



逆浸透法による海水淡水化の 現状と展望



2023年12月7日
(一財) 造水促進センター
専務理事 大熊 那夫紀

1. 造水センターとは
2. 世界の水環境と海水淡水化技術について
3. 造水センターにおける海水淡水化技術開発
4. 世界の海水淡水化の動向
5. 日本の海水淡水化の状況
6. 海水淡水化技術の課題と展望

1973年 通商産業省(現 経済産業省)の外郭団体として発足

2010年 **一般財団法人** 造水促進センターに移行

理事長 山本和夫(東京大学 名誉教授、タイAIT学長)

■ 設立目的

水不足と環境保全に資するため、下水・廃水の再生利用、海水の淡水化などを**新しい水資源ととらえた「造水」に関する技術の開発・実用化**及びその**普及**を図り、もって我が国経済の発展と生活福祉の向上に寄与する。

■ 会員【82団体(2023年10月)】

・自治体会員:28団体

東京都、大阪府、福岡県、名古屋市、横浜市他

・工業用水利用者団体:8団体

日本工業用水協会、石油連盟、日本産業機械工業会他

・企業会員:46社

水関連企業(水エンジニア会社、機器メーカー、素材メーカー、水コンサル)
金融機関、損害保険

造水技術 (Zosui Technologies)

非在来水源の活用
(海水淡水化、
下水・排水の再利用等)

<事業概要>

■ 造水技術の調査開発

- ・ 海水淡水化
- ・ 下水の再利用
- ・ 排水の再利用
- ・ 水使用合理化

■ 造水技術の普及促進

- ・ 研修事業、国内外セミナー
- ・ 水再利用の国際標準化

■ 地下水関連 2団体の事務局

国内外の
水環境・
インフラ事業
に貢献

1. 造水センターとは
2. 世界の水環境と海水淡水化技術について
3. 造水センターにおける海水淡水化技術開発
4. 世界の海水淡水化の動向
5. 日本の海水淡水化の状況
6. 海水淡水化技術の課題と展望

2.1 水資源の確保

水ストレス: 水賦存量に対する取水量の割合

< 取水量が水賦存量の2割を超えると水ストレス状態 >

Freshwater stress



1995



2025

water withdrawal as percentage of total available

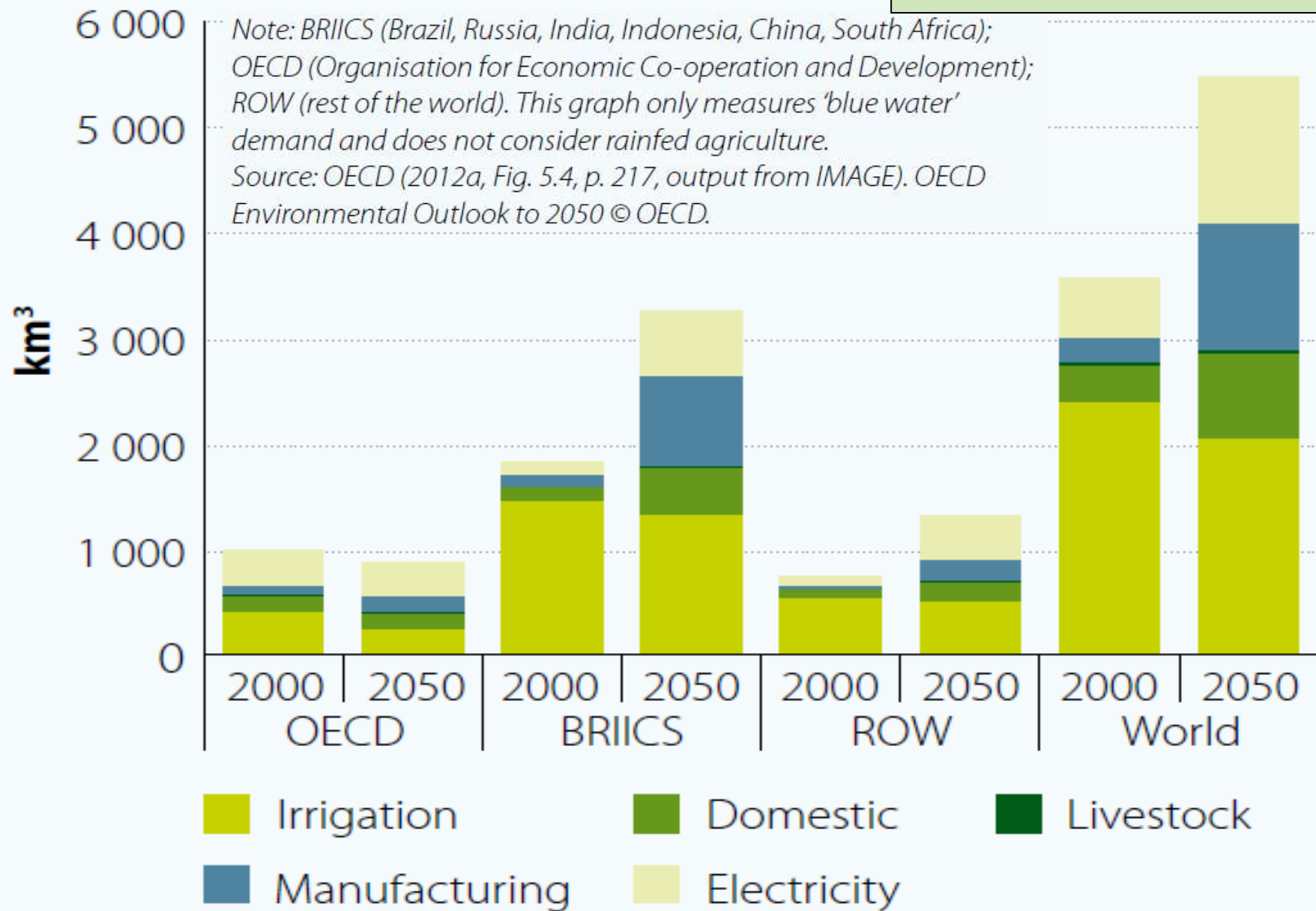


GRID
Arendal UNEP
GRAPHIC DESIGN: PHILIPPE REKACENICZ

Source: Global environment outlook 2000 (GEO), UNEP, Earthscan, London, 1999.

2.2 水資源の需要予測

世界の用途別水需要

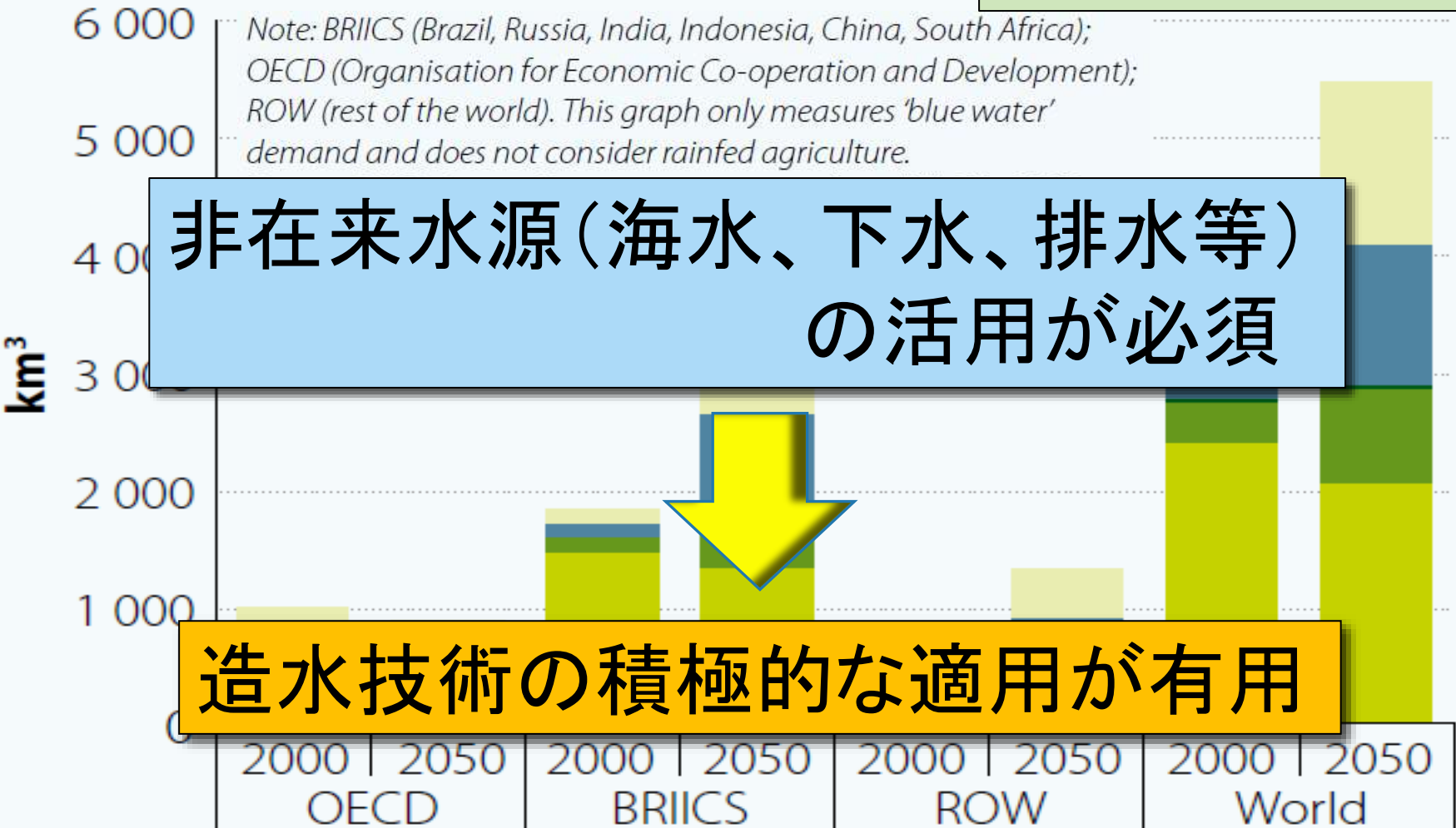


2.2 水資源の需要予測

世界の用途別水需要

Note: BRICS (Brazil, Russia, India, Indonesia, China, South Africa);
 OECD (Organisation for Economic Co-operation and Development);
 ROW (rest of the world). This graph only measures 'blue water'
 demand and does not consider rainfed agriculture.

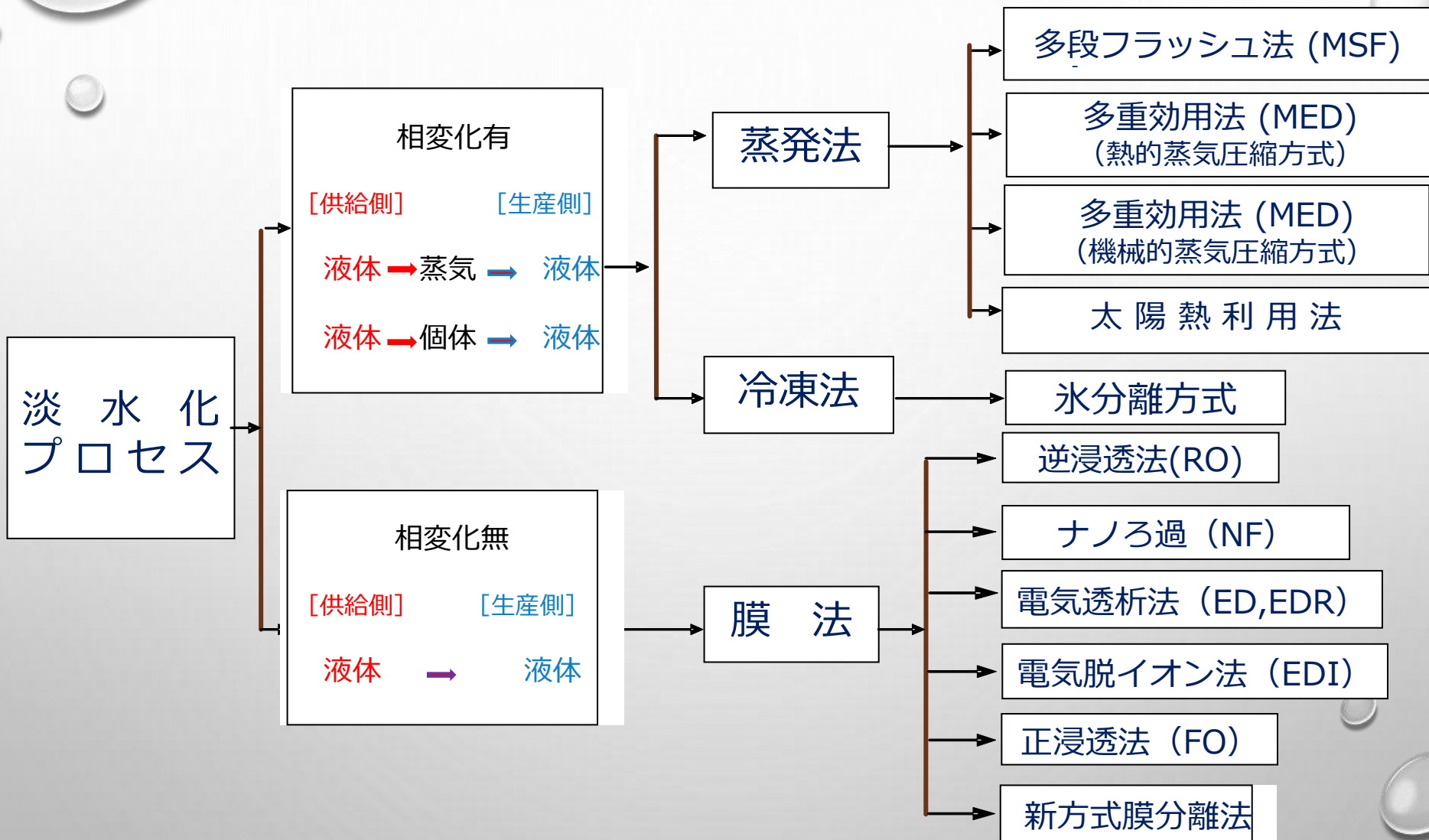
非在来水源（海水、下水、排水等）
 の活用が必須



造水技術の積極的な適用が有用

- Irrigation
- Domestic
- Livestock
- Manufacturing
- Electricity

2.3 脱塩技術の分類



2.3 脱塩技術の分類—蒸発法—

日本企業がサウジアラビア・アルジュベイルに建設したMSFプラント

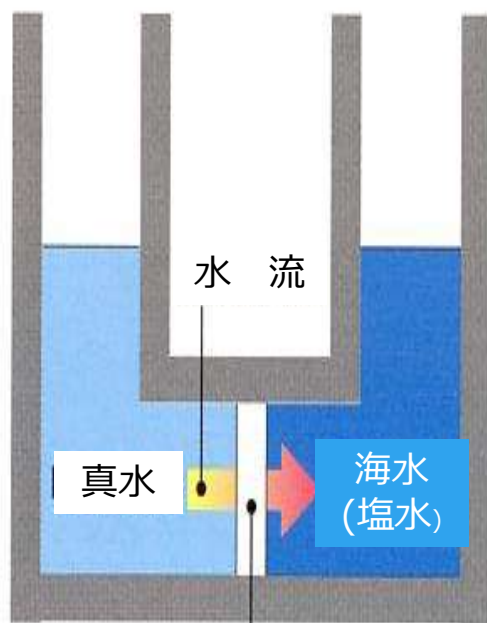


46 units, 全容量 百万 m^3 /d

2.3 脱塩技術の分類—逆浸透法—

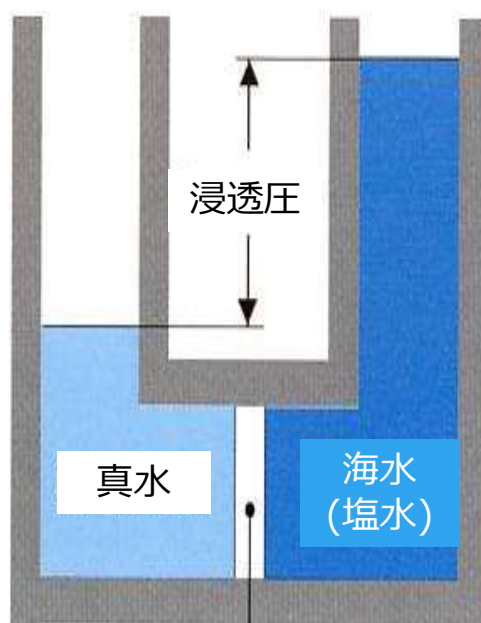
逆浸透 (RO) 法の原理・現象

浸透現象

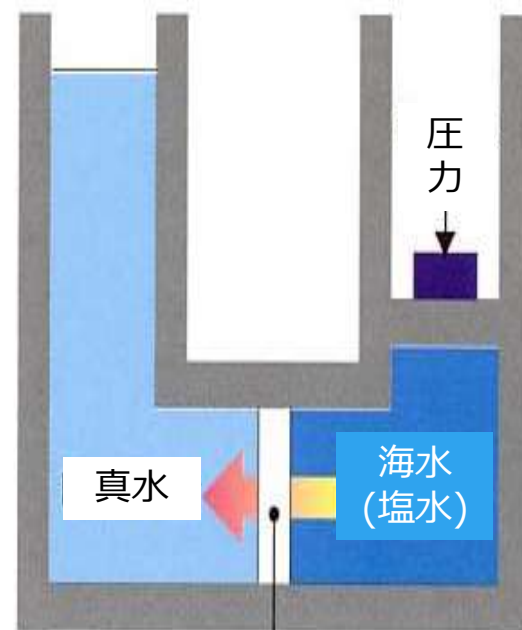


半透膜

逆浸透現象



半透膜



半透膜

2.3 脱塩技術の分類—逆浸透法—

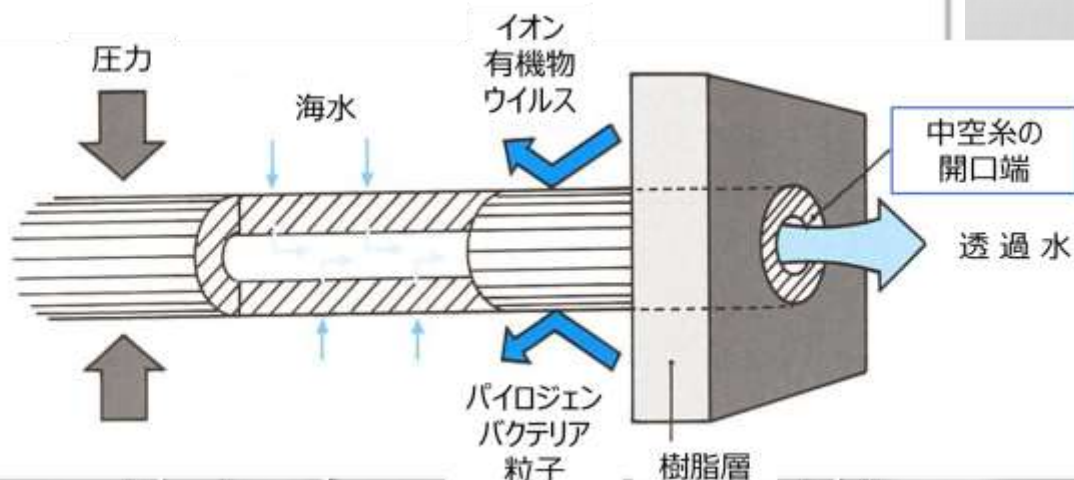
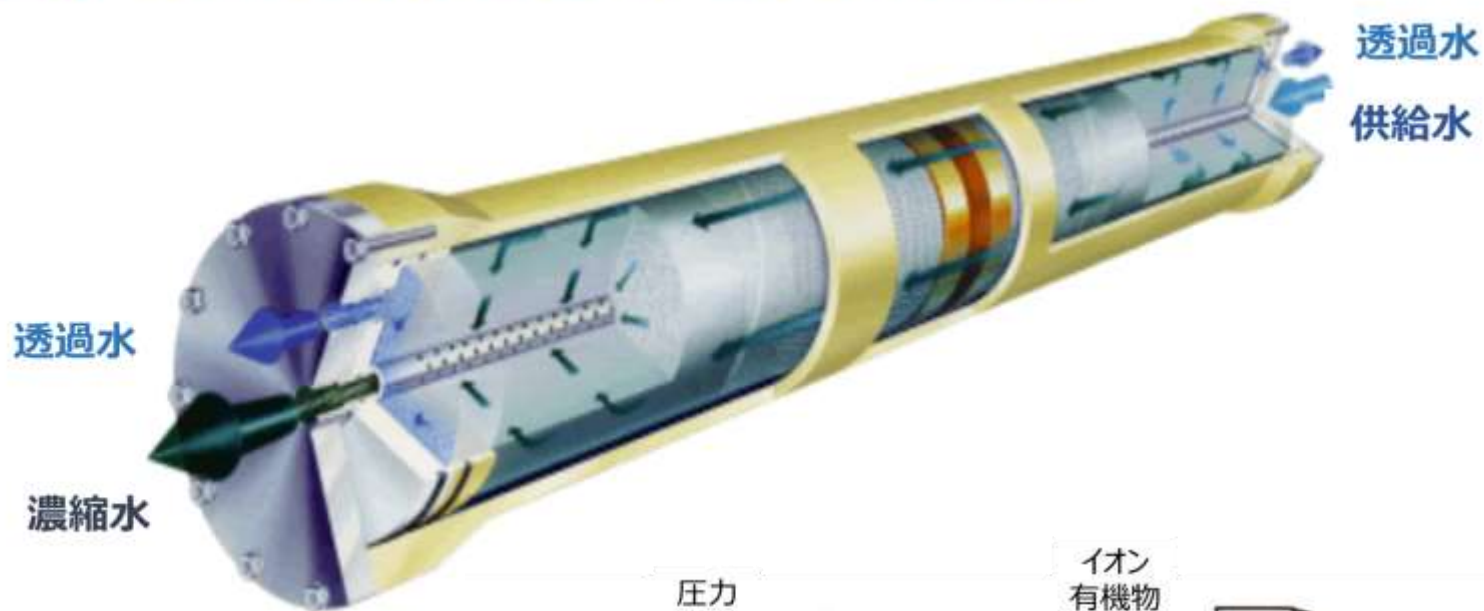
スパイラル型RO膜モジュールの構造



2.3 脱塩技術の分類—逆浸透法—

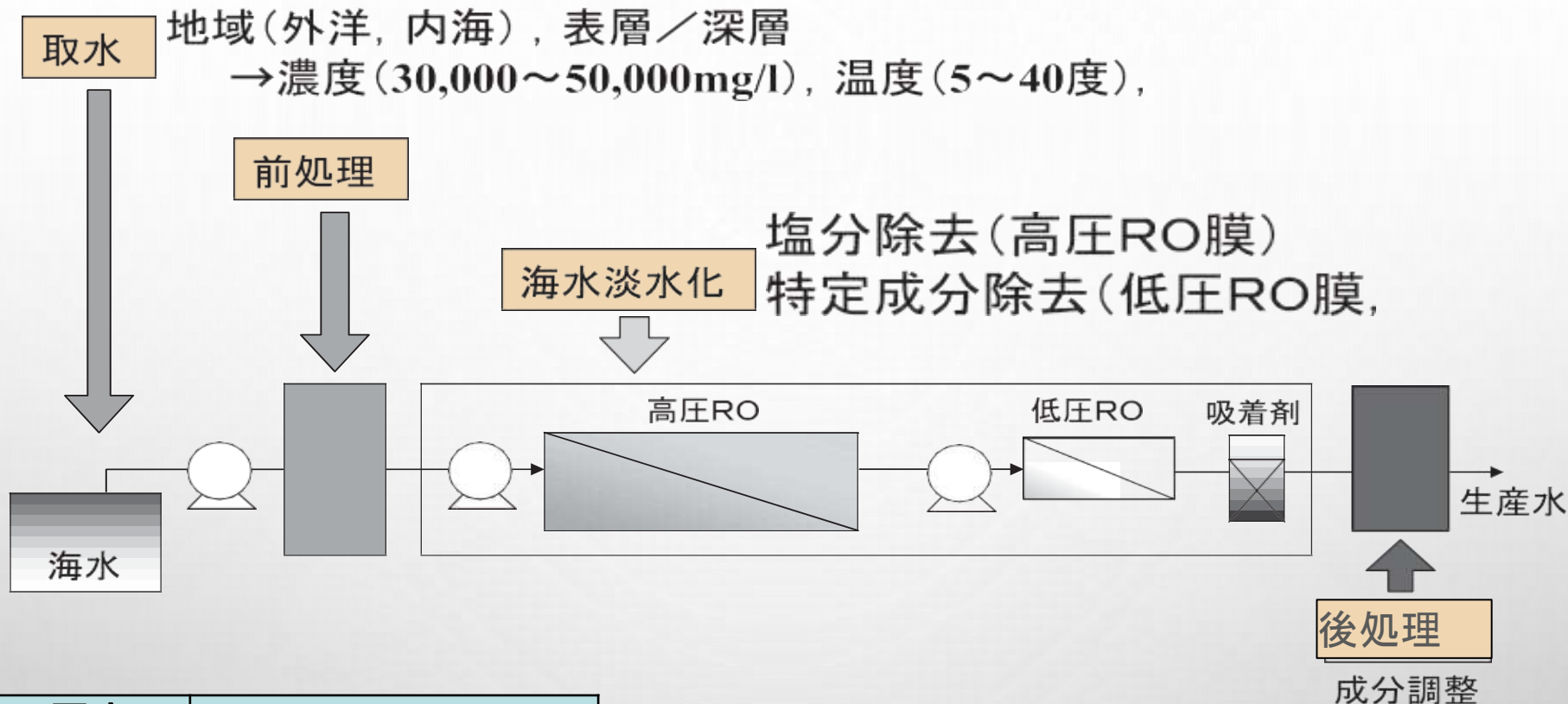
中空糸型RO膜モジュールの構造

HOLLOSEP®ダブルエレメントのモジュール構造図 (HM シリーズ)



出典：東洋紡パンフレット

2.4 海水淡水化のフローと水質



原水 (海水)	水質
TDS	34,000~47,000mg/L
ホウ素	0.1~9mg/L
TSS	(様々)
濁度	(様々)

収率約40%
(RO一段)

製品(飲料用)	WHO基準
TDS	<500mg/L
ホウ素	<1mg/L
TSS	<1mg/L
濁度	<5NTU

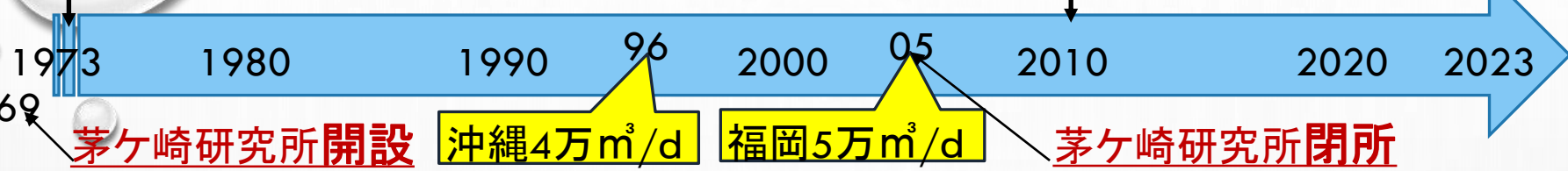
製品水質要求はWHO基準より厳しい事が多い

1. 造水センターとは
2. 世界の水環境と海水淡水化技術について
3. 造水センターにおける海水淡水化技術開発
4. 世界の海水淡水化の動向
5. 日本の海水淡水化の状況
6. 海水淡水化技術の課題と展望

3. 造水センターの海水淡水化関連事業

(財)造水促進センター設立

(一財)造水促進センターに移行



1974年: 省エネルギー型RO法海水淡水化技術開発

1976年: 国産RO膜の適用

1979年: 海水淡水化前処理技術

1980年: LNG利用海水淡水化技術

1981年: 一段脱塩RO法技術

1985年: 透過気化法海水淡水化技術

1996年: ホウ素除去技術

1999年: 高回収率RO法海水淡水化技術

2001年~: 中東向けRO法海水淡水化技術(オマーン、カタール)

2006年~: **トリハイブリッド型海水淡水化技術開発(SWCC共研)**

2014年: 海水淡水化新技術の適合性評価(エネルギー回収装置)

2014年~: ODA海水淡水化整備調査・案件形成調査
(セネガル、インド、南部アフリカ、イラク、チュニジア等)

2017年~: 大型海水淡水化更新調査

2021年~: 海外海水淡水化設備の設計支援



基礎
技術開発

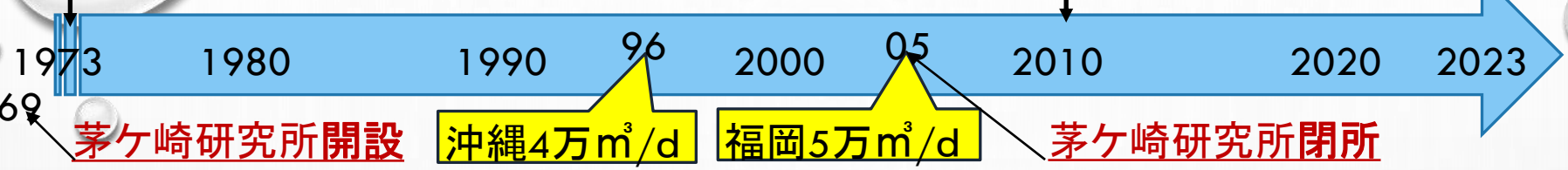
海外共同研究

海外案件形成

3. 造水センターの海水淡水化関連事業

(財)造水促進センター設立

(一財)造水促進センターに移行



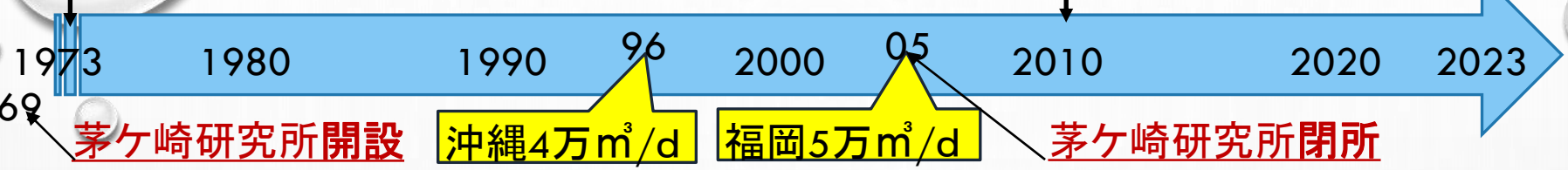
【茅ヶ崎研究所外観(1969年)】



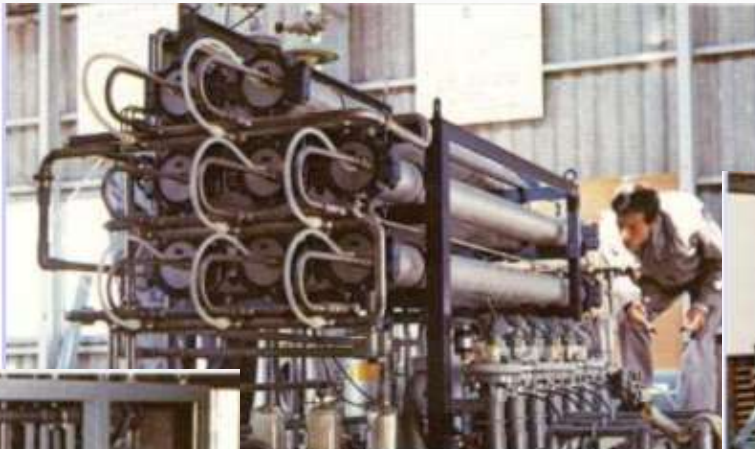
3. 造水センターの海水淡水化関連事業

(財)造水促進センター設立

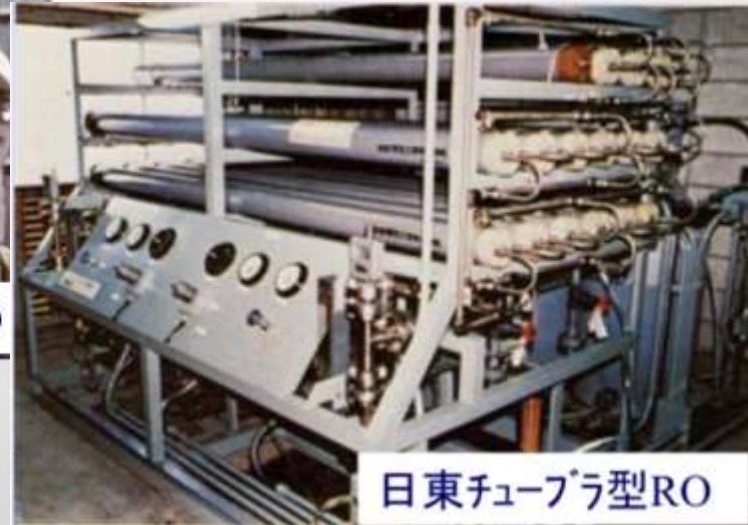
(一財)造水促進センターに移行



【国産RO膜モジュール(1976年)】



東レスパイラル型RO



日東チューブラ型RO

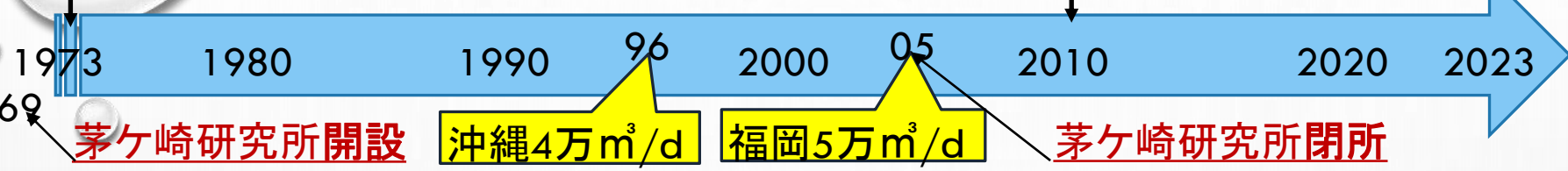


東洋紡中空糸型RO

3. 造水センターの海水淡水化関連事業

(財)造水促進センター設立

(一財)造水促進センターに移行



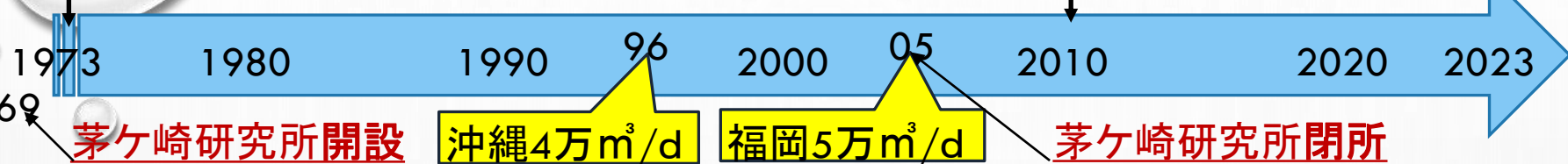
【茅ヶ崎実証プラント800m³/d(1979年)】



3. 造水センターの海水淡水化関連事業

(財)造水促進センター設立

(一財)造水促進センターに移行



【オマーン:石油精製用海水淡水化(2001年)】



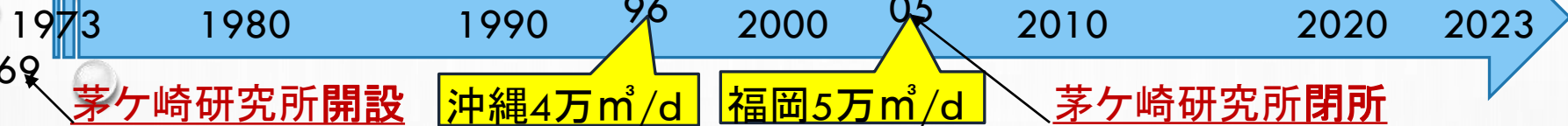
【カタール:中東向け海水淡水化(2003年)】



3. 造水センターの海水淡水化関連事業

(財)造水促進センター設立

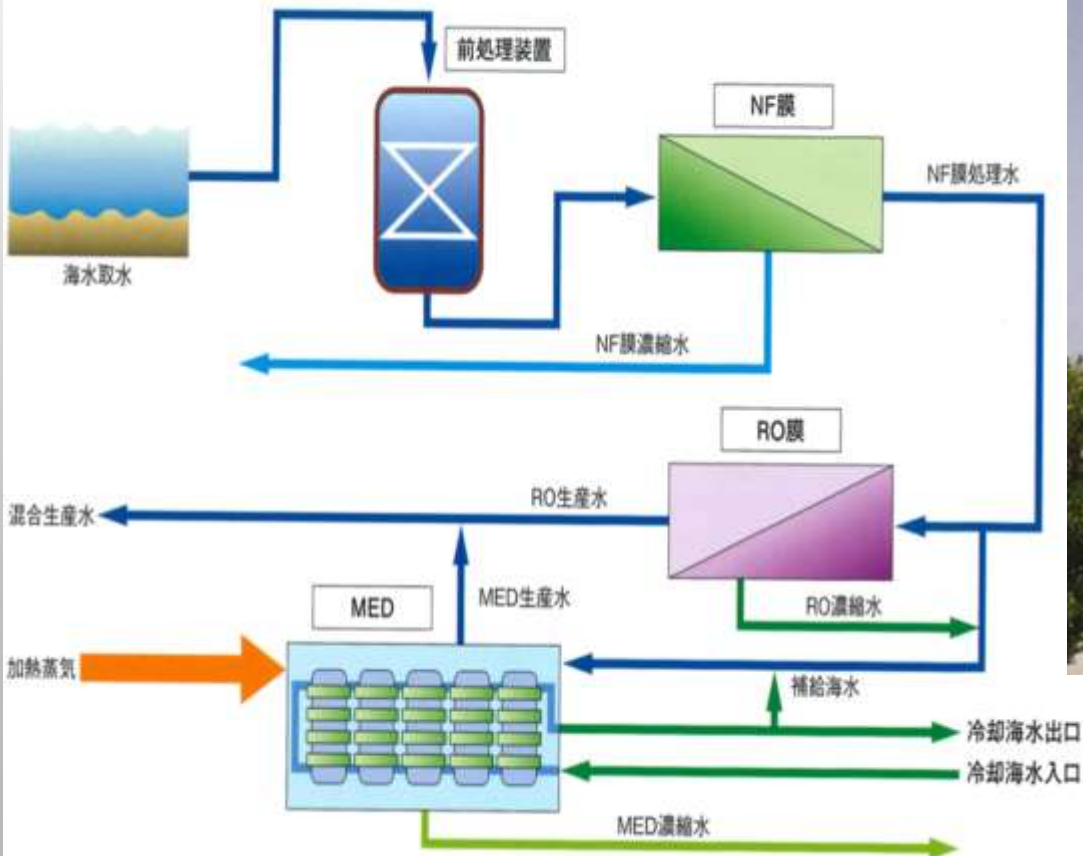
(一財)造水促進センターに移行



【トリハイブリッド型海水淡水化システムの開発(2006年)】
サウジアラビア・ササクラ・造水促進センターの共同事業

共同特許取得

■NF/RO/MEDハイブリッド法による海水淡水化処理フロー

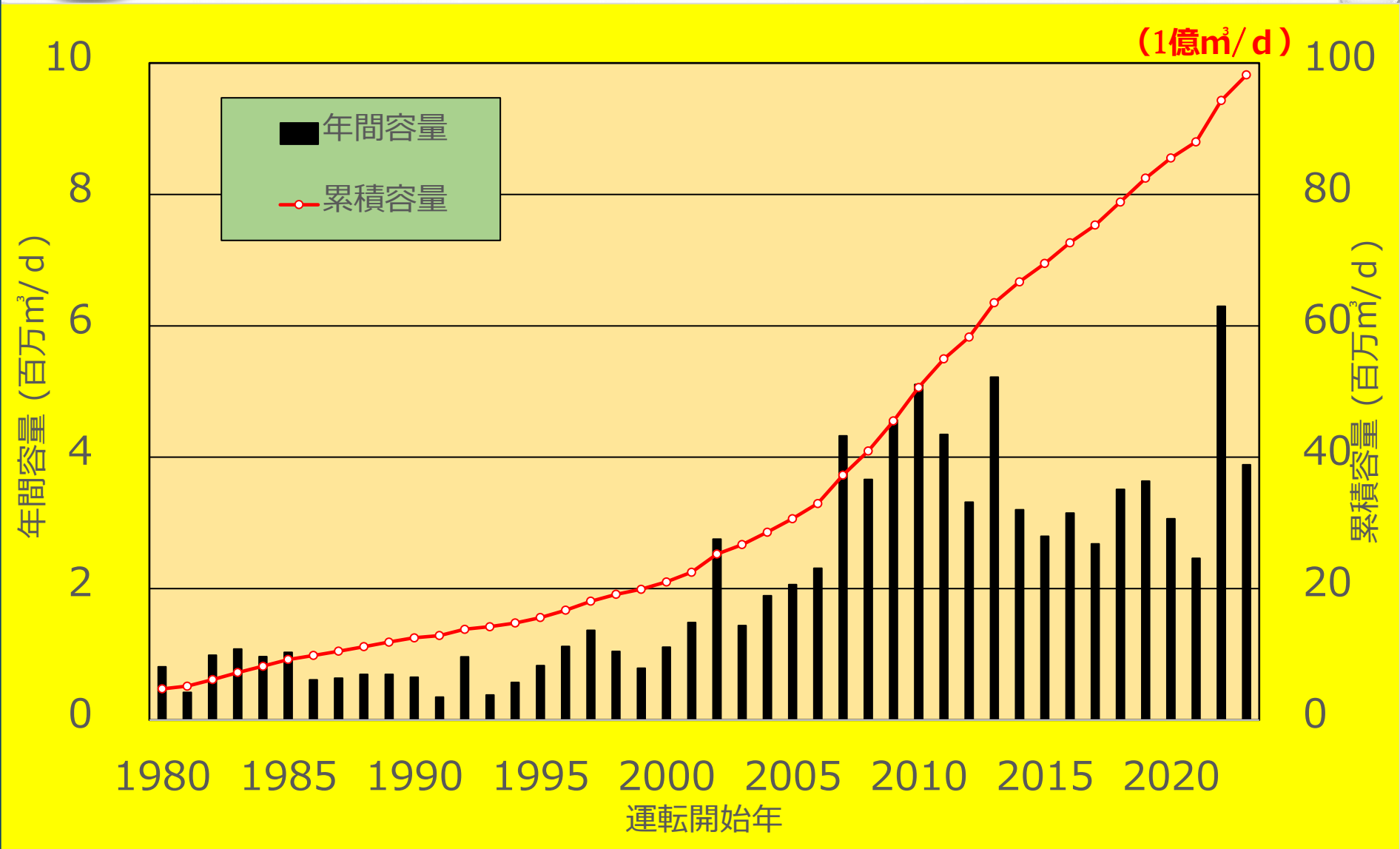


実証プラント 24m³/d

1. 造水センターとは
2. 世界の水環境と海水淡水化技術について
3. 造水センターにおける海水淡水化技術開発
4. 世界の海水淡水化の動向
5. 日本の海水淡水化の状況
6. 海水淡水化技術の課題と展望

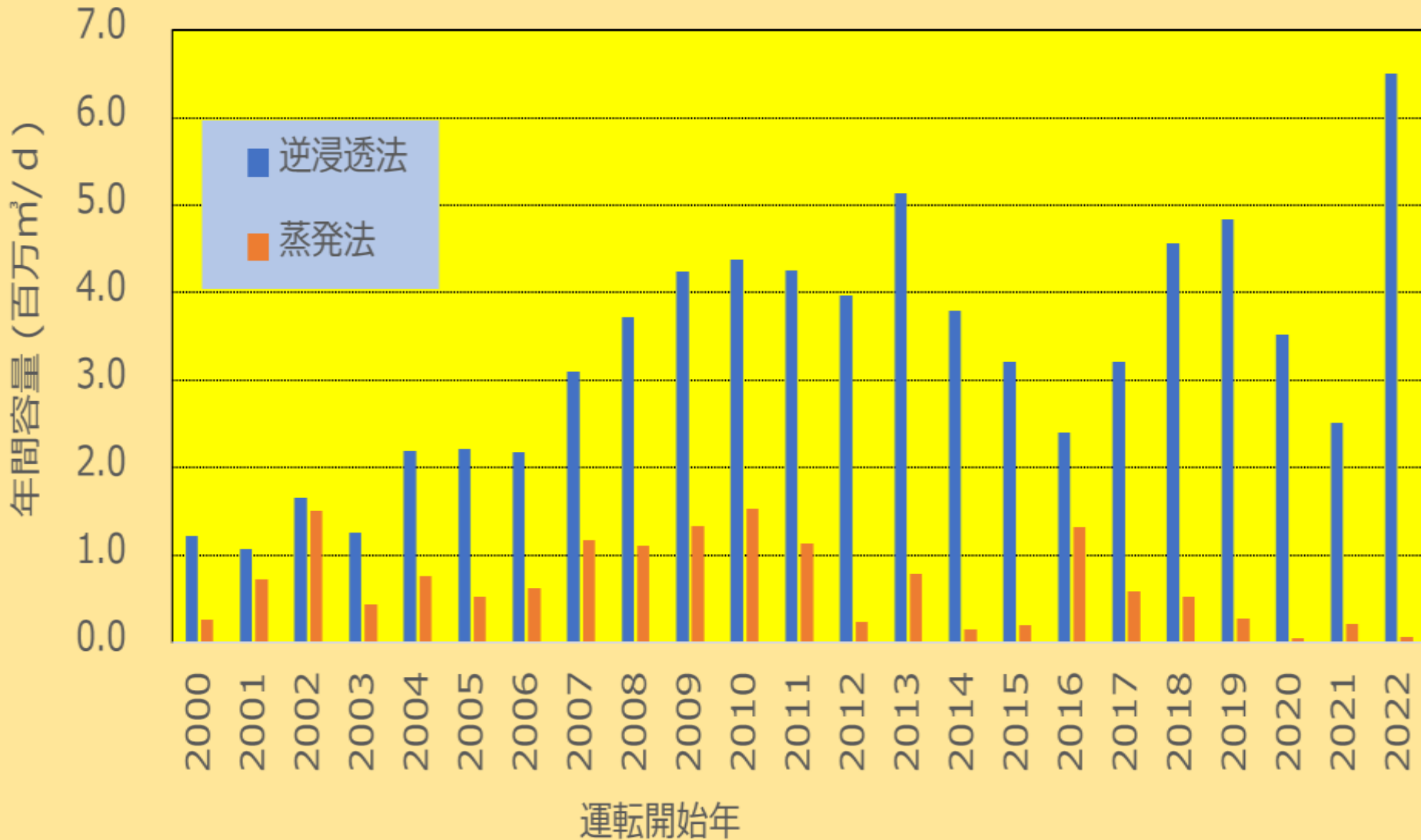
4.1 世界における脱塩プラント(SW+BW)の処理量推移

SW:海水 BW:かん水

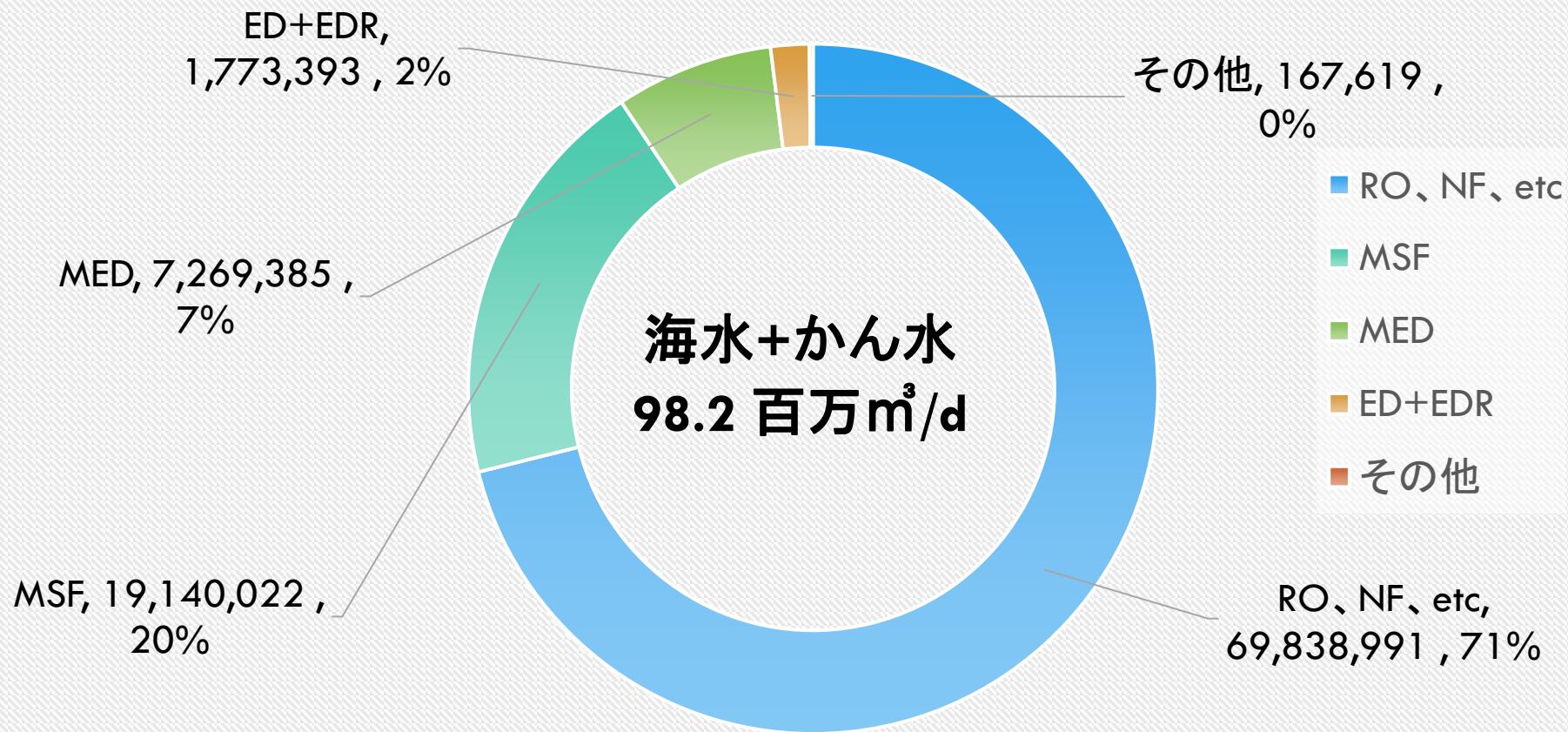


出典 : desaldata(GWI)のデータをもとにWRPCが作成

4.2 主要な方式別の年別納入容量（逆浸透法と蒸発法）

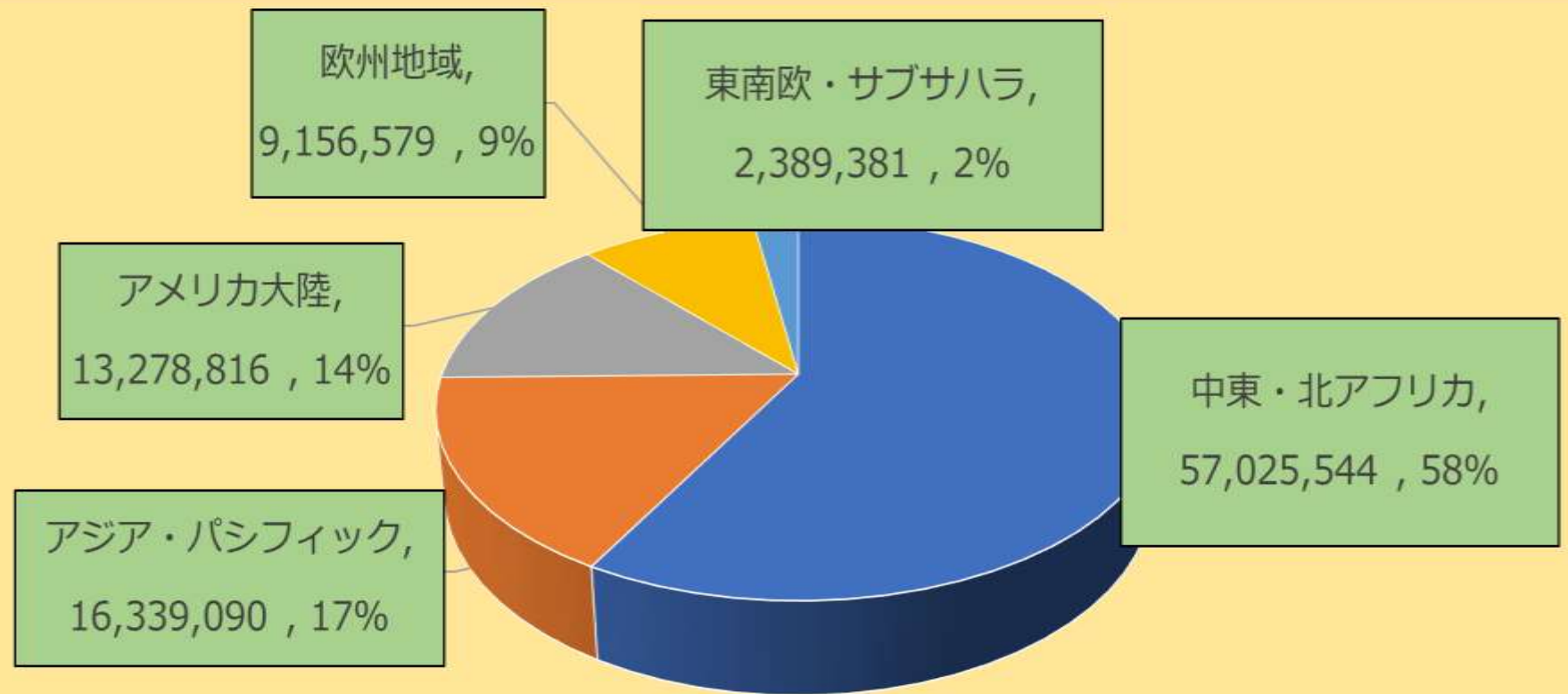


4.3 脱塩プラントの方式別割合(原水：海水、かん水)



出典：desaldata(GWI)のデータをもとにWRPCが作成

4.4 脱塩プラントの地域別割合（原水：海水、かん水）



アメリカ大陸 : Latin America / Caribbean / North America
アジア・パシフィック East Asia / Pacific / Southern Asia
東南欧・サブサハラ Eastern Europe / Central Asia / Sub-Saharan Africa
欧州地域 Eastern Europe / Central Asia / Western Europe
中東・北アフリカ Middle East / North Africa

容量単位 : (m³/d)

4.5 世界の大型脱塩施設(TOP20)

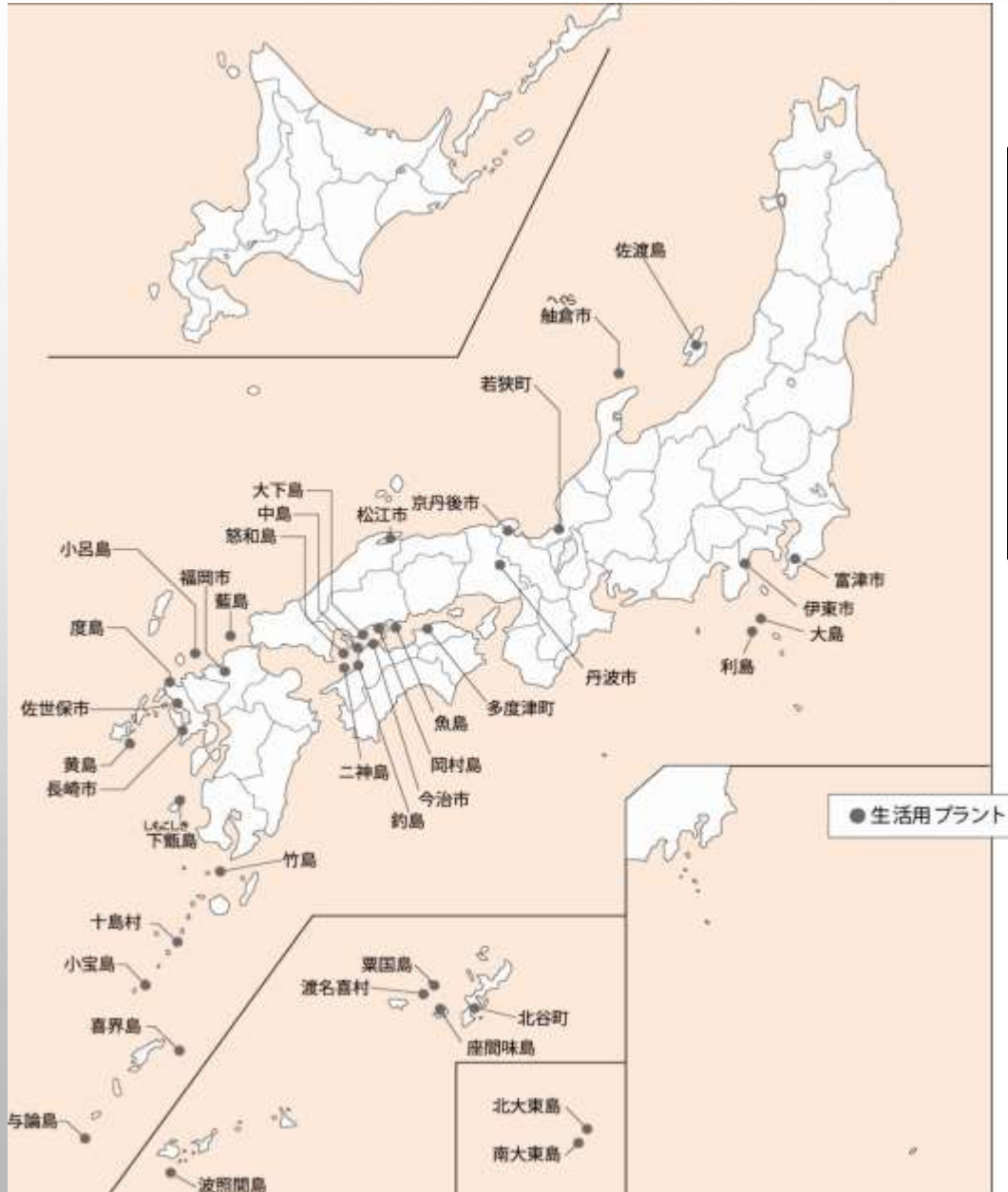
No	運転開始年	国名	容量 (m ³ /d)	方式	原水	プロジェクト名
1	2022	United Arab Emirates	909,000	RO	Seawater	Taweelah IWP
2	2009	Saudi Arabia	880,000	MSF	Seawater	Shoaiba 3
3	2010	Saudi Arabia	800,000	MED	Seawater	Al Jubail
4	2016	Saudi Arabia	728,000	MSF	Seawater	Ras Al-Khair (MSF)
5	2022	United Arab Emirates	681,818	RO	Seawater	Umm al Quwain IWP
6	2023	Israel	670,000	RO	Seawater	Soreq 2
7	2013	United Arab Emirates	636,440	MSF	Seawater	Jebel Ali M Station
8	2022	Saudi Arabia	630,000	RO	Seawater	Khoobar 2 replacement
9	2013	Israel	624,000	RO	Seawater	Soreq
10	2022	Saudi Arabia	600,000	RO	Seawater	Rabigh 3 IWP
11	2022	Saudi Arabia	600,000	RO	Seawater	Jubail 3a IWP
12	2023	Saudi Arabia	600,000	RO	Seawater	Shoaiba 5 (SWCC)
13	2023	Saudi Arabia	570,000	RO	Seawater	Jubail 3b IWP
14	2017	Saudi Arabia	550,070	MSF	Seawater	Yanbu 3
15	2014	Algeria	500,000	RO	Seawater	Magtaa
16	2016	Kuwait	490,970	MED	Seawater	Az Zour North 1 IWPP
17	1983	Saudi Arabia	472,794	MSF	Seawater	Al Jubail (Phase 2)
18	2011	United Arab Emirates	459,146	MSF	Seawater	Shuweihat 2
19	2004	United Arab Emirates	454,200	MSF	Seawater	Shuweihat 1
20	2010	United Arab Emirates	454,200	MED	Seawater	Al Fujairah 2 (MED)

4.6 RO設備の大型プラント(TOP20)

No	運転開始年	国名	容量 (m ³ /d)	原水	プロジェクト名
1	2022	United Arab Emirates	909,000	Seawater	Taweelah IWP
2	2022	United Arab Emirates	681,818	Seawater	Umm al Quwain IWP
3	2023	Israel	670,000	Seawater	Soreq 2
4	2022	Saudi Arabia	630,000	Seawater	Khobar 2 replacement SWRO
5	2013	Israel	624,000	Seawater	Soreq
6	2022	Saudi Arabia	600,000	Seawater	Rabigh 3 IWP
7	2022	Saudi Arabia	600,000	Seawater	Jubail 3a IWP
8	2023	Saudi Arabia	600,000	Seawater	Shoaiba 5 (SWCC)
9	2023	Saudi Arabia	570,000	Seawater	Jubail 3b IWP
10	2014	Algeria	500,000	Seawater	Magtaa
11	2022	Saudi Arabia	450,000	Seawater	Shuqaiq 3 IWP
12	2023	Saudi Arabia	450,000	Seawater	Yanbu 4 IWP
13	2012	Australia	444,000	Seawater	Victorian Desalination Plant
14	2020	Saudi Arabia	400,000	Seawater	Shoaiba 4 (ex Jeddah 4)
15	2022	Saudi Arabia	400,000	Seawater	Jubail 1 replacement SWRO
16	2023	Saudi Arabia	400,000	Seawater	Shuqaiq 4 (SWCC)
17	2004	Kuwait	375,000	Wastewater	Sulaibiya
18	2009	Israel	368,000	Seawater	Hadera
19	2005	Israel	330,000	Seawater	Ashkelon
20	2013	Singapore	318,500	Seawater	Tuaspring (Tuas II)

1. 造水センターとは
2. 世界の水環境と海水淡水化技術について
3. 造水センターにおける海水淡水化技術開発
4. 世界の海水淡水化の動向
5. 日本の海水淡水化の状況
6. 海水淡水化技術の課題と展望

5.1 日本における海水淡水化（生活用）



生活用の海水淡水化量：
約120,000m³/d
(43箇所)
(RO法：10.6万m³/d)
【離島用の生活用水が多い】

工業用の海水淡水化量：
集計は難しいが、生活用
と同等以上

5.2 海水淡水化技術に関する日本企業例

項目	機器・技術	日本企業	備考
取水	取水ポンプ	西島製作所、電業社	独Sulzerなど
	浸透取水	日立造船／ナガオカ	
前処理	UF膜	旭化成ケミカルズ、東レ	蘭Norit、独INGE
	DAFシステム	(多数)	米Xylem
RO	RO膜	東レ、日東電工、東洋紡	米Dow
	ROベッセル	プロテックアリサワ	
	高圧ポンプ 増圧ポンプ	西島製作所、電業社	独Sulzerなど
動力回収装置 (ERD)	ERD 又はポンプ	西島製作所 (米FEDCOターボチャージャとの連動ポンプ) 電業社DeROs (PX往復式のERD)	PX回転式: 米ERI社 PX: DWEER社 ペルトン水車型: 多数
その他	薬剤	栗田工業など	NALCOなど

* 海水淡水化のエンジ会社: 三菱重工、日立製作所、協和機電工業など

出典: 加藤、METI懇談会(2017)

5.3 日本の海水淡水化プラント -仕様-

項目	沖縄プラント	福岡プラント
建設年	1996	2005
施設容量	40,000m³/d	50,000m³/d
ユニット容量x系列数	5,000m ³ /d× 8系列	10,000m ³ /d×5系列
取水設備	深層取水方式	海底ろ過方式
前処理設備	凝集ろ過方式 (圧力式二層ろ過+ポリッシングろ過)	限外ろ過システム (スパイラルPVDF膜)
ROモジュール形式	スパイラル形式 (ポリアミド複合膜)	中空糸形式 (三酢酸セルロース膜)
RO回収率	40%	55-60%
運転圧力	7-7.5 MPa	8.0 MPa
エネルギー回収方式	逆転ポンプ	ペルトンタービン
後処理設備	無	ホウ素除去
放流設備	深層放流ノズル方式	下水混合方式

5.3 日本の海水淡水化プラント -沖縄-

沖縄海水淡水化施設

海水淡水化施設



浄水場の水量は 200,000 m³/d

(5,000m³/d/ユニット、バンク)



5.3 日本の海水淡水化プラント -福岡-



施設面積は約4万m²



福岡地区水道企業団

●海水淡水化設備

処理規模: 50,000 m³ /d

逆浸透 (RO) 法

2005年竣工

出典: 福岡地区水道企業団パンフレット

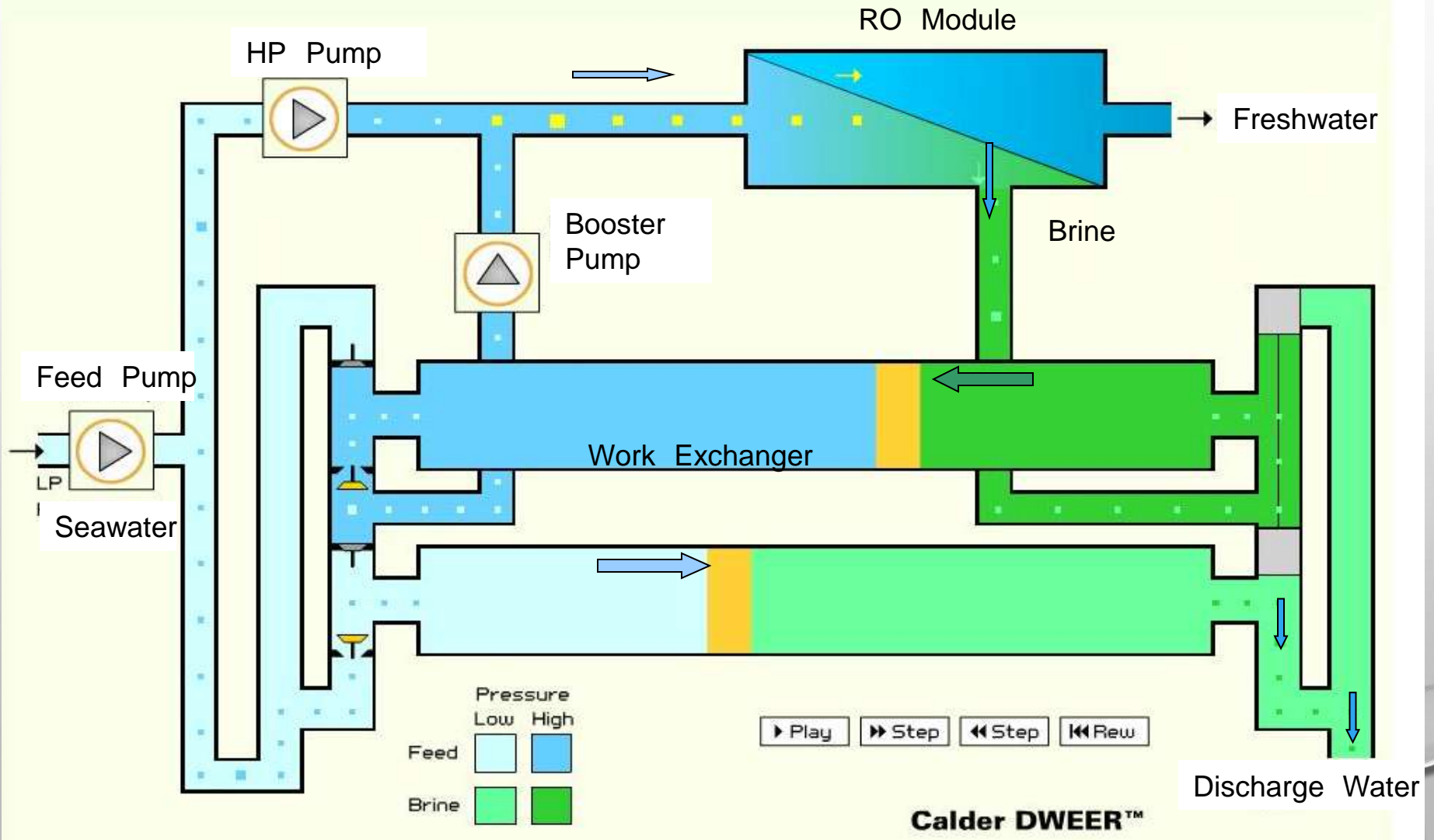
1. 造水センターとは
2. 世界の水環境と海水淡水化技術について
3. 造水センターにおける海水淡水化技術開発
4. 世界の海水淡水化の動向
5. 日本の海水淡水化の状況
6. 海水淡水化技術の課題と展望

6. 海水淡水化技術の課題・対応策と具体例

課題と対応策		具体例
膜	膜性能の改善 ① 高性能膜の開発 ② 運転条件の最適化(膜面流速、温度、洗浄等)	・カーボンナノチューブ含有膜(信州大) ・高フラックス・高排除率膜(各膜メーカー)
	耐ファウリング性の向上 ① 低ファウリング膜の開発 ② 前処理の適正化、ファウリング抑制剤等	・低汚染膜(各膜メーカー) ・バイオフィウリング防止膜(神戸大) ・ファウリング防止剤(栗田、オルガノ)
システム	省エネ性の向上 ① AIによる運転条件の最適化 ② エネルギー回収装置の利用 ③ 創エネ技術の活用	・産業排水処理のAI制御(栗田) ・国産エネルギー回収(電業社) ・濃縮水活用PRO(協和機電工業)
	低コスト化 ① 再生可能エネルギーの活用 ② システムで対応(前処理、ベッセル内組合せ等)	・太陽光発電システム活用(各エンジ) ・高回収システム(日立) ・廃棄膜の再利用(ISO化)
	濃縮技術の向上 ① 耐圧膜、モジュールの開発 ② 高濃縮プロセスの開発(FO膜、MD膜利用等)	・超高圧膜(日東など) ・BCプロセス(東洋紡) ・FO膜利用海淡(JFEなど)
	環境負荷の低減 ① グリーン淡水化(無薬注海水淡水化) ② 海淡・水再利用統合システム ③ 海水総合利用	・無薬注海淡(三菱重工) ・Remixシステム(日立) ・有価塩の回収(NEOMなど)

6.1 海水淡水化の省エネ

<エネルギー回収装置のフロー>



6.1 海水淡水化の省エネ

■ 国産初のエネルギー回収装置



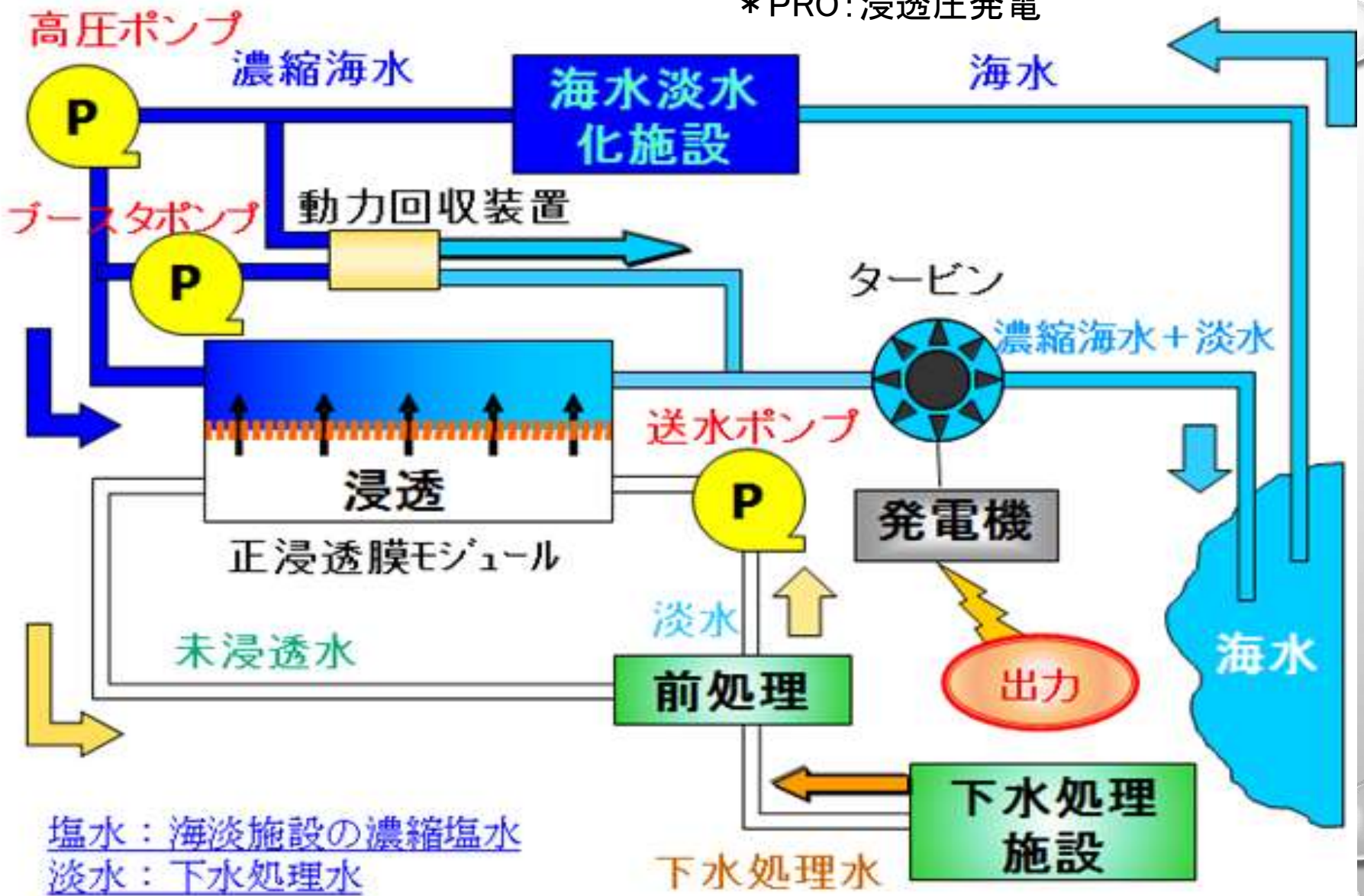
逆浸透膜法海水淡水化用エネルギー回収装置『DeROs』電業社機械製作所 |

イプロスものづくり (ipros.jp)

<https://www.ipros.jp/product/detail/2000669052/>

6.2 海水淡水化濃縮水活用PRO

* PRO: 浸透圧発電

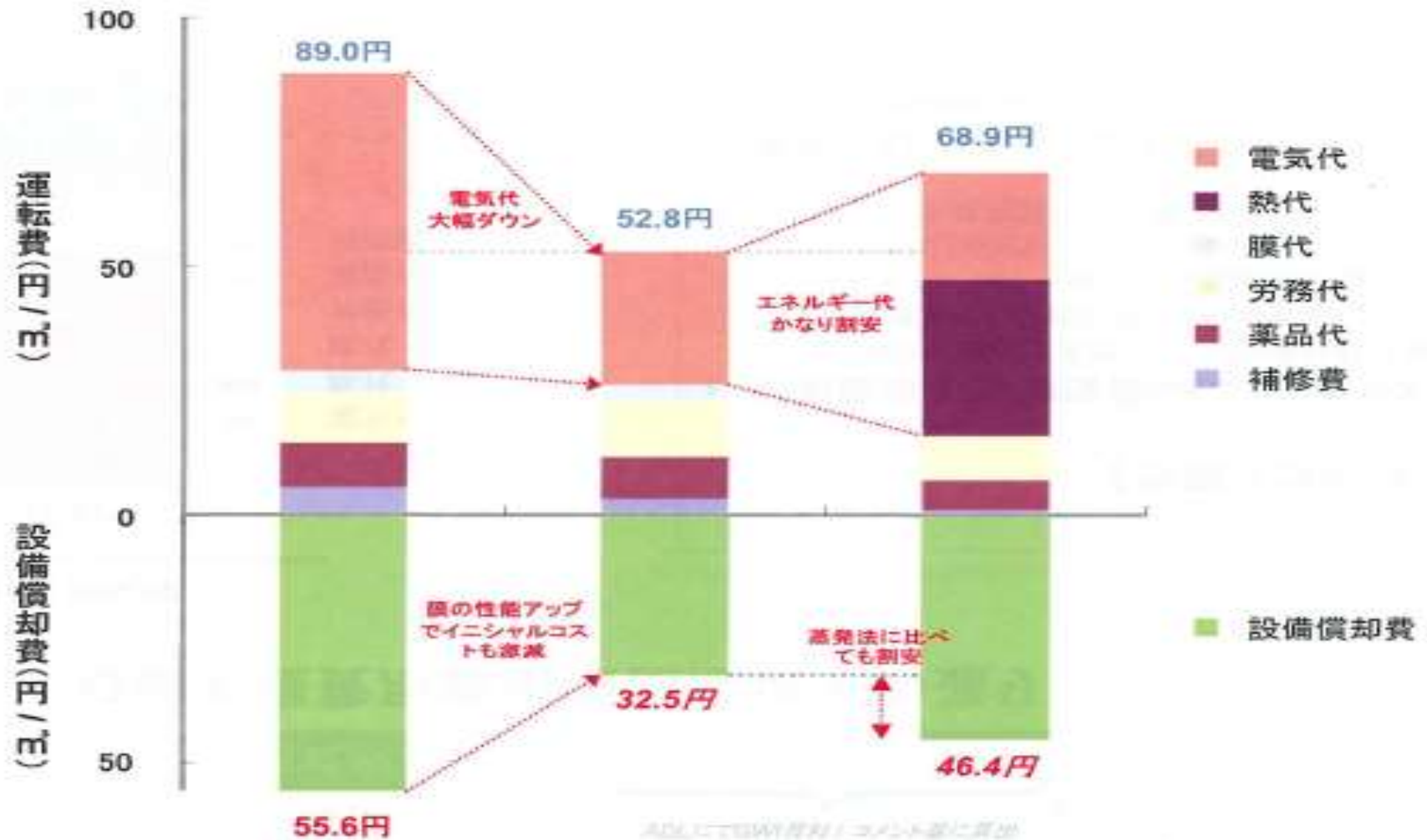


塩水: 海淡施設の濃縮塩水
淡水: 下水処理水

6.3 海水淡水化のコスト

海水淡水化技術のコスト比較

RO膜(2000年) ⇒ RO膜(2007年) 蒸発法(2007年)



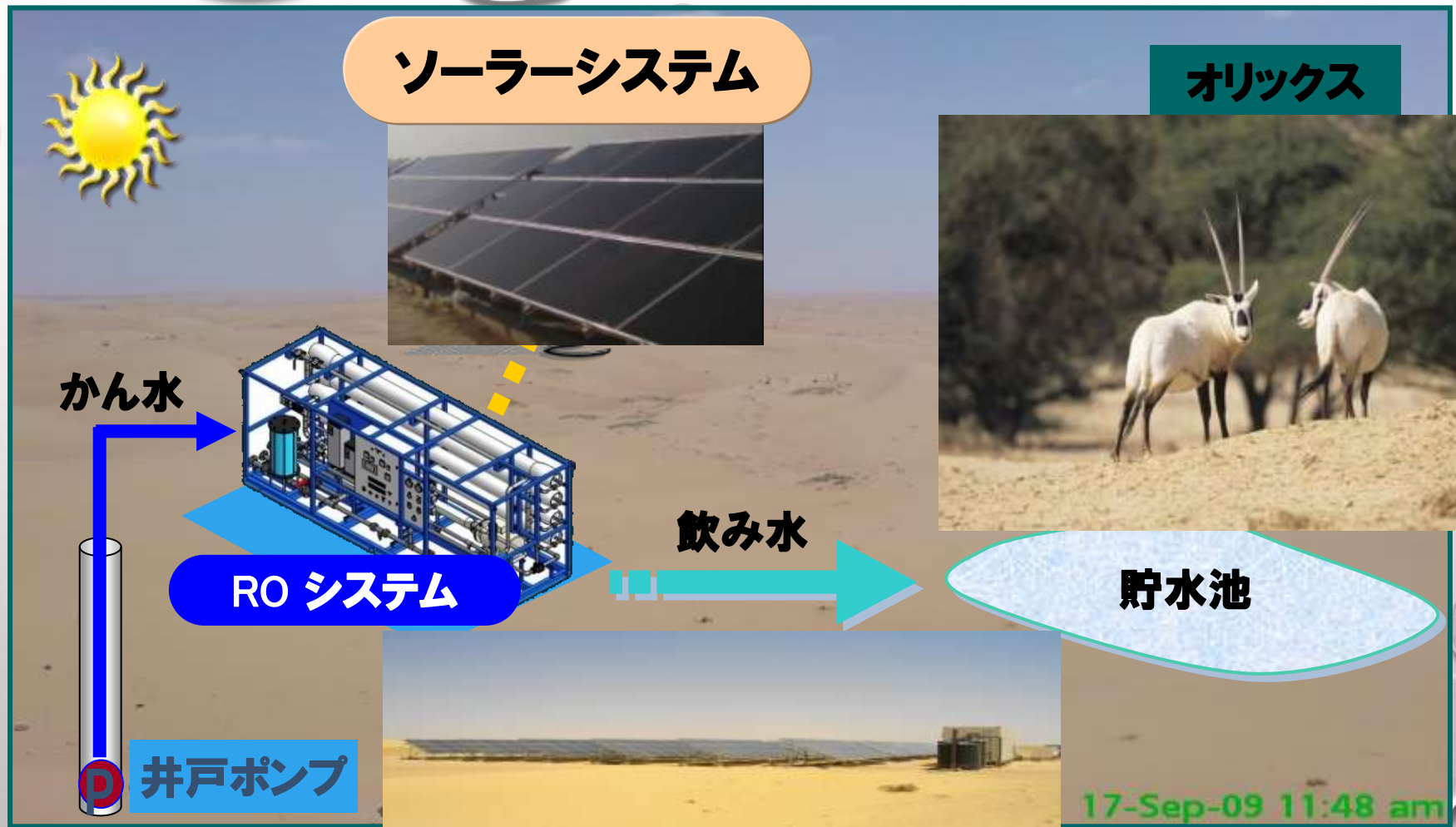
6.3 海水淡水化のコスト

■最近の造水コスト

● Rabihg 3 (Saudi Arabia)	600,000 m ³ /d	\$0.53/m ³
● Shuqaiq 3 (Saudi Arabia)	380,000 m ³ /d	\$0.51/m ³
● Taweelah (UAE)	909,200 m ³ /d	\$0.49/m ³
● Jubail 3A (Saudi Arabia)	600,000 m ³ /d	\$0.41/m ³
● Soreq 2 (Israel)	672,000 m ³ /d	\$0.40/m ³
● Hassyan (UAE) (Saudi Arabia)	545,000 m ³ /d	\$0.28/m ³

Source: GWI/18 September 2018
GWI/WDR, 3 Dec 2018
GWI/DesalData, 23 January 2019

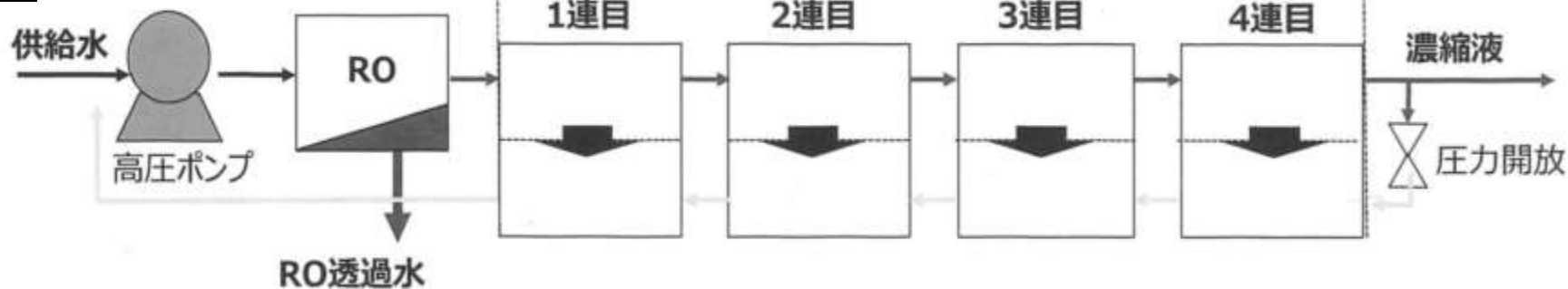
6.4 海水淡水化の省エネ（ソーラーRO）



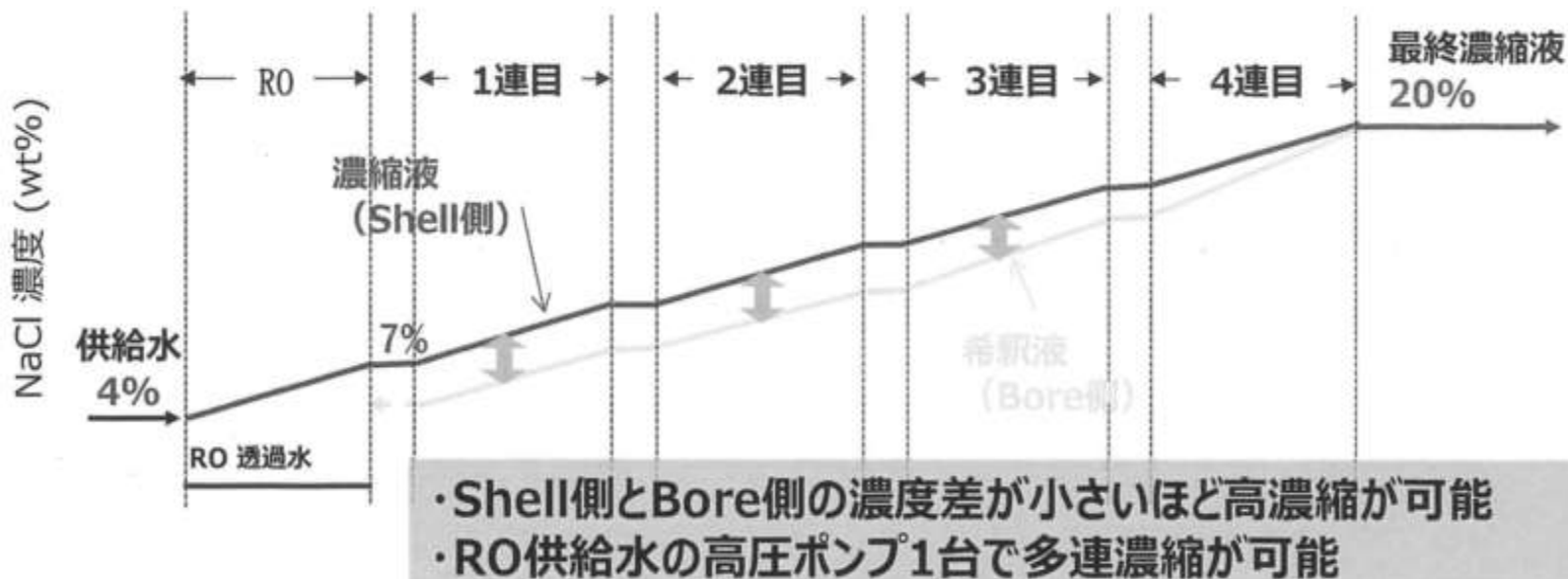
用途：砂漠に生息するオリックス（絶滅危惧種）の水飲み場に供給
処理能力：4.0 m³/h ソーラー出力：45 kW 数量：15式

6.5 濃縮技術の向上—BCプロセス

多連濃縮プロセスフロー



多連濃縮プロセスにおける濃度の推移



備考:

本プロセスにより高濃縮且つ連続運転が可能
連数は必要な最終濃度による

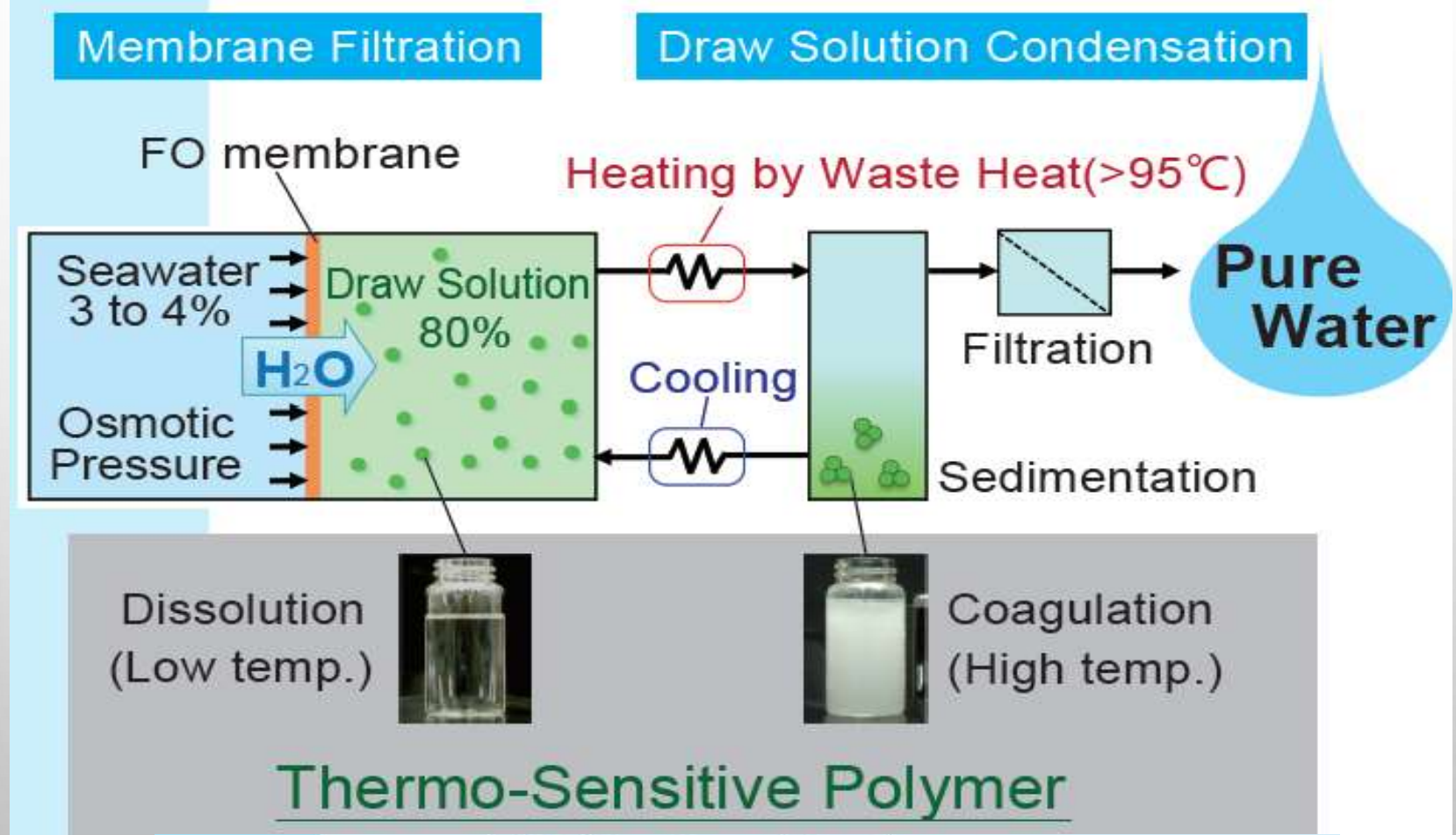
6.6 海水淡水化FO膜システムの開発状況

開発者	DS	特記事項
Yale大学	重炭酸アンモニウム (60~70℃で水と分離)	FO法の海淡適用への スタート
Modern Water社 (英)	DSの再生は、RO膜	100m ³ /dの実機 (オマーン) FO膜は、中空糸膜
Trevi Systems社 (米)	温度応答性の独自DS	UAEで実証 (排熱利用で1.3kWh/m ³) 太陽熱との組合せも検討
JFEエンジ社 (日)	感温性ポリマー	サウジと共同開発 排熱利用

出典:熊野敦夫,膜,43,(1),9-15(2018)を元に表を作成

6.6 海水淡水化FO膜システムの開発状況

●JFEエンジ社のFO膜海水淡水化システム



FO System Feature

- ◆ Electric Power Reduction **40 to 50 %** (compared with RO)
- ◆ Desalination Cost Reduction **15 to 25 %** (compared with RO)
- ◆ Salt Rejection **>99.5 %**

6.7 海水淡水化の環境負荷低減

■ 海淡施設のウォーターフットプリント

福岡施設

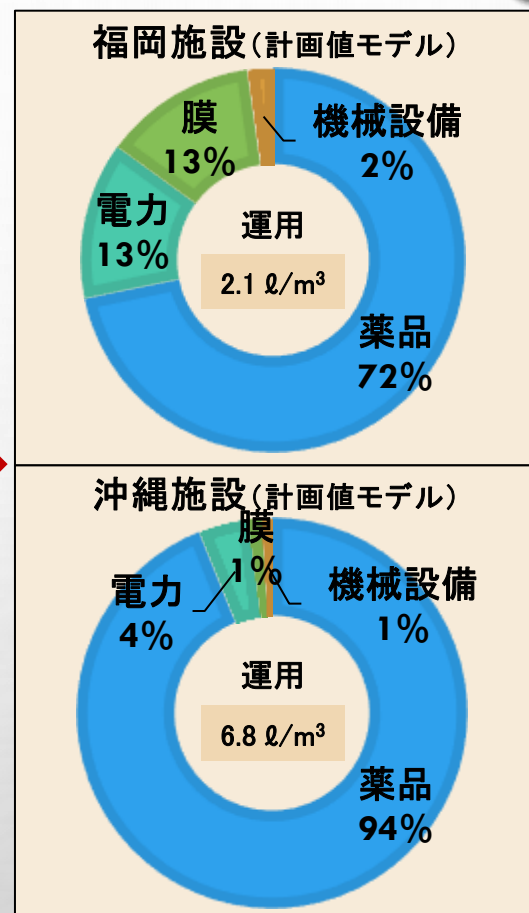
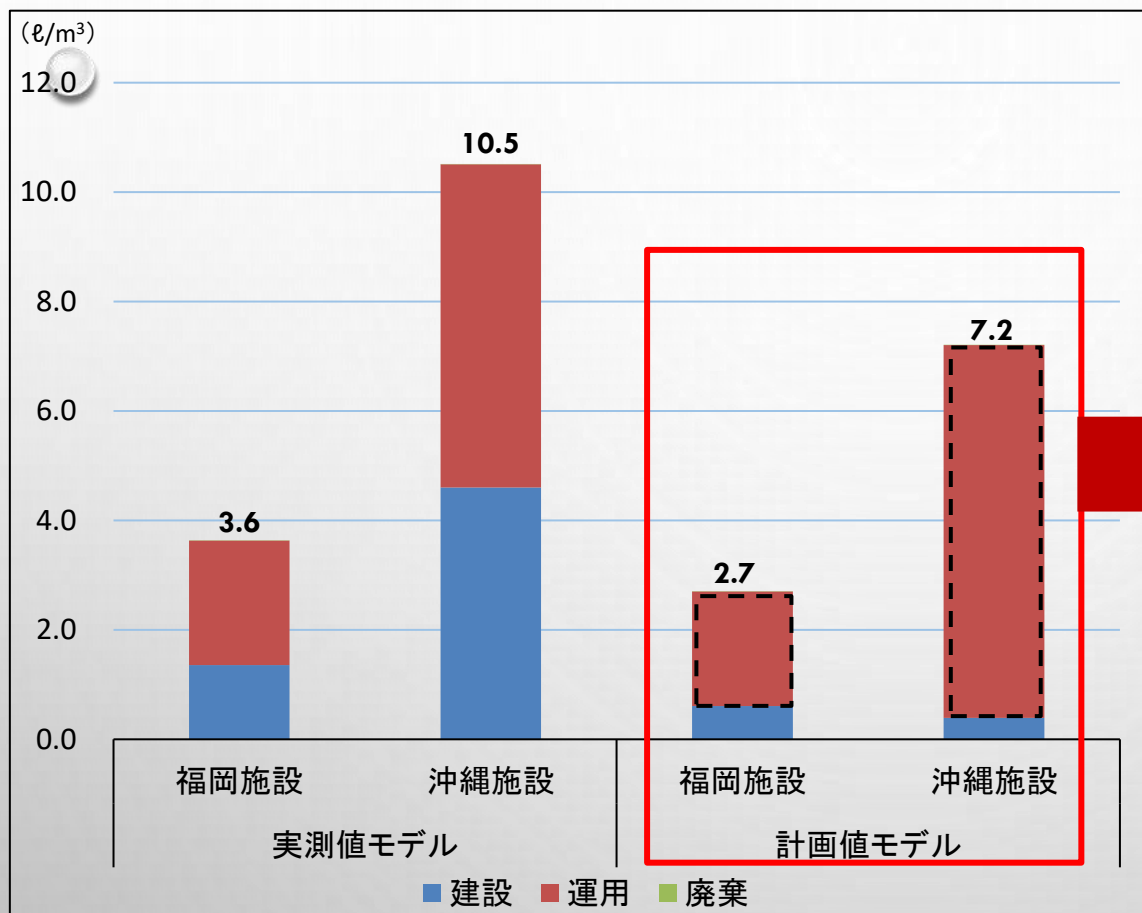
<評価対象概要>

沖縄施設

施設名称	福岡地区水道企業団海水淡水化センター	沖縄県企業局北谷浄水管理事務所 海水淡水化センター
施設写真		
所在地	福岡県福岡市東区	沖縄県中頭郡北谷町
生産方式	逆浸透法 (RO)	逆浸透法 (RO)
取水方式	浸透取水方式	海底取水管方式
放流方式	水中拡散放流方式	水中拡散放流方式
最大生産水量	約50,000m³/d	約40,000m³/d
最大取水量	約103,000m ³ /d	約108,000m ³ /d
前処理	UF膜	砂ろ過
供給開始年月	2005年6月	1996年2月
事業費	約408億円	約347億円
延床面積	約21,202m ²	約17,600m ²

6.7 海水淡水化の環境負荷低減

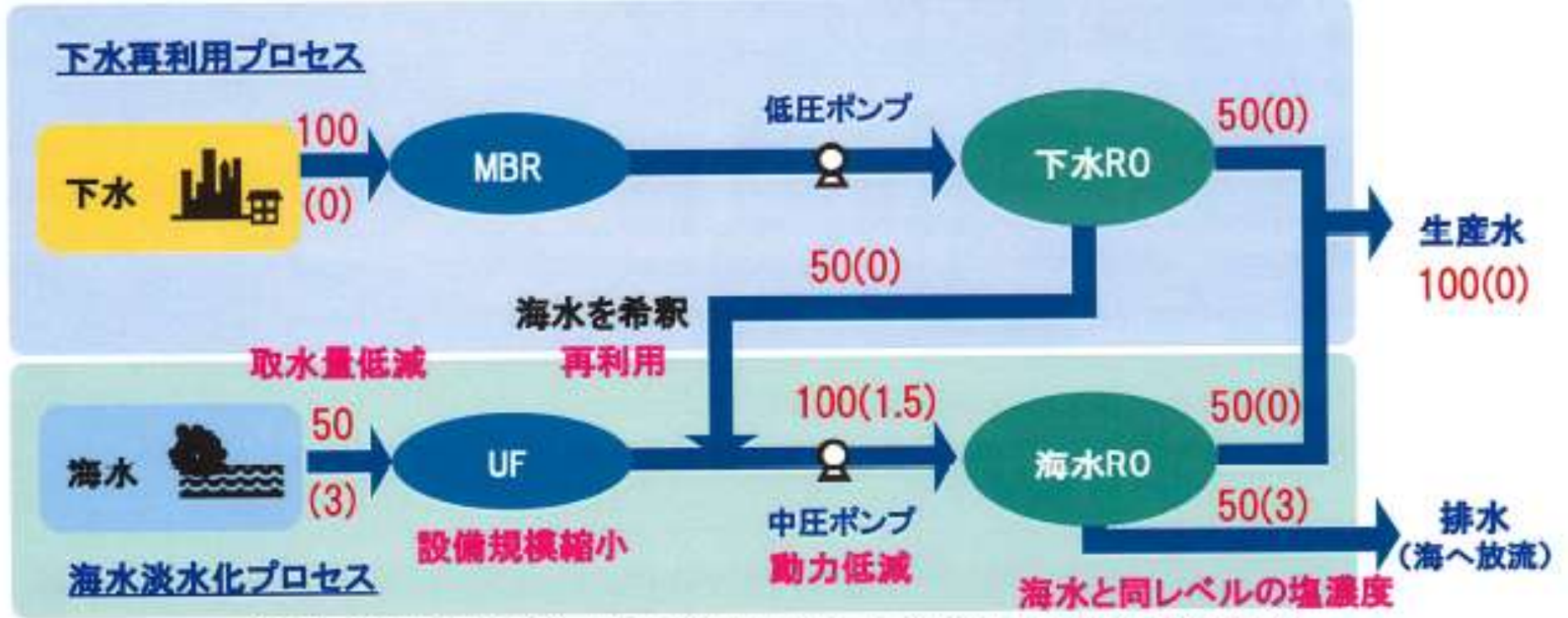
■ 海淡施設のウォーターフットプリント



- 福岡施設、沖縄施設の運用段階におけるWFはどちらも**薬品由来**の水消費が大部分を占める結果となった。
- 沖縄施設で用いられている逆浸透膜は塩素に弱いため、取海水に対し「殺菌」を目的として注入した塩素系薬品を逆浸透膜透過前に還元する必要があるため、相対的に薬品の使用量が増える。

6.7 海水淡水化の環境負荷低減

■海淡-水再利用統合システム【NEDOプロジェクト】



(RO回収率50%の例。図中の数字は水量(-)、括弧内は塩分濃度(%))

省エネ

✓ 海水の塩濃度を下げることによりROポンプ動力を低減

低環境負荷

✓ 海水RO排水の塩濃度を海水と同レベルに

低コスト

✓ 海淡前処理の規模縮小 (取水量低減)

ご清聴ありがとうございました



〒103-0003 東京都中央区日本橋横山町4番5号
一般財団法人 造水促進センター

TEL:03-5644-7565 FAX:03-5644-0686

URL: <http://www.wrpc.jp/index.htm>