

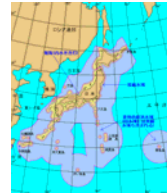
海洋にエネルギー・資源を求める

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. エネルギーと環境をめぐる情勢
2. 海洋再生可能エネルギー
風力、海流・潮流、波 …
3. 資源・エネルギー開発
海洋の鉱物資源
エネルギー資源
4. 超大型浮体による海洋空間利用
メガフロート

出典：海上保安庁HP

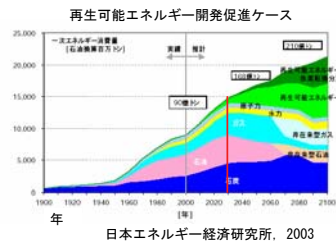


エネルギーと環境をめぐる情勢

動向を支配する要因

- 1) 地球温暖化
- 2) エネルギー問題
石油枯渇、石油価格上昇

エネルギー需給の長期予測



- ・化石燃料 石油・天然ガスの枯渇化
- ・原子力 廃棄物、事故、課題多い
- ・自然エネルギー 持続的社会的エネルギー、コスト高

エネルギービジョン トリプル50

東京大学持続型社会研究協議会

エネルギービジョン トリプル50

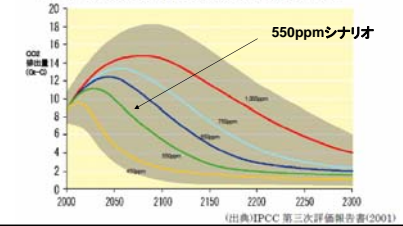
- ①エネルギー自給率50%
現在25%
- ②エネルギー利用効率50%
現在35%
- ③化石燃料依存率50%
現在80%

地球温暖化問題

気候に危険な影響が出ない範囲で、大気中の温室効果ガス濃度を安定化

2100年の大気中濃度を550ppmに安定化

図-1 CO2安定化濃度レベルに対応した排出シナリオ



CO2濃度を550ppmに安定化
先進国のCO2排出量を2050年までに
60%削減することが必要

英国エネルギー白書(2003)

図-3 550ppm 安定化を達成するための先進国及び途上国
からの排出量の一例



京都議定書

気候変動に関する国際連合枠組条約
大気中の温室効果ガスの濃度を安定化させ、
現在及び将来の気候を保護することを目的

締約国会議 (COP)
第3回締約国会議 (1997) 京都會議

温室効果ガス排出削減の数値目標
1990年基準で2008~2012年までに全体で5.2%削減
日本-6%、EU-8%、米国-7%、カナダ-6%、ロシア0%
2004年11月ロシアの批准
2005年2月16日の発効

柔軟性メカニズム
共同で達成

- 1) 排出権取引 (市場メカニズム)
- 2) 共同プロジェクト (締約国同志、先進国間)
- 3) クリーン開発メカニズム
(締約国と非付属書1締約国、先進国と発展途上国)

ポスト京都議定書の議論

2050年までに温暖化ガス排出50%削減

Renewable Portfolio Standard 法

電気事業者による新エネルギー等の利用に関する特別措置法
(RPS (Renewable Portfolio Standard) 法)
京都議定書を受けて2003年4月施行

目的

電気事業者による新エネルギーの利用義務付け
(全販売電力の1.35%)
環境の保全に寄与

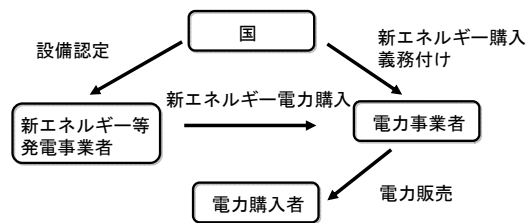
新エネルギー

風、太陽、地熱、水力、バイオマス

電気事業者

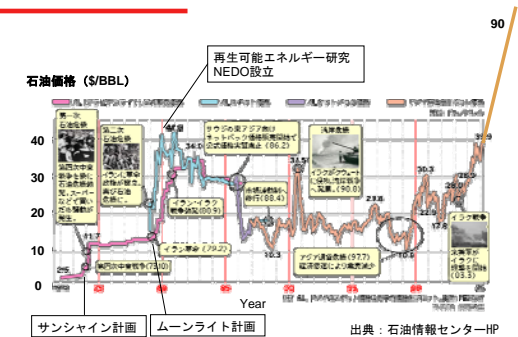
- ① 自ら発電
- ② 他から新エネ等電気を購入
- ③ 他から新エネ等電気相当量を購入

RPS法の仕組み



国の認定
事業者: 鈴木英之
設備: 鈴木英之の太陽電池電所

石油価格と日本の再生可能エネルギー開発



出典: 石油情報センターHP

1973年 第1次石油ショック
 石油価格 4ドル/bbl⇒10ドル/bbl
 1974年 サンシャイン計画スタート
 1979年 イラン革命、第2次石油ショック
 石油価格 13ドル/bbl⇒40ドル/bbl
 1978年 ムーンライト計画スタート（省エネルギー技術開発）
 1980年 新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）設立
 1986年 石油価格の安定化
 20ドル/bbl
 1993年 ニューサンシャイン計画スタート
 太陽、地熱、風力
 2007年 石油価格の高騰
 90ドル/bbl

海洋再生可能エネルギー

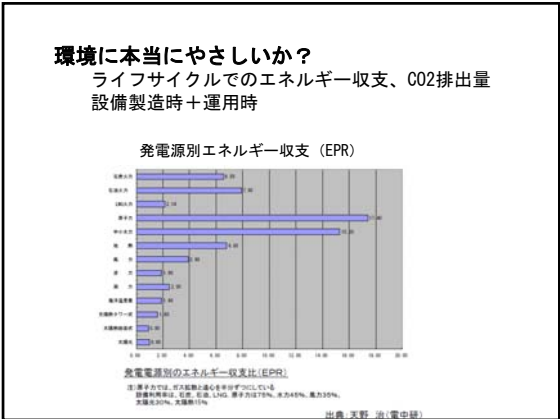
風、潮流・海流、波、温度差、潮汐、太陽

長所と短所

- ・資源量膨大
領海、排他的経済水域
- ・変動
安定供給
- ・技術
比較的長い歴史
- ・経済性
最も重要でかつチャレンジングな課題

各種エネルギー源の経済性

	設備コスト (¥/kw)	設備稼働率 (%)	電力価格 (¥/kwh)
風	250,000	40	9-14
太陽光	700,000	10	50
波	N/A	N/A	60
海流・潮流	N/A	30-70	8-16
原子力	300,000	80	6



波力エネルギー

発電方式の分類

空気タービン式：波浪 ⇒ 水柱振動 ⇒ 空気柱振動 ⇒ 空気タービン
 機械式：波浪 ⇒ 浮体運動 ⇒ 機械式発電
 水タービン式：波浪 ⇒ 水持ち上げ ⇒ 水タービン

空気タービン式

日本の開発はこの方式に集中
 20世紀の初めに1kW発電所
 1970年代から本格的
 1977年「海明」
 発電コスト63.2円/kWh
 1998年「マイティーホエール」
 平均発電量6.04kW、浮体幅30m

マイティーホエール

機械式

Pelamis
 発電容量：750kW

水タービン式

Wave Dragon Pre-Commercial Demonstrator
 発電容量：4 - 7MW
 アーム間隔：300m

潮汐エネルギー



ランス潮汐発電所 (1966年完成)

干満差5mが設置の目安
日本では有明海の4.9mが最大で
適地に恵まれない

発電方式：
大型の湾内で干満差が大きい
低落差の水力発電

湾奥にダム ⇒ 満潮時に堤防開放 ⇒ ダム内に海水を導入
⇒ 潮時に堤防を閉鎖 ⇒ 落差を用いてタービンで発電

温度差エネルギー



“Sagar-Shakthi” 1MW Closed Cycle OTEC power plant
佐賀大学とインドNITOT

1881年基本原理 フランス
1930年最初の発電フランス
1974年アメリカNELHA
1979年島根沖洋上実験
1981年ナウル島実験プラント (120kW)
1982年徳之島実験プラント (50kW)
1992年伊万里の海洋温度差発電実験設備 (50kW)
1989年富山湾「豊洋」洋上試験

発電方式：
熱機関 温度差20℃ 熱機関としての効率は低い
作動流体
クローズドサイクル
オープンサイクル

太陽エネルギー



Solar cell

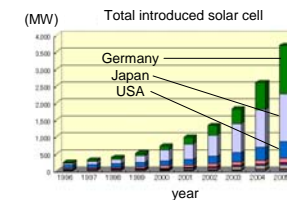


Heat

設備コストが高い ¥700,000/kW

政府の補助が重要

- ・ドイツ：買い取り価格を引き上げた
- ・日本：正負の補助停止



風力エネルギー

風力エネルギーはヨーロッパが先導
現在はアメリカ、アジアの導入活発



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)

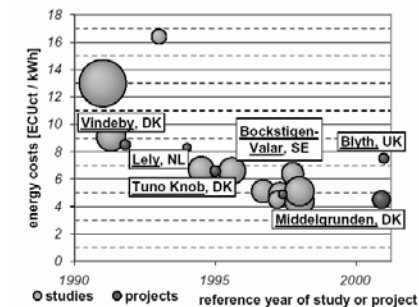


Fig. 4: Reduction in Cost (Kühn et al, 1998) (Sorensen et al 2000)

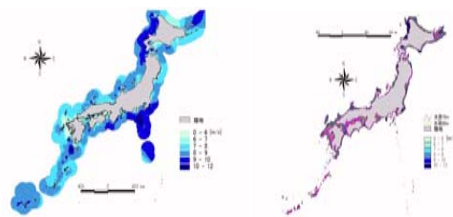
日本の洋上風力発電の可能性

長所

- 風の乱れが小さい ⇒ 風車の負担が小さい
- 平均風速が早い ⇒ 稼働率大(陸上25%→洋上40%)
- 居住地位から遠い ⇒ 環境問題
- 設置可能海域が広大 ⇒ 総発電量大



苫前グリーンヒル運度パーク (1999)
20MW



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

日本の風力エネルギー資源量

- (1) 陸上風力エネルギー
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

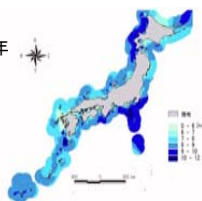


苫前町風力発電設備

- (2) 洋上風力エネルギー

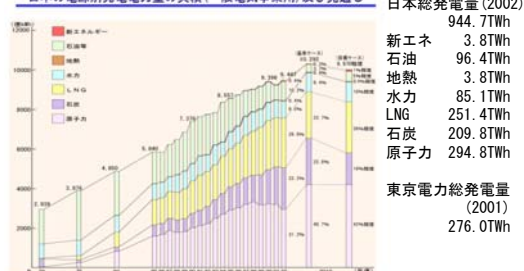
発電容量: 57000万kW (陸上の190倍)
設置可能面積 約400000km² (離岸距離40km)
5MWクラス風車 (設置密度100×100/基、D: 風車直径)
設備稼働率30%

発電量1500TWh/年
日本の総発電量1028TWh/年



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

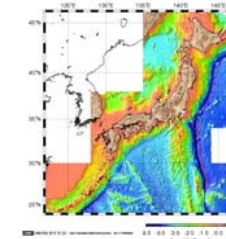


経済産業省のホームページ「原子力のページ」/Q & A

浮体式風車の必要性

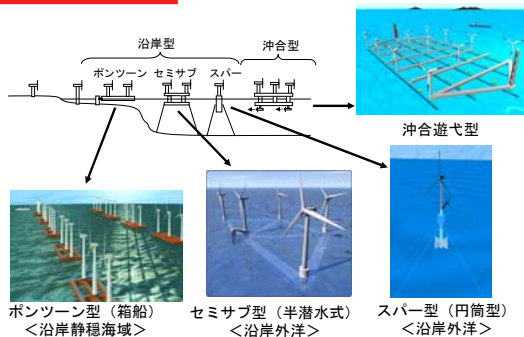
★日本周辺の急峻な海底地形
大水深

★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



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

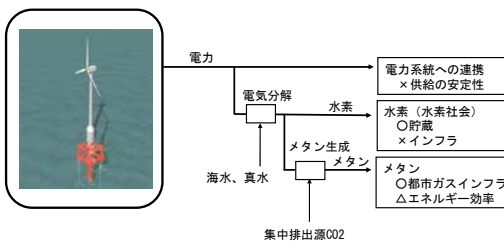
低コスト
電力料金 10~20円/kWh
低コストの浮体一係留システムの開発

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

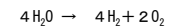
日本近海での実現

エネルギー供給方式



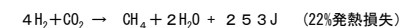
化学燃料の創出

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25m/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50m/s
 - ・潮流流速: 2.0ノット
 - ・水深: 200m

設計のクライテリア (基準)

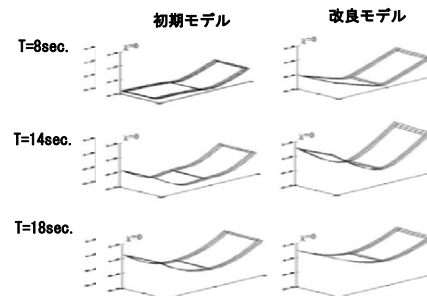
設計のクライテリア

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

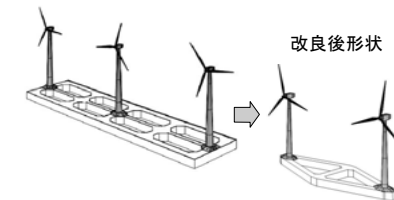
ポンツーン型浮体式風車の開発

- 初期モデル
-
- 5 MW風車
最大応力: 22kgf/mm²
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/mm²
型深14mにおいて許容応力10kg/mm²を満足

上下変位の振幅分布例



初期形状



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)

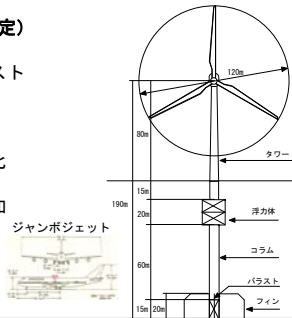
★静的傾斜

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

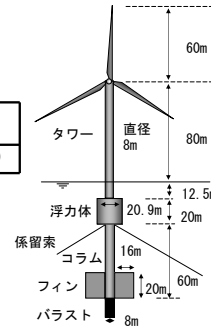
★コラム内部注水 補強軽減、軽量化



初期形状モデル

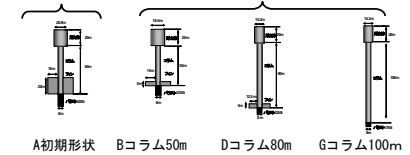
風車移動時の最大傾斜角(度)	タワー基部に作用する最大応力(MPa)	コスト(万円)
3.7	166	41640

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

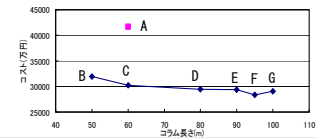


各コラム長さにおける最適形状

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°



浮体コスト



海流・潮流エネルギー



SeaGen

1970代 係留ダクト式
1983 来島海峡で小規模実験
1986 鳴門海峡で小規模実験

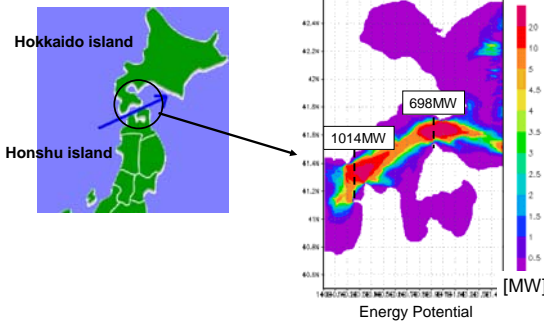


SYSTEM "CORIOLIS"

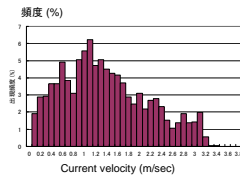


C-Plane Design

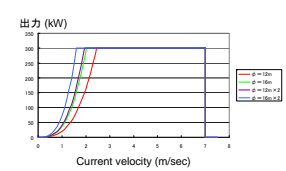
津軽海峡におけるFS



流速の頻度分布 (10分平均) [%]



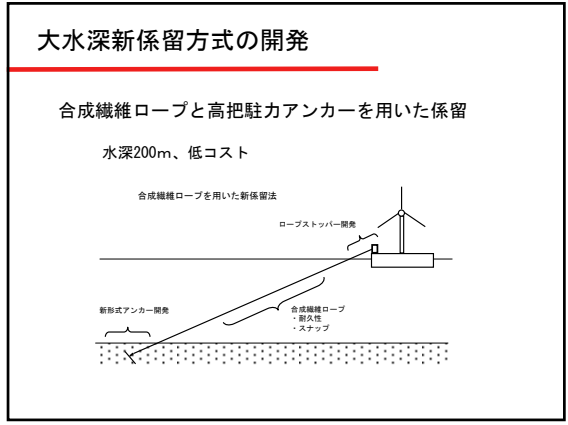
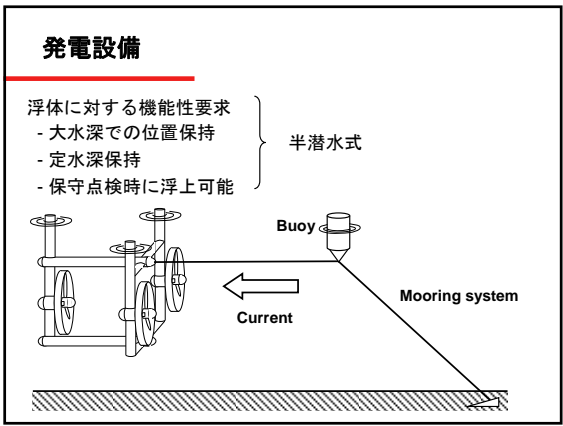
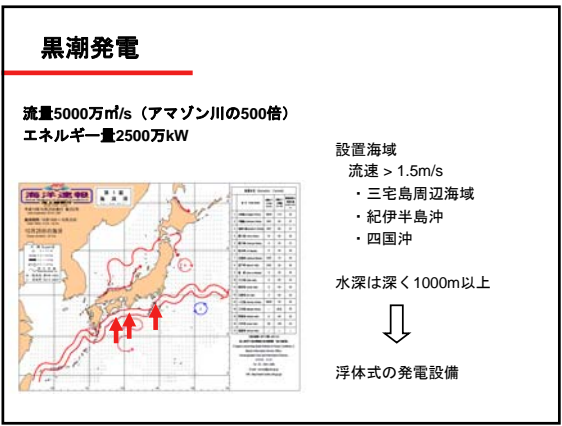
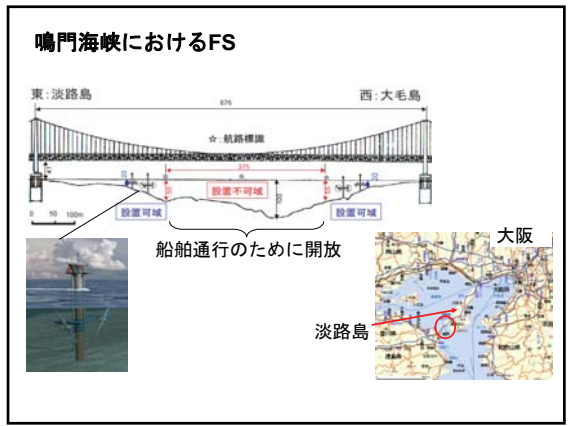
タービンのパワーカーブ (300kW)



稼働率 30%, 年間出力 2355MWh

⇒ ¥7.5/kWh

Cost estimation based on SEAFLOW project
Jeremy Thake, "Development, Installation and Testing of a Large-Scale Tidal Current Turbine", IT Power (2005)



合成繊維ロープの検討

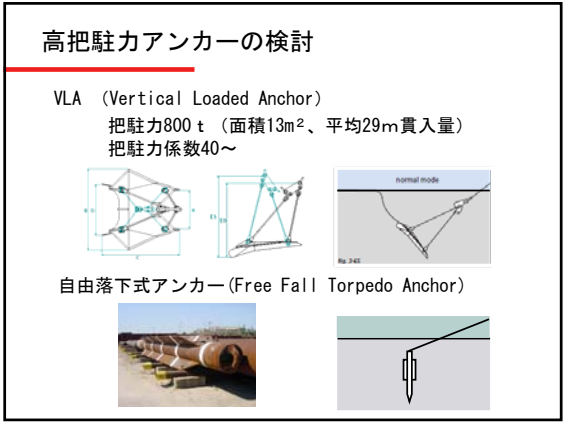
合成繊維の力学的特性 (破断強度: 90~270 kgf/mm²)

繊維名	乾強度 (g/D)	乾伸度 (%)	湿強度/乾強度 (%)	比重
ポリアミド系 (ナイロン)	9.0~9.7	16~27	85	1.14
ポリエステル系 (テトロン)	9.2~9.5	10~15	100	1.38
ポリエチレン (ダイニーマ)	30.0	4.0	100	0.97
アラミド系 (ケブラー)	26.0	3.3~4.4	100	1.44

強度: (g/D) × 9 × 比重 = (kgf/mm²)

合成繊維ロープの評価

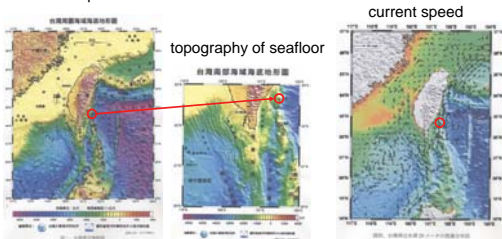
繊維名	破断強度	破断伸び	湿強度	ヤング率	疲労特性
ポリアミド系 (ナイロン)	○	◎	△低	○	×低
ポリエステル系 (テトロン)	○	○	○	○	○
ポリエチレン (ダイニーマ)	◎大	△小	○	△高	
アラミド系 (ケブラー)	◎大	△小	○	△高	



Ocean Current Power Generation offshore Taiwan

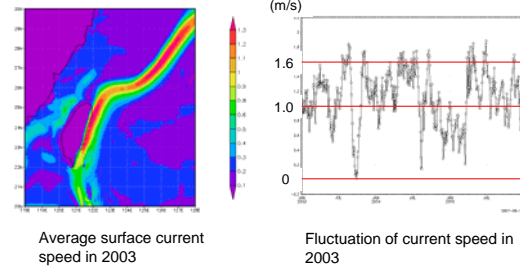
Environmental condition
 Current speed: max. 1.8m/sec
 Flow: 17-21 million m³/sec
 Water depth: 500-2000m

Objective
 Supply of electricity to 綠島



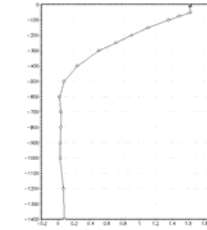
Simulation and Measurement Combined Estimation of Environmental Condition

Current

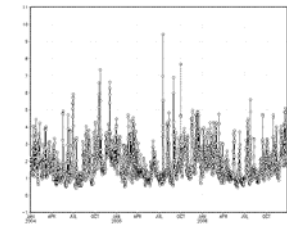


Wave

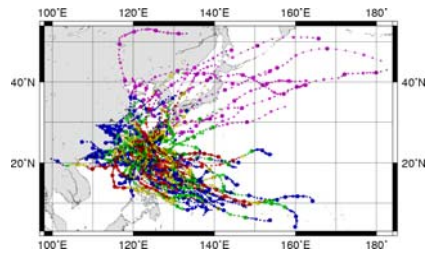
Uniform flow until 50m



Harsh wave condition for design



High design wind speed

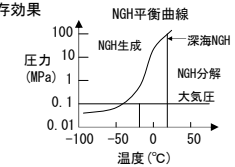
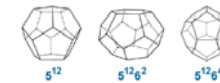


資源・エネルギー開発

- 1) メタンハイドレート開発
- 2) 深海底鉱物資源開発

メタンハイドレート開発

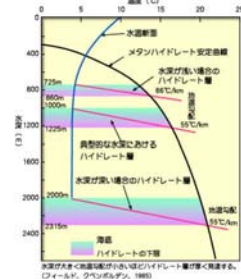
- 水分子とメタン分子からなる包接化合物
- 高圧or低温の状態が存在
水深1000mの海底下、極地方
- メタンハイドレート1m³
CH₄150~160m³ + 水0.796m³
- 分解は吸熱反応
減圧or加熱による分解、自己保存効果



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



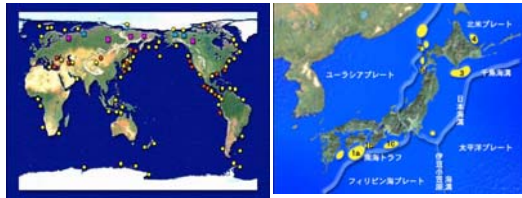
- メタンガス採取法
- ・減圧法
 - ・熱刺激法
 - ・分解促進法

出典：石油天然ガス・金属鉱物資源機構
<http://www.mh21.japan.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 ³	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(3~6兆m ³)			210,000	

日本近海にCH₄換算3~6兆m³が存在
 80~90%が南海トラフに存在

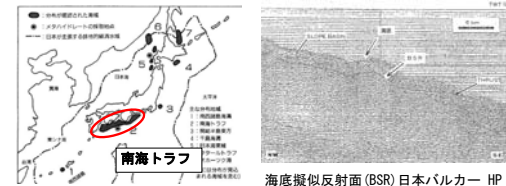


(石油天然ガス・金属鉱物資源機構HP)

- 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

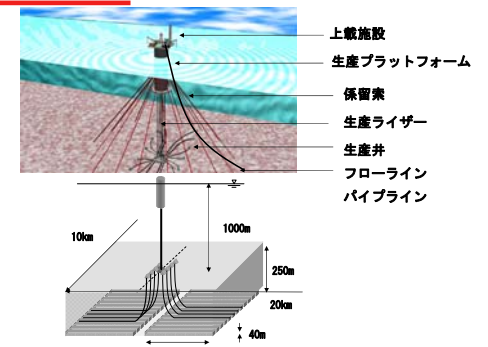
日本近海のメタンハイドレート資源量

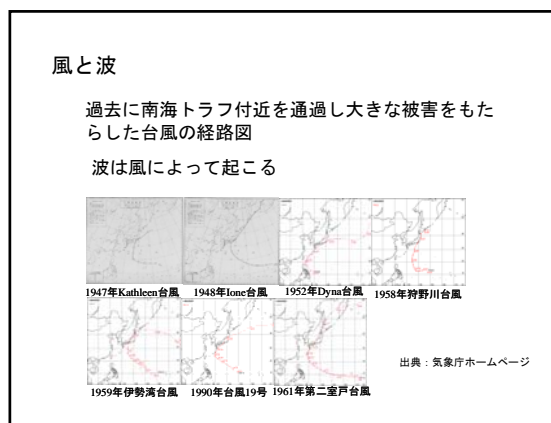
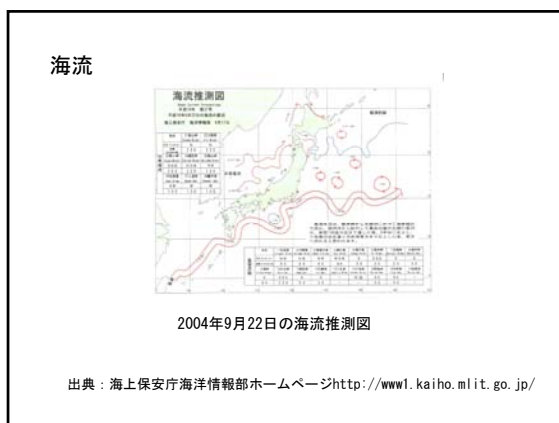
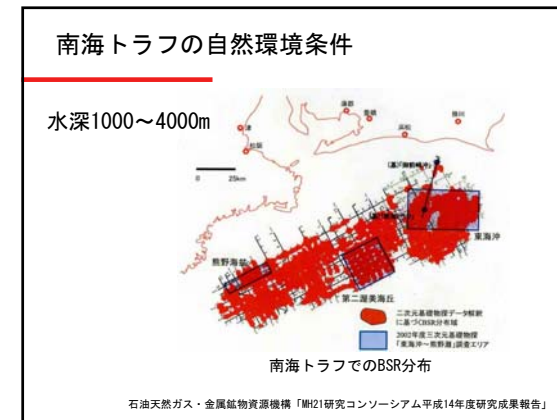
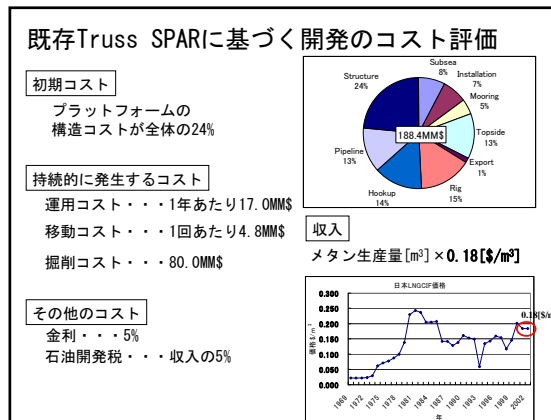
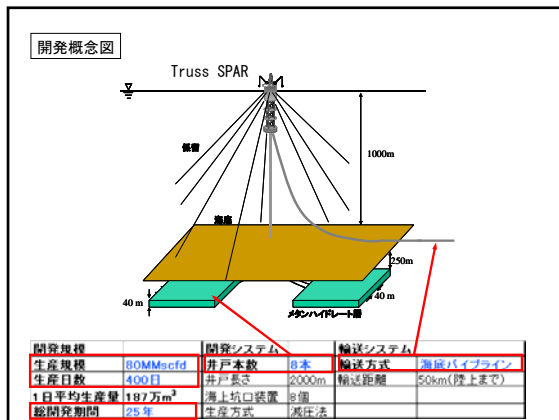
	ハイドレート分解ガス[m ³]	フリーガス[m ³]	計
南海トラフ			
原始資源量	2.71×10^{12}	1.6×10^{12}	4.31×10^{12}
究極可採資源量	2.71×10^{11}	1.2×10^{12}	1.471×10^{12}
日本近海			
原始資源量	4.65×10^{12}	2.7×10^{12}	7.35×10^{12}
究極可採資源量	4.65×10^{11}	2.0×10^{12}	2.465×10^{12}



エネルギー総合工学研究所, 「非在来型天然ガス(メタンハイドレート編)」
 新エネルギーの展望, 1998

メタンハイドレート開生産システム



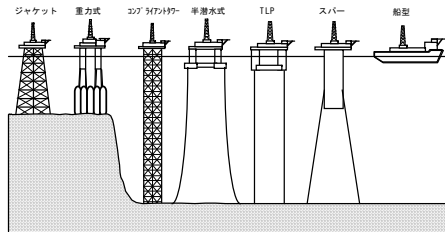


南海トラフの海象条件

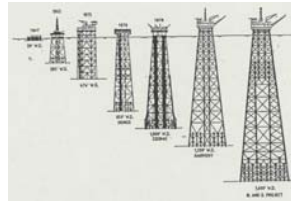
年平均風速	8 [m/s]
瞬間最大風速	80 [m/s]
平均最大風速	50 [m/s]
有義波高	12.5 [m]
平均波周期	11~13.6 [s]
潮流	1.8~3.6 [m/s]
水深	1000~4900 [m]

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 海洋石油開発が推進



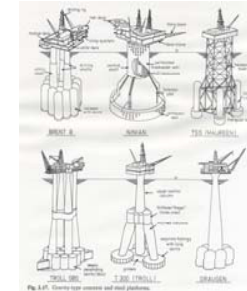
ジャケッ



陸上から海洋へ

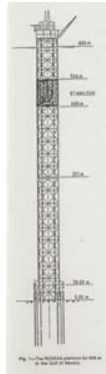
波に対して剛
1947 水深10m
1988 限界水深 410m
Bullwinkle GOM

重力式

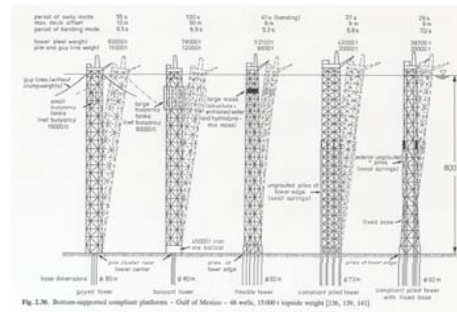


コンプライアントタワー

コンプライアント (可撓性構造物)



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



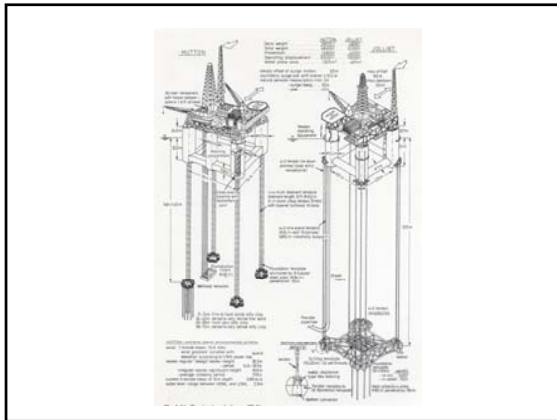
TLP(Tension Leg Platform)

コンプライアント (可撓性構造物)

HuttonTLP	北海	水深148m	(1983)
JulietTLWP	沖ノ島	水深537m	(1989)
Auger	沖ノ島	水深872m	(1993)
Mars	沖ノ島	水深894m	(1996)
Rampowell	沖ノ島	水深981m	(1997)
Ursa	沖ノ島	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





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

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

半潜水式の変遷

事故と大水深への挑戦

Fig. 2.23. Semi-submersibles

海洋構造物の事故

- アレキサンダーキールランド (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)

P-36

深海底鉱物資源開発

鉱物資源

- 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

中国、インドの経済成長

需給の逼迫
耐用年数
供給途絶

主要国・主要地域の銅消費量 (千トン)

	2004		2005		2006	
	消費量	世界シェア	消費量	世界シェア	消費量	世界シェア
中国	3,564	21.0%	6,486	30.4%	9,923	39.0%
欧州	4,134	24.4%	4,342	20.4%	4,132	16.3%
米国	2,445	14.4%	2,509	11.8%	2,423	9.5%
日本	1,279	7.5%	1,246	5.8%	1,098	4.3%
ロシア	580	3.4%	868	4.1%	1,106	4.4%
インド	339	2.0%	588	2.8%	816	3.2%
ブラジル	340	2.0%	416	2.0%	488	1.9%



ロンドン金属取引所における銅現貨購入価格変遷

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 Statistics, Bureau of Mines

金属資源の耐用年数

“銅が危ない”

元素	単位	年間生産量	埋蔵量	耐用年数
Ag	t	18,800	270,000	14.4
Au*	t	35,000	800,000	22.9
Au	t	2,530	42,500	16.8
Al	1000	141,000	22,000,000	156
Ba*	t	200	19,000	95
Ba	t	3,900	330,000	84.6
Ba*	1000	520	15,400	29.6
Ca	t	18,700	400,000	21.7
Ca	t	38,900	830,000	21.4
Co	1000	13,000	1,800,000	121.1
Co	1000	13,400	480,000	35.8
Cr	1000000	400	70,000	116.7
Cr*	0.001	6,300	300,000	73.3
Hg	t	1,400	120,000	85.7
In	t	335	2,500	7.5

	単位 t/y	年間生産量	埋蔵量	耐用年数
Li	t	15,100	4,100,000	271.5
Mg	1000	2,880	2,100,000	704.7
Mn	1000	7,600	300,000	39.5
Mn	t	128,000	8,800,000	67.2
Nb	t	23,700	4,400,000	171.2
Nb	t	1,320,000	61,000,000	46.2
Pb	1000	2,800	68,000	23.5
Pb*	0.001	171,000	71,000,000	415.2
PEG	t	85,500	88,000,000	1,029.20
Rh	0.001	23,100	2,400,000	103.9
S	1000	58,000	1,300,000	22.4
Sb	t	141,000	1,800,000	12.8
Se	t	1,400	84,000	57.5
Sn	t	230,000	6,100,000	26.4
Sr	t	380,000	6,800,000	18.9
Ta	t	1,530	39,000	25.5
Ta	t	130	21,000	161.5
Ti	t	15	340	22.3
Ti	1000	400	41,000	95.9
V	t	61,000	13,000,000	194
W	t	48,600	2,300,000	48.2
Zn	1000	8,900	200,000	22.3
Zr	1000	910	37,000	40.7

深海底鉱物資源

海底資源の種類	マンガン団塊		熱水鉱床 (温泉状湧物)	
	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	鉄、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出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4500-6000m)に塊状に分布する	海山の山頂・斜面を皮殻状に覆う (水深500-2500m)	塊状(厚さ数10m)、塊状(不規則な形と規模で塊い塊が海底状に産出)	
主な産地	日本近海	深海底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、南方諸島海嶺火山	
	世界	大東沖・沖大東海嶺	沖ノ島、南鳥島周辺	大洋拡大成(紅海、東太平洋海嶺、大西洋中央海嶺など)
		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	大洋拡大成(紅海、東太平洋海嶺、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

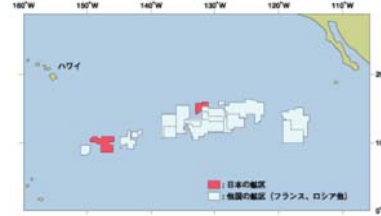
三大洋別マンガン団塊の金属含有率(%)

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

(財) 日本水産協会



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%を超えるものが
有望視される

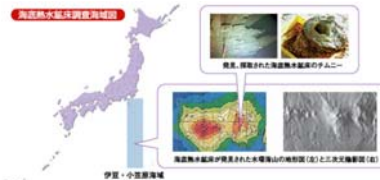


海底鉱物資源品位比較表（科学技術庁、1991）

	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殿堆積したものを
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

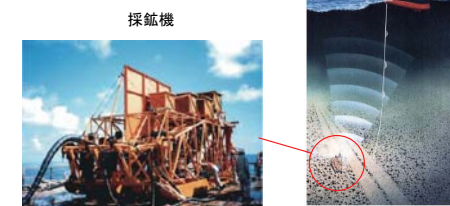


(独) 石油天然ガス・金属鉱物資源機構

マンガン団塊採鉱システム（国家プロジェクト）

- 集鉱システム
被曳航式集鉱機：集鉱、分離、粉碎・供給
- 揚鉱システム
流体ドレッジ方式（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
- 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
- 計測制御システム

マンガン団塊の採鉱システム



マンガン団塊採鉱の環境影響

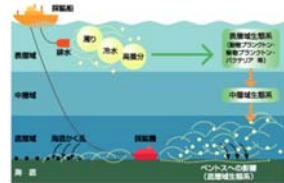
マンガン団塊の採鉱に伴う環境影響要因

集鉱機

海底面を曳航、海底に溝、周辺に泥雲(ブリューム)
底生動物がつぶされる、埋められる、巢が潰される
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



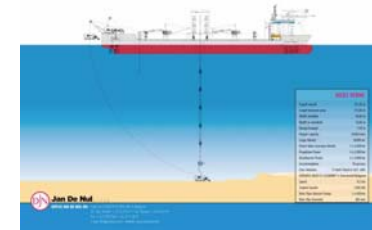
人類共通の資産
成果の供出

★冷戦の終了、事業性の低下

黒鉱型海底熱水鉱床開発ビジネスの急展開

Nautilus Minerals社 バブア・ニュー・ギニアで開発計画

Neptune Minerals社 伊豆・小笠原海域で鉱区申請



海洋基本法制定

海洋基本法の制定
平成19年4月20日に「海洋基本法」が成立
7月20日に施行

EEZ・大陸棚の権益(資源、空間等)を確保と有効

海洋産業や人材育成の重要性

超大型浮体による海洋空間利用

わが国の200海里面積: 447万km² 世界第6位の面積
国土面積: 約38万km²

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
超大型浮体

超大型浮体の歴史

19世紀	「動く人工島」、ジュールベルヌ
1924	「シンドローム」、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 (ボンツーン型)
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

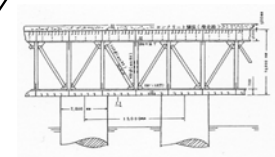
1960年代 人形劇

浮島が村人に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

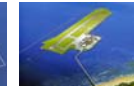
上五島 1988 (27.7Million bbl)
白島 1996 (35.2Million bbl)

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

メガフロートの概念

静穏海域に設置する薄い箱型浮体



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

米国における検討

ポンツーン型滑走路

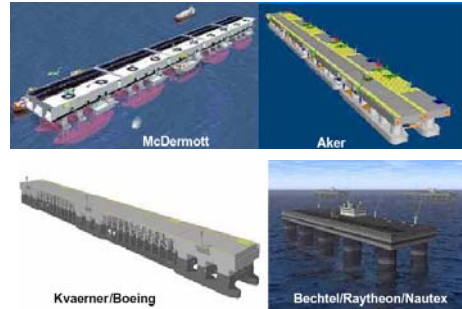
1942年12月～1944年2月



ポンツーン
7ft × 5ft × 5ft

全体
1,810ft × 272ft × 5ft

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超大型浮体の研究

1993
運輸技術審議会 (国土交通省)
超大型浮体の開発利用

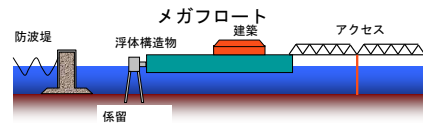
1995
メガフロート技術研究組合設立



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

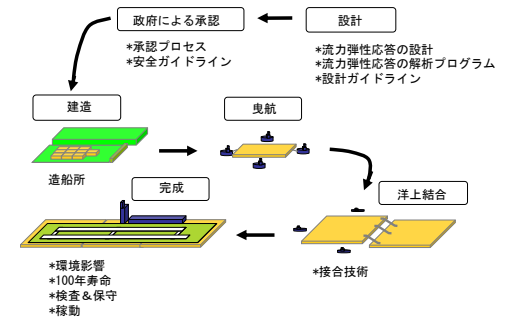
羽田 5640万人 (東京、国内)

成田 2740万人 (東京、国際)

関西 2050万人 (関西、国際)

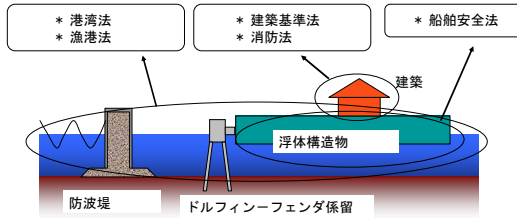
伊丹 1630万人 (関西、国内)

メガフロート技術研究組合における研究

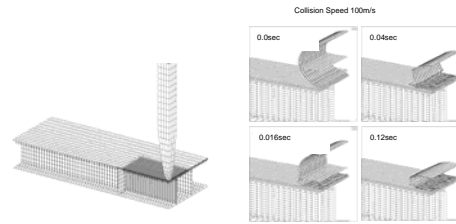


超大型浮体の安全ガイドライン(規則の整備)

メガフロートに関連する法律

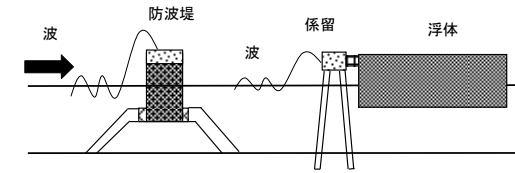


事故や衝突に対する安全性



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



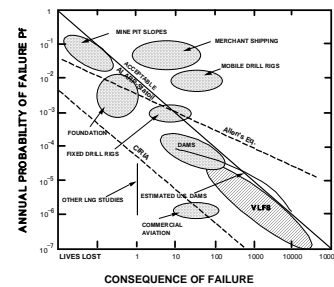
安全性の目標 (設計基準)

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

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

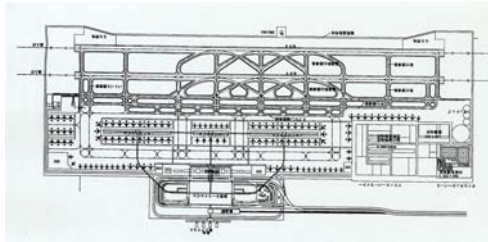


機能性目標 (設計基準)

滑走路の機能性基準

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

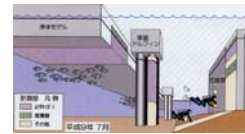
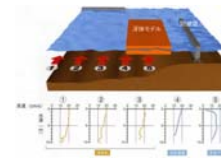


環境影響研究

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

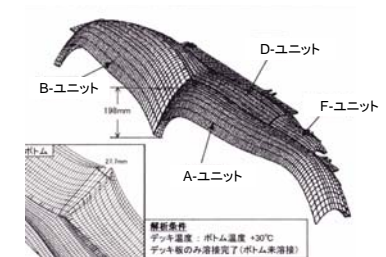
ILS (Instrumented Landing System)

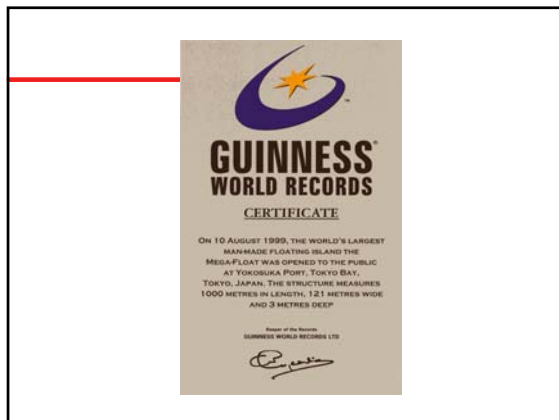
PAPI (Precision Approach Path Indicator)

- 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



日射による熱変形





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

レポート課題

わが国の200海里面積は447万km²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km²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。