research Sites Restoration Ltd	£ 1,178 million (Harwellと合わせて)
Wylfa	運転中	Magnox Limited	£ 876 million

[68] 近年の大きな動きとして、2011 年に中間レベル廃棄物（ILW: Intermediate Level Waste）をアクティブ廃棄物貯蔵所（AWV: Active Waste Vaults）から回収が開始された。（NDA ホームページ、http://www.nda.gov.uk/sites/berkeley/）

[69] 近年の大きな動きとして、2011 年にタービン建屋の解体・撤去が行われた。（NDA ホームページ、http://www.nda.gov.uk/sites/bradwell/）

[70] NDA ホームページ、http://www.nda.gov.uk/sites/capenhurst/

[71] 近年の大きな動きとして、2010 年にウランを溶解する装置が設置されていた高汚染区域の装置の撤去、除染作業が完了した。（NDA ホームページ、http://www.nda.gov.uk/sites/dounreay/）

[72] 近年の大きな動きとして、2009 年にボロン粉塵の除染作業が完了した。（NDA ホームページ、http://www.nda.gov.uk/sites/dungenessa/）

[73] 今後の予定として、2023 年に一次系施設の廃止措置を完了、2031 年に原子炉の廃止措置を完了、2032 年にサイト閉鎖段階を開始し、2064 年にサイトの最終除染を完了するとしている。（NDA ホームページ、http://www.nda.gov.uk/sites/harwell/）

[74] 今後の予定として、2025 年に保存整備段階に入り、原子炉を冷温状態に保ち、ほとんどの構造物を移動させ、サイトの最終除染が開始されるまで原子炉建屋を安全な状態に保つ作業が行われる予定である。サイトの最終除染作業は 2080 年～2090 年を予定。（NDA ホームページ、http://www.nda.gov.uk/sites/hinkleypointa/）

[75] 1995 年に燃料の抽出が行われた。2016 年から保存整備段階に入る予定である。（NDA ホームページ、http://www.nda.gov.uk/sites/trawsfynydd/）

[76] 今後の予定として、2021 年に保存整備段階を完了、2032 年に DRAGON 原子炉設備の廃止措置を完了、2038 年に蒸気発生重水炉（SGHWR）設備の廃止措置を完了、2048 年にサイトの最終除染作業を完了する見込み。（NDA ホームページ、http://www.nda.gov.uk/sites/winfrith/）

1-11-3　　業績概要

図 1-59 に示すとおり、2012 年度のNDAの支出額は、66.91 億£であり、その内訳は、一般管理費 3,800 万£、事業費 11.13 億£、引当金 53.68 億£、その他 1 億 7,200 万£となっている。マグノックス炉による発電や燃料サービス等による事業収入が 10 億 400 万£のため、純支出額は 56 億 8,700 万£である。

図 1-58 に示すとおり、事業収益は 2010 年からほぼ同じ水準で推移しているのが分かる。支出額が 2011 年に急増しているが、これは引当金の増加が寄与している。

図 1-60 に示すとおり、営業キャッシュフローは例年マイナスであり、それを補助金による財務キャッシュフローで補っている構図となっている。2012 年度は補助金総額が減少し、逆に負の営業キャッシュフローが増加したため、現金および現金等価物の純増加額はマイナスに転じた。なお、投資キャッシュフローについては、販売用資産処分による収益により、2012 年はプラスに転じている。

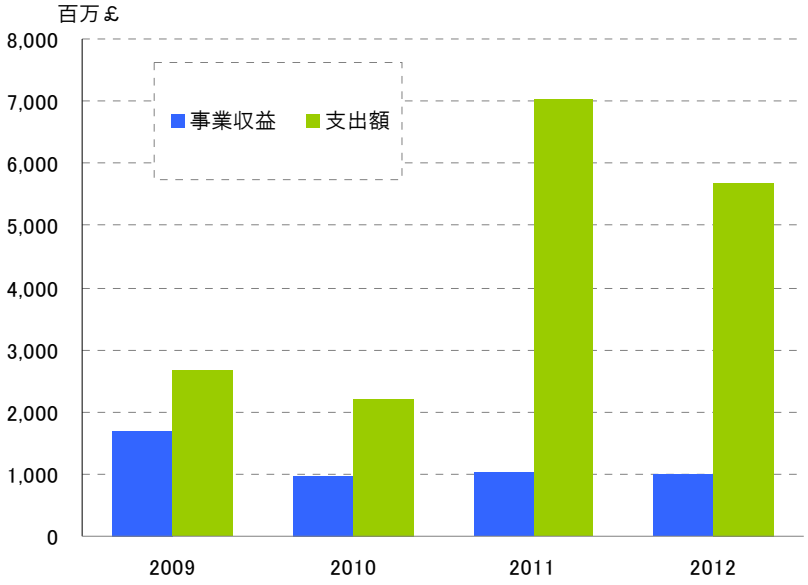


図1-58 事業収益と支出額の推移（2009～2012）

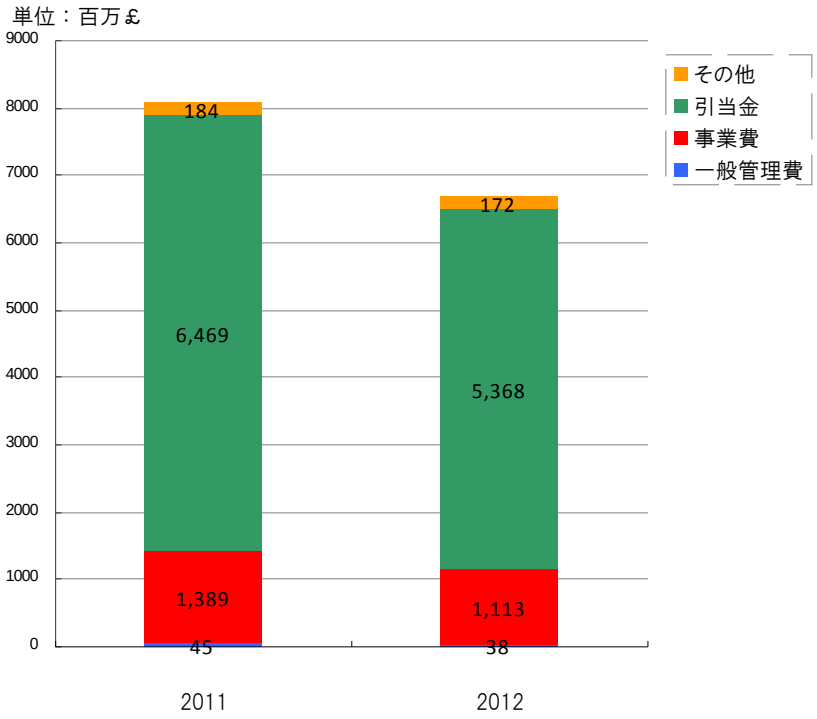


図1-59 2011 年度及び 2012 年度の支出額の内訳

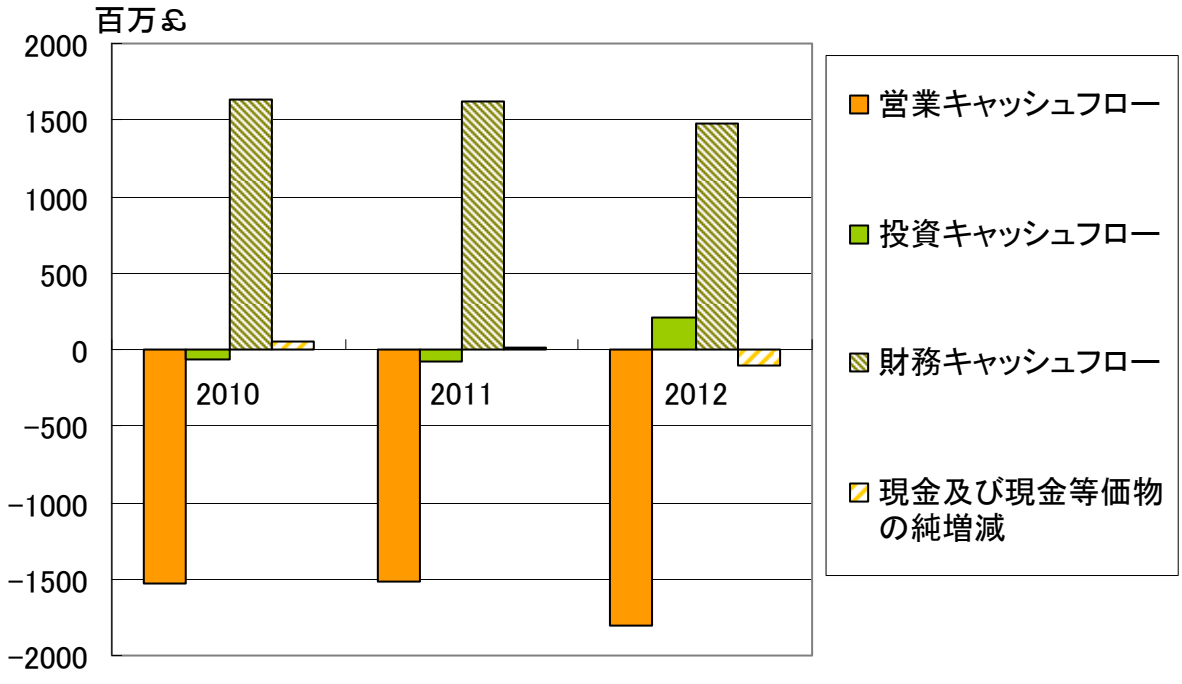


図1-60 NDAの業績（キャッシュフロー）

1-11-4 技術開発概要及び中長期事業計画

Draft Business Plan 2013 – 2016 によれば、今後 20 年間の事業計画として、事業部門ごとに目標を設定している。以下その具体的な活動計画について概要を示す。

- サイト復旧部門：Sellafieldの廃棄物貯蔵施設におけるリスク低減を最優先事項とし、Bradwellにおける燃料要素デブリの回収の継続、Trawsfynyddにおける燃料要素デブリの回収及びカプセル化に着手。
- 使用済燃料部門：(1) DounreayのDFR　breederの燃料の抽出及びSellafieldへの輸送と、(2) マグノックス炉燃料及びDFR燃料の再処理、(3) EDFからのAGR（Advanced Gas Reactor）燃料の受け入れ及び再処理の継続。
- 核物質管理部門：政府の核物質管理政策の支援、及び核物質輸送プログラムの実施。
- 総合廃棄物管理部門：低レベル放射性廃棄物貯蔵管理計画の実施及びBerkeleyでの廃棄物回収。
- 事業最適化部門：NDAの廃炉・債務処理の最適化及びWylfaでの発電事業継続。

1-12 USEC

本項では米国のウラン濃縮企業であるthe United States Enrichment Corporation（以下USEC）について、事業・業績・技術等の特徴及び中長期の事業計画見通しを概観する[77]。

1-12-1 企業概要

USECはメリーランド州Bethesdaに本社を置き、ニューヨーク株式市場に「USU」の略称で上場している米国企業である。主要事業はウラン濃縮で、米国内で唯一の稼働中ウラン濃縮施設を有する企業でもある。本社のあるBethesdaは首都ワシントンの郊外にあるベッドタウンとして知られており、中小規模の金融・保険・コンサルティング企業も多数立地している。

(1) 設立経緯

米国では1960年代から、それまでの軍事用ウラン濃縮施設を民生用に転用する形で、商業用濃縮ウランの生産が開始された。それから1990年代初頭まで、ウラン濃縮は米国エネルギー省（DOE）管轄事業の一環として行われてきたが、1990年代に行われたいくつかの事業効率化の中でウラン濃縮についても民間に移管されることとなり、USECが設立された。その後ニューヨーク証券取引所への上場、民間への株式譲渡により、1998年7月に完全民営化を達成している。

一方で、USECは米国及びロシアの政府共同核軍縮プログラム“Megatons to Megawatts”[78]の執行事業者である。約20年間で両国政府より約80億ドル規模の資金を得て、ロシアの解体核兵器から生じた核兵器級高濃縮ウラン約500トン（核弾頭20,000本分）が商業用低濃縮ウランに希釈され、民生用原子炉に適用されることとなっている。このMegaton to Megawattsプログラム契約は2013年で終了の予定であるが、2011年3月に、露TENEXとの間で、2013年からさらに10年間ロシアの濃縮ウランの供給を受ける契約を結んでいる。

(2) 事業所及び従業員数

2012年現在、同社の事業所は以下の通り。

- メリーランド州Bethesda：本社。全ての事業を統括・管理している。従業員数は2011年末現在98人。
- オハイオ州Piketon：Portsmouthウラン濃縮工場（ガス拡散法）があるが、老朽化に伴い、2001年5月から操業停止している。Paducahともども、USECのガス拡散方式ウラン濃縮工場は、2002年のDOEとUSECの合意文書に基づき、USECがDOEから委託を受けて操業しているものである。廃止・除染作業が進められており、2011年9月にDOEに返還されている。廃止措置に伴う費用もDOE負担となる。なお、「主要事業」及び「技術開発概要」にて後述するAmerican Centrifuge Plant（ACP）事業もこの事業所を拠点に推進されている。Portsmouthガス拡散法施設の従業員数は2011年末現在で335人、ACP関連の従業員はOak Ridge駐在者を含め500人。
- ケンタッキー州Paducah：ガス拡散法のウラン濃縮工場（Paducah GDP）を操業中。現存の設備での最大濃縮作業単位（SWU）は約8,000tSWU。2011年の濃縮役務単位実績は約5,000tSWUであった。2012年末の従業員数1,194人。
- テネシー州Oak Ridge：かつてDOEの遠心分離法ウラン濃縮施設K-1600が設置・稼動していた拠点で、現在もテスト・ループを用いた革新技術による遠心分離実験が継続されている。2011年末の従業員数は190人。2012年1月に従業員縮小を実行。

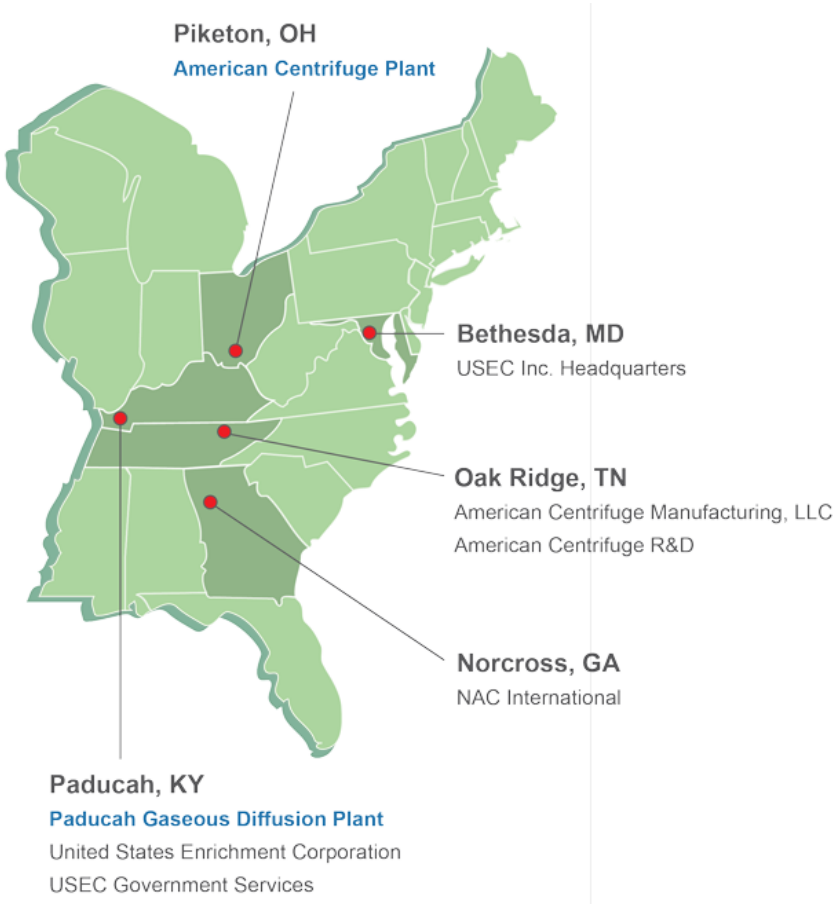
[77] 本項の情報出所は、特に断らない限り、USEC ホームページ（http://www.usec.com/）及び同社 Annual Report 2011 である。

[78] Megatons to Megawatts は、米国・ロシア両国政府の間で 1994 年から 20 年間の予定で締結されたプログラムであり、ロシア側は TENEX が、米国側は USEC が、実施主体（Operator）となっている。これまで 375 トンの高濃縮ウラン（核弾頭 15,000 個分）が 10,868 トンの低濃縮ウランに希釈されており、2013 年の終了時には、核弾頭 20,000 個分に相当する 500 トンの高濃縮ウランの希釈が完了する予定である。

➢　ジョージア州Norcross：子会社NAC International[79]の本拠地。従業員数は2012年末で68人。

図1-61にUSECの製造・技術開発拠点を示す。

図1-61 USECの拠点



（出所）　USECホームページより

1-12-2　主要事業

USECの主要事業はウラン濃縮である。ガス拡散法の自社工場（Paducah）でウラン濃縮役務による供給と、Megatons to Megawattsプログラムに基づきロシアから供給される高濃縮ウランを希釈することによる供給の2通りがある。

また、ガス拡散法に代わる最新式の遠心分離法による工場（American Centrifuge Plant、ACP）をオハイオ州Piketonにて2002年から開発中であり、現在、技術実証試験の段階にある。技術概要については後述するが、もともと1970～80年代に米国政府予算でDOEが開発し、設備建設も（当時のレベルでの）技術実証もほぼ終了していたが、需要の低迷により開発中断されていた施設を、2002年よりUSECにて最新技術と設備に更新して再開したものである。3,800SWU/年の生産が可能な最新式設備AC100の設計は2008年に既に完了している。

表1-20にUSECの濃縮施設一覧を示す。

[79] 原子力プラントや核燃料サイクル施設の技術コンサルティング・技術開発動向に関する専門的知見を有する、調査・コンサルティング会社。

表1-20 USEC濃縮施設一覧

所在地/施設名	濃縮法	年間生産容量（tSWU/年）	状態
Paducah	ガス拡散法	11,300	操業中
American Centrifuge Plant（Piketon）	遠心分離法	3,800	建設中

（出所） Annual Report 2011

USECで2007年にACPの建設・運転一括認可を米国原子力規制委員会（NRC）に申請し、承認されると、同年5月に米国エンジニアリング企業Flour CorporationとACPの建設を開始した。遠心分離機を供給するメーカーはTeledyne Brown Engineering.Inc（TBE）社であり、その他の主要部品はB&W Clinch River社（B&Wの子会社）等、多くの企業から調達することとなっている。なお、当初17億ドルと見込まれていたACPの総プロジェクトコストは、2008年に34.988億ドル（うち2011年末までの消費分は約22億ドル）と修正されている。USECはこのうち20億ドル分について2008年7月、DOEの融資保証制度適用の申請を行ったが、2009年8月、DOEは融資保証認可の決定を保留にする旨を発表し、USECは計画を遅らせることを余儀なくされた。それ以後、USECは資金調達に苦しんでいるが、2010年5月に東芝とBabcock & WilcoxがUSECに計2億ドルの融資を行うことに合意している。

USECのもう1つの主要事業であるMegaton to Megawattsプログラム契約は2013年で終了の予定であるが、2011年3月に、露TENEXとの間で、2013年から10年間ロシアの濃縮ウランの供給を受ける契約を結んでいる。

1-12-3 業績概要

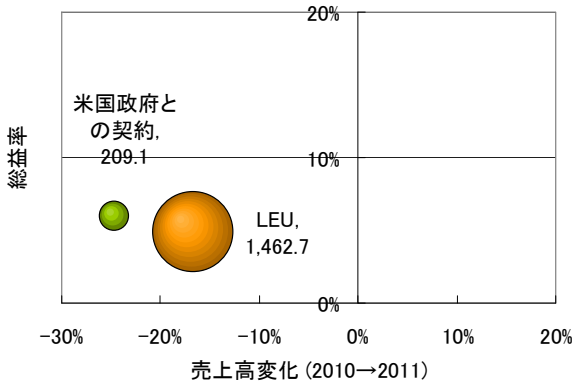
2011年のUSECの売上高は16.718億ドル、営業利益はマイナス2.474億ドルであり、売上高は前年比マイナス18%、営業利益率は5.0%であった。2009年は売上高20.368億ドル、2010年は20.354億ドルと、近年20億を超えていた売上高と比較して、本年度は2008年ごろの水準にまで大きく減少している。また、営業利益についても近年の黒字の推移から一転、マイナス2億4,740万ドルと大きく減少した。USECではその要因として、従来contract service部門の売上高の大多数を占めていたDOEとの契約事業について、2011年9月にPortsmouthの濃縮施設関連事業の契約が終了したことを挙げている。

以下にセグメント別業績推移及びキャッシュフロー状況について概観する。

(1) セグメント別業績

図1-62に、USECの2006年～2008年のセグメント別業績を示す。

2010年～2011年



2009年～2010年

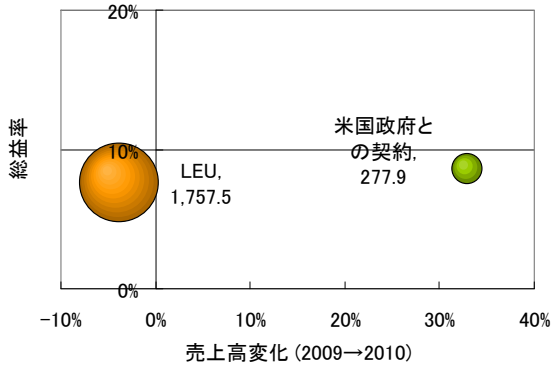


図1-62 セグメント別業績推移

セグメント“LEU”は国内外の民間顧客に対し、民生用低濃縮ウラン及びウラン濃縮役務の販売を行う事業であり、セグメント“U.S. Government Contracts”はDOEとの契約に基づき、PaducahやPiketonの施設運営を行う事業である。前述したように、この“U.S. Government Contracts”部門において2011年にPortsmouthの濃縮施設事業の契約終了により、2011年の売上高が大きく減少しているのが図から見て取れる。主力はウラン販売と濃縮役務を担当するLEUであるが、LEU事業は濃縮役務単価に左右されるため、濃縮専業であるUSEC社自体の事業リスクとなっている。

(2) キャッシュフロー状況

図1-63に、2009年から2011年までのキャッシュフロー状況を示す。

2011年の営業キャッシュフローはプラスを維持する結果となった。USECのAnnual Report 2011では営業キャッシュフローがプラスになった要因として、売掛債権の減少が挙げられている。2011年の投資キャッシュフローはマイナス1億6,320万ドルとなっている。近年の投資支出はACP関連事業のものが大半である。また、2011年の財務キャッシュフローについては、信用供与での短期借入金がほぼなかったため、DOEの融資保証関連の500万ドルの財務コストが主にキャッシュフローに寄与している結果となっている。

健全なキャッシュフロー・バランスには何よりもまず営業キャッシュフローが安定的なプラスであることが望まれるが、市況により役務単価の変動を受けるUSECの事業においては確実な達成法は見出せない。USECの濃縮設備容量は比較的大規模なものではあるが、濃縮役務の世界的なシェアは2011年末時点で17%に留まっており、さらに、操業中のPaducahの濃縮施設が2013年5月に濃縮業務を終える見込みであるため、同社の占めるシェアはより小さくなることが予想される。USECは新たに遠心分離方式の濃縮設備を建設中であるが、設備の転換によって効率を高めるとしても、USECが濃縮専業を継続する以上、事業自体の安定性と、財務上の安定性を確保するためには、継続的な濃縮役務の獲得と、役務単価の安定が欠かせない。

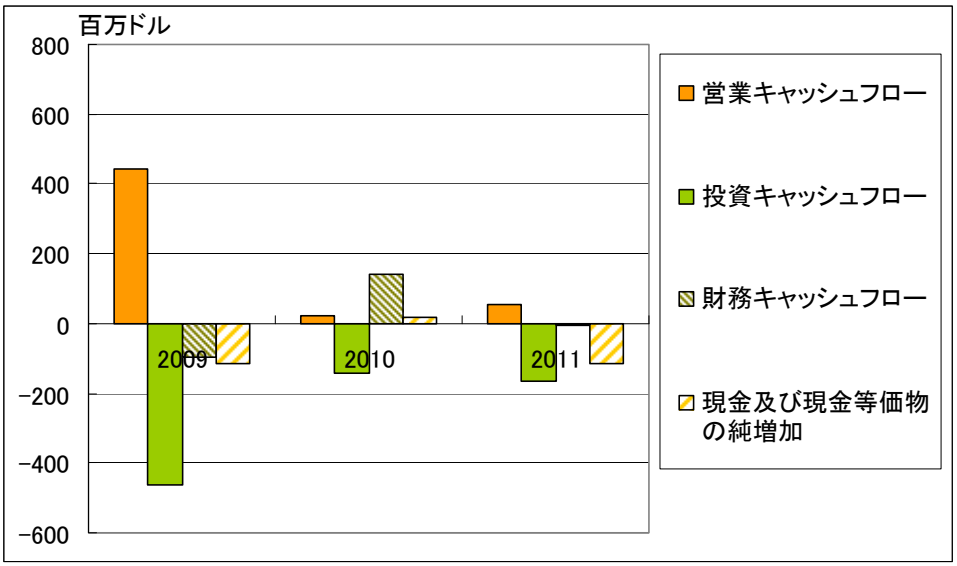


図1-63 2009年～2011年のキャッシュフロー状況

1-12-4 技術開発概要及び中長期事業計画

Piketonで実証試験中のACPの遠心分離機は、AC100と呼ばれるシリーズであり、876,000設備時間（machine hours）の試験を遂行している。ACPによる遠心分離法が実現すると、これまでのガス拡散法による濃縮役務

と比較して約95%のコスト削減（大半は電気代）[80]、更に安定的な稼動による顧客増大も期待できるとUSECは予測している。図1-64にカスケードの写真を示す。

2011年末現在、ACP計画には約22億ドルが投資されている。USECはこのうち20億ドル分について2008年7月、DOEの融資保証制度適用の申請を行い、以来ACP商業化に向けて融資保証認可を得るべく努力したが、DOEの認可は得られず、代わりにDOEは2年間の研究開発期間を設けるRD&Dプログラム（Research, Development and Demonstrationプログラム）を提案した。これにより、3億ドルを上限とする支援を得られるが、RD&Dプログラムの期間中は融資保証制度が保留になり、また、RD&Dプログラムが成功しても融資保証認可の保証はないとされている。

このDOEによる融資保証認可保留と、世界的な低濃縮ウランの需要動向が今後、USECにとって不確実性を持った障害となるが、USECはACPの技術が今後の長期的な需要に対して有効な技術であると考え、まずは、DOEが提示したRD&Dプログラムを成功させ、ACP計画の再開していくための資金調達に取り組み、その財務的保証をDOEにも求めていく意向を示している。



図1-64 ACPにおけるカスケード

[80] 一般的な技術評価では、遠心分離法による濃縮コストはガス拡散法の1/2～1/10といわれている。詳細は個別企業の技術・施設特性等により異なる。

2. 役務別寡占度分析

本項では、第１章で述べた各施設の年間生産能力等の諸元に基づき、役務別の寡占度を分析する。

2-1 ウラン精錬寡占度分析

世界の国別・企業別のウラン精錬施設の一覧を表 2-1 に示す。

表2-1 ウラン精錬施設の国別・企業別設備容量

国名	会社名	所在地	年間生産容量（tU）
オーストラリア	ヒースゲート社	サウスオーストラリア、Beverley	848
	BHPビリトン社	サウスオーストラリア、Olympic Dam	3,930
	オーストラリアエネルギー資源株式会社	ノーザンテリトリー、Ranger	4,660
ブラジル	ブラジル原子力工業	Bahia州、Caetite	400
カナダ	AREVA NC社	サスカチュワン州、McClean Lake	5,900
	Cameco社(Key Lake)	サスカチュワン州、McArthur River	7,200
	Cameco社(Rabbit Lake)	サスカチュワン州、Rabitt Lake	2,300
中国	中国核工業総公司	江西省、Fuzhou （撫州）	350
		江西省、Chongyi （崇義）	150
		陝西省、Lantian （藍田）	100
		新疆ウイグル自治区イリ・カザフ自治州、Yining （伊寧）	330
		遼寧省、Benxi （本渓）	120
		遼寧省、Qinglong（清龍）	100
		広東省、Shaoguan（韶関）	200
チェコ	ディアモ国営企業	Vysočina行政区、Dolní Rožínka	400
		Liberec行政区、Stráž pod Ralskem	100
インド	インドウラン株式会社	Jharkhand州、Jaduguda	200
		Jharkhand州、Turamdih	190
カザフスタン	カザトムプロム社	Mpinkum(site 1,3)	1,200
		Mynkuduk(eastern site)	1,300
		North & South Karamurun	1,000
		Inkai(site 4)	3,000
		Moinkum(site 1,2,3)	4,000
		Inkai(site 1,2,3)	1,500
		Zvezdnoe	500
		South Zarechnoye	1,000
		Budenovskoe(site 2)	3,000
		Mynkuduk(central site)	1,400
		Mynkuduk(western site)	1,000
		North Kharasan(site 1)	1,000
		North Kharasan(site 2)	2,000
		Budenovskoe(site 1,3,4)	3,000
		Irkol	1,100
マラウイ	パラディン・アフリカ社	Northern州、Kayelekera	1,270
ナミビア	ロッシングウラン社	Erongo州、Roessing	4,000
	パラティン・エネルギー社	Erongo州、Langer Heinrich	2,000
ニジェール	COMINAK	Agadez州、Akouta	2,000
	SOMAÏR	Agadez州、Arlit	2,000
	SOMINA	Agadez州、Azelik	700
ロシア	アトムレッドメットゾラタ社（ロスアトム）	東シベリア・ザバイカリスク地方 Priargunsky	3,000
		ウラル地方南部クルガンスク地方 Dalur	800
		東シベリア・ブリヤート共和国 Khiagda	1,800
南アフリカ	アングロゴールド鉱山会社	Vaal Reefs	1,272
ウクライナ	ヴォストゴーク 社	Vody市, ドネプロペトロフスク州	1,500
米国	デニソン社	ユタ州White Mesa	3,629
	Cameco社	ワイオミング州Smith Ranch/Highland	1,814
		ネブラスカ州Crow Butte	454
	ウラニウムワン社	ワイオミング州Willow Creek	500
	メステナ社	テキサス州Alta Mesa	385
	ウラニウムエネルギー社	テキサス州Hobson/La Palangana	385
ウズベキスタン	国営ナボイ鉱業精錬コンビナート社	Navoi	2,350

これを国別及び企業別に集約すると、図 2-1 の通りとなる。

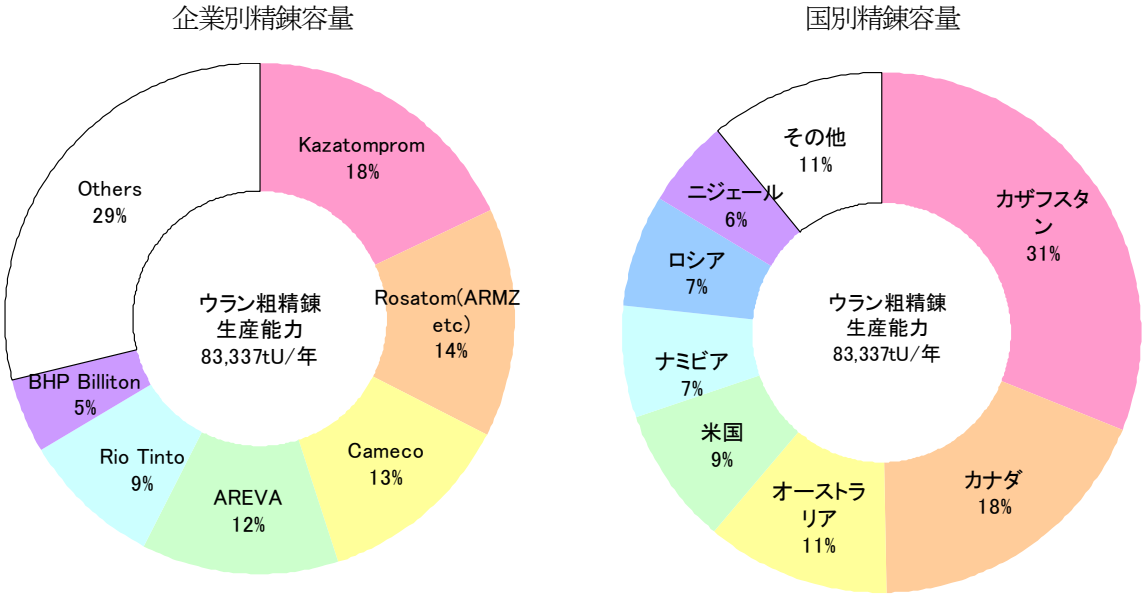


図2-1 ウラン精錬施設容量の国別・企業別シェア

企業別に見ると、AREVA、Cameco、Kazatomprom、Rosatom（ARMZ及びUranium One等の子会社を含む）といったウラン専業もしくはサイクル事業者が 60%近くを占めている。各社の所有する総設備容量は、上位から順に、Kazatompromが 15,074tU/年（18%）、Rosatomが 11,997tU/年（14%）、Cameco が 10,508 tU/年（13%）、AREVAが 10,278tU（12%）となっている。国別で見ると、カザフスタンの精錬容量が最大（26,000tU/年、31%）であり、次いでカナダ（15,400tU/年、18%）、オーストラリア（9,438tU/年、11%）となっている。なお、国別で一位であるカザフスタンでのみ操業を行うKazatompromの精錬容量が国別容量と一致しないのは、Cameco、AREVA、Rosatom（Uranium One）のほか、日本、韓国等の世界の主要な原子力企業が権益を有しているからである。

AREVAがMillennium鉱山をCamecoに売却するなど、有力企業間での統合整理も行われているが、CamecoがBHP BillitonからYeelirrie鉱山を買収（2013 年中に買収完了予定）したほか、ARMZがUranium One（2010 年）とMantra Resources Ltd（2010 年）を買収するなど、生産容量拡大に向けて積極的な権益獲得が進められている。

なお、上述したシェアは、設備容量によるため、実際の生産量とは一致しない事に注意が必要である。参考に、Uranium2011 による国別の 2011 年のウラン生産量見込みと資源埋蔵量を図 2-2 に示す。

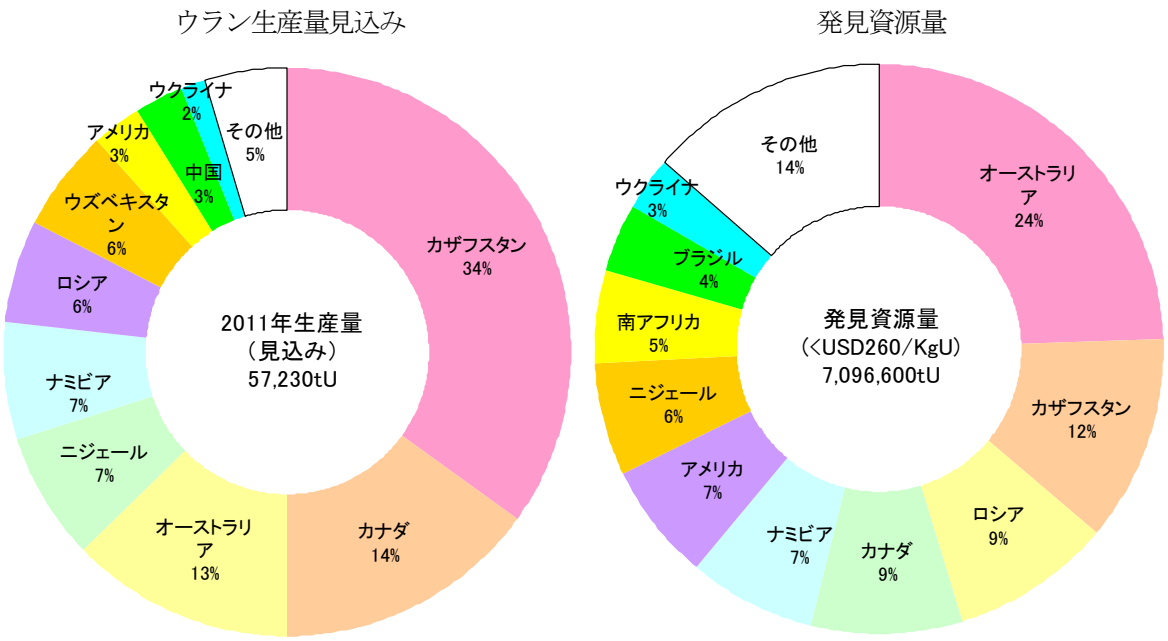


図2-2 国別のウラン生産量見込みと資源埋蔵量

（出所） OECD/NEA Uranium 2011

2-2　転換役務寡占度分析

世界の国別・企業別のウラン転換施設の一覧を表 2-2 に示す。

表2-2 ウラン精錬施設の国別・企業別生産能力

国名	会社名	所在地	年間生産能力（tU）	
アルゼンチン	アルゼンチン国家原子力委員会（CNEA）	Pilcaniyeu	62	
カナダ	Cameco	オンタリオ州,Port Hope	12,500	
中国	中国核工業総公司	甘粛省、蘭州市（Lanzhou）	1,000	
		甘粛省、酒泉市（Jiuquan）	500	
フランス	AREVA NC	ドローム県、Pierrelatte/Malvé	14,000	
イラン	イラン原子力庁	エスファハン州、Esfahan	200	
ロシア	アトムエネルゴプロム（アンガルスク電解化学コンビナート）、TVEL	イルクーツク州、Angarsk	18,700	
	アトムエネルゴプロム（シベリア化学コンビナート）、TVEL	トムスク州、Seversk	不明	計25,000
	アトムエネルゴプロム（エレクトロスタル）、TVEL	モスクワ州、Elektrostal	700	
イギリス	ウエスティングハウス UK	ランカシャー州、Springfields	5,000	
アメリカ	コンバーダイン	イリノイ州、Metropolis	17,600	

これを企業別（国別）に集約すると、図 2-3 の通りとなる。

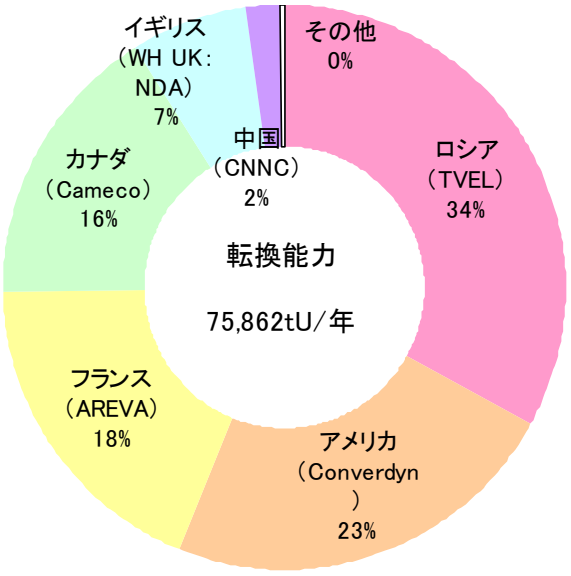


図2-3 ウラン転換施設容量の国別・企業別シェア

世界の総設備容量 90,862tU/年のうち、TVEL（25,000 tU/年）、Converdyn（17,600 tU/年）、AREVA（15,000tU/年）、Cameco（12,500 tU/年）が約 91%を占めている。ただし、TVELの転換施設は実態として 12,000～18,000tU/年程度の生産能力しかない[81]との情報があることから、実態としてはTVELの生産量は低くなる事に留意が必要であるが、いずれにしても上位４社による寡占状態であることには変わりない。転換工程は技術的には濃縮ほど困難ではなく参入障壁は低いが、溶媒の量が多く規模の経済が必要なこと、ウラン粗精錬施設あるいは濃縮施設のどちらかが隣接していれば有利なことなどから、寡占度が高いものと考えられる。

81 WNA Market Report 2009

2-3　濃縮役務寡占度分析

世界の国別・企業別のウラン濃縮施設の一覧を表 2-3 に示す。

表2-3 ウラン濃縮施設の国別・企業別生産能力

国名	会社名	所在地	濃縮法	年間生産容量（tSWU／年）
アルゼンチン	アルゼンチン国家原子力委員会（CNEA)	リオネグロ州、Pilcaniyeu（ピルカニエウ）	ガス拡散法	20
ブラジル	ブラジル原子力工業（INB）	リオデジャネイロ州、Resende　Fábrica de Combustível Nuclear	遠心分離法	120
中国	中国核工業総公司（CNNC)	甘粛省、蘭州	遠心分離法	500
		陝西省、漢中	遠心分離法	1,000
Eurodif (フランス他4カ国）	Eurodif （AREVA NC他）	ジョルジュベス（ドローム州トリカスタン）	ガス拡散法	10,800
フランス	AREVA NC	ジョルジュベスII（ドローム州トリカスタン）	遠心分離法	2,500
インド	インド原子力庁	Ratnahalli（カルナータカ州）	遠心分離法	25
イラン	-	エスファン州、ナタンツ(Natanz)	遠心分離法	不明
	-	ゴム州、ゴム（Qom）	遠心分離法	
日本	日本原燃	青森県六ヶ所村	遠心分離法	1,050
北朝鮮	-	平安北道、寧辺郡、西位里	遠心分離法	不明
	-	平安北道、東倉郡	遠心分離法	不明
パキスタン	パキスタン原子力委員会（PAEC）	パンジャブ州クンディアン	不明	N/A
ロシア	アンガルスク電解化学コンビナート	イルクーツク州アンガルスク	遠心分離法	2,500
	ウラル電気化学コンビナート	スヴェルドロフスク州ノヴォウラルスク	遠心分離法	13,200
	生産合同電気化学コンビナート	クラスノヤルスク地方ゼレノゴルスク	遠心分離法	7,800
	シベリア化学コンビナート	トムスク州セヴェルスク	遠心分離法	3,700
イギリス オランダ ドイツ	Urenco	チェシャー州カーペンハースト（英）	遠心分離法	5,000
		ノルトライン＝ヴェストファーレン州グロナウ（独）	遠心分離法	4,200
		オーファーアイセル州アルメロ（蘭）	遠心分離法	5,000
アメリカ	USEC	ケンタッキー州、パデューカ	ガス拡散法	11,300
		オハイオ州、パイクトン（American Centrifuge Plant）	遠心分離法	3,800
	Urenco	ニューメキシコ州、ユーニス（Louisiana Energy Services）	遠心分離法	400
	AREVA NC	アイダホ州、アイダホフォールズ（Eagle Rock）	遠心分離法	6,600
	GE Hitachi Nuclear Energy	ノースカロライナ州、ウィルミントン（Global Laser Enrichment）	レーザー法	6,000
	Louisiana Energy Services	ルイジアナ州、クレイボーン	遠心分離法	1,500

また、これを企業別に集約すると、図 2-4 の通りとなる。なお、イラン、北朝鮮、パキスタンの施設に関しては不明な点が多く、規模も限られたものと考えられるため、この集約には含めていない。

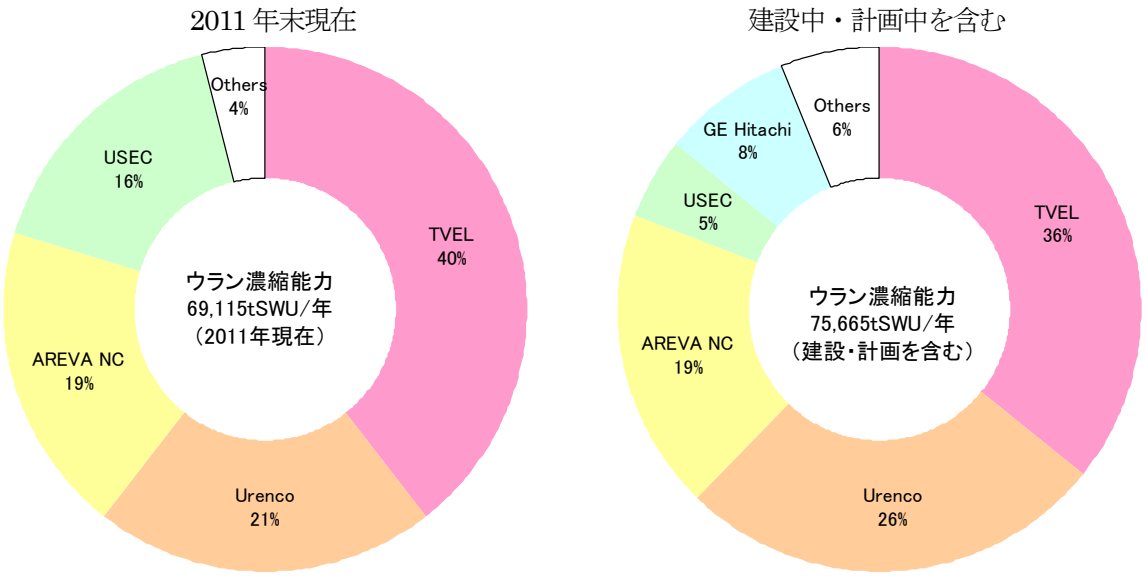


図2-4 ウラン濃縮施設容量の企業別シェア

濃縮の最大シェアは、27,200tSWU/年の分離能力を持つTVELであり、以下URENCO（14,600 tSWU/年）、AREVA NC（13,300 tSWU/年）、USEC（11,300 tSWU/年）の 4 社で設備容量 96%を占めている。核不拡散防止の観点から、技術を開発・実用化できる国は限られており、そのことが、寡占化が進んだ最大の要因であると言えよう。現に、核兵器保有国（米・露・仏・英）に存在する設備が全体の容量の 86%を占めており、非核兵器保有国に存在する商業規模の濃縮施設は、オランダ・ドイツ（共にURENCO）、日本（日本原燃）に限られている。

2011 年現在、30%はガス拡散法が、70%は遠心分離法が採用されているが、エネルギー効率の観点からガス拡散法は廃れる方向にある。例えば、USECがバデューカに所有する世界最大規模のガス拡散法による濃縮施設は 2013 年 5 月に濃縮業務を終える見込みであり、以降は商業規模のガス拡散法による濃縮施設はEurodifによるものが唯一となる。その後Eurodifによるジョルジュベスの濃縮施設も、ジョルジュベスIIが順調に稼動すれば閉鎖される予定であり[82]、ガス拡散法による商業規模の濃縮は早晩終焉を迎える事になる。

また、建設中・計画中のプロジェクトを含めたシェアについては、図 2-4 右側に示すとおり、バデューカの閉鎖に伴いシェアを低下させるUSECに代わり、レーザー濃縮施設を建設予定であるGE Hitachi Nuclear Energyがシェアで第 4 位となる見込みである。ただし、具体的な情報が公表されていない中国の拡張計画等が含まれておらず、これらの計画が明確になれば、シェアが増減することに留意が必要である。

[82] AREVA ホームページ、http://www.areva.com/EN/operations-800/eurodif-production-natural-uranium-enrichment.html
ただし、閉鎖時期は明確にされていない。

2-4　再転換役務

世界の国別・企業別のウラン再転換施設（劣化・回収ウランの転換を除く）の一覧を表 2-4 に示す。

表2-4 ウラン再転換施設の国別・企業別生産能力

国名	会社名	所在地	年間生産能力（tU）
アルゼンチン	アルゼンチン国家原子力委員会（CNEA）	Cordoba	175
ブラジル	Industrias Nucleares do Brasil（INB）	リオデジャネイロ州、Rio de Janeiro	160
カナダ	Cameco	オンタリオ州,Port Hope	2,800
フランス	FBFCインターナショナル（AREVA 子会社）	ドローム県、Romans-sur-Isère	1,400
ドイツ	Advanced Nuclear Fuels GmbH（ANF：AREVA 子会社）	ニーダーザクセン州、Lingen	650
インド	原子力エネルギー庁（DEA）	アーンドラ・プラデーシュ州、Hyderabad	450
パキスタン	パキスタン原子力委員会（PAEC）	Islamabad	不明
日本	三菱原子燃料株式会社（MNF）	茨城県東海村	440
韓国	韓電原子力燃料（KEPCO NF）	大田	600
ロシア	Fuel Company of Rosatom TVEL	モスクワ州、Elektrostal	1,200
		ノヴォシビルスク州、Nobosibirsk	700
イギリス	ウエスティングハウス UK	ランカシャー州、Springfields	550
アメリカ	AREVA NP	ワシントン州、Richland	1,700
	GNF-Americas	ノースカロライナ州、Wilmington	1,200

また、これを企業別に集約すると、図 2-5 の通りとなる。

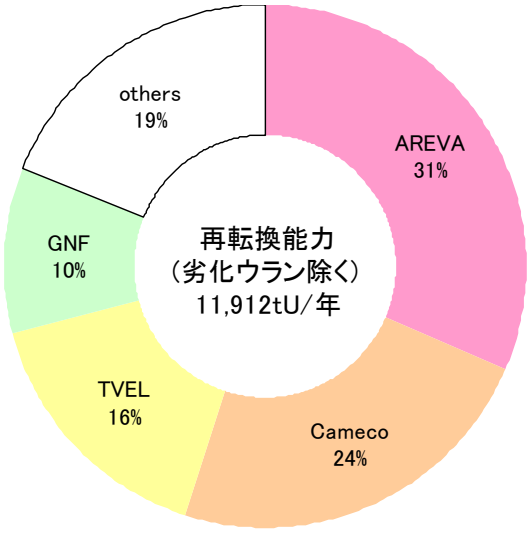


図2-5 ウラン再転換施設容量の企業別シェア

世界の再転換能力 11,912tU/年のうち、最大はAREVAグループ（3,750tU/年）であり、次いでCameco（2,800tU/年）、TVEL（1,900tU/年）、GNF（1,200tU/年）となっている。上位 4 社の寡占度は 81%である。再転換は、通常は加工工程の一部として実施されているため、小規模な再転換施設が各国に存在している。
日本ではJCOの臨界事故に伴う廃業により、BWR向け燃料の再転換施設が国内に存在しなくなったため、BWR向け燃料については米国の２社（GNF-J）及びシーメンス系のSiemens Power Cooperationに委託している。再転換は成型加工の業務範囲内であることから、再転換の発注は成型加工会社がこれら海外の再転換業者に発注している。

なお、上表及び上図では、劣化ウランや回収ウランの再転換施設は含まれていない。これらの詳細については第 4 章を参照のこと。

2-5　燃料成型加工役務寡占度分析

世界の国別・企業別のウラン燃料成型加工施設の一覧を表 2-5 に示す。

表2-5 ウラン燃料加工施設の国別・企業別生産能力

国名	会社名	施設名	所在地	対象炉	設備容量（tHM/年）
アルゼンチン	原子力委員会（CNEA）	Ezeiza – Nuclear Fuel Manufacture Plant	Buenos Aires州、Ezeiza	PHWR	270
ベルギー	FBFCインターナショナル	Dessel Fuel Fabrication Plant	フランドル地方、アントウェルペン州、Dessel	PWR、BWR	500
ブラジル	Industrias Nucleares do Brasil（INB）	Nuclear Fuel Factory	リオデジャネイロ州、Rio de Janeiro	PWR	250
カナダ	GEカナダ	Peterborough Facility	オンタリオ州、Peterborough	PHWR	1,200
	Cameco Fuel Manufacturing Inc.	Port Hope	オンタリオ州、Port Hope	PHWR	1,200
中国	中国核工業集団公司（CNNC）	Jianzhong	四川省、Yibin（宜賓）	PWR	800
		North	内モンゴル自治区、Baotou（包頭）	PWR	200
		Candu Fuel Plant	内モンゴル自治区、包頭	PHWR	200
フランス	FBFCインターナショナル	Romans Fuel Fabrication Plant	ドローム県、Romans-sur-Isère	PWR	1400
ドイツ	Advanced Nuclear Fuels GmbH（ANF）	Advanced Nuclear Fuels GmbH Lingen Plant	ニーダーザクセン州、Lingen	PWR、BWR	650
インド	Nuclear Fuel Complex（NFC）	NFC（BWR）	アーンドラ・プラデーシュ州、Hyderabad	BWR	24
		NFC（PHWR）-2		PHWR	300
		NFC-（PHWR）-Block-A		PHWR	300
日本	グローバル・ニュークリアフュエル・ジャパン（GNF-J）	久里浜工場	神奈川県横須賀市	BWR	750
	三菱原子燃料株式会社（MNF）	三菱原子燃料株式会社（MNF）	茨城県東海村	PWR、BWR	440
	原子燃料工業株式会社（NFI）	NFI熊取事業所	大阪府熊取町	PWR	284
		NFI東海事業所	茨城県東海村	BWR、HTR	250
韓国	韓電原子力燃料（KEPCO NF）	PWR Fuel Fabrication Plant	大田	PWR	550
		PHWR Fuel Fabrication Plant	大田	PHWR	400
パキスタン	Pakistan Atomic Energy Commission（PAEC）	Chashma	Chashma	PHWR	20
ロシア	Fuel Company of Rosatom TVEL	Machine Building Plant, JSC MSZ	モスクワ州、Elektrostal	VVER-1000、PWR	1800
	Fuel Company of Rosatom TVEL	Machine Building Plant, JSC MSZ	モスクワ州、Elektrostal	RBMK	460
	Fuel Company of Rosatom TVEL	Novosibirsk Chemical Concentrates Plant, JSC（NCCP）	ノヴォシビルスク州、Nobosibirsk	VVER-1000	1080
ルーマニア	S N. Nuclearelectrica SA	Fabrica de Combustibil Nuclear	Arges	PHWR	240
スペイン	ENUSA Industrias Avanzadas, S.A.	Fabrica de combustible	サラマンカ県、Juzbado	PWR、VVER、	500
スウェーデン	Westinghouse Eiectric Sweden AB	Westinghouse Sweden Nuclear Fuel Factory	ヴェストマンランド県、Vasteras	PWR、BWR	600
イギリス	Westinghouse/UK	Springfields OFC AGR Line	ランカシャー州、Springfields	AGR	290
		Springfields OFC LWR Line	ランカシャー州、Springfields	LWR	330
米国	Westinghouse	Columbia	サウスカロライナ州、Columbia	PWR、BWR	1150
	AREVA NP	Richland	ワシントン州、Richland	LWR	700
	GNF-Americas	Wilmington	ノースカロライナ州、Wilmington	BWR	750

これを企業別に集約すると、図 2-6 の通りとなる。

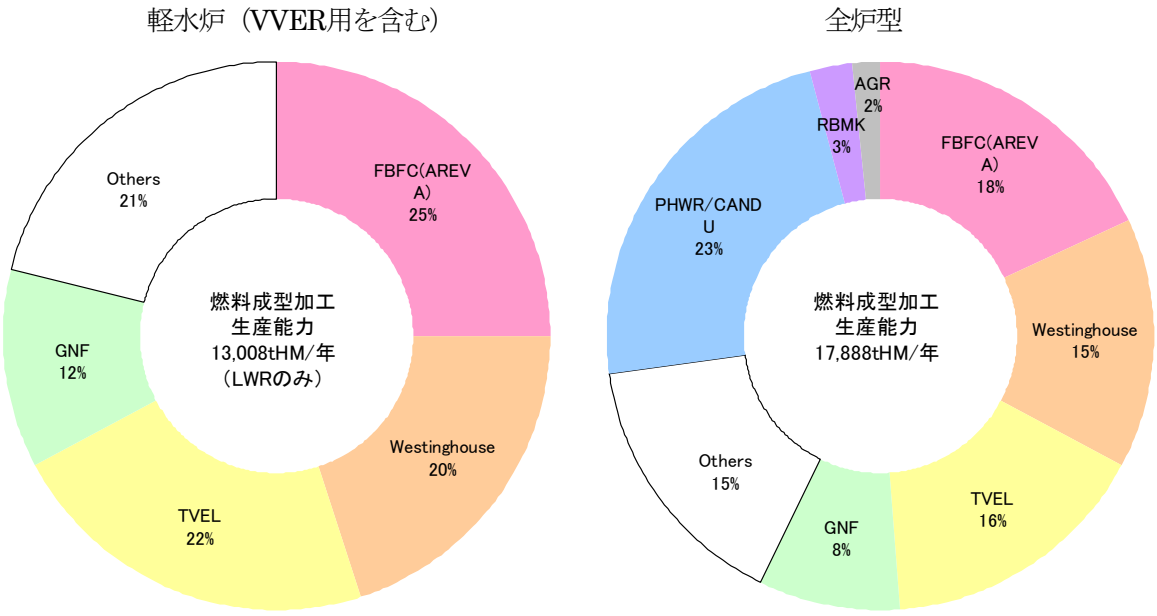


図2-6 燃料成型加工施設容量の企業別シェア

軽水炉用燃料（PWR、BWR、VVER）の燃料製造能力 13,008tHM/年のうち、最大はAREVAグループ（3,250 tHM/年）であり、次いでWestinghouse（2,614 tHM/年）、TVEL（2,880 tHM/年）、GNF（1,500tHM/年）となっている。上位 4 社の寡占度は約 80%と、他のサイクル施設と比較すれば寡占度は高くない。これは、燃料の成型加工は、基本的に機械工作・製造が主体であり、ウラン濃縮等のように特異な技術を要しないことから、日・米・仏・露といった大消費国だけでなく、中国、韓国、スペイン、ブラジルといった国々でも燃料集合体ないしはペレット製造を行っていることによると考えられる。

また、軽水炉燃料以外の燃料も含めて考えると、加圧水型重水炉（PHWR、CANDU）のシェアが高いが、重水炉では天然（もしくは微濃縮ウラン）を利用している都合上、同じ電力を発電するために必要となるウラン量が多くなるため、ウラン重量単位（tHM）で設備能力を換算すると、大きな設備能力が必要となることによる。なお、重水炉燃料の製造シェアは、Camecoが 6 割近く（2400 tHM/年：59%）を占めており、以下インド（600 tHM/年：15%）、韓国（400 tHM/年：10%）となっている。

2-6　MOX燃料成型加工役務寡占度分析

世界の国別・企業別のMOX燃料成型加工施設の一覧を表 2-6 に示す。なお、この一覧表及び後述するシェアを示すグラフにおいて、軽水炉以外のFBR用MOX燃料も含まれる事に留意が必要である。

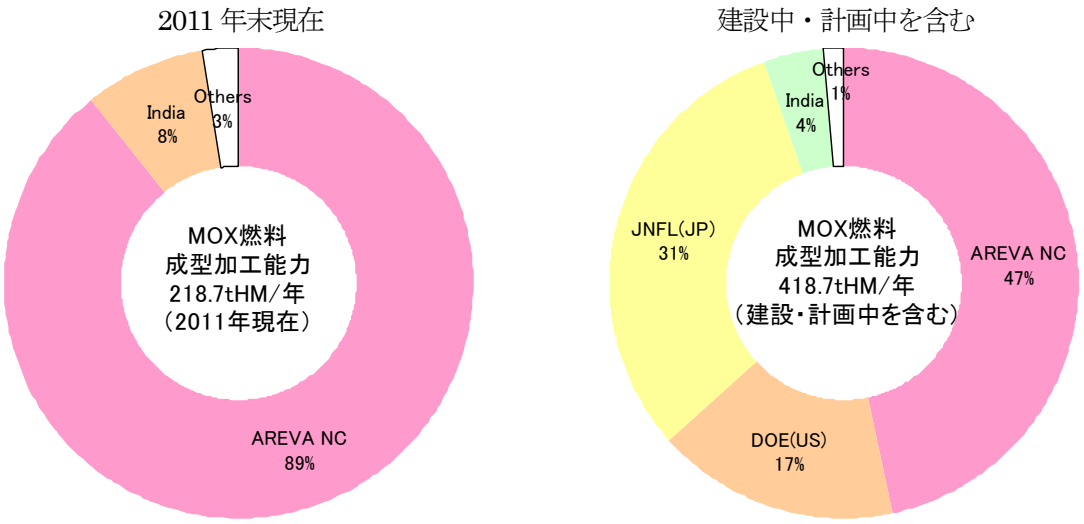
表2-6 MOX燃料成型加工施設の国別・企業別生産能力

国名	会社名	施設名	所在地	製造能力（tHM/年）
ベルギー	Belgonucleaire	デッセル	フランドル地方、アントウェルペン州、Dessel	40
フランス	AREVA NC	カダラッシュ	ガール県 Bagnols-sur-Cèze	40
		メロックス	ガール県、Marcoule	195
インド	バーバ原子力センター（BARC）	タラプール	マハーラーシュトラ州、タラプール	18
日本	日本原子力研究開発機構	第二開発室	茨城県東海村	8.8
		第三開発室	茨城県東海村	4.4
	日本原燃	六ヶ所MOX燃料加工施設	青森県六ヶ所村	130
ロシア	Mayak	Packaging Technology (Russian MOX Fabrication Facility) (PAKET)	マヤク	0.3
	ロシア原子炉科学研究所（RIAR）	Experimental Research Complex (ERC)	ディミトロフグラード	1
アメリカ	DOE/NNSA	MOX Fuel Fabrication Facility (MFFF)	サウスカロライナ州サバンナリバー	70
イギリス	Nuclear Decommissioning Authority(NDA)	MOX Demonstration Facility (MDF)	カンブリア、Sellafield	8
		Sellafield MOX Plant (SMP)		15

注：灰色に塗りつぶした施設は閉鎖済みのものを示す。

これを企業別（国別）に集約すると、図 2-7 の通りとなる。

図2-7 MOX燃料成型加工施設の国別・企業別シェア



かつてはベルギー及びイギリスでも、軽水炉向けMOX燃料の成型加工が行われていたが、それぞれ 2006 年及び 2011 年に閉鎖となったため、現在、商業用軽水炉向けMOX燃料は、AREVAのMELOX工場（195tHM/年）においてのみ製造可能である。現在、日本の六ヶ所村で日本原燃がMOX燃料製造施設を建設中であるほか、米国ではサバンナリバーサイトでDOEが主体となって、解体核兵器から生じるプルトニウムをMOX燃料に加工するための施設が建設中であり、これらが操業を開始すれば、MOX燃料の成型加工能力は現在の倍近くに増大することとなる見込みである。しかし、再処理を実施できる国が限られている事から、プルトニウム保有国も限定されており、寡占状態が続くものと考えられる。

2-7　再処理役務寡占度分析

世界の国別・企業別の再処理施設の一覧を表 2-7 に示す。

表2-7 再処理施設の国別・企業別生産能力

国名	会社名	施設名	所在地	処理能力（tHM／年）	燃料	操業開始
中国	CNNC	蘭州	甘粛省、蘭州	50	濃縮ウラン	2006
フランス	AREVA NC	UP2-800	バス＝ノルマンディー、la Hague	1,000	濃縮ウラン	1994
		UP3		1,000	濃縮ウラン	1989
インド	バーバ原子力センター	トロンベイ再処理工場	マハーラーシュトラ州、トロンベイ	60	加圧重水型原子炉用燃料	1964
		タラプール再処理工場	マハーラーシュトラ州、タラプール	100	加圧重水型原子炉用燃料	2011
		カルパッカム再処理工場	タミルナド州、カルパッカム	100	加圧重水型原子炉用燃料	1998
日本	日本原子力研究開発機構	東海再処理施設	茨城県、東海村	0.7t／日	濃縮ウラン	1981
	日本原燃（株）	六ヶ所再処理工場	青森県、六ヶ所村	800	濃縮ウラン	2013予定
ロシア	マヤク社（ROSATOM子会社）	RT-1	チェリャビンスク州、Ozersk	400	濃縮ウラン	1971
	鉱山化学コンビナート社（ROSATOM子会社）	RT-2	クラスノヤルスク州、Zheleznogorsk	1,400	濃縮ウラン	第1フェーズ（2025） 第2フェーズ（2030）
イギリス	Nuclear Decommissioning Authority(NDA)	B205	カンブリア、Sellafield	1,000	天然ウラン	1964
		THORP		900	濃縮ウラン	1994

注：表中「天然ウラン」とは、天然ウランからなる燃料を燃焼させて生じた使用済燃料を再処理する施設であることを示す。

これを企業別（国別）に集約すると、図 2-8 の通りとなる。

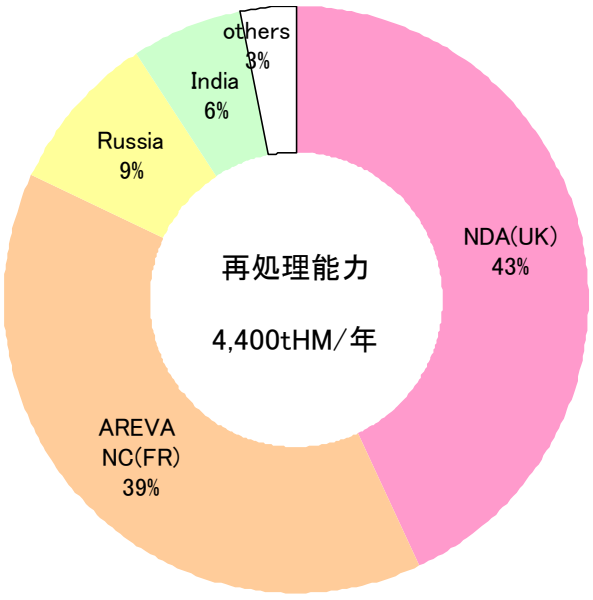


図2-8 再処理施設の国別・企業別シェア

再処理は、サイクル技術の中でも高い技術力を要する過程であること、広く用いられているPUREX法ではプルトニウムを単体で抽出できることから、核拡散防止上の規制が厳しいこと、毒性の強い高レベル放射性廃棄

物を生じることから、安全上の規制も厳しいこと、等の理由により、商業規模で再処理を実施している国は限られている。なお、商業用の用途で再処理施設を操業している国は、日本を除くと全て核兵器保有国（米・露・英・仏・印・中）である。

2-8　企業別寡占度分析のまとめ

図 2-9 に、サイクル役務別の企業シェア上位４社をまとめて示す。転換、濃縮、MOX成型加工、再処理であり、低いのはウラン生産、再転換及び軽水炉用ウラン成型加工である。また、AREVAとロシア（ロスアトム）はほぼ全ての役務で事業展開している一方、濃縮におけるURENCO、USEC、転換におけるConverdynは、その役務を専業としており、多分野に展開はしていない。このことから、サイクル役務全般にわたる事業を展開できる企業は非常に限定的であること、濃縮・転換・再処理といった特殊で高度な役務には参入障壁が非常に高いことが伺える。一方で、他の鉱山技術を応用する余地のある粗精錬や、機械工作・製造が主体となる燃料成型加工施設の寡占度は比較的低く、参入障壁はそれほど高くない様子が伺える。

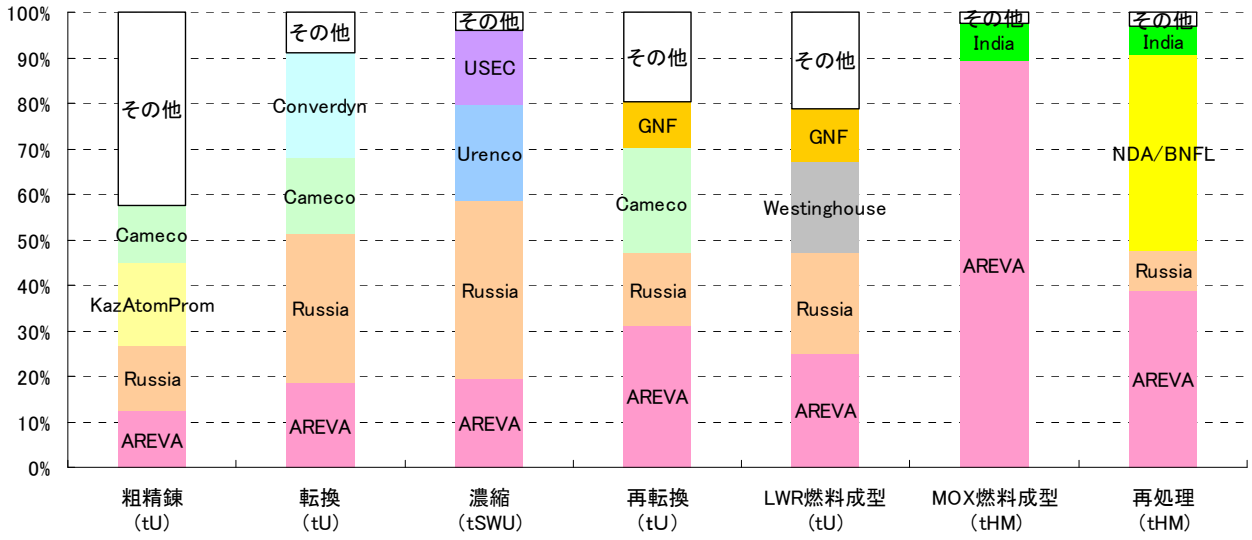


図2-9 サイクル役務別企業シェア上位４社

第３章　世界全体における核燃料のフローとバランス

1.　はじめに

原子力発電の長期展望を考える際、ウランの資源量の問題は常に懸念事項となる。既存技術である軽水炉の利用を続ける限り、ウラン燃料の需要量は今後長期にわたり急速な拡大を続ける。仮に福島事故を受けた政策変化等の政策的要因やプルサーマル・高速増殖炉・トリウムサイクル等の新たな技術の導入を考慮したとしても、今後中長期的にウランの需要拡大が見込まれる状況に変りはなく、それに対して十分なウランの供給を行うことが可能であるのか、もし可能であるならばどのような地域から、どの程度のウランが供給されるのかを評価することは、将来の原子力発電の進展見通し、ひいては世界のエネルギー需給見通しや温室効果ガス削減見通しを考察する上で重要である。

また、天然ウラン需要量とウラン濃縮役務量とはトレードオフの関係にあるため、ウランの需給を考える際には同時にウラン濃縮役務容量も考慮に入れる必要がある。このため、本稿では最新の文献[1]に基づいてウラン生産の見通しを想定し、更に既存の計画等から将来のウラン濃縮設備容量の想定を置くことにより、ウラン燃料の将来の需給及び貿易フローの将来推計を行った。

2.　世界の原子力発電設備容量の長期見通し

2-1　各地域の動向と発電設備容量見通し

福島第一原子力発電所の事故の直後、ドイツは 1980 年以前に運転開始した国内 7 基の原子炉の稼働を停止した。当初はこの停止は安全性確認のためとされていたが、その後 6 月 6 日、これらの停止中の原子炉をそのまま廃止し、更に 2013 年から 2021 年にかけて残りの原子力発電所を順次段階的に閉鎖する方針を閣議決定した。イタリアでは、6 月に入って原子力発電再開の是非を問う国民投票が実施され、9 割以上の反対により当面の原子力再開は不可能となった。また、スイスでは、2019 年から 2034 年までの間に既存の原発 5 基を廃止することを決定したほか、ベルギーでは 12 月に発足した新政権が 2009 年に示された運転期間延長決定が撤回されている。

このように、一部の国において福島の事故は原子力政策に直接の影響を与え、原子力依存からの退却へと大きく舵を切らせることとなったが、一方では従来の原子力推進政策を全く変えていない国も多くある。特に米国・フランス・ロシア・韓国といった従来から原子力発電を積極的に推進してきた国々や、中国・インド等の新興国は、エネルギー安定供給や地球環境問題への対応、更には自国内の原子力産業育成を通じた国際競争力の維持・強化という観点から、原子力推進政策を変更していない。

このような動向を踏まえ、世界の原子力発電利用国及び今後利用する可能性がある国の全てについて、原子力政策動向や電源開発計画、エネルギー需給動向等をもとに 2035 年までの原子力発電設備容量を想定し、それを集計することで北米・中南米・欧州・アフリカ・旧ソ連・中東及びアジアの各地域の原子力発電設備容量を推計した。評価に当っては世界各国が今後も最大限原子力発電設備容量を積極的に拡大することを想定した「高成長ケース」と、福島事故が各国の原子力政策に最大限のインパクトを与え、或いは資金調達等の課題が顕在化し、原子力開発が停滞すると想定した「低成長ケース」の 2 ケースを想定した。

地域別の動向予測は以下の通りである。

[1] Organization for Economic Co-operation and Development, International Energy Agency, “Uranium 2011 Resources, Production and Demand”, OECD Publishing, (2012).

(1) 北米

米国は104基の発電用原子炉を有する世界最大の原子力大国であるが、非在来型天然ガスの生産が急拡大したことや、原子力が米国にとって、温室効果ガス削減のための最大の手段ではないことなどから、新規建設に向けた歩みは順調ではなかった。しかし2012年には新設に向けて初の建設・運転一体認可(COL)が発給される一方で、既存炉については60年までの運転延長が既に半数以上の原子炉に対して認可され、更に80年までの延長も検討されるなど、今後も原子力発電設備容量を維持する方針が堅持されている。ここでは低成長ケースでは概ね米エネルギー省の見通しに準じ、2035年までに10GW（1,000万kW）程度のみの発電容量増加が見られると想定し、高成長ケースでは現在計画中の原子炉の建設・運開を見込んで2035年に122GWまで設備容量が増加すると見込んだ。

カナダは独自の重水炉を中心とした豊富な原子力開発の経験を有する国である。同国中最大の電力需要をもち18基の原子炉中16基を有するオンタリオ州において、発電設備容量の拡大も計画されている。ここでは、カナダ政府の見通しに準じて、低成長ケース並びに高成長ケースではともに、発電設備容量が2020年まで緩やかに増大すると考えた。しかし、2035年には既設の原子炉が6基廃炉となる見込みのため、発電容量は現状とほぼ変わらない値まで減少すると想定した。

以上により、北米での発電設備容量は低成長ケースでは2010年の119GWから2035年には129GWまで緩やかに増大し、高成長ケースでは136GWへ増大すると想定した。

(2) 中南米

中南米地区において現在原子力発電を行っている国は、メキシコ・ブラジル及びアルゼンチンである。メキシコにおいては、出力増強による設備容量の微増と、高成長ケースにおいては2基の新規建設を想定した。ブラジルでは2基2.0GWが稼働中であり、建設を中断していたアングラ3号機も建設再開が決定され、2013年に運転が開始される予定である。今後電力需要の伸びに伴い、発電設備容量は大幅に増大する可能性がある。また、アルゼンチンでは2基1GWの原子炉が稼働中であり、そのうち1基は2030年より前に廃炉を迎えると考えられる。なお、資金難等の理由により1994年以降建設が中断されていた重水炉のアトーチャ2号の建設は、2007年より作業が再開された。これらを踏まえ、低成長ケースではアトーチャ2号機は運転開始するが同1号機が廃炉となるとし、高成長ケースではアトーチャ2号機に加えて1基の新設を見込んだ。

以上により、中南米での発電設備容量は低成長ケースで2010年の4GWから2035年には6GW、高成長ケースで17GWまで増大すると想定した。

(3) 欧州

欧州ではかつて、1970年代から80年代にかけて多数の原子炉が建設され、発電設備容量が急速に拡大した。その後原油価格の低迷に伴う原子力発電の経済性の悪化などから、原子力の新規建設は抑制され、複数の国において以後段階的に原子力を廃止するものとする政策が採られるようになった。

最大の原子力推進国であるフランスでは、2012年に就任したオランド大統領が公約「2025年に原子力比率を現状の75%から50%まで低減し、再生可能エネルギーの導入を推進すること」に向け、2012年9月に原子力政策審議会を招集し、議論を開始した。しかし原子炉閉鎖については具体的なスケジュールが未だ示されていないことなどから、今後当面は現状の維持が続く可能性が高いと思われる。ここでは、低成長ケースにおいて、運転年限50年を迎えた炉の順次廃炉と若干の新設を想定し、高成長ケースにおいては今後2035年まで現状の高い原子力比率が維持されるものと想定した。

一方でドイツ・イタリア・スイス・ベルギー等、福島事故を受けて脱原子力政策の方向性を明確にしている諸国については、低成長ケースでは2035年には原子力発電設備はゼロになるものと想定した。但しスウェーデンのように、過去脱原子力政策を決定しながら現実に脱原子力を実現できていない例もあることから、ドイツとイタリアを除いた他脱原子力国については、高成長ケースにおいて現状の政策にもかかわらず2035年にも若干の発電設備容量が残ると見込んだ。

今後欧州においては若干の新規建設へ向けた動きが実現するものの、老朽化した既存炉が大量に廃棄されざるを得ないことから、総体として発電設備容量は横ばい、もしくは減少すると考えられる。上記のような状況を踏まえ、2010 年の設備容量 141GWに対し、2035 年に低成長ケースで 83GW、高成長ケースで 145GWになると想定した。

(4) ロシア・ウクライナ（旧ソ連）

旧ソ連地域において大きな発電設備容量をもつのは、ロシア及びウクライナである。ロシアは世界有数の石油・ガス生産国であり、化石エネルギー資源を外交政策上の重要な手段と位置づけている一方で、原子力についても産業の海外展開を含め国家的規模で推進しており、その点については福島事故後も変化は見られない。同様にウクライナにおいても今後発電用原子炉の新規建設を続けることが想定されている。

この地域においては、今後 2035 年までの間、特にロシアを中心とした発電設備容量の大幅増強がなされるものと考えられる。ここでは 2010 年の 37GWから、2035 年に低成長ケースで 56GWまで、高成長ケースではカザフスタンでの新設等も含めて同年に 94GWまで発電設備容量が拡大すると想定した。

(5) 中東・アフリカ・オセアニア

中東地域は言うまでもなく石油・天然ガスの大産出地域であるが、近年、エネルギー資源の多様化や海水の淡水化のための利用を目指し、多くの国で原子力の導入を検討し始めている。具体的な動きとしてはロシア型軽水炉を導入し、原子力開発を続けるイランのみでなく、UAE、サウジアラビア、クウェート、ヨルダンなど多くの諸国で新規建設が検討されており、UAEでは 2012 年、韓国企業グループが受注した新規サイトが着工された。ここでは 2035 年までに低成長ケースではUAEのみにおいて新設、高成長ケースでは現在導入を検討している他の諸国でも建設が進むものと想定した。これらを踏まえ、2010 年の 0GWから、2035 年に低成長ケースで 7GW、高成長ケースで 31GWまで発電設備容量が大幅に増大すると見込んだ。

アフリカ大陸では、南アフリカにおいて 1984 年よりフランス製の軽水炉が稼動している。同国はPBMR（ペブルベッド式モジュール炉）と呼ばれる独自開発のガス炉の導入やAP1000、EPRといった新軽水炉の導入を計画していたが、経済状況の悪化から計画は両者ともに頓挫している。ここでは 2010 年の 1.9GWから低成長ケースでは設備容量の増加がなされず、高成長ケースでのみ 2035 年に 9GWまで容量拡大が行われると想定した。

(6) アジア

欧米で原子力発電所の新設が止まっていた 1990 年代においても、アジアにおいては、日本・韓国を中心として原子力発電所の建設が続けられていた。最近になり中国・インドや東南アジア等の新興諸国において原子力発電への関心が急速に高まっており、今後世界の原子力発電所新設の多くはアジアでなされる見込みである。

中国では福島事故前の 2011 年初頭の時点で 13 基 10.85GWが運転中であったが、同時にその 3 倍に相当する 30 基 33GWの発電所を新規に建設している最中であった。事故直後から同国では新規建設計画の承認が凍結されており、これにより 2020 年までに 70～80GWという新設計画は遅延を免れないこととなったが、その後も既に認可を受けている発電所の建設は着実に進められており、許認可凍結も安全性の確認とともに近く解除される見通しである。なお、最新の中国政府筋報道によると、2020 年までの新規建設規模は 62GW前後となるとみられ、今後新設計画に向けて急速な進展を続けるものと考えられる。

インドでも従来国内資源を利用したトリウムサイクル開発とともに、海外からの軽水炉の大規模移入を目指しており、2011 年 7 月には新たにラジャスタン 7・8 号機の建設工事に着手するなど、原子力新設方針は福島事故後も変っていない。

東南アジアではベトナム、タイ、マレーシア、インドネシア、フィリピンで原子力導入が検討されている。ベトナムはニントゥアン第一・第二原子力発電所建設計画を進めており、福島事故後も積極的な原子力導入姿勢を変えていないが、他の諸国では導入計画の先送りや導入規模の縮小が検討されている。

以上を踏まえ、中国とインドについては、高成長ケースでは国の計画相当までの大量建設が実現するとした一方で、低成長ケースでは福島事故後の政策の微修正なども含め、より低い見通しを採用した。一方で東南アジア諸国においては福島事故を受けて原子力推進政策の再検討がなされていることから、低成長ケースでは既に具体的に建設計画が進みつつあるベトナムを除き 2035 年まで新設はなされないものと想定、高成長ケースにおいては各国 4 基程度の建設を想定した。

これらのことから、アジア地域においては 2010 年の 85GWから、2035 年に低成長ケースで 190GW、高成長ケースで 329GWまでの急拡大がなされるものと想定した。

これらの結果として、世界全体の原子力発電設備容量は 2010 年の 390GWから、2035 年には高成長ケースでは 760GWまで、低成長ケースにあっても 471GWまで拡大すると見通される。各ケースにおける原子力発電設備容量の見通しを表 3-1 に示す。

表 3-1　世界の原子力発電設備容量の長期見通し

（単位：GW=百万kW）

	2010	低成長ケース		基準ケース		高成長ケース	
		2020	2035	2020	2035	2020	2035
米国	105.3	115.8	115.4	115.8	115.4	116.4	121.8
カナダ	13.3	15.0	13.8	15.0	13.8	15.0	13.8
北米	118.6	130.8	129.2	130.8	129.2	131.4	135.6
メキシコ	1.4	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	3.8
ブラジル	2.0	3.4	3.4	4.1	7.5	5.1	10.3
アルゼンチン	1.0	1.0	0.6	1.0	1.4	1.8	2.5
中南米	4.4	6.0	5.7	6.7	10.6	8.5	16.7
イギリス	12.0	7.8	6.9	9.2	9.7	10.6	15.3
ドイツ	21.5	8.6	0.0	12.7	0.0	12.7	0.0
フランス	66.0	69.2	44.7	67.5	69.1	67.5	69.1
イタリア	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
スペイン	7.7	7.8	7.3	7.8	7.3	7.8	7.3
スウェーデン	9.4	10.2	9.1	10.2	9.1	10.2	11.3
ベルギー	6.2	5.3	0.0	5.3	0.0	6.4	5.5
スイス	3.4	3.0	0.0	3.0	0.0	3.4	2.3
フィンランド	2.8	4.6	6.3	4.6	6.3	6.3	8.0
オランダ	0.5	0.0	0.0	0.5	0.5	0.5	2.2
スロバキア	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	2.9	2.9
ハンガリー	1.9	2.0	0.0	2.0	2.0	2.0	2.0
チェコ	3.9	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	5.1
ブルガリア	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	3.1
スロベニア	0.7	0.7	0.0	0.7	0.7	0.7	1.8
ルーマニア	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	2.1	2.8
トルコ	0.0	0.0	0.0	2.0	4.0	2.0	6.8
欧州	141.3	128.4	83.4	134.8	118.0	141.0	145.4
ロシア	23.2	26.0	40.9	37.5	50.4	43.2	59.4
ウクライナ	13.8	15.8	14.0	15.8	20.6	15.8	27.2
アルメニア	0.4	0.0	0.0	0.4	0.4	0.4	0.4
カザフスタン	0.0	0.0	0.0	1.1	2.2	1.1	4.4
リトアニア	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.5	1.5
ベラルーシ	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.1
旧ソ連	37.4	41.8	54.9	54.8	73.6	62.0	94.0
南アフリカ	1.9	1.9	1.9	1.9	4.1	3.6	8.7
アフリカ	1.9	1.9	1.9	1.9	4.1	3.6	8.7
イラン	0.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	4.3
UAE	0.0	0.0	5.6	0.0	5.6	2.8	8.4
サウジアラビア	0.0	0.0	0.0	0.0	5.6	0.0	8.4
ヨルダン	0.0	0.0	0.0	1.1	1.1	1.1	1.1
クウェート	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.8
カタール	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.8
オマーン	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.8
中東	0.0	1.0	6.6	2.1	13.3	4.9	30.6
中国	9.1	58.5	110.9	58.5	110.9	71.8	161.6
日本	48.8	23.1	0.0	34.1	13.0	34.1	13.0
台湾	5.1	5.2	3.9	7.9	6.6	7.9	7.9
韓国	17.7	24.0	34.0	30.1	42.5	30.1	42.5
インドネシア	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.6
マレーシア	0.0	0.0	0.0	0.0	2.8	0.0	5.6
フィリピン	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.8
タイ	0.0	0.0	0.0	0.0	2.8	0.0	5.6
インド	4.1	17.8	37.8	17.8	37.8	25.8	72.5
ベトナム	0.0	0.0	2.2	0.0	5.0	1.1	7.8
パキスタン	0.5	0.8	0.8	1.5	1.5	1.5	3.7
アジア	85.4	129.3	189.6	149.8	223.0	172.3	328.6
世界計	389.1	439.3	471.4	480.8	571.8	523.7	759.6

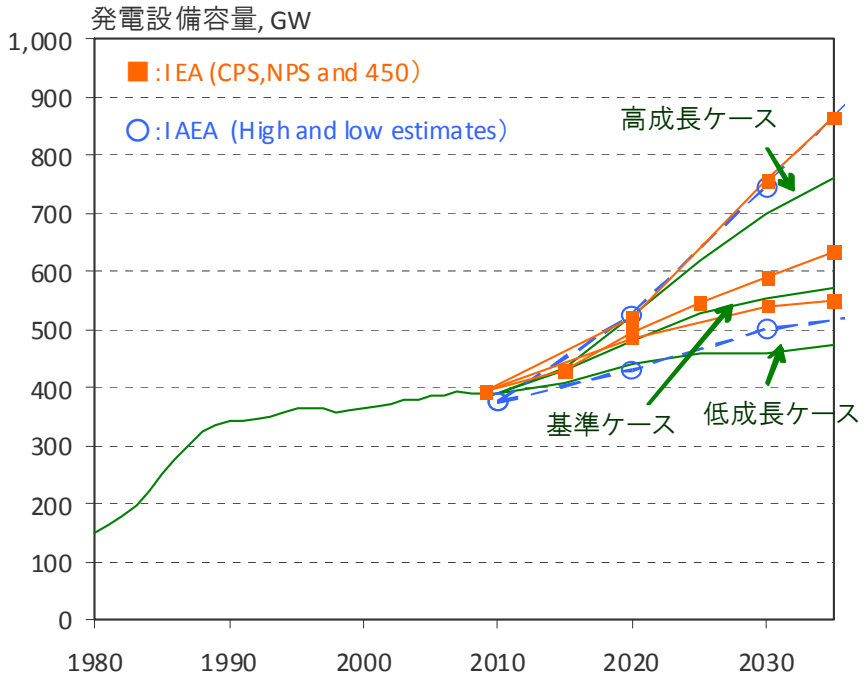
なお、高成長ケース相当まで原子力発電設備が増加した場合でも、世界の発電量（当所「アジア／世界エネルギーアウトルック 2012」技術進展ケース相当）に占める原子力のシェアは 2035 年に 17%程度にとどまる。現在多数の国で 20%以上の原子力発電比率のもとで安定的に電力供給が行われていること、ま

た世界の電力需要全体は非OECD諸国を中心に 2035 年以降も拡大を続けることなどを考えると、高成長ケースにあっても、以後更に原子力発電が増加する余地はあると言える。

2-2　他機関の見通しとの比較

前節で推計した世界の原子力発電設備容量の見通しを代表的な国際機関の見通しと比較すると、図 3-1 の通りとなる。

図 3-1　他機関の見通しとの比較



IAEAの見通し[2]では低位ケース（Low Estimate）及び高位ケース（High Estimate）の二つの数字が公開されており、2010 年版では 2030 年の見通しとして現在の 372GW（ネット）から低位で 546GW、高位で 843GWとの見通しが示されていた。2011 年 3 月の福島事故の後、IAEAは最新版の見通しを公開し、そこでは 2030 年に低位で 501GW、高位で 746GWと、やや下方修正を行っている。図 3-1 からわかるように、この低位ケース及び高位ケースはほぼ本稿での低成長ケース・高成長ケースと同等のレベルとなっている。

IEAの見通し[3]では、エネルギー需給の将来について現行政策シナリオ（CPS）、新政策シナリオ（NPS）及び 450 シナリオの 3 つのシナリオが設定されている。この中で、原子力発電設備容量の見通しはCPSが最も小さく、450 が最も大きい。図 3-1 に示すように、最も需要の大きい 450 シナリオでは原子力発電設備の伸びは高成長ケースよりもやや大きい程度であり、最も小さいCPSでは低成長ケースをやや上回る。これらのように、本章で各国の政策動向等から積み上げた原子力発電設備の見通しは代表的な国際機関の公表する見通しと概ね整合的であり、世界的に見ても違和感のないものであることがわかる。

[2] International Atomic Energy Agency, ”Energy, Electricity and Nuclear Power Estimates for the Period up to 2050”, IAEA (2011).
[3] International Energy Agency, “World Energy Outlook 2011”, IEA Publications, (2011).

3. 2035 年までのウラン燃料貿易フローの見通し

3-1 試算方法及び前提条件

本節では、前節の原子力発電設備容量見通しを用いて将来の原子力発電電力量を推計し、更に、天然ウラン生産能力及びウラン濃縮設備容量の将来見通しを想定した上で、これらの情報を用いて 2020 年及び 2035 年の天然ウラン・ウラン濃縮役務の需給と貿易フローを推計する。試算方法及び前提条件は以下の通りである。

(1) 原子力発電電力量及び天然ウラン・ウラン濃縮役務需要量の見通し

前節で推計した発電設備容量に設備利用率を乗じることにより、原子力発電電力量を推計することができる。設備利用率としては、既に原子力発電を行っている国については過去 5 年間の平均値を用い、新規の建設が見込まれる国については 80%を想定した。なお英国・インド等、特殊な理由によって過去平均の設備利用率が 70%を下回っていた国については 70%を想定、また過去政策的理由によって設備利用率が低く抑えられていたドイツにおいては、今後脱原子力政策に伴い設備容量が減少する一方で、同国の設備利用率としては高めの 80%程度を維持するものと想定した。

この発電電力量から、天然ウラン需要量及びウラン濃縮役務需要量（分離作業量）を推計することが可能である。ウランの濃縮を行う際にテイル濃度[4]を何%に設定するかによって値が異なることを踏まえ、テイル濃度が高い場合（0.3%）と低い場合（0.1%）の天然ウラン需要量及び濃縮役務需要量を、低成長ケース・高成長ケースそれぞれについて計算すると、表 3-2 及び表 3-3 の通りとなった。

なお、この計算を行うに当っては、簡単のためカナダの発電設備は全て重水炉、その他の国の発電設備は軽水炉と単純化し、軽水炉用燃料のみに対し、ウラン濃縮度 4%、燃焼度 45GWd/t、熱効率 34.5%と仮定してウラン濃縮役務需要量を計算した。

表 3-2 天然ウラン需要量及びウラン濃縮役務需要量の見通し（低成長ケース）

	発電量（TWh）		天然ウラン需要量（tU）				濃縮役務量（tSWU）			
			0.1%		0.3%		0.1%		0.3%	
	2020	2035	2020	2035	2020	2035	2020	2035	2020	2035
米国	912	910	15,894	15,851	22,435	22,375	22,226	22,166	13,067	13,032
カナダ	105	96	1,830	1,679	2,583	2,369	2,559	2,347	1,504	1,380
中南米	43	40	746	700	1,053	987	1,043	978	613	575
欧州	881	573	15,351	9,980	21,669	14,087	21,466	13,955	12,621	8,205
旧ソ連	285	377	4,960	6,562	7,001	9,262	6,936	9,175	4,078	5,395
中東	7	46	122	806	172	1,137	171	1,127	100	662
アフリカ	12	12	209	209	295	295	292	292	172	172
アジア	946	1,380	16,474	24,035	23,254	33,927	23,037	33,610	13,544	19,761
オセアニア	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
世界計	3,191	3,434	55,586	59,821	78,461	84,438	77,729	83,650	45,700	49,181

[4] ウラン濃縮を行うことにより副産物として生じる劣化ウラン中の U235 濃度のこと。これを低くするほど、一単位の天然ウランから得られる濃縮ウランの量は大きくなるが、一方で必要な濃縮役務量も増える。即ち、天然ウラン需要量と濃縮役務需要量とはテイル濃度を媒介としてトレードオフの関係にある。

表 3-3　天然ウラン需要量及びウラン濃縮役務需要量の見通し（高成長ケース）

	発電量（TWh）		天然ウラン需要量（tU）				濃縮役務量（tSWU）			
			0.1%		0.3%		0.1%		0.3%	
	2020	2035	2020	2035	2020	2035	2020	2035	2020	2035
米国	917	960	15,980	16,723	22,556	23,605	22,346	23,385	13,138	13,749
カナダ	105	96	1,830	1,679	2,583	2,369	2,559	2,347	1,504	1,380
中南米	60	117	1,045	2,045	1,476	2,887	1,462	2,860	860	1,682
欧州	971	1,001	16,920	17,437	23,883	24,613	23,660	24,383	13,911	14,336
旧ソ連	424	642	7,391	11,192	10,432	15,797	10,335	15,650	6,076	9,201
中東	34	214	598	3,736	844	5,273	836	5,224	492	3,071
アフリカ	23	55	395	952	557	1,344	552	1,332	325	783
アジア	1,254	2,353	21,845	40,980	30,835	57,845	30,547	57,305	17,960	33,692
オセアニア	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
世界計	3,789	5,439	66,004	94,744	93,166	133,734	92,297	132,486	54,265	77,894

(2) ウラン生産量の見通し

近年、ウラン価格の上昇に伴い各国でウランの開発投資が急速に進んでおり、それに伴って 2020 年までにウランの生産能力は格段に向上する見通しである。ウラン生産能力の見通しについてはOECDによる評価[5]を参照した。

表 3-4 中、A-IIは確定したウラン開発プロジェクトのみが実現することを想定した見通し、B-IIは計画中のものも含め全ての開発プロジェクトが進展すると想定した見通しである。現在確定、もしくは計画中のプロジェクトは 2020 年までに開始され、その後既存のウラン鉱山が減退することが見込まれるため、2035 年の生産能力は 2025 年に比べて小さな値となっている。

この見通しでは、カザフスタンにおいて現在の 18,000tUから 2020 年に 24,000～25,000tUまで能力が拡大するものの、2035 年には 5,000～6,000tUまで減退することとなっている点に留意する必要がある。実際には、今後どの需要シナリオにあっても世界の原子力発電量自体は増加を続ける中で、一度増加したウラン生産量が大幅に減少することは想定し難く、既存の鉱山の減退は 2020 年以降の新規開発によって相殺され、生産量は維持もしくは拡大する可能性が高い、と考えられる。従ってここでは、天然ウラン資源開発の進展として、2020 年までA-IIもしくはB-IIに従って生産量が拡大し、その後 2035 年までその水準を維持するケースを想定し、それぞれウラン生産ケースA及びB とした。更に、需要が最も拡大する 2035 年の高成長ケースでは、後述の通り、生産ケースCとして、2020 年以降のウラン資源開発により、B-IIから更に生産量が拡大するケースを設定した。

[5] Uranium 2011（前述）

表 3-4　ウラン生産量の見通し

（単位：tU）

	2011	A-II（生産ケースA）		B-II（生産ケースB）	
		2020	2035	2020	2035
アルゼンチン	120	150	500	250	500
オーストラリア	9,700	10,100	9,800	24,200	27,600
ブラジル	340	2,000	2,000	2,000	2,000
カナダ	16,430	17,730	17,730	19,000	19,000
中国	1,500	1,800	1,800	2,000	2,000
チェコ	500	50	30	50	30
フィンランド	0	0	0	350	350
インド	295	980	1,000	1,200	2,000
イラン	70	100	100	100	100
ヨルダン	0	2,000	2,000	2,000	2,000
カザフスタン	22,000	24,000	5,000	25,000	6,000
マラウィ	0	1,425	0	2,525	0
モンゴル	0	150	150	1,000	1,000
ナミビア	5,350	9,450	1,600	19,250	10,050
ニジェール	5,400	5,500	2,500	10,500	7,500
パキスタン	70	140	140	150	650
ルーマニア	230	350	350	475	630
ロシア	3,360	5,840	5,450	6,610	10,450
南アフリカ	1,050	2,686	1,381	3,460	2,150
ウクライナ	1,500	2,700	5,200	2,700	5,200
米国	2,040	3,800	3,100	6,600	5,600
ウズベキスタン	3,350	4,500	5,000	4,500	5,000
世界計	73,305	95,451	64,831	133,920	109,810

出所） OECD,IEA “Uranium 2011: Resources, Production and Demand”

(3) ウラン濃縮設備容量の見通し

現在世界で運転中・計画中のウラン濃縮施設は表 3-5 の通りである。第 2 章で述べたように、ウラン濃縮設備は少数の国に寡占されていることが特徴的であり、USEC（米）、AREVA NC（仏）、URENCO（英独蘭）及びAtomenergoprom（露）の 4 企業で世界の濃縮設備容量の 95%以上を占める。

米国のPaducah濃縮工場はUSEC社が運営する濃縮施設、フランスのGeorge Besse濃縮工場の設備容量はAREVA社の子会社EURODIF社が運営する濃縮施設であり、1952 年及び 1979 年の操業開始以来、両国のウラン濃縮において中心的な役割を占めてきた。これらの濃縮施設は旧式のガス拡散法を用いており、そのため、経済性の観点から現在フル操業は行っておらず、それぞれ 11,300tSWU/年及び 10,800tSWU/年の設備容量に対して現在 5,000 tSWU/年及び 3,000tSWU/年程度しか稼働していない[6]。このため、各社は今後増大する需要を見込み、旧式の工場を代替するための遠心分離法による濃縮設備を新設中、または新設を計画している。具体的には、フランスにおいて既存の工場に隣接するGeorge Besse II濃縮工場が 2010 年に部分操業を開始しており、2016 年ごろに予定しているフル操業時の生産能力は 7,500tSWU/年となる見込みである。また米国においてはUSEC社がオハイオ州PiketonにおいてAmerican Centrifuge Plantと呼ばれる遠心分離法による濃縮工場の新設を計画している他、URENCO社がニューメキシコ州Euniceに濃縮工場を建設し 2010 年より操業開始、AREVA NC社はアイダホ州Eagle Rockに濃縮工場を計画中である（2011 年 10 月に米原子力規制委員会より建設・運転の認可を取得済）。更に、より新型の濃縮法であるレーザー濃縮法による濃縮設備をGE-Hitachi社が建設中であり、既に 2010 年には試験運転

[6] AREVA、“2011 Reference Document”, 2011

を開始している。

欧州においては英・独・蘭合弁のURENCO社がそれぞれの国に濃縮設備を有しており、2011 年時点の濃縮設備容量は合計で 14,200tSWU/年である。上記の米国の工場も含めて同社は 2015 年までに18,000tSWU/年まで濃縮設備を拡大する計画を有している。

世界最大の濃縮設備容量を持つ国はロシアである。同国ではAngarsk、Novouralsk、Zelenogorsk及びSeverskにおいて合計 27,200tSWUの濃縮設備を有している。2007 年にはプーチン大統領の提唱によりロシア国際ウラン濃縮センター(IUEC)が上記のAngarskに設立されている。これはウラン濃縮技術の拡散を防止するとともに、核燃料の供給停止に備えることを目的としており、IAEAの監視下で濃縮ウランの備蓄を行っている。

中国ではロシアとの技術協力により、蘭州及び漢中にそれぞれ 500tSWU/年のウラン濃縮施設を建設・運転している。更に 2008 年にはロシア・メドベージェフ大統領と中国・温家宝首相とが新たな濃縮工場（既に廃止したものも含め第 4 期目）を建設することで合意・調印しており、これが完成した場合には中国の濃縮設備容量は 1,500tSWU/年となる。

表 3-5　世界のウラン濃縮設備

国名	会社名	所在地	濃縮法	年間生産容量（tSWU／年）	操業開始
アルゼンチン	アルゼンチン国家原子力委員会（CNEA）	リオネグロ州、Pilcaniyeu（ピルカニエウ）	ガス拡散法	20	N/A
ブラジル	ブラジル原子力工業（INB）	リオデジャネイロ州、Resende Fábrica de Combustível Nuclear	遠心分離法	120	2005
中国	中国核工業総公司（CNNC）	甘粛省、蘭州	遠心分離法	500	2005
		陝西省、漢中	遠心分離法	1,000	1997
Eurodif（フランス他4カ国）	Eurodif （AREVA NC他）	ジョルジュベス（ドローム州トリカスタン）	ガス拡散法	10,800	1979
フランス	AREVA NC	ジョルジュベスII（ドローム州トリカスタン）	遠心分離法	2,500	2011
インド	インド原子力庁	Ratnahalli（カルナータカ州）	遠心分離法	25	N/A
イラン	-	エスファン州、ナタンツ(Natanz)	遠心分離法	不明	N/A
	-	ゴム州、ゴム（Qom）	遠心分離法		N/A
日本	日本原燃	青森県六ヶ所村	遠心分離法	1,050	1992
北朝鮮	-	平安北道、寧辺郡、西位里	遠心分離法	不明	N/A
	-	平安北道、東倉郡	遠心分離法	不明	N/A
パキスタン	パキスタン原子力委員会（PAEC）	パンジャブ州クンディアン	不明	N/A	N/A
ロシア	アンガルスク電解化学コンビナート	イルクーツク州アンガルスク	遠心分離法	2,500	1954
	ウラル電気化学コンビナート	スヴェルドロフスク州ノヴォウラルスク	遠心分離法	13,200	1949
	生産合同電気化学コンビナート	クラスノヤルスク地方ゼレノゴルスク	遠心分離法	7,800	1964
	シベリア化学コンビナート	トムスク州セヴェルスク	遠心分離法	3,700	1953
イギリス オランダ ドイツ	Urenco	チェシャー州カーペンハースト（英）	遠心分離法	5,000	1972
		ノルトライン＝ヴェストファーレン州グロナウ（独）	遠心分離法	4,200	1985
		オーファーアイセル州アルメロ（蘭）	遠心分離法	5,000	1972
アメリカ	USEC	ケンタッキー州、パデューカ	ガス拡散法	11,300	1960年代半ば
		オハイオ州、パイクトン（American Centrifuge Plant）	遠心分離法	3,800	未定
	Urenco	ニューメキシコ州、ユーニス（Louisiana Energy Services）	遠心分離法	400	2010
	AREVA NC	アイダホ州、アイダホフォールズ（Eagle Rock）	遠心分離法	6,600	2014
	GE Hitachi Nuclear Energy	ノースカロライナ州、ウィルミントン（Global Laser Enrichment）	レーザー法	6,000	N/A
	Louisiana Energy Services	ルイジアナ州、クレイボーン	遠心分離法	1,500	N/A

出所：原子力ポケットブック（電気新聞）、世界の原子力発電開発の動向 2010～2012（原産協会）等各種資料よりエネ研作成

2011 年現在の世界の濃縮設備容量は、経済性等のため稼働低下している分を除くと、およそ 42,200tSWU程度である、と言われる[7]。更に、“Megatons to Megawatts” 計画と称して 1994 年から 2013 年までの間、ロシアの解体核兵器から生じる濃縮ウランが米国に輸出されており、それによる燃料供給分が 5,500tSWU相当程度あると言われており、これらによってウランの濃縮役務需要が賄われている。

本試算では、今後、2020 年にかけて解体核からの供給は終息するとともに、旧式のガス拡散法による濃縮工場は、主に経済性の問題から順次閉鎖すると見込んだ。その上で上述の新規計画中のプラントが完

[7] 稼働率の低い設備も含めた世界の全設備容量は、2011 年現在で 67.015tSWU である。

成した場合、世界の濃縮設備容量は2020年に72,300tSWU程度まで拡大することとなる[8]。この設備容量で十分であるか否かはウラン濃縮役務需要との兼ね合い次第となる。この標準ケースを「濃縮ケースB」として、設備容量がそれより少ない「濃縮ケースA」及びそれより多い「濃縮ケースC」を表3-6の通り想定した。

表3-6　ウラン濃縮設備容量の想定

（単位: tSWU/年）

	2011	濃縮ケースA	濃縮ケースB	濃縮ケースC
米州	5,400	20,400	20,400	26,400
欧州	18,200	21,700	21,700	21,700
旧ソ連	18,000	18,000	27,200	29,305
アジア	2,050	3,000	3,000	3,902
計	43,650	63,100	72,300	81,307

(4) 天然ウラン及びウラン濃縮役務価格の見通し

天然ウラン及びウラン濃縮役務は多くの場合、長期契約により調達されるが、一部はスポット市場において購入され、その価格が公開されている[9]。長期契約で調達される場合であってもスポット価格を参考として取引がなされる場合が多いため、スポット価格の推移は天然ウラン及びウラン濃縮役務価格全体の動向を反映しているものと考えられる。その過去の推移は図3-2に示す通りである。

天然ウラン価格は2003年までは10ドル/ポンド前後と、非常に安い水準にあった。これは1990年頃までは軍事用目的を兼ねたウラン生産の水準の高さが常に商業的需要量を大幅に上回っていたこと、またその後は二次供給の利用が可能となることで需給の緩和状態が続いたことによる。しかしその後、地球環境問題への配慮等から各国で原子力発電が政策的に推進され、それによって原子力発電の見通しが大きく上方に修正され始めたことに加え、天然資源の有限性とウラン供給のチェーンが少数の重要施設に依存しているという事実への意識の高まりや、原油価格等他の一次エネルギー価格の上昇、投機筋の介入などにより、2004年以降天然ウラン価格は急騰を続け、2007年には140ドル/ポンド近くまで高騰した。急騰した価格はやがて調整局面に入ったが、以前よりは高い水準で安定し、2012年10月現在、およそ45ドル/ポンドとなっている。

ウラン濃縮役務価格は天然ウラン価格に比べると変動が小さく、かつては80～110ドル/kgSWUの水準で推移していたが、やはり2005年以降、天然ウラン価格ほど急速ではないものの上昇傾向を示し、一時期は160ドル/kgSWUを超える水準に達した。その後緩やかに下落を続け、2012年10月現在120ドル/kgSWU程度まで低下している。

本稿では図3-2に示す通り、将来の価格をそれぞれ2つ設定した。まず天然ウラン価格については、今後ウランの二次供給が終了し、一方で発電用需要の増加が見込まれることから、低価格ケースではかつての10ドル/ポンドの水準まで低下はしないものの、価格調整後の最安値である40ドル/ポンド程度で落ち着くものと想定した。一方で高価格ケースでは、価格高騰時の140ドル/ポンド程度まで価格が再び上昇するものと想定した。

ウラン濃縮役務価格については、低価格ケースでは価格高騰前の100ドル/kgSWUまで価格が下落、高価格ケースでは高騰時の160ドル/kgSWU程度まで上昇すると想定した。

[8] 建設中・計画中も含めた全設備容量は、2011年現在、75,665tSWUである（2章参照）。

[9] Ux Consulting, http://www.uxc.com/

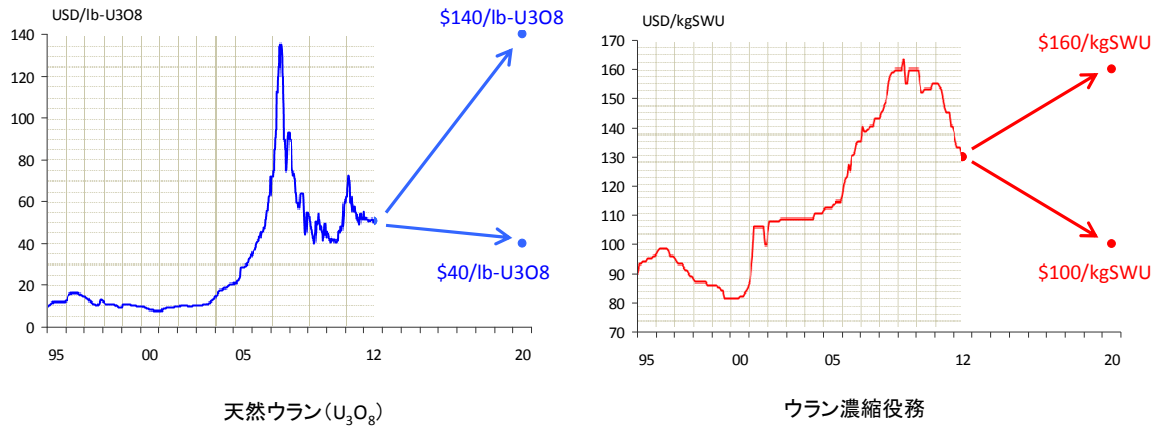


図 3-2　天然ウラン及びウラン濃縮役務価格の想定

出所）Ux Consulting ウェブサイトのデータを用いて作成

天然ウラン需要量とウラン濃縮役務需要量とは、テイル濃度を通じてトレードオフの関係にある。そのため、天然ウラン価格（単価）とウラン濃縮役務価格（単価）とが決まった場合には、テイル濃度に応じて両者の需要量から合計の費用（天然ウラン購入費＋濃縮役務費用）が算出され、これを最小化する条件により、最適なテイル濃度が導出できることとなる。いま、2020 年及び 2035 年の時点を想定し、極端な場合として天然ウラン価格が高く（140 ドル/ポンド）ウラン濃縮役務価格が安い（100 ドル/kgSWU）場合を価格ケースI、その逆の場合（天然ウラン 40 ドル/ポンド、ウラン濃縮役務 160 ドル/kgSWU）を価格ケースIIとし、それぞれのケースでコストを最小化するテイルテイル濃度を計算すると、0.11%及び 0.27%となる（図 3-3）。本試算では、これらの二つの価格ケースをテイル濃度の上限及び下限とし、将来のウラン需要量及び濃縮役務需要量を推計した。

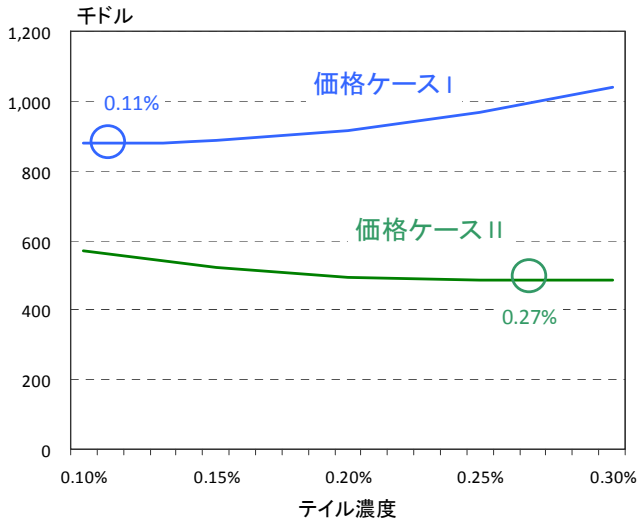


図 3-3　各価格ケースと最適なテイル濃度

(5) 貿易フローの試算方法

以上の前提条件のもと、2020 年及び 2035 年の天然ウラン及び濃縮ウランの貿易フローに関する推計を行った。

ここでは過去の貿易の実績にこれまでの政治的・地政学的影響や既存の契約・権益関係等、種々の要因

に関する情報が含まれているものと考え、長期的契約の形態が継続することにより、今後もこれらの状況が大きく変化するものではないと想定した上で、2020 年及び 2035 年にも 2009 年の実績値に近い比率で供給が行われるものとして、表 3-7 及び表 3-8 に示す実績値（既往調査[10]から算出した実績推計値）を用いて試算を行った。ウラン生産量予測にあたっては、過去世界全体の生産量は生産容量の 9 割を超えたことはなく、2003 年以降は概ね 75～84%程度の水準となっていることを踏まえ、ウランの実際の生産量上限は表 3-4 で示したウラン生産容量の 80%と想定した。なお、天然ウランのフローはウランの生産国から濃縮工場ではなく、実際に燃料が消費される国までのフローとして示されることに注意を要する。

表 3-7　天然ウラン貿易フロー（2009 年実績推計）

単位：tU

	米国	カナダ	中南米	欧州	旧ソ連	中東	アフリカ	アジア	オセアニア	不明	計
米国	1,921										1,921
カナダ	3,867	1,600	21	3,664	19			1,819		1,913	12,904
中南米			330								330
欧州				1,174							1,174
旧ソ連	3,789		62	8,480	8,856		131	12,013		5,466	38,796
中東											0
アフリカ	1,425		52	2,188	62			2,904		3,315	9,946
アジア								1,274			1,274
オセアニア	522		47	2,048	61			3,924		2,900	9,503
不明	51		10	883	13			2,496		101	3,554
計	11,576	1,600	522	18,438	9,011		131	24,431		13,695	79,402

表 3-8　ウラン濃縮役務貿易フロー（2009 年実績推計）

単位：tSWU

	米国	カナダ	中南米	欧州	旧ソ連	中東	アフリカ	アジア	オセアニア	不明	計
米国	7,063			909				4,536		1,219	13,727
カナダ											0
中南米			236								236
欧州	5,133		160	16,875				2,958		1,146	26,272
旧ソ連	5,500		2	4,213	5,540		94	1,078		4,899	21,326
中東											0
アフリカ											0
アジア								955			955
オセアニア											0
計	17,696	0	398	21,997	5,540	0	94	9,527	0	7,264	62,516

(6) ケース設定

今回の試算におけるケース設定を表 3-9 に示す。低成長ケースと高成長ケースの双方につき、2020 年及び 2035 年の需給バランスを推計し、貿易フローを計算した。

次項で詳述する通り、2020 年の両シナリオ及び 2035 年の低成長ケースでは、既存のウラン資源開発プロジェクト及び濃縮設備建設計画の範囲内で供給を賄うことが可能となる。特に低成長ケース（2020 年）においては、天然ウラン、ウラン濃縮役務ともに需給が大幅に緩和されることとなる。このケースでは天然ウラン生産能力・ウラン濃縮設備容量ともにそれぞれ最低限の生産ケースA・濃縮ケースAとしたが、それでも需給は緩和し、設備はフル稼働を必要としない。それに対し、低成長ケース（2035 年）及び高成長ケース（2020 年）では計画通りの容量拡大を見込んでそれぞれケースBを想定した。2035 年の高成長ケースでは、既存の計画のみでは天然ウラン生産及びウラン濃縮役務ともに需要を満たすことができない。このため、これらのケースでは既存の計画以上に追加的に生産能力・濃縮設備が拡張されるケースCを想定した。それぞれの場合において、天然ウラン及びウラン濃縮役務の需給状況からテイル濃度の想定を置き、試算を実施した。想定の詳細については次項の各シナリオにて示す。

[10] NAC International, "Selected Aspects of the Fuel Cycle Front End", 2011

表 3-9　ケース設定

		ウラン生産能力	濃縮設備容量	テイル濃度（%）
低成長ケース	2020	生産ケースA	濃縮ケースA	0.22
	2035	生産ケース B	濃縮ケース B	0.26
高成長ケース	2020	生産ケース B	濃縮ケース B	0.26
	2035	生産ケース C	濃縮ケース C	0.27

(7) 回収ウランの利用可能性について

回収ウランは使用済燃料を再処理した際に発生するウランであり、通常天然ウランよりも高い 1%前後のU235 を含んでいる。この回収ウランを濃縮し、利用に供することにより天然ウランの需要量を低減することができる。

再処理から得られるMOX燃料は、2011 年末までにフランス・ドイツ・スイス・ベルギー・米国等の 57 基において累計 7,112 本の装荷がなされている。これまでの装荷率実績値より、原子炉 1 基の設備利用率を仮に 80%として、MOX燃料を用いた原子力発電量を推定すると、年間 83TWh（2009 年の原子力発電量の約 3%）となる。

再処理によるMOX燃料使用は天然ウランを濃縮する場合に比べて単価が高いため、一般的には回収ウランの利用を拡大するに従いトータルのコスト負担は上昇する。但し、天然ウラン価格が 150 ドル/ポンドを超える高い水準にあった場合には、回収ウランの利用拡大が天然ウランの利用と同等程度のコストとなる場合もあり得る。2010 年現在、世界には英セラフィールド、仏ラ・アーグ、露チェリャビンスクなどに 4,600tHM/yr程度の再処理施設が存在している（ロシアで更にRT-2 再処理施設（1,000～1,500tU/yr）の新設計画があるが、経済性等の理由により新規建設が中断している）[11]。これらの設備を安定的・継続的に稼働させた場合、例えば稼働率 80%では最大 3700tU程度の回収ウランが利用可能となることになる。これは、表 3-2 及び表 3-3 に示す天然ウラン需要量（2020 年及び 2035 年）の 3～6%程度の量となり、その分だけ生産必要量が減少することになる。また、回収ウランのU235 濃度は 1%前後であることから、天然ウランのU235 濃度 0.72%との差によりウラン濃縮役務需要も減少することになるが、天然ウラン需要自体の減少率に比べれば微量である。

本試算では回収ウランの利用が需給に及ぼす影響を明示的に考慮に入れていないが、これを考慮に入れた場合、特に天然ウランの需要量が若干低減する可能性があることは留意を要する。現状の再処理施設のみではその影響は必ずしも大きくないものの、今後、仮にそのコストの動向等に応じて再処理施設の大規模新規建設が計画された場合には、改めて考慮する必要がある。

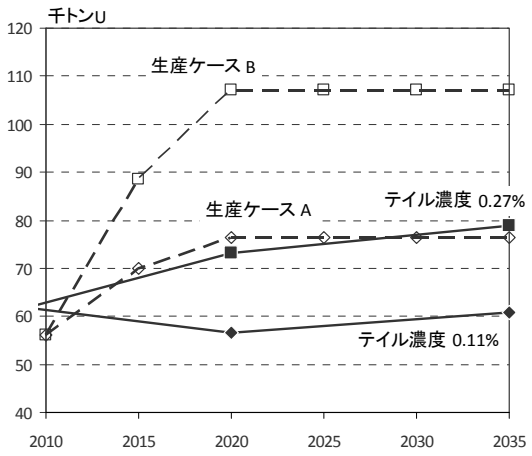
3-2　試算結果及び考察

(1) 低成長ケース

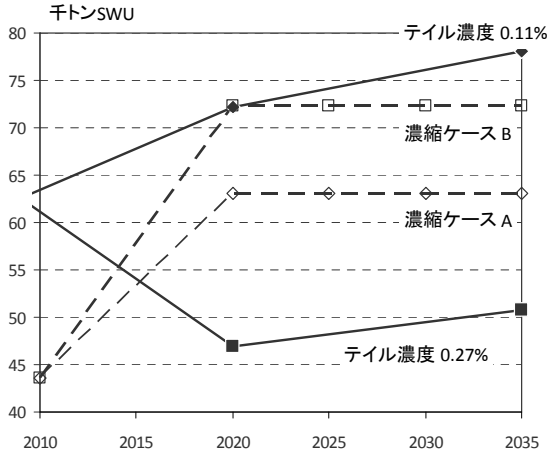
低成長ケースにおいては、世界の天然ウラン生産及びウラン濃縮役務の見通しは図 3-4 の通りとなる。

[11] AREVA, “2011 Reference Document”

図 3-4　天然ウラン生産及びウラン濃縮役務の見通し（低成長ケース）



天然ウラン需給



ウラン濃縮役務需給

a. 2020 年

2020 年の天然ウランの需要量は価格ケースI及びII（テイル濃度 0.11％及び 0.27％）でそれぞれ 56,532tU及び 73,305tU、ウラン濃縮役務量は 72,190tSWU及び 46,965tSWUである。

一方で天然ウランの生産能力（稼働率 0.8 を乗じたもの）は 76,361tU～107,136tUである。今後新たなプロジェクトが進展しない生産ケースAの 76,361tU程度の生産量でも、いずれの価格ケース（テイル濃度）を仮定しても、天然ウラン需要を賄うことができる。一方で、ウラン濃縮役務需要は、価格ケースIでは建設中・計画中の濃縮設備を加えた設備容量（濃縮ケースB）の設備容量を若干上回るものの、価格ケースIIでは大きく下回る。

これらのことから、低成長ケースでは特に天然ウラン需給が大幅に緩和し、価格はケースIIで想定した 40 ドル/ポンドよりも更に下回る可能性が高い。また、天然ウラン供給力が過剰になることから、高いテイル濃度での濃縮が行われ、需給の緩和によりウラン濃縮役務価格も低下する可能性が高い。このような状況下では、天然ウラン資源開発プロジェクトが停滞し、かつ、現在特に米国において大規模に計画されている濃縮設備計画が遅延・中止する可能性も高い。

このケースでは、テイル濃度の最も低いケースではウラン濃縮役務量が設備容量見通しを上回る一方で、天然ウラン自体は需要が供給を大幅に下回るため、このような価格は市場によって選択されず、テイル濃度は高めで推移するものと推察される。ここでは仮に、天然ウラン需要量とウラン濃縮役務需要量とがそれぞれ生産ケースA及び濃縮ケースAに対して同等の比率となる（0.85 倍：需給の緩和により、ともに最低の供給可能量よりも小さな供給量となる）ようなテイル濃度を計算（0.21％）し、それを用いて貿易フローの計算を実施した。これは、ウラン濃縮役務価格（ドル/kgSWU）が天然ウラン価格（ドル/ポンド）の 2.5 倍程度となるテイル濃度であり、ウラン濃縮役務価格が相対的に高い場合であるが、仮に上記の通り天然ウラン価格が 40 ドル/ポンドを下回るとすると、ウラン濃縮役務価格は 100 ドル/kgSWUを下回る。このため、ウラン濃縮価格も現状の 130 ドル/ポンドからは価格が大きく下落するケースであると考えられる。

貿易フローの試算結果は表 3-10 及び表 3-11 の通りである。

表 3-10　天然ウラン貿易フロー（低成長ケース：2020 年）

単位：tU

From: \ To:	米国	カナダ	中南米	欧州	旧ソ連	中東	アフリカ	アジア	オセアニア	世界計
米国	2,599									2,599
カナダ	5,892	2,011		3,433				789		12,125
中南米	486		878					106		1,470
欧州				274						274
旧ソ連	4,190			6,938	5,837		246	8,120		25,332
中東				813		144		480		1,436
アフリカ	4,396			4,228				4,412		13,036
アジア								2,100		2,100
オセアニア	1,142			2,382				3,383		6,907
世界計	18,706	2,011	878	18,067	5,837	144	246	19,389	0	65,279

表 3-11　ウラン濃縮役務貿易フロー（低成長ケース：2020 年）

単位：tSWU

From: \ To:	米国	カナダ	中南米	欧州	旧ソ連	中東	アフリカ	アジア	オセアニア	世界計
米国	10,574			847				5,847		17,267
カナダ										0
中南米			171							171
欧州			495	11,814		61		6,179		18,550
旧ソ連	5,375		83	2,742	4,977	61	210	1,940		15,387
中東										0
アフリカ										0
アジア								2,564		2,564
オセアニア										0
世界計	15,948	0	749	15,403	4,977	122	210	16,530	0	53,940

需要が急速に拡大するアジア地域は旧ソ連（ロシア・カザフスタン等）及びアフリカ、次いで豪州から、また欧州は旧ソ連及びアフリカから、米国はカナダから天然ウランの供給を受けることとなる。2020 年の天然ウラン需給は緩和されるものと見通され、特に低成長ケースでは現在確定しているプロジェクト以上のものが実現しないことも想定されるが、この場合には豪州での生産量は現在から大きく伸びることはなく、旧ソ連地域及びアフリカから他地域への輸出量が増加する。

また、計画通りヨルダンで 2,000tUの生産が開始すると想定した場合、この生産量は中東地域の需要を大きく上回り、他地域（欧州・アジア等）に輸出することが必要となる。

この低成長ケースであってもウラン濃縮役務需要は、アジアを中心に増大することが見込まれ、従って同地域への欧州・米国等からの濃縮役務輸入が 2020 年にかけて増大する。しかし、この域内のウラン濃縮役務需要を満たすためにアジア地域（特に中国）で更に大幅な濃縮能力拡大を行おうとすると、世界のウラン濃縮役務量が供給過多になる可能性が懸念される。このため、アジア諸国が濃縮役務の輸入依存度を大幅に低減させることは困難である。

b. 2035 年

2035 年の天然ウランの需要量は価格ケースI及びII（テイル濃度 0.11%及び 0.27%）でそれぞれ 60,814tU及び 78,955tU、ウラン濃縮役務量は 78,080tSWU及び 50,796tSWUである。

2035 年の天然ウラン生産能力については、上記の通り、生産ケースA及びBで、2020 年の生産能力A-II及びB-II相当を維持するものと想定し、76,361tU～107,136tUとする。仮に需要が拡大しない場合には、生産能力が減退し、稼働率 80%を乗じた生産能力は 2035 年に最低でA-IIの 51,865tUまで落ち込むことになるが、これはかつてのように、天然ウラン価格が二次的供給等の理由により極めて低い水準で低迷した場合であると考えられる。

2035 年の低成長ケースにあっては、価格ケースIでは天然ウラン需要量 60,814tUは生産能力の下限(78,636tU)を超えることがなく、また価格ケースIIでも天然ウラン需要量 78,955tUと、生産能力の下限を若干上回る程度である。即ち、テイル濃度の如何にかかわらず、天然ウランの供給過剰状態が続く。一方でウラン濃縮役務量については、価格ケースIIでは需要量は濃縮ケース Aを大きく下回るが、価格ケースIでは逆に濃縮ケースBを上回る。このことから、低成長ケースでは、2035 年にあってもテイル濃度が大幅に低下することはなく、依然として高い水準で推移するものと考えられる。仮に現在計画中のプロジェクトが全て進展したと想定したケース（生産ケースB及び濃縮ケースB）の供給可能量に対して同率の水準になると想定した場合には、それぞれの需要量は供給可能量の 72%に止まり、テイル濃度は価格ケースIIに近い 0.26%程度となる。

現在計画中の濃縮工場が遅延を含めても 2035 年までに運転開始したと想定した場合、2035 年にあっても天然ウラン及びウラン濃縮役務の需給はやはり逼迫することはなく、むしろ需給の緩和により生産量が減退することになる。この場合、2035 年までの間に更に濃縮プラントが建設されることは難しいであろう。また、需給の緩和により天然ウラン価格・濃縮役務価格は下落することが想定されるが、0.26%のテイル濃度はウラン濃縮役務価格（ドル/kgSWU）と天然ウラン価格（ドル/ポンド）との最適な比が 3.8 倍程度となることを意味する。この場合には、仮にウラン濃縮役務価格が現在と同水準の 130 ドル/kgSWUを維持したとしても、天然ウラン価格は 34 ドル/ポンド程度と、大きく下落することになる。即ち、低成長ケースにあっては、既存のウラン資源開発・濃縮設備建設計画のみの進展によっても供給過剰状態が 2035 年まで続き、需給緩和に伴い価格が下落することが想定される。従って低成長ケースでは、計画中のウラン資源開発・濃縮設備建設計画が遅延するのみでなく、2035 年までの間に中止となる可能性も高い、と言えるだろう。

低成長・テイル濃度 0.26%の場合の試算結果は、表 3-12 及び表 3-13、図 3-5 及び図 3-6 の通りである。

表 3-12　天然ウラン貿易フロー（低成長ケース：2035 年）

単位：tU

From: \ To:	米国	カナダ	中南米	欧州	旧ソ連	中東	アフリカ	アジア	オセアニア	世界計
米国	3,096									3,096
カナダ	6,999	1,845		2,727				2,638		14,209
中南米	472		906					344		1,722
欧州				330						330
旧ソ連	4,310			5,272	8,496		270	11,318		29,667
中東				637		1,043				1,680
アフリカ	4,577			2,404				8,602		15,583
アジア								2,482		2,482
オセアニア	1,071			1,553				5,739		8,363
世界計	20,526	1,845	906	12,922	8,496	1,043	270	31,123	0	77,132

表 3-13　ウラン濃縮役務貿易フロー（低成長ケース：2035 年）

単位：tSWU

From: \ To:	米国	カナダ	中南米	欧州	旧ソ連	中東	アフリカ	アジア	オセアニア	世界計
米国	8,387							6,156		14,543
カナダ										0
中南米			144							144
欧州			412	6,862		359		7,990		15,623
旧ソ連	5,804		70	2,073	5,874	362	187	5,212		19,582
中東										0
アフリカ										0
アジア								2,160		2,160
オセアニア										0
世界計	14,191	0	626	8,934	5,874	721	187	21,518	0	52,052

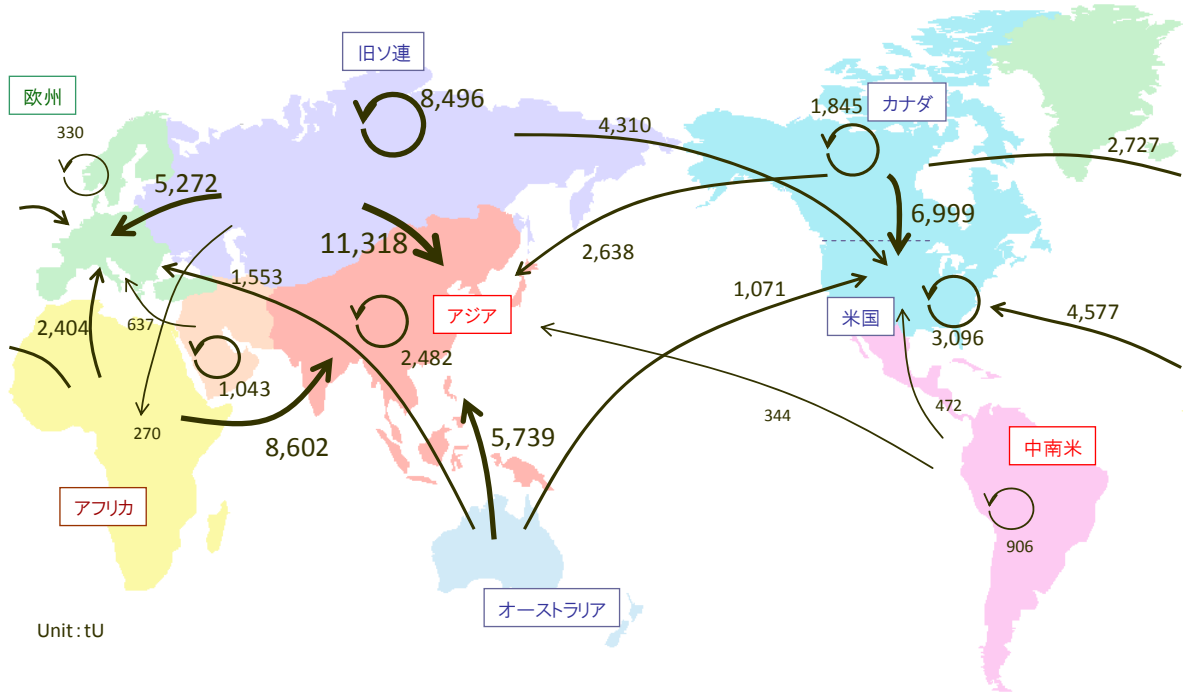


図 3-5　天然ウラン貿易フロー（低成長ケース：2035 年）

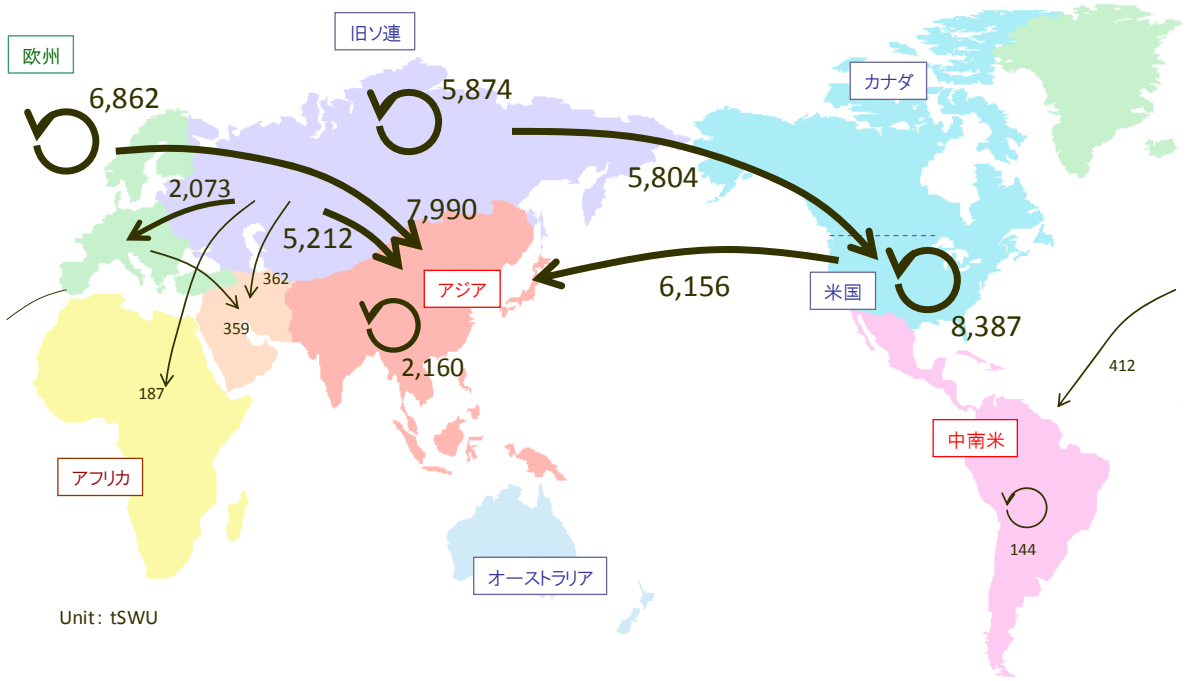


図 3-6　ウラン濃縮役務貿易フロー（低成長ケース：2035 年）

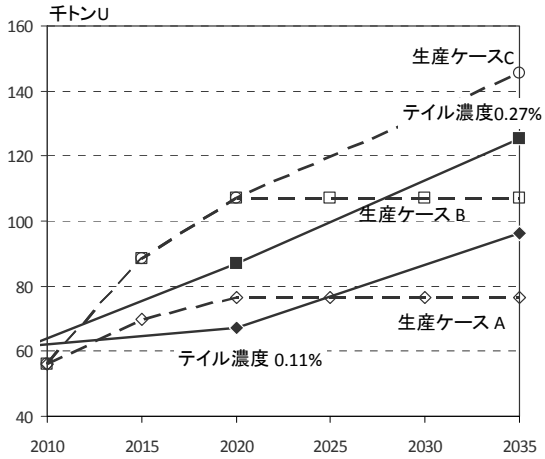
低成長・テイル濃度 0.26%のケースでは、2020 年に比べて、アジアにおける天然ウラン需要増はほぼ世界全体のそれに匹敵し、その増加分はアフリカ・旧ソ連・豪州等からの供給増で賄われる。一方で欧州での需要量は 2020 年に比べて減少し、それに伴い旧ソ連、アフリカ等からの貿易量も減退する。

ここではテイル濃度が 2020 年よりも上昇する想定のため、ウラン濃縮役務需要量は 2020 年に比べて減少する。アジアで需要が増加する一方で、米国及び欧州での需要は減少する。特に欧州での需要減少が著しく、欧州及びロシアからアジアへの濃縮役務輸出が拡大する。

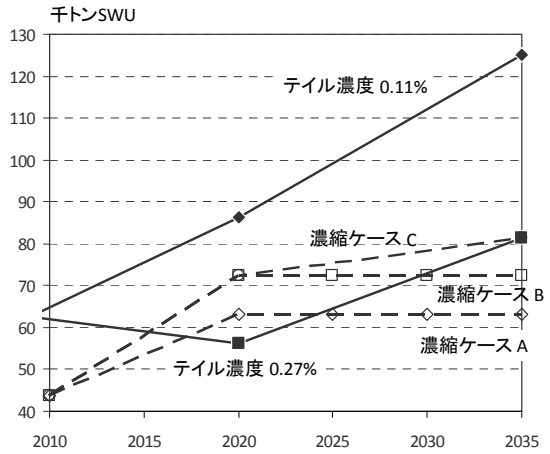
(2) 高成長ケース

高成長ケースにおいては、世界の天然ウラン及びウラン濃縮役務の見通しは図 3-7 の通りとなる。

図 3-7　天然ウラン生産及びウラン濃縮役務の見通し（低成長ケース）



天然ウラン需給



ウラン濃縮役務需給

a. 2020 年

高成長ケースの 2020 年の天然ウランの需要量は価格ケースI及びII（テイル濃度 0.11%及び 0.27%）でそれぞれ 67,098tU及び 87,122tU、ウラン濃縮役務量は 86,181tSWU及び 56,066tSWUである。

天然ウラン需要量はテイル濃度の高い価格ケースIIでも生産ケースBを下回る。即ち、現在計画中のウラン資源開発プロジェクトが進展した場合には、高成長ケースであっても供給が需要を上回ることになる。一方でウラン濃縮役務量に関しては、テイル濃度の高い価格ケースIIで濃縮ケース Aよりも若干小さい程度、テイル濃度の低い価格ケースIでは濃縮ケースBを大きく上回る。即ち、相対的に天然ウランの方がウラン濃縮役務よりも需給が緩和する状況にあり、従ってこのケースでもテイル濃度は高めで推移することが見通される。

仮に、天然ウラン生産量及びウラン濃縮役務量が、ともに現在計画中のプロジェクトが全て進展したと想定したケース（生産ケースB及び濃縮ケースB）の供給可能量に対して同率の水準になると想定した場合には、それぞれの需要量は供給可能量の 79%、テイル濃度はやはり 0.26%程度、即ち価格ケースIIに近い水準となる。

現在計画されている新規プロジェクトは現在の価格水準で適度な利潤を得られるものと仮に想定すると、それらの進展を見込んだ生産ケースB及び濃縮ケースB程度までの需要の拡大が現状の価格水準を維持し得る需要レベルであることになり、それよりも需要量が低下した場合には、比較的安価なプロジェクトのみが進展し、価格は低下することが想定される。このケースでも前項と同様、0.26%のテイル濃度はウラン濃縮役務価格（ドル/kgSWU）と天然ウラン価格（ドル/ポンド）との最適な比が 3.8 倍程度となることを意味し、仮にウラン濃縮役務価格が現在と同水準の 130 ドル/kgSWUを維持したとしても天然ウラン価格は 34 ドル/ポンド程度と、大きく下落することになる。即ち、現状のウラン濃縮工場の運転開始を考慮に入れた場合、高成長ケースにあっても天然ウラン需給は緩和し、価格の下落とともに資源開発投資が停滞する可能性が高い。

貿易フローの試算結果は表 3-14 及び表 3-15 の通りとなる。

表 3-14　天然ウラン貿易フロー（高成長ケース：2020 年）

単位：tU

From: \ To:	米国	カナダ	中南米	欧州	旧ソ連	中東	アフリカ	アジア	オセアニア	世界計
米国	3,678									3,678
カナダ	6,560	2,011		4,383				1,519		14,473
中南米	310		1,354					78		1,743
欧州				428						428
旧ソ連	3,518			7,144	9,572		511	9,291		30,035
中東				701		775		204		1,680
アフリカ	5,029			5,741				8,276		19,046
アジア								2,747		2,747
オセアニア	1,600			3,516				6,175		11,291
世界計	20,695	2,011	1,354	21,913	9,572	775	511	28,291	0	85,121

表 3-15　ウラン濃縮役務貿易フロー（高成長ケース：2020 年）

単位：tSWU

From: \ To:	米国	カナダ	中南米	欧州	旧ソ連	中東	アフリカ	アジア	オセアニア	世界計
米国	8,725			545				6,779		16,049
カナダ										0
中南米			159							159
欧州			641	10,587		266		5,747		17,241
旧ソ連	5,579		136	4,014	6,616	269	353	4,645		21,611
中東										0
アフリカ										0
アジア								2,384		2,384
オセアニア										0
世界計	14,304	0	936	15,146	6,616	535	353	19,554	0	57,443

需要の増加に対応して、天然ウランの貿易量は低成長ケースより増大する。特に旧ソ連・アフリカ・豪州の各地域からアジアへの輸出量が増大する。豪州は生産拡大の余地を大きく有すると考えられることから、世界の需要が高まるにつれ、ウラン生産国としての同国の重要性は高まるものと考えられる。但し、2020 年においてはその規模は未ださほど大きくはない。

ウラン濃縮役務需要についても、アジアを中心として増大し、それに応じて新規濃縮設備建設計画が多数存在する北米と、設備余力を多量に有するロシアからアジアへの輸入が拡大する。しかし上述のように、このケースであっても、現在計画されている以上の濃縮設備は必要とされず、むしろ濃縮設備拡張計画が遅延する可能性が高いと考えられる。

b. 2035 年

高成長ケースの 2035 年の天然ウランの需要量は価格ケースI及びII（テイル濃度 0.11%及び 0.27%）でそれぞれ 96,233tU及び 125,272tU、ウラン濃縮役務量は 124,979tSWU及び 81,307tSWUである。

この場合、価格ケースIIの場合の天然ウラン需要量は、生産ケースBの 107,136tUを超える。価格ケースIの場合でも、天然ウラン需要は生産ケースBの水準に近づく。また濃縮役務需要については、価格ケースIIの場合にあってさえ、濃縮ケースBの供給力を大幅に超えることとなる。即ち、今後天然ウラン生産能力や濃縮設備の拡大が順調に進捗しない場合には、高成長ケースにあっては天然ウランの需給がタイトになる可能性が高い。

しかし一方でこのケースのように、2020 年以降も堅調なウラン生産量の伸びが予想される場合には、それに応じて開発投資が進み、2020 年よりも更にウラン生産量が拡大すると見るのが自然であろう。仮に生産ケースCとして 2010 年から 2020 年までの 1/2 のペースでウラン生産量が拡大した場合を想定すると、2035 年の生産量は 145,380tUとなり、テイル濃度 0.27%の場合の需要量を上回ることになる。従って、

ウラン資源の堅調な開発投資が継続する場合には、需要の高成長かつ高いテイル濃度を想定しても、十分に供給が足りるものと考えられる。

一方でウラン濃縮設備について言えば、価格ケースII及びIで 2020 年から 2035 年までに必要とされる設備増加量は、それぞれ 9,007tSWU及び 52,679tSWUに及ぶ。特に価格ケースIでの増加量は現在の世界の濃縮設備容量全体を上回る水準であり、このレベルの新規建設がなされるためには、相当に深刻な需給逼迫と濃縮役務価格の上昇が必要となる。実際には上記の通り、天然ウラン需給自体はさほど急速な資源開発を想定しなくとも足りるものであり、従ってこのケースでもやはりテイル濃度は高い水準に止まり、濃縮設備の建設は最低限のものとなることが予想される。価格ケースIIでの設備増加量 9,007tSWUは大規模濃縮プラント 1～2 箇所程度に相当し、この程度であれば、2020 年から 2035 年までの間の建設を見込むことに特段の違和感はない。ここでは、前節で述べた通り、ケースCとして、米国に 6,000tSWU/yrの濃縮プラントが 1 つ建設され、残りの設備増加必要量は旧ソ連及び中国において建設されると想定した。試算結果は表 3-16 及び表 3-17、図 3-8 及び図 3-9 の通りである。

表 3-16　天然ウラン貿易フロー（高成長ケース：2035 年）

単位：tU

From: \ To:	米国	カナダ	中南米	欧州	旧ソ連	中東	アフリカ	アジア	オセアニア	世界計
米国	6,644									6,644
カナダ	6,476	1,845		4,764				2,883		15,969
中南米	0		2,335							2,336
欧州				743						743
旧ソ連	2,728		377	7,192	14,843	723	1,263	6,495		33,621
中東				93		2,195				2,287
アフリカ	4,813			6,105		1,055		23,776		35,749
アジア								4,224		4,224
オセアニア	1,518			4,229		981		16,971		23,698
世界計	22,179	1,845	2,713	23,126	14,843	4,954	1,263	54,349	0	125,272

表 3-17　ウラン濃縮役務貿易フロー（高成長ケース：2035 年）

単位：tSWU

From: \ To:	米国	カナダ	中南米	欧州	旧ソ連	中東	アフリカ	アジア	オセアニア	世界計
米国	9,409			1,036				15,755		26,200
カナダ										0
中南米			200							200
欧州			1,274	10,740		1,593		8,093		21,700
旧ソ連	5,201		313	3,458	9,778	1,671	832	8,052		29,305
中東										0
アフリカ										0
アジア								3,902		3,902
オセアニア										0
世界計	14,610	0	1,787	15,234	9,778	3,264	832	35,802	0	81,307

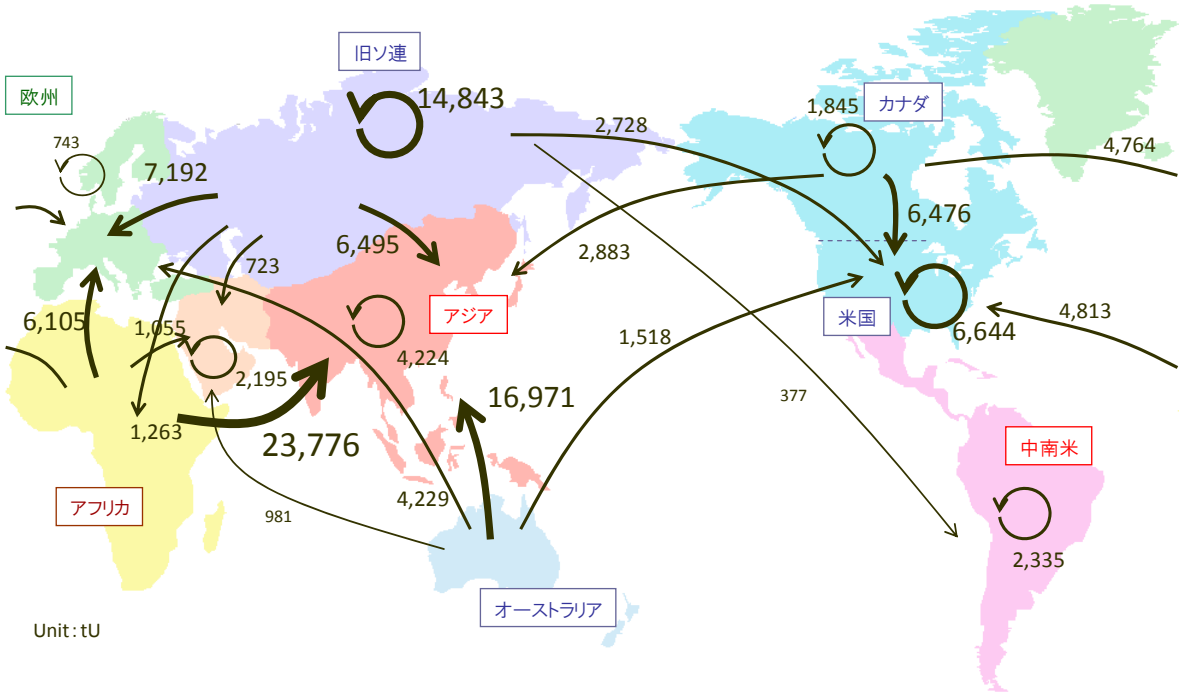


図 3-8　天然ウラン貿易フロー（高成長ケース：2035 年）

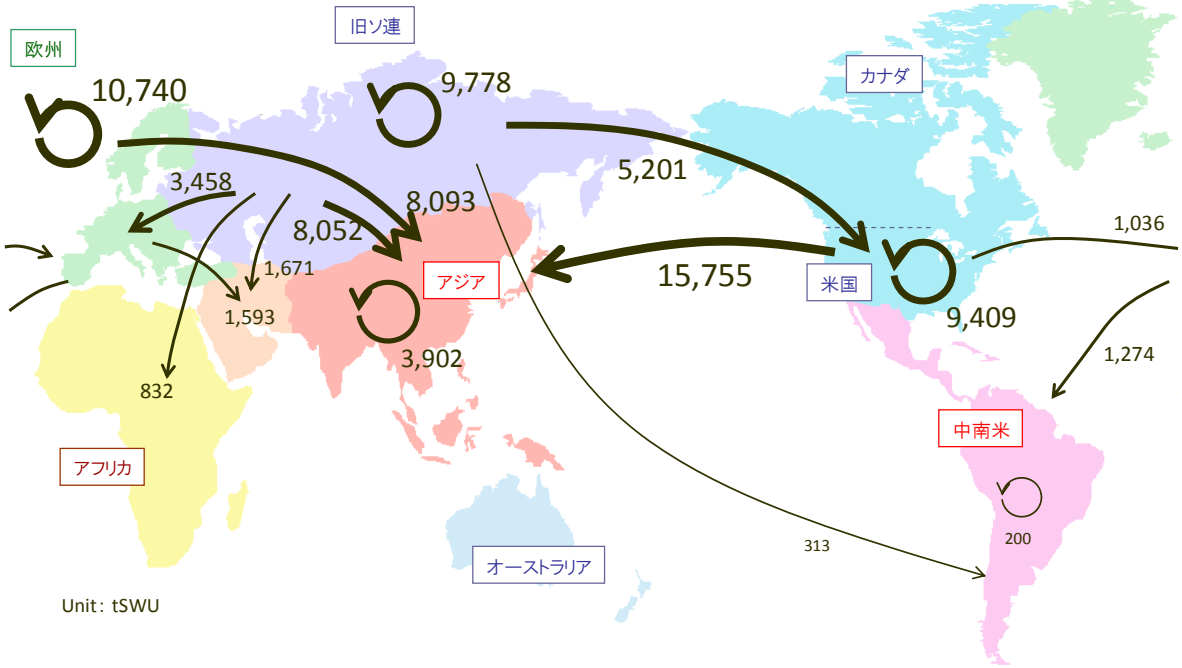


図 3-9　ウラン濃縮役務貿易フロー（高成長ケース：2035 年）

天然ウラン需給については、アジアにおける需要増加が著しく、2020 年からの需要増加の半分以上は同地域におけるものとなる。この需要増加は旧ソ連・アフリカ及び豪州からの輸入によって賄われることとなるが、旧ソ連地域では域内のウラン需要も高まるため、対外輸出量の増加は限定的である。それに対して、アフリカ・豪州からの貿易量が大きく拡大することとなる。

一方で、中国で新たに想定した大規模な濃縮設備にもかかわらず、アジアのウラン濃縮役務需要は大幅に不足し、ロシア及び米国からの供給を受けることとなる。

4. 結論

本稿では、原子力発電量の増加と天然ウラン生産能力・ウラン濃縮役務容量の拡大を組み合わせることにより、長期にわたる天然ウラン及びウラン濃縮役務の貿易フローを推計した。今後アジア地域を中心として原子力発電設備は拡大を続けるものの、現在計画されている天然ウラン資源開発や濃縮設備の増強などから、2020 年までの間は天然ウラン及びウラン濃縮役務の需給は緩和するものと見通される。このため中期的に、資源開発・濃縮設備増強等が大幅に遅延する可能性も高い。原子力発電設備の伸びが緩やかなケースでは、この傾向は 2035 年まで継続し、ウラン生産量は 2020 年に比べて減退する可能性さえ考えられる。一方で、化石燃料も含めたエネルギーの安定供給や地球温暖化対策等の観点から世界各国が最大限に原子力発電を推進したケースでは、既存のプロジェクト以上に計画が進展することが求められるが、そのペースは現在計画中のものと比べて比較的緩やかであっても需要を賄うに足りるものと考えられる。これらのことから、2020 年頃までは現在進行中の開発計画を進め、その後需要の伸びを見極めつつ新規のプロジェクトを適切に開始すれば、今後 20～30 年間の間は天然ウラン及びウラン濃縮役務の需給が極端に逼迫する恐れは少ない。また、天然ウラン及びウラン濃縮役務の需給の関係からは、今後長期にわたりテイル濃度は高い水準を保つこと、即ち相対的に天然ウラン価格に比べてウラン濃縮役務価格が高い水準で推移することが見通される。

今後需要拡大の中心となるのはアジア地域である。同地域においては天然ウラン・ウラン濃縮役務ともに対外依存度は長期的に高いままで推移する。天然ウランについては、今後需要拡大に対応するのはアフリカ及び豪州からの輸入である。またウラン濃縮役務については、中期的には米国、更にはロシアからの輸入が拡大するものと見通される。天然ウラン生産及びウラン濃縮に関してアジア地域内での自給率を大幅に上昇させることは、中長期的にも困難であると考えられる。

本試算の対象期間である 2035 年を超えて原子力発電設備の拡大が進む場合には、新規のウラン資源・ウラン濃縮設備の開発動向次第では、その需給が次第に逼迫状況に向う可能性もある。但しこの時間スケールを考える場合には、高速増殖炉やトリウム資源の利用、更には海水からのウラン抽出、核融合など、天然ウラン需要を抑制するさまざまな技術の導入を考える必要があるだろう。逆に言えば、本試算から明らかなように、2035 年までのウラン需給を考える限りにおいては、これらの革新的な新技術は必ずしも不可欠ではない。より長期の視野の中で、これらの技術の位置づけをどのように捉えるかは、今後の重要な研究課題である。

第4章　国内外の核燃料サイクル動向及び最新の技術開発動向

1.　主要国の核燃料サイクル動向

本項では、各国の核燃料サイクルに関する政策、事業動向等を国別に述べる。

1-1.　アメリカ

1.　　核燃料サイクルに関する政策・事業動向

米国では 2012 年 1 月現在、世界で最も多い 104 基の原子力発電所が稼働中であり、総発電電力量の 19.6%を賄っている。ブッシュ政権時にエネルギー自給率向上のため原子力利用拡大を指示し、2001 年 5 月に発表した「新国家エネルギー政策」を契機に、エネルギー政策の転換が図られ、米国の核燃料サイクル企業も活性化してきた。2005 年のエネルギー政策法により、核燃料サイクル施設を含む新規建設計画への債務保証や補助金等支援制度が導入された。2006 年にはDOEが国際原子力エネルギーパートナーシップ（GNEP）を発表、30 年ぶりに米国内での核燃料再処理を再開し、他国の使用済燃料の再処理も支援する方針を示した。しかし、ブッシュ政権時に決定していたユッカマウンテンでの最終処分場建設計画に対する地元ネバダ州の反対が根強く、2009 年にオバマ政権が建設計画を凍結。2010 年 3 月にDOEが処分場設置認可申請を取り下げた。その後、DOEの諮問機関であるブルーリボン委員会が使用済み核燃料の処分問題に関する検討を続けており、2012 年 1 月に最終報告書をDOEに提出している。なお、米国の核燃料サイクルを含む原子力政策は、福島第一原発事故の影響による変化は特に見られていない。

米国の核燃料サイクル概要を図 1-1 に示す。

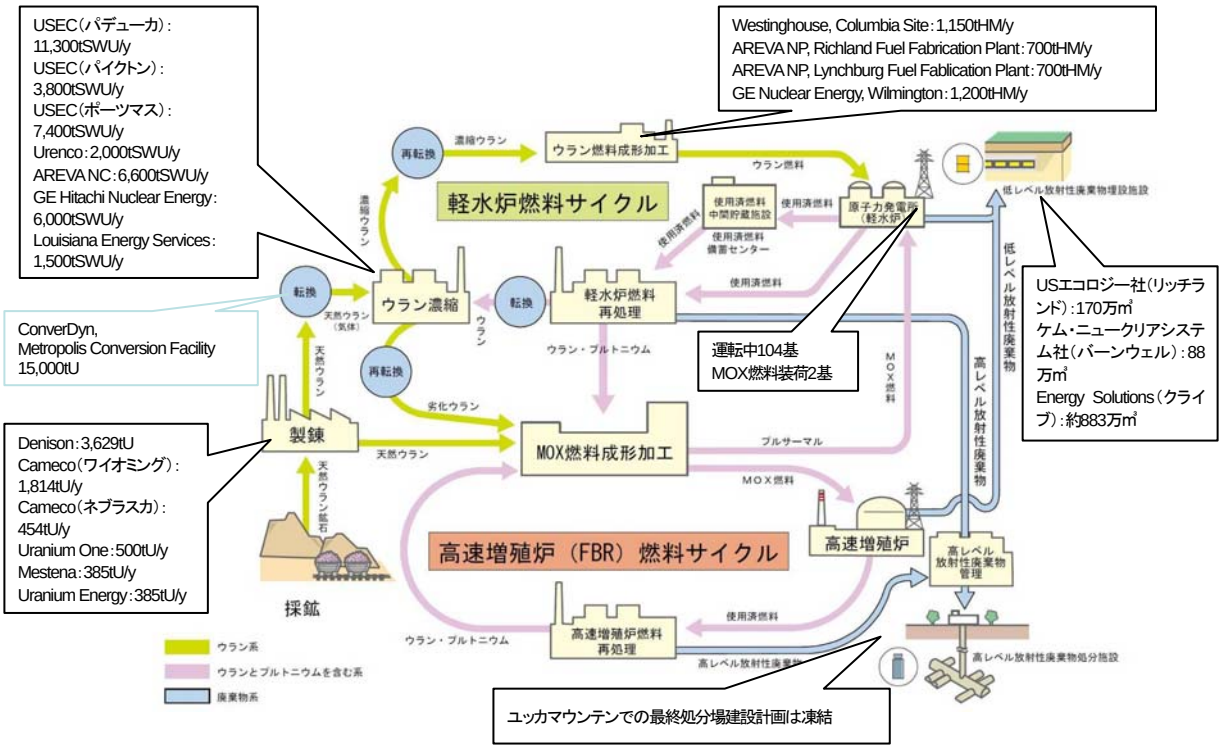


図 1-1　核燃料サイクル事業展開概念図

（出所）世界の原子力発電開発の動向 2012（原産協会）、原子力ポケットブック 2012（電気新聞）等より作成

1-1　ウラン生産・転換

米国のウランの埋蔵量は 260 ドル/kgU以下の既知資源量で見ると、オーストラリア、カザフスタン、ロシア連邦、カナダ、ナミビアに次いで世界第 6 位の 472,100tUである[1]。米国では、民間会社が国内を中心にウラン資源開発を行っており、政府は探鉱開発に関与しておらず、資金の供与もない。米国内でのウランの供給及び販売・調達は民間のウラン会社により行われているが、輸入ウランの方が安価であるため、ウラン需要の約 90%を輸入で賄っている。輸入ウランの 5 分の 1 はスポット価格で残りは長期契約価格で購入されている。米国とロシア連邦は 1992 年に、20 年にわたる高濃縮ウラン売買契約（核兵器級高濃縮ウラン（HEU）500tを低濃縮ウラン（LEU）に希釈し、販売）を結んでいる。米国ではUSEC社のみがロシア連邦からHEUの供給を受け、販売することが可能であり、天然ウラン成分は西側企業 3 社（Cameco、Cogema、Nukem）とロシア連邦のTechsnabexport（Tenex）との間で結ばれた通商協定によって販売される。ロシア連邦とのHEU契約は 2013 年に満了するが、2011 年 3 月、USEC社はロシア連邦のTenexとの間で 2013 年から 2022 年までに 2,100tSWUを供給する契約に調印している。

1-2　ウラン濃縮

米国の濃縮事業は民間会社の米国ウラン濃縮会社（USEC）によって行われている。USEC社はオハイオ州ポーツマスとケンタッキー州パデューカの 2 つのガス拡散濃縮工場（GDP）をDOEから借用する形で運転している。

また、欧州濃縮事業者（Urenco）の米国市場への参入が許可され、2002 年に米国の 4 企業（Westinghouse、Duke Power、Entergy、Exelon）との合弁でルイジアナ・エナジー・サービシーズ社（LES）を設立し、Urencoの遠心分離技術を用いて濃縮施設（Urenco USA）を建設した。

USECで 2007 年にACP（American Centrifuge Plant）の建設・運転一括認可をNRCに申請し、承認されると、同年 5 月にACPの建設を開始した。当初 17 億ドルと見込まれていたACPの総プロジェクトコストは、2008 年に 34.988 億ドル（うち 2011 年末までの消費分は約 22 億ドル）と修正されており、USECはこのうち 20 億ドル分について 2008 年 7 月、DOEの融資保証制度適用の申請を行ったが、2009 年 8 月、DOEは融資保証認可の決定を保留にする旨を発表、USECは計画を遅らせることを余儀なくされた。

1-3　ウラン再転換・燃料成型加工

再転換施設としては、AREVA社とDuratek、Energy Solutions、Burns & Roeの合弁企業であるUranium Disposition Service（UDS）社がポーツマスとパデューカに建設する契約を 2002 年にDOEと締結し、ポーツマス工場は 2010 年半ばから 13,500t/年、パデューカ工場は 2010 年 12 月から 18,000t/年で低濃縮ウランUF_6 の受け入れを開始した。また、UO_2 への転換作業はB&W転換サービス社が請け負うことでDOEと 2010 年 12 月に合意している。

また、ペレット製造及び燃料集合体の製造については、2012 年 1 月現在、仏AREVA社、Westinghouse社、GE社、B&W社の民間会社 4 社が行っている。

ウラン再転換・燃料成型加工に関して、政府から特段の政策支援等はなく、各民間企業の裁量で進められている。

1-4　再処理

米国では、マンハッタン計画において使用済み核燃料（ここでは核兵器用プルトニウムの生産炉で天然ウラン金属燃料を照射したもの）からプルトニウムを回収するための再処理技術を開発し、その後、冷戦終結後の 1990 年代まで、ワシントン州ハンフォードの化学分離工場及びサウスカロライナ州サバンナリ

[1] OECD/NEA-IAEA, Uranium 2011: Resources, Production and Demand.

バーサイトにおいて、核兵器用プルトニウム生産のための再処理を行っていた。また、アイダホ化学処理プラントでは、同じく 1990 年代まで、各種の軍用炉の使用済燃料から高濃縮ウラン及びプルトニウムを回収することを目的とした再処理が行われていた。

1960～1970 年代には、軍用の再処理技術に基づいた軽水炉使用済燃料再処理工場の建設、操業が行われたが、カーター政権による核不拡散政策の一環として、1977 年に商業用再処理を禁止する政策が決定された。その後 1981 年のレーガン大統領令で再処理凍結は解除されたものの、現在に至るまで軽水炉の使用済燃料は再処理せず、高レベル放射性廃棄物として直接処分する方針がとられている。

米国には商業用再処理施設はないものの、マンハッタン計画から始まった米国の再処理技術開発は、主に国立研究所において継続的に研究開発が行われ、一定の技術基盤が維持されている。そのため、1980 年代以降は、金属燃料高速炉と高温冶金法（乾式）再処理を組み合わせたIFR計画（Integral Fast Reactor, 1984-1994）、マイナーアクチニドの回収・変換による放射性廃棄物の毒性低減などをねらったATW計画（Accelerator Transmutation of Waste）、新型炉と先進的核燃料サイクルの開発をめざしたGNEP（Global Nuclear Energy Partnership, 2002-2009）など、種々の枠組みによって、将来の実用化をめざした先進的な再処理技術、廃棄物処理技術、核燃料技術などの研究開発が行われてきた。

1-5　放射性廃棄物処理・処分

(i) LLWの処理･処分

原子力発電所から発生した低レベル放射性廃棄物は、1946 年から 1970 年まで太平洋及び大西洋で海洋投棄を行っていたが、現在は中止され、バーンウェル（サウスカロライナ州）、リッチランド（ワシントン州）、WCSテキサス（テキサス州）、クライブ（ユタ州）において浅地埋設処分が行われている。なお、エネルギー省関係施設から発生するLLWは、連邦政府運営の処分施設で陸地処分を行っている。

(ii) HLWの処理･処分

米国では 1970 代に再処理を放棄して以来、将来的には最終処分場（地層処分）建設を目指しながらも、中間貯蔵で対応してきた。発電用原子炉等で発生した使用済燃料、核兵器開発・製造や再処理施設で発生した高レベル放射性廃棄物の地層処分地の準備として 1982 年に放射性廃棄物政策法が制定され、DOEが最終処分場候補地としてネバダ州ユッカマウンテンの特性調査を進め、2002 年 7 月には連邦議会で立地が承認。2020 年からの操業開始を目指して、2008 年 9 月以来、処分場の建設許可に関する安全審査が原子力規制委員会（NRC）で行われていたが、地元ネバダ州の反対は根強く、オバマ政権は 2009 年にユッカマウンテンでの建設計画を凍結した。その後DOEは 2010 年 3 月に許認可申請の取り下げ申請を行い、米国の長期的HLW管理戦略は見直されることになった。

その上で、DOEの諮問機関であるブルーリボン委員会（Blue Ribbon Commission for American Nuclear Future）が使用済み核燃料の処分問題に関する検討を続けてきた。同委員会は 2012 年 1 月に最終報告書をDOEに提出。その中で、①速やかな恒久的地層処分施設開発の進展、②廃棄物管理計画の策定、実施機関の創設、③処分施設の立地・開発に関して、同意に基づく、科学的根拠に依拠した新たなアプローチの導入、④速やかな集中中間貯蔵施設の設置、⑤先進炉や核燃料サイクル技術に対する研究・開発・実証のための政府による支援等を提言している。

2013 年 1 月には、DOEが「使用済燃料及び高レベル放射性廃棄物の管理・処分戦略」を公表し、ブルーリボン委員会の最終報告書で示された基本的な考え方に沿った実施可能な枠組みが示された。具体的には、以下のようなスケジュールを立てている。①2021 年までに、閉鎖された原子炉からの使用済燃料の受け入れに焦点を当て、パイロット規模の中間貯蔵施設の立地、設計と許認可、建設と操業を開始する、②2025 年までに、より大規模な中間貯蔵施設を建設、③2048 年までに地層処分場を実現できるように処分場のサイト選定とサイト特性調査を進める[2]、というものである。

[2] 地層処分場と中間貯蔵施設との設置の時期的なリンクを図るため、地層処分場の際と選定は 2026 年までに、サイト特性調

2. 使用済燃料中間貯蔵の取り組み

米国では、核不拡散の観点から核燃料の再処理を行わないワンスルー方式が採用されており、使用済燃料は最終処分されるまで発電所付設の使用済燃料プールで一時保管される。1980 年代後半から使用済燃料プールの容量超過が懸念され始め、緊急措置として使用済燃料の中間貯蔵施設が実用化した。

米国での中間貯蔵は、1986 年 6 月にバージニア州サリー原子力発電所で開始されて以降、2013 年 1 月現在、34 州 78 ヵ所[3]で実施されている（所在地については、1 章 9．使用済燃料貯蔵施設　9-8 アメリカを参照）。中間貯蔵として、米国では独立使用済燃料貯蔵施設（ISFSI：Independent Spent Fuel Storage Installation）で貯蔵される場合が大多数であり、その多くは乾式貯蔵である。ISFSIの安全審査はNRCが行い、連邦規則第 10 節 Part 72（使用済燃料および高レベル放射性廃棄物の独立貯蔵に関する認可要件、Licensing Requirements for the Independent Storage of Spent Nulcear Fuel and High Level Radioactive Waste）で認可に必要な手続き及び条件、技術要件、管理要件などが規定されている。また、乾式貯蔵施設については、連邦規則の他にNRCの規制指針であるNUREG-1536（乾式キャスク貯蔵システムの標準審査指針、Standard Review Plan for Dry Cask Storage System）や、NUREG-1567（乾式キャスク貯蔵施設の標準審査指針、Standard Review Plan for Dry Cask Storage Facilities）に基づいた審査がNRCによって行われている。

また、民間企業による敷地外使用済燃料の中間貯蔵施設建設計画も存在する。一つはエディ・リー・エナジー・アライアンス（ELEA：Eddy Lea Energy Alliance, LLC）がニューメキシコ州カールスバッド市近郊に中間貯蔵施設を立地するというものであり、AREVAを中心とする企業体が計画のパートナーに選定されたと 2012 年 10 月に公表された[4]。ELEAは、ニューメキシコ州南東部のエディ郡、リー郡、カールスバッド市、ホッブズ市という 4 つの自治体で構成される企業体である。立地点とされるカールスバッド市では、軍事用の超ウラン核種を含む放射性廃棄物（TRU廃棄物）の地層処分場である廃棄物隔離パイロットプラント（WIPP）が 1999 年から操業を続けている。

この他に、発電事業者が共同で設立したPFS（Private Fuel Storage, LLC）によるユタ州ソルトレイクシティ近郊のスカルバレーでの中間貯蔵施設の建設計画が存在した。PFSは 1997 年 6 月にNRCへ建設許可申請を提出し、2006 年 2 月にNRCから建設許可を受領した。しかし、2012 年 12 月、建設に必要な資金確保ができなかったことや土地賃貸契約等に係る内務省からの許可を得られなかったことなどから、PFSはNRCへ建設許可の終了を要求する書簡を提出し、同計画は中止された。

現状、米国では 2011 年時点で 69,759 トンの使用済燃料が保管されている。なお、米国の使用済燃料累積量の推移は以下のように見通されている。

表 1-1　米国使用済燃料の累積量推移

	2011	2015	2020	2025	2030	2035
累積量（トン）	69, 759	78, 583	90, 418	102, 628	114, 793	126, 598

（出所）OECD/NEA, Nuclear Energy Data 2012

査、処分場の設計及び許認可を 2042 年までに、処分場の建設及び操業の開始を 2048 年とすることを実施の目標としている。（出所 原子力環境整備促進・資金管理センター）

[3] NRC, Dry Cask Storage, location of existing independent spent fuel storage installations (pdf)

[4] AREVA North America, 2012/10/5, <http://us.areva.com/EN/home-2016/areva-eddy-lea-unf-storage-facility.html>.

3. 回収ウラン・劣化ウランの利用状況と関連技術

3-1 回収ウランの再濃縮

1999 年のDOEのプレス発表[5]において、米国のガス拡散濃縮工場における回収ウランの再濃縮実績が明らかにされた。発表によれば、米国における回収ウラン利用量の大部分はパデューカ工場で処理され、オークリッジ工場でその 6 分の 1、ポーツマス工場ではその 10 分の 1 程度が処理された。以下、このDOEのプレス発表に基づき、3 つのガス拡散濃縮工場の詳細を以下に、回収ウラン利用実績を下表に示す。

パデューカガス拡散濃縮工場では、1953 年の運転開始直後からカスケードに回収ウランが供給され、1964 年まで回収ウランを用いた運転が続けられた。その後、1969 年から回収ウランの供給が再開され、1976 年まで回収ウラン供給が続けられた。約 100,000 トンの回収ウランが使用され、328 gのPu、18.4kgのNp、661kgのTc99 が含まれていたと推定される。PuとNpの大部分はウラン酸化物からUF_6への転換工程で分離され廃棄物となった。

オークリッジガス拡散濃縮工場では、1950 年代の初めにオハイオ州のハンフォード技術開発研究所から回収ウラン酸化物がオークリッジ工場に搬入され、オークリッジ工場での回収ウランの再濃縮処理が開始された。サイト内UF_6供給プラントは 1952～1961 年まで運転された。回収ウランがカスケードに供給されたのは 1958～1962 年、1970～1974 年と 1976～1977 年の 3 期間である。オークリッジ工場に持ち込まれた回収ウランは 17,800 トンであり、DOEはその大部分がUF_6に転換されたものと見ている。このうちの一部は海外あるいは民生用のものであった。持ち込まれた回収ウランのうち約 5,800 トンがオークリッジ工場のカスケードに供給された。残り 12,000 トンはパデューカ工場で濃縮されたものと見ている。オークリッジ工場に搬入されUF_6に変換された 17,800 トンの回収ウラン中には、最大 60gのPu、3.5kgのNpと 103 kgのTc99 が含まれていたと推定される。

ポーツマスガス拡散工場のカスケードに供給された回収ウラン量は、3 つの施設の中で最も少なく、最大でも 1,320 トンであった。このうち 1,210 トンはパデューカ工場とオークリッジ工場でUF_6に転換されたものを受け入れたものであり、残りは他のDOEサイトから持ち込まれたものである。

表 1-2a　米国ガス拡散濃縮工場における回収ウランの取り扱い実績

施設	処理工程	処理時期	処理量（t）
パデューカ工場	酸化ウランからUF_6への転換と濃縮	1953～1964	～100, 000
	濃縮	1969～1976	
オークリッジ工場	酸化ウランからUF_6への転換	1952～1961	～17, 800
	濃縮	1958～1962	～5, 800
		1970～1974	
		1976～1977	
ポーツマス工場	酸化ウランからUF_6への転換と濃縮	1958～1977	？
	濃縮	1955～1958	～1, 320
		1961	
		1969	
		1974	

（注）単位はショート・トン（1 ショート・トン = 907.1874kg）

なお、回収ウラン以外も含めた濃縮ウランの製造に関しては、1940 年代中頃から 1950 年代中頃までは、オークリッジ工場単独でのウラン濃縮処理が行われていたが、1950 年代半ばにパデューカ工場とポーツマス工場の運転が開始されると、その効率的運用のため、これら 3 つの工場が一体的な生産を行うようにな

[5] DOE Press Release, “Past Recycled Uranium Programs Under Review as Energy Department Investigation Continues Provides Updated Information on Cold War Era Operations”, September 29, 1999.

った。具体的には、顧客からの原料のほとんどをパデューカ工場に供給し、ここで生産された濃縮度 2%程度の中間的な製品をオークリッジ工場とポーツマス工場へ搬送して、最終的な目的とする濃縮度の製品を生産する体制をとったのである。この体制を、ガス拡散コンプレックスと呼んでいる。ガス拡散コンプレックスについては下図を参照されたい。各工場の処理実績量の違いは、こうした運転体制にもよっている。

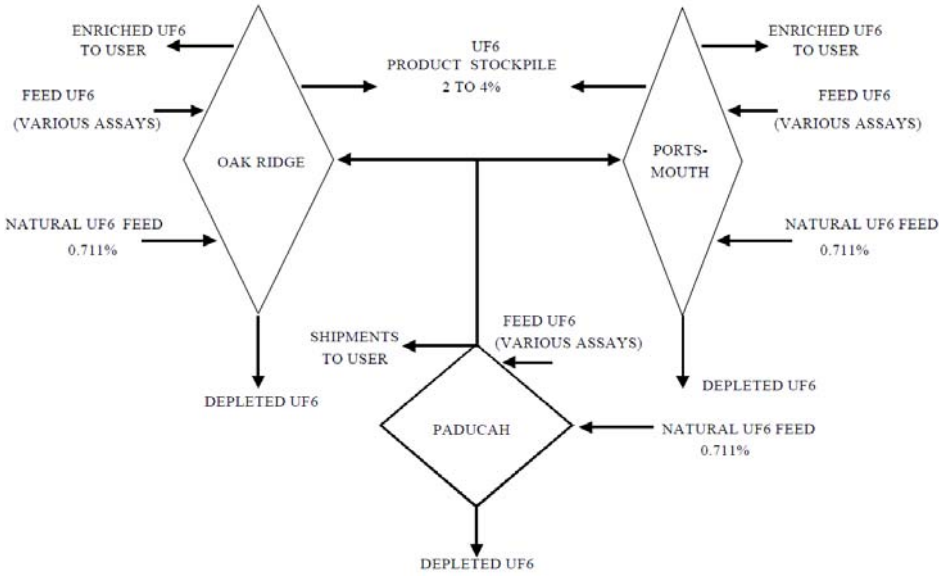


図 1-3b　DOE の Gaseous Diffusion Complex

（出所）Union Carbide Nuclear Company, “2.0 Site Historical Overview/ Recycled Uranium Mass Balance Project – Oak Ridge Gaseous Diffusion Plant Site”

3-2　回収ウラン利用に係る受け入れ条件など

「Recycled Uranium Mass Balance ProjectのOak Ridgeサイトの資料に「ASTM規格に従った」との記述があることから、濃縮施設への供給UF6 についてはASTM C787、濃縮施設の製品UF6 についてはASTM C996 などのASTM基準に従っていたものと考えられる。なお、現在これらの規格はそれぞれASTM C787-06[6]とC996-04e1[7]に改訂されている。

3-3　回収ウラン再濃縮に係る安全性・安全対策

（1）パデューカ工場

2001 年 1 月に、DOEは回収ウランの利用に伴う労働者と環境への影響を評価するため、パデューカ工場における回収ウラン利用の調査結果をプレス発表している[8]。その概要は次のとおりである。

1952～1991 年にパデューカ工場の他の場所の作業員よりも放射線被ばくリスクの高い場所で作業していたのは推定で 2,500～4,000 人である。被ばくリスクが高かった場所は原料供給プラント（C-410/420）、除染棟（C-400）、金属棟（C-340）、カスケード棟（C-331, C-333, C-335, C-337）であった。また、被ば

[6] 原料UF6 についての標準仕様。
[7] U235 の濃縮度が 5%未満の濃縮 UF6 についての標準仕様。
[8] Bechtel Jacobs LLC, “Recycled Uranium Mass Balance Project Paducah Gaseous Diffusion Plant Site Project”, June 2000, <http://www.paducaheic.com/media/38133/H-00000-0081-GRC01.PDF>.
USDOE News Release, “*Energy Department Releases Study of Radiation at the Paducah Site*”, January 10, 2001, <http://www.oakridge.doe.gov/media_releases/2001/r-01-007hq.htm>.

くリスクが高かった作業は未反応固形物の取り扱い、シリンダーヒール[9]の除去、ダービー[10]の処理、粉砕機操作、フランジ研磨、フィルター交換であった。今回は、全ての被ばくリスクを調査対象としたが、とくに注目したのは超ウラン元素のNpとPuである。なお、パデューカ工場における現在の作業は過去の被ばくレベルよりもかなり低いレベルに保たれている[11]。

(2) オークリッジ工場

同工場では、カスケードのトップ段付近のパージ系に Tc99 捕集のため NaF や MgF2 のケミカルトラップが設置されているが、これは通常の濃縮施設でもウラン捕集のために装備しているものである。米国では回収ウラン専用の濃縮カスケードを設置する、あるいは回収ウラン再濃縮のために遮へいなど特別な安全対策をとるなどの措置はとられていたとの情報は無い。

3-4 今後の回収ウランなどの利用計画

DOE による今後の回収ウラン利用計画は発表されていない。

また、USEC、Urenco、AREVA、GLE/GEH による回収ウラン利用計画の発表も今のところ行われていない。

3-5 プルトニウムの利用状況[12]

2000 年に米国とロシア両国間で取り決められた軍縮プログラムに基づき、米露両国は、34 トン（金属重量）の核兵器級プルトニウムを原子炉級プルトニウムに変換の上、原子炉で利用することとなっている。

核兵器由来のプルトニウムを商業用原子炉で照射するための試験は 2006 年の Catawba1 号機において終了しており、2013 年 2 月末現在、商業用炉での本格利用に向けた NRC への申請を DOE で準備中である。DOE は、商業用 MOX 燃料向け二酸化プルトニウム粉末の製造試験をロスアラモス国立研究所において進めており、2014 年に NRC に申請を提出する予定である。

2007 年に建設を開始した MOX 燃料製造施設（MOX Fuel Fabrication Facility、MFFF）は 2014 年の建設を目指して現在も建設中であるが、2012 年 11 月、国防省・国務省及び DOE は、MFFF の建設費が当初予定の 23 億ドルを 3 倍近く超過した 68 億ドルに上ることを理由に、計画をいったん白紙に戻すことで合意した。しかしながら代替案の見通しが無いこともあり、建設工事は現在も進行中である。

1999 年に Duke Energy 社が Catawba 及び McGuire の 2 発電所で、DOE の軍縮プログラムに基づくプルトニウムの照射及び利用契約を締結した際、同社は「わが社の燃料コスト低減に寄与すること」が条件であると述べている。この契約が 2009 年に終了後、同社と DOE との間で契約更新の交渉が行われたが、Duke 社側は MOX 燃料の安定供給の保証がないことから契約更新を行わなかった。また、Tennessee Valley Authority 社も DOE との MOX 燃料利用契約を検討したものの、合意には至っていない。

---

[9] シリンダに付着したウラン等の残渣のこと。

[10] 作業過程においてフッ化ウランより生じる金属ウランのこと。

[11] USDOE News Release, “*Energy Department Releases Study of Radiation at the Paducah Site*”, January 10, 2001, <http://www.oakridge.doe.gov/media_releases/2001/r-01-007hq.htm>.

[12] この項の情報出所は NAC International 社調査に基づく。

4. 施設立地関連の取り組み

4-1 立地（候補）地域と政府・事業者の関係

ISFSI をはじめとする中間貯蔵施設や他サイクル関連施設の立地については、連邦規則第 10 節に許認可要件や基準、安全基準等が規定されており、事業者は規則に基づいた申請を行い、原子力規制委員会（NRC）が唯一の許認可権限者としての役割を果たしている。

各州に設置されている公益事業委員会は、原子力発電所の新規建設について、経理面から原子力発電所導入する場合に必要となる長期投資の資金繰りが電力会社の経営に及ぼす影響を勘案し、経営の黒字が確保できるか、電気料金による回収が可能かを判断するが、中間貯蔵施設や他サイクル関連施設の立地について公益事業委員会が何かしらの判断をくだすことはない。

また、事業者は、原子力発電所を含む施設の立地地域に対して、ボランティア活動の実施や地域のNPO団体への資金提供等、独自の取り組みを通じて関係構築に努めている[13]。

高レベル放射性廃棄物処分については、1982 年放射性廃棄物政策法によって連邦政府が処分の責任を負うと定められており、立地地域の選定もDOE[14]が行う。立地地域への財政的補助については、4-2 にて詳述する。

4-2 立地自治体への財政的補助[15]

高レベル放射性廃棄物処分に係る立地地域への財政支援として、1982 年放射性廃棄物政策法では、その第 116 条（c）と第 170 条で地元に対する財政措置が規定されている。

第 116 条（c）では、補助金の交付と課税相当額の補填という 2 つが規定されている。ここでいう補助金とは、DOEが地元のネバダ州と郡に対して、州と郡が特定の事項[16]の実施のために交付するものである。また、課税相当額とは、処分場開発活動は連邦政府が行うものであり、売上税・使用税の課税対象とならないため、仮に課税が認められるとした場合の税収相当額を放射性廃棄物基金から補填する、という制度である。これらの資金は、連邦議会が会計年度ごとに成立させる、エネルギー・水資源開発歳出法の中で定められ、財源は一般財源ではなく、放射性廃棄物基金（NWF : Nuclear Waste Fund）から拠出される。

第 170 条では、恩典契約に基づく特別の財政措置が規定されている。これは、ユッカマウンテンの処分場立地をネバダ州が受け入れた場合、ネバダ州にはその見返りとして特別の資金的な恩典を受けるための恩典契約をDOEとの間で締結する権限が与えられている、というものである。1982 年放射性廃棄物政策法で支払い金額[17]が規定されており、放射性廃棄物基金から拠出される。また、恩典として地元州に交付される資金の 3 分の 1 以上は関係する郡に分配されることになっており、郡の間でも資金の分配方法は、恩典契約で定めることになっている。さらに、1982 年放射性廃棄物政策法の規定により、資金の使途は制限が設けられていない。

4-3 福島第一原発事故後のサイクル施設の安全対策

2011 年 10 月 6 日、原子力規制委員会（NRC）は福島第一原発事故への対策の一環として、運転者が地震や洪水といった自然現象の結果に対処するため十分な準備を整えているか調べるため、主要な核燃料サイクル施設の査察を命令した。一時査察の下、NRCの査察官は、緊急時防御の十分さや、運転者の安全

---

[13] 事業者として Exelon の取り組みを参照した。〈http://www.exeloncorp.com/Community/overview.aspx#section_1〉

[14] 具体的には、DOE 内に設置された民間放射性廃棄物管理局（OCRWM）が施策の実施にあたる。

[15] 本項では、特に断りのない限り、（公財）原子力環境整備促進・資金管理センター「諸外国での高レベル放射線廃棄物処分」を参照している。

[16] 施設立地の潜在的な社会的影響の評価、公衆の健康・安全・環境への影響の評価、サイト特性調査活動の監視、試験及び評価（クロスチェック）、地元住民への情報提供活動（広報プログラムの実施、公聴会・説明会の開催費用を含む）。

[17] 恩典契約の締結から使用済燃料の最初の受け取りまで：年額 1,000 万ドル、使用済燃料の最初の受け取り時点：一時金 2,000 万ドル、使用済燃料の最初の受け取りから処分場の閉鎖まで：年額 2,000 万ドル。

基準や許可基準を超える自然災害の結果に対する緩和戦略の十分さを評価する予定である。今回の査察で対象となる施設は、米国内で稼働中のすべての商業用ウラン濃縮工場、燃料加工工場、ウラン転換工場である。査察は各施設に合わせて個別に行われるが、地震災害、外部洪水災害、内部洪水災害、竜巻、交流電源や緊急時電源喪失、火災影響を最低限検証することとなっている。[18]

発表時は、2012 年 9 月 30 日に査察を完了する予定とされていたが、2013 年 3 月現在、報告書は公開されていない。

[18] NRC, NRC to inspect fuel cycle facilities on preparations for natural disadters, 2011-10-6, <http://adamswebsearch2.nrc.gov/webSearch2/doccontent.jsp?doc={E19FE657-184D-475C-99B5-538971490EF6}>.

1-2. フランス

1. 核燃料サイクルに関する政策・事業動向

フランスは、核燃料サイクルの完結を目指し、研究開発、実用化を進めている。研究開発は 1960 年代からフランス原子力庁（CEA）が、実用化・産業化は 1976 年に設立された国営のフランス核燃料公社（COGEMA）グループが、原子炉の製造については主にフラマトム社が携わってきた。フランス政府は、資本力の強化を目的として、2001 年 11 月に新持ち株会社AREVA社を設立した。現在、核燃料サイクル部門はAREVAの完全子会社であるAREVA NC（旧COGEMA）社により、採掘、濃縮、成型加工、再処理まで一貫した事業体制を世界的規模で構築している。AREVA NC社は、ウラン探鉱事業では世界市場の20～25%、転換事業では 25～30%、濃縮事業では 20～25%、燃料加工では 30%～35%、再処理事業では、70～75%、PWR燃料製造では 20～25%、MOX燃料製造では 65～70%のシェアを占める[19]。

2012 年 5 月に大統領選によって政権交代が起こったが、2012 年 9 月 28 日に開催された原子力政策審議会[20]において、使用済燃料を再処理し、MOX燃料として利用する方針が確認されており、福島第一原発事故後もフランスのサイクル政策には変更は無い。

なお、アクチニド核変換プロセス、中間貯蔵、地層処分のそれぞれの関係を考慮しつつ、技術面、経済面を含めた最適化を図る、という、2006 年に制定された「放射性廃棄物管理の研究に関する法律」[21]に定められて視点に従って、CEAは 2012 年末までに研究成果を評価し、報告書を政府に提出することとなっており、その報告書が 2013 年 3 月 4 日に公開されている（1-6 で後述する）。

フランスの核燃料サイクル概要を図 2-1 に示す。

[19] ATOMICA（一般財団法人 高度情報科学技術研究機構）、フランスの核燃料サイクル（14-05-02-05）

[20] フランス共和国大統領府、http://www.elysee.fr/president/root/bank/pdf/president-14098.pdf

[21] フランス政府法令サイト、http://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=JORFTEXT000000240700&dateTexte=&categorieLien=id

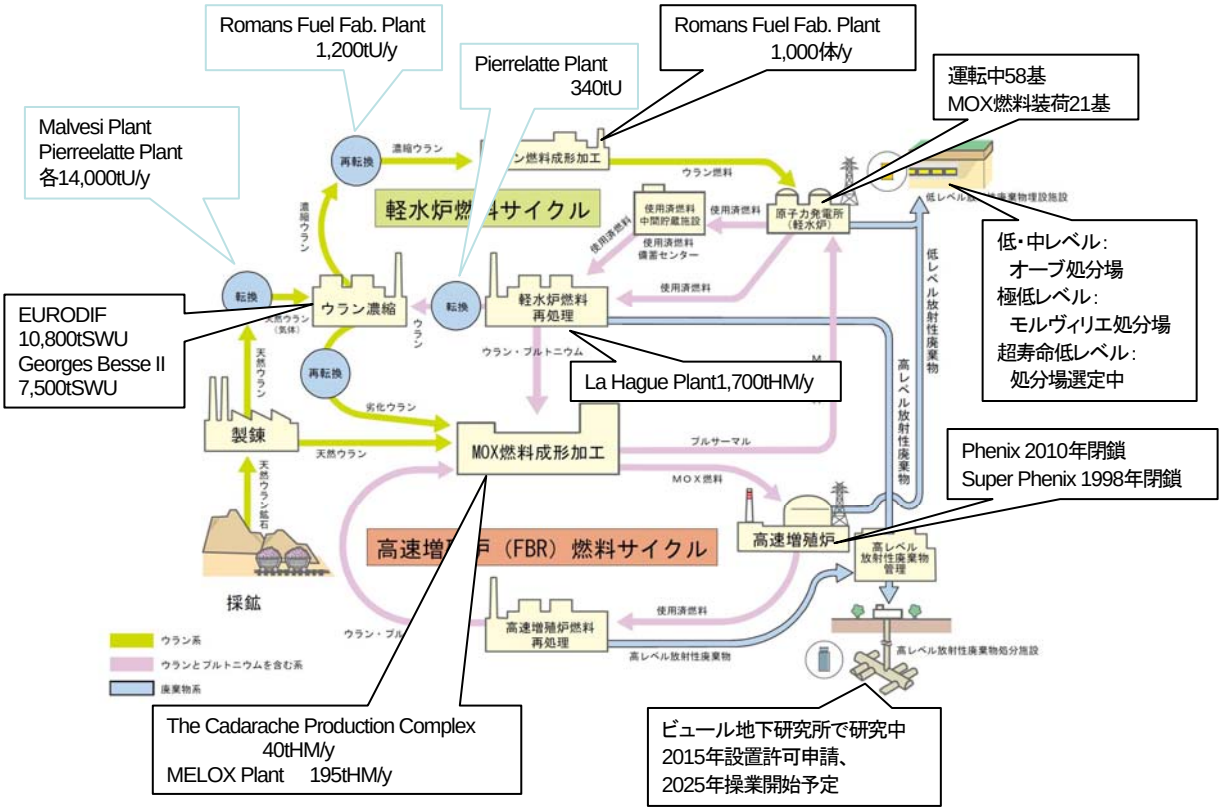


図 2-1　核燃料サイクル事業展開概念図

（出所）世界の原子力発電開発の動向 2012（原産協会）、原子力ポケットブック 2012（電気新聞）等より作成

なお、フランスの軽水炉発電能力を１に規格化した場合、フランスが国内に所有するサイクル施設の公称能力は、全て１を上回っているとする報告がある。このことから、フランスでは国内施設のみで国内需要を満たす事ができる、バランスのとれた核燃料サイクル事業が展開されている事がわかる。

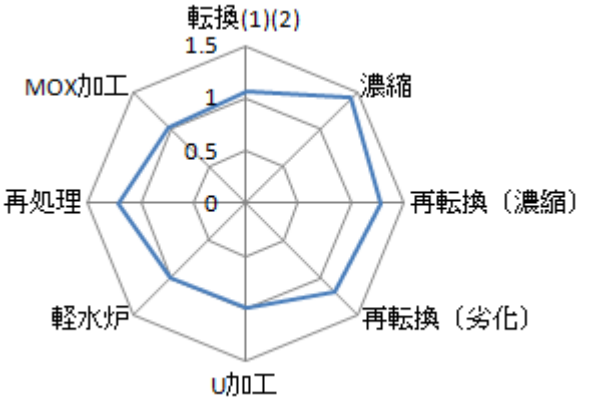


図 2-2　フランス国内サイクル施設の公称能力

（出所）　小島久雄 ”フランスの核燃料サイクル諸施設の能力とその整合性“、JAEA-Review 2010-064

1-1　ウラン生産・転換

AREVA NC は、世界第２位のウラン生産者であり、2011 年には 9,142tU のウラン鉱石を産出している。生産拠点は、カナダ、カザフスタン、ニジェールにあり、南アフリカ、オーストラリア、モンゴル、ナミ

ビア、中央アフリカでウラン資源の開発をおこなっている。詳細なウラン採掘事業展開状況に関しては、本報告書第2章を参照のこと。

転換に関しては AREVA NC の子会社 Comhurex（コミュレックス）社が 1963 年から Malvesi と Pierrelatte の 2 箇所でウラン鉱石の転換を行っている。Malvesi 工場で U_3O_8 を UF_4 に転換した後に、Pierrelatte 工場で UF_4 を UF_6 に転換する。これらの施設は、Comhurex II への更新が進められているが、国等の直接的な支援は特に確認されていない。

1-2 ウラン濃縮

Comhurex 社で転換された UF_6 はトリカスタンにある Eurodif 社経営の Georges Besse 工場で濃縮される。Eurodif 社は、COGEMA がイタリア、ベルギー、スペインとの共同出資により設立した国際企業である。CEA が開発したガス拡散法技術を採用して 1979 年に操業を開始しているが、近く隣接サイトの Georges Besse Ⅱ濃縮工場への移行が計画されている。Georges Besse Ⅱでは電力消費量が小さくプラントの分割建設が可能である遠心分離法が採用されている。濃縮事業においても、国等の直接的な支援は特に確認されていない。

1-3 ウラン再転換・燃料成型加工

AREVA NC の子会社 FBFC SNC 社の Romans 工場で UF_6 を UO_2 に再転換している。再転換事業はドイツの Lingen 工場、米国の Richland 工場でも AREVA NC 社により行われている。PWR 燃料の製造は、AREVA の子会社 FBFC（Franco-Belge de Fabrication de Combustibles）社が Roman 工場とベルギーの Dessel 工場で行っている。国外では、AREVA NP が米国 Richland と Lingen 工場で PWR 及び BWR 燃料を製造している。

MOX燃料は、フランスマルクールのMELOXとベルギーDessel工場で製造している。また、アメリカでは2007年から、解体核兵器から生じるプルトニウムからMOX燃料を製造する工場の建設がサバンナリバーサイトで行われているが、この施設の建設はAREVAとShawグループが共同で設立したShaw AREVA MOX Services, LLCが請け負っている。施設の設計は、MELOXと同じであり、AREVAの技術が活用されている[22]。

1-4 再処理

フランスは全量再処理を基本としており、商業的な再処理事業を手がけている。使用済燃料は AREVA NC のラ・アーグ工場（合計 1,700tHM/年）で再処理され、マルクールの MELOX 工場（195tHM/年）で MOX 燃料に加工される。かつて、日本の電力会社も使用済燃料の再処理を委託していた。ベルギー、ドイツ、オランダ等からも使用済燃料の再処理を請け負っている。なお、再処理によって生じる放射性廃棄物は、それぞれの国に返還されている。

2012 年 5 月に就任した Hollande 大統領は、選挙公約では再処理の継続について明確に述べてはいなかったが、2012 年 9 月 28 日に開催された原子力政策審議会で、再処理した燃料を MOX 燃料で再利用する戦略が確認されている。

1-5 放射性廃棄物処理・処分

フランスの放射性廃棄物は、射性廃棄物管理機関（ANDRA）が実施主体となって管理している。中低レベルの放射性廃棄物は、国内 2 箇所（オーブ、モルヴィリエ）で埋設されている。

[22] Shaw AREVA MOX Services ホームページ、http://www.moxproject.com/

高レベル放射性廃棄物に関しては、2005 年に ANDRA が発表した研究成果報告で、ビュール近傍の深度約 500m に位置する粘土層が地層処分に適しているとしており、この粘土層と同等の地質環境を有する地層内に処分する計画である。

2012 年 9 月 28 日に開催された原子力政策審議会で、2006 年に制定された廃棄物管理法に規定するスケジュールを確認しており、同法で見込む、2013 年公開討論開始、2015 年処分場建設申請というスケジュールは変更されていない。なお、2013 年 2 月現在、ANDRA は公開討論の開始に関して特に言及していない。

1-6 放射性廃棄物管理に関する研究報告[23]

2013 年 3 月 4 日、CEA は 2012 年 12 月付けの報告書”Direction de l’energie nucleaire”を公表した。この報告書は、2006 年に制定された「放射性廃棄物管理の研究に関する法律」に定められた、アクチニド核変換プロセス、中間貯蔵、地層処分のそれぞれの関係を考慮しつつ、技術面、経済面を含めた最適化を図る、という視点にしたがってまとめられたものである。主要な結論は、以下のとおりである。なお、産業レベルにおける核変換の得失を現時点（報告書提出時点）で評価したもので将来の姿を述べるものではない、との断り書きが付されている。

- 核変換は廃棄物の取り扱いを最適化するが、地層処分のオプションを排除するものではなく、ガラス固化体の地層処分が最終的な姿である。
- MA の核変換は Pu のリサイクルがあって実現できる概念である。
- FBR は核変換を可能とする一方で、加速器駆動未臨界炉（ADS）を用いる方法は変換速度が遅くまたプロセスは複雑となる。
- FBRの場合、マイナーアクチニド（MA）の非均質サイクル[24]が有望であるが、多量のMAのブランケット領域での挙動把握が不十分である。

2. 使用済燃料中間貯蔵の取り組み

EDFは毎年、約 1,200tHMの使用済燃料を取り出しており、その内 850tHM程度を再処理のためにLa Hagueに移送している。残余は、将来第四世代炉を立ち上げる際に必要となるプルトニウムを供給するために再処理する目的で、保管されている[25]。

国内には、La Hagueに使用済燃料貯蔵施設がある。貯蔵施設はLa Hague C / D / E / HAO / NPHとよばれる 5 つの区域に別けられており、総貯蔵容量は 18,000tHMである[26]。2011 年末時点で、これまでに発生した使用済燃料の 70%は湿式、19%は乾式で保管されており、11%は再処理済みである[27]。2011 年時点での使用済燃料総貯蔵量は 14,204tHMである一方、2035 年までに貯蔵施設容量を増強させる予定は無い[28]。

---

[23] ”Direction de l’energie nucleaire ; 02 SEPARATION-TRANSMUTATION DES ELEMENTS RADIOACTIFS A VIE LONGUE”, December 2012, CEA

[24] 炉内に装荷される燃料の MA 濃度が均等（均質）ではない炉心体系によるサイクル。

[25] World Nuclear Association, http://www.world-nuclear.org/info/Country-Profiles/Countries-A-F/France/

[26] IAEA INFCIS、http://infcis.iaea.org/NFCIS/Facilities/Facilities

[27] World Nuclear Association, http://www.world-nuclear.org/info/Country-Profiles/Countries-A-F/France/

[28] OECD/NEA, Nuclear Energy Data

3. 回収ウラン・劣化ウランの利用状況と関連技術

3-1 回収ウランの利用状況

既に述べたとおり、EDFは年間約 850tHMの使用済燃料を再処理しているが、これにより年間 810tHM の回収ウランが得られている。回収ウランの大部分は、戦略資源として保管するため、Pierrelatteにある TU-5 と呼ばれる再転換施設（年間生産量 1,600tU）でU_3O_8に転換されている[29]。TU-5 では、U235 濃縮度 1%までの回収ウランを処理する事が可能である[30]。2011 年には、約 780tHMの回収ウランが酸化ウランに再転換されている[31]。

また、ロシアで再濃縮するために同じくPierrelatteにあるINB105 と呼ばれる転換施設（年間生産量 330tU）でUF_6への転換もされている。ロシアで濃縮された回収ウランは、フランスRomansにあるFBFC の成型加工施設で燃料に加工される。回収再濃縮ウランからの燃料製造プロセスは、天然濃縮ウランのものと同じであるが、特別な放射線防護設備を装備したラインで製造されており、このラインでの認可設備容量は年間 150tHMである。回収再濃縮ウランによって製造した燃料は、フランス国内Cruas原発（900MWe級）の 3 号機及び 4 号機で装荷されている[32]。なお、ロシアにおけるフランスの回収ウラン濃縮に関しては、本章「４．ロシア」にて述べる。

これまで、フランス国内では回収ウランの再濃縮は行われていないが、Georges Besse II濃縮施設で回収ウランを再濃縮する計画がある[33]。

La Hague 再処理施設では、諸外国から再処理役務を受託し、再処理を行っており、それに伴って回収ウランが発生している。2003 年末現在の分離回収ウラン量を下表に示す。

表 2-1 La Hague工場で再処理された国別使用済LWR燃料と
回収されたウラン量（2003 年 12 月 31 日現在の累計）

使用済燃料発生国	LWR燃料再処理量(tHM)	分離回収ウラン量(tU)
フランス	10,038	～ 9,540
ドイツ	4,816	～ 4,580
日本	～ 2,900	～ 2,840
スイス	659	～ 630
ベルギー	672	～ 640
オランダ	293	～ 280
計	19,422	～ 18,500

（出所） IAEA-TECDOC-1529, “Management of Reprocessed Uranium – Current Status and Future Prospects”, February 2007, http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/te_1529_web.pdf

[29] World Nuclear Association, “Nuclear Power in France”, Updated Dec 2012, http://www.world-nuclear.org/info/default.aspx?id=330

[30] IAEA-TECDOC-1529, “Management of Reprocessed Uranium – Current Status and Future Prospects”, February 2007 http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/te_1529_web.pdf

[31] AREVA Refference Document 2011

[32] IAEA-TECDOC-1529, “Management of Reprocessed Uranium – Current Status and Future Prospects”, February 2007 http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/te_1529_web.pdf

[33] IAEA-TECDOC-1529, “Management of Reprocessed Uranium – Current Status and Future Prospects”, February 2007 http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/te_1529_web.pdf

3-2　劣化ウランの利用状況

フランス国内には、1999 年末時点で 190,000 トンの劣化ウランが貯蔵されていると報じられている[34]。

年間約 7,300 トンの劣化ウランが生産され、その内 100～150 トン程度がMOX燃料製造に用いられているほかは、第四世代高速発電炉用に貯蔵されており、2040 年の貯蔵量は約 450,000 トンと見込まれている。2006 年～2009 年にかけて、フランスの劣化ウラン約 33,000 トンがロシアに輸送され、天然ウランレベルまで再濃縮された後にフランスに返還されている。また、この役務契約は 2010 年末に終了している。なお、再濃縮により発生した劣化ウランは、ロシアの所有となっている[35]。

フランス国内で発生した劣化ウランは、ロシアにて再濃縮されたものやMOX燃料製造に用いられたものを除いて、フランス国内のPierrelatte W再転換施設にて安定なU_3O_8 に転換され、貯蔵されている[36]。なお、再転換の際に得られるフッ化水素（HF）は回収・リサイクルされている[37]。

3-3　プルトニウムの利用状況

すでに述べたとおり、EDFから再処理のために毎年 850tHM程度の使用済燃料がLa Hagueに移送され、再処理されているが、その結果として毎年 8.5tHMのプルトニウムが得られている。このプルトニウムは、MOX燃料に加工するため、直ちにMeloxのMOX燃料成型加工施設へと送られる。8.5tHMのプルトニウムから、約 100tHMのMOX燃料に加工され、加工されたMOX燃料は、国内の軽水炉で使用されている[38]。

IAEAによれば、フランス国内に 2011 年 12 月 31 日時点で再処理施設に保管されている分離済みプルトニウムは 43.5 トンであり、その他に加工中にあるものが 6.6 トン、発電所内等で未照射の状態で保管されているものが 29.1 トン、そのほか 1.1 トンとされており、合計 80.3 トンがフランス国内に保管されている。80.3 トンの内、22.8 トンは海外の事業者等の所有するプルトニウムである。なお、2010 年末時点の保管量は 80.2 トンであり、海外事業者保有分は 24.2 トンであった[39]。

4.　施設立地関連の取り組み

4-1　立地（候補）地域と政府・事業者の関係

立地地域とのコミュニケーションに関しては、現地情報委員会（Commissions Locales d'information ： CLI）が、原子力の安全性、放射線防護、原子力施設の原子力活動の、人及び環境に対する影響調査、情報収集並びに協議といった一般的な任務を負うものとされている。CLIは、2006 年に制定された、フランスの原子力基本法に相当する、「原子力に関する透明性及び安全性に関する法律[40]（以下、TSN法）」に基づいて設置された。CLIの委員は、関係する議員、環境保護団体、経済団体、代表権を有する労働組合、医学に関係する職に就いている者及び専門家の代表者から構成されているが、事業者がこの委員会に出席・発言し、委員会業務に参画することもできる[41]。

---

[34] Wise-Uranium, “Depleted Uranium Inventories”, Apr 2008, http://www.wise-uranium.org/eddat.html

[35] World Nuclear Association, “Nuclear Power in France”, Updated Dec 2012, http://www.world-nuclear.org/info/default.aspx?id=330

[36] World Nuclear Association, “Nuclear Power in France”, Updated Dec 2012, http://www.world-nuclear.org/info/default.aspx?id=330

[37] AREVA ホームページ

[38] World Nuclear Association, “Nuclear Power in France”, Updated Dec 2012
http://www.world-nuclear.org/info/default.aspx?id=330

[39] Communication Received from France Concerning its Policies regarding the Management of Plutonium, INFCIRC/549/Add.5/16, 2012/8/3, IAEA,

[40] 正式名称は「Loi n° 2006-686 du 13 juin 2006 “relative à la transparence et à la sécurité en matière nucléaire”」

[41] CLI, http://www.anccli.fr/

また、同じくTSN法に基づいて、原子力セキュリティの透明性と情報公開に関する高等委員会（Haut Comité pour la Transparence et l 'Information sur la Sécurité Nucléaire ：HCTISN）が設立された。HCTISNの活動は、立地地域との間に限ったものではないが、人の健康、環境及び原子力安全への影響並びに原子力活動のリスクについて、情報を得、協議し、議論する機関として活動している。HCTISNの委員は、上下院議員、CLI代表者、環境保護団体、事業者などから選出されている。

なお、2012 年 1 月 5 日に法改正が行われ、CLI及びHCTISNの設置根拠法は、環境法典（Code de l'environnement）となったが、法体系の変更のみであり、法で定められる所掌事項等に変更はない。

事業者であるAREVAの取組としては、Reference document 2011 にCLIを通じてTSN法（環境法典）に基づいた報告をおこなっていること、組合や地域住民、地方選出議員、メディアへ等のインタビューを通じて、立地地域との関係を評価することで、ステークホルダーをより理解し、将来の対話や合意形成活動に役立てる活動を実施していることが記載されている。

4-2　立地自治体への財政的補助

2006 年に制定された廃棄物管理法において、高レベル放射性廃棄物処分候補地に対する財政支援が規定されている[42]。この規定に基づいて、高レベル放射性廃棄物処分候補地であるビュールでは、バイオマス関連事業誘致のほか、多数の地域共生事業が行われている[43]。この地域共生に要する費用は、原子力基本施設（INB）[44]と呼ばれる、原子力発電所、サイクル施設、加速器等の操業者から徴収されている[45]。

このほかには、サイクル施設に特化した、立地自治体への財政的補助はない。

4-3　福島第一原発事故後のサイクル施設の安全対策[46]

4-3-1　　実施の経緯

2011 年 3 月 24-25 日の欧州委員会（EC）で、耐性検査、いわゆるストレステストを欧州原子力安全規制者グループ（ENSREG）の仕様に従って実施することを決定しており、それを踏まえ、5 月 25 日にENSREGは、EUにおけるストレステストの範囲と方法について記載した詳細仕様を採択している。

一方、フランス国内では、3 月 23 日にフランス首相が原子力安全機関（ASN）に対して、TSN法第 8 条（政府等からの諮問に対する答申、要請に対する技術的指導の実施が規定）に基づき、原子力施設の安全監査の実施を要求しており、ASNは、ENSREGの決定に先立って、5 月 5 日には、12 のライセンス保有者（事業者）に対して、独自の安全性点検（Complementary Safety Assessment）の実施を要求している。

4-3-2　　欧州ストレステストとの相違点

フランスの安全性点検は、欧州ストレステストの実施内容を網羅しているが、以下の点での変更（拡張）がされている。

- 実施対象を全原子力施設に拡大

---

[42] フランス政府法令サイト（廃棄物管理法の 13 条に規定）http://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=JORFTEXT000000240700&dateTexte=&categorieLien=id

[43] 資源エネルギー庁，地域の創造と地層処分，平成 21 年 3 月

[44] INB の対象となる施設一覧（リスト）は、原子力安全機関（Autorité de Sûreté Nucléaire：ASN）により管理されている。参考：2012 年末時点の INB リスト，http://www.asn.fr/index.php/Les-actions-de-l-ASN/La-reglementation/Bulletin-Officiel-de-l-ASN/Decisions-de-l-ASN/Decision-n-2013-DC-0330-de-l-ASN-du-8-janvier-2013

[45] フランス政府法令サイト（財政法 2000 の 43 条に規定），http://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=JORFTEXT000000762233&dateTexte=&categorieLien=id

[46] ASN ホームページ、http://www.asn.fr/

ENSREGの仕様では、評価対象とする施設は原子力発電所となっているが、安全性点検の仕様では、フランスに存在する 150 の原子力施設全てを対象として実施している。従って、建設中のEPRだけでなく、サイクル施設についても、安全性点検の対象となっている。

- 下請問題に着目

  原子力セキュリティの透明性と情報公開に関する高等委員会（HCTISN）は 5 月 3 日に今回の安全性点検の実施に当たっては、下請会社の問題を取り扱うようにすべきであるとの意見を提出しており、この意見を踏まえて、ASNは下請問題についても、安全性点検の中で報告するように事業者に要求している。

4-3-3 実施スケジュール

安全性点検は、ASNが 2011 年 5 月 5 日に発行した文書に定められた、施設の重要度と、実施スケジュールに従って実施されている。ASNが定めた実施スケジュールを表 2-2 にしめす。なお、EDFが所有する全ての原子力発電所と、AREVAが所有する主要なサイクル関連施設[47]は、重要度高とされている。

表 2-2 施設の重要度と提出・実施期限

施設の重要度（カテゴリー）	事業者 評価方法の説明書提出	事業者 報告書提出	ASN評価期限
高	2011/6/1	2011/9/15	2011/11/15
低	2012/1/15*	2012/9/15	ー
なし	PSR（10 年検査）時にASNから個別に指示する		

＊ 評価対象となる施設が、重要度低の施設のみを所有する事業者の場合の期限

4-3-4 評価の進め方

一義的責任の原理の下、安全性点検は事業者によって実施される。ASNは、事業者からの報告書の審査を、技術支援組織であるIRSNや諮問委員会等の支援を受けながら実施した。

IRSNは、2011 年 6 月 1 日に事業者から提出された評価方法に関する説明書と、9 月 15 日に提出された報告書の分析、6 月から 10 月に実施された 110 日間に及ぶ立ち入り検査等を実施している。なお、この検査では、外部ハザードに対する保護や、電源・冷却源喪失、事故時の運用管理に必要となる機材や組織が適切であるか、といった観点で実施された。

情報公開による透明性の確保がASNの使命のひとつであるが、ASNは安全性点検のアプローチにおいても、公開性と透明性を重視している。報告書を全て公開するだけでなく、諮問した委員会からの意見を含め、ASNが下した結論については、全て公開される。これらの情報は、ASNのホームページ上に公開されている。

4-3-5 評価方法の説明書

事業者から 2011 年 6 月 1 日までに提出された、安全性点検の評価方法の説明書については、IRSNにより分析・レビューされた。なお、ASNの諮問委員会もレビューに参加している。

これらのレビュー結果を踏まえ、ASNは、「分析時に必要な安全に関する情報を事業者がASNに提出し、ASNからの要求に従う」という条件のもと、事業者の説明書は要求を満たしていると判断している。ASNからの要求事項として以下のようなものがある。

[47] 研究炉用燃料製造施設（CERCA plant）は重要度低とされている。

- 過去の不適合事象の評価での考慮
- 設計基準以上の洪水の考慮、具体的には、サイト近傍の運河（アルザス、ドンセール、プロバンス）の決壊の影響調査
- 建物、施設等に要求される堅牢性を保障するためのアクションプランの開発（報告書提出以降）
- シビアアクシデント（SA）時に使用する設備の堅牢性の検証
- 考え得る全てのリスク評価（他産業、道路、鉄道etc.）
- 地下水汚染を通じたSAに対する補完措置の提案

4-3-6　安全性点検報告書

2012年1月3日、ASNは安全性点検の報告書を公開した。

報告書によれば、いずれの調査対象施設も即時停止を要請する必要はなく、十分な安全基準を満たしているが、運転を継続する上で、既に備えている安全性の余裕に加えて、極端な状況に対する耐性を速やかに増強する必要があり、そのために必要な措置の実施を事業者に義務付けるとしている。

具体的に挙げられている措置は以下の通りである。

- 極端な状況においても、安全性の基本機能の制御を可能とするために必要となる、物理的・組織的措置（ハードコア：noyau dur）を備える。
- 事故後24時間以内に現場で対応可能となるような特殊チームおよび設備・資機材を集結させる、全国規模の緊急配置措置として「原子力即応部隊（FARN）」の設置。
- 燃料貯蔵プールの燃料露出リスクを低減するための強化措置の実施。
- 地下水および地表水を防護するための追加対策の実施可能性調査の実施。

また、社会的、組織的、人的要素が安全性の必須項目であり、ASNは以下の３点について特に注目している。

- 作業員のスキルの更新
- 下請使用時の組織の問題（下請使用制限と監視強化、事故時の下請管理）
- これらのトピックスを国もしくは欧州レベルで検討すること

ASNの報告書では、上述した対策についての詳細が記載されている。その概要を以下に示す。

- 「ハードコア」

  設計等で考慮される事象を超え、電源や冷却の長期喪失に伴うシビアアクシデント状態に対処するための手段を確立する必要があり、この手段を確立するために必要となる、機材や組織的対策の中核となるものの総称を「ハードコア」としている。この概念はIRSNにより提案されたものであり、事業者に対して2012年6月30日までに、施設毎の具体的な仕様および手順について提案するように求めている。ハードコアを備えるにより、以下の３つの目的が達成できる。

  - 重大な事故の防止もしくは進行を制限
  - 制御不能な事故が発生した場合の大規模放出を制限
  - 事業者が緊急時対応の実施を可能とする

  ハードコアは特に以下（のような設備と手順書）により構成される。

  - 危機管理に必要となる建物及び設備（訳注：緊急対策所等と思われる）
  - 通信と警告手段
  - 技術的及び環境のモニタリング計測設備（訳注：事故時監視計器と環境放射線監視設備）
  - 労働者の被ばく管理システム
  - 発電所向けの、発電機や緊急冷却水供給装置といった強化された設備

- 「FARN（force d'action rapide nucléaire）」

FARNは専門的な人員と装備を有し、事故発生後 24 時間以内にサイトで事故対応に当たる担当者から対応業務を引き継ぐことができる部隊である。2012 年末までにはどのサイトでも展開可能となり、2014 年末までにはサイト全ての原子炉に同時対応できる能力を備えるように整備する。

- サイクル施設に対する要求
  - ラ・アーグ再処理施設において、使用済燃料プールへの追加冷却手段の確保といった堅牢性を高める手段の実施
  - ラ・アーグサイトに保管されている、過去に発生した廃棄物の安全性を高めるための手法の調査
  - トリカスタン、ロマンスの両サイトでの、毒物（フッ化水素、フッ化ウランなど）漏洩が発生した後の緩和手段の検討

4-3-7　ハードコアの提案

上述した期限に従って、2012 年 6 月 28 日、AREVAはASNにハードコアとして備える要件を提案した。AREVAによれば、緊急時に対応し、通信を確保するための機器類（ポンプ、計測機器、衛星電話など）を追加的に備え、数時間以内に対応要因を動員することが出来るようにするとしている。また、これらの設備は、施設設計上で想定する地震、洪水、極端な気象状況を越える状態にも耐えるようにする。なお、AREVAは、同社グループが保有する施設でこれらの対応を実施するために要する費用は、20 億ユーロと見込んでいる。緊急時対応施設の概念図を、図 2-3 に示す[48]。

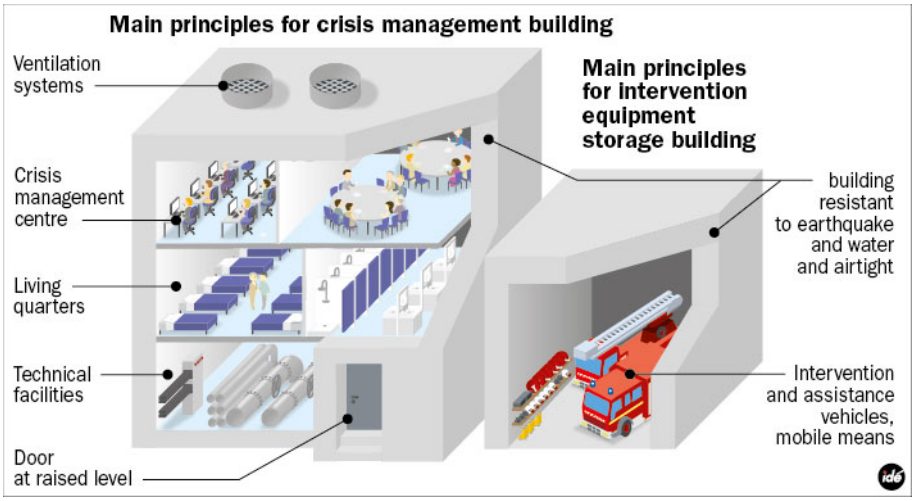


図 2-3　緊急時対応施設の概念図

（出所）AREVAプレスリリース

ASNは現在、AREVA[49]から提出されたハードコアの提案に対する評価を、IRSNの支援を受けて実施しており、その結果を 2013 年初頭に発表する予定である。2013 年 3 月現在、ASNは評価結果を公表していない。

なお、発電炉に関しては、ASNは 2012 年末に国家アクションプランを、欧州ストレステストの枠組みに従って報告しているが、サイクル施設に関する言及はされていない。

[48] AREVA プレスリリース、2012/6/28、http://www.areva.com/scripts/news/publigen/content/templates/Show.asp?IDLIST=ACTIVITIES%7C2529&URLRETURN=ACTIVITIES%7C852&P=9399&L=EN
[49] 発電炉他の重要度高となっている施設に関しても、同様に審査されている。

1-3. イギリス

1. 核燃料サイクルに関する政策・事業動向

イギリスは従来、核燃料サイクルを自国内で閉じることを方針としており、イギリスの核燃料サイクル事業は、国の機関である原子力公社（United Kingdom Atomic Energy Authority ：UKAEA）が原子力研究開発を、英国核燃料公社（British Nuclear Fuels Limited ：BNFL）が商業ベースでの活動を担ってきた。BNFLは 100%政府保有の国営企業で、発電から燃料サイクル全般に至る広範な業務を行っており、スプリングフィースルズ（Springfields）で燃料製造施設を、カペンハースト（Capenhurst）で濃縮施設を、セラフィールド（Sellafield）で再処理施設を運転してきたが、2000 年以降の経営難と、政府の原子力老朽化施設を廃止する方針を受けて、2005 年に創設された国営公社である原子力廃止措置機関（Nuclear Decommissioning Authority ：NDA）にUKAEA及びBNFLの資産がすべて移管された。実際の施設運営はBNFLが行い、BNFLは、運営にあたってNDAが策定する長期事業計画に従って、NDAと管理契約を結ぶ形をとった。

イギリスは2011 年末時点で 113.3 トンの民生プルトニウムを保管している[50]。プルトニウムの長期的管理について、2011 年 12 月に英国エネルギー・気候変動省（Department of Energy & Climate Change ：DECC）がプルトニウム管理方針（Management of the UK's Plutonium Stocks）[51]を公表した。それによると、イギリス政府は再処理を継続し、プルトニウムのMOX燃料への再利用を最優先のオプションと位置づけ、引き続き研究・検討を進める方針である。[52]

1-1 ウラン濃縮

濃縮事業は、イギリス、オランダ、ドイツ（RWEとE.ON）の 3 ヵ国共同出資のUrenco社がカペンハースト濃縮工場（Capenhurst、5,000tSWU/年、遠心分離法）で 1976 年から運転しているが、2013 年 1 月に東芝やAREVAがUrencoの買収を検討する動きを見せており、イギリス政府は保有する 33%のUrenco株の売却に前向きであると報じられている。[53]

1-2 再転換・燃料成型加工

Westinghouse UKの運営する転換・成型加工施設（Springfields、転換 5,000tU/年、再転換 550tU/年）が存在する。

1-3 再処理

イギリスでは、当初、軍事用プルトニウムの生産を目的に再処理開発を始めたが、その後、民間原子力発電計画に基づき発生する使用済燃料の処理、再処理施設を持たない国に対しての再処理請負へと転換してきた。

セラフィールド（Sellafield）にあるTHORP（Thermal Oxide Reprocessing Plant）再処理工場は、1994 年に運開し、2005 年に施設内での漏洩とその後の修理により停止を経て、2008 年に運転を再開、現在も主に国外の再処理需要に応じて稼動を続けているが、2012 年に入り、2018 年までの既存の再処理契約を終えた後に閉鎖されることが決定されている。また、同じくセラフィールドにあるB205 再処理施設も、

[50] Office for Nuclear Regulation (ONR)、http://www.hse.gov.uk/nuclear/safeguards/civilplut11.htm

[51] Department of Energy & Climatechange,「Management of the UK's Plutonium Stocks」https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/42773/3694-govt-resp-mgmt-of-uk-plutonium-stocks.pdf

[52] 資源エネルギー庁,「原子力を巡る状況について」p.45
http://www.enecho.meti.go.jp/info/committee/kihonmondai/9th/9-2.pdf

[53] REUTERS http://jp.reuters.com/article/companyNews/idJPTK831601520130121

Magnox炉燃料の再処理が終わる 2017 年～2028 年頃には閉鎖される予定である。

2011 年 12 月にDECC（英国エネルギー・気候変動省）が公表した「Management of the UK's Plutonium Stocks」によれば、現時点で考えられる 3 つの選択肢、①長期貯蔵、②固化後に地層処分、③MOX燃料として再利用のうち、MOX燃料への再利用を最も信頼性が高く技術的にも確立した選択肢と位置づけ、他のオプションも残しつつ、MOX燃料への再利用を最優先に実施に必要な調査等を進めるとしている。MOX燃料加工施設の新規建設を検討しており、その計画スケジュールを図 3-1 に示す。なお、MOX燃料に利用できないプルトニウムは、当分貯蔵し、廃棄オプションについては、引き続き研究・検討を進める方針である。

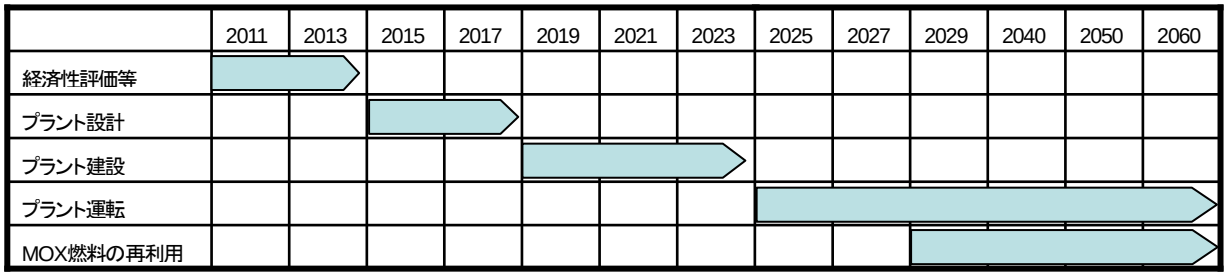


図 3-1　MOX燃料加工施設の建設計画目標
（出典）Management of the UK's Plutonium Stocksより作成

1-4　放射性廃棄物処理・処分

英国のバックエンド政策は、1995 年 7 月に発表された白書「放射性廃棄物管理政策の検討-最終結果」の中に定められており、放射性廃棄物が政府で発生したものか、民間で発生したものかに関係なく、現在及び将来的に、公民の健康と環境に甚大なリスクを与えることがないように適切に管理する方針が示されている。また、政府は、低レベル放射性廃棄物は浅地中処分、中･高レベル放射性廃棄物は深地層処分する方針である。従来、放射性廃棄物の処理・処分の実施主体はNIREX社（BNFL、UKAEA、BE（英国エネルギー社）等が出資する民間会社）であったが、2007 年 4 月にNDAと統合されている。また、NDA内に放射性廃棄物管理局（RWMD）を設置させ、放射性廃棄物の管理及び処分方針は、エネルギー・気候変動省（DECC）、環境・食糧・農村地域省（DEFRA）等が策定し、放射性廃棄物の安全規制については、保健安全執行部（HSE）が実施している。

(iii) HLWの処理･処分

低レベル放射性廃棄物については、既にカンブリア州のドリッグ・サイトとUKAEAのドーンレイ処分場で浅地中処分を行っているが、将来的な容量不足を踏まえて新規施設の建設が検討されている。アルファ核種を含む低・中レベル放射性廃棄物は、現在各発電所サイトで貯蔵されている。

(iv)　HLWの処理･処分

また、使用済燃料の再処理に伴って発生する高レベル廃棄物は、液体のままステンレス鋼製のタンクで貯蔵され、ガラス固化後、冷却のため最低でも 50 年間は貯蔵される。高レベル放射性廃棄物については、2001 年にDEFRAが協議文書「放射性廃棄物の安全な管理」を発表し、2003 年に高レベル放射性廃棄物の管理方法を検討する独立組織として、放射性廃棄物管理委員会（CoRWM）を設置。管理オプションなどを検討の上、2008 年 6 月には「放射性廃棄物の安全な管理－地層処分の実施に向けた枠組み」を公表するとともに、将来の処分場の受け入れ可能性のある自治体などの募集を開始した。その結果、2 つの自治体から応募があり、適性調査を重ねている。現在、ガラス固化廃棄物はセラフィールドの再処理施設サイト内に貯蔵されるているが、処分場の最終サイト選定は 2025 年頃、操業開始は 2040 年頃と予想されるため、中間貯蔵施設の建設も考慮されている。

英国における放射性廃棄物処分の実施体制を図 3-2 に示す。

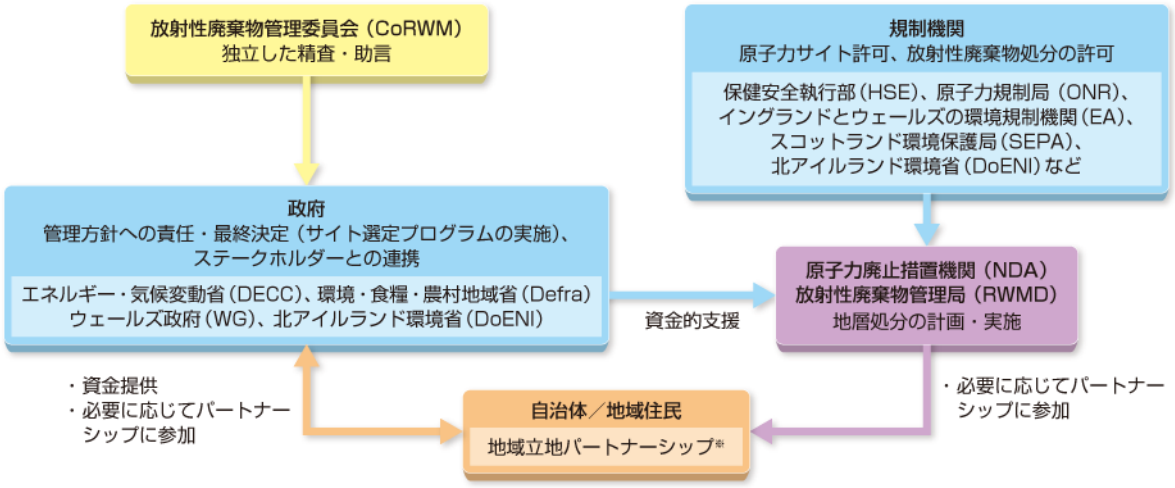


図 3-2　英国における放射性廃棄物処分の実施体制

（出所） 原子力環境整備促進・資金管理センター、諸外国での高レベル放射性廃棄物処分

2.　使用済燃料中間貯蔵の取り組み

高レベル放射性廃棄物の処分について検討を進めていたCoRWMは 2006 年、処分の方法として地層処分を選択すべきだが、処分が開始できるまでの間は中間貯蔵を実施する、との方針を政府に勧告した。それを受けて、2008 年にDECCによって公表された「放射性廃棄物の安全な管理－地層処分の実施に向けた枠組み」では、中間貯蔵、地層処分及び研究開発の 3 つの主要な分野に関して、2009 年中に各々の分野についての報告書を政府へ提出することとされた。2009 年にCoRWMより提出された報告書では、上記の方針に基づいて、放射性廃棄物の安全な管理計画のための研究開発のあり方などについて勧告がなされている。

国内の原子力発電所（NDA及びEDF Energy社が所有）から発生する使用済燃料のうち、再処理の予定があるものは、セラフィールドに輸送されている。

EDF Energy社から発生する使用済燃料の一部については、同社が最終的な管理方針を決定しておらず、発電所内で貯蔵している状況である。EDF Energy社は、2015 年に貯蔵容量が限界に達するため、2011 年 7 月に乾式貯蔵施設の設置許可を得て、2013 年 1 月 14 日より建設工事を開始している。乾式貯蔵施設の完成は 2015 年を予定しており、貯蔵期間は、発電所の存続期間中若しくは最終処分場が操業を開始するまでである[54]。

3.　回収ウラン・劣化ウランの利用状況と関連技術

3-1　回収ウランのリサイクル実績

イギリスにおける回収ウランのリサイクル経験・実績はMagnox炉からの回収ウラン（MDU: Magnox Depleted Uranium）のリサイクルに限られている。Magnox計画がスタートした 1960 年代以降、Magnox燃料は被覆材にマグネシウムを利用していることから、水中での長期保管が難しいという問題があり、全てSellafieldで再処理されてきた。2004 年半ばまでで 35,000 t 以上の回収ウランがUO_3として回収されている。そのうち 16,000 t を僅かに超える量が、AGR炉用燃料として用いるため、Capenhurstにある BNFLのガス拡散法工場で 0.7%U235 再濃縮された後、さらにUrencoの遠心法工場で濃縮度 2.6~3.4%

[54] EDF Energy プレスリリース、http://www.edfenergy.com/media-centre/press-news/Sizewell-B-dry-fuel-store-update.shtml

U235 に再濃縮された。なおMagnox炉燃料からの回収ウランは、再処理で得られたウランを金属燃料にする複雑さと高コストのため、Magnox燃料に用いられたものはない。1990 年代半ばまで、全てのAGR炉燃料の約 60%がMDUから製造された。1976 年以降このような再濃縮ウランの利用量は低濃縮ウランで約 1,650ｔ にのぼる。この回収ウランを用いて製造されたAGR燃料の大部分は、Thorp工場で再処理されたが、これまでのところThorp工場で生産された回収ウランはイギリスのAGRやPWRにリサイクルされてはいない。

MDUのリサイクルは 1996 年に中止された。これは天然ウラン価格とSWU価格が低価格となったためである。

表 3-1 イギリスにおけるMagnox燃料の再処理による回収ウランのリサイクル実績（1960 年代～2004 年中頃）**エラー! ブックマークが定義されていません。**

ステップ	処理量・製品量	
1	Magnox使用済燃料をSellafieldで再処理しウランを回収（MDU）	>35,000 t
2	（SpringfieldsでUF6 に転換）	～16,000 t
3	濃縮度 0.4~0.5% のMDUをCapenhurst拡散工場で濃縮度 0.7%に濃縮	～16,000 t を供給
4	ステップ 2 で得られたウランをUrenco(Capenhurst)の遠心法工場で濃縮度 2.6~3.4%に濃縮	製品量　～1,650 tU
5	ステップ 4 で得られたLEUをSpringfieldsでAGR燃料に加工	同上
6	AGR発電炉に装荷	同上

3-2　回収ウランの再濃縮

表 3-1 に示した通り、2004 年半ばまでに~16,000ｔ のMDUが、AGR炉用燃料として用いるため、BNFLのCapenhurstにあるガス拡散法工場で 0.7%U235 に再濃縮された後、さらにUrencoの遠心法工場で濃縮度 2.6~3.4%U235 に再濃縮された。1976 年以降このような再濃縮ウランの利用量はLEUで約 1,650ｔ にのぼる。

Sellafieldの貯蔵容量（9,000ｔ）を超える 1,000～1,400ｔ の回収ウランのうち、これまでのところ、Thorpから 200ｔ の回収ウランが燃料としてリサイクルするため、再濃縮を委託したロシアに輸送された。

3-3　回収ウラン利用に係る受入条件など

イギリスにおける回収ウラン利用はMagnox炉からの回収ウランMDUのリサイクルに限られており、燃焼度が平均 5,500MWD/tHMと低かったため、MDUは通常U235 濃度が 0.4~0.5%でありU232 やU236 の濃度も低かった。このため低濃縮度のMDUをAGR燃料用の濃縮度に再濃縮しても、また燃料加工工程でも特別な配慮は必要なく、天然ウラン原料かMDUから再濃縮されたものかは燃料加工の各工程で区別されることはなく、AGR炉への装荷についても区別されることはなかった。

ウラン濃縮については、環境庁（Environment Agency）による定期検査に対応したUrenco UKの施設報告がある[55]。この報告書は今後 8 年間（2014 年まで）に次のような施設変更計画があるとして査察を受けたものであるが、原料の受入、製品の出荷に関する技術基準などは記載されていない。

① テイルウラン取扱施設Tails Management Facilityの運転
② ウラン濃縮設備容量の増強

[55] Environment Agency, UK, “Explanatory Document – Urenco(Capenhurst) Ltd. Nuclear site at Capenhurst, Cheshire” February 2007

③ 回収ウランの再濃縮
④ 製品濃縮度の上限をさらに高める変更など

3-4 イギリスにおける回収ウラン再濃縮にかかる安全対策・安全評価

イギリスにおける回収ウラン利用はMDUのリサイクルに限られており、燃焼度が低かったため、U235濃度が 0.4~0.5%でありU232 やU236 の濃度も低かったとしている。このような事情から、低濃縮度のMDUをAGR燃料用の濃縮度に再濃縮する工程でも、また燃料加工工程でも特別な配慮は必要なかったとしている。

2007 年の環境庁による定期検査に対するUrenco UKの対応報告書では、原料ウランが高価格になれば回収ウランは貴重な資源であり今後回収ウランの再濃縮もあり得るとしながら、これに対する特別な配慮がなされているとの説明はなく、放射性の排ガス、廃液、固体廃棄物等に対して通常の環境対策（ウラン放出防止策）がとられているだけである。

また、安全性評価事例としては、2007 年の環境庁（Environment Agency）による検査に対するUrenco UKの対応報告書[56]に、放射性排ガスの大気放出量、放射性廃液（水溶液）量と放射性廃液（有機溶液）量の 1993~2005 年までの測定結果などが記載されている。大気放出量は環境への放出であるが、廃液はBNGSL（British Nuclear Group Sellafield Ltd）への搬出量である。いずれも年間許容レベルを超えることはなかったとしている。

3-5 回収ウランの利用計画

イギリスにおける回収ウランのリサイクル利用はMagnox燃料からの回収ウランMDU（Manox Depleted Uranium）のリサイクルに限られている。そしてウランの低価格傾向が続き、MDUのリサイクル利用は 1996 年に中止されており、そのほかの明確な利用計画は確認されていない。但し同時に、原料ウランが高価格になれば、回収ウランの再濃縮もあり得る、との議論もなされてきた。

3-6 プルトニウムの利用計画[57]

イギリスでは、Puのリサイクルには経済性がないと考えられ、分離されたPuは期限を限定せずに貯蔵されている。一方、海外の顧客が所有するプルトニウムは、所有者へプルトニウムを返還する際、英国政府が受諾しうる最終利用方法を明確にする必要がある。プルトニウムをどのように取り扱うかは、所有者が決める事であり、英国政府としての推奨案はないが、海外の顧客に対して以下の２つのオプションを提案している。

- MOX燃料に加工するオプション
- 英国政府がその所有権を取得するオプション

英国政府が所有権を取得するオプションの例として、2012 年 7 月、あるドイツの電力会社が英国内に所有するプルトニウム 4 トンの所有権を英国政府が取得している。ドイツの電力会社は、代わりとしてフランスに保管されているプルトニウムを取得（スワップ）しており、これをフランスにてMOX燃料に加工し、ドイツ国内の原子力発電所で燃焼させる計画である。このスワップには、以下のような利点がある。

- 英国からフランスへのプルトニウム輸送が回避できた
- プルトニウム管理にかかるコストを削減できた
- ドイツの原子炉閉鎖前にMOX燃料を装荷することが可能になった

[56] Urenco, “Information in Response to the Environment Agency’s Review of the Urenco(Capenhurst) Limited Radio active Disposal Authorisations, Part One”, Augst 2006
[57] 第56回原子力委員会　資料第１号　http://www.aec.go.jp/jicst/NC/iinkai/teirei/siryo2012/siryo56/siryo1.pdf

4. 施設立地関連の取り組み

4-1 立地（候補）地域と政府・事業者の関係

2008年6月のDECCによる白書「放射性廃棄物の安全な管理－地層処分の実施に向けた枠組み」では、高レベル放射性廃棄物処分のサイト選定プロセスに自治体が参加を決定した後に「地域立地パートナーシップ」（Community Siting Partnership: CSP）を組織することが定められている。その性格については政府が規定するものではないものの、関係諸機関が考慮すべきガイダンスが定められており、以下のような役割を持つものとされる。

- 意思決定機関に対して助言や勧告を行う
- 実施主体（NDA）や実行組織の行う設計、建設、操業等の作業を検討し、貢献する
- 地元の懸念事項に対処し、地域の福祉を充実させるために専門家の意見を聞く、または調査を実施する
- サイト選定プロセスが有効で、前進に向け努力していることを確認する
- 自らの活動や見解、勧告等について情報を公開する
- 地元自治体や、より広い地域の関係者と関わり、協議する
- 地域社会の多様な意見を把握し、対処する
- 関係する権限を有する地方機関（地域の戦略的パートナーシップやサイトのステークホルダーグループなど）と連携し、協議する
- 参加メンバーが自分の役割を効果的に実施できるよう、キャパシティ・ビルディングを行う

このCSPはサイト選定プロセスにおける地元としての決定を行う機能・権限を有しているが、NDAや政府等の決定の権限を奪うものではなく、それらの決定が、特に地元の懸念事項について十分に周知・考慮したものとなるための役割を果す、とされる。CSPの構成員は、最低限、以下の人員を含む。

- 自治体代表（公選議員または自治体職員）
- 地元選出の国会議員
- 地域の公共サービス部門（消防、警察、保健トラストなど）
- 地域住民または住民グループ
- 地域と密接に関わっている組織（例えば、地域の非政府組織など）
- 広域の地元関係者
- NDAの放射性廃棄物管理局（RWMD）

上記のように、パートナーシップの設立は地元自治体が主導的な役割を果す。一方で、CSPのメンバーとして事業主体であるNDAが入っていることが一つの特徴である。但しNDAは技術的な情報提供は行うものの、地元に関連する事項について直接的に意思決定に関わることはない、とされている。

政府は、CSPが地元の利益を代表するものと想定した上で、決定を行う。また政府はCSPの一員ではないが、求めに応じて、オブザーバー等としてその活動に参画することもできる。規制機関もCSPにアドバイスを行う等のことはできるが、その独立性を失わないよう、その活動範囲は厳格に定められるべきである、とされる。

政府がCSPにおいて果し得る役割としては、以下のように例示されている。

- 提案・アドバイスや研究結果等を示すことにより、タイムリーな情報提供を行う
- CSPの議論やワーキング・グループ、研究等に参加する
- CSPからの情報やアドバイス提供の求めに応じる
- CSPが提供する場でより直接的に地元の意見を聞き、また情報を提供する

・ CSPのメンバーの能力形成の補助をする

なおCSPの予算については、政府が「関与パッケージ」（後述）の一部として用意するが、その使途の決定権はCSPにある。
CSPは、自治体がサイト選定プロセス（机上調査を実施する「第 4 段階」）に入った後に設立されるものであり、その前の「関心表明」の段階ではまだ組織されない。2008 年に最終処分場サイト関心表明を行ったカンブリア州、及び同州のアラデール市・コープランド市の 3 つの自治体は、CSPの前の段階として、「西カンブリア放射性廃棄物安全管理パートナーシップ」を立ち上げた。ここには両市議会、カンブリア州内の他の市議会、カンブリア州地方議会連合、全国農業者連盟（NFU）、地方労働組合などが参加し、約６週間に一回の頻度で意見交換や勉強会を実施した。
しかし 2013 年１月、カンブリア州議会は地層処分場のサイト選定プロセスにおいて、第 4 段階に進まないことを議決した。コープランド市議会は第 4 段階に進むことを議決したものの、第 4 段階に進むかどうかの決定においては 2 市 1 州の合意が必要とされていたため、これら 2 市 1 州は、そろってサイト選定から撤退することとなった。

4-2　立地自治体への財政的補助

地層処分場のサイト選定プロセスや研究開発や施設設計などに対して、地域社会が参加できるという可能性だけではなく、影響力をもって実質的に参加できる体制を整えられるようにするために、「関与パッケージ」及び「地域の利益パッケージ」と呼ばれる政策支援が行われる。前者はサイト選定の第一段階として、関心表明を行った自治体や、参加表明後に自治体に設立されるCSP（上述）の活動に必要な費用について、一部または全部を政府が負担するものであり、その具体的内容や金額等については、地元と政府との協議のもとに決められるものとされる。具体的には、以下のような費用が例示されている。

・ 公衆への情報提供
・ 会議や連携等に係る費用
・ CSPスタッフの給与
・ 事務所の費用や一般管理費
・ CSPや、その組織するワーキング・グループ等の運営費
・ 専門家の意見聴取のための費用
・ プロセス評価のための費用
・ その他、CSPメンバーに必要な雑費等

後者は主に、事業の実施に伴う経済効果等を意味するものである。放射性廃棄物処分場の建設は高額のプロジェクトであり、数十年にわたって技能的な雇用を確保する。また派生的な産業振興やインフラ整備等、地域経済に長期の利益をもたらすものである。国やNDAはこの観点から、地元の福祉に役立つことを確証することが望まれている。地層処分事業は処分場全体が最終的に閉鎖されるまで少なくとも 100 年かかり、地層処分施設の操業は数世代にわたる問題であることから、地域振興の問題も数世代にわたる要素を持つ、とされる。
具体的な地域社会への恩恵として、以下のものが例示されている。

・ 地域の訓練、技能開発や教育への投資
・ 地元サービス産業の活性化
・ 公共事業や住宅等への投資
・ 輸送インフラの強化
・ 福利厚生サービスの改善
・ 地域の環境改善

4-3　福島第一原発事故後のサイクル施設の安全対策

4-3-1　　事故直後の動向

事故直後の 2011 年 3 月 14 日、ヒューン・エネルギー気候変動相によって日本の原子力事故状況に係る声明が発表された。その中で大臣は、「英国内では同様の地震災害は起きないとしても、今回の事故を深刻に受け止める」として、マイク・ウェイトマン主任検査官に福島第一原発事故の教訓をまとめるよう指示している[58]。3 月 17 日には、ヒューン・エネルギー気候変動相は、ウェイトマン主任検査官に対し、2011 年 5 月中旬には中間報告を、6 ヶ月以内に最終報告書を提出するように指示した[59]。

4-3-2　　ウェイトマン主任検査官報告書

原子力規制局（Office for Nuclear Regulation : ONR）のホームページには、3 月 14 日、17 日に発表されたヒューン・エネルギー気候変動相の声明を受けたマイク・ウェイトマン主任検査官の発言[60]が掲載されており、「3 月 11 日以降、保健安全執行部の原子力局は日本の事象を詳細に監視しており、政府に対して英国内の原子力施設の安全性について即時の対応は必要ではないという専門家による技術的なアドバイスを行った。日本で発生した大規模な地震やそれに伴う津波のような外部事象は英国で発生する可能性は低く、英国の原子力規制基準は英国内で発生し得るすべての外部災害に対して十分に強固である。しかし、福島第一原発事故から、人々や環境の保護を強化するための教訓を学ぶことが重要である。2011 年 5 月中旬までに中間報告、6 ヶ月以内に最終報告を提出する。」と述べている。

2011 年 5 月 18 日、ウェイトマン主任検査官によって福島第一原発事故の教訓をまとめた中間報告が発表された[61]。この報告書では、以下の点を教訓としてまとめている。なお、この報告書は原子力発電所の安全対策に主眼がおかれた分析がされているが、分析対象に再処理施設も含まれている。

・市民とオープンに情報交換すること
・洪水に対する脆弱性を点検すること
・複数の原子炉をもつ発電所の安全性を確認すること
・使用済み核燃料プールからの漏出を絶対に防ぐこと
・長期使用が可能な独立電源を発電所内に確保すること
・爆発性ガスの充満を避けるため換気を確保すること
・冷却剤の供給が深刻に不足しても耐えしのげるよう、冷却剤を確保すること

また、2011 年 10 月 11 日には、ウェイトマン主任検査官による最終報告書が発表された。報告書の中では、福島第一原発事故の教訓から政府、事業者、規制機関に対して 38 項目に渡る勧告が挙げられた。最終報告書の発表にあたり、ウェイトマン主任検査官は、「英国の原子力施設は基本的な安全性の欠陥はないと確信している。ONRはすでに英国で想定される最悪のケースに備えた保護を要求している。福島第一原発事故を踏まえて、すでに様々な行動を実行に移しているが、自己満足はできない。今後もONRは福島第一原発事故の詳細の監視を続け、必要に応じて行動をとる。」と発言している。38 項目の勧告の概要は以下の通りである[62]。

- 一般事項
  - 事故に備えた国際協定を推進すること
  - 政府、事業者、規制機関は、原子力安全を高めるための国際協力を推進すること

[58] DECC HP<http://www.decc.gov.uk/en/content/cms/news/chstate_japan/chstate_japan.aspx>
[59] DECC HP<http://www.decc.gov.uk/en/content/cms/news/pn11_026/pn11_026.aspx>
[60] ONR ホームページ,　http://www.hse.gov.uk/nuclear/news/2011/mar-japan.htm
[61] ONR ホームページ,　http://www.hse.gov.uk/nuclear/fukushima/interim-report.htm
[62] ONR ホームページ,　http://www.hse.gov.uk/nuclear/fukushima/final-report.htm

- 国レベルでの事故対応に関する準備を進めること
- イングランド、ウェールズ、スコットランドの各国は、オフサイト避難計画が十分なものであるか分析すること。
- 公開性と透明性をもって進めること

- 規制機関
  - クリフエッジ効果など、福島第一原発事故により得られた教訓の分析を進めること
  - 緊急時対応に関する準備と訓練を進めること
  - 原子力安全に関する研究を進めること
- 事業者
  - 非常災害時のオフサイトインフラ耐性について検討すること
  - 津波を含めた洪水に対する影響を検討すること
  - 複数の原子炉が被災した場合の安全性を検討すること
  - 堅牢性を高めるとの観点から、使用済燃料貯蔵戦略を検討すこと
  - サイトレイアウトを、洪水や自然災害に対する堅牢性の観点から検討すること
  - 新たに備える使用済燃料貯蔵プールの堅牢性を高めること
  - 地震に対する耐性を検討すこと
  - 外的事象に対する堅牢性を検討すること
  - 災害時のオフサイトの電源供給を検討すること
  - 災害時のオンサイトの電源供給を検討すること
  - 長期の冷却確保を検討すること
  - 可燃性ガスの換気に関して検討すること
  - 緊急時の制御室、緊急時対応所、通信手段について検討すること
  - 人材能力と人員数を見直すこと
  - 長期間続くシビアアクシデントに関して検討すること

4-3-3 非発電用設備のストレステスト[63]

2012 年 5 月 15 日に、発電用原子力発電所以外のストレステストの実施結果最終報告書が公開された。この報告書は、欧州大で実施されているストレステストと同じ手法でサイクル施設等の安全性を確認するものであり、ウェイトマン主任検査官の要求により実施されたものである。

この報告書では、設計基準の範囲内ではサイクル施設等に重大な欠陥は無いと結論している一方、設計基準を越える事象に対する堅牢性に関するさらなる検討が必要であるとしている。また、発電用原子炉で実施されるストレステストの結果を踏まえた対応も必要であるとしている。

特に検討を進めるべき点として、以下の事項が挙げられており、これらの検討が進められている状況である。

- 洪水対策の強化
- 所内電力設備網の強化
- 非常時のバックアップ機器類の準備
  - 緊急時対応施設へのバックアップディーゼル発電機の設置
  - 洪水時のサイトへの安全なアクセス手段の確保
  - 事故時に利用する、可搬式サポートツールの確保
  - 通信機器を含めた、事故時の指令・制御施設の設置
  - 事故時対応・回復のための装置類の設置

[63] ONR ホームページ, http://news.hse.gov.uk/onr/2012/05/stress-tests-of-uk-non-power-generating-nuclear-facilities-final-report-published/

1-4. ロシア

1. 核燃料サイクルに関する政策・事業動向

ロシアは国内天然資源に恵まれているが、長期的には消費されることから、旧ソ連時代より原子力発電と核燃料サイクルを推進しており、「閉じた燃料サイクル」というコンセプトで開発が進められてきた。現在は、化石燃料をより多く輸出に回すことで、外貨を獲得する方針。核燃料サイクルの推進は、民生と軍事の両方を含んだ原子力分野の全ての活動を総括する国営会社「ROSATOM」によりおこなわれている[64]。なお、現在のところ発生した使用済燃料の 16%だけが再処理されているが、2020 年までには毎年発生する使用済燃料の全量を再処理する予定であると報じられている[65]。

ロシア政府は、現在同国が抱える原子力分野の主要な問題（①高水準かつ増加を続ける使用済燃料と放射性廃棄物の量、②天然ウラン資源の非効率的利用、③ロシアにおける原子力の科学的潜在力低下に対する懸念、④世界市場における原子力部門製品の競争力低下）を認識している。ロシア政府は、諸問題を解決するには「閉じた燃料サイクル」を持つ高速中性子炉を基に、新世代の原子力技術の開発に努力を集中する必要があるとの認識の下、2010 年 2 月、ロシア政府はRosatomが草案した連邦目標プログラム「新世代原子力技術（2010 年から 2015 年ならびに 2020 年までの展望を含む）」[66]を承認し、新たな予算配分を規定した。これが、現時点で原子力産業に関する最新の連邦目標プログラムである。

福島第一原発事故後の 2011 年 3 月、Rosatom・Kirienko総裁およびShmatkoエネルギー相は、福島第一原発事故の如何に関わらず、原発開発をスローダウンする意向はないと表明した。同総裁は、原発開発は核兵器開発や原子力潜水艦、宇宙開発とも密接に結びついており、原発開発を怠ることは、軍需産業の競争力を失うことになるとの懸念も示しており、福島第一原発事故による核燃料サイクル政策への影響は認められない。

ロシアの核燃料サイクル概要を図 4-1 に示す。

[64] ATOMICA（一般財団法人 高度情報科学技術研究機構）、ロシアの核燃料サイクル（14-06-01-05）

[65] World Nuclear News、2012/1/30、http://www.world-nuclear-news.org/WR-Russia_commissions_fuel_storage_facility-3001124.html

[66] ロシア連邦政府, 2010 年 2 月 3 日付ロシア連邦政府政令 No. 50, О федеральной целевой программе «Ядерные энерготехнологии нового поколения на период 2010 - 2015 годов и на перспективу до 2020 года (http://www.government.ru/gov/results/9415/)

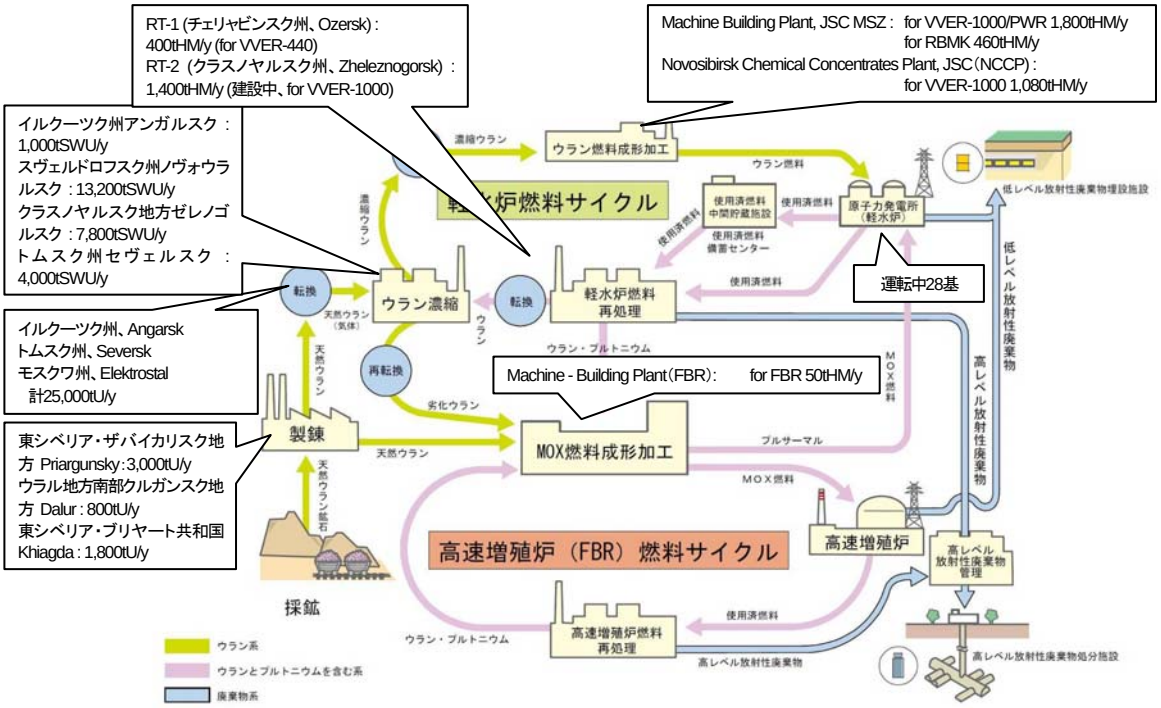


図 4-1　核燃料サイクル事業展開概念図

（出典）世界の原子力発電開発の動向 2012（原産協会）、原子力ポケットブック 2012（電気新聞）等より作成

1-1　ウラン生産

ロシア国内のウラン生産は全てAtomenergoprom傘下のARMZが行っている。

2011 年 1 月 1 日現在のロシア国内の推定ウラン埋蔵量は、260 ドル/kgU以下の既知資源量でみると、650,300tUであり、オーストラリア、カザフスタンに次ぐ世界第 3 位の埋蔵量を誇っている。2010 年の生産量は 3,562tUと、世界第 6 位となっている[67]。

2 章でも述べたとおり、ロシア（ARMZ）は、Uranium One社の買収等による海外事業の拡大を目指す一方、国内鉱山の開発にも注力しており、2020 年時点で 18,000 tU_3O_8/年をロシア国内から産出する計画である。

1-2　ウラン転換・濃縮

ロシア国内のウラン生産以降のフロントエンド、即ち、ウラン転換・濃縮・再転換・燃料成型加工は全てAtomenergoprom傘下のTVELが行っている。

ロシアの転換施設容量は 25,000tU/年、濃縮施設容量は 27,200tSWU/年と、国内需要を大きく上回る生産能力を持っており、余剰濃縮設備容量を活用して、劣化ウランの再濃縮が行われている。なお、軍事用濃縮役務が縮小されたことから、過剰な設備容量を持つに至ったとの経緯もあり、遠心器の取替等に応じて、設備容量が縮小される可能性があるが、ロシア政府及びTVELは将来の設備容量に関して特に述べていない。

1-3　ウラン再転換・燃料成型加工

[67] OECD/NEA-IAEA, Uranium 2011

上述の通り、ロシア国内の再転換・燃料成型加工施設はTVELが操業している。

国内には、ロシア型軽水炉（VVER-440/VVER-1000）の他、黒鉛型炉（RBMK）や高速増殖炉（BN-600）があり、国内で多種類の燃料を製造している。各炉、当初の 30 年間の運転許可を延長して運転する見込みであり、国内需要向けに多種類の燃料を製造する状況は当面続くものと考えられる。

1-4　再処理

旧ソ連時代の 1948 年から、軍事用プルトニウム生産炉の照射済燃料からプルトニウムを分離する再処理プラントを国内 3 箇所（チェリャビンスク-40、トムスク-7、クラノヤルスク-26）に建設し、再処理を行っていた。このうちチェリャビンスク-40 は商業用再処理プラント（RT-1）に改造され、現在も操業を続けている。なお、RBMK型原子炉の使用済燃料は、ウラン 235 及びプルトニウム 239 の濃度が低いことから、再処理されずに各発電所の中間貯蔵施設で保管されている。なお、旧ソ連時代の 1984 年には、RT-1 で再処理できない、VVER-1000 向けの燃料が処理できる再処理プラント（RT-2）の建設がクラノヤルスク州ゼレズノゴルスクで着工したが、旧ソ連の崩壊後に建設が中断している。RT-1 では、VVER-440 から生じる使用済燃料のほか、BN-600、研究炉、原子力船舶から生じる使用済燃料も再処理している。

ロシアは既に述べたとおり、クローズされたサイクルを目指しており、プルトニウムは高速増殖炉で利用する計画であったが、高速炉が未だ運転を開始していないことから、再処理によって生じたプルトニウムは、国内で貯蔵されている。

2013 年 2 月にROSATOMは、VVER-1000 から発生する使用済燃料を再処理する、設備容量 250tHM/年の再処理施設を、2017 年操業開始を目標としてモスクワ南西約 150 マイルにあるジェレズノゴルスクに建設する計画であると報道されており[68]、使用済燃料を再処理する方針に変更は見られない。なお、連邦目標プログラム「新世代原子力技術」によれば、乾式再処理技術の開発を進めるとしている。

1-5　放射性廃棄物処理・処分

1993 年に発表された「ロシア連邦領土に隣接する海洋への放射性廃棄物の投棄に関する事実と問題」と題する政府白書によれば、北洋において 1959 年から 1992 年にかけて、極東において 1966 年から 1992 年にかけて、放射性廃棄物を海洋投棄していた。投棄された廃棄物量は、北洋では液体 879TBq、固体 573TBq、極東では液体 455TBq、固体 225TBqである。海洋投棄は、海軍及び非軍事組織であるムルマンスク船舶公社が行っていた[69]。

その他にも、1949 年から 1951 年までの間、チェリヤビンスク-40 サイトの軍事用再処理施設から、高レベル廃棄物がテチェ河に放出処分されており、これを原因として 124,000 人にも及ぶ住民被ばくを生じる結果となった。その後、同サイトでは高レベル放射性廃液をタンクに貯蔵していたが、1957 年に廃液タンクが爆発する事故が発生（ウラル核惨事）。これらを踏まえ、廃液を深い井戸に注入処分することとなり、30 年間で約 600 万m^3に及ぶ中低レベルの放射性廃液が注入処分された。なお、低レベル放射性廃液以外の注入処分はその後禁止され、現在は廃液を固形化するプログラムが実施されているが、低レベル放射性廃液の注入処分は、他の再処理施設においても行われている。

高レベル放射性廃棄物の処分サイトについては、以下のサイトを含めて複数の潜在的サイトについて調査を実施している。

- 北極海のノヴァヤゼムリャ島地下の永久凍土
- コラ半島地下の花崗岩層
- ウラル地方南部のMCC（鉱業化学コンビナート放射化学プラント）付近のひん岩

[68] Nuclear Street、2013/2/19

[69] 旧ソ連及びロシアによる放射性廃棄物の海洋投棄、穂波　穣、https://www.jstage.jst.go.jp/article/jhps1966/29/2/29_2_124/_pdf

・シベリアのMCC付近の花崗岩

2. 使用済燃料中間貯蔵の取り組み

再処理施設RT-2 自体は稼動していないが、RT-2 に併設されたVVER-1000 の使用済燃料を受け入れる貯蔵プールは 1985 年に竣工しており、中間貯蔵施設としての役割を果たしている。貯蔵容量は 8,300 トン[70]であり、1985 年より受け入れを開始している。受け入れ条件は、燃焼度 3 万MWd/t以上、核分裂性物質の濃縮度が 2.6%以下、プルトニウムの濃度が 20%以下とされており、受け入れまでの必要冷却期間は 3 年である。

RT-2 が立地しているゼレズノゴルスクでは、RBMK-1000 とVVER-1000 向けの乾式中間貯蔵施設が 2011 年末に操業を開始している。操業開始時点のRBMK燃料の貯蔵容量は 8,129 トンである。VVER燃料と併せて、最終的には 38,000 トンの使用済燃料を貯蔵する予定である[71]。

また、再処理施設RT-1 に併設されている貯蔵施設では、6,000 トンのVVER-440 用使用済燃料貯蔵施設があったが、現在は貯蔵容量が 9,000 トンに拡大されている。

3. 回収ウラン・劣化ウランの利用状況と関連技術

3-1 回収ウランの利用状況[72]

国内で唯一操業しているRT-1 再処理施設では、すでに述べたとおり、VVER-440 のほか、研究炉や原子力船の使用済燃料を再処理しており、様々な濃度の回収ウランが得られる。RT-1 では、RBMK-1000 用の燃料として利用可能となるU235 濃度 2.4～2.6%となるように、原子力船等から得られる高濃縮度回収ウランと混合しており、再濃縮過程は経ていない。IAEA-TECDOC-1529 によれば、混合比率は表 4-2 の通りである。なお、RT-1 ではU235 濃度 2.6%を超えるウランを製造することができないため、RT-1 から出荷される回収ウランの利用先はRBMK-1000 に限定されている。また、国内での再処理によって得られた回収ウランの再濃縮実績の報告は無い。

これらの回収ウランベースの燃料は、1981 年からRBMK発電炉で実際に使用されている。許認可上は、RBMK全炉心の 50%まで再処理回収ウランを含む燃料集合体を装荷できるが、実際の装荷割合は、約 40～50%である。

なお、原子力潜水艦の廃船に伴い、高濃縮の回収ウランが不足するため、RT-1 では今後、RBMK発電用炉に必要となるU235 濃度を持つウランを製造できなくなる見込みである。

---

[70] NAC International 調べ

[71] World Nuclear News、2012/1/30、http://www.world-nuclear-news.org/WR-Russia_commissions_fuel_storage_facility-3001124.html

[72] IAEA-TECDOC-1529, “Management of Reprocessed Uranium – Current Status and Future Prospects”, February 2007, http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/te_1529_web.pdf

表 4-1　RT-1 における回収ウラン混合比率

回収元	回収ウランの平均濃縮度	混合割合
VVER-440 発電炉からの使用済燃料	0.95～1.0% U235、0.3% U236	93%
研究炉からの使用済燃料	約 70% U235	<1%
原子力潜水艦及び砕氷船からの使用済燃料	17% U235	3%
BN600 からの使用済燃料	20% U235	3%

（出所）　IAEA-TECDOC-1529, “Management of Reprocessed Uranium – Current Status and Future Prospects”

また、AREVAとの間で 1991 年に締結された 10 年間の回収ウランの再濃縮契約に基づいて、フランスの再処理で得られた回収濃縮ウランの燃料加工も行っている。2005 年までの、AREVAによりロシアに輸送された回収ウランの推移を図 4-1 に示す。

海外から受け入れた回収ウランは、専用のラインで転換、再濃縮、成型加工することが可能であり、AREVAより受け入れた回収ウランは、シベルスクの濃縮施設の専用ラインで再濃縮された。再濃縮された回収ウランは、U235 濃縮度が最大 4.95%まで高められたうえで、フランスに返還されている[73]。一方、再濃縮の結果生じた劣化ウランは、濃縮事業者（TVEL）の所有となり、シベルスクに残されている[74]。再濃縮された総量は 500tUである[75]。なお、この契約は、2010 年に終了しているとの報告がある[76]。

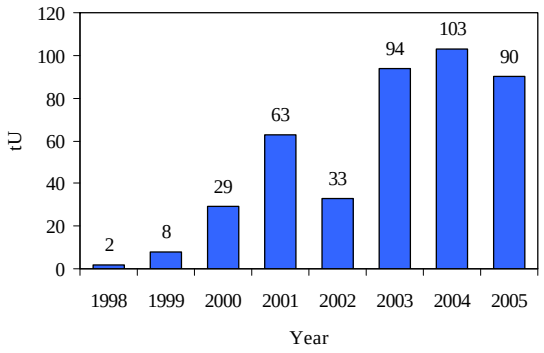


図 4-1　ロシアに輸送された回収ウランの推量

3-2　劣化ウランの利用状況

Wise-Uranium Projectによれば、1999 年末時点でロシア国内には 460,000tUの劣化ウランが貯蔵されている。ロシアでは、冷戦期に建設された濃縮施設が、軍事向け生産の縮小により稼働率が低下していることから、余剰施設を利用した劣化ウランの再濃縮が行われている。過去に発生し、濃縮施設内に保管されていた劣化ウランのほか、1990 年代中ごろから、AREVA、URENCOの濃度の高い劣化ウランがロシアに送られ、TENEXにより再濃縮されてきた。この契約は 2010 年に終了したが、今後は国内在庫を再濃

[73] World Nuclear Association, “Nuclear Power in Russia”, December 2009, http://www.world-nuclear.org/info/inf45.html

[74] World Nuclear Association, “Nuclear Power in France”, Updated Dec 2012, http://www.world-nuclear.org/info/default.aspx?id=330

[75] World Nuclear Association, “Russia’s Nuclear Fuel Cycle”, Updated Dec 2012, http://www.world-nuclear.org/info/default.aspx?id=28646

[76]高橋啓三, “再処理技術の誕生から現在に至るまでの解析および考察”, 日本原子力学会和文誌 Vol.5, No.2, p.152-165 (2006)

縮するものと考えられている。再濃縮後の劣化ウランのウラン 235 濃度は 0.1%程度であるが、これらは今後の高速炉用の資源と考えられており、国内で保管されている[77]。

なお、解体核兵器等から生じた高濃縮ウランを、希釈して商業炉で利用する計画（ メガトンからメガワット 計画 : Megatons to Megawatts）での低濃縮ウラン製造過程において、TENEXは劣化ウランの再濃縮によって得た 1.5%の低濃縮ウランと、核兵器由来の高濃縮ウランをブレンドしている[78]。

再濃縮後の劣化ウランは、前述の通り将来高速炉で利用することとしているが、当面は利用する計画がない。安定した酸化物として長期間保存するため、年間処理能力 10,000 トンの再転換工場がAREVA NCとの技術移転協定に基づいてTENEXによって建設され、2009 年 12 月より操業を開始している[79]。

3-3　プルトニウムの利用状況

核兵器で利用されているプルトニウムに関しては、2000 年に米国とロシアは、必要量を越えると考えられる兵器級プルトニウムを処分することに合意し、VVER炉へのMOX燃料化計画が検討された。この検討に当たって、G7 諸国から 25 億ドルの資金が提供されている。しかし、VVER炉へのMOX燃料装荷に当り、コストの問題が発生したことから、2010 年に修正協定が締結され、プルトニウムは高速炉BN-800に用いることが出来るようになった[80]。

再処理により生じたプルトニウムは、既に述べたとおり、高速炉で利用する計画であり、全量が保管されている。

3-4　その他（アクチノイド処分）

前出の連邦目標プログラム「新世代原子力技術」には、放射性廃棄物とマイナーアクチノイドの最終処分を含めた、使用済燃料の取扱技術を確立する、とあり、マイナーアクチノイドは最終処分する方針であると考えられる。

4.　　施設立地関連の取り組み

4-1　立地（候補）地域と政府・事業者の関係

旧ソ連時代の原子力開発は、核兵器や原子力船舶といった軍事と密接に関わるものであり、今なお閉鎖都市とよばれる区域に原子力関連施設が存在している（例えば、RT-2 の立地するクラスノヤルスク地方のゼレノゴルスク市は、今なお閉鎖都市である）。これらの都市における過去及び現在の施設立地に関する取組は明かされていないが、政府及び軍事を含めた原子力開発に責任を負うROSATOMが主導して立地が進められていると考えられる。

旧ソ連の崩壊に伴う経済的な混乱から、1990 年後半には事故の記憶は薄れ、原子力発電所建設に伴う経済的な要因が大きく取りざたされるようになった。ボルゴドンクス原子力発電所の建設に当たっては、原子力省（当時）及び関連する広報部が積極的に広報を行い、「電力需要の充足のためには原子力発電所稼動が必要である」「原発の運開に伴い老朽化した火力発電所を閉鎖できる」「電気料金を値下げすることが可能となる結果、地域経済の復興に繋がる」といった説明がなされた。なお、発電所名は当初ロストフと

[77] World Nuclear Association, http://www.world-nuclear.org/info/inf45a_Russia_nuclear_fuel_cycle.html
[78] World Nuclear Association, http://www.world-nuclear.org/info/default.aspx?id=444
[79] World Nuclear Association, http://www.world-nuclear.org/info/inf45.html
[80] World Nuclear Association, “Military Warheads as a Source of Nuclear Fuel”, Updated July 2012 http://www.world-nuclear.org/info/default.aspx?id=444

されていたが、住民の要請によりボルゴドンクスに改められている[81]。

4-2　立地自治体への財政的補助

上述の通り、原子力発電所の建設に伴う経済的な利益が強調されることはあるが、地方自治体に対する直接的な財政支援は確認されていない。

4-3　福島第一原発事故後のサイクル施設の安全対策

ROSATOM及び原子力安全規制を担当する「連邦環境・技術・原子力監督局 (Федеральная служба по экологическому, технологическому и атомному надзору：Ростехнадзор, Rostekhnadzor)」は、ロシア国内のサイクル施設に対して、福島第一原発事故後に安全評価や対策を実施したとの発表はないし、そのような報道もない。

なお、原子力発電所に関しては、2012 年 3 月 15 日に、「安全性防護度の追加分析 (Additional analyses of a degree of protection of Russia’s operating NPPs with regard to external extreme impacts)」と題する報告書が、ロシア連邦RostekhnadzorNikolay Kutyin長官の名でRosatomホームページ上にて公表されている[82]。ただし、この報告書はサマリーの英文のみが公開されているほか、サイクル施設の安全性に関して特に言及していない。

[81] ATOMICA、http://www.rist.or.jp/atomica/data/dat_detail.php?Title_Key=14-06-01-07

[82] Executive summary on results of additional analyses of a degree of protection of Russia’s operating NPPs with regard to external extreme impacts , 2012/3/15, http://www.rosatom.ru/wps/wcm/connect/rosatom/rosatomsite.eng/resources/5135a0004a856fa2b75bff69a9b26b10/stress_tests_eng.pdf

1-5. インド

1. 核燃料サイクルに関する政策・事業動向

インドは 1947 年の建国に際し、原子力の重要性を国家戦略と位置づけ、翌年には原子力委員会を発足させた。インドの原子力政策は、1968 年のNPT（核不拡散防止条約）の発効以降、NTPの署名拒否と 1974 年の核実験実施によって国際社会からの協力を仰ぐことができなくなったことから、自国の技術と資源での自立を目指し、原子力発電と核燃料サイクル技術の開発を進めてきた。ウラン濃縮以外は、ほぼ燃料サイクルを完結している。インドは 40 万トン近いトリウム資源があるのに対し、ウランはその数分の 1 しかなく品位も悪いため、トリウム・サイクルの確立を目指し、開発計画を推進している。2011 年 3 月の福島第一原子力発電所の事故以降も、電力需給の逼迫が続き、インドでは原子力発電の利用を拡大するという政策に変化は見られず、核燃料サイクル政策も同様である。ただし、地元住民による反原発運動の高まりと、設備納入メーカーに対して賠償責任を訴求可能な原子力賠償責任法の存在によって、計画は遅延する傾向にある。

1-1 トリウム・サイクル開発計画の概要

インドの「トリウム・サイクル開発計画」は、次の三段階の概念図で説明される。

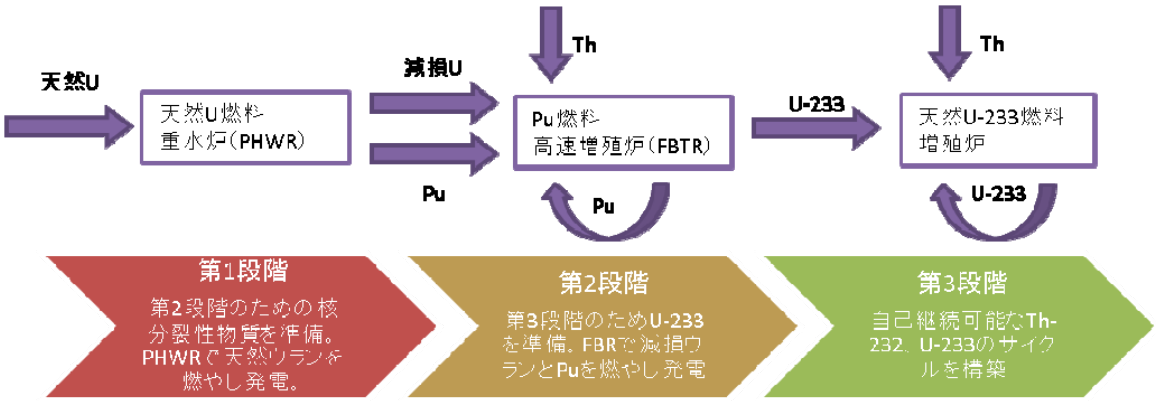


図 5-1 トリウム・サイクル開発計画の概念図

（出所） JAIF「躍進するアジアの原子力」、インド独自の核燃料サイクル[83]より作成

第 1 段階は、天然ウランを燃料とする加圧水型重水炉（PHWR、総発電容量 1,000 万kW規模）を稼動する。使用済燃料を再処理して、プルトニウムを得る。第 2 段階は、得られたプルトニウムと減損ウランを、トリウムとともに高速増殖炉（FBR：総発電容量 3 億kW規模）で燃焼。使用済燃料を再処理して ^{239}Puと ^{233}Uを得る。第 3 段階は、^{233}U、^{232}ThをFBR（総容量 5 億kW規模）で燃焼。^{233}Uを得て、再度FBRでリサイクルし、^{233}Uを得る。これを持続的に繰り返す。ただし、当面 2032 年までのシナリオでは軽水炉の増強を重点化する。

インドは早くから高速増殖炉の研究開発に着手し、その中心はインデイラ・ガンジー原子力研究センター（IGCAR）である[84]。1985 年から高速増殖実験炉（FBTR）が 25 年間ほぼ順調に稼働中で、さらに高速増殖原型炉（PFBR）を建設中である。FBTRは燃料の不足もあって、炭化物燃料を用いて、定格より小さな炉心であるが、発電もしている。PFBRはわが国の「もんじゅ」よりも高出力であり、現在その燃料（酸化物）をFBTRで照射試験中である。将来的には金属燃料を採用して、増殖性を向上させる計画がある。なお、ブランケットにはトリウムも装荷される。

インドは、原子力発電の推進を図るため、ロシア、アメリカのほか、フランス、カナダ、イギリス、カザフスタン、韓国、モンゴル、アルゼンチン、ナンビアと協定を結んでいる。その上で、以下のような方

[83] http://www.jaif.or.jp/ja/asia/india_data3.html
[84]原子力研究の中心はバーバ原子力研究センター（BARC）だが、高速炉の研究開発はIGCARが担当している。

針で大規模な建設計画を進めている。

(1) 従来のPHWRの 70 万kWまで高出力化、カナダと協力してさらに出力を上げることも検討。
(2) ロシアに加え、フランスやアメリカから高出力の軽水炉を燃料付きで導入。韓国型軽水炉の導入も検討。
(3) PFBRの完成後、運転経験を経て、同型の高速増殖炉を複数建設。
(4) トリウムを装荷する新型重水炉（AHWR）の建設。目標は 2020 年までに 2,000 万kW、2032 年までに 6,300 万kW[85]。

1-2 ウラン採掘、精錬[86]

インドのウラン産業は原子力エネルギー省（DAE）がすべて所管している。鉱床の経済性評価終了後の商業的な鉱山開発生産活動は、DAE傘下の公益法人であるUCIL（Uranium Corporation India Ltd.）が実施している。インド国内の 2 箇所で採掘、精錬が行われている。

1-3 再転換・燃料成型加工

ハイデラバード（Hyderabad）にあるDAEのNuclear Fuel Complexがウランの精製、転換、燃料加工を実施している。400t/年のメインプラントで濃縮不要のPHWR用燃料を加工し、25t/年の小規模プラントで輸入濃縮ウランからTarapurのBWR用燃料を加工している。

1-4 再処理

PHWRで発生した民生用使用済燃料は、バーハ原子力研究センター（BARC：Bhabha Atomic Research Centre）のトロンベイ（Trombay）プラント、タラプール（Tarapur）プラント、カルパッカム（Kalpakkam）プラントの 3 ヵ所で再処理されている。Kalpakkamプラントでは、高速炉燃料の再処理も可能である。

1-5 放射性廃棄物処理・処分

原子力発電所と再処理プラントで発生した放射性廃棄物は、それぞれのサイトで処理、貯蔵されている。高レベル廃棄物と長寿命廃棄物の地層処分の研究は、BARCが実施中である。

2. 使用済燃料中間貯蔵の取り組み[87][88]

インドでは、BWRら発生した使用済燃料はサイト内の燃料プールで保管されているが、設計上 528 体の使用済燃料が保管可能とされていたが、高密度のラック使用によるリラッキングにより 1500 体の使用済燃料が保管可能となっている。また、1990 年にサイト内キャスク方式の乾式貯蔵設備（20tHM）が運開している。さらに同年Tarapur原子力発電所近郊に 2000 本（275tHM）の使用済燃料を保管可能な、燃料プール方式の中間貯蔵施設が運開しており、最終的に 3200 本まで拡張可能となっている。

PHWRもBWRと同様に使用済燃料はサイト内の燃料プールで保管されているが、1994 年にRajasthan原子力発電所構内に、コンクリートキャスク方式の乾式貯蔵施設が運開し、570tHMの使用済燃料を最低 10 年間保管し冷却が行えるようになっている。尚、最近建設が進められている最新のPHWRでは使用済

[85] 日本原子力産業協会、「原子力年鑑 2012」
[86] この節の以下の記述は主に JAEA、「インドの原子力発電計画と核燃料サイクルの見通し」http://www.jaea.go.jp/03/senryaku/report/rep06-6.pdf を参照している。
[87] IAEA Nuclear Fuel Cycle Facilities
[88] Storage of Spent Fuel from Power Reactors, IAEA, 2003

燃料を 10 年間保管可能となる容量の燃料プールを備えている。

3. 回収ウラン・劣化ウランの利用状況と関連技術

3-1 回収ウランのリサイクル実績

2007 年のIAEA-TECDOC-1529 では、インドの生産実績データは示されていない。その状況を IAEA-TECDOC-1529 は次のように報告している。

インドの原子力省（DAE: Department of Atomic Energy）は再処理工場の運転に関する統計的数量を発表しない方針をとっている。したがって、インドの使用済燃料の再処理によって発生したRepU量に関する公式データはない。

3-2 回収ウランの再濃縮

回収ウランの再濃縮実績については情報の入手はできなかった。

3-3 今後の回収ウランの利用計画

回収ウランの利用計画については情報の入手はできなかった。

4. 施設立地関連の取り組み

4-1 立地（候補）地域と政府・事業者の関係

インドでは、原子力関連施設の許認可権は中央政府にあるため、施設の立地承認は基本的に中央政府によってなされているが、実際の土地取得や地元対策は州政府の管轄となっている。また、サイクル事業に関しては、原子力庁（DAE）傘下の、バーバ原子力研究センター（BARC）や核燃料複合組織（NFC）によって行われているため、国営事業となっている。

従って中央政府と州政府との関係が問題となるが、インドではこれまでサイクル関連施設の立地に関して大規模な反対運動が行われたという情報は入手できなかったが、原子力発電所の立地については各地で激しい反対運動が展開されている。例えば、西ベンガル州の張りプール沿岸部に原子力発電所を建設する計画に対しては、地元住民の反対により 2011 年 8 月に同州の電力相が州議会に対して、プロジェクトの中止を決定したことを伝えている。これに対しては、シン主首相は政府として原子力拡大の方針を変えていないと応じたことが報じられており[89]、インドでは計画を認可する中央政府と実際に土地収用などの手続きを担う州政府の間で対立が起こっている。

4-2 立地自治体への財政的補助

立地に際して、地元住民への保証金支払は州政府により行われているが、中央政府から地方政府への財政的補助の実施については確認できなかった。

[89] ニュークレオニクス・ウィーク 2011/08/25

4-3　福島第一原発事故後のサイクル施設の安全対策[90]

福島第一原発事故後に、インドの原子力規制機関である原子力規制局（AERB：Atomic Energy Regulatory Board）は、設計・安全解析・発電所運営・地震学・水文学等の専門家による原子力発電所の外部事象に対する安全性を検討する委員会を設置した。

委員会では以下の事項に関する詳細を評価した。

- 原子力発電所の外部事象に対する安全性
- 外部事象に対する電力、制御、機器システム
- 長時間の電源喪失及び最終ヒートシンク喪失時の原子力発電所の安全性
- 原子力発電所内の使用済燃料貯蔵設備の外部事象に対する安全性
- 過酷事故管理指針

評価の結果、委員会として短期、中期、長期に分けた安全対策を提言した。

【短期】

- 外部接続を利用した冷却の信頼性の強化
- 運転員の訓練とモックアップ利用による運転実習

【中期】

- 地震波の感知による自動停止装置がない設備への導入
- バックアップ電源供給の強化（可搬式空冷発電機、高地へのディーゼル発電機の設置）
- 長時間の電源喪失時に重要パラメーターのモニタリングを可能とする設備の強化
- 必要な施設のオンサイト使用済燃料プールの増設の進行

【長期】

- 過酷事故プログラムの強化
- 洪水、台風、地震等による過酷事故への対処が可能となる緊急時対策所の設置

上述にように、インドの福島第一原発事故後の安全対策は原子力発電所を対象としたものであり、サイクル施設を対象とした安全対策については確認できなかった。

[90] Annual Report 2011-12, Government of India Atomic Energy Regulatory Board

1-6. 中国

1. 核燃料サイクルに関する政策・事業動向[91]

中国では、急速に原子力発電開発を進展させているため、それに対応する燃料サイクルを中国核工業総公司（CNNC）が中心になって展開している。ロシア、フランスなど海外からの技術支援で導入した核燃料サイクル技術の国産化を目指し、バックエンド戦略として再処理路線（クローズド・サイクル路線）を進めている。ウランの確保にあたっては国内生産の拡大と外国での開発を積極的に進めているが、現在の国内でのウラン生産量は所要量の約半分であり、残りは輸入で賄われている。1962 年末に完成した蘭州のウラン濃縮プラントでは、将来に備えて設備容量の拡張やロシアの遠心分離法技術の導入が行われている。

燃料加工については、PWR用の燃料集合体の生産ラインを四川省の宜賓に外国の援助で建設し、1984 年末に秦山 1 号炉の試験用燃料を完成したが、このプラントは設備を拡充して、現在、大亜湾原子力発電所のPWR燃料集合体を製造している。包頭では、ウェスチングハウス社のAP1000 用燃料製造に向けた燃料製造施設の建設を進めている。再処理に関しては、使用済燃料の全量を国内で再処理する方針であり、再処理工場に関しては、軍事目的のプラントを甘粛省に建設し、1970 年初めから運転している。2006 年には、甘粛省の蘭州で再処理パイロットプラントが完成した。低・中レベル放射性廃棄物についてはアスファルト固化及びセメント固化を実施し、浅地層処分し、高レベル放射性廃棄物は、ガラス固化し、深地層処分する方針である。

【参考】ウランの開発輸入戦略[92]

- 2010 年 5 月、重慶初のオーストラリア上場企業、中国西部国際控股公司は、豪州北クイーンズランドのFeatherbed Uranium mining projectをMining Exploration Australia Pty Ltdから購入した。
- オーストラリアノーザンテリトリーのウラン鉱山会社は、最近、多くの中国企業からノーザンテリトリーのウラン鉱山プロジェクトの共同開発を希望する商業文書を受信した。オーストラリアのテリトリーウラン鉱会社の管理者は、大規模探査および掘削プロジェクトを行うため、中国企業に株式の 50%を売却する意向を持っていると述べた。
- さらに、2010 年 6 月、中国とカナダCamecoグループは、今後 10 年間にウラン 10,000 トン以上を購入する合意に達した。
- 2010 年 12 月 21 日、中国核工業集団四〇四工場再処理パイロットプラントで使用済燃料の再処理ホット試験に成功した。

1-1 ウラン採掘、精錬

採鉱・製錬に関しては、衡陽（湖南省のホンヤン、Hengyang、1963 年操業開始、1996 年から停止・待機）、撫州（江西省のフーチョウ、Fuzhou）、崇義（江西省のチォンイ、Chongyi、）、伊寧（新彊省のイニン、Yining）、藍天（陝西省のランティエン、Lantian）、本渓（遼寧省のベンシー、Benxi）など 7 ヵ所に生産施設がある。

1-2 ウラン濃縮

中国のウラン濃縮プラント（ガス拡散法）は、蘭州の中心部から西約 40kmに位置し、1958 年初期に旧ソ連の援助を得て建設、1964 年から操業を開始した。年間濃縮能力は 200tSWUと評価されており、運転・管理の経験を蓄積するとともに、研究及び技術開発が行われ、軽水型原子力発電所で使用する濃縮ウラン及び原爆用高濃縮ウランが製造されたが、1999 年 6 月に解体・撤去が決定された。

---

[91] この章では特に断りがない限り、ATOMICA「中国の核燃料サイクル」http://www.rist.or.jp/atomica/data/dat_detail.php?Title_No=14-02-03-04 を参照している。

[92] 日本原子力産業協会、「原子力年鑑 2012」

商業用ウラン濃縮プラントはすべてロシアの遠心分離法技術が導入されている。ロシアと中国は 1992 年 12 月に協定を結び、ロシアの協力支援を得て、遠心分離濃縮施設（年間濃縮容量 500tSWU）を陝西省（シェンシー、Sheanxi）漢中（ハンチョン、Hanzhong）に建設、1996 年から運転を開始した。操業当初は 200tSWU/年で運転を開始したが、1998 年に 300tSWUが増設され、最終設備容量は 1,500tSWUとなる予定である。また、中国とロシアは 2008 年 5 月、第 4 期目のウラン濃縮往生建設と濃縮ウランの供給に関する協力の大枠について調印した。調印内容は、濃縮ウランの供給を 2010 年より 11 年間実施すること、甘粛省蘭州にウラン濃縮工場（設備容量：500tSWU/年）を建設することであり、2008 年 8 月にはロシアの輸出窓口TENEX（Technabexport）と中国側の実施企業CNEICで建設契約が結ばれ、2012 年の操業開始を目指している。建設契約は 2001 年から 1 期 500tSWU/年で開始され、現在 3 基 1,500tSWU/年が完成している。

1-3　再転換・燃料成型加工

ウラン精鉱の六フッ化ウランへの転換プラントは、甘粛省（カンスー、Gansu）蘭州（ランチョウ、Lanzhou）近郊に建設され、1980 年に操業を開始した。年間生産能力は 400tHMである。CNEIC（China Nuclear Energy Industry Corp.、CNNCの子会社）により運転されている。

UO2 燃料成型加工プラントの建設は 1950 年代末に開始された。原子力発電の開発計画本格化に伴い、1975 年にPWR燃料の成型加工プラントが四川省（スーチョアン、Sichuan）の宜賓（イービン、Yibin）で建設され、1987 年から運転している。1990 年末に秦山 1 号（PWR、30 万kW）炉の初装荷燃料を供給した。1991 年にはフランスのFRAGMA社と技術移転契約を結び規模を拡張して、広東大亜湾の 100 万kW級PWR燃料をも製造している。設備容量は 1998 年時点 200tU/年であったが、2010 年に 800tU/年に設備拡張が中国政府に承認され、2020 年には 1000tU/年になる予定である。

また、1998 年に内モンゴル自治区の包頭（Baotou）に第二燃料加工工場が建設され、主に泰山IIIのCANDU6 の燃料製造が行われている。CNNCの子会社のChina North Nuclear Fuel Co Ltdが運転を行っていて、山東石島湾 1 号（高温ガス冷却炉、30 万kW）用 9%濃縮ウラン燃料の製造も行うことになっている。さらには、燃料製造会社CNNC Baotou Nuclear Fuel Co Ltdを設置し、ウェスチングハウスAP1000 用の燃料を包頭燃料工場で製造する予定で、2013 年の運転開始を予定している。

なお、クローズド燃料サイクルを目指す中国は、再処理して回収したプルトニウムを利用してMOX燃料を製造する計画であり、2010 年 10 月にはパイロットプラント建設の大枠がベルギー政府と合意され、CNNCとベルギーのベルゴニュークリア（Belgonucleaire）、SCK-CEN（原子力研究機関）、トラクトベル（Tractebel：フランスのエネルギー企業GDF Suezの子会社）との間で技術指導・技術移転が図られる予定である。

1-4　再処理

酒泉（チワチュアン、Jiuquan）軍事用再処理プラントは、使用済みの天然ウラン燃料からプルトニウムを抽出するもので、甘粛省の玉門（ユーメン、Yumen）の北西約 45kmにある。また、ピューレックス法を用いた年間 50tHMを処理する多目的再処理パイロットプラント（RPP）が甘粛省蘭州（ランチョウ）で 2006 年から稼動し、2009 年から年間 100tHMまで拡張されて試運転を開始している。なお、使用済燃料貯蔵プールの受入れ容量は 550tHM（1300tHMに拡張予定）である。また、甘粛省嘉峪関（Jiayuguan）では年間 800tHMの商業用再処理プラント（MRF）の建設をフランスAREVAの技術支援を得て計画している。使用済燃料プールの受入れ容量は 3000tHM～6000tHMで、2018 年から受入れを開始し、2025 年頃からホット試験を開始する予定である。

1-5　放射性廃棄物処理・処分

中国では、原子力発電の拡大に伴って増加する放射性廃棄物管理の枠組みを定めるものとして、2003年 10 月に「放射能汚染防止法」が施行され、中・低レベル放射性廃棄物を「浅地層処分」すること、高レベル放射性廃棄物を「集中的に深地層処分」することが規定されている。蒸発減容された中・低レベル液体放射性廃棄物の処理方法については、アスファルト（ビチューメン）固化、セメント固化技術が、1994年からCEAの技術協力を得て実証されている。中・低レベル廃棄物は処理後 5 年程度発電所内に貯蔵して浅地層処分する。1999 年には「西北廃棄物処分場」（甘粛省北山地区）の工事が終了し、試験操業段階に入った（処分容量：6 万m^3）。また、中低レベル廃棄物処分用の水圧注入インシチューグラウト処分施設（液体廃棄物を水圧で直接地層に注入・セメント固化する）も建設されている。2000 年には稼動中の広東嶺澳・大亜湾原子力発電所から 5km離れた北龍サイトに低・中レベル放射性廃棄物処理場が試験操業を開始している（処分容量：8 万m^3）。両処理場に関しては 2011 年 1 月、中国国家核安全局が操業許可を発給し、本格操業を開始している。

なお、軽水炉より発生する使用済燃料は再処理され、高レベル放射性廃液はガラス固化、カナダ型重水炉（CANDU炉）から発生する使用済燃料はそのまま地層処分される。ガラス固化の実物大試験施設のシステムと施設の大部分をドイツから輸入して宣賓核燃料工場（Yibin）に完成している。現在、深地層処分場の立地候補サイトは北西部甘粛省のゴビ砂漠に位置する北山（Beishan）だけで、予備的サイト特性調査は 1989 年から開始された。2020 年まで実験室レベルの研究開発とサイト選定を行い、2040 年まで地下研究所の建設及び試験、プロトタイプ処分場の設計・建設、2050 年頃までプロトタイプ処分場での実証試験を予定している。なお、高レベル放射性廃棄物処分は中国核工業集団公司（CNNC）が行い、原子力施設安全全般に関わる規制機関として国家環境保護部（MEP）が、放射性廃棄物の管理、処理・処分の長期計画等の政策の立案、研究開発資金の確保等の実務管理を国家原子能機構（CAEA）が行う。

2.　使用済燃料中間貯蔵の取り組み

中国では、使用済燃料はサイト内貯蔵が基本としており、現時点ではサイト外の専用の使用済燃料貯蔵設備は存在しない。しかしながら、中国で唯一の重水炉である泰山第 3 期原子力発電所の 2 基の原子炉から発生した使用済燃料に関しては、サイト内の貯蔵プールでは8～10年分の貯蔵が限度とされているため、乾式の一時貯蔵設備の建設を国家核安全局に申請し、2008 年 7 月 3 日に建設が認可されている。その後、実験施設が完成し、2009 年 10 月には試運転を実施している。計画では、今後 5 年ごとに 2 つのモジュールを建設し、最終的には 18 モジュールを建設する予定。[93]

また蘭州（らんしゅう）の再処理工場内に、500tHMの使用済燃料を保管できる燃料プールが備えられている。[94]

3.　回収ウラン・劣化ウランの利用状況と関連技術

中国における再処理実績については2006 年の高橋の調査[95]がある。この再処理実績は大部分が軍事目的のものであり、商業目的の再処理と回収ウランの利用については2007 年のIAEA-TECDOC-1529[96]を、その後の最近の動きについては2012 年 11 月のWorld Nuclear Association, ”China’s Nuclear Fuel Cycle” を参考にした。

---

[93] 宮尾恵美, 中国における放射性廃棄物の管理, 外国の立法 252 (2012.06)

[94] IAEA Nuclear Fuel Cycle Information System

[95] 高橋啓三, “再処理技術の誕生から現在に至るまでの解析および考察”, 日本原子力学会和文誌, Vol.5 No.2, p.152-165 (2006)

[96] IAEA-TECDOC-1529, “*Management of Reprocessed Uranium* - Current Status and Future Prospects”, February 2007 http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/te_1529_web.pdf

3-1　回収ウランのリサイクル実績

2010 年 3 月、World Nuclear Newsは中国における初めてとなる使用済燃料から回収されたウランの再利用について次のように報じている。
Candu発電炉における核燃料の再利用が中国の秦山（Qinshan）発電所で初めてスタートした。Candu炉を設計したAECL（Atomic Energy of Canada Ltd）は使用済燃料から回収されたウランを含む燃料集合体を秦山Ⅲ発電所 1 号炉に装荷したと発表。引き続く 6 か月間にさらにRUを含む 24 体の燃料集合体を秦山Ⅲ発電所 1 号炉と 2 号炉に装荷する計画であるとしている。[97]
濃縮度3～5%の燃料が発電炉内で3年間燃やされると、炉心燃料の濃縮度レベルは天然レベルに近くなる。しかし、この燃料はAECLのCandu炉のような加圧重水反射炉ではなお燃焼し発電する能力をもっている。この試みはこれを実証しようとするもの[98]。

3-2　回収ウランの再濃縮

中国における回収ウランの再濃縮に関する情報は入手できなかった。

3-3　今後の回収ウランなどの利用計画

中国における回収ウランなどの利用計画に関する情報は入手できなかった。

4.　施設立地関連の取り組み

4-1　立地（候補）地域と政府・事業者の関係

中国では、土地は国家・公的所有となっており、中央・地方政府は土地の収用、原発の立地を自由に行うことが可能である。社会主義国の中国では、核燃料サイクルに携わる事業者は全て国営企業であり、事業者と中央政府並びに地方政府は、実質的に一体であると考えられ、三者の中で意見が対立することはないため、立地地域選定並びに施設建設もスムーズに行われている。

4-2　立地自治体への財政的補助

中国ではこれまで、わが国や欧米のように原子力関連施設の建設に対して、激しい反対運動が行われたことはなく、中国の行政体制も地方政府は中央政府に従うのが当然視されているため、特段の財政的補助は行われていない。

4-3　福島第一原発事故後のサイクル施設の安全対策[99]

中国では福島第一原発事故直後の 2011 年 3 月 16 日に国務院常務会議において、運転中及び建設中のすべての原子力発電所に対して安全性検査を行い、新規立地発電所の設置許可の厳格化と設置許可の一時凍結を決定した。この決定を受けて、規制当局である環境保護省国家核安全局は、稼働中の原子力発電所へのストレステストの実施を決定した。ストレステストの対象は、稼働中の原子力発電所の 14 基であり、サイクル関連施設は対象とならなかった。
なお、この結果を踏まえ 2012 年 5 月 31 日に「全国民生用原子力施設の総合安全検査に関する状況報告

---

97 IAEA-TECDOC-1286, “Factors determining the long term back end nuclear fuel cycle strategy”, May 2002 http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/te_1286_prn.pdf
98 World Nuclear News, “Chinese Candu reactor trials uranium reuse”, 24 March 2010 http://www.world-nuclear-news.org/ENF-Chinese_reactor_trials_Candu_fuel_reuse-2403101.html
99 海外電力，海外電力調査会，2011. 12

(關于全國民用核設施綜合安全檢查情況的報告)」が国務院で原則的に承認されている。

1-7. 韓国

1. 核燃料サイクルに関する政策・事業動向

1974 年に最初の商業用原子力発電所が運転開始して以来、韓国の原子力発電電力量は今日まで増加し続けている。2010 年に策定された第 5 次電力需給基本計画では、2010 年に約 145TWhだった原子力発電を 2024 年には約 300TWh（発電電力量の約 50%）にまで増加させることとなっている。

2011 年 3 月、日本で福島第一原発事故が発生した際、韓国では第 1 次エネルギー基本計画（2008 年）の改訂作業中であり、2010 年第 5 次電力需給基本計画で大幅拡大を目指した原子力の比率をどのくらいにするかが議論されていた。福島第一原発事故が韓国世論に与えた影響もあり、2012 年初頭に改訂・発表される見通しであった第 2 次エネルギー基本計画の見直し結果は、2013 年 3 月現在も公表されていない。

2013 年 1 月 31 日、韓国知識経済省（MKE）が提示した第 6 次電力需給計画（ドラフト）では、電力予備率を 2027 年までに 22%に高め、火力発電は 1,580 万kW追加新設するとしていると報じられた[100]。福島第一原発事故、未検証の部品論議などによる不安感の拡大に伴い、約 600 万kW分の原子力新規建設計画を留保している一方、再生可能エネルギーには 2027 年時点で 12%の目標シェアを設定した。2 月 1 日公聴会の意見集約と 2 月 7 日の電力政策審議会の審議を経た後、2 月 22 日、MKEは計画を確定した[101]。

原子力発電の将来展望は上記のとおり不確実性もあるが、2013 年 1 月現在で 23 基・1,800 万kWが運転中の韓国では、今後とも原子力発電が基幹電源であり増加傾向が続くことは間違いなく、したがってウラン資源の需要が増大するとともに核燃料サイクル技術を拡充する必要性が高まっている。

[100] Todayenergy（韓国エネルギー産業業界紙）、2013 年 1 月 31 日 http://www.todayenergy.kr/news/articleView.html?idxno=79573

[101] MKE プレスリリース、2013 年 2 月 22 日　http://www.mke.go.kr/motie/news/coverage/bodoView.jsp?seq=77757&pageNo=7&srchType=1&srchWord=&pCtx=1

韓国の核燃料サイクル概要を図 7-1 に示す。

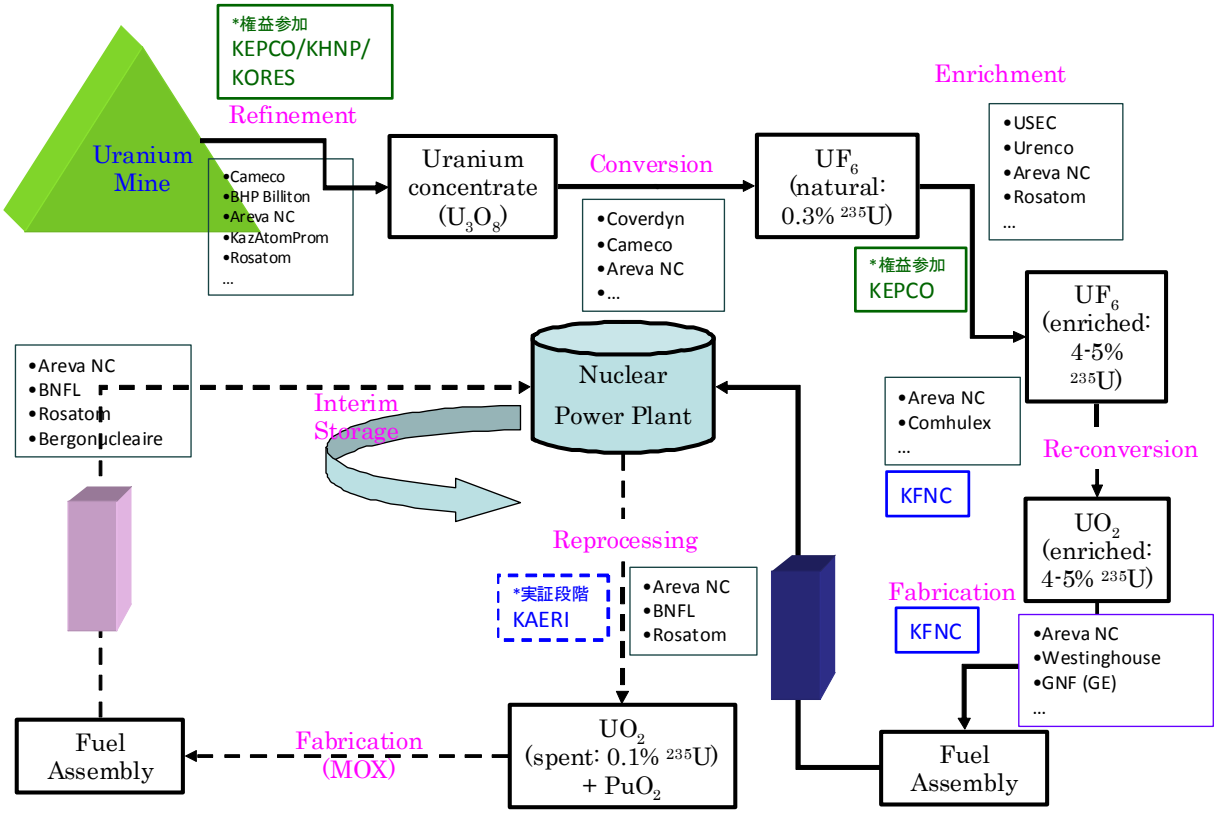


図 7-1　韓国の核燃料サイクル事業展開概念図

1-1　ウラン採掘・購入

韓国は天然ウランの全量を海外から輸入しており、カナダ、米国、ニジェール、オーストラリア、カザフスタン、ウズベキスタン等への海外探鉱投資やウラン鉱石供給の長期供給契約を積極的に結んでいる[102]。

例を挙げれば、韓国電力（KEPCO）は 2009 年 12 月 12 日、ニジェール・Imouraren鉱山のウラン取得権益を 10%獲得する契約をニジェール政府及びAREVAと締結している[103]。これにより、KEPCOは同鉱山の生産する天然ウランを 2013 年から 24 年にわたり平均で 700 トン/年、受け取ることができ、既に取得しているカナダ・Denison鉱山会社の権益 17%と併せると、韓国のウラン自主権益比率は 22.5%となる。

韓国は、海外資源の上流権益取得に注力しており、このため権益にはKEPCOやKHNPといった事業者だけでなく、韓国資源公社（Korea Resources Corporation、KORES、韓国政府機関）も参画している。例えばKORESはニジェールのAzelik 鉱山を運営するSOMINAの株を 5%所有している。

なお、韓国水力原子力会社（KHNP）は、戦略的インベントリとして、運転中の原子力発電所が約 1 年間運転するのに必要なウランのうち、約半分を海外の転換施設で保有し、残りの約半分を成型加工施設で濃縮ウランとして保有している[104]。

1-2　ウラン濃縮・再転換

韓国は米国、フランス及びロシアから濃縮役務提供を受けているが、再転換はKEPCO傘下のKEPCO原子燃料（KNFC）で行っている。

---

[102] 原子力百科事典 ATOMICA－韓国の核燃料サイクル(14-02-01-05)
[103] KEPCO プレスリリース、2009 年 12 月 10 日
[104] 原子力百科事典 ATOMICA－韓国の核燃料サイクル(14-02-01-05)

KNFCは、主に米国USEC（古里・霊光用）とフランスAREVA（古里・霊光・蔚珍用）から長期契約による濃縮サービスを受けてきた。また、1990年よりロシアのTENEX、欧州のURENCO、米国のUSECから年間1,800tSWU（2006年）の濃縮ウランを購入するなど、供給源の多様化を図っている。

海外濃縮施設の権益取得にも関心を示しており、既にフランス・AREVA社のGeorges Besse IIにKHNPが2.5%出資しているほか、URENCOの米国ニューメキシコ州の施設Louisiana Energy Services（設備容量2,000tSWU/年、2015年フル操業予定）への出資も検討していると報じられている[105]。

なお、国内での濃縮役務については、1991年11月、盧泰愚（ノ・テウ）韓国大統領の「朝鮮半島の非核化と平和構築のための宣言」の中で、再処理・濃縮施設保有の放棄を宣言している。しかしながら2014年に改訂時期を迎える米韓原子力協定の中で濃縮役務施設保有の権利を韓国がどのように主張してくるかは不透明である。

1-3　ウラン燃料成型加工

韓国は米国から導入し国産化した加圧水型軽水炉（PWR）及びカナダから導入した重水炉（CANDU）の2炉型を有しており、燃料仕様が異なるため両炉型の成型加工技術はそれぞれ別途導入した。

原子炉導入の当初は、CANDU炉燃料はカナダ原子力公社（AECL）から、PWR燃料はドイツのSiemens社から輸入していた。しかし、PWRの国産化と並行して燃料についても国産技術の育成が行われた結果、韓国国内に成型加工施設が完成し、CANDU炉燃料の成型加工は1987年から、PWR燃料の成型加工は1989年から開始されている。

成型加工は韓国原子燃料公社（Korea Nuclear Fuel Corporation、KNFC）の大田（デジョン）工場で行われており、現在韓国内のすべての原子炉へ燃料を供給している。

1-4　再処理

韓国は1991年11月、盧泰愚（ノ・テウ）韓国大統領（当時）の「朝鮮半島の非核化と平和構築のための宣言」の中で、再処理・濃縮施設保有の放棄を宣言している。しかしながらこれは商業用施設に限定したものであり、研究開発については韓国原子力研究所（KAERI）に専門部署を置いて持続している。

KAERIでは既に2006年より実験室規模(0.2tHM/年)のパイロプロセス試験施設であるACPF(Advanced spent fuel Conditioning Facility）を構築し、前処理と電解還元工程などパイロプロセスの要素プロセス技術を研究開発してきた。その成果としてKAERIは2013年1月、世界で初めてパイロプロセスのすべての工程を工学規模の一貫工程で模擬できる試験施設のPRIDE（ PyRoprocess Integrated inactive DEmonstration facility）を2013年上半期中に完成し、試運転を経て、年内に運営を開始する予定であると発表した。この施設は教育科学技術部原子力技術開発事業の一環として、3年間で約330億ウォンが投入されており、酸化物燃料投入から最終ウランインゴット（ingot、塊）と廃棄物固化体製造まで、総合的模擬試験と評価が可能である[106]。

韓国国内の商業用炉から発生した使用済燃料を再処理することは、米韓原子力協定の規定に抵触する。2014年に期限を迎える米韓原子力協定改訂時には、再処理に係る制約事項を緩和し、再処理の商業化に向けた一歩を踏み出したいのが韓国政府の意向と考えられているが、一方で2013年2月25日に就任した朴槿恵・新大統領は、選挙時の公約として「原子力拡大政策を見直す」と述べており、再処理開発と実用化の動向は不透明である。

---

[105] The Chosunilbo（朝鮮日報英語版）、2012年11月21日　http://english.chosun.com/site/data/html_dir/2012/11/21/2012112101143.html

[106] KAERIプレスリリース、2013年1月21日、http://www.kaeri.re.kr:8080/board/menu1/view.ht?keyCode=8&start=10&sk=&sf=0&search_category=&article_seq=3883&article_upSeq=3883

1-5　放射性廃棄物処理・処分

韓国放射性廃棄物管理公団（KRMC）は、月城（ウォルソン）発電所に近い慶州（キョンジュ）に低中レベル放射性廃棄物の岩盤空洞型処分施設「「月城（ウォルソン）原子力環境管理センター」を 2006 年から建設している。当初の竣工予定は 2010 年 6 月であったがその後 2009 年 6 月には 2012 年 12 月に延期され、2012 年 1 月 24 日には更に 2014 年 6 月に延期されている。

2010 年 12 月 27 日、KRMCは同センターにおいて、同年 12 月 24 日から、蔚珍（ウルチン）原子力発電所で発生した中低レベル放射性廃棄物のドラム缶 1,000 本の受入を開始したことを公表した[107]。専用の輸送船によって運搬された中低レベル放射性廃棄物は、同センターの地上に設置された貯蔵施設内に保管され、処分場の竣工後に最終処分される。

KRMCによると、中低レベル放射性廃棄物の貯蔵施設は鉄筋コンクリート構造で、最新の遮へい設備が備えられている。貯蔵施設の放射線レベルは年間 0.01mSv以下に抑えられ、外部には環境放射線モニター6 台が設置されており、線量を地元住民がリアルタイムで確認することができるとされている。

KRMCは同プレスリリースにおいて、処分場の立地自治体にKHNPから支払われる特別支援金についても述べている。

それによると、「中低レベル放射性廃棄物処分施設の誘致地域支援に関する特別法」第 8 条によって放射性廃棄物の発生者であるKHNPから処分場の建設自治体に支払われる特別支援金 3,000 億ウォン（約 216 億円、100 ウォン＝7.2 円で換算）のうち、1,500 億ウォン（約 108 億円）は処分場建設の実施計画承認時に慶州市の特別会計に振り替えられていたが 、今回の受入開始によって、残りの 1,500 億ウォンも慶州市の特別会計に振り替えられた。

さらに、同法に従い、放射性廃棄物の受入に伴いドラム缶 1 本当たり 637,500 ウォン（約 4 万 5,900 円）の搬入手数料がKHNPから支払われる。同法の施行令に従い、この搬入手数料の内 75%は慶州市に割り当てられ、地域支援事業に充てられる予定であり、25%は放射性廃棄物処分場の事業者であKRMCが地域振興事業に利用することとされている。

なお、慶州市と韓国政府の監督官庁であるMKEとは、地域振興や処分事業の円滑な推進のための協力事項について 2010 年 8 月に覚書を締結している。

2.　使用済燃料中間貯蔵の取り組み

使用済燃料の当面の取扱いについて、韓国で正式に決定・公表されたのは、2004 年の第 253 回原子力委員会決定である。全ての使用済燃料は 2016 年まで原子力発電所内に貯蔵すること、使用済燃料処分方法については国際的な政策動向と技術開発動向を見た上で、国民参加の議論により国策として決定することが述べられている。

3.　回収ウラン・劣化ウランの利用状況と関連技術

韓国は 1991 年に、国内での再処理及び濃縮を放棄しているため関連技術は国内に存在しない。

[107] 原子力環境整備促進・資金管理センター（RWMC）海外情報ニュースフラッシュ 2011 年 1 月 6 日

4. 施設立地関連の取り組み

4-1 立地（候補）地域と政府・事業者の関係

韓国では国内での再処理を行っていないため、サイクル関連施設の中で立地対策が必要なものは放射性廃棄物処分場のみとなる。放射性廃棄物処分事業は、かつては韓国原子力研究所（KAERI）その後韓国水力原子力会社（KHNP）が実施主体なってきたが、2009 年に施行された放射性廃棄物管理法により現在は韓国放射性廃棄物管理公団（KRMC）が実施主体となっている。処分政策等は、韓国知識経済部（MKE）が担当している。処分費用については、放射性廃棄物の発生者が廃棄物をKRMCに引き渡す際に、低中レベル放射性廃棄物の管理費用及び使用済燃料の負担金支払うこととなっており、それにより賄われている。
使用済燃料の処分に関しては、2012.年 11 月に使用済燃料管理推進計画が策定され、その中で放射性廃棄物管理基本計画を 2014 年までに策定することを求めており、策定にあたっては広く社会的なコンセンサスを得る手法が盛り込まれている。韓国ではかつて放射性廃棄物処分場の候補地選定を巡り、地元の大きな反対に合い何度も頓挫しており、最終的に高レベル放射性廃棄物の処分地と、中・低レベル放射性廃棄物の処分地を分離することにより、ようやく中・低レベル放射性廃棄物処分場の候補地をキョンジュ市に決定したとう経緯があるそうした事情を踏まえて処分場候補地選定についてコンセンサスを得ながら慎重に進めようと考えである。具体的には、公論化委員会を 2013 年上半期に設置し、公論化委員会の活動結果を 2014 年までに勧告と言う形で政府に示し、サイト選定計画等を策定することになる。[108]

【公論化委員会】

・政府から独立した民間諮問機関として、人文社会科学、技術工学、市民、原子力発電所の立地地域代表で構成されている。

・討論会、説明会、公聴会等を通じて国民間でのコンセンサスを確立

4-2 立地自治体への財政的補助[109]

既に立地が確定している中・低レベル放射性廃棄物の処分場を巡り、立地地域に対しては、中低レベル放射性廃棄物処分施設の誘致地域支援に関する特別法に従って数々の財政補助等が行われている。

・特別支援金

誘致自治体に対して、韓国水力原子力株式会社（KHNP）から総額 3,000 億ウォンの支援金を支払

・搬入手数料

韓国放射性廃棄物管理財団（KRMC）がKHNPから放射性廃棄物の受入時に、地域支援手数料を徴収し、地域支援にあてている。

手数料額：200 リットルドラム缶 1 本あたり 637,500 ウォン

このうち 75%が立地自治体に支払され、25%をKRMCが地域振興事業にあてている。

・KRMCが実施する支援事業は以下の通り

◆電気料金補助、広報事業、育英事業又は環境・安全管理事業

◆農水産物関連の支援事業及び観光振興事業

◆その他、韓国国務総理を委員長とする誘致地域支援委員会が誘致地域の発展のために必要なものとさだめた事業

その他、法律で規定されたもの以外にも、KRMCとKHNPの本社機能を立地地域に移転することや、陽子加速器研究施設を立地地域に建設することが確約されており、手厚い補助及び支援が行われている。

4-3 福島第一原発事故後のサイクル施設の安全対策

[108] 原子力環境整備促進・資金管理センター（RWMC）海外情報ニュースフラッシュ 2012 年 12 月 5 日
[109] 原子力環境整備促進・資金管理センター（RWMC），平成 22 年度放射性廃棄物海外総合情報調査

韓国では福島第一原発事故後、原子力発電所に対する安全性評価の実施や安全性強化の取組が行われたが、サイクル施設に関しては、国内に再処理工場や濃縮施設等の原子力施設として安全対策が必要な施設が無いため、特段の取組は確認できなかった。

2. 最新の核燃料サイクル技術開発動向

1. 国際的な協力の枠組みにおける技術開発

1-1 第 4 世代原子力システムに関する国際フォーラム（Generation IV International Forum : GIF）[110]

1-1-1 GIFの概要

1999 年に米国が「Generation IV（第 4 世代）」の概念を提唱し、その研究及び開発に関する国際協力のための枠組みとして、第 4 世代原子力システムに関する国際フォーラム（GIF）の構築を各国に呼びかけたことに始まる。これを受け、2001 年 7 月にGIFの理念を定めた憲章を作成し、9 カ国が署名（アルゼンチン、英国、カナダ、韓国、日本、ブラジル、フランス、米国、南アフリカ）。その後、3 カ国（スイス、中国、ロシア）と 1 国際機関（欧州原子力共同体）が署名し、現在の加盟国は合計 12 カ国と 1 国際機関となっている。

なお、第 4 世代の原子炉（以下、単に第 4 世代炉という）とは、黎明期の原子炉（第 1 世代）、現行の軽水炉等（第 2 世代）、現在導入が開始されている改良型軽水炉等（第 3 世代）に続く原子力システムの概念を意味する。また、第 3 世代炉にさらなる改良を加えた軽水炉等は、第 3 ＋世代炉、と呼ばれている。これらの概念を図 8-1 に示す。

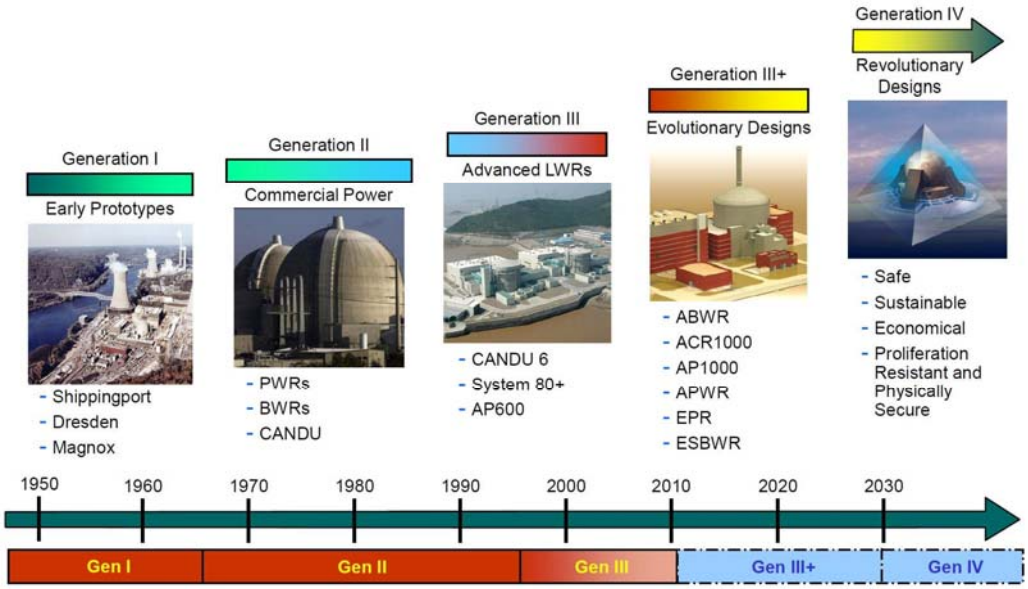


図 8-1 原子炉の世代区分

（出所）GIFホームページ

1-1-2 GIFの開発目標

第四世代炉の開発により達成する目標として、以下の４点があげられている。

- 持続可能性
  - 大気汚染の基準を満たしていること、長期的なシステムの可用性を持ち、燃料資源の効果的利用を促進すること
  - 核廃棄物発生量を最小限とするとともに、将来的な長期管理の負荷を低減すること

[110] GIF ホームページ、http://www.gen-4.org/

- 経済性
  - 他のエネルギー源と比較して、ライフサイクルコストに明確な利点があること
  - 他のエネルギー源と比較して、同等な資本リスクであること
- 安全性と信頼性
  - 優れた安全性と信頼性を持って運転できること
  - 炉心損傷頻度が極めて低いこと
  - 緊急時の避難が不要であること
- 核拡散抵抗性と核物質防護
  - 兵器転用可能な素材の転用や盗難に際して、魅力に乏しく、困難である保証を高め、テロリズムに対する核物質防護が向上すること

1-1-3 開発炉型

GIFの枠組みの下で、6種類の炉型が第四世代炉の候補として開発されている。候補炉型の一覧を表8-1に示す。

表8-1 第四世代候補炉型比較

炉型	電気出力(MW)	燃料サイクル	冷却材条件	利点
超高温ガス炉 (VHTR)	250	オープン	ヘリウム冷却	出口温度900℃以上
ナトリウム 冷却高速炉(SFR)	300～1500	クローズ	ナトリム冷却 出口温度550℃	アクチニド燃焼に活用可 もんじゅ、フェニックスの 実績あり
超臨界圧水炉 (SCWR)	1500	オープン/ クローズ	超臨界水冷却 (>374℃,22.1MPa) 出口温度510～ 625℃	高効率(～45%) 超臨界圧火力発電所の知 見を活用可能
ガス冷却炉(GFR)	200～1200	クローズ	ヘリウム冷却 出口温度850℃	水素製造、アクチニド燃焼 に活用可
鉛冷却高速炉(LFR)	50～150 300～600 1200	クローズ	鉛or鉛ビスマス冷却 出口温度550～ 850℃	水素製造に活用可 長寿命炉心のオプション
溶融塩炉(MSR)	1000	クローズ	フッ化物燃料混合体 出口温度700～ 800℃	水素製造、アクチニド燃焼 に活用可

(出所) Introduction to Generation IVNuclear Energy Systems and the International Forum, GIF

1-1-4 研究の枠組[111]

GIFとしての開発概念として6炉型を選択しているが、その炉系に対応してシステム運営委員会が設置される。任意のＧＩＦメンバー国が二か国以上でシステム協定を締結することによって運営委員会は成立し、VHTR、SFR、SCWR、GFRの４委員会が成立している。残るLFR、MSRはMOUベースでの国際協力体制となっている。

各システムの開発は個別の研究開発を実施するプロジェクトを複数設置することができ、そのため知的

[111] 第4世代（Generation IV; Gen IV）原子力システムについて, 松井　一秋, 2012/7

財産所有権を含むプロジェクト協定参加メンバー間で結んで、実際の協力を実施している。 参加メンバーとはシステム運営委員会が認めればかならずしもGIFメンバー国の機関である必要はなく、民間企業であってもよい。各システム及びそのもとでのプロジェクト協定の締結状況を、表 8-2 に示す。

表 8-2　プロジェクト協定の締結状況（2012/2/29 現在）

協定名	加	EUR	仏	日	中	韓	南ア	露	ｽｲｽ	米
VHTR システム協定	X	X	X	X	X	X			X	X
水素製造（HP）	X	X	X	X		X			O	X
燃料・燃料サイクル（FFC）	O	X	X	X		X				X
計算手法検証等（CMVB）		P		P	P	P	P			P
材料（MAT）	X	X	X	X		X	X		X	X
SFRシステム協定		X	X	X	X	X		X		X
先進燃料（AF）		X	X	X		X				X
包括的ｱｸﾁﾆﾄﾞｻｲｸﾙ実証（GACID）			X	X						X
機器設計・ﾌﾟﾗﾝﾄﾊﾞﾗﾝｽ(CDBOP)			X	X		X				X
安全性・オペレーション（SO）			X	X		X				X
システム統合・評価（SIA）		P	P	P		P				P
SCWRシステム協定	X	X		X				X		
材料・水化学（M&C）	X	X		X	O					
システム統合・評価(SIA)	P	P		P	O					
燃料検証（FQ）	P	P		P	*					
GFRシステム協定		X	X	X					X	
燃料・炉心材料・燃料ｻｲｸﾙ（FCMFC）		P	P	P					P	
概念設計・安全性（CD&S）		X	X						X	
LFRシステム協定		M		M				M		P
MSRシステム協定		M	M					P		P

X：署名済み、P：暫定参加、O：オブザーバ、＊：EUとの二国間協定締結

1-1-5　研究開発状況

最新のAnnual Report[112]によれば、サイクル技術関連の研究状況は以下の通りである。

- VHTR
  - 燃料・燃料サイクル（FFC）プロジェクト
    燃料候補材である、SiC/PyC被覆UO2 燃料の知見収集とZrC被覆UCO燃料の高燃焼可能性に関する研究を実施しており、照射実験が進められている。加えて、使用済燃料の取扱いと処分、使用済グラファイト（減速材）の取り扱い、クローズサイクルを補完する、プルトニウムとマイナーアクチニド（MA)の燃焼に関する研究を実施している。
- SFR
  - 先進燃料（AF）プロジェクト

[112] Gen VI International Forum 2011 Annual Repport

高中性子線・高温環境でのMA高燃焼を目指した研究が進められている。また、MAを含んだ燃料の遠隔製造技術開発も進められている。

- 包括的アクチニドサイクル実証（GACID）プロジェクト

  第四世代炉に要求される安全性、経済性、持続可能性、核不拡散・核物質防護の４要件を満たしつつ、高速炉体系においてアクチニドインベントリを実際に取り扱うことができるか否かを示すことを目指して研究が行われている。プロジェクトは、MA試験燃焼燃料製造、材料組成分析、照射挙動モデル化、常陽での照射実験、もんじゅでの燃料ピンのライセンス取得と照射（将来的には燃料バンドル単位を予定）、照射後試験、MA含有燃料及びMA含有照射済燃料の輸送に関する研究をおこなっている。2011 年中には、常陽で照射したMA含有燃料の照射後試験結果が得られた。また、DOEによって、アイダホにあるATR材料試験炉での照射試験も実施された。

- SCWR
  - 燃料検証（FQ）プロジェクト

    SCWRはこれまで運転した実績が全くないため、燃料設計を検証するために、炉内燃料試験装置の設計と建設を行うことが重要な共同研究プロジェクトとなっており、チェコの研究炉に装荷することを計画中。
- GFR
  - 燃料・炉心材料・燃料サイクル（FCMFC）プロジェクト

    使用済燃料取扱いと回収されたウラン、プルトニウム、MAによる燃料製造を含めたサイクル技術の開発が必要。
- LFR
  - 燃料開発については、素材開発、製造、照射、試験といった努力が必要だが、SFRの開発との強いシナジー効果を発揮できる。
- MSR
  - 混合溶融塩（LiF-NaF-KF）を製造、フランスの溶融塩試験装置での試験を行っているほか、溶融塩燃料の再処理スキーム検討に関して進展があった。

1-2　国際原子力エネルギー協力フレームワーク（International Framework for Nuclear Energy Cooperation：IFNEC）[113]

1-2-1　組織の概要

2006 年 2 月、米国は、核燃料サイクルによる原子力エネルギーの供給を図りつつエネルギー需要、環境、開発、不拡散上の諸問題への対応を図ることを目的として、国際原子力エネルギー・パートナーシップ（Global Nuclear Energy Partnership：GNEP）構想を提唱した。2007 年 9 月、GNEP第 2 回閣僚級会合が開催され、16 か国がGNEPの「原則に関する声明」に署名し、GNEPの体制が国際的に確立。2008 年 10 月には、パリにおいて第 2 回執行委員会（第 2 回閣僚級会合が第 1 回執行委員会としてカウントされている）が開催され、日本の提案による共同声明（原則に関する声明）が発出された。2013 年 2 月現在の加盟国は、32 カ国[114]であり、オブザーバ国が 31 カ国、オブザーバ非政府国際機関が 3 機関[115]である。原則に関する声明は以下の通りである。

---

[113] IFNEC ホームページ、http://www.ifnec.org/index.html

[114] アルゼンチン、アルメニア、オーストラリア、バーレーン、ブルガリア、カナダ、中国、エストニア、フランス、ドイツ、ガーナ、ハンガリー、イタリア、日本、ヨルダン、カザフスタン、ケニア、韓国、クウェート、リトアニア、モロッコ、オランダ、オマーン、ポーランド、ルーマニア、ロシア、セネガル、スロベニア、UAE、ウクライナ、イギリス、アメリカの 32 カ国。

[115] IAEA、GIF、Euratom の 3 機関。

(1) 原子力発電所の安全及び廃棄物の安全な管理を確保しつつ原子力エネルギーを拡大すること。
(2) IAEAと協力し、強化された保障措置を引き続き開発すること。
(3) 信頼性のある燃料供給の国際的な枠組みを創設し、機微な燃料サイクル技術の獲得に対する代替案を創出すること。
(4) リサイクルされた使用済燃料から抽出される超ウラン元素を消費するための先進高速炉を開発し、実証し、適切な時期に配備すること。
(5) 発展途上国及び地域の電力網に適した先進的でより核拡散抵抗性の強い原子炉の開発を促進すること。
(6) 使用済燃料をリサイクルするための先進技術を、純粋なプルトニウムを分離しない施設に配備するために開発し、実証すること。
(7) エネルギー及び天然資源を効率的かつ責任のある方法で利用するため、入手可能な最良の燃料サイクルのアプローチを利用すること。

その後、2010年6月にアクラ（ガーナ）で開催された第6回運営グループ会合において、GNEPの枠組み変更について議論され、以下の点が合意され、国際原子力エネルギー協力フレームワーク（IFNEC）が発足した[116]。

- 名称の変更
- ミッションに関する声明
- 参加国が協力するフォーラムの提供を基本原則とする
- オブザーバ国／機関、参加国となるための条件
- 活動は参加国の総意で決定
- GNEPの運営体制を継続

1-2-2 IFNECのミッション

第6回運営グループ会合で合意された、IFNECのミッションは以下の通りである。

- 効率的かつ安全・セキュリティ・核不拡散の最高水準に適合する方法で、原子力エネルギーの平和利用の促進を確実にしていくことを目的とした、参加国相互に有益なアプローチを探求するために、参加国が協力するフォーラムを提供する。
- 参加国は、経済的な原子力の平和利用の恩恵を享受するに際し、いかなる権利放棄もせず、ボランタリベースで努力を分かち合うものとする。

1-2-3 GNEPにおける米国の活動[117]

IFNECの元となったGNEP構想は、前述のとおり米国が主導して確立したものである。そのため、米国は主体的に国際的な核燃料サイクルスキームを形成するための研究開発を行っていた。

2007年1月、エネルギー省（DOE）は、GNEP構想のために新たな戦略計画を発表した。この計画では、想定される以下の3つの施設の環境影響評価書作成が含まれており、DOEは前者2つは産業界が主体となって取り組むことを想定していた。

- 使用済燃料の再処理と燃料成型加工施設を含むリサイクルセンター
- アクチニドを含んだ燃料の燃焼と超ウラン元素の核変換を行う高速炉
- 先進燃料サイクルに関する研究施設

[116] http://www.jaea.go.jp/04/np/archive/nptrend/nptrend_02-02.pdf
[117] World Nuclear Association, http://www.world-nuclear.org/info/inf117_international_framework_nuclear_energy_cooperation.html

2007 年 10 月に、DOEは 4 つの原子力業界団体に 1600 万ドルの資金供与を決定する。内、最大のシェアとなる 560 万ドルは、AREVAが主導し、MHIやJNFLも参加して結成されたINRA（International Nuclear Recycling Alliance）に供与された。INRAは、GNEPの目標を達成するために必要となる技術開発ロードマップの検討、GNPE関連技術や施設の開発・実用化に向けたビジネスプランの検討、リサイクルセンターとリサイクル用高速炉の概念設計を請け負った。GNEPに関する重要な技術である、プルトニウムを単離しない再処理施設の検討はAREVAとJNFLが、リサイクル高速炉の検討はMHI（後に三菱FBRシステムズ：MFBR）が行った。
しかし、2008 年の連邦予算でサイクル関連予算が大幅にカットされ、先進的燃料サイクルイニシアチブ（Advanced Fuel Cycle Initiative：AFCI）に 1.2 億ドルが割り当てられたものの要求額の 40%でしかなかった。そして、2009 年にはGNEP関連予算はゼロとなった。そして 2009 年 6 月、DOEは「前政権が目指していた、国内の商業再処理が要求されていない」ことから、環境影響評価書の作成を中止した。
その後、すでに述べた通り、GNEPはIFNECに組織変更され、ボランタリベースで検討を進める組織となった。

1-2-4　IFNECの活動

IFNECには、閣僚級の執行委員会下に運営委員会があり、その下に二つのワーキンググループ（WG）が組織されている。各WGでの活動の概要は以下の通りである。

- 基盤整備WG
  エネルギー需要の増大に合わせた原子力利用の拡大を支援するための情報交換を実施。
- 燃料供給サービスWG
  国際的な燃料供給の枠組みの確立に関する参加国・機関の協力を支援する。具体的には、信頼性があり、コストに見合う燃料サービス／提供の世界市場への提供や、核拡散リスクの低減に合致した原子力利用開発に関するオプション（機微な燃料サイクル技術獲得の代替となり得る手段の創出）の提供などがある。

信頼性のある「総合的な燃料サービス」を確立するためには、サプライヤーとユーザーが、法的、政治的、商業的な制約事項を考慮することが不可欠であり、燃料供給サービスWGでは、信頼性の高い包括的な燃料サービスの提供のため、①平等な権利と義務からなるアプローチ、②公衆に受容され、技術的・経済的に可能なソリューション、③国際的な枠組みの改善、の３点の必要性を強調している。具体的な活動としては、以下の項目に関して情報を交換し、取りうる対応を適切に把握、評価、開発することが挙げられている。

- 政府・非政府組織の能力
- 共通課題
- 限界
- 受益者とユーザーの要求
- 各々の法律・規制に関する枠組み
- 各々の商業上の枠組み
- 国家レベルの燃料供給保証と、ウランや燃料サイクルを商的に提供する事業者との間の関係
- 公衆の受容性に関する要求

また、これらの次のステップとして、以下の点の遂行が挙げられている。

- 実態調査（fact finding）の完了
- 各国での核燃料サイクル政策の遂行において得られた、資源・燃料供給やバックエンドサイクルオプションの選択に関する知見の収集

- IAEAなどの国際機関との対話継続
- 推奨される、信頼性の高い包括的な核燃料供給サービス協定の提案

1-2-5　近年の活動状況

前述のとおり、活動はあくまでボランタリベースで行われており、IFNECが資金を提供するような形で実施する技術的な研究開発（たとえば核拡散抵抗性の高い再処理技術開発）は行われていない。現在、IFNEC枠組み下では、以下の通り、バックエンドも含めて商業ベースで成立しうる、国際的な核燃料サイクルのフレームワーク検討などがおこなわれている。

2012年10月10日に、モロッコにて閣僚級の執行委員会が開催された。なお、それに先立って、2012年7月17日～19日には、運営委員会及び両WGの会合が行われている。概要は以下の通りである。

- 包括的燃料サービス（CFS）の概念が執行委員会に提案された。CFSの概要は以下の通り。
  - CFSは包括的で信頼性の高い、商業ベースのサービスが可能な、フレキシブルな枠組みであり、この枠組みの下で、今後原発導入を進める国は、燃料供給、使用済燃料取扱、最終処分といったサービスを受ける事ができる。
  - 具体的な実現方法については、核不拡散リスクを高めることなくCFSで原子力エネルギーの国際的な増大をサポートできるかについては、参加国毎に複数の視点やアプローチがある。CFSの鍵となるのは、フロントとバックエンドの燃料サービスをいかにビジネスモデルの構築を含めて、商業ベースで達成するか、にある。バックエンド達成のための包括的なアプローチに関する議論が続けられている。
  - CFSのようなサービス提供の上で、もっとも大きな挑戦となるのは、ホスト国のステークホルダーから、国内で燃料を保管・処分・再処理する理解を取り付けるのか、にある。ホスト国と顧客国の間での責任の十分な共有が必要。
  - CFSに参加する可能性がある国々の間で、認識に大きな差があり、さらなる議論を継続する必要がある。
- 燃料供給サービスWGの共同座長である日仏が、報告書を発表した。
  - 日本での福島第一原発事故後のエネルギー政策状況と、新たな規制機関設立に関しての報告があった。また、その他のいくつかのメンバー国が、現在の原子力エネルギーとウラン資源活用状況を報告している。
  - 2013年に開催されるワークショップでCFS報告書の内容を検討するが、それに際し産業関係者と導入検討国の両者の参加を模索する。これにより、CFSコンセプトと鍵となる技術上・運用上・政策上の問題に関する発展と理解を進めることが出来る。CFSレポートの鍵となる勧告は、バックエンド燃料サービスのモデル協定の発展であり、産業界と導入検討国の間でモデル協定に関するアプローチとプロセスをさらに発展させる必要がある。

2012年5月9～10日、ロンドンでファイナンスワークショップが開催された。このワークショップは、プロジェクト資金調達に関する機会と課題を検討する、IFNECとして初めての取り組みであった。概要は以下の通りである。

- IFNEC参加各国から約130名が参加。世界最大級の銀行、原子炉ベンダー、国際保険会社、世界最大級のエネルギー企業、輸出信用提供機関、政府のエネルギー計画部門、規制・技術・経済・法律の専門家、格付け会社、といった関係者たちが一同に会した。
- 議論の結果、以下の3点が認識された。
  - 効果的で独立した規制機関の重要性。
    効果的な規制活動が提供されることは、リスクを最小化し、資金調達や金利、原子力プロジェクトへの出資企業への格付け、保険の可用性、の面で良い影響があり得る。

- ホスト国政府のコミットメントとサポートの必要性。
- 原発開発を支えることができる、燃料サイクル全般をカバーする、適切なビジネス・プロジェクト計画の必要性。

- これらの課題を解決するため、以下の取組を実施することが勧告された。
  - 規制機関の組織・運営に関するベストプラクティスの共有促進
  - 原子力新規導入国での規制協力の実現可能性検討
  - 安全、環境・経済影響、建設図面開発などの点で、規制機関間の相互協力の確立
  - 後続規制に関する継続的な情報共有ワークショップのメリット検討
  - 政府が原発を建設するという意思決定をおこなうための支援
  - 特に安全と賠償措置に関する、国際条約締結の推進
  - 原子力プロジェクトの潜在的な貸し手（資金提供者）に対する環境整備
  - 人材育成、電力網整備といった、インフラ整備のサポート
  - 開発、運用、廃止措置の各段階、長期廃棄物管理オプションなどの事例をまとめ、プロジェクトに適切に反映することで、ビジネスリスクが予想され、また特定されていることを実証する。
  - 原子力金融のオプションを分析し、他産業（航空、石油・ガス、情報技術）のオプションとのベンチマークを行う。
  - 教訓とベストプラクティスを組み込んだ、包括的で双方向な、関係者が参加するプロセスの推進。
  - 資金調達のオプションに関する議論を含めた、新たな原子力プロジェクトに関する検討を行うフォーラムの結成。フォーラムでは、各国が原子力プロジェクトを開始する際に、適用できる融資に関する情報を収集し、発信する。
  - 資金調達や借り換えといった、代替資金調達オプションに関する検討。
  - 新規導入国のプロジェクトに関して、機会と問題点を分析し、ビジネスプランを改善、プロジェクトに信憑性をもたらすことで、戦略的パートナーを見つける機会をもたらす。

2. 再処理技術開発

本項では、研究開発段階にある再処理技術の開発動向を述べる。なお、フランスにおける再処理技術の開発動向は、「第 2 章　1-2 AREVA」を参照のこと。

2-1 米国における再処理関連技術開発

既に述べたとおり、GNEP（現：IFNEC）構想の中で、DOEは使用済燃料再処理技術開発に着手していたが、2009 年に関連予算がゼロとなり、GNEPの枠組下での研究は中止された。

現在、米国における再処理関連の技術開発は、アルゴンヌ国立研究所（Argonne National Laboratory：ANL）などで行われている。ANLは再処理の必要性について以下のように述べている[118]。
カーター政権下でプルトニウムを分離可能なPUREX法による再処理を禁じたが、溶融塩に使用済燃料を溶解させて再処理する乾式再処理技術（詳細は後述）による再処理技術が利用可能である。また、プルトニウムが単体で分離されないことなどから核兵器への転用も防止できる。しかし、現在、ウラン資源価格が安いことから商業化されていない状態にある。そのため、ANLはより安全で、より安価で、より効率的な再処理技術の開発を進めている。

以下では、ANLでの再処理関連技術開発動向を述べる。

2-1-1 小型化再処理試験[119]

ウランやプルトニウムだけでなく、マイナーアクチニドや核分裂生成物を含む使用済燃料から、いかに効率的に目標元素を化学的に抽出するか、が重要な問題となる。そのため、抽出に用いる試薬の分離能や分離速度を的確に把握し、そのメカニズムを把握する必要がある。TALSPEAKプロセス（抽出剤にジ-2-エチルヘキシルリン酸(DEHPA)を用い、錯形成剤にDTPAを用いることによって、水相側に 3 価の超ウラン元素を選択的に分離回収する 3 価の超ウラン元素と希土類元素との分離法[120]）が、有力なプロセスと見られているが、界面における物質移動定数が不明であり、測定を進める必要性がある。しかし、これまでの手法では、多くの試薬・サンプルを必要とし、時間も要するものであった。
ANLが開発した小型化再処理試験装置では、数マイクロリットル単位のサンプルを用いた試験により、試験速度を高めること及び廃棄物発生量も低減することを確認した。
試験プロセスの概念を図 8-2 に示す。

[118] ANL, 2012/6/22, http://www.anl.gov/articles/nuclear-fuel-recycling-could-offer-plentiful-energy
[119] ANL, http://www.anl.gov/articles/miniaturizing-nuclear-recycling-experiments
[120] JAEA Research, http://jolissrch-inter.tokai-sc.jaea.go.jp/search/servlet/search?5001337

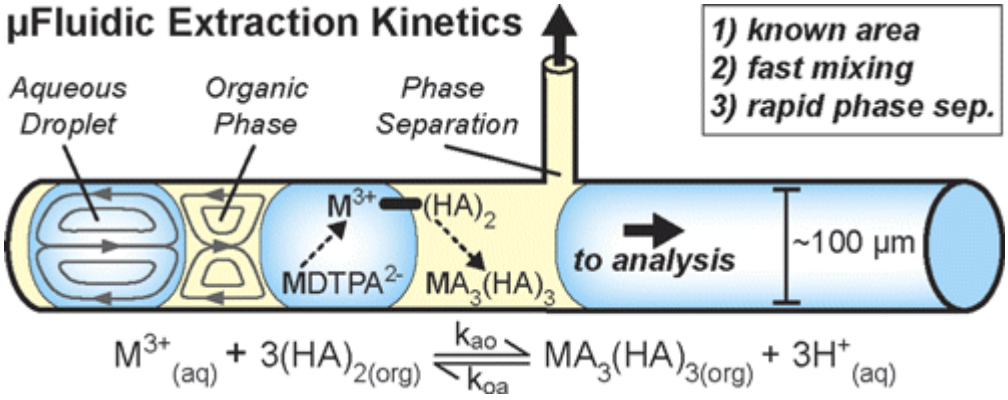


図 8-2　小型化再処理試験の概念

2-1-2　　核物質のナノトラップ[121]

ナノスケールの分子トラップにより、水素を保持し、燃料電池などで活用する研究がすすめられているが、これを揮発性放射性廃棄物の除去に応用するものである。特定の分子を選択的にトラップするためには、分子トラップの開口部の大きさを調整する必要がある。

ANLがサンディア国立研究所と共同して開発したナノスケールの分子トラップは、MOFと呼ばれる有機金属格子でトラップするものであり、圧力を加えることで格子に歪が生じ、標的となる物質を保持する。ANLらが開発した分子トラップは、低い圧力でトラップする事が可能であり、トラップする標的物質であるヨウ素を、現在の技術の 5 倍以上取り込むことができる。使用済燃料に含まれる、16 万年と長い半減期を持つ放射性ヨウ素を選択的にトラップし、除去することで、廃棄物管理の効率性を高めることができる。ナノトラップの概念を図 8-3 に示す。

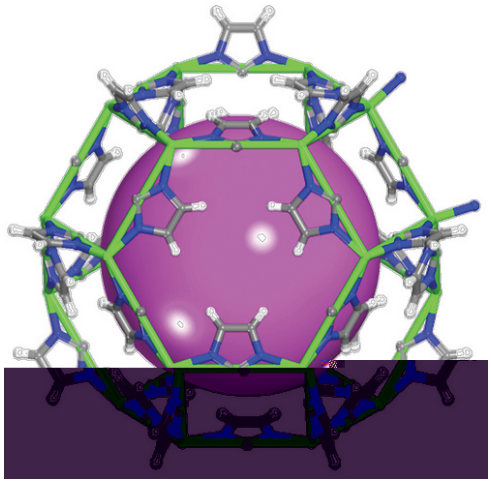


図 8-3　ナノトラップの概念

2-2　軽水炉から高速炉への移行時の核燃料サイクル

2-2-1　　移行期における柔軟な核燃料サイクル構想（Flexible Fuel Cycle Initiative：FFCI）

今後、軽水炉サイクルから高速炉サイクルに移行する段階で、FBRのスタートアップのためには、軽水

[121] ANL, http://www.anl.gov/articles/new-nano-trap-protects-environment

炉サイクル内の再処理施設から、過不足無くプルトニウムをFBRサイクル側に引き渡す必要がある。
FBRの展開速度が見通せない状況下においては、FBRサイクルへのプルトニウム供給速度を柔軟に調整する必要があるため、FBR燃料の原料を中間バッファとして活用する構想が、「移行期における柔軟な核燃料サイクル構想（Flexible Fuel Cycle Initiative：FFCI）」である。この概念は、日立GEニュークリアエナジー社によって提唱されたものである。
具体的には、軽水炉より取り出した使用済燃料を、ウラン分離施設にて大部分のウランを分離する。分離した回収ウランは再濃縮して利用する一方、残余（プルトニウム、核分裂生成物、マイナーアクチニド、ウランが含まれる）については、FBRサイクルが順調に導入されている場合は、FBRの再処理施設にて再処理して利用する一方、FBRサイクルが停滞している場合は、残余を一時的に貯蔵する、というシステムである。
FFCI構想の概念を図 8-4 に示す。

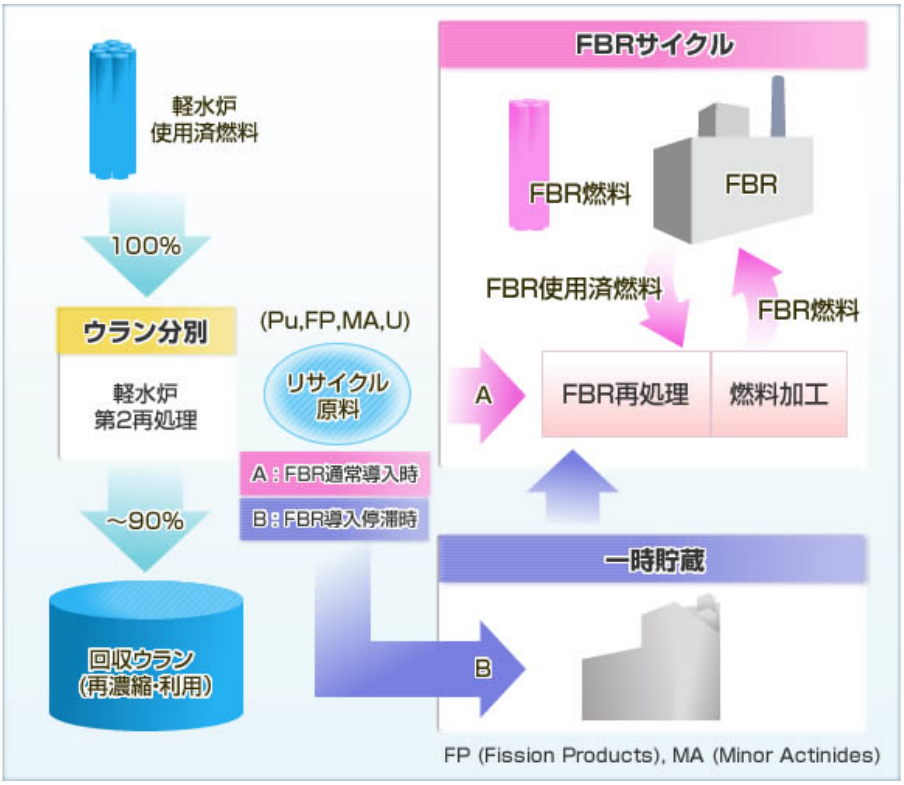


図 8-4　FFCI構想概念図

（出所） 日立GEニュークリアエナジーホームページ

また、FFCI構想を実現するため、軽水炉使用済燃料からウランを分離するプロセスとして、日立は小型フレーム炉によるフッ化処理による抽出（FLUOREX）を提案している。FLUOREXの概略を図 8-5 に示す。

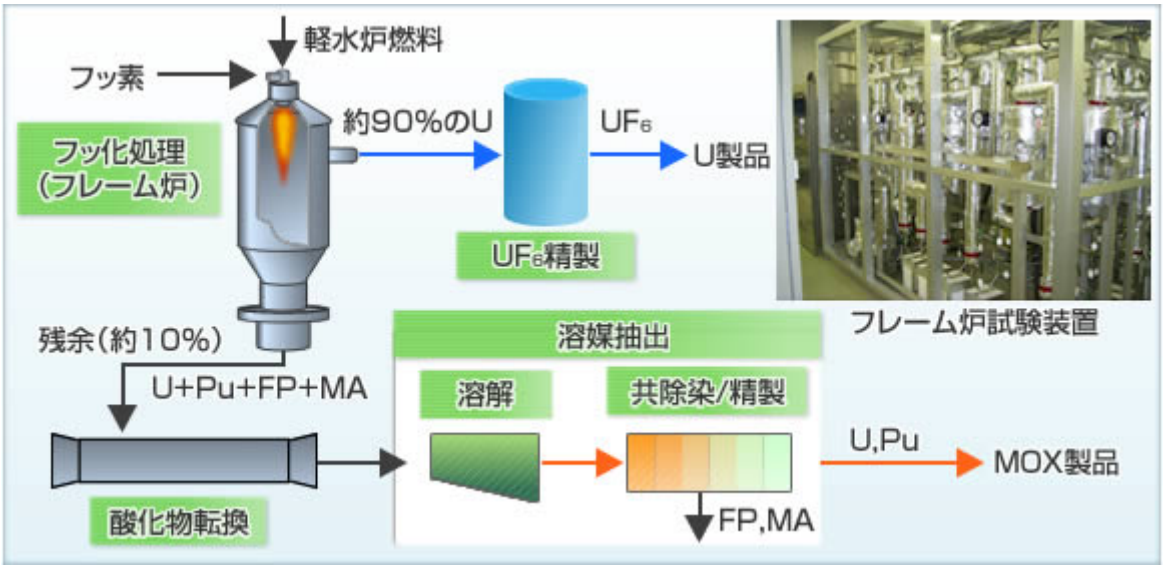


図 8-5　FLUOREXの概念

（出所） 日立GEニュークリアエナジーホームページ

2-3　次世代再処理技術開発

2-3-1　　乾式再処理

リン酸トリブチル（TBP）を抽出剤として用いるPUREX法が再処理技術として採用されている。PUREX法を始めとする湿式の再処理では、使用済燃料の溶解、燃料成分の分離、精製、脱硝、回収という複数工程を経る必要があるが、乾式再処理ではそれらを単一の工程で処理することができる。本項では、日本で研究が進められている溶融塩を用いて電気によって分離する金属電解法と、フランスで研究が進められている電気化学的な原理を利用しない高温化学法を述べる。

(1) 金属電解法[122]

東芝、電力中央研究所、日本原子力研究開発機構らが協力して、20 年以上に渡って研究を続けている。具体的なプロセスとしては、500℃に加熱して溶融させた溶融塩（LiCl - KCl）に使用済燃料を入れたバスケットを入れて陽極とし、カドミウムを陰極とすることで、ウラン、プルトニウム、マイナーアクチニドが同時に回収される。利点としては、以下の３点が挙げられる。

- マイナーアクチニドをサイクル中で有効に活用できる。
- プルトニウムを原理的に分離困難であり、核拡散抵抗性に優れる。
- システムがシンプルである

金属電解法による乾式再処理の概念を図 8-6 に示す。

[122] 東芝レビュー，Vol62 No. 11，2007　及び　電中研レビュー 第 37 号 第４章 乾式再処理技術，2000/1

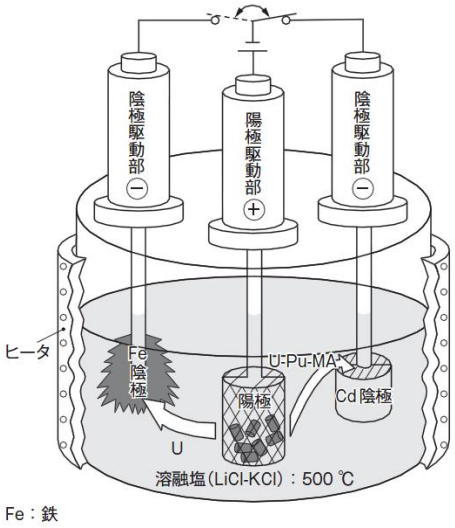


図 8-6　金属電解法による乾式再処理の概念

（出所） 東芝レビュー, Vol62 No.11

(2) 高温化学法[123]

高温化学法は、CEAが研究を進めている再処理技術のひとつである。

CEAが進めている高温化学法は、高温で溶融したフッ化物塩から溶融アルミニウム中にアクチニドを抽出後、今度は溶融塩化物混合塩により溶融アルミニウム中のアクチニドを逆抽出するという、高温での液/液抽出を主要プロセスとしており、電気化学的な原理を用いていない点が特徴である。具体的なプロセスは以下の通りである。

- 使用済燃料を 1100℃で熱処理し、核分裂生成物(FP) の中のCs,Rbなどの揮発成分を除去する。
- 450~500℃にてフッ化水素ガス（HF）によりZrO2 などFPの酸化物をフッ化物に転換する。この際、蒸気圧の高いZrF4 などは揮発し燃料より除去される。
- 残存するフッ化物はついで 830℃のLiF-AlF3 (15~35%) 混合溶融塩中に溶解する。
- 溶解後、830℃にて溶融Alを添加し、Al中にアクチニド(An)を抽出する。
- 同伴される一部のFPは次の工程でLiF-AlF3 溶融混合塩により洗浄除去される。
- Al中のアクチニドは次の工程で 700℃のLiCl-CaCl2 溶融混合塩に逆抽出される。
- この溶融混合塩に酸化性のガス（Ar+H2O）を吹き込むことによりアクチニドは酸化物に転換され、析出物として溶融塩中に沈殿し、回収される。
- なお、FPを含むLiCl-CaCl2 溶融混合塩は蒸留精製され再利用される一方で、FPは最終的にガラスに閉じ込められる。

2012 年 8 月に開催された、IPRC (International Pyroprocessing Research Conference)における報告によれば、模擬物質によるフッ化試験、模擬使用済燃料を用いた抽出工程に関する基礎試験などが進められている。開発はラボレベルのものであり、高温腐食性ガスを取り扱うなど、材料上の問題は大きいが、主要なプロセスについては評価できたこと、今後の課題として、分析法の開発や実燃料を使った試験（熱処理、溶解の確認）、HFを使用しないフッ化法の開発が上げられること、塩の再使用のための電解精製方法について、CEAはITUおよび国内の大学（LGC）と共同研究を展開中であることが報告されている。

[123] E.Mendes,et al., “Development status on the pyrochemistry R&D program at CEA”, 2012 IPRC, August, 2012, Fontana (USA)

3. アクチニド燃焼に関する技術開発[124]

使用済燃料の再処理に伴って発生する高レベル放射性廃棄物には、アルファ線を放出し、放射性毒性が強く、寿命の長いマイナーアクチニドと総称されるMA（英語Minor Actinide）; Np 237：半減期 214 万年、Am 241：半減期 433 年、Am 243：半減期 7380 年、Cm 245：半減期 8500 年、Cm 246：半減期 4730 年等やガンマ線を放出する長寿命の核分裂生成物（I 129、Tc99 等)、発熱の大きい核分裂生成物（Sr 90、Cs 137）が含まれている。これらの核種をなんらかの方法を用いて、非放射性の核種あるいはより寿命の短い核種に変換することができれば、深地層に最終処分する高レベル廃棄物の量を減らすことができ、地層処分が必要とする超長期の隔離期間を著しく短縮することが可能になる。MA燃焼による有害度の低減効果イメージを図 8-7 に示す。

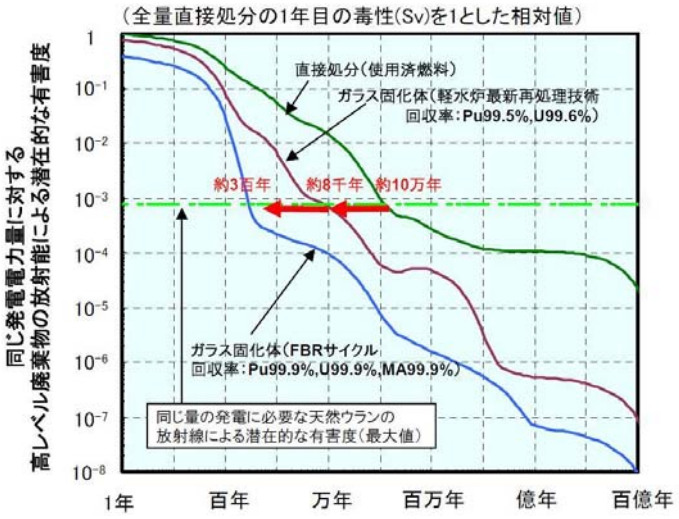


図 8-7　MA燃焼による有害度低減効果

（出所） 廃棄物の減容・有害度の低減のために「もんじゅ」等を活用して行うべき研究開発について
（第三回 もんじゅ研究計画作業部会 資料 1-1), JAEA, 2012/11/21

MAの変換は、中性子の照射によって行われる。主なMA核種は、700keV以上の高速中性子によって直接核分裂する。一方、熱中性子に対しては、中性子捕獲とベータ崩壊を何回か繰り返した後に核分裂する。この点から高速炉の方が熱中性子炉より効率的に核変換処理ができ、また、中性子捕獲による高次の長寿命核種ができにくいという利点がある。本項では、アクチニド燃焼に関連した研究開発動向を述べる。

3-1　原子炉でのアクチニド燃焼

上述したとおり、効率的なMA燃焼のために軽水炉等の熱中性子炉ではなく、専ら高速炉がアクチニド燃焼に用いられることが想定されている。日本のもんじゅやフランスのフェニックスなどの発電用高速炉においてMAを燃焼させることも原理的には可能であるが、MAのリサイクルによって炉心特性が変化することなどの問題があり、効率的な核変換処理を図ることが難しい。そのため、専焼炉の概念が原子力研究開発機構によって提唱されている。

高速炉にてMAを燃焼させる場合、MA含有に伴って燃焼性状が変化すること、融点や熱伝導度が低下すること、再処理時における硝酸溶解性に影響するといった問題が生じる。これらの諸問題を解決する

[124] 特段の注記なきものについては、原子炉による TRU 核変換処理（07-02-01-02），RIST による。

ため、各種の研究が実施・計画されており、以下にその概要を述べる[125]。

- ヘリウム効果の確認

  MA含有量の増大や、Puの高次化により、燃料からのヘリウム放出量が増大するため、その影響を検証する必要がある。長期停止に伴ってもんじゅの燃料は高次化が進み、アメリシウム(Am)が2wt%程度蓄積していることから、この燃料を照射し、照射後試験によりHeガス生成・ペレット内挙動等の影響を確認することが計画されている。

- 燃料破損・溶融防止

  MA含有率、Pu富化度等による影響を確認するため、これらの値を変化させた燃料を製造し、照射する試験が実施・計画されている。線密度430W/cmの短期照射（10min又は24h）の照射条件では燃料溶融は認められなかった、など、日本の常陽、フランスのPhenix、アメリカのATR等の炉で照射した燃料の照射後試験結果が既に得られている。パラメータを変化させた更なる試験も計画されている。

- 硝酸溶解性の確認

  照射済燃料の再処理試験による溶解性評価が計画されている。

また、GIFの下、GACID計画（「1-1 第4世代原子力システムに関する国際フォーラム」参照）にて日米仏の3カ国で研究が実施されている。GACID計画では、米国のMA原料を仏国でMA含有MOX燃料に加工し、もんじゅで照射する計画に合意している。この枠組みを更に拡大し、廃棄物減容、有害度低減のために実施する研究開発をふくめることについて、検討・調整が進められている。

一方、フランスでは、高速炉の原型炉Phenixが2009年に運転を停止して以降、現在運転中のものはなく、このため、実用炉の一歩手前の技術実証炉としての位置付けと照射炉としての機能を併せ持った高速炉ASTRID (Advanced Sodium Technological Reactor for Industrial Demonstration)の計画が進められている。ASTRIDはCEAが2013年3月に発表した報告書“Direction de l’energie nucleaire“で述べられている、アクチニド燃焼方策を実証する試験に用いられることになる。計画電気出力は600MWeであり、2023年頃の初臨界とその後の運転開始を予定している[126]。ASTRIDの外観図を図8-9に示す。

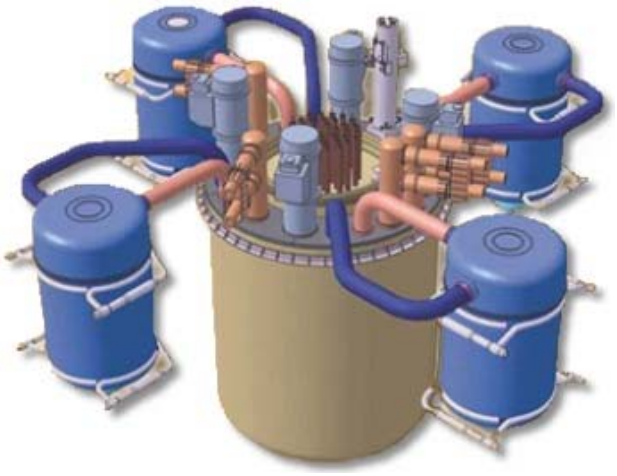


図8-8　ASTRID外観図

（出所）CEA

[125] 第三回　もんじゅ研究計画作業部会　資料1-1, JAEA, 2012/11/21

[126] A. Vasile, ″ASTRID Advanced sodium technological reactor for industrial demonstration″, IAEA TWGFR 20-22, June 2012

3-2　加速器駆動炉によるアクチニド燃焼[127]

原子炉での燃焼とは異なるアプローチとして、加速器駆動炉（Accelerator Driven System：ADS）により生成される中性子をMAに照射し、MAを燃焼させる方法がある。
ADSの原理は以下の通りである。まず、粒子加速器によって高エネルギーで陽子を加速し、原子番号の高いターゲット材料に照射する。照射された陽子は、ターゲット原子核と核破砕反応を引き起こし、それに伴って中性子が放出される。この中性子をMAに照射することで、MAを燃焼させる。
ターゲット材料には、タングステン、タンタル、劣化ウラン、トリウム、ジルコニウム、鉛、水銀などが想定されている。ADSの研究は、2009年に京都大学の臨界集合体（KUCA）で世界初となる実験がされたほか、インド、ベルギーでADSの建設が計画されている。KUCAで行われた、ADS実験のイメージ図を図8-9に示す。



図8-9　KUCA-FFAG結合実験のイメージ図

（出所）京都大学ホームページ、http://www.kyoto-u.ac.jp/ja/news_data/h/h1/news7/2008/090304_2.htm

また、フランスCEAは、ADSを導入したサイクル体系の検討を進めていた。CEAが考える概念では、再処理後にウラン・プルトニウムのみを炉にリサイクルし、MAはADSにて変換されることになる。2013年3月に公開された報告書”Direction de l’energie nucleaire”では、ADSを用いる方法について、CEAは以下のように結論している。

- ADSはひとつのオプションであるが、技術的に非常に複雑で、未熟。
- 紙面上は魅力的であるが、出力が小さすぎるために実用的でない。40基の1,500MWe級FBRから生じるMAを燃焼するためには、18基の385MWth級ADSが必要となる。
- ADSによる追加コストは+30%と大きい。
- コストを下げるには高出力装置が必要となるため、CNRS（国立科学研究センター）にとってその開発優先度は高い。

[127] 参考資料：World Nuclear Association, http://www.world-nuclear.org/info/Current-and-Future-Generation/Accelerator-driven-Nuclear-Energy/

4. プルトニウム燃焼に関する技術開発

フランスのように、プルトニウムをMOX燃料として計画的に燃焼している場合や、高速炉サイクルに移行した後には問題とならないが、イギリスのように、再処理により得たプルトニウムを計画的に燃焼できる環境にない場合においては、プルトニウム専焼炉といった形でプルトニウムを縮減するという取組が成立する。本項では、プルトニウム縮減への活用が期待される、PRISM炉の概要を述べる。

4-1 PRISM炉

PRISM（Power Reactor Innovative Small Module）は米国エネルギー省（DOE）傘下のアルゴンヌ国立研究所ウェスト（ANL-West、アイダホ州）が中核となり、1980 年代から 90 年代にかけて開発が進められた高速炉である。研究開発は国のALMR/IFR（Advanced Liquid Metal Reactor/Integral Fast Reactor）計画の一環として行われた。NRCの申請前安全評価報告は 1994 年 2 月に提出された（NUREG-1368）。しかし、同計画は米国議会の決定により同年、中止となった。ただし、同報告はPRISMの設計には明らかな欠点は認められないとしていた。

PRISM炉は、金属燃料・ナトリウム冷却のモジュラー型高速炉であり、通常、プルトニウム燃料が装荷される。炉心、中間熱交換器、1 次循環ポンプ等を収納したタンク型炉であり、通常運転時の炉心出入口温度は出口 499℃、入口 360℃である。外観及び炉心断面を図 8-10 に示す。

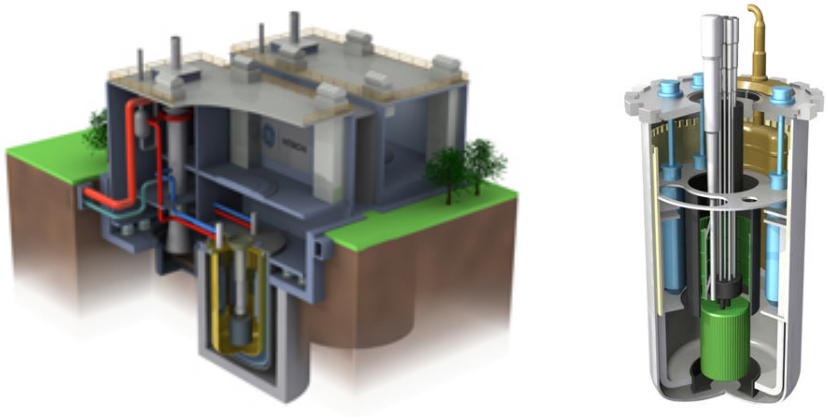


図 8-10　PRISM炉の外観図及び炉心断面図

（出所）GE日立ニュークリアエナジー

貯蔵プルトニウムが増大しているイギリスにおいて、GE日立ニュークリアエナジー社は、2012 年 4 月には英国国立原子力研究所(National Nuclear Laboratory Ltd. (NNL))と、5 月にはマンチェスター大学（University of Manchester）とそれぞれPRISM炉の研究に関するMOU（覚書）を交わしたほか、5 月に原子力廃止措置機関(Nuclear Decommissioning Authority)と、PRISM炉の商用化にむけた事業体制、燃料の処理、リスク回避モデル、コストならびに許認可性などをはじめ、複数の主要分野におけるフィージビリティスタディの実施について契約を交わしており、検討が進められている[128]。

[128] GEH プレスリリース、2012/4/4 及び 2012/5/29