

2005年11月4日 駒場総合科目 (1101教室)

---

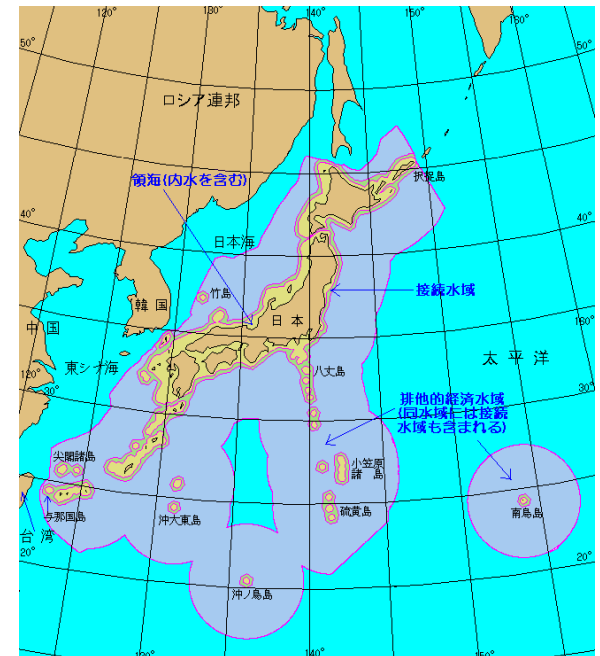
# 海洋空間利用

東京大学大学院工学系研究科  
環境海洋工学専攻  
鈴木 英之

# 本日の話題

1. 超大型浮体による海洋空間の利用  
メガフロート
2. 風力発電  
海洋は風力エネルギーの宝庫
3. 資源・エネルギー開発  
海洋の鉱物資源  
エネルギー資源

出典：海上保安庁HP



# メガフロートによる海洋空間利用

---

わが国の200海里面積：447万km<sup>2</sup> 世界第6位の面積  
国土面積：約38万km<sup>2</sup>

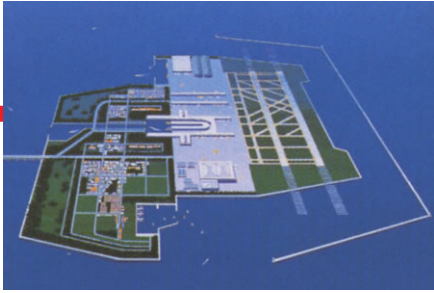
## 人間活動の場となる海洋空間

交通・物流	空港、港湾、エネルギー基地
自然エネルギー	風、太陽、波、温度差、潮流・海流、潮汐
鉱物資源	マンガン団塊、コバルト・クラスト、熱水鉱床
生物資源	漁業
化石燃料	石油・天然ガス

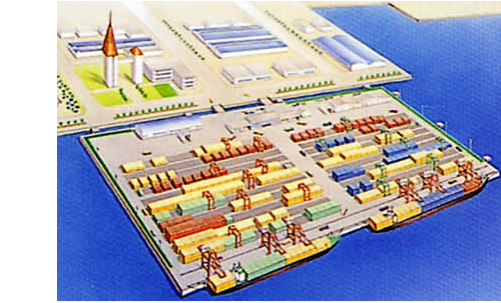
## 開発・利用のための基盤

メガフロート

# メガフロートの概念



浮体式空港



洋上コンテナターミナル



スポーツ施設



レジャー施設



ごみ処理施設



浮体式防災基地

# メガフロートの歴史

---

19世紀	「動く人工島」、ジュールベルヌ
1924	「シードローム」、Armstrong
1950年代	「海洋都市」、日本建築家
1960's	人形劇「ひよっこりひょうたん島」
1973-1974	関西国際空港 フェーズ1 浮体案（セミサブ型）
1975	沖縄海洋博覧会
1988	上五島石油備蓄基地 390m x 97m x 27.6m x 5基
1996	白島石油備蓄基地 397m x 82m x 25.1m x 8基
1994	関西国際空港 フェーズ2 沖合い拡張（ポンツーン型）
1995/5	メガフロート技術研究組合
1995-1996	メガフロートフェーズ1実験 300m x 60m
1997-	メガフロートフェーズ1実験 1000m x 60-120m、離発着実験

# Seadrome

---

1930年代 北大西洋横断航空路開拓

Armstrong Seadrome (circa 1940)





# ひょっこりひょうたん島

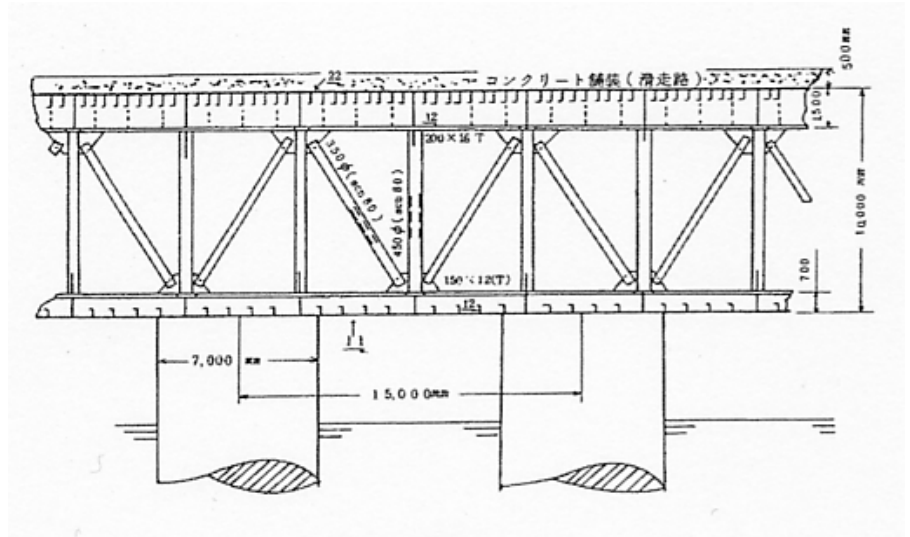
1960年代 人形劇

浮島が村人を乗せて世界中を旅する



# 関西国際空港の工法案

フェーズ2 フェーズ1



半潜水型浮体 (セミサブ)

関西国際空港 フェーズ1 (1973)



# 沖縄国際海洋博覧会

---



“アクアポリス” 海洋都市  
沖縄国際海洋博覧会（1975）

# 浮体式石油備蓄



上五島石油備蓄基地

上五島 1988 (27.7Million bbl)  
白島 1996 (35.2Million bbl)

## 石油備蓄

296.0Million bbl

陸 7基地

海 2基地

地下 1基地

## 民間備蓄

296.0Million bbl

# 米国における検討

---

ポンツーン型滑走路

1942年12月～1944年2月



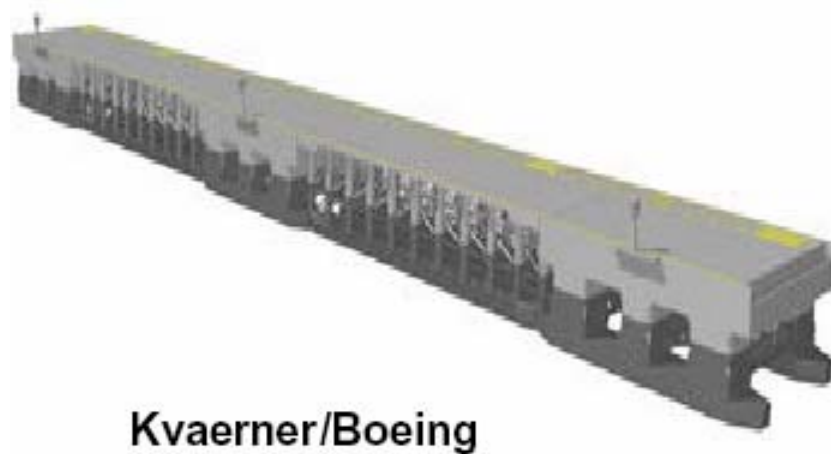
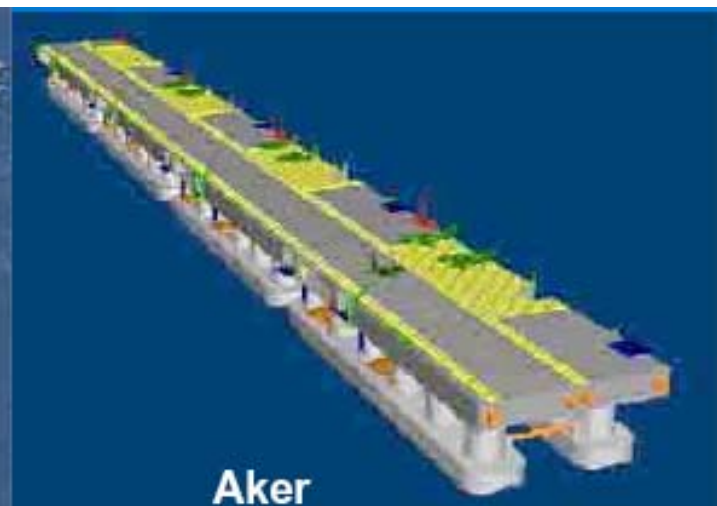
ポンツーン

$7\text{ ft} \times 5\text{ ft} \times 5\text{ ft}$

全体

$1,810\text{ ft} \times 272\text{ ft} \times 5\text{ ft}$

# 移動式海上基地 (MOB、Mobile Offshore Base)



# メガフロート技術研究組合

---

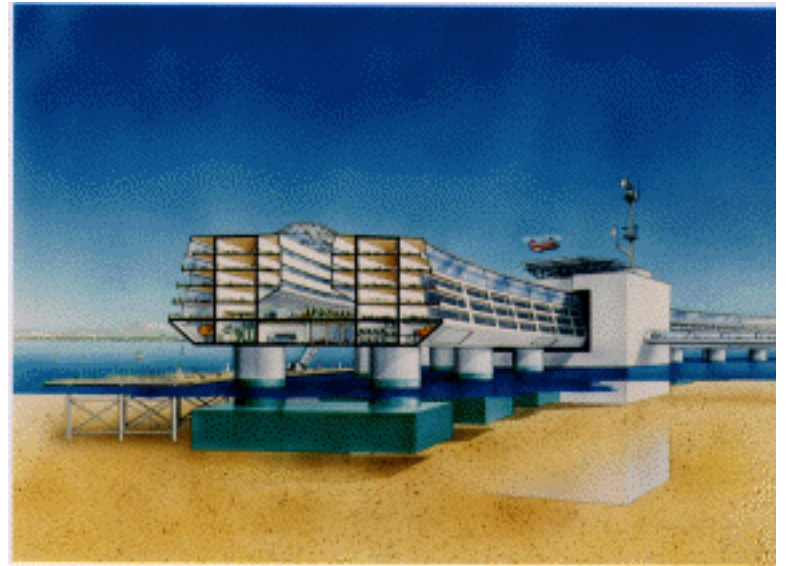
日本が世界をリードする

1993

運輸技術審議会（国土交通省）  
超大型浮体の開発利用

1995

メガフロート技術研究組合設立

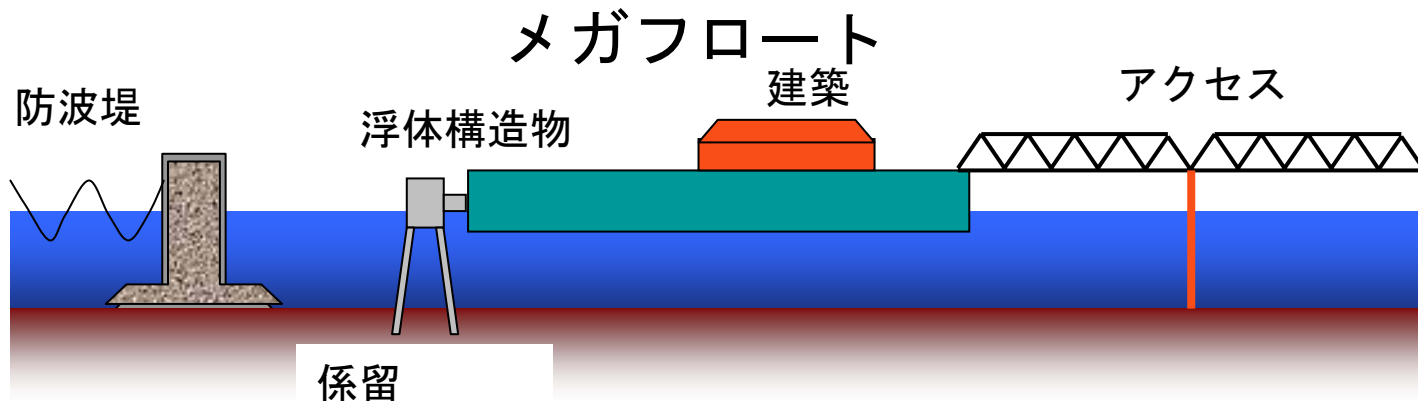


浮体式海洋都市



# 技術研究組合の目的

1. 静穏海域における海洋空間利用の技術開発  
ポンツーンタイプ、低コスト
2. 技術の健全性の証明と実証
3. 実プロジェクトとしての実現  
首都圏第三空港、羽田東京国際空港新滑走路





浮体式空港

## 航空旅客輸送容量の不足

### 年間旅客数

#### 第1種空港

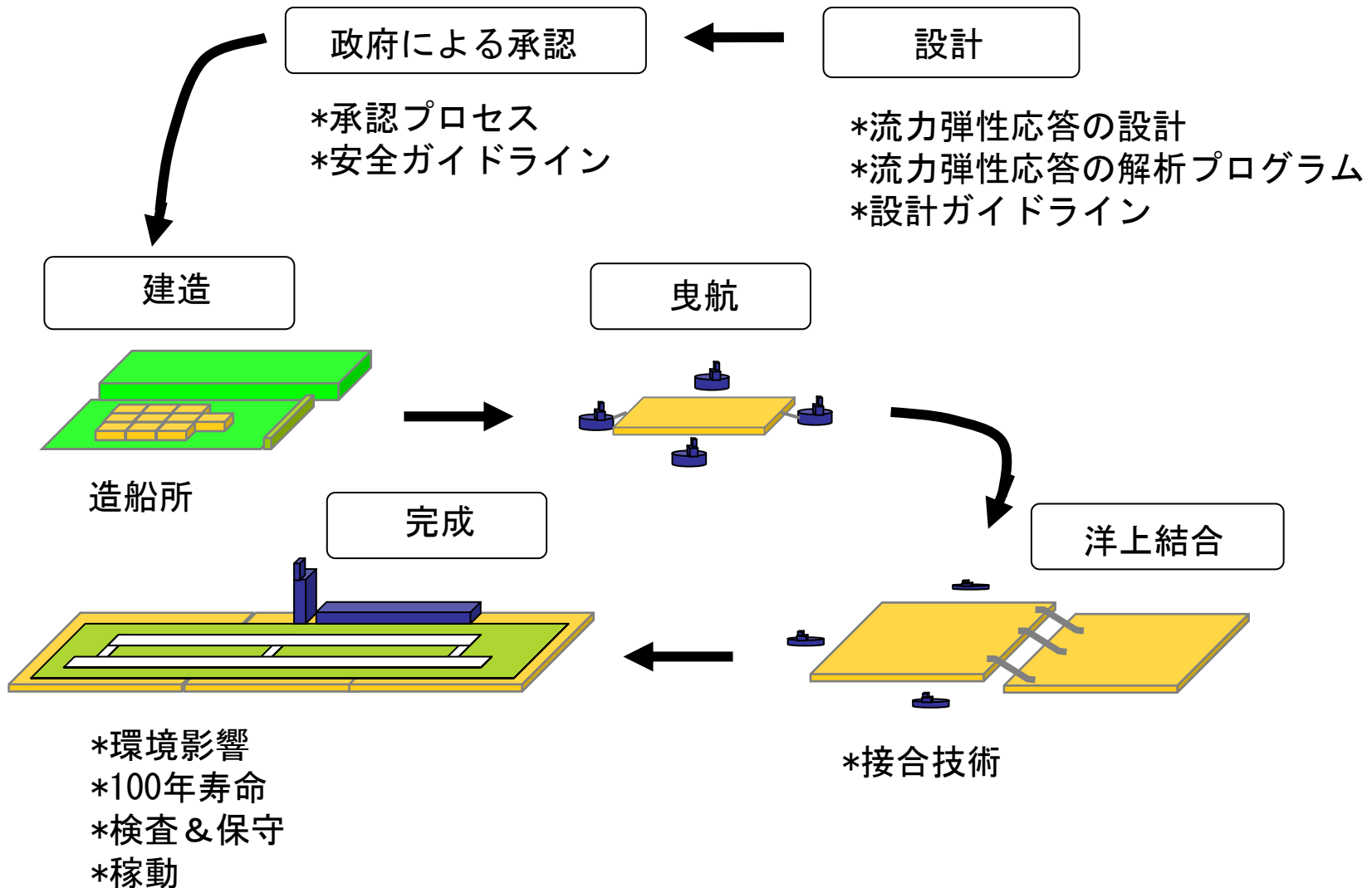
羽田 5640万人(東京、国内)

成田 2740万人(東京、国際)

関西 2050万人(関西、国際)

伊丹 1630万人(関西、国内)

# メガフロート技術研究組合における研究



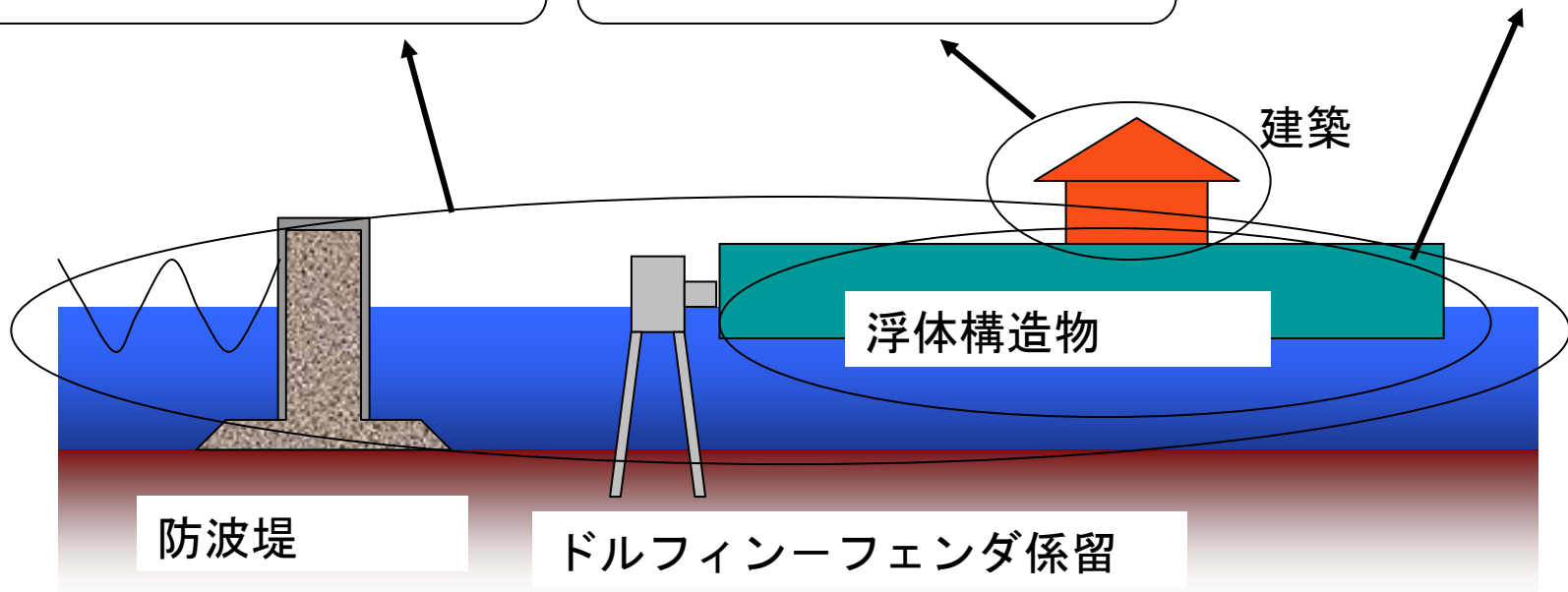
# 超大型浮体の安全ガイドライン(規則の整備)

## メガフロートに関連する法律

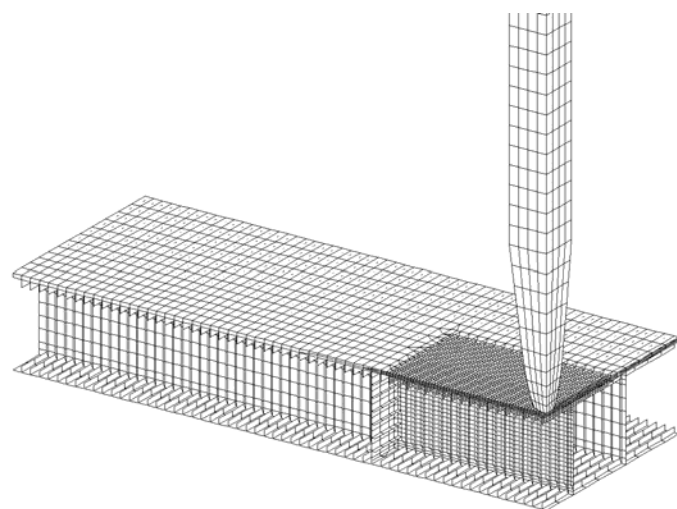
\* 港湾法  
\* 漁港法

\* 建築基準法  
\* 消防法

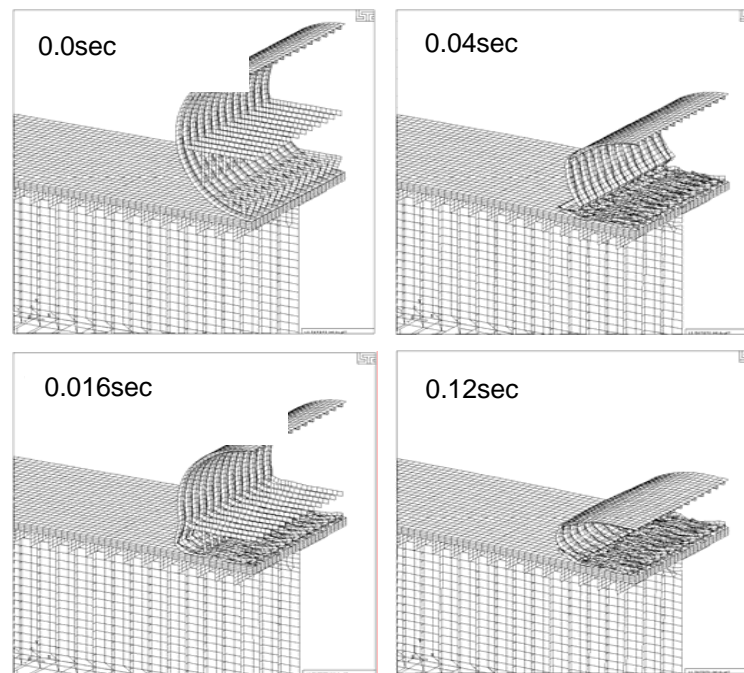
\* 船舶安全法



# 事故や衝突に対する安全性



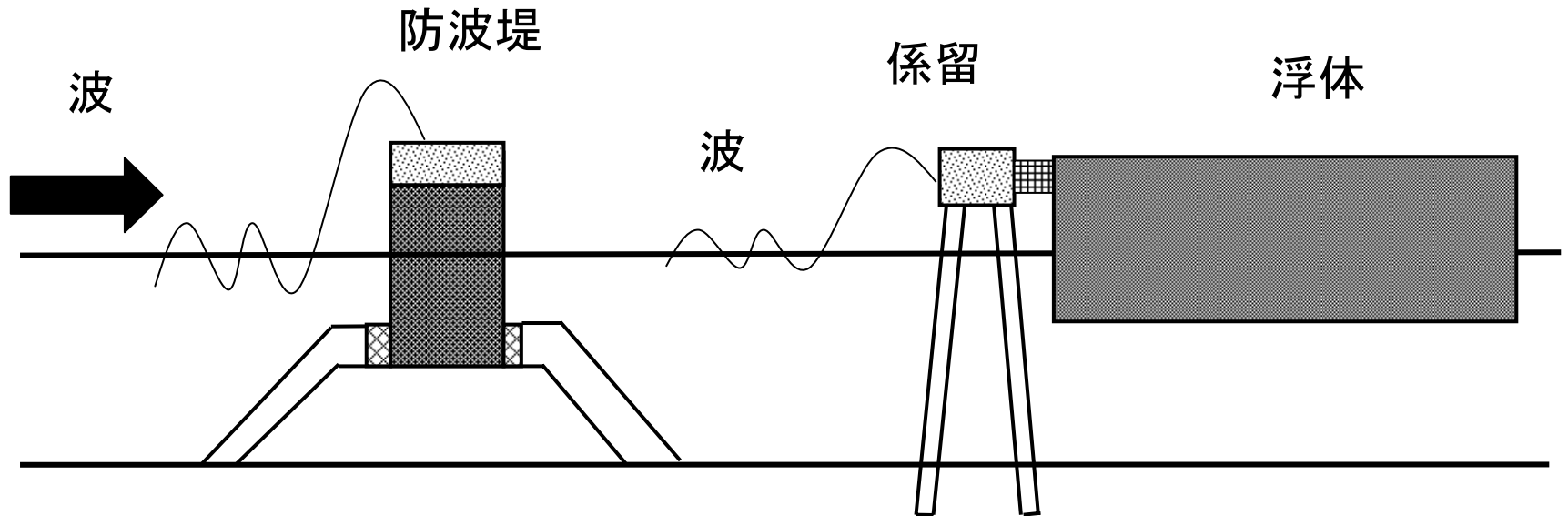
Collision Speed 100m/s



シミュレーションモデルと機体墜落計算の結果



# 嵐による浮体の破壊と漂流に対する安全性



# 安全性の目標（設計基準）

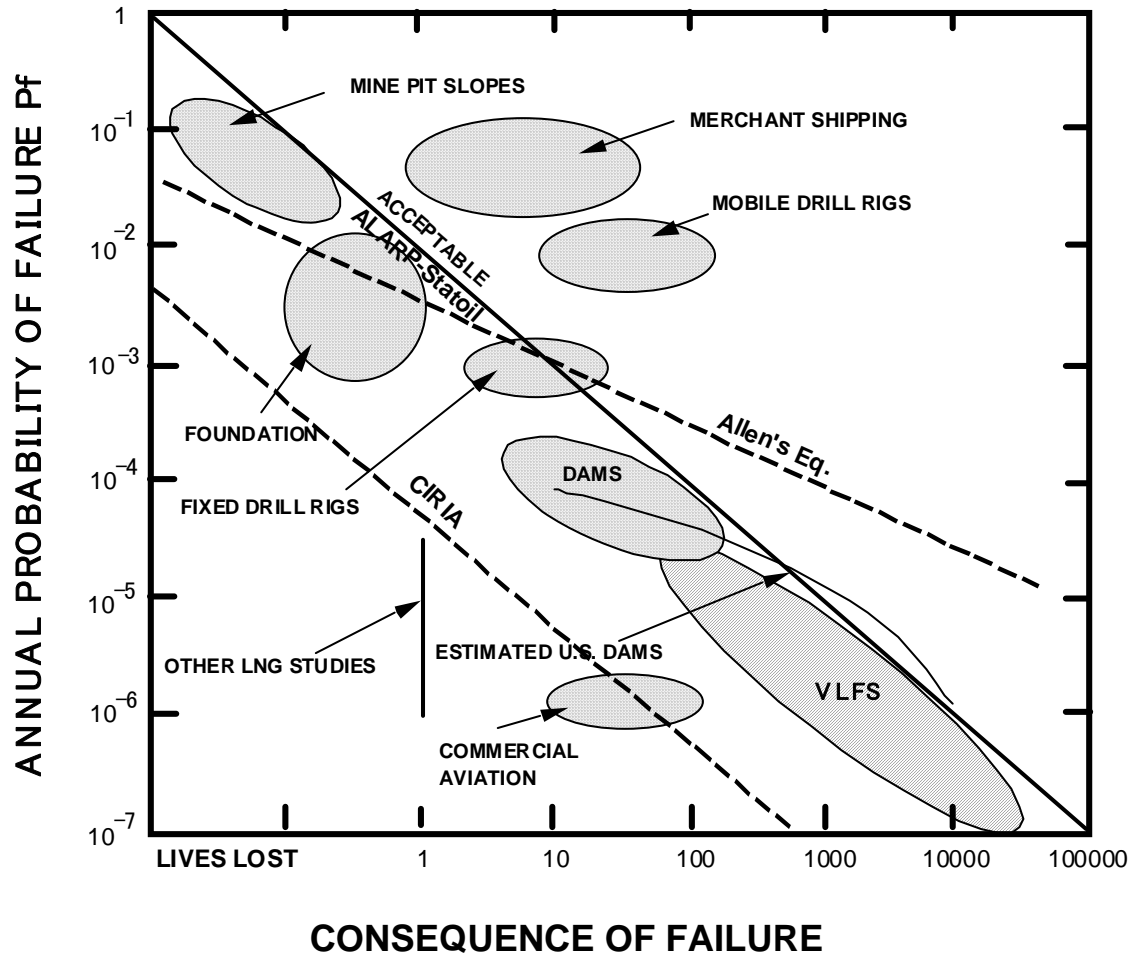
## 社会に受け入れられる安全性（リスク）の研究

活動	FAR	リスクの受容性を支配する主要因
自動車	43.5	主観が作用
民間航空	46.3	
鉄道（全体）	4.3	a) 恐ろしさ (Dread)
鉄道（旅客）	2.6	b) 未知性 (Unknown)
海運	6.3	c) 災害規模 (Number of people involved)
火災	0.20	d) 能動性 (Active)
病気	74.9	修復不可能性
産業	0.64	巨大技術に対する社会の懸念
自然災害	0.016	受動的リスクに比べ1,000倍許容

FAR (Fatal Accidental Rate)

暴露時間 1 億人時あたりの犠牲者数

# Target Safety of Mega-float

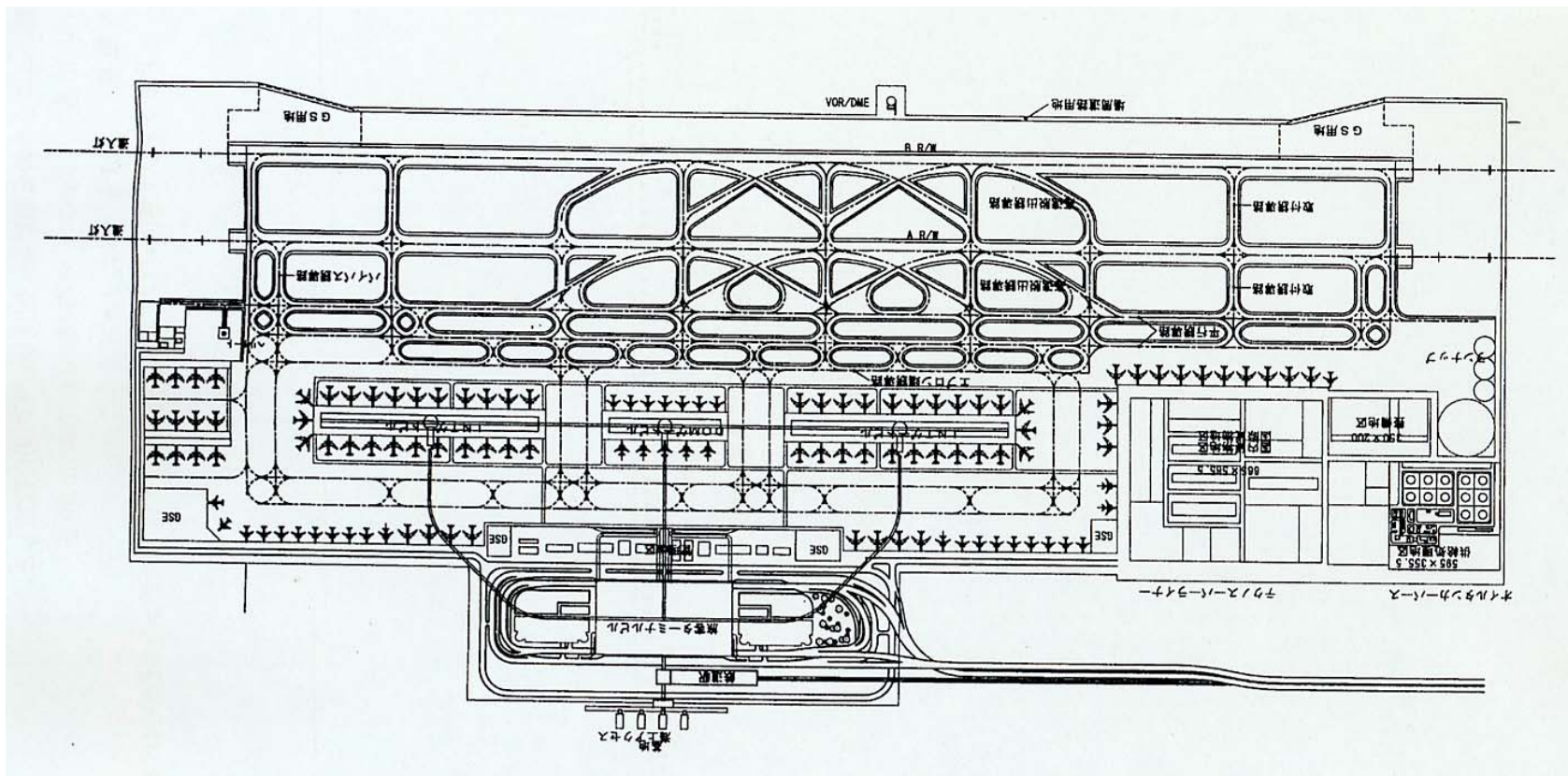


# 機能的目標（設計基準）

## 滑走路の機能的基準

施設	基準	規則
滑走路	傾斜 長さ方向 < 1.0 deg. 横断方向 < 1.5 deg. 曲率半径 > 30000m	空港施設設計基準
タクシー路	傾斜 長さ方向 < 1.5 deg. 横断方向 < 1.5 deg. 曲率半径 > 3000m	
ILS/GS	取り付け誤差 < 0.144 deg.	民間航空法
PAPI	取り付け誤差 < 0.1 deg.	

# 空港モデルの計画



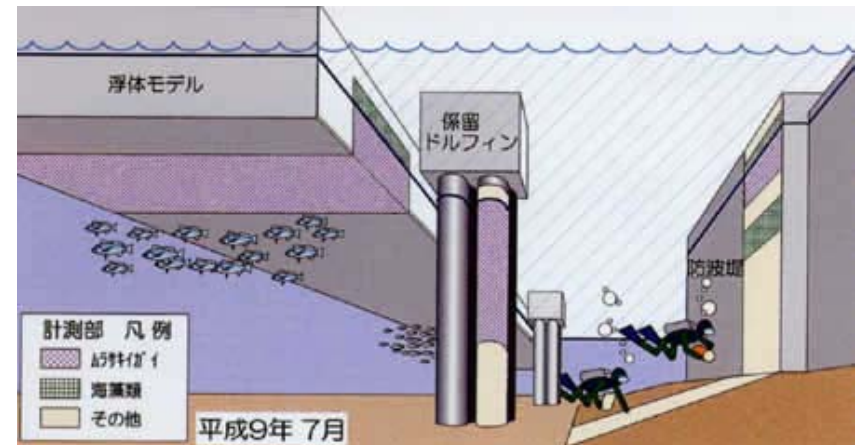
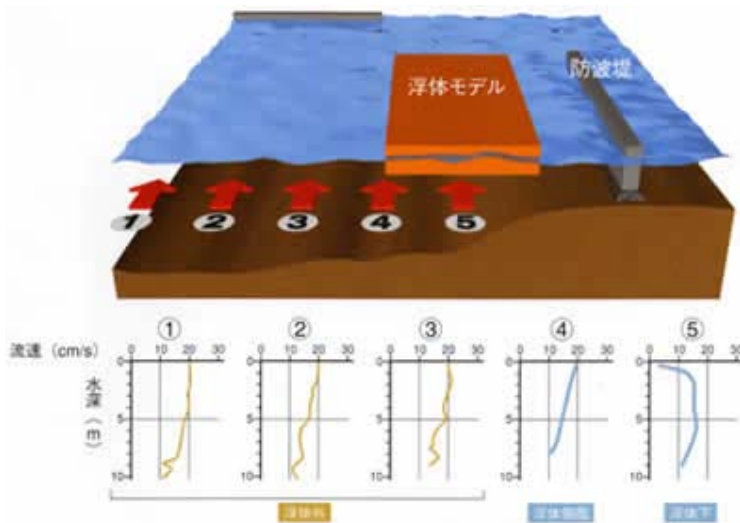


# 環境影響研究

1. メガフロート下および回りの流れ
2. 水質
3. 海底底質
4. 海洋物理
5. 海洋生物



実験浮体下の魚



# 実海域実験

---

## メガフロート フェーズ1 実験 (1995)



100m x 20m x 9 基

---

## メガフロート フェーズ2実験 (1997)



1000m x 60-140m

# 浮体の弾性変形の影響評価

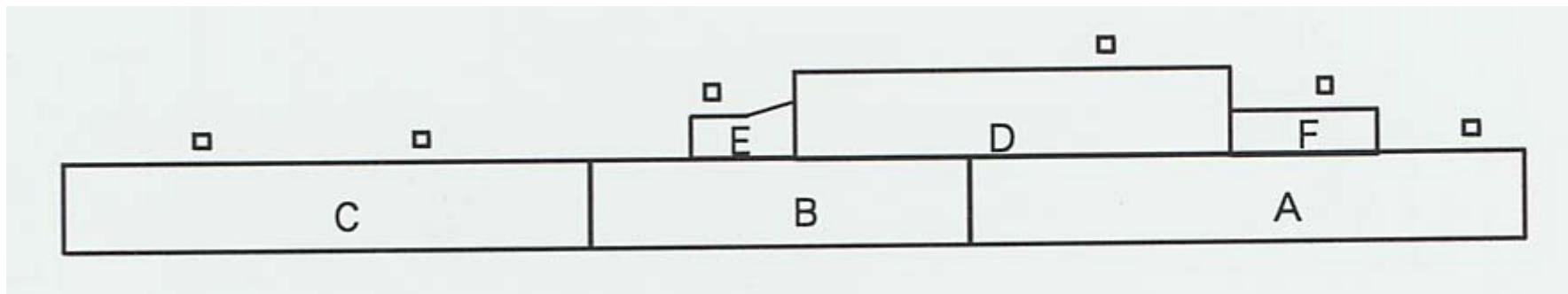
ILS (Instrumented Landing System)

PAPI (Precision Approach Path Indicator)

- 1) 1000mフェーズ2モデルを用いた実験
- 2) 航空会社のフライトシミュレーターを用いた実験



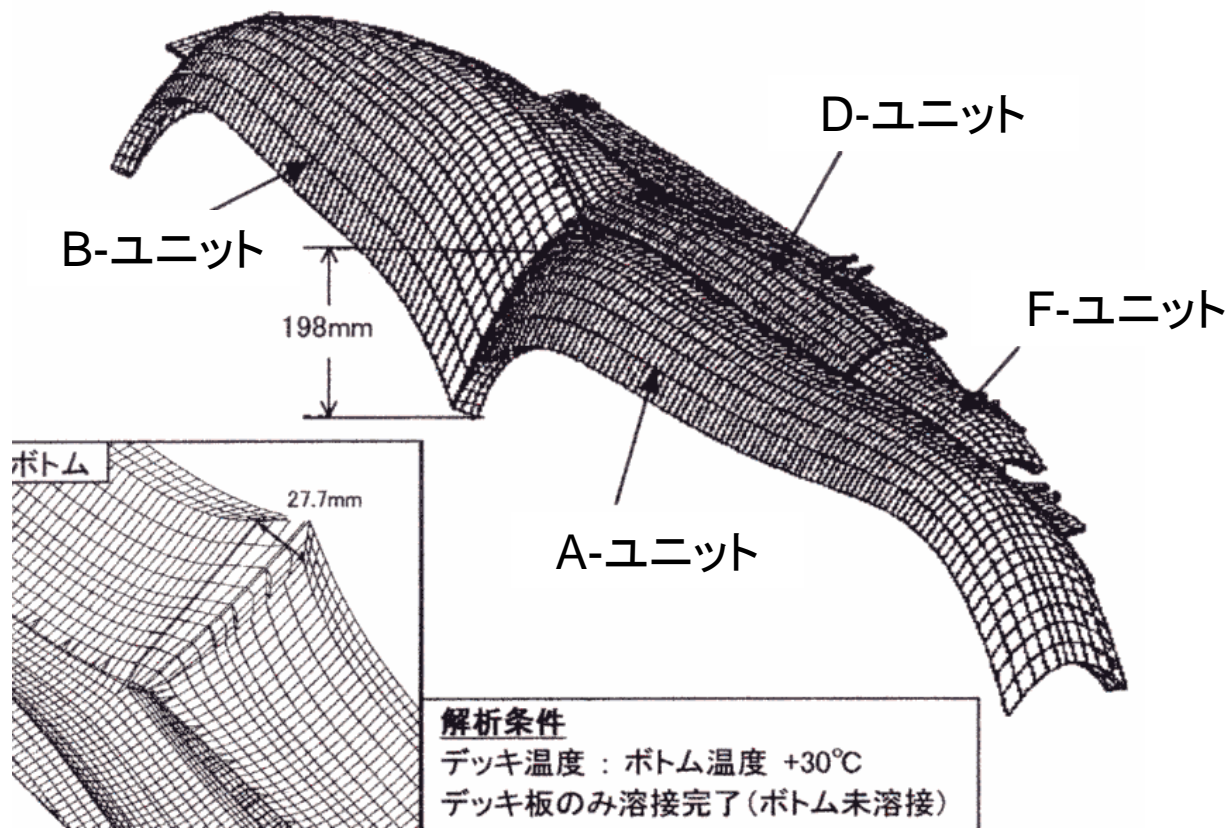
# フェーズ2モデルの建造



Unit	Size (L x B x D)
A	383m x 60m x 3m
B	258m x 60m x 3m
C	359m x 60m x 3m
D	300m x 60m x 3m
E	64m x 31.3-34.5m x 3m
F	100m x 29.70m x 3m



# 日射による熱変形







# GUINNESS<sup>®</sup> WORLD RECORDS

## CERTIFICATE

ON 10 AUGUST 1999, THE WORLD'S LARGEST  
MAN-MADE FLOATING ISLAND THE  
MEGA-FLOAT WAS OPENED TO THE PUBLIC  
AT YOKOSUKA PORT, TOKYO BAY,  
TOKYO, JAPAN. THE STRUCTURE MEASURES  
1000 METRES IN LENGTH, 121 METRES WIDE  
AND 3 METRES DEEP

Keeper of the Records  
GUINNESS WORLD RECORDS LTD

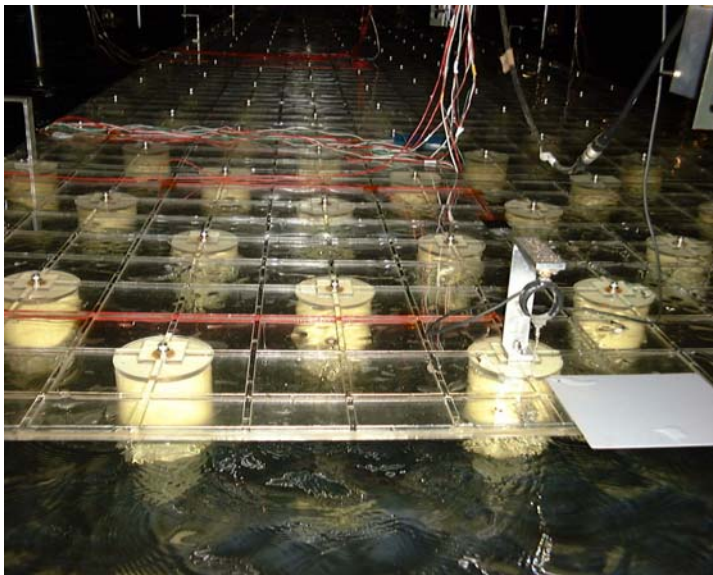
A handwritten signature in black ink, appearing to read 'R. Peckham', is written over the printed name of the Keeper of the Records.

# セミサブ型メガフロート

---

1. 流力弾性応答解析プログラム VODACの開発
2. 水槽実験による検証





水槽実験

風洞実験



# メガフロート技術研究組合後のプロジェクト



メガフロート情報基地  
L200m x B100m x D2m



ワールドカップメガパーク  
L200m x B100m x D2m



熊野灘マリンパーク  
L120m x B60m x D3m



南淡うずしおメガフロート  
L101m x B60m x D3m

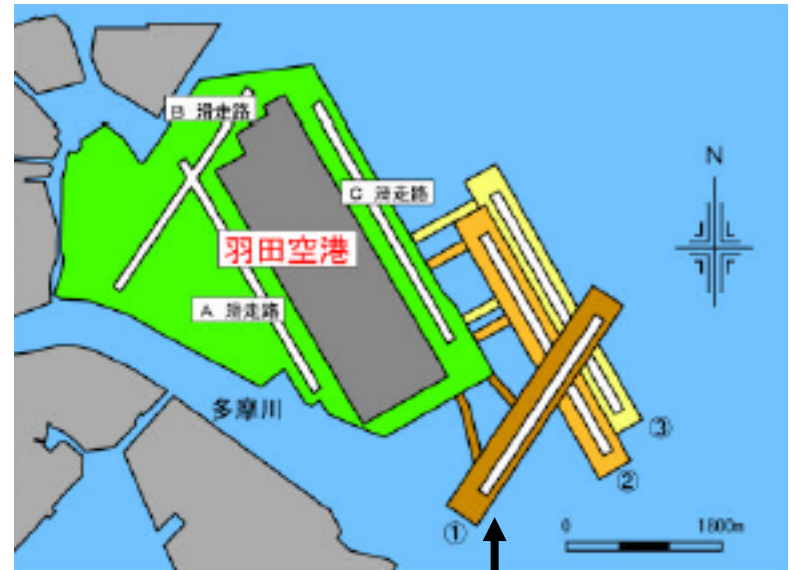
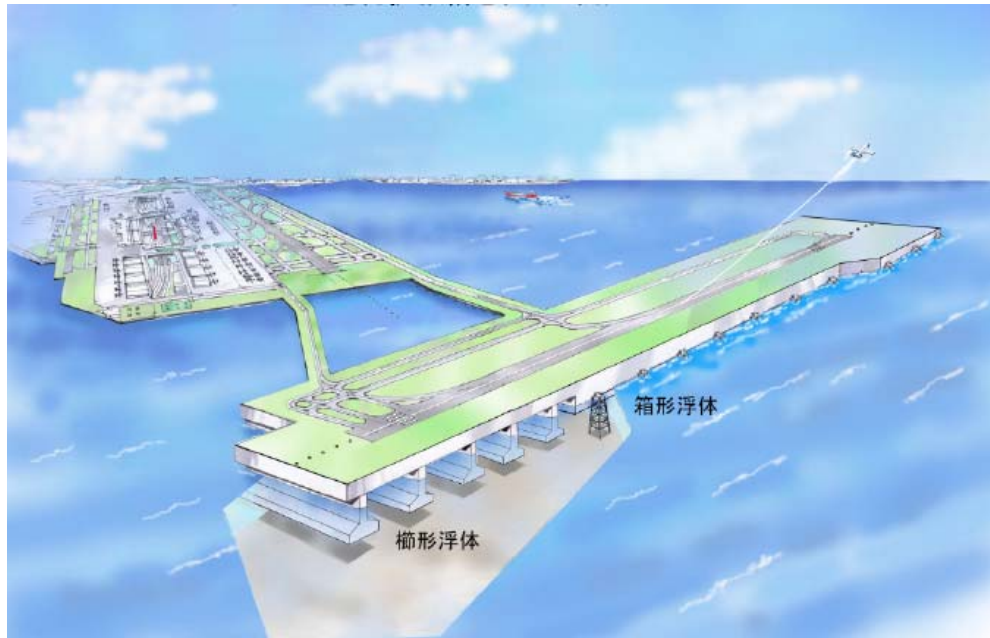


フェリー棧橋  
L143m x B20m x D3m



清水港フィッシングパーク  
L143m x B20m x D3m

# 羽田東京国際空港の新滑走路

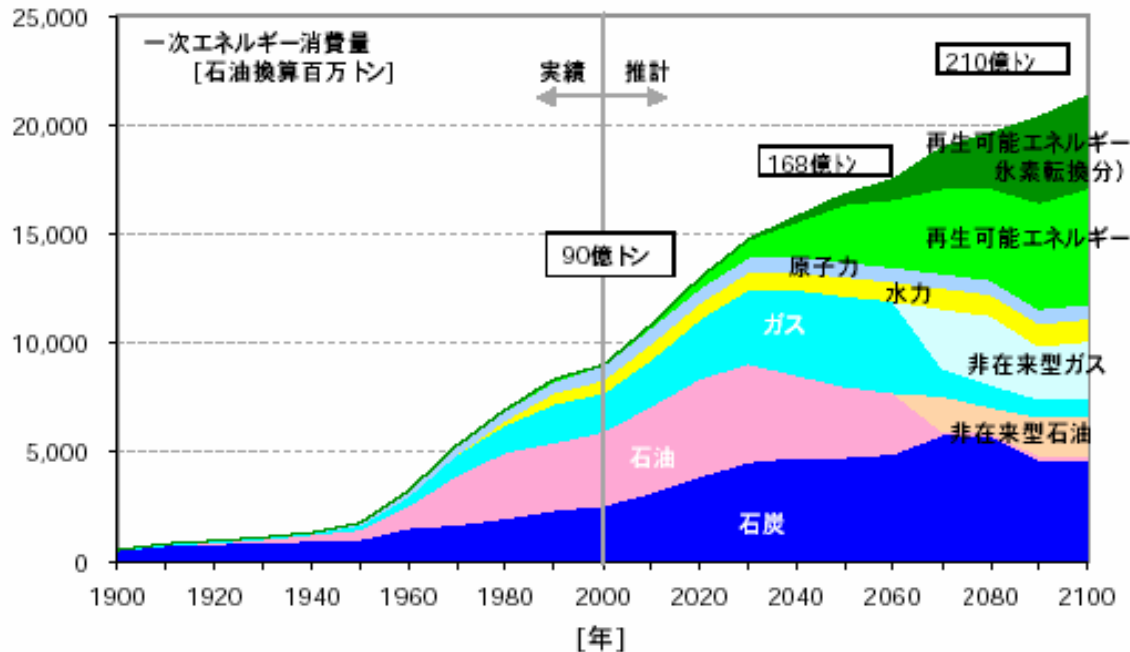


新滑走路

# 洋上風力エネルギー

## 海洋の自然エネルギー

太陽光発電、風力、波、潮流・海流、潮汐、温度差



世界の長期エネルギー需給予測  
(日本エネルギー経済研究所, 2003)



# ヨーロッパの風力エネルギー利用



デンマーク コペンハーゲン  
ミッドグルンデン洋上風力発電40MW

風力発電で国内電力の16%をまかなう

# ヨーロッパの動向

1973年 オイルショック エネルギー自給自足の必要性、北海油田開発

1986年 チェルノブイリ原発事故 全ヨーロッパに被害

1990年代 地球環境問題、ヨーロッパへの影響大

## ドイツ

2000年 脱原発政策

代替エネルギー 確保の問題 風力発電に注力

2010年までに再生可能エネルギーのシェアを5%から10%

## デンマーク

1985年 原子力計画を放棄

1996年 再生可能エネルギー導入政策

現在、石油依存率40%(北海油田)、 風力、コージェネなどの分散型発電 で60%

## スウェーデン

1980年 脱原発国民投票

持続可能なエネルギー政策

原発の廃止(2000年時点原発は電力の39%を占める)

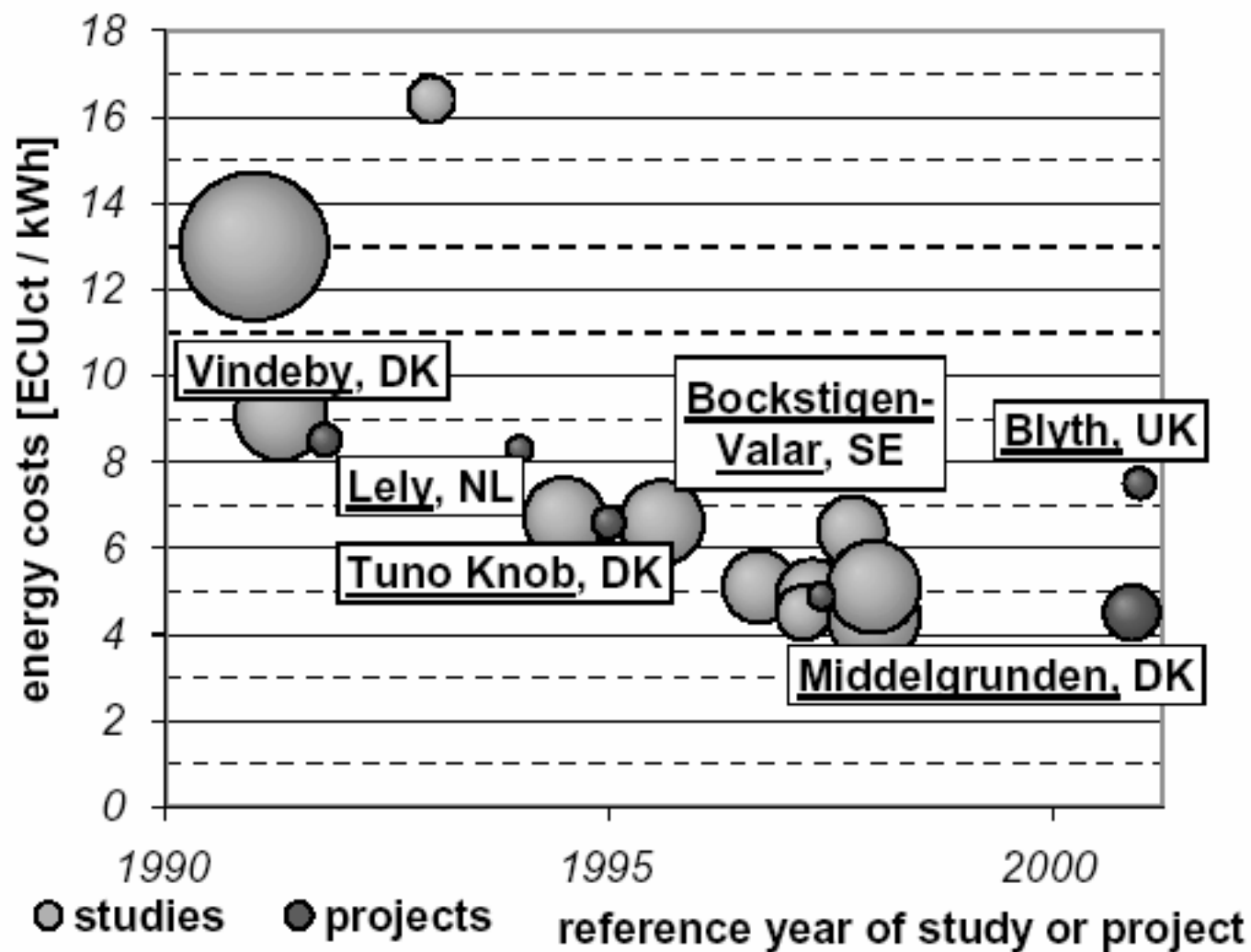
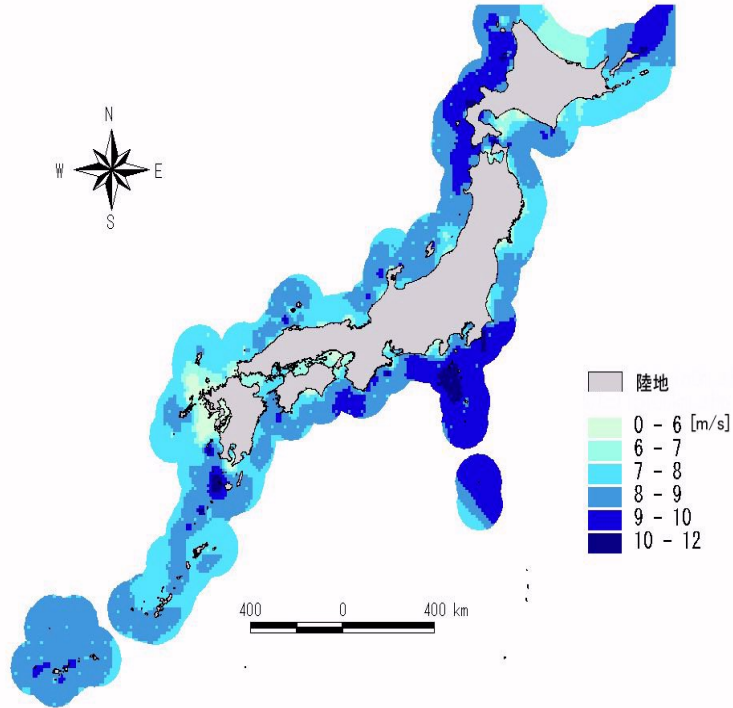
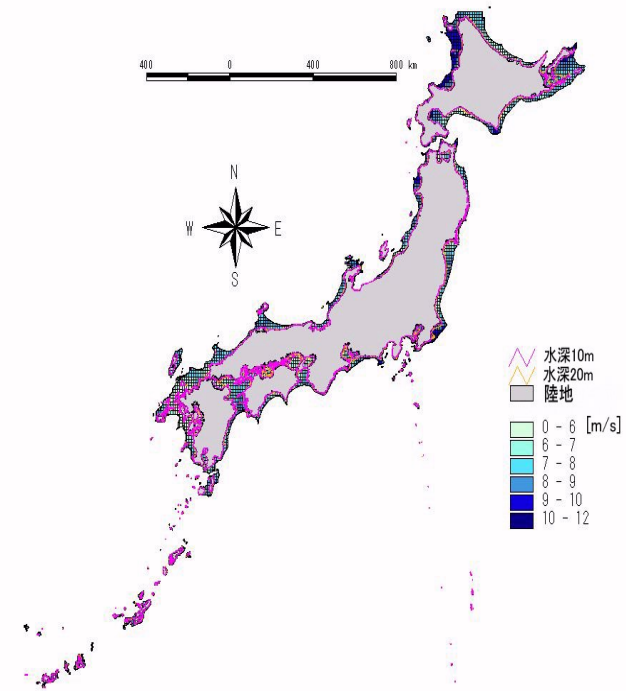


Fig. 4: Reduction in Cost (Kühn et al, 1998) (Sørensen et al 2000)

# 日本の風力発電の可能性



沿岸域100kmの年平均風速(60m高)



水深100m未満の風速分布(60m高)

長井浩(日大)による評価

# 日本全体の風力エネルギー資源量

---

## ★陸上風力発電

国の導入目標300万kW（2010年、日本の発電容量の1.4%）

陸上の限界

資源量900万kW

建設・立地



苫前町風力発電設備

## ★洋上風力発電

安定した強い風

設置可能面積 約164000km<sup>2</sup> (離岸距離50km)

5MWクラス風車 (配置 : 10D × 10D、D : 風車直径)

設備稼働率30%

発電容量 : 57000万kW (陸上の190倍)

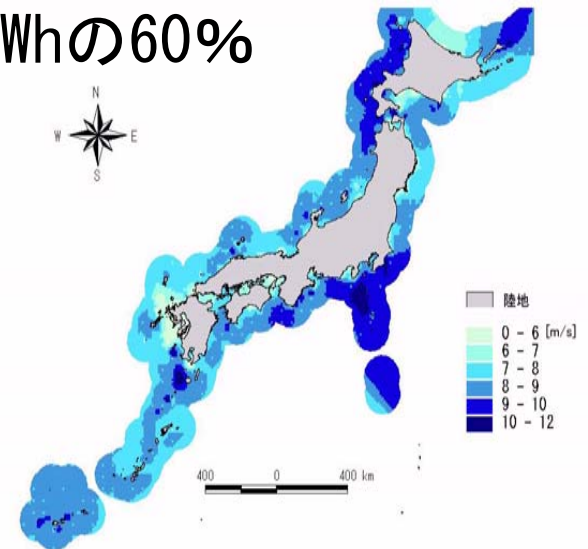
年間発電量1500TWh

日本の一次エネルギー供給量2460TWhの60%

5MW風車

年間発電量 :  $1752 \times 10^4$  kWh

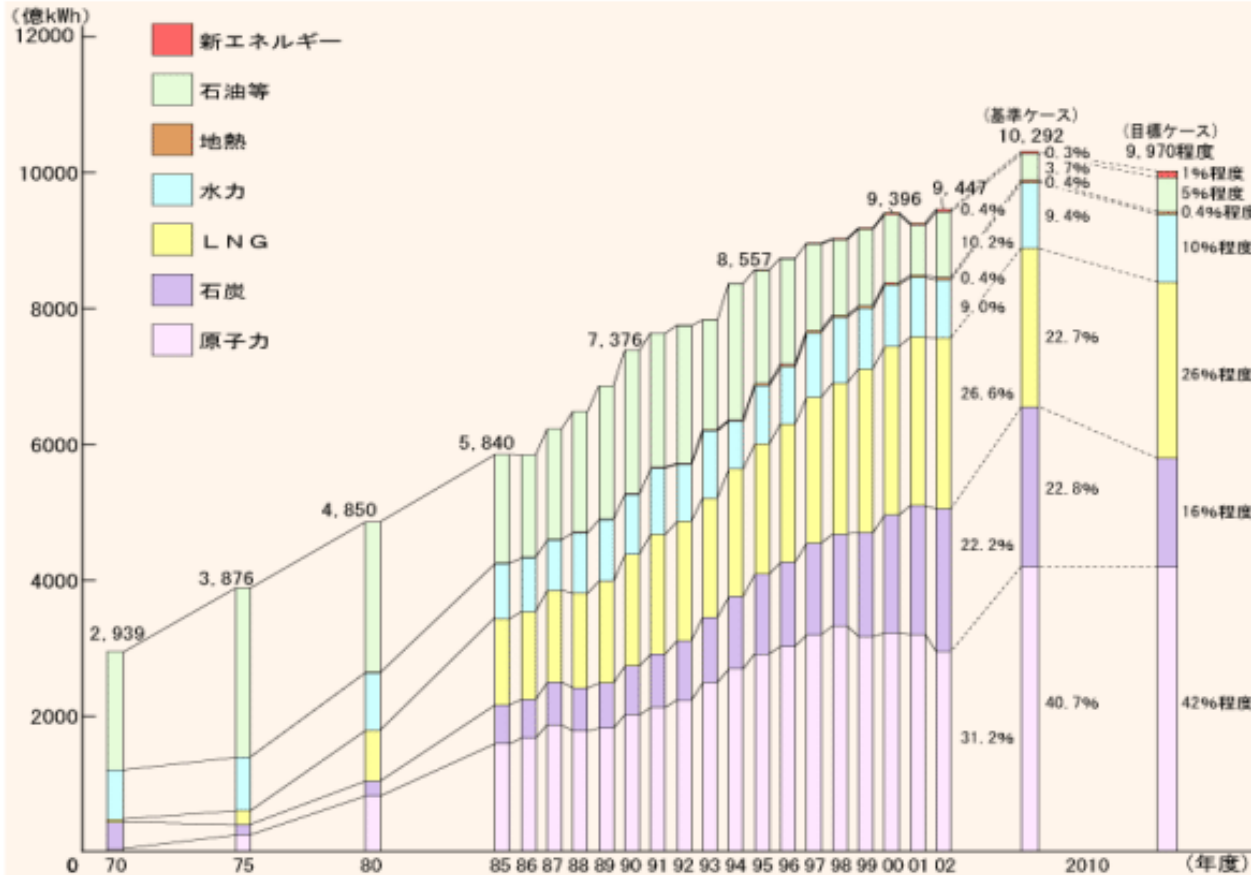
一般家庭消費電力 : 4200 kWh



沿岸域100kmの年平均風速(60m高) (日大長井)



# 日本の電源別発電電力量の実績(一般電気事業用)及び見通し



日本総発電電力量 (2002)

944.7TWh

新エネ 3.8TWh

石油 96.4TWh

地熱 3.8TWh

水力 85.1TWh

LNG 251.4TWh

石炭 209.8TWh

原子力 294.8TWh

東京電力総発電電力量

(2001)

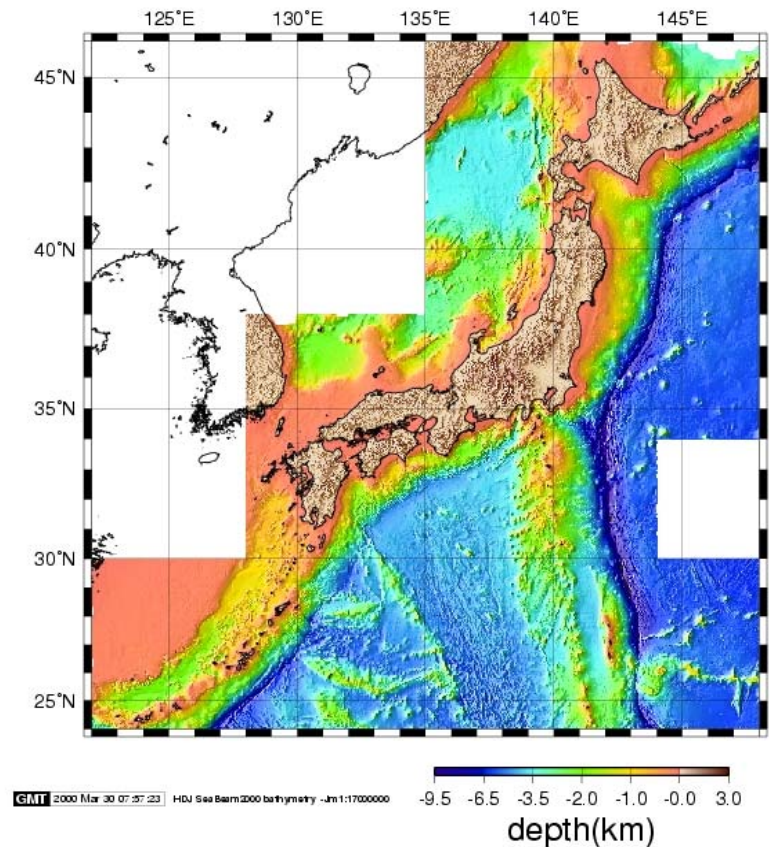
276.0TWh

経済産業省のホームページ「原子力のページ」/Q & A

# 浮体式風車の必要性

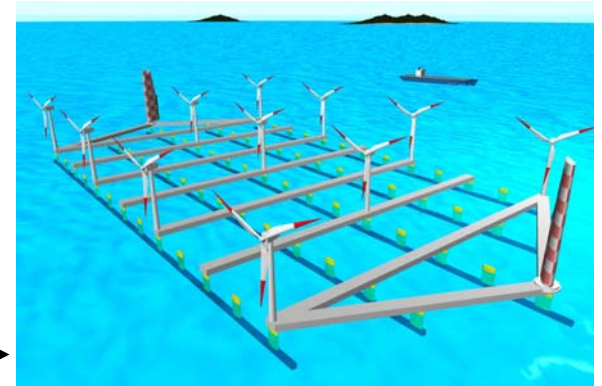
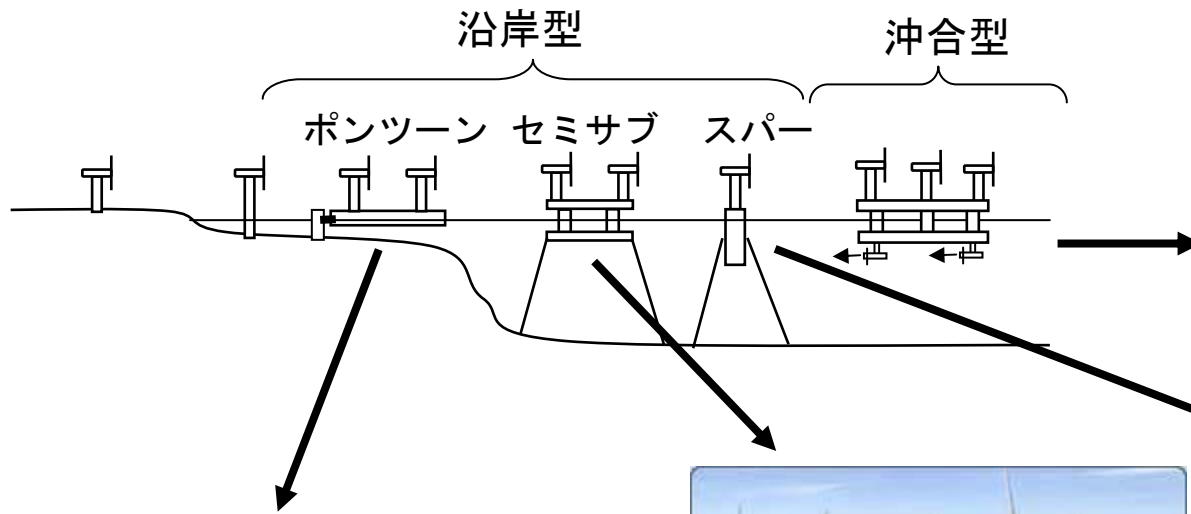
★日本周辺の急峻な海底地形  
大水深

★浮体式洋上風車の開発

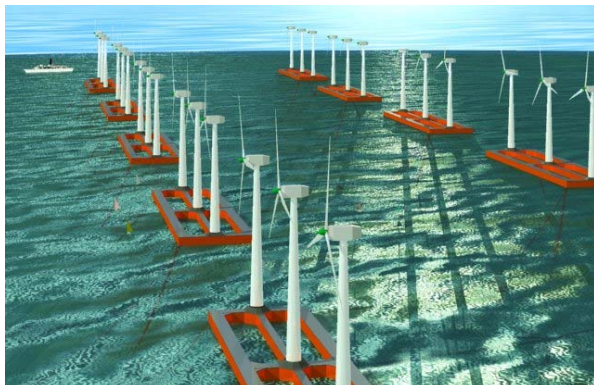


日本近海の水深分布

# 浮体式洋上風車のコンセプト



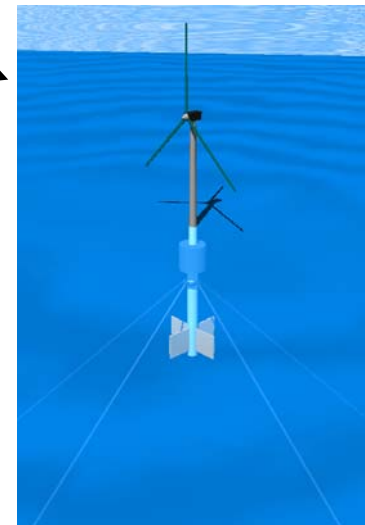
沖合遊弋型



ポンツーン型 (箱船)  
＜沿岸静穏海域＞



セミサブ型 (半潜水式)  
＜沿岸外洋＞



スパー型 (円筒型)  
＜沿岸外洋＞

# 浮体式洋上風力発電の課題

評価項目	評価	理由
立地	○良好	広大な敷地、安定した強い風、資源量大
風況	○良好	高さ方向風速変化小（低タワー）、乱流強度小
動揺	△	風車強度、ガスト量に関して動揺は無視できない
コスト	△割高	浮体、据付け、送電
設置	○	運搬、設置時の障害少ない
保守・点検	×難	アクセス困難、塩害
環境	△	騒音制限無し、漁業権、魚への影響小
景観	○	景観上の問題は少ない
実績	×	実績が少なく、具体的データが欠如

- (1) 日本に適した大型風車の開発  
日本独自の風車企画  
ヨーロッパ風車規格  
⇒高ガストへの対応  
Jクラス、日本Sクラス

### 強度面

翼の軽量高強度化、疲労  
動揺の風車強度設計への  
影響明確化

### 性能面

低風速時の性能向上  
稼働率向上に向けた翼の開発



台風14号による風車被害

## (2) 低コスト & 大量供給

### 低コスト

電力料金 10~20円/kWh

低コストの浮体一係留システムの開発

### 大量供給

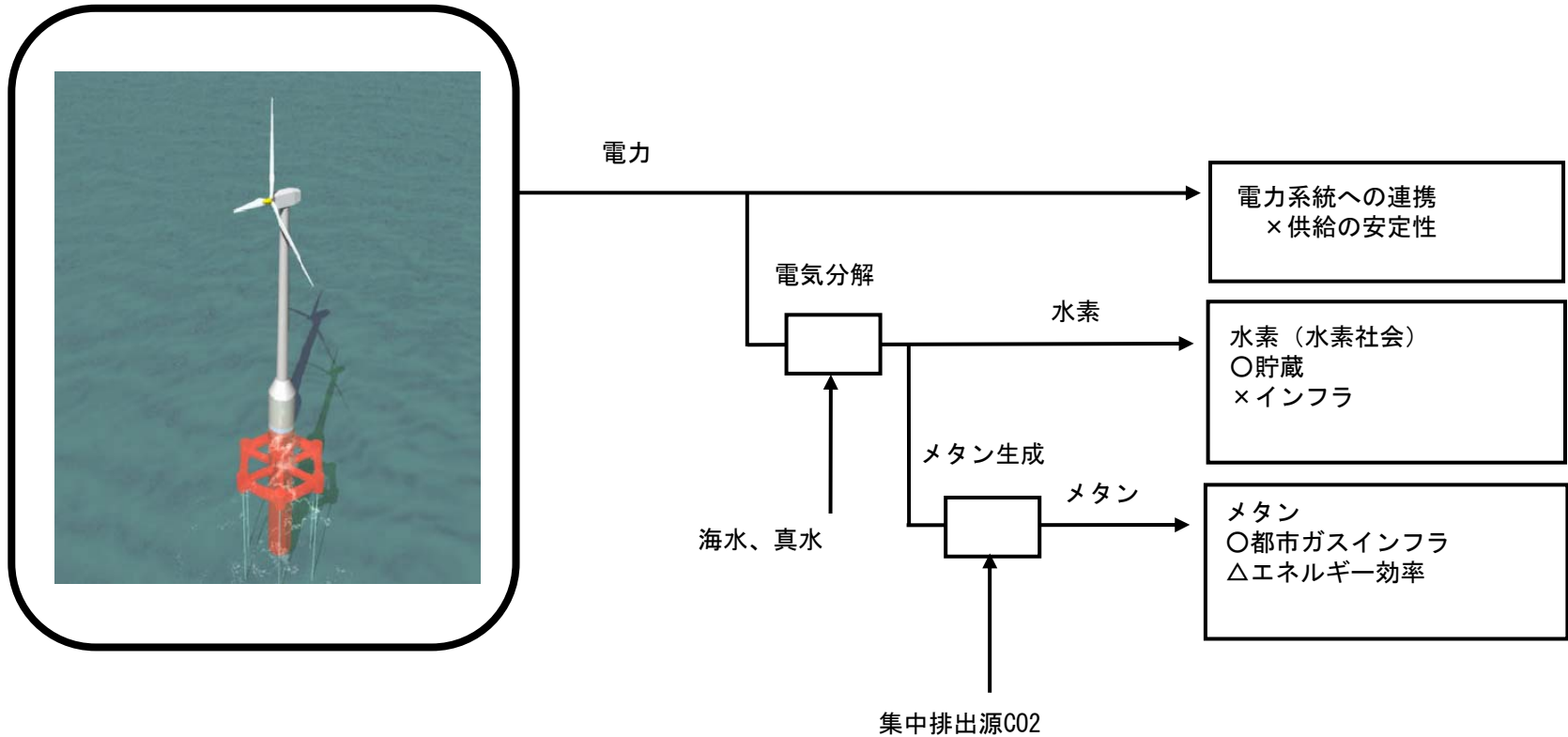
日本にとって意味あるエネルギー量の開発

### 近い将来の実現性

日本近海での実現



# エネルギー供給方式



# 化学燃料の創出

## 水素製造（海水の電気分解）



$$\text{変換効率} = \frac{\text{製造された水素のエネルギー量}}{\text{作用させた電力量}} = 0.55 \quad (0.8)$$



## メタン製造



# 候補地の選定

1) 地域気象モデルRAMS

2) 地理情報システム

経済的制約

海底送電線ケーブル40km

立地制約条件

漁業権設定区域、自然公園区域、航行区域の除外

3) 関東地方沿岸海域

94TWh/年 東京電力の発電量の32%

目標水深20~200m



# 自然環境条件

---

## ★自然環境条件

- ・ カットアウト時環境条件

波 :  $H_{1/3}=6.8\text{m}$ 、 $T_{1/3}=9.8\text{sec}$

風 : 風速 $25\text{m/s}$

- ・ 暴風時環境条件

波 :  $H_{1/3}=12.5\text{m}$ 、 $T_{1/3}=15.0\text{sec}$

風 : 風速 $50\text{m/s}$

- ・ 潮流流速 :  $2.0\text{ノット}$

- ・ 水深 :  $200\text{m}$

# 設計のクライテリア（基準）

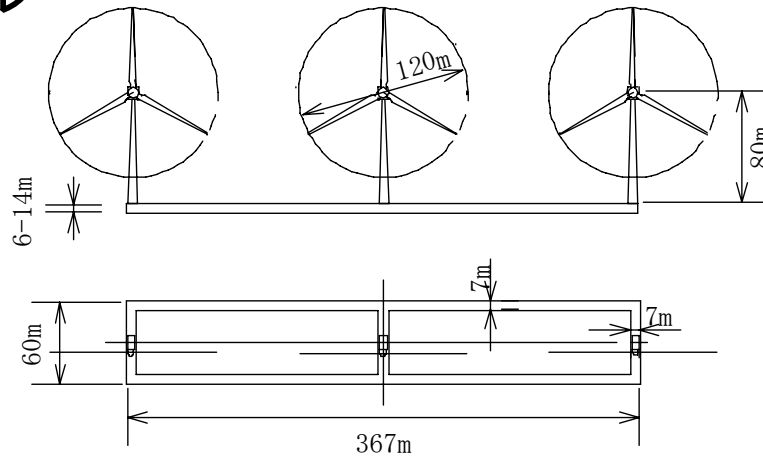
---

## 設計のクライテリア

	評価項目	評価値
強度（安全性）	浮体強度 風車翼強度 ナセル歯車	最大応力 最大応力 最大力（加速度）
機能性	風車効率	風車最大傾斜5～10°

# ポンツーン型浮体式風車の開発

## 初期モデル

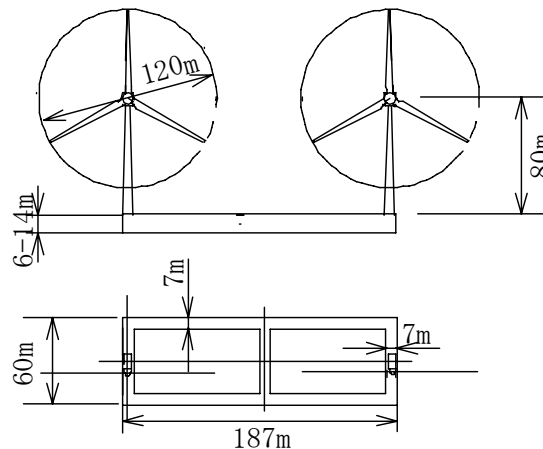


## 5 MW風車

最大応力：22kgf/mm<sup>2</sup>

型深を6mから14mに増しても応力減少せず

## 改良モデル



最大応力：10kgf/mm<sup>2</sup>

型深14mにおいて許容応力10kg/mm<sup>2</sup>を満足

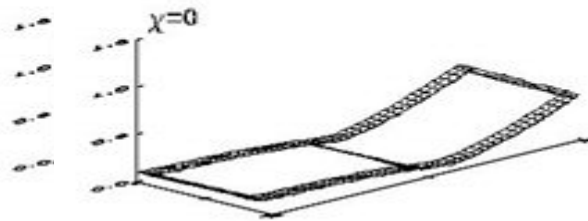


# 上下変位の振幅分布例

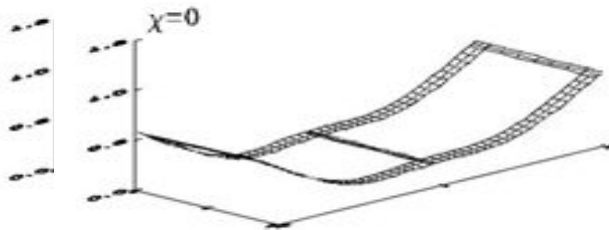
初期モデル

改良モデル

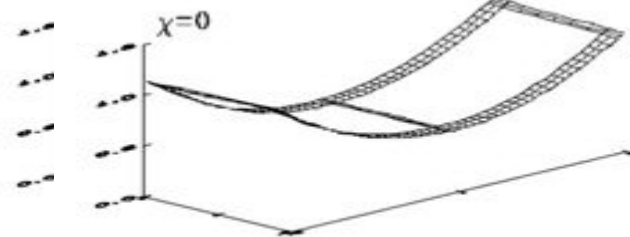
T=8sec.



T=14sec.

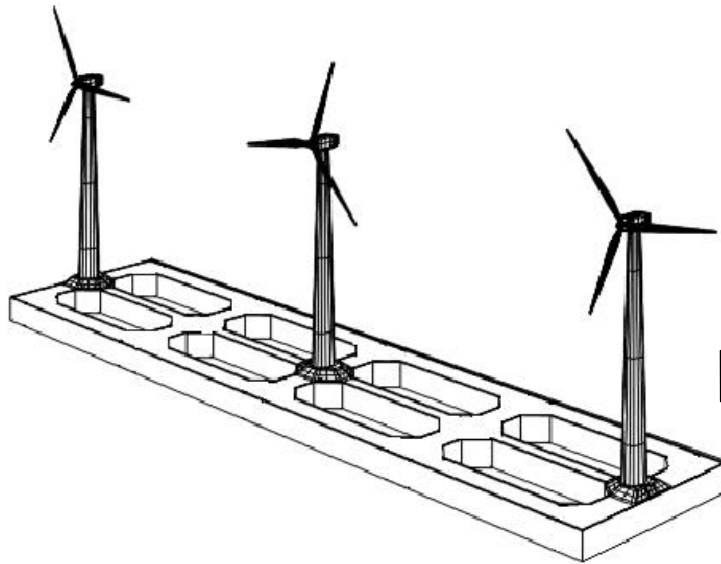


T=18sec.

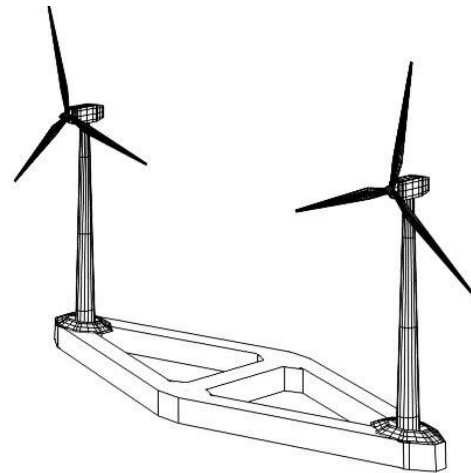


---

初期形状



改良後形状



# スパー型浮体式洋上風車の開発

## 基本コンセプト（5MW風車想定）

### ★静的傾斜

浮力体の浮力とバラスト  
⇒復原モーメント

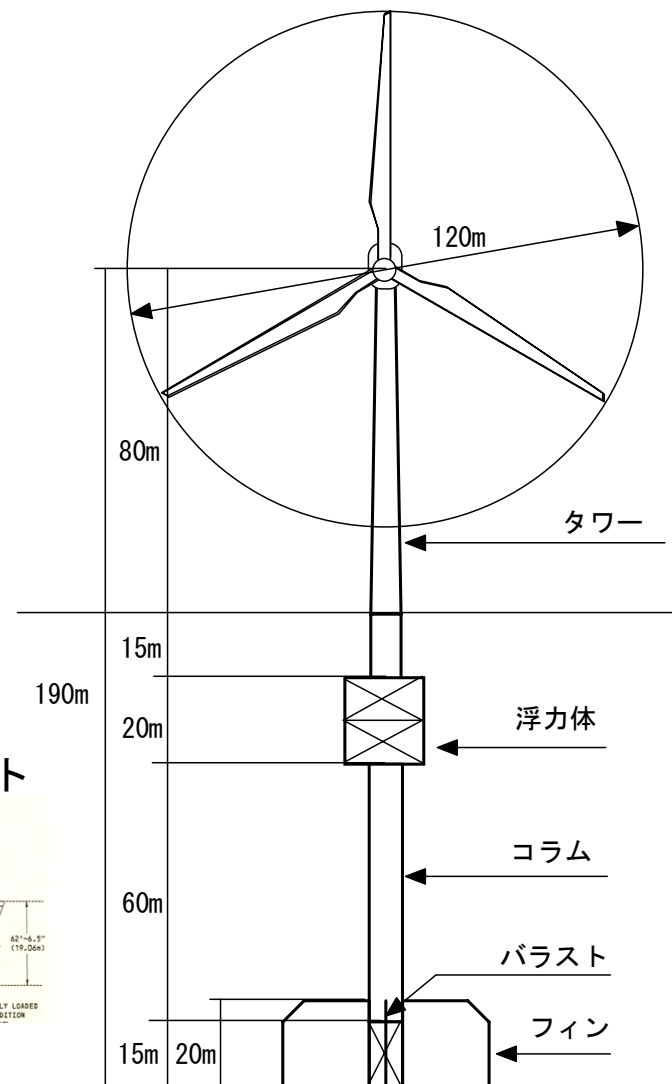
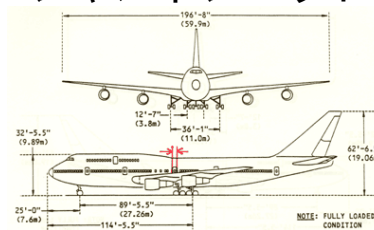
### ★動的傾斜

浮力体を没水化  
波力低減、長周期化  
浮体下部フィン  
長周期化、減衰増加

### ★コラム内部注水

補強軽減、軽量化

### ジャンボジェット

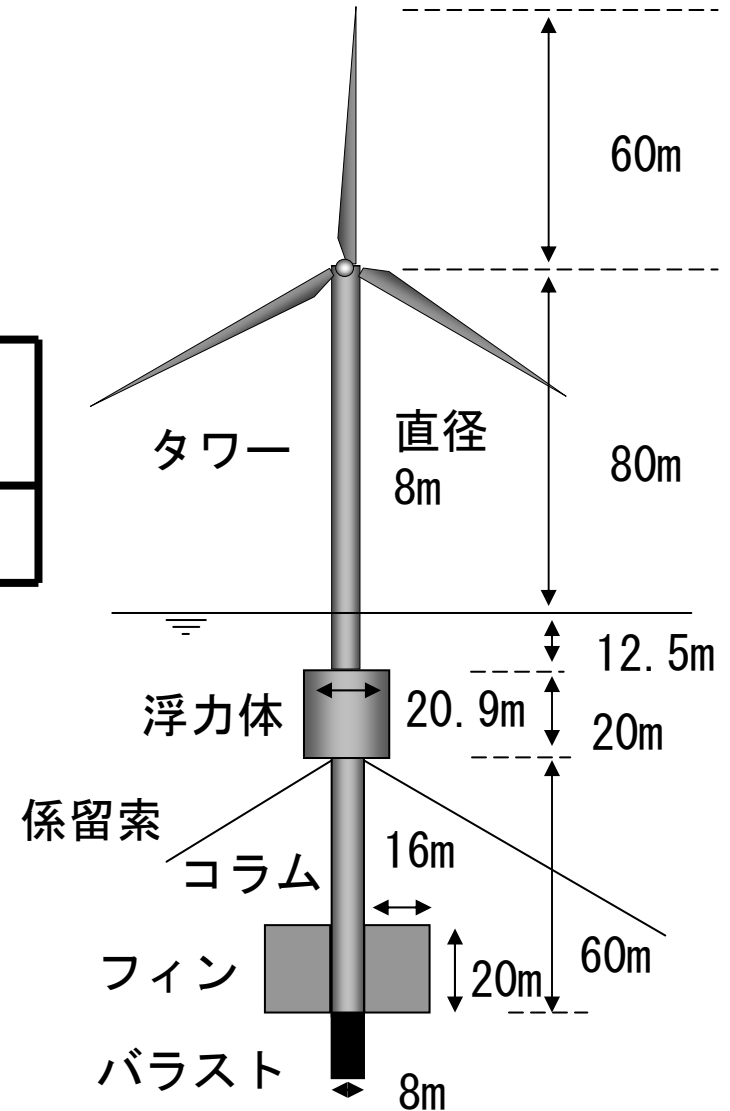


# 初期形状モデル

風車稼動時の最大傾斜角(度)	タワー基部に作用する最大応力(MPa)	コスト(万円)
3.7	166	41640

機能性要件：十分に満たしている

強度要件：若干超えている



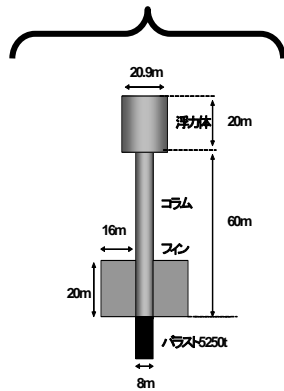
# 各コラム長さにおける最適形状

初期モデル

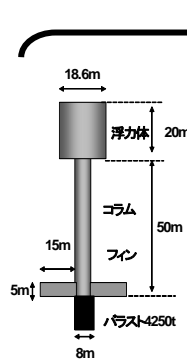
最大応力160MPa、最大傾斜3.7°

最適化モデル

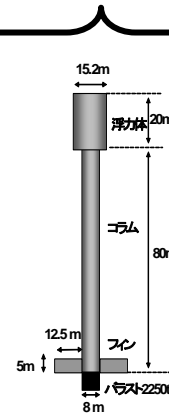
最大応力160MPa、最大傾斜10°



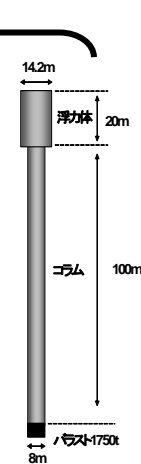
A初期形状



Bコラム50m

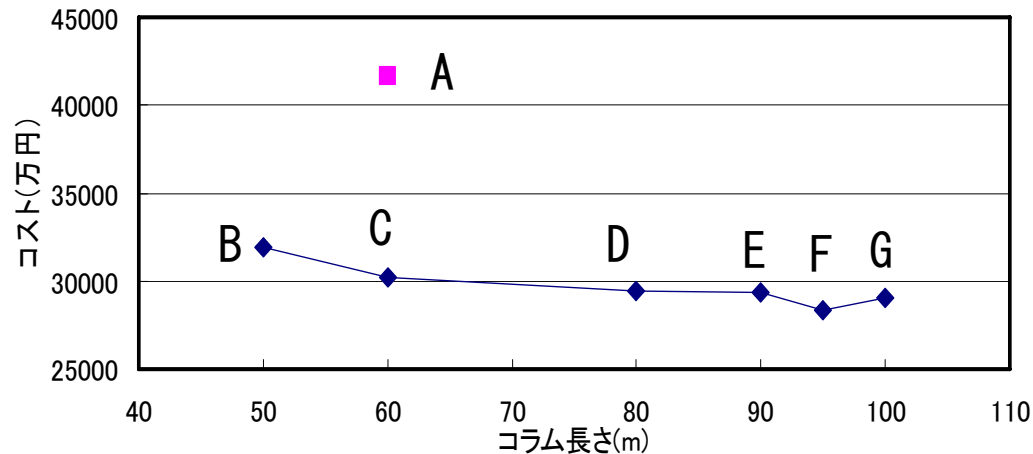


Dコラム80m



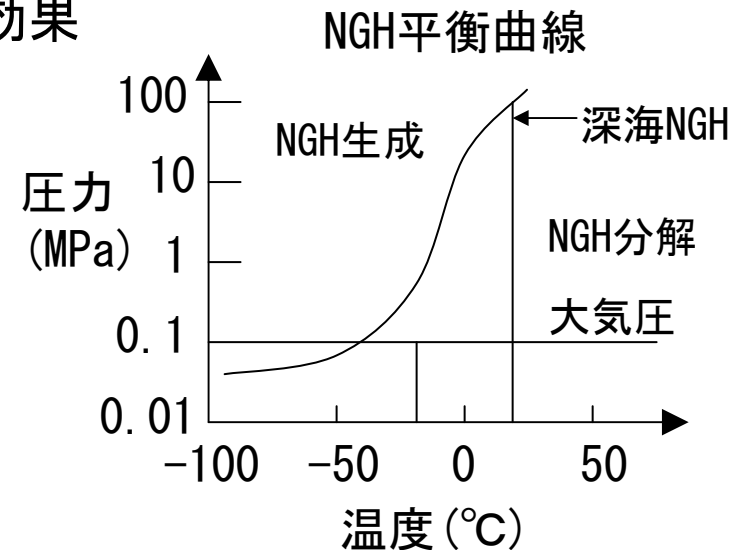
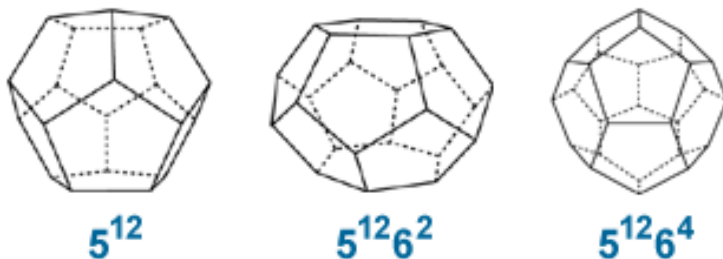
Gコラム100m

浮体コスト



# メタンハイドレート開発

- 水分子とメタン分子からなる包接化合物
- 高圧or低温の状態が存在  
水深1000mの海底下、極地方
- メタンハイドレート1m<sup>3</sup>  
 $\text{CH}_4$  150~160m<sup>3</sup> + 水0.796m<sup>3</sup>
- 分解は吸熱反応  
減圧or加熱による分解、自己保存効果

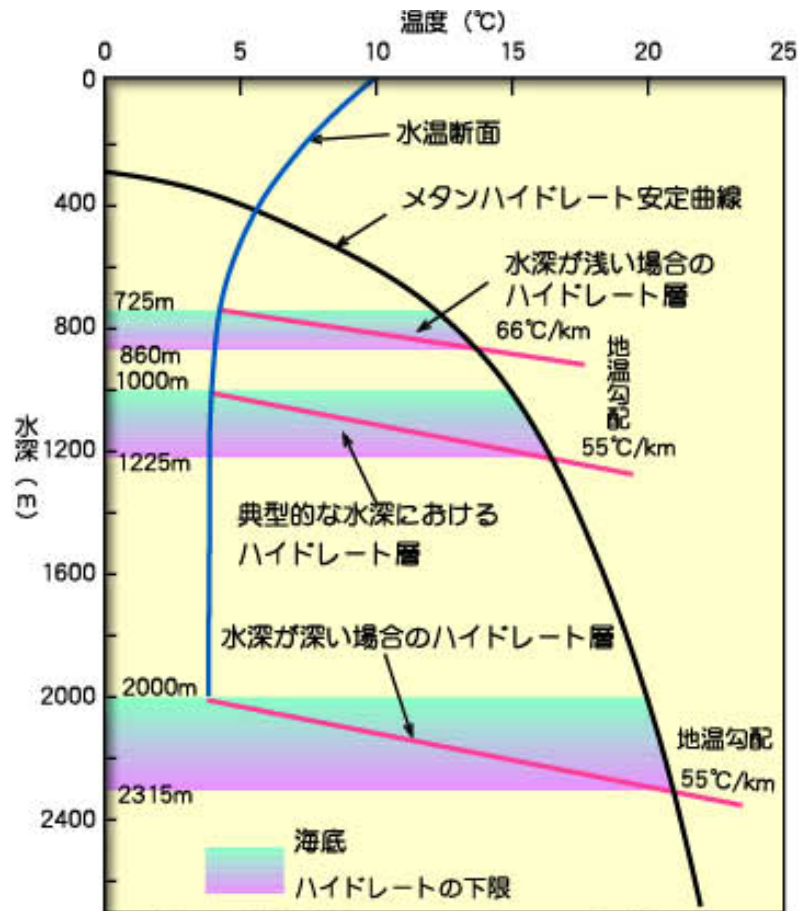




熊野灘で採られたメタンハイドレートを含む堆砂層のサンプル



# 海洋中におけるメタンハイドレートの存在条件



水深が大きく地温勾配が小さいほどハイドレート層が厚く発達する。  
(フィールド、クベンボルデン、1985)

## メタンガス採取法

- ・ 減圧法
- ・ 熱刺激法
- ・ 分解促進法

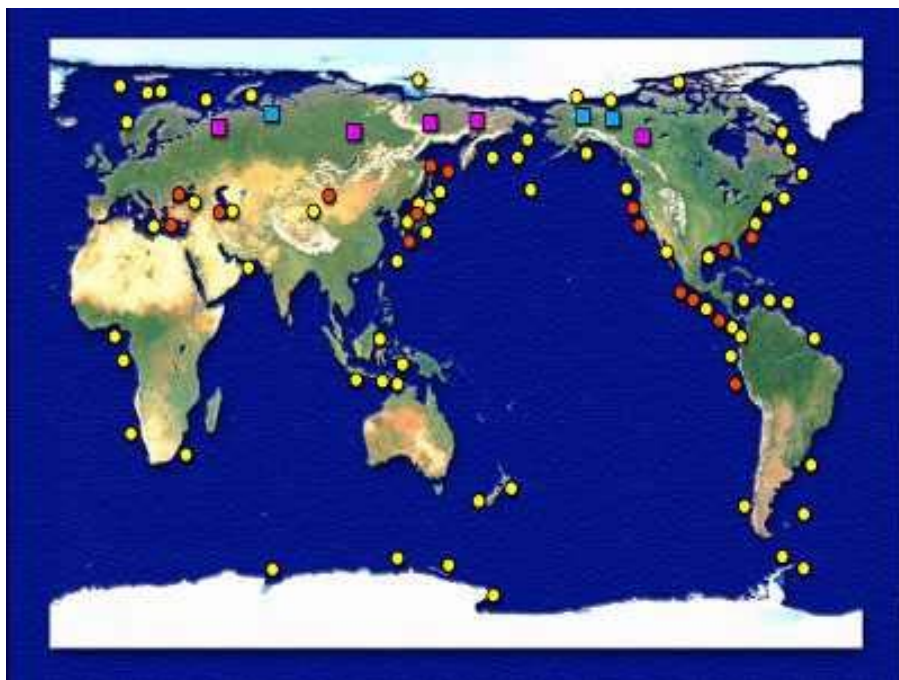
出典：石油天然ガス・金属鉱物資源機構

<http://www.mh21japan.gr.jp/japanese/index.html>

# 石油・天然ガス資源確認埋蔵量との比較

	石油		天然ガス	
	埋蔵量 百万バレル	シェア %	埋蔵量 10億ft <sup>3</sup>	シェア %
アジア・オセアニア	38,712	3.2	445,407	8.1
ヨーロッパ	18,098	1.5	188,631	3.4
中東	685,642	56.5	1,979,675	36.0
アフリカ	77,429	6.4	481,162	7.6
北米	202,467	16.7	258,859	4.7
中南米	111,174	9.2	243,578	4.4
FSU	77,820	6.4	1,952,600	35.5
東欧		0.0	14,512	0.3
世界計	1,212,881	100.0	5,501,424	100.0
日本近海MH(3~6兆m <sup>3</sup> )			210,000	

# 日本近海にCH<sub>4</sub>換算3〜6兆m<sup>3</sup>が存在 80〜90%が南海トラフに存在



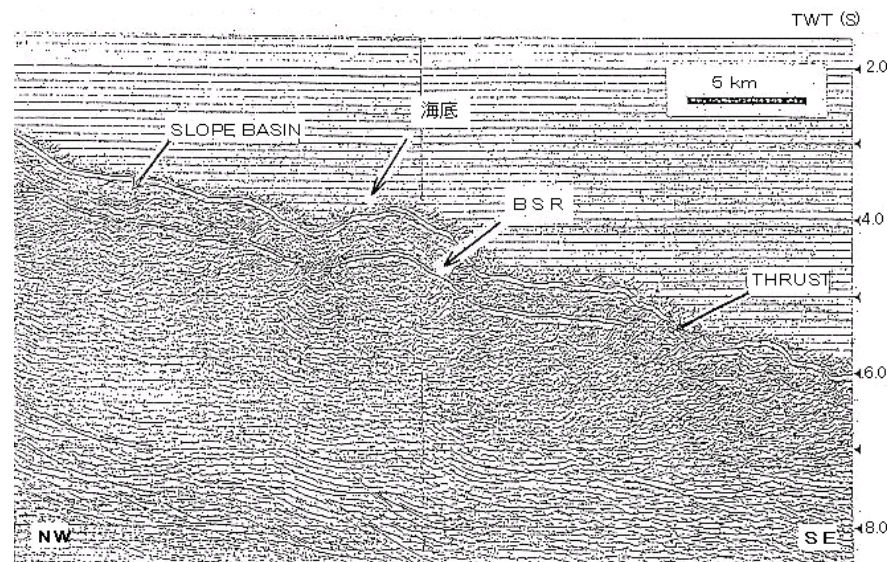
- 陸域でハイドレートのサンプルが回収された場所
- 陸域でハイドレートの存在が推定されている場所
- 海域でハイドレートのサンプルが回収された場所
- 海域でハイドレートの存在が推定されている場所

(石油天然ガス・金属鉱物資源機構HP)



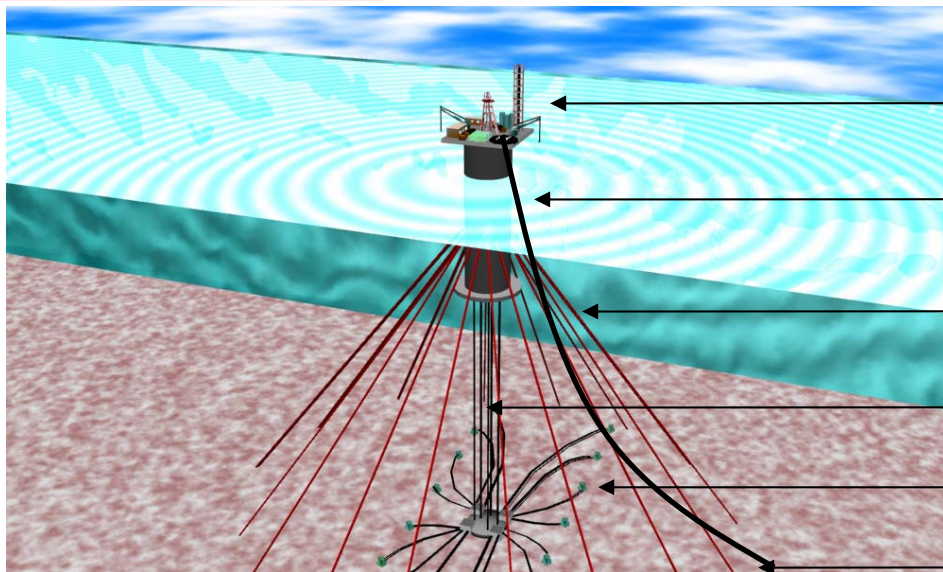
# 日本近海のメタンハイドレート資源量

		ハイドレート分解ガス[m <sup>3</sup> ]	フリーガス[m <sup>3</sup> ]	計
南海トラフ	原始資源量	$2.71 \times 10^{12}$	$1.6 \times 10^{12}$	$4.31 \times 10^{12}$
	究極可採資源量	$2.71 \times 10^{11}$	$1.2 \times 10^{12}$	$1.471 \times 10^{12}$
日本近海	原始資源量	$4.65 \times 10^{12}$	$2.7 \times 10^{12}$	$7.35 \times 10^{12}$
	究極可採資源量	$4.65 \times 10^{11}$	$2.0 \times 10^{12}$	$2.465 \times 10^{12}$



海底擬似反射面 (BSR) 日本バルカー HP

# メタンハイドレート開発生産システム



上載施設

生産プラットフォーム

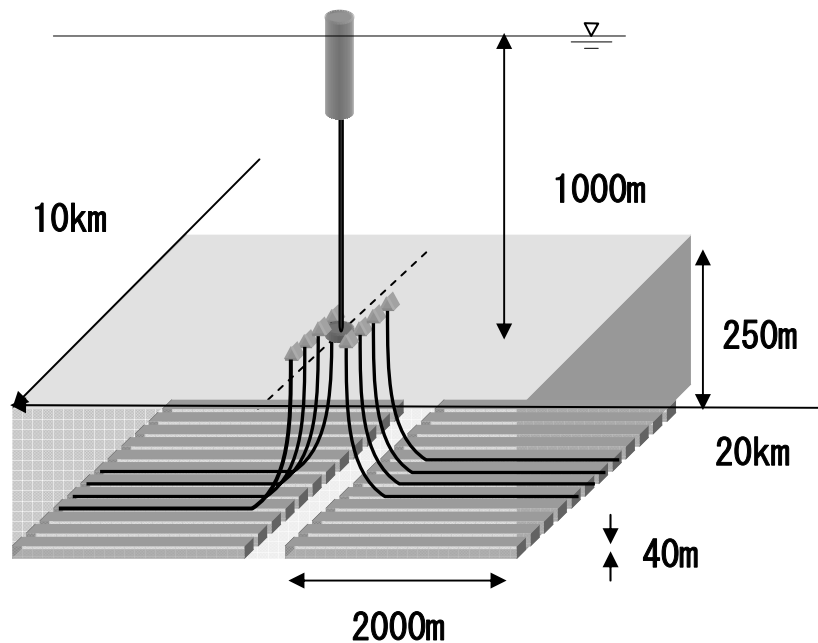
係留索

生産ライザー

生産井

フローライン

パイプライン





## 開発海域

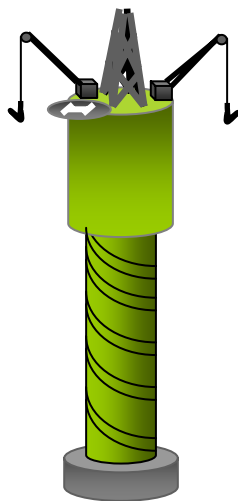
基礎試錐でメタンハイドレートが確認されている天竜川沖  
50km, 水深1000m

## 地層条件

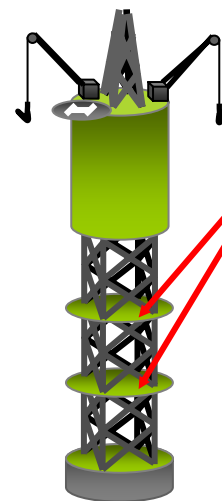
厚さ40m、孔隙率50%、MH飽和率50%

## プラットフォーム

Truss SPAR



Classic SPAR



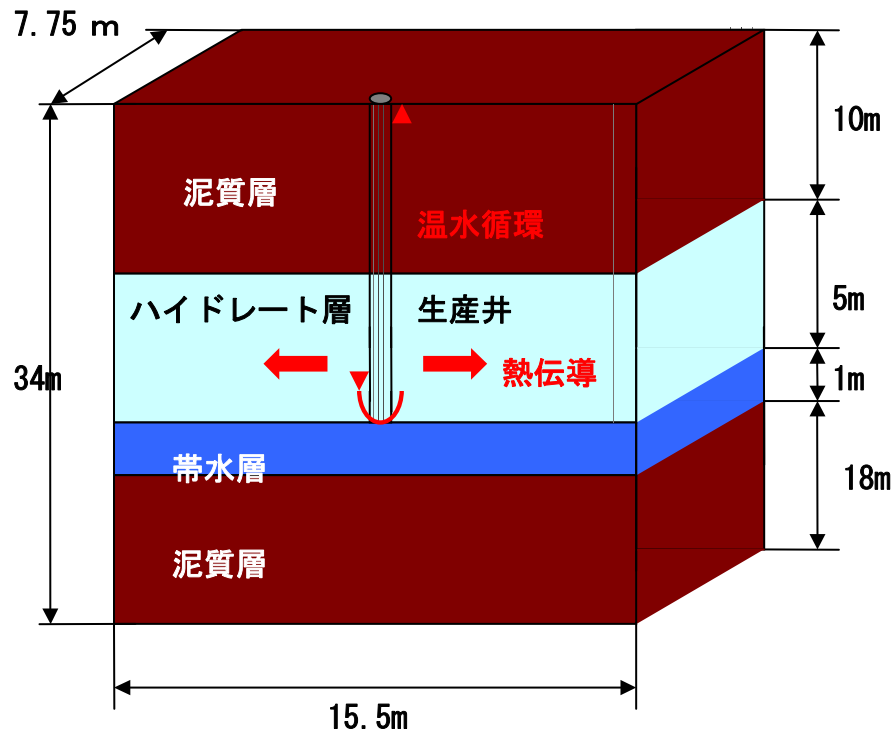
ヒューズ板

- ・ 付加質量増加  
→ 動揺特性向上
- ・ 構造コスト3割減

Truss SPAR

# メタンハイドレート生産方式

- ① 減圧法
- ② 熱刺激（坑井内温水循環法、熱水圧入法）
- ③ 化学物質（インヒビター、CO2置換）
- ④ 物理的（弾性波）



「Field-Scale Simulator for Methane-Hydrate Gas Production」 (東大 増田)

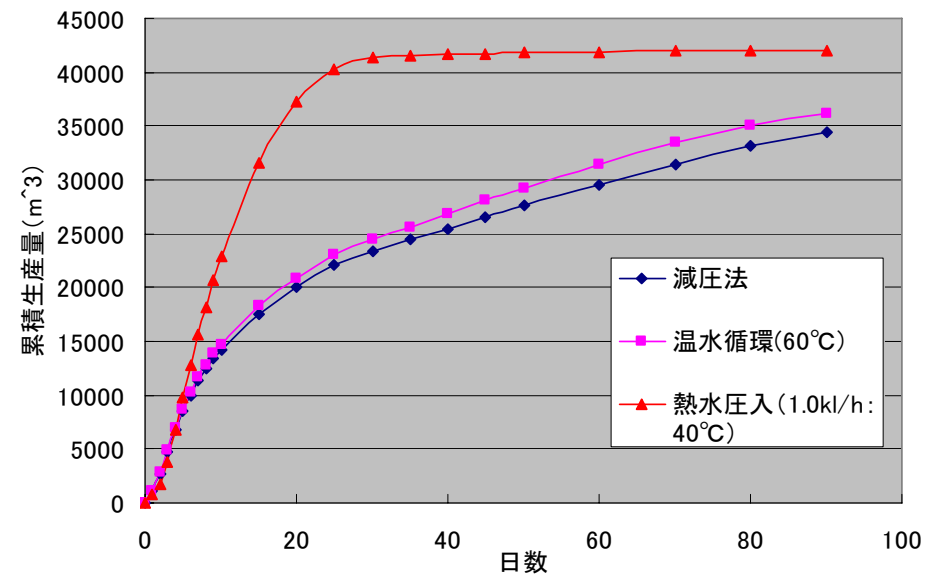
を用いたシミュレーション結果をもとに、垂直坑井の場合について、初期の生産性の検討を行った

# メタンガス採取法シミュレーション

熱収支による比較（単位：MJ）

	温水循環法	熱水圧入法
熱水の作成に要するエネルギー	69525	2823
生産ガスから得られるエネルギー	10000	10000
熱収支	<b>-59525</b>	<b>+7177</b>

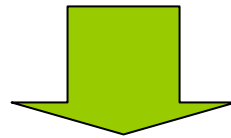
累積生産量



# 採取法に関するまとめ

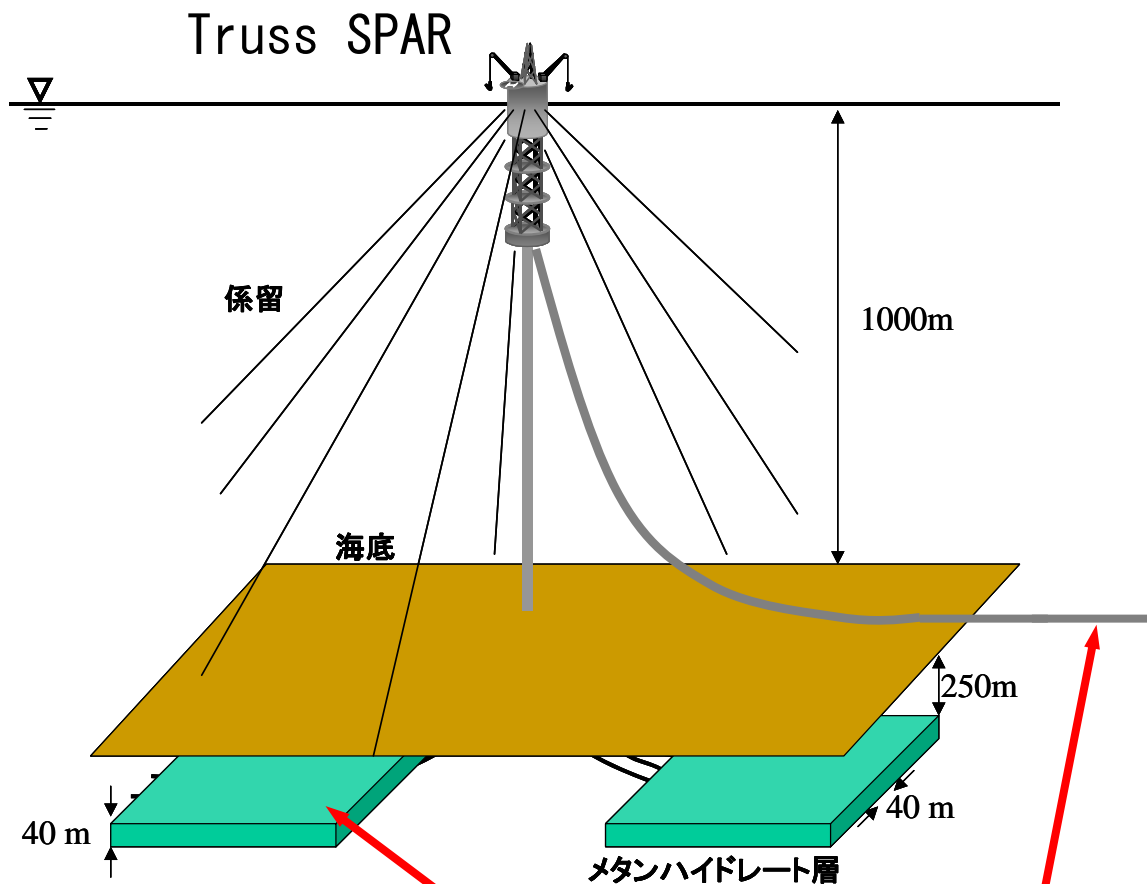
---

- ・ 坑井内温水循環法は、熱収支が取れず、熱水圧入法も収支は悪い。
- ・ 採取法としては、減圧法を候補とする。
- ・ 生産の初期段階では高い生産レートを見込めるが、日数が経過すると生産レートが低下していくという傾向がある。



高い頻度で生産井を移動する必要がある

# 開発概念図



開発規模		開発システム		輸送システム	
生産規模	80MMscfd	井戸本数	8本	輸送方式	海底パイプライン
生産日数	400日	井戸長さ	2000m	輸送距離	50km(陸上まで)
1日平均生産量	187万m <sup>3</sup>	海上坑口装置	8個		
総開発期間	25年	生産方式	減圧法		

# 既存Truss SPARに基づく開発のコスト評価

## 初期コスト

プラットフォームの  
構造コストが全体の24%

## 持続的に発生するコスト

運用コスト・・・1年あたり17.0MM\$

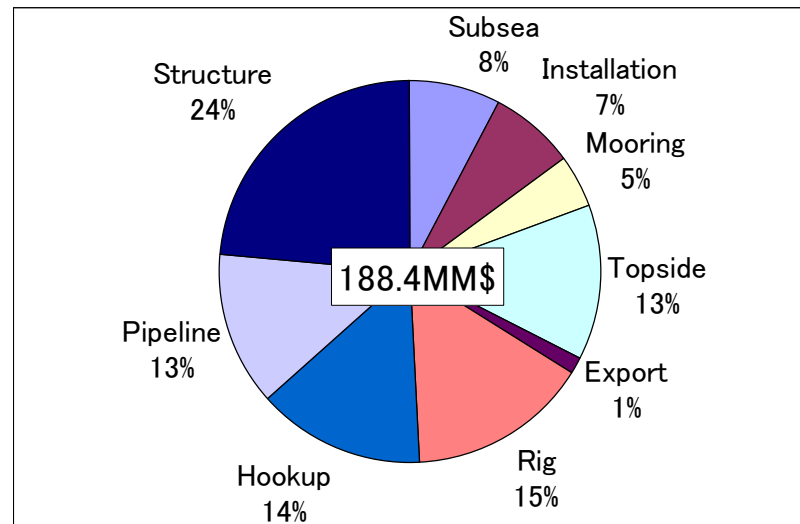
移動コスト・・・1回あたり4.8MM\$

掘削コスト・・・80.0MM\$

## その他のコスト

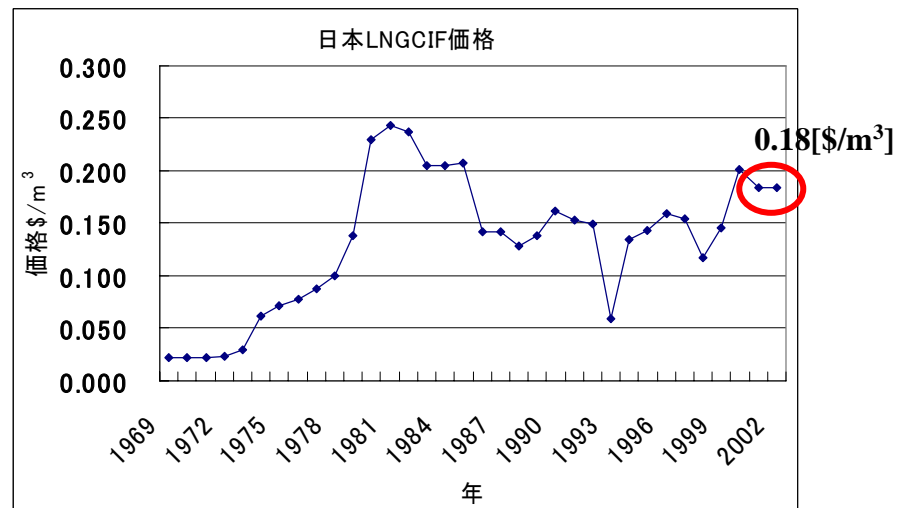
金利・・・5%

石油開発税・・・収入の5%



## 収入

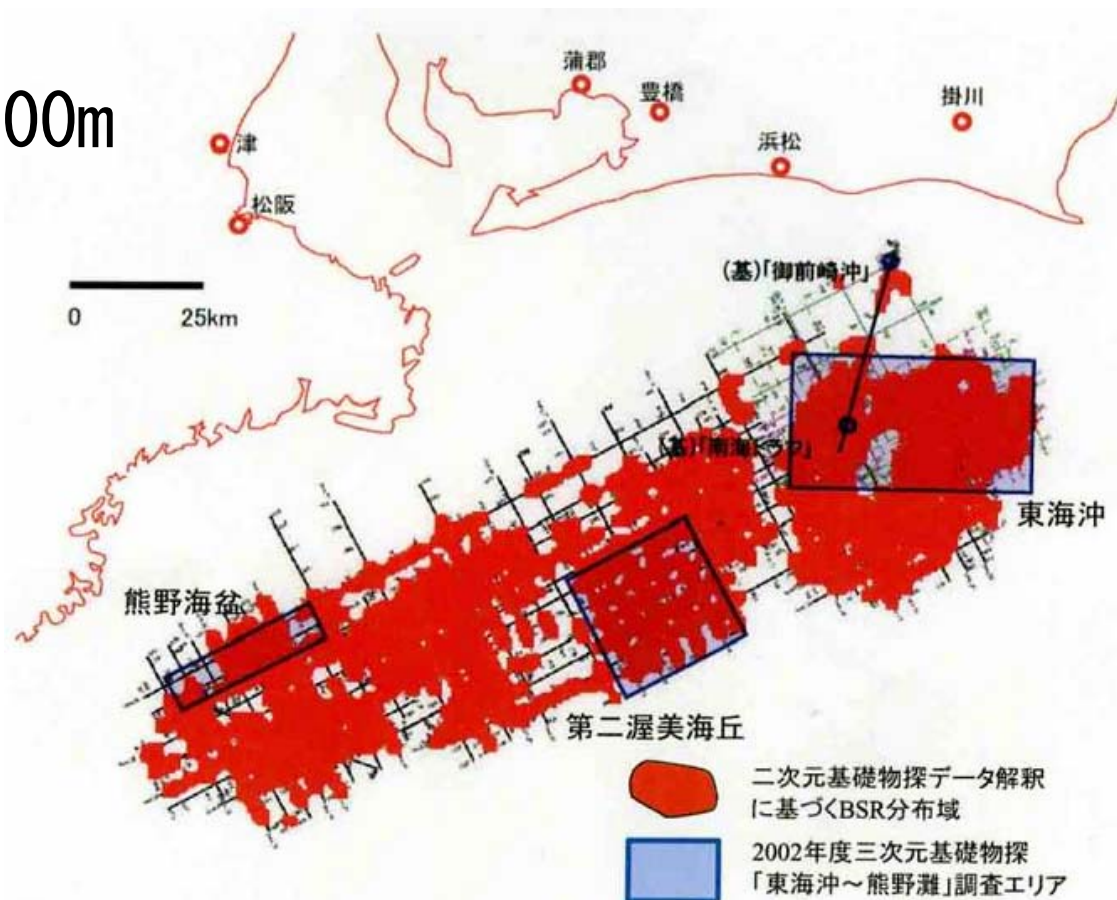
メタン生産量[m<sup>3</sup>] × 0.18[\$/m<sup>3</sup>]





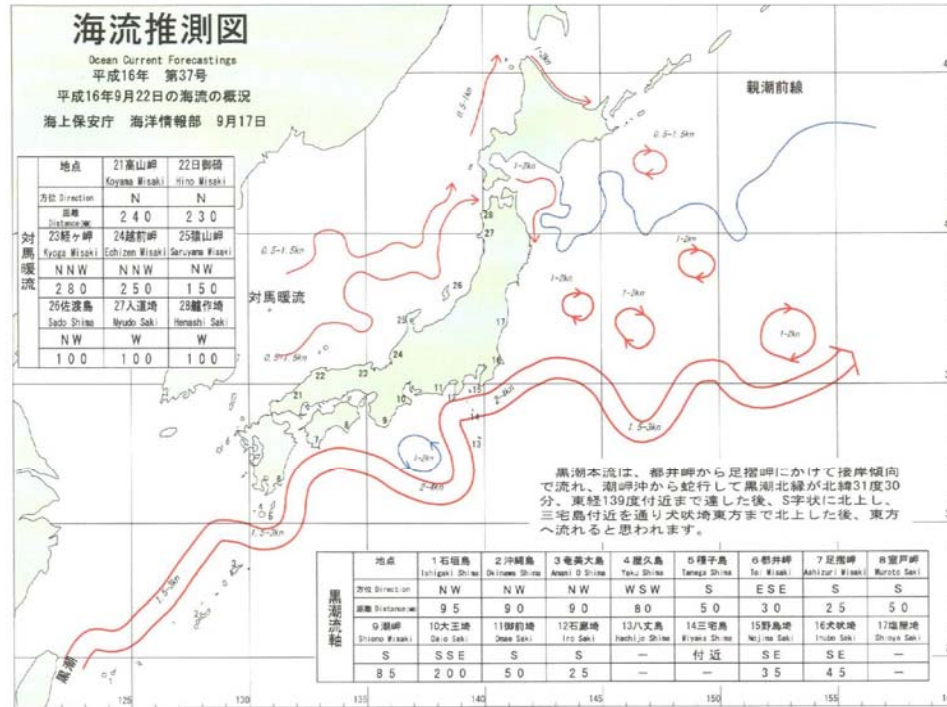
# 南海トラフの自然環境条件

水深1000~4000m



南海トラフでのBSR分布

# 海流



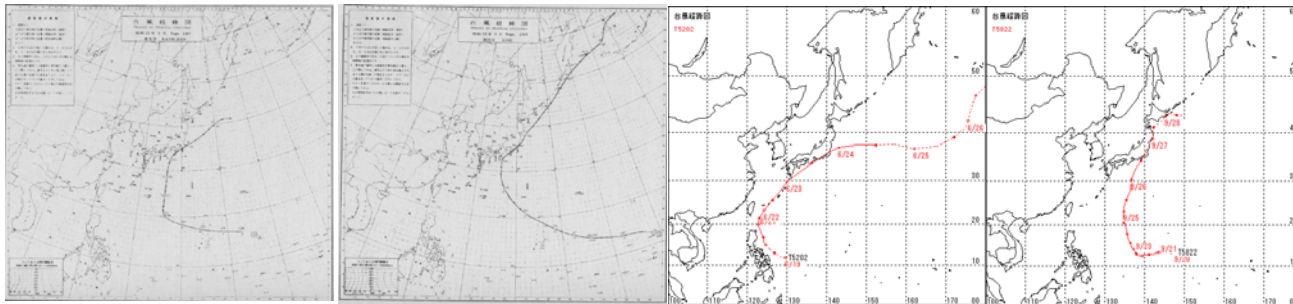
2004年9月22日の海流推測図

出典：海上保安庁海洋情報部ホームページ<http://www1.kaiho.mlit.go.jp/>

# 風と波

過去に南海トラフ付近を通過し大きな被害をもたらした台風の経路図

波は風によって起こる

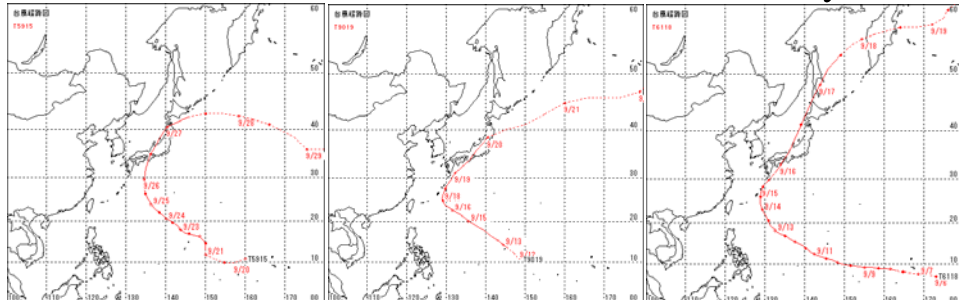


1947年Kathleen台風

1948年Ione台風

1952年Dyna台風

1958年狩野川台風



1959年伊勢湾台風

1990年台風19号

1961年第二室戸台風

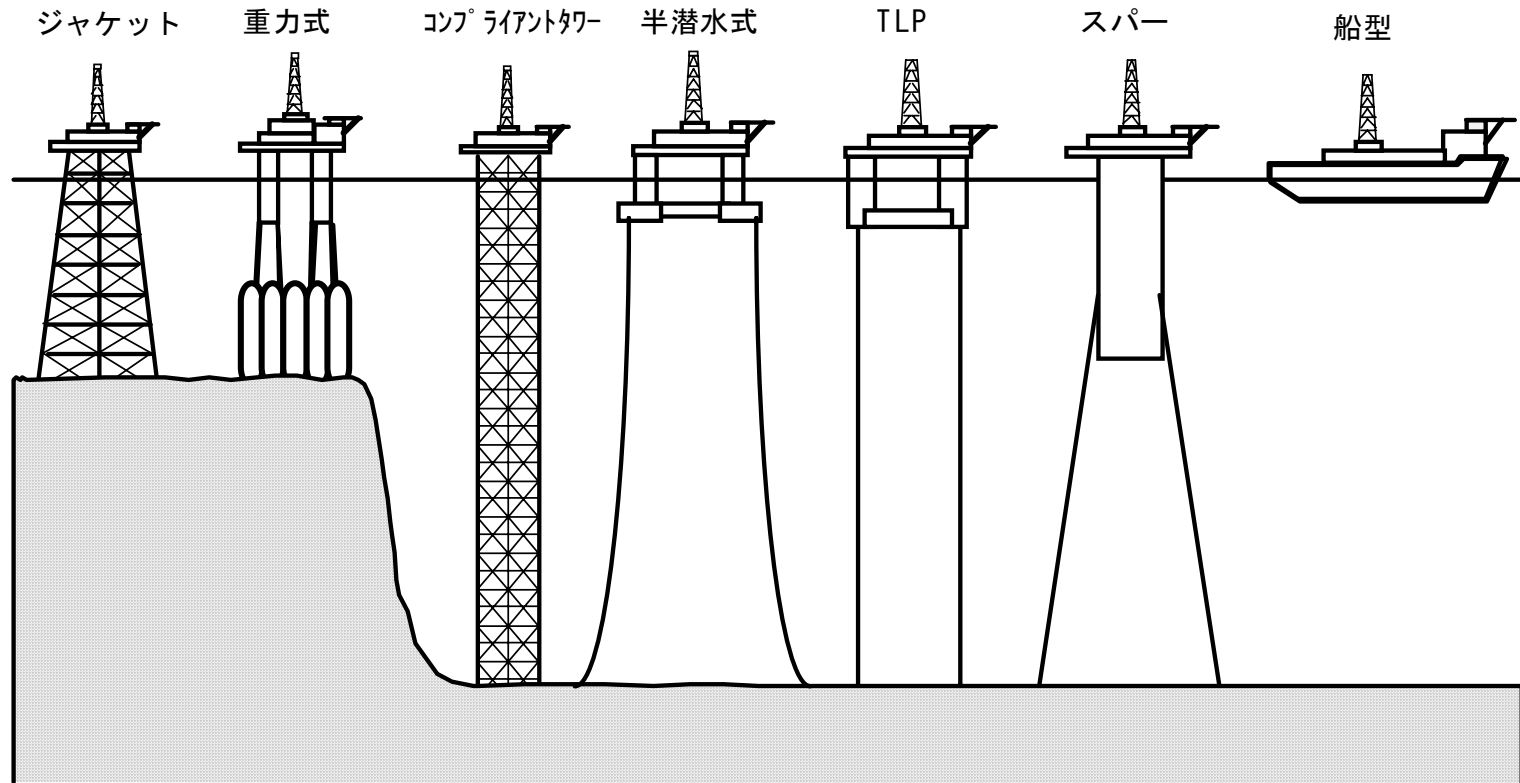
出典：気象庁ホームページ

## 南海トラフの海象条件

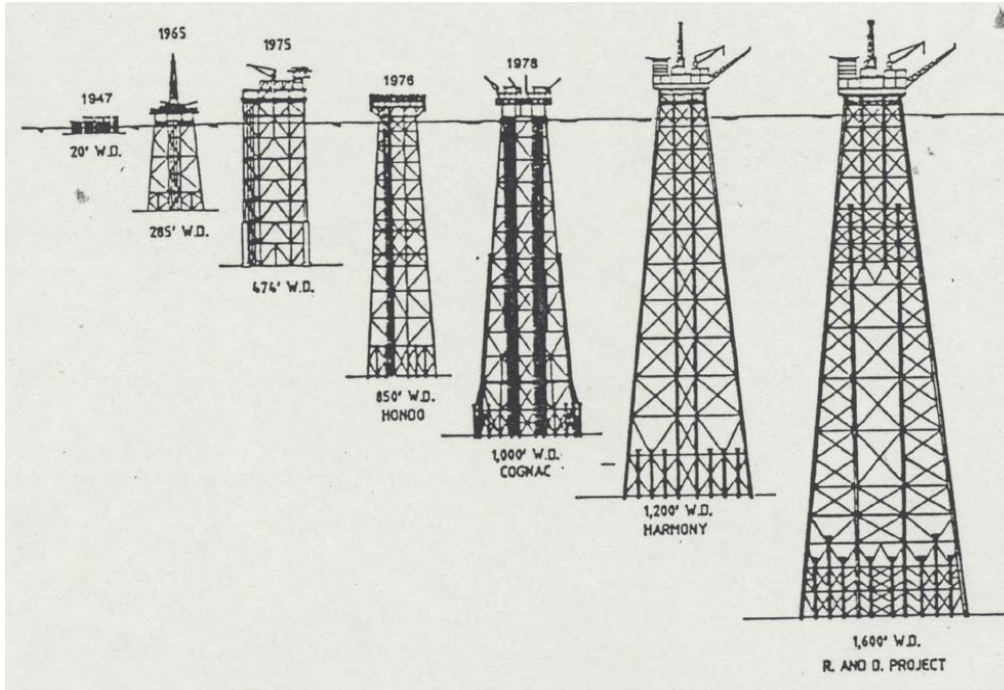
年平均風速	8 [m/s]
瞬間最大風速	80 [m/s]
平均最大風速	50 [m/s]
有義波高	12.5 [m]
平均波周期	11~13.6 [s]
潮流	1.8~3.6 [m/s]
水深	1000~4900 [m]

# 運動特性の良好なプラットフォーム選択

## プラットフォーム技術 海洋石油開発



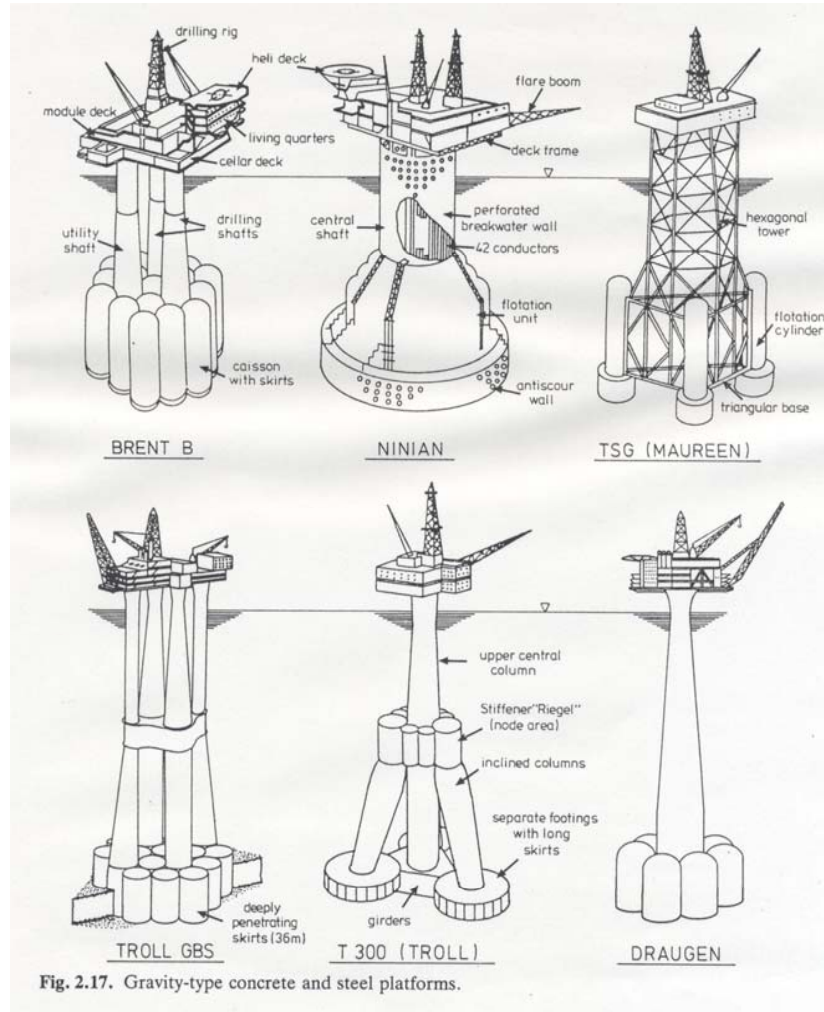
# ジャケット



陸上から海洋へ

波に対して剛  
限界水深 410m  
Bullwinkle GOM 1988

# 重力式

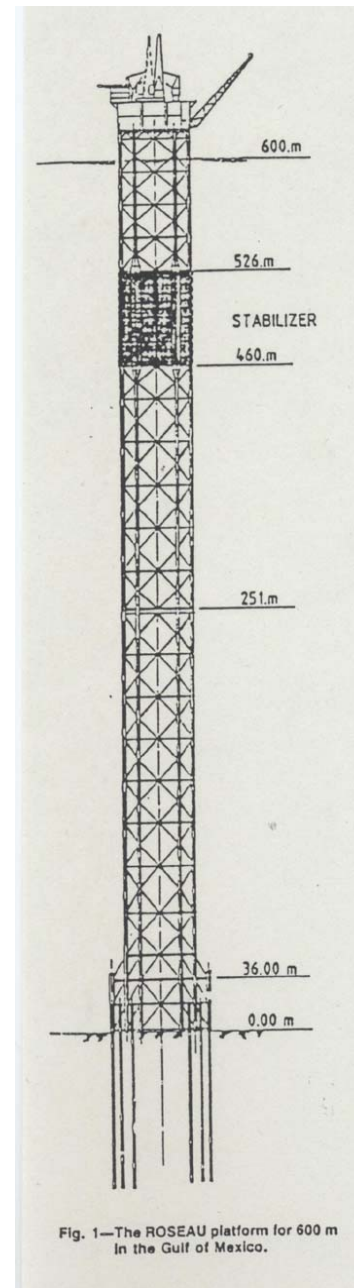




# コンプライアントタワー

コンプライアント（可撓性構造物）

Lena 湾 333m(1983)  
Baldpate 湾 500m(1998)  
Petronius 湾 534m(1999)



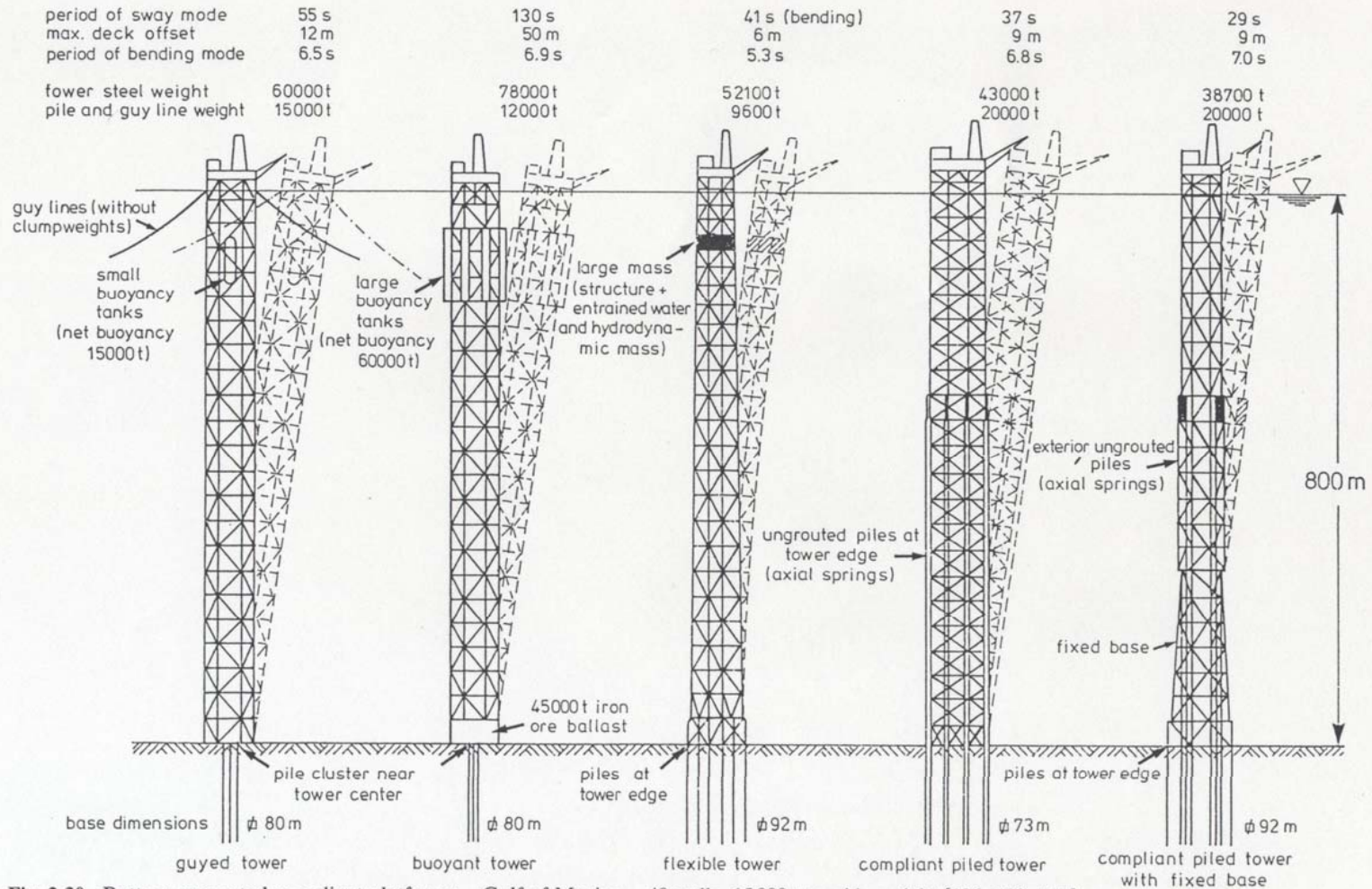


Fig. 2.30. Bottom-supported compliant platforms – Gulf of Mexico – 48 wells, 15 000 t topside weight [136, 139, 141].

# TLP (Tension Leg Platform)

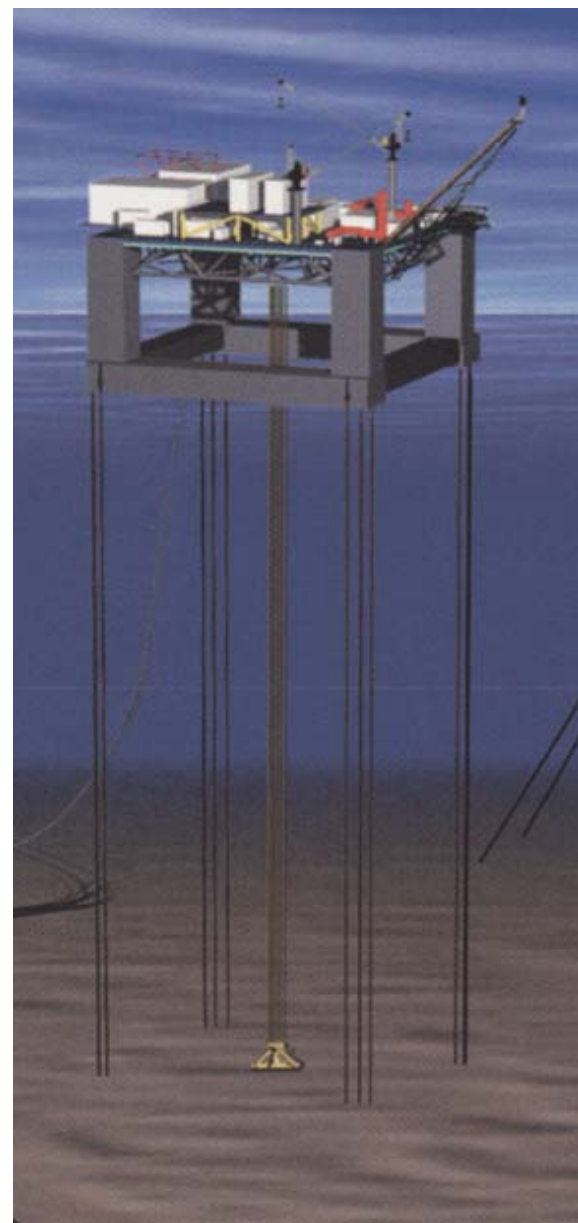
コンプライアント (可撓性構造物)

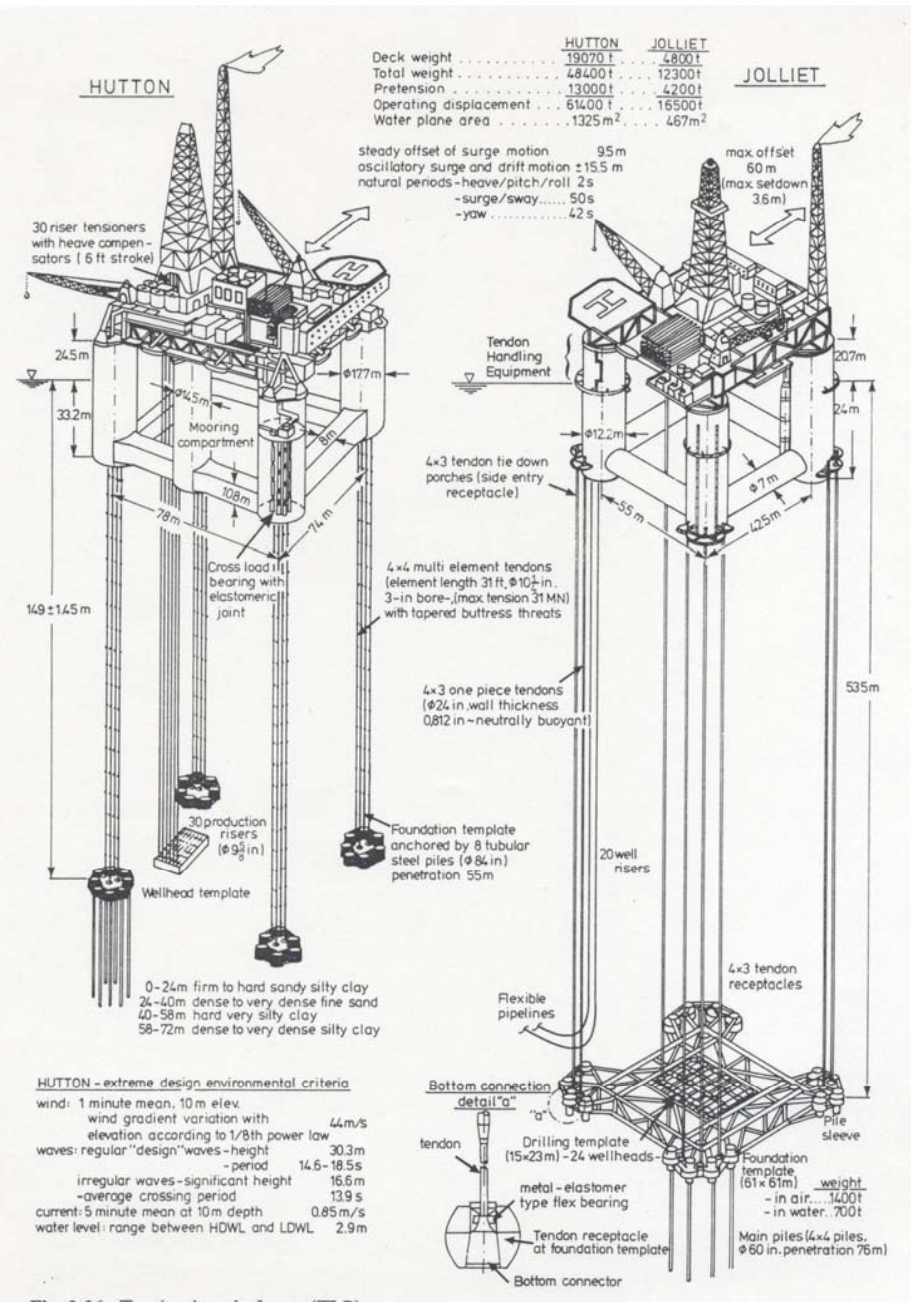
HuttonTLP	北海	水深148m (1983)
JullietTLWP	メキシコ湾	水深537m (1989)
Auger	メキシコ湾	水深872m (1993)
Mars	メキシコ湾	水深894m (1996)
Rampowell	メキシコ湾	水深981m (1997)
Ursa	メキシコ湾	水深1219m (1998)
Marlin	ブラジル	水深986m (1999)

固有周期

ヒープ 4sec

サージ 100sec





	HUTTON	JOLLIET
Deck weight	19070 t	4800 t
Total weight	48400 t	12300 t
Pretension	13000 t	4200 t
Operating displacement	61400 t	16500 t
Water plane area	1325 m <sup>2</sup>	467 m <sup>2</sup>

steady offset of surge motion 95 m  
 oscillatory surge and drift motion ±15.5 m  
 natural periods - heave/pitch/roll 2 s  
 - surge/sway 50 s  
 - yaw 42 s

max offset 60 m  
 (max setdown 36 m)

30 riser tensioners with heave compensators (6 ft stroke)

24.5 m

33.2 m

177 m

14.5 m

10.8 m

78 m

74 m

149 ± 14.5 m

Mooring compartment

Cross load bearing with elastomeric joint

30 production risers (ø 9 5/8 in)

Wellhead template

Foundation template anchored by 8 tubular steel piles (ø 84 in) penetration 55 m

0-24 m firm to hard sandy silty clay  
 24-40 m dense to very dense fine sand  
 40-58 m hard very silty clay  
 58-72 m dense to very dense silty clay

Tendon Handling Equipment

20.7 m

24 m

12.2 m

7 m

55 m

25 m

535 m

4x3 tendon tie down porches (side entry receptacle)

4x4 multi element tendons (element length 31 ft, ø 10 1/2 in, 3-in bore, (max tension 31 MN) with tapered buttress threads)

4x3 one piece tendons (ø 24 in wall thickness 0.812 in - neutrally buoyant)

20 well risers

4x3 tendon receptacles

Flexible pipelines

Bottom connection detail "a"

tendon

Drilling template (15x23 m) - 24 wellheads

metal-elastomer type flex bearing

Tendon receptacle at foundation template

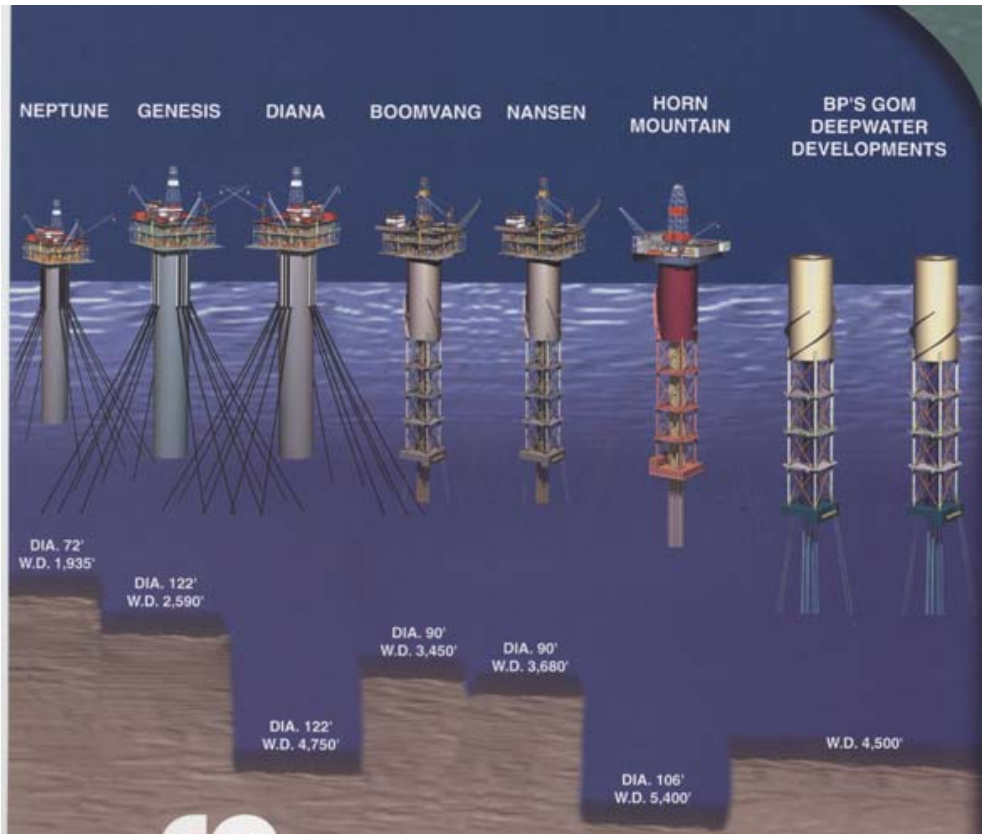
Bottom connector

Foundation template (61x61 m) weight - in air 1400 t - in water 700 t

Main piles (4x4 piles, ø 60 in, penetration 76 m)

**HUTTON - extreme design environmental criteria**  
 wind: 1 minute mean, 10 m elev. 44 m/s  
 wind gradient variation with elevation according to 1/8th power law  
 waves: regular "design" waves - height 30.3 m  
 - period 14.5-18.5 s  
 irregular waves - significant height 16.6 m  
 - average crossing period 13.9 s  
 current: 5 minute mean at 10 m depth 0.85 m/s  
 water level: range between HDWL and LDWL 2.9 m

# SPAR



サージ固有周期 300-350sec  
ピッチ固有周期 50-100sec  
ヒープ固有周期 30sec

Neptune 水深580m  
Horton 水深1640m



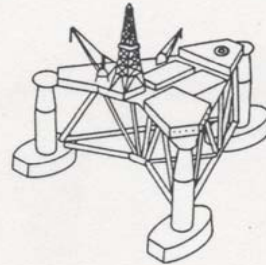
# 半潜水式 (Semi-Submersible)



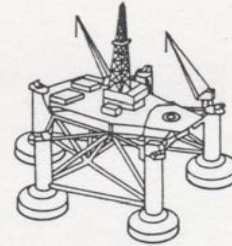
コラム  
ブレース  
フーティング  
ポンツーンorロワーハル

# 半潜水式の変遷

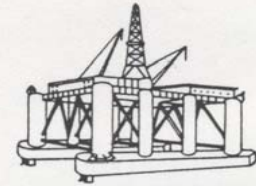
## 事故と大水深への挑戦



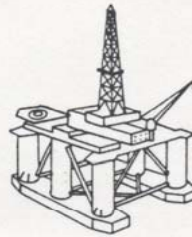
SEDCO 135 (1965)



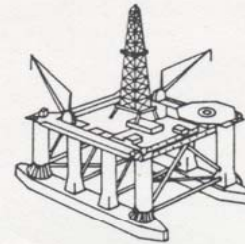
PENTAGONE (1969)



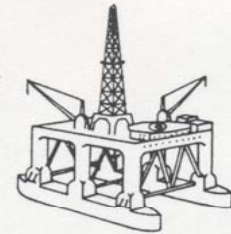
SEDCO 700 (1973)



PACESETTER (1973)



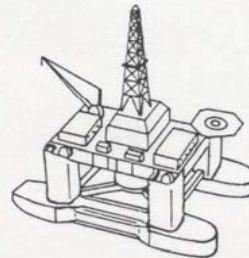
AKER H-3 (1974)



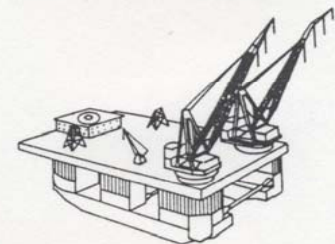
BINGO 3000 (1982)



GVA 4000 (1983)



TRENDSETTER (1987)



BALDER (1978)

Fig. 2.23. Semisubmersibles.



# 海洋構造物の事故

- ・アレキサンダーキーランド (1980)  
セミサブ構造様式の単純化
- ・オーシャンレンジャー (1982)
- ・パイパーアルファ (1988)  
セーフティーケース
- ・P-36 (2001)



# 浮体技術 Technology of Floating Structure

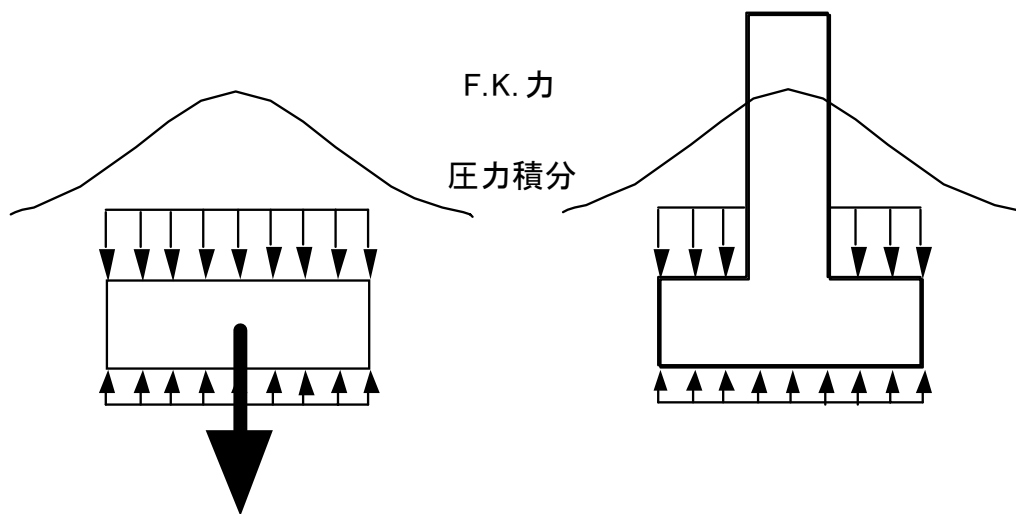
波無し形状 Wave-Less Form

揺れない浮体

= 波から力を受けない浮体形状

= 動揺させた時波を作らない

波：表面波



# 海底鉍物資源

---

## 鉍物資源

### 1) ベースメタル

鉄、アルミ、銅、亜鉛、鉛

### 2) レアメタル

マンガン：鋼材の脱酸素剤・脱硫黄剤

コバルト：二次電池、特殊鋼、磁性体、超硬工具、永久磁石

ニッケル：磁性材料、二次電池

## 中国、インドの経済成長

需給の逼迫

耐用年数

供給途絶

# 鉱物資源の偏在

資源の偏在⇒カントリーリスク（マンガン団塊開発の動機）

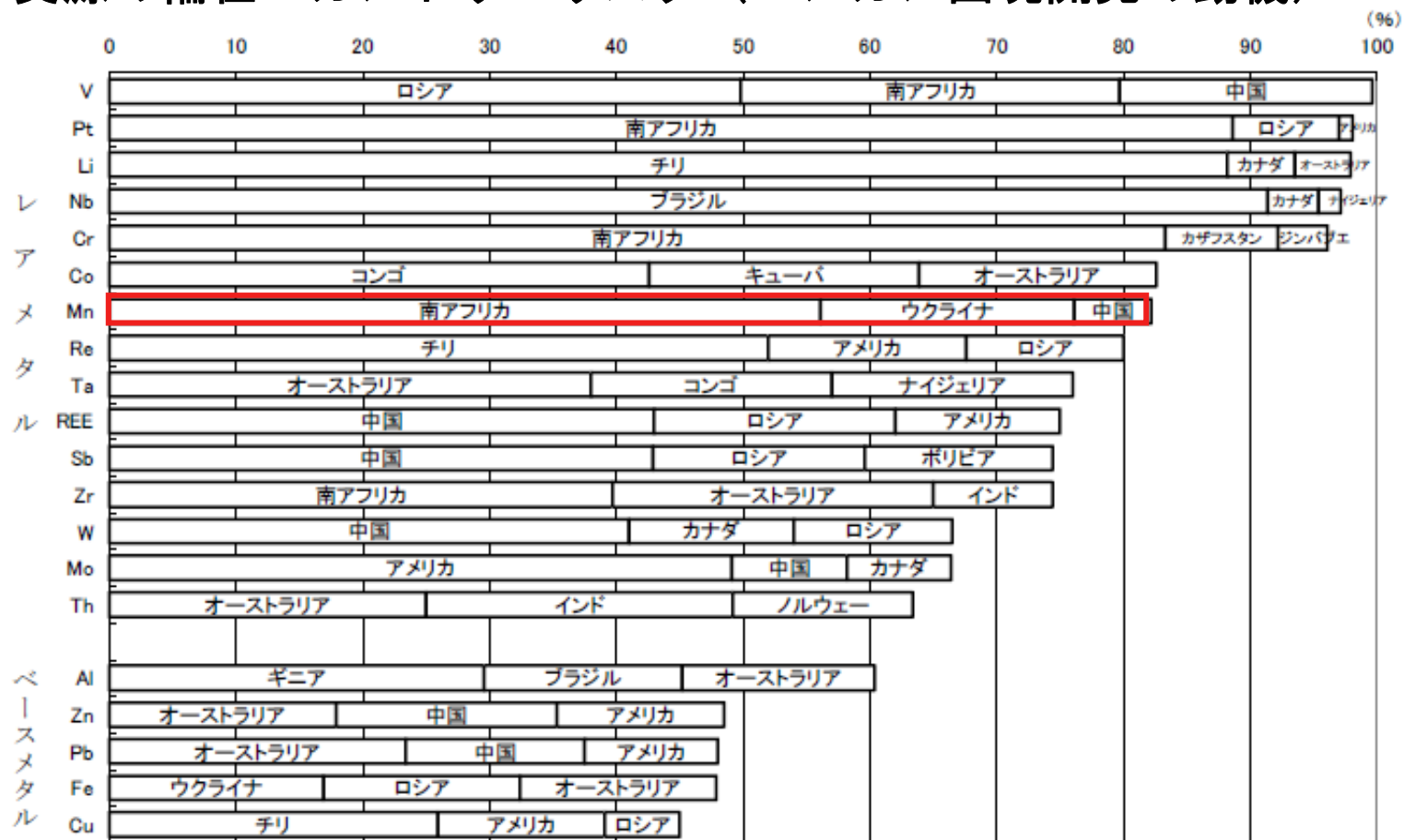


図 2.3. レアメタルとベースメタルの国別埋蔵シェア（上位 3 カ国）

出典：Mineral Commodity Summaries, Bureau of Mines

# 金属資源の耐用年数

“銅が危ない”

元素	単位 t/y	年間生産量	埋蔵量	耐用年数
Ag	1	18,800	270,000	14.4
As*	1	35,000	800,000	22.9
Au	1	2,530	42,500	16.8
Al	1000	141,000	22,000,000	156
Be*	1	200	19,000	95
Bi	1	3,900	330,000	84.6
Br*	1000	520	15,400	29.6
Cd	1	18,700	600,000	32.1
Co	1	36,900	6,700,000	181.6
Cr	1000	13,000	1,600,000	123.1
Cu	1000	13,400	480,000	35.8
Fe	1000000	600	70,000	116.7
Ge*	0.001	6,800	500,000	73.5
Hg	1	1,400	120,000	85.7
In	1	335	2,500	7.5

	単位 t/y	年間生産量	埋蔵量	耐用年数
Li	1	15,100	4,100,000	271.5
Mg	1000	2,980	2,100,000	704.7
Mn	1000	7,600	300,000	39.5
Mo	1	128,000	8,600,000	67.2
Nb	1	25,700	4,400,000	171.2
Ni	1	1,320,000	61,000,000	46.2
Pb	1000	2,900	68,000	23.5
Pts	0.001	171,000	71,000,000	415.2
REO	1	85,500	88,000,000	1,029.20
Re	0.001	23,100	2,400,000	103.9
S	1000	58,000	1,300,000	22.4
Sb	1	141,000	1,800,000	12.8
Se	1	1,460	84,000	57.5
Sn	1	230,000	6,100,000	26.4
Sr	1	360,000	6,800,000	18.9
Ta	1	1,530	39,000	25.5
Te	1	130	21,000	161.5
Tl	1	15	380	25.3
Ti	1000	490	47,000	95.9
V	1	67,000	13,000,000	194
W	1	46,600	2,900,000	62.2
Zn	1000	8,900	200,000	22.5
Zr	1000	910	37,000	40.7

# 海底鉱物資源

海底資源の種別		マンガン団塊		熱水鉱床 (温泉沈殿物)
		鉄・マンガン団塊 (多金属団塊)	マンガン・クラスト (コバルト・リッチ・クラスト)	
有用資源		銅、ニッケル、コバルト、マンガン	主にコバルト	亜鉛、銅、鉛、銀、金
成因・性状		鉄、マンガン酸化物が海水から沈殿し凝集したもので含有金属元素はプランクトンに取りこまれたもの		海底火山活動に伴って湧水する熱水から沈殿した鉱物(主に硫化物)
産状		主なものは、深海底(水深4500-6000に団塊状に分布する)	海山の山頂・斜面を皮殻状に覆う (水深500-2500m)	泥状(厚さ数10m)、塊状(不規則な形と規模で堅い塊が海底状に散在)
主な産地	日本近海	深海型の大規模な分布はないが、各所の海山に散在する		沖縄トラフ、南方諸島海底火山
		大東沖・沖大東海嶺	沖ノ島島、南島島周辺	大洋拡大域(紅海、東太平洋海膨、大西洋中央海嶺など)
	世界	中部太平洋域(時にハワイ南東方から東にかけての海域)	南太平洋から太平洋中央部の海山の山頂・斜面	大洋拡大域(紅海、東太平洋海膨、大西洋中央海嶺など)

# マンガン団塊

## 鉄・マンガン団塊

じゃがいも状の塊（黒褐色で、径1～10cm程度）

深海底に敷き詰めるように分布

## 三大洋別マンガン団塊の金属含有率(%)

平均				範囲（太平洋とインド洋）	
	太平洋	インド洋	大西洋	最大値	最小値
Mn	17.2	14.9	13.6	34.00	5.41
Fe	11.8	14.6	15.5	26.32	4.36
Ni	0.63	0.38	0.33	2.00	0.13
Co	0.36	0.31	0.24	2.57	0.045
Cu	0.36	0.17	0.16	2.5	0.028

(財) 日本水路協会



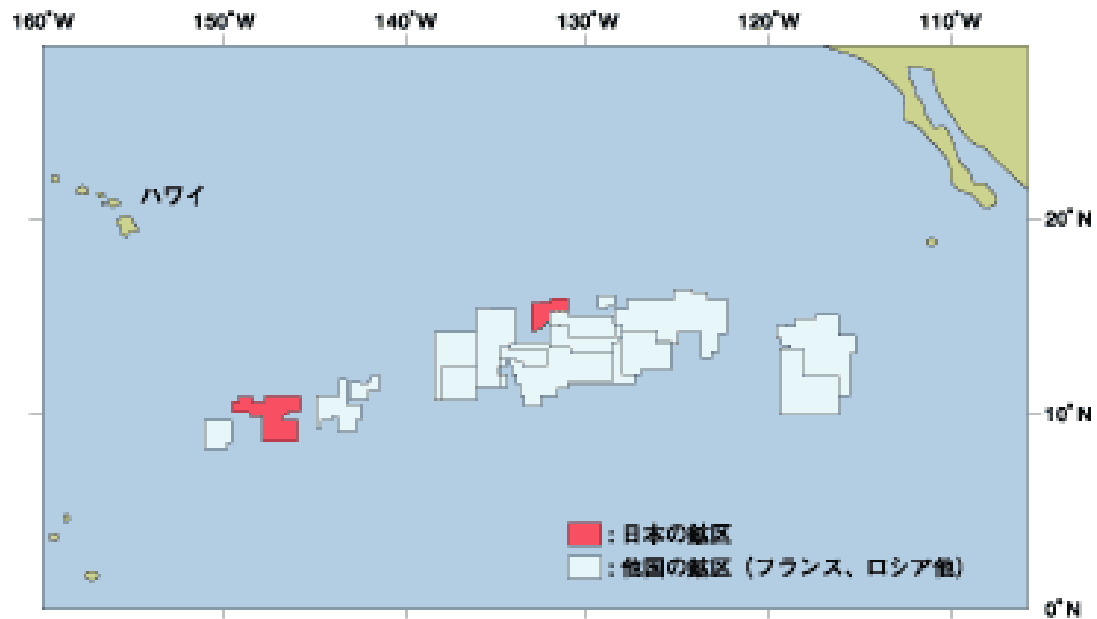
Manganese Nodule, Site 5802D01



Manganese Nodule, Site 59DTD03



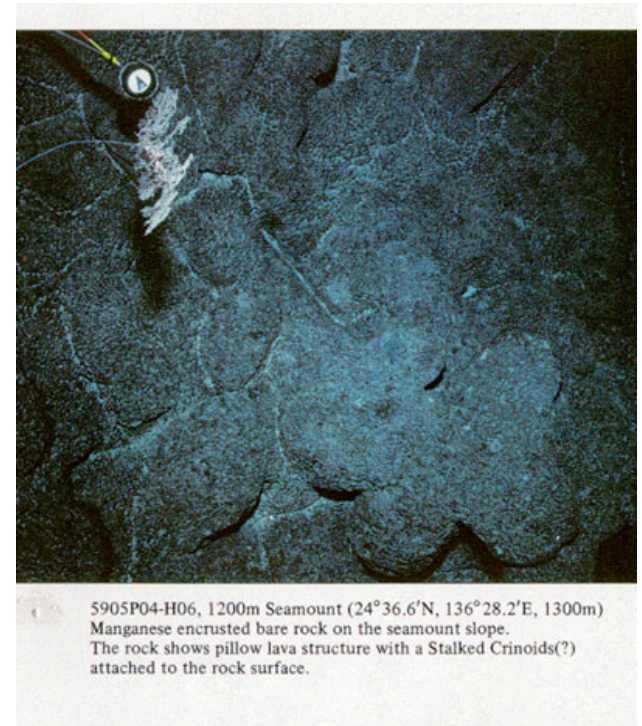
## ハワイ南東沖に日本が登録したマンガン団塊鉱区



(独) 石油天然ガス・金属鉱物資源機構

# マンガン・クラスト

マンガン団塊の一種  
堅い岩盤の上に分布  
コバルトの含有量が約1%を越えるものが  
有望視される

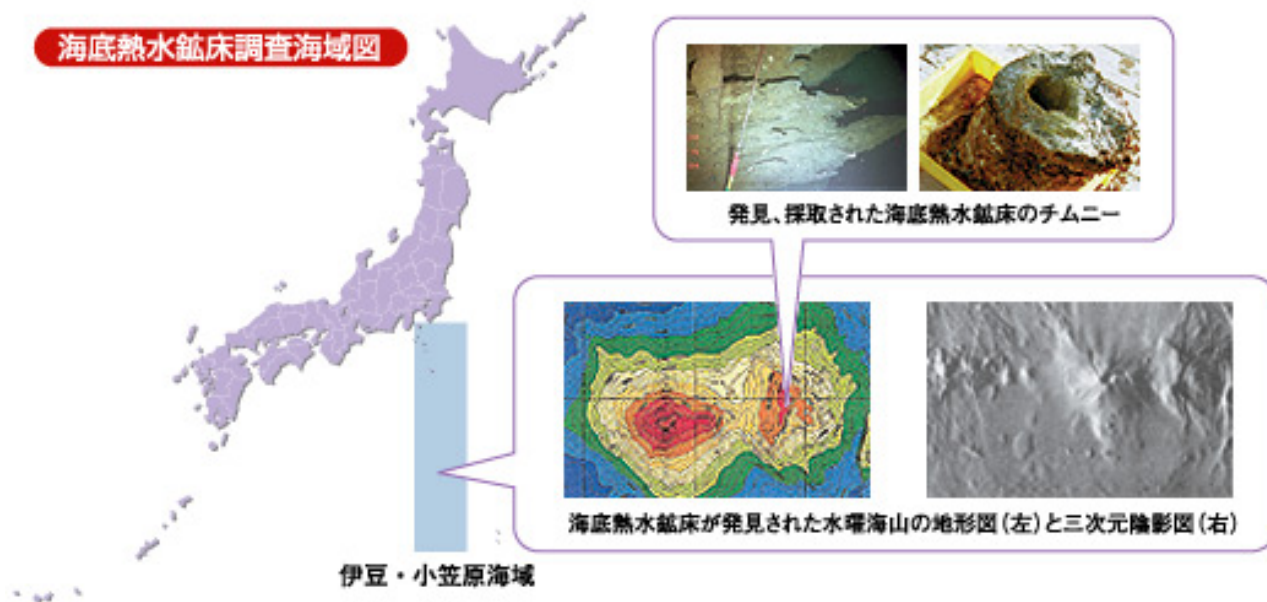


## 海底鉱物資源品位比較表（科学技術庁、1991）

	ニッケル	コバルト	マンガン	銅	金	銀
マンガン団塊の品位	0.3~1.3	0.1~0.4	16~27	0.3~1.0	-	-
熱水鉱床の品位	-	-	-	0.2~10	0.0001~0.001	0.0001~0.03
コバルト・リッチクラストの品位	0.3~0.8	0.5~1.2	16~27	~0.2	-	-
黒鉱鉱床（我が国の代表的鉱床）	-	-	-	1~2	0.0001~0.001	0.005~0.05
陸上資源の平均的品位	0.4~1.0	0.1	40~50	0.5	0.0001~0.001	0.01~0.1

# 熱水鉱床

海底から噴出する熱水から金属が沈澱堆積したもの  
太平洋や大西洋など 深さ数100m～3000mの  
火山活動の活発な地域に分布



# マンガン団塊採鉱システム（国家プロジェクト）

---

## （１）集鉱システム

被曳航式集鉱機：集鉱、分離、粉碎・供給

## （２）揚鉱システム

流体ドレヅジ方式（浚渫）、連続循環バケット方式、シャトルマイナー方式

マンガン団塊と海水をスラリー化（ドロドロ状態）

揚鉱管を利用して深海底より海面上まで輸送

ポンプリフト及びエアリフト方式を開発

高圧水中ポンプ

管の途中に空気吹込み、見かけの比重を下げて上昇流を作って輸送

## （３）ハンドリングシステム

パイプストリングの組立、降下、把持

## （４）計測制御システム

---

## マンガン団塊の採鉱システム

### 採鉱機



# マンガン団塊採鉱の環境影響

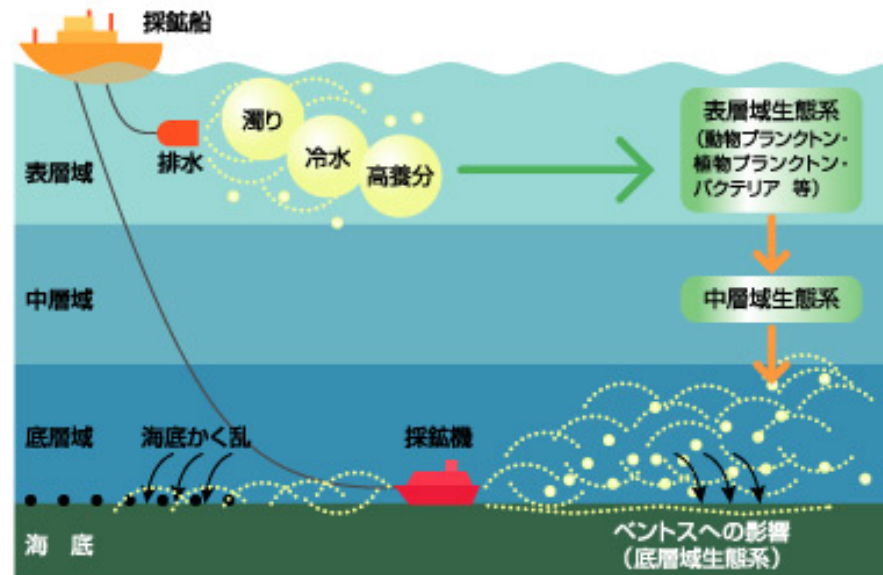
## マンガン団塊の採鉱に伴う環境影響要因

### 集鉱機

海底面を曳航、海底に溝、周辺に泥雲（プリューム）  
底生動物がつぶされる、埋められる、巣が潰される  
分離排出した堆積物粒子が沈降、海底を覆い底生動物に影響を与える

### 船上選鉱

分離した堆積物が船外に排出



# 開発の行方

---

国連海洋法条約（海洋法条約） 1994年11月16日発効

第156条 国際海底機構（機構）

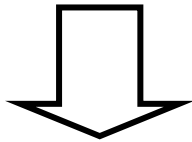
ジャマイカに設立1997年6月1日

メンバー国：日、仏、ロ、米、英など134カ国

深海底を管理する

★公海の位置づけの変化

どの国の主権も及ばない、どの国も自由に使用することができる



人類共通の資産  
成果の供出

★冷戦の終了、事業性の低下



# レポート課題

---

わが国の200海里面積は447万km<sup>2</sup>で世界第6位の面積となっている。この面積は国土面積の約38万km<sup>2</sup>の10倍以上の面積を占めている。ここは、人間活動の場となる空間をはじめとして、自然エネルギー、鉱物資源、生物資源の宝庫でもある。今後わが国が持続的社會を構築してゆく上で、海洋をどのように保全し、利用するかは重要な問題である。しかしながらその利用は期待されるほど進んでいない。レポートでは、これらの資源の中から一つを取り上げ、その可能性、利用を阻む要因について分析を加え、利用を促進するために必要な打開策を提案する内容でまとめること。