

海洋資源利用に関する調査

大川 豊、高井 隆三、矢後 清和
石田 茂資、北村 文俊
千秋 貞仁、國分 健太郎

Investigation concerning marine resources utilization

by

Yutaka OHKAWA、Ryuzo TAKAI、Kiyokazu YAGO
Shigesuke ISHIDA、Fumitoshi KITAMURA
Sadayoshi CHIAKI、Kentaroh KOKUBUN

Abstract

With the growth of world economy and population, especially in developing countries such as China and India, the demand for energy and food is growing rapidly. As a result, the sudden rise of the resource price and the lack of food are feared. In addition, for preventing global warming, it is requested to slough off massive fossil fuel consumption and to expand the utilization of renewable energies, which are the blessings from the sun. To deal with these problems, it is needed to turn our eyes to the ocean where undeveloped resources such as energy, mineral and marine organisms exist.

To develop, and to utilize these marine resources, floating structures are indispensable as platforms for those activities. The technology on floating structures and the mooring systems that NMRI has been studying so far can be used for that purpose. However, except offshore oil and natural gas, profitable business model is not proposed for some reasons, e.g. because marine resources are sparsely distributed. In order to make it economically viable, multi-purpose floating structures are expected. And, to propose them, it is necessary to recognize the current state of relating fields of marine resources.

In this paper, the results of investigation on the current state and the problems of research and development regarding the following items are reported.

- 1) utilization of ocean natural energies
- 2) extraction of rare metal resources dissolved in seawater and mining of deep-sea floor mineral resources
- 3) preservation of marine environment using seaweed, and creation and improvement of the fishery.

The investigation was widely carried out through published papers, books, magazines and web sites of research organizations.

* 海洋部門

原稿受付 平成18年10月 4日

審査済 平成18年11月14日

目 次

1. 緒言	3
【参照Webサイト】	3
2. 資源論概観	3
2.1 資源とは	3
2.2 資源問題とは	4
2.3 海洋資源とは	4
2.4 海洋資源の分類	5
【参考文献および参照Webサイト】	5
3. 海洋資源（海洋自然エネルギー - 編）	5
3.1 海洋自然エネルギー	5
3.1.1 海洋自然エネルギー - の起源	5
3.1.2 エネルギー - 賦存量の考え方	6
3.1.3 日本近海における海洋自然エネルギー - の賦存量	7
3.1.4 日本における海洋自然エネルギー - の研究・開発の経緯	9
3.2 波浪エネルギー - の利用	10
3.2.1 海洋波の性質	10
3.2.2 波浪発電の原理	10
3.2.3 波浪発電の実用化に向けての研究開発例	11
3.2.4 実用化された波浪発電装置事例	14
3.3 洋上風力エネルギー - の利用	15
3.3.1 海上風の性質	15
3.3.2 風力発電の原理	16
3.3.3 洋上風力発電の研究開発	17
3.4 潮汐・潮流および海流エネルギー - の利用	19
3.4.1 潮汐・潮流および海流発電の原理	19
3.4.2 潮汐・潮流および海流発電の実用化に向けての研究開発	21
3.4.3 実用化された潮汐・潮流および海流発電	22
3.5 海洋温度差エネルギー - の利用	24
3.5.1 海水の温度分布と深層低温度海域	24
3.5.2 海洋温度差発電の原理	24
3.5.3 海洋温度差発電の実用化に向けての研究開発	25
3.6 海洋自然エネルギー - を用いた発電方式と化石燃料による発電方式との発電コストおよび環境負荷に及ぼす影響の比較	27
3.6.1 発電コストに対する比較例	27
3.6.2 環境負荷に対する比較例	28
【参考文献および参照Webサイト】	29
4. 海洋資源（海水溶存金属・海底鉱物資源編）	32
4.1 海水中に溶存する稀少金属	32
4.1.1 海水中溶存リチウム・ウラン等稀少金属の回収に向けての研究開発	32

4.2 海底メタンハイドレート	34
4.2.1 メタンハイドレート - の基本的特性	34
4.2.2 日本近海におけるMHの賦存海域と調査	34
4.2.3 海底MH資源開発に向けての研究開発	35
4.2.4 GHの基礎物性を利用した産業技術への応用	37
4.2.5 MHの採取、開発の経済性評価	37
4.3 海底鉱物資源	37
4.3.1 太平洋海域における海底鉱物資源の分布域とその産状例	38
4.3.2 海底鉱物資源開発に向けての探査・研究開発の経緯と最近の動向	38
4.3.3 海底鉱物資源開発に関する国際海洋法	41
4.3.4 海底鉱物資源開発の経済的可能性	42
【参考文献および参照Webサイト】	44
5. 海洋資源（海洋生物資源編）	46
5.1 日本の沿岸漁業を取り巻く現状（漁獲量減少の背景）	46
5.2 日本の沿岸海域の現状と改善への取り組み	46
5.2.1 沿岸海域の現状	46
5.2.2 沿岸海域の保全と再生への取り組み	46
【参考文献および参照Webサイト】	50
6. 海洋資源利用の将来展望	50
6.1 海洋自然エネルギー - 利用	51
6.1.1 波浪エネルギー -	51
6.1.2 海上風エネルギー -	51
6.1.3 潮汐、潮流および海流エネルギー -	51
6.1.4 海洋温度差エネルギー -	52
6.2 非再生海洋資源利用の展望	52
6.2.1 海水中に溶存する稀少金属類の回収	52
6.2.2 メタンハイドレート（MH）の採掘	52
6.2.3 海底鉱物資源の採掘	53
6.3 沿岸海域の海洋生物資源とその活用	53
6.3.1 沿岸海域の再生・創生活動	53
6.3.2 アオサを利用した海水浄化とその利用	53
【参考文献および参照Webサイト】	53
7. 結言	54
謝辞	54

1. 緒言

近年、中国やインドなどアジアの新興工業国における急速な経済発展や世界経済の拡大に伴い、化石燃料の減耗や価格の高騰に対する不安および工業材料の供給に対する不安が生じている。また、IT 関連製品の急激な進歩に伴う飛躍的な需要増加から、レアメタルの急激な高騰が起きている。

化石燃料や原材料の大半を輸入に依存してきた日本は、これらの要因により、これまでのように、海外から輸入した安価な原材料を加工して付加価値の高い工業製品を作り出し、外国に輸出することで高い経済成長を保ち続けていくことが難しい状況となっている。

一方、日本の食料自給状況を農林水産省「食料需給表」¹⁾で見てみると、その自給率はカロリー・ベース換算で平成 16 年度は 40%である。この値は平成 10 年度以降 7 年連続で横ばいを示し、先進国中で最低水準にある。また、水産物関係では平成 16 年度の食用魚介類の自給率²⁾は 55 %となっている。

今後、世界的な人口の増加や異常気象等の要因で起こる農水産物に対する供給量不足の不安や価格の高騰を考えた場合、食料自給率を上昇させることが不可欠である。

更に、温暖化の防止などの地球環境問題の観点から、化石燃料への依存から脱却し、環境負荷の少ない太陽起源の再生可能エネルギー - の利用を広げることが世界的な動きとして求められている。

これらの問題に対応するためには、未開発のエネルギー - 、鉱物、生物などの資源が存在する海洋に目を向ける事が必要となってくる。

これらの海洋資源を開発し、利用するためには、プラットフォームとなる浮体構造物とその位置保持装置が必要不可欠であり、これまでに海上技術安全研究所（以後、海技研と称す）が培ってきた浮体・係留技術を大いに活かすことができる。しかしながら、海底石油と天然ガスを除き、海洋資源と呼ばれているものは資源としての要件を充分満たしていないものが多く、採算性のある事業化提案がなされていないのが現状である。特に、単一目的では経済的に成り立つものがないので、複合目的での提案が期待される。そのためには海洋に関する多くの分野の現状を認識する必要がある。

そこで、

- 1) 海洋自然エネルギー - の利用
- 2) 海水に溶存する稀少金属資源の回収と深海底鉱物資源の採鉱
- 3) 海藻等を利用した海洋環境の保全と漁場の造成と改良

について、これまでの研究や開発の経緯、現状および問題点等を幅広く調査した。

ここでは、これまでに公表された海洋資源に関する論文、書籍、雑誌や研究機関等の Web サイト等を基に調査した結果について報告する。

【参照Webサイト】

- 1) 食料自給情報ステーション：平成 16 年度食料需給表の概要、農林水産省 総合食料局食料企画課
<http://www.kanbou.maff.go.jp/www/station/index.htm>
- 2) 水産基本計画の策定について：農林水産省
<http://www.maff.go.jp/mlet/208/komoku8.pdf>

2. 資源論概観

海洋資源利用の調査や整理を行うに当たり、資源とは何か、資源問題とは何かなど、いわゆる資源論的なものがどのように展開されているか見ておく必要があると考え、若干の調査をした。

2.1 資源とは

資源には文化的資源や人的資源と言われる資源もあるが、ここでは天然資源に限って考えることにする。

資源とは、最も単純に考えると、「人間にとって役に立つものになるもの」¹⁾と言えるであろう。

この単純な定義に対し、岩淵²⁾は「単なる自然物ではなく、人間労働が加わる前の人間・社会にとって有用な自然物」という意味付けをし、立見³⁾は「人間の自然への何らかの働きかけがあってこそ初めて、それらは資源と呼ばれ得ようになる」と考えた。岩淵によれば、人間社会は「単なる自然物」は創造できないが、「有用な自然物」すなわち資源を創造することが出来、これを資源化という。

人類は文明の進化と共に絶え間なくいろいろなものを資源化してきており、現代は「資源枯渇の時代」どころではなく、人類史始まって以来の「資源創造の時代」であるという見解を述べている。立見も「資源とは私たちの知恵と努力とによって創り出されるものである。」と述べている。

これらの定義では資源が人間にとって「有用なもの」「役に立つもの」と考えられているが、近年「役に立つもの」と思われて利用してきた資源から大量の廃棄物がでたり、資源開発に伴う環境破壊が深刻になってきており、資源とは一概に「役に立つもの」とは言えなくなっている。そこで、鹿園⁴⁾は地球を一つの「システム」として捉える観点から、地球システムの構成要素である物質圏(サブシステム)は互いに物質やエネルギー - のやりとりをしているが、資源とは人間圏が他のサブシステムから取り入れている物質およびエネルギー - と考えればよいと述べている。以上の定義とは視点が異なるが、石井⁵⁾は資源

が備えるべき要件として、

濃縮されている

大量にある

経済的に取り出せる場所にある

の3つを挙げて、この1つでも欠けているものは資源とは言わないと述べている。

2.2 資源問題とは

資源の分類の一つとして、非再生資源と再生資源という分け方があるので、この定義を明確にしておく。非再生資源は次の特徴を持つ。

(1) 天然に存在するもので、その性質、分布、量を人為的に変えることが出来ない。

(2) 一度でも採取したら、二度と同じ物を得ることが出来ない。

再生資源はこれら(1)、(2)の性質を持たない資源である。このように分ける基準はその再生速度にある。

資源問題とは石油の枯渇に代表される「非再生資源の枯渇問題」が主であるが、近年では資源開発に伴う環境破壊の影響や廃棄物の問題を無視することが出来なくなっており、それらも含めて捉える必要がある。

資源問題の背景は、産業革命以降指数関数的に増えている人口増加問題にある。また、それに伴う工業発展により、エネルギー消費量が急激に増加し、近年になればなるほど一人当たりのエネルギー消費量が増えていることにある。

「枯渇」は資源が全く無くなってしまうことではなく、技術力や経済性に制約されて採取できなくなることを意味している。特にエネルギー資源の場合は、取得エネルギーが取得に投入したエネルギーを上回らなければ無意味である。

個々の資源についての問題はここでは省く。重要なことは、「持続可能な社会」を実現するためにどのような提起をしているかということである。

鹿園は、人間社会の質的転換を要求する一方で、以下のような資源の利用に関する量的転換が必要と述べている⁴⁾。

- ・ 再生資源(非再生資源)の消費ペースは、それに替わりうる持続可能な再生資源開発のペースを上まわってはならない
- ・ 汚染の排出は環境の吸収能力を上まわってはならない

この原則をどう実現していくかは今後の人間・社会システムの問題であろう

また、持続可能な社会を実現するための対策として、以下を挙げている。

- ・ 資源の生成メカニズムを明らかにして、探査方針を立てたり、埋蔵量を推定する

- ・ 資源の生産量・消費量をコントロールする
- ・ 代替資源の開発
- ・ 資源のリサイクルを進める
- ・ 省エネルギーとエネルギー利用の効率化を図る
- ・ 廃棄物の処理・処分技術の開発
- ・ 「環境資源倫理」という考え方の確立

岩淵は、「環境を破壊しない資源化」「有害な自然物の資源化」が課題であり、これに果敢に挑戦すると共に、資源の消費を極力抑えていかななくてはならないと述べている²⁾。また、資源問題の様々な課題は「地球の有限性」に根源をもつものではなく、「人間・社会の未熟さ」に根源をもつものであり、人間・社会を発展させることが出来れば、いずれは解決可能な問題であると述べている。

2.3 海洋資源とは

資源論に則って海洋資源を岩淵風に定義すると、「単なる海洋に存在する自然物ではなく、人間労働が加わる前の人間・社会にとって有用な海洋に存在する自然物」と言うことになり、鹿園風に定義すると、「人間圏が海もしくは海洋地殻または(海洋)生物圏サブシステムから取り入れている物質およびエネルギー」となる。これに石井の資源が備えるべき3要件を考慮すると、資源と言えるものがたちまち減っていくような感覚に陥る。

濃縮されているか

ウランやリチウムなどの海水溶存稀少金属類は極めて密度が希薄である。洋上風力や波力もエネルギー密度としては濃縮されているとは言い難い。

大量にあるか

魚類は決して大量にはない。風力、波力、潮流力はいつもあるとは限らない

経済的に取り出せる場所にあるか

ほとんどの海洋資源を怪しくしているのはこの条件であろう。マンガン団塊は太平洋遙か彼方の4,000mの深海底、コバルトリッチクラストや熱水鉱床もやや近いとはいえほぼ同様の条件である。海洋温度差発電も条件の良いところは南方海上である。メタンハイドレートは海底下の固形物である。

そして何よりも海上で資源を回収するための設備が必要である。

こう見てくると、資源としての3要件を満たしていないのが海洋資源であるという皮肉な見方もできる。

資源開発による環境影響にも注意しなければならないものも多い。メタンハイドレートの回収方法はまだ開発途上であるが、回収された後の海底地盤がどうなるかはわかっていない。海洋深層水は千年単位の時間スケールで生成されているので、大量に使えば自然循環を乱すことになりかねない。

しかしながら、岩淵風に言えば、今は困難だがいつかは資源化が必要なときが来るということかも知れない。その時こそ浮体技術を生かせる時であるが、できるだけ早く到来することを願うばかりである。

2.4 海洋資源の分類

海洋は、地球上で活動する全ての動植物にとってその生命を維持するために必要な大気温度の調節、二酸化炭素の吸収および大気・水の循環等いくつかの重要な機能・機構を有している。一方で、人類が生活し活動していく上で必要、且つ有用な多くの食料、鉱物や自然エネルギー等の資源を無限に近い形で内蔵した資源の集合体（以後、海洋資源と称す）である。

表-2.1 海洋資源項目と利用形態例

資源項目	利用形態事例
1) 海洋自然エネルギー - 資源	
波浪	波浪発電
洋上風力	洋上風力発電
潮汐および潮流・海流	潮汐発電、潮流・海流発電
海洋温度差	海洋温度差発電
2) 海水中および深海底鉱物資源と深海底下化石鉱物	
海水溶存塩・稀少金属	食塩、リチウム、ウラン等の採取
深海底鉱物	マンガン団塊やコバルトリッチクラストおよび熱水鉱床からのニッケル、マンガン、コバルト、金、銀、銅、亜鉛等の採鉱
深海底下化石鉱物	海底石油、石炭、天然ガス メタンハイドレート等の採取
深層海水	飲料用、工業用原料等の採取
3) 魚介類・海藻等の水産資源	
魚介類・海藻	食料、飼料、肥料、医薬・工業品原料、装飾品、海水浄化等
鯨、オキアミ	食料、給餌・飼料、工芸・工業用原料等
4) 海上・海中・海底におけるスペ - ス資源	
海上・海中スペ - ス	養殖施設 港湾、係船場所等の施設 人や物資の海上運搬等
海底スペ - ス	二酸化炭素貯蔵場所等の提供
5) 景観・観光資源	
景観・観光	アメニティ - 、海洋レジャー - 等

海洋資源には大別して、

- 1) 海洋自然エネルギー - 資源
- 2) 海水中・深海底鉱物資源
- 3) 魚介類・海藻類水産資源
- 4) 海上・海中・海底におけるスペ - ス資源
- 5) 景観・観光資源

の5項目程度に分類できる。

海洋資源の項目とその利用形態事例を表-2.1 に示す。

上記分類のうち4), 5)は、当面心配されているエネルギー危機や地球環境問題とはやや趣を異にすると思われるので、以下は1) ~ 3)の天然資源に限った調査とする。

【参考文献および参照Webサイト】

- 1) 鹿園：地球システム科学入門、(財)東京大学出版会、1992
http://home.hiroshima-u.ac.jp/er/Rres_S_S1.html
- 2) 岩淵：現代世界の資源問題入門、大月書店、1996
- 3) 立見(1986)：鉱物資源を考える(1)．地質ニュース、380号、6-17．
http://home.hiroshima-u.ac.jp/er/Rmin_TT1.html
- 4) 鹿園：岩波講座地球惑星科学、3．地球環境論 2. 地球資源問題、岩波書店、1996
http://home.hiroshima-u.ac.jp/er/Rres_S_S3.html
- 5) (社)日本工学アカデミー・環境フォーラム編：豊かな石油時代が終わる、丸善、2004
- 6) 地球資源論研究室：
<http://home.hiroshima-u.ac.jp/er/index.html>

3. 海洋資源（海洋自然エネルギー - 編）

3.1 海洋自然エネルギー -

3.1.1 海洋自然エネルギー - の起源¹⁾

海洋自然エネルギー - の起源となる主要なエネルギー - 源の一つに、太陽からの放射エネルギー - がある。

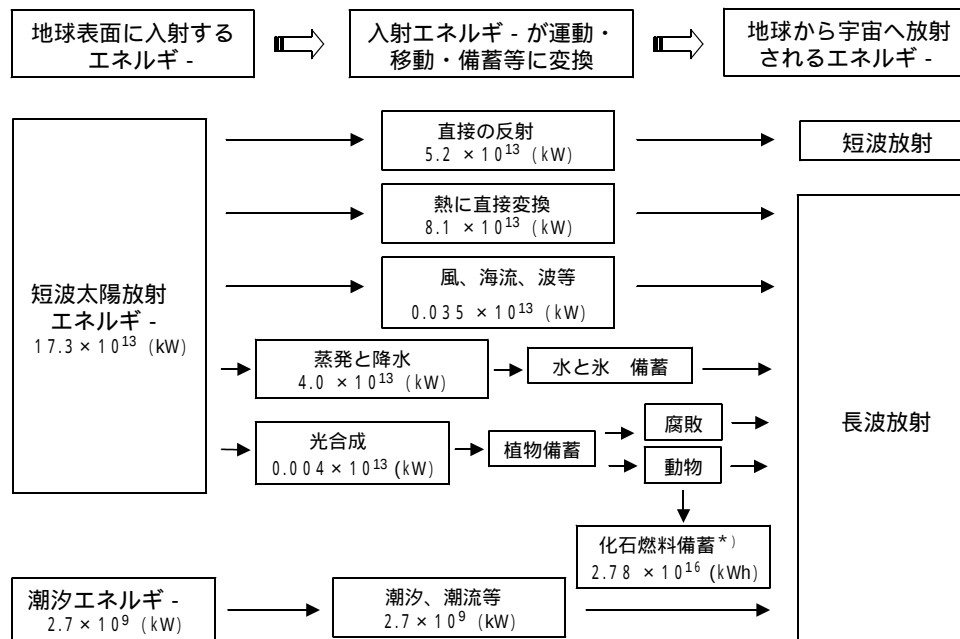
地球表面は、太陽からの放射エネルギー - を、時間的にも空間的にも均等に受け取っていない。これは、地球が地軸に傾きを持ちながら自転し、太陽を一点とする楕円の公転軌道を持つという天文学的要素と、地球表面には物理的性質を異にする海と陸が不規則に分布しているという地質構造が原因である。

風と海流は、このエネルギー - 密度の不均一な状態を均一化しようとする際に、地球表面において発生する大気および海水の移動に伴う現象である。

地球表面が受け取った太陽放射エネルギーの一部は、一時海洋という巨大な貯蔵庫に蓄えられる。これが表面の気象によって、海洋大循環を作り出すものになっており、海洋の温度差はここから生まれる。

もう一つのエネルギー - 源として、月と地球との間において起こる両者間の引力に起因したエネルギー - が存在する。このエネルギー - 量は、太陽の放射エネルギー - 量に比べて数万分の1程度と小さな値ではあるが、潮汐を生じさせる要因となっている。

潮流は、潮汐が起こる際に生じる海水の移動現象



【注釈】

*) 化石燃料備蓄は、累積量を表し 10^{23} ジュールに相当する。

図-3.1 宇宙空間から地球表面に作用したエネルギーの変遷¹⁾

に起因している。

宇宙空間から地球表面に作用したエネルギーの変遷を図-3.1に示す。

3.1.2 エネルギー・賦存量の考え方

- (1) 新エネルギー・産業技術総合開発機構(以後、NEDOと称す)で用いられているエネルギー・賦存量の考え方²⁾

再生可能な自然エネルギーの賦存量に対する捉え方として、NEDOでは理論的に賦存する資源量(理論的賦存量)と技術的開発が可能と見られる資源量(技術的開発可能量)および経済的に開発が可能な資源量(経済的開発可能量)とに分類している。

但し、研究者によっては捉え方が異なるために賦存量の値に差が見られるとも解説している。

この分類に基づき、NEDOが地球上の再生可能な自然エネルギーについて理論的賦存量を推算した手法の概要を表-3.1に示す。

表-3.1 自然エネルギーの理論的賦存量の推算手法

波浪エネルギー
海岸1m当たりの波のエネルギーを波の周期と高さから算出し、海岸線の長さを掛けて賦存量とする。
世界の海岸線の長さを約36万kmとした場合、海岸1m当たりの波のパワーは大略10～60kW/m。

海岸線長さ(内湾等を除く)を約17万kmとして各地域毎に求めて合計した場合、大略 3.6×10^4 (TWh/年)。

風力エネルギー

地球上の陸地で、高さが1,000mまでの空気層が平均4m/sで移動していると仮定すると、風力エネルギーは $1/2 \times$ 空気の体積(面積 $\times$ 高さ) $\times$ 空気の密度 $\times$ 空気の移動速度の2乗で推算される。

全エネルギーは、 $1/2 \times 1.5 \times 10^9$ (km³) $\times$ 1.2 (kg/m³) $\times$ 4^2 (m/s)² = 3.5×10^6 (TWh/年)。

風力発電に利用可能な範囲を地上高さ約100mとした場合、全エネルギーの10%が利用できる。

変換効率を20%とした場合、 7.0×10^4 (TWh/年)。

沿岸部(約10km)の海上風が利用可能と仮定した場合、面積は170万km²(外洋に面した沿岸線の長さを17万kmと仮定)で、全陸地面積の約1%となり、全エネルギーが1%増加する。

潮汐エネルギー

太陽と月との引力により発生するエネルギーである。

海洋の半分の面積が1日に2回1m上昇するとして、ポテンシャルエネルギー(E_p)を求める。

$E_p =$ (海洋の面積の1/2) $\times$ (上昇高さ)² $\times$ (海水の密度) $\times$ (重力の加速度) $\times$ 2/24 (1日2回)。

年間のエネルギー量は、約 3.6×10^5 (TWh/年)。

海流エネルギー

海洋上を吹く風により発生するエネルギーである。

海流エネルギーは、 $1/2 \times$ 平均流量 $\times$ 平均流速の2乗。

メキシコ湾海流の場合の海流エネルギーは、$1/2 \times 3.0 \times 10^7 (\text{m}^3/\text{s}) \times 1,000 (\text{kg}/\text{m}^3) \times 1^2 (\text{m}/\text{s})^2 = 1.5 \times 10^{10} \text{kg} (\text{m}/\text{s})^2/\text{s}$。1時間当たり、$5.4 \times 10 (\text{TW})$。 メキシコ湾海流相当の海流が10本あると仮定した場合、全エネルギーは $4.7 \times 10^6 (\text{TWh}/\text{年})$。 10%を沿岸地域で利用し、電力への変換効率を10%と仮定した場合、$4.7 \times 10^4 (\text{TWh}/\text{年})$。
海洋温度差エネルギー 表層の温海水と深海の冷海水との温度差を利用し、低沸点の触媒を駆動流体とした発電装置で発電する。 エネルギー量は、利用できる海水の量 $\times$ 比熱 $\times$ (温度差)² / (高温水温度 $\times$ 水循環年) で算出される。 海洋温度差エネルギーの賦存量は、 $3 \times 10^{14} \times 100 \times 1 \times 10^{-3} \times 1 \times 10^6 \times 15^2 / (25 \times 1000) = 3.1 \times 10^5 (\text{TWh}/\text{年})$。 ここで、氷結しない海洋表面 $3 \times 10^{14} (\text{m}^2)$、利用可能な表面海水の厚さ100(m)、表面温度25()、平均温度差15()、比熱1(cal/gr・)、海水密度 $1 \times 10^6 (\text{gr}/\text{m}^3)$、循環年数1000(year) 電力への変換効率を5%と仮定すると、$1.6 \times 10^4 (\text{TWh}/\text{年})$。

この推算法で求めた世界全体における海洋自然エネルギーの賦存量を表-3.2に示す。

表-3.2 海洋自然エネルギーの理論的賦存量

エネルギー項目名	理論的賦存量 (TWh/年)	電力変換効率(%)	理論発電可能量 (TWh/年)
波浪	36,000	10	4,000
風力	3,500,000	20	70,000
潮汐	360,000	10	36,000
海流	470,000	10	47,000
海洋温度差	310,000	5	16,000

(2) 自治体等で用いられているエネルギー賦存量の考え方の一例

NEDOが勧めている「地域新エネルギー・省エネルギービジョン策定等事業」に呼応して、多くの地方自治体が地域新エネルギービジョン策定調査報告書等を公表している。この中の多くが、新エネルギーに対する賦存量を、表-3.3に示すように4段階に分類し定義している。なお、表中()内は(1)でNEDOが示したものに対応する。

表-3.3 新エネルギー賦存量の定義と対象範囲³⁾

賦存量名	要約
潜在賦存量 (理論的賦存量)	対象地域に対して理論的に存在しうる潜在的なエネルギーの全量。
最大可採量	制約要因を考慮した上で最大

(理論的賦存量および技術的開発可能量)	限利用可能な量、または特定の利用条件を想定した場合の最大限利用可能な量。
期待可採量 (技術的開発可能量)	現在および将来のエネルギー利用技術等を考慮した上でエネルギーとして開発利用の可能性が期待される量。
利用可能量 (経済的開発可能量)	経済性や各種社会条件および技術動向等を考慮して、ある期間内に導入可能と考え得る量。
【対象とした新エネルギーの種類】 太陽エネルギー、風力エネルギー、小水力エネルギー、バイオマスエネルギー、廃棄物エネルギー	

分類した潜在賦存量、最大可採量、期待可採量に対しては、新エネルギーの供給や特性を把握するための基礎資料として利用できるが、経済性や社会条件等による制約要因が欠如しているため導入量の目安としては実現性に欠けると判断している。

そのために対象とした新エネルギーの賦存量としては「利用可能量」の考え方を導入している。

3.1.3 日本近海における海洋自然エネルギーの賦存量

(1) 波浪エネルギーの賦存量

日本沿岸に到達した波浪がもつエネルギーの賦存量についての試算は、幾つかの機関で公表されている。その多くは、波浪統計データを基にして波の単位幅当たり(波の峰方向幅1m当たり)のパワーで試算している。波浪エネルギーの賦存量を算出した事例を表-3.4に示す。

表-3.4 波浪エネルギーの賦存量算出例^{4)、8)}

算出の概要
【算出式】⁵⁾ $E(W) = \int \int 0.55 \times H_{1/3}^2 \times T_w \times p(H_{1/3}, T_w) dH_{1/3} dT_w \quad (\text{kW}/\text{m})$ 積分範囲: $0 \sim \infty$ $E(W)$: パワーの期待値 $H_{1/3}$: 有義波高(目視)、T_w: 平均波周期(目視) $p(H_{1/3}, T_w)$: $H_{1/3}$とT_wとの結合確率密度関数 【賦存量】 単位幅当たりのパワーの年間期待値は、全国平均で10kW/m、沿岸の総延長距離を5,000kmとした場合、 $5.0 \times 10^7 \text{kW}$ 程度と推定している。
【特徴】 日本近海を19の海域に区分し、年間および季節別の波浪パワーの期待値を算出している。 日本近海の波スペクトルはISSC標準と見なす。

波浪パワーの季節的变化は冬季に大きく、夏季に小さい。地域的分布は、年間では太平洋側が大きい。

【算出式】⁶⁾

$$E(W) = \int \int 0.5 \times H_{1/3}^2 \times T_{1/3} \times p(H_{1/3}, T_{1/3}) dH_{1/3} dT_{1/3} \quad (\text{kW/m})$$

積分範囲: $0 \sim \infty$

$E(W)$: パワ - の期待値、 $H_{1/3}$: 有義波高

$T_{1/3}$: 有義波周期、 $p(H_{1/3}, T_{1/3})$: 結合確率密度関数

【賦存量】

パワ - の年間期待値は、全国平均で 6kW/m、沿岸の総延長距離を 5,200km として $3.1 \times 10^7 \text{ kW}$ 程度と推算している。

【特徴】

全国の拠点観測指定港 17 港の波浪データを基に、年間および季節別の波浪パワーの期待値を算出する。波高の分布をレ - レ - 分布と仮定する。

波浪エネルギーの季節的变化は冬季に大きく、夏季に小さい。地域的分布は太平洋側の東海沿岸から三陸沿岸にかけてと日本海側とが同程度の値を示す。

【算出式】⁷⁾

$$W = 0.5 \times H_{1/3}^2 \times T_{1/3} \quad (\text{kW/m})$$

W : 波の単位幅当たりのパワー、 $H_{1/3}$: 有義波高

$T_{1/3}$: 有義波周期

【賦存量】

日本沿岸では 7kW/m の波浪パワーが存在する。沿岸の総延長距離を 5,200km として大略 $3.6 \times 10^7 \text{ kW}$ の波浪パワーが存在する。

これらの算出例から、単位幅当たりの波浪パワーの年間期待値は沖合で 10kW/m、沿岸で 6kW/m 程度と推算している。

表-3.5 洋上風力エネルギー - の賦存量算出例^{9)、10)}

海岸からの距離 (km)	風車設置 可能海域 (km ²)	風車設置 基数 (基)	風力発電量 (億kWh/年)
< 1	6,500	136,500	930
< 3	19,600	409,700	2,700

【試算条件】

風車の設置が可能な海岸線は、海岸線の総延長距離から内湾、外湾および島峡部を除外し、更に港湾や航路等の海岸線部分を 20%と仮定した部分を差し引いたものと定義する。

風車の設置が可能な海域は、風車を設置する海岸線と沖合 3km (水深 20m) の区域とで囲まれた海域とする。

(2) 洋上風力エネルギー - の賦存量

NEDO が灯台や河口付近で測定された 47 地点の風況データを基に試算した日本における洋上風力エネルギー - の賦存量を表-3.5 に示す。

この表に示す試算結果から求めた洋上での風力発電可能量は、平成 5 年度の全国風状マップ (陸域) で得られた風力発電可能量 (65 億 ~ 340 億 kWh) の 3 ~ 42 倍に相当する。この値は、日本の電力使用量 (1993 年、6,910 億 kWh) の 13 ~ 39%に相当すると推算している。

(3) 潮汐・潮流・海流エネルギー - の賦存量

1) 潮汐エネルギー - の賦存量算出例¹¹⁾

太陽と月との引力により生ずる地球全体での潮汐が有する潜在エネルギー - の賦存量¹⁾は、潮汐の位置エネルギー - と潮汐運動に起因して発生する潮流の運動エネルギー - との合計で $2.7 \times 10^9 \text{ kW}$ と推算され、その内の 1 ~ 2%が利用可能と考えられている。

日本では、潮位差が最大で 4.9m 程度 (世界では、最大 15.6m) と小さく、位置エネルギー - を利用する潮汐発電の賦存量としては恵まれていない。

日本沿岸海域における最大の潮位差を生じる場所 (有明海の住江地区) および海外での潮位差の大きな地域を表-3.6 に示す。

表-3.6 潮位差の大きな海域例

地名	国名	大潮差 (m)	小潮差 (m)
ノエル湾	アメリカ、カナダ	15.4	11.4
カレゴス	アルゼンチン	13.9	7.3
コクソ - ク川	アメリカ	11.7	5.4
ニュー - ポート	イギリス	11.5	5.8
カンブ	フランス	11.2	4.9
コ - リヤ湾	オーストラリア	10.5	6.2
有明海	日本	4.9	1.9

2) 潮流エネルギー - パワーの賦存量算出例¹²⁾

潮汐が有する位置エネルギー - を起因として発生した潮流は、通常 1 日 2 回の干満によりその流向を周期的に 4 度反転するために、潮流エネルギー - は零の状態から最大まで大きく変化するのが特徴である。

表-3.7 潮流エネルギー - パワー賦存量推算例

海峡名	流速 (knot)	海峡幅 (m)	海峡深 (m)	潜在パワー (kW)
鳴門瀬戸	6 ~ 10	1,300	5 ~ 50	150.0×10^4
早瀬瀬戸	3 ~ 4	200	20	1.6×10^4
大島瀬戸	5 ~ 7	800	20 ~ 60	15.0×10^4
針尾瀬戸	6 ~ 10	300	25 ~ 43	30.0×10^4

日本には明石海峡、鳴門海峡や来島海峡等の潮流エネルギーの賦存量が大きい海峡が多くある。

幾つかの海峡における潮流エネルギー・パワーの賦存量を推算した事例を表-3.7 に示す。

3) 海流エネルギーの賦存量算出例^{4), 13), 14)}

海流は、海水の密度差と偏西風や貿易風に見られる様に一方に吹く風により生じた海水の移動およびコリオリの力が主要な要因である。

日本近海を流れる海流には、黒潮や対馬海流の暖流と親潮やリマン海流等の寒流がある。

黒潮や親潮は、世界の海流の中においても潜在的な海流エネルギー・賦存量を多く有する有数の海流である。黒潮の主要目とその海流エネルギーの賦存量の概要を表-3.8 に示す。

表-3.8 黒潮の運動エネルギー・賦存量推算例

【黒潮の概要】	
黒潮は、北赤道海流の一部で、台湾南東から南西諸島に沿って北上し、日本列島の太平洋側沖合を流れて金華山沖に至る。そこから日本を離れ東に流れて行く暖流である。	
主要目	概要
最大幅、深さ	海流域帯は 150 ~ 250 km で、深さは 0.4 ~ 1km である。 (その内、流速 1m/s 以上ある流域帯は流域帯幅約 30km、深さ 300m)
流速	2 ~ 7km/h
流量	約 $8.0 \times 10^3 \text{ m}^3/\text{s}$
流軸の決定法	黒潮北縁から 13 マイルの所を黒潮の最強流速帯として流軸とする。
運動エネルギー・賦存量	黒潮の流域帯幅を 250km、深さ 1km と仮定した場合の運動エネルギー・賦存量の推測値を下記に示す。 平均流速が 0.3m/s の場合は年間 1,700 億 kWh。 黒潮の流速の内から、平均流速が 1m/s 以上の流速箇所を取り出した場合は年間 900 億 kWh。

(4) 海洋温度差エネルギーの賦存量算出例¹⁵⁾

1977 年に日本熱エネルギー・技術協会の OTEC 委員会が「低熱落差発電システムに関する調査研究」で試算した結果によると、日本の経済水域 200 海里内における海洋温度差エネルギー・能力の潜在賦存量は 300 億 kW と推算している。

図-3.2 に、日本の経済水域内に賦存する点線で示した経済水域内において冷水を水深 600m から取水した場合の賦存エネルギー・量を示す。

また、海洋温度差発電委員会¹⁶⁾が算出した試算によると、日本の経済水域 200 海里内での熱エネルギー・

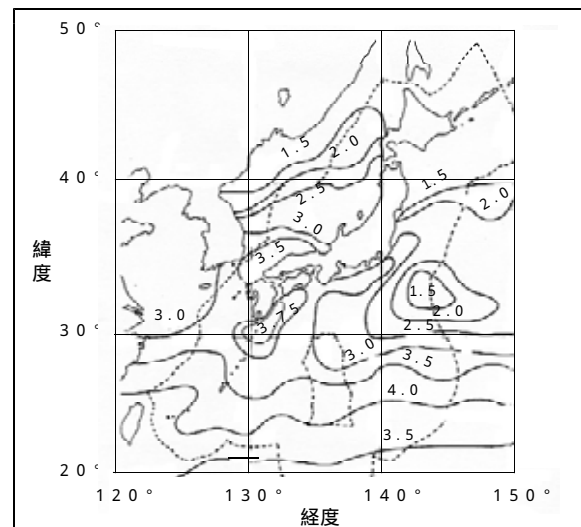


図-3.2 日本の経済水域内における海洋温度差エネルギーの潜在賦存量

ここで図中の数値は、経緯度 1 度内で 1 年間に得られるエネルギー・量を示し、単位は 1,000 億 kWh を示す。

ギ・分布を基に試算した年間の海洋温度差エネルギー・の潜在賦存量は 1.0×10^{14} kWh と推算している。

3.1.4 日本における海洋自然エネルギーの研究・開発の経緯

原油等の化石燃料の大半を輸入に頼っている日本では、経済発展に伴う化石燃料の供給不安や枯渇の問題、また 1973 年の第一次石油危機に見られるような大幅な価格の上昇等に対して自前のエネルギー源を安定的に確保したいという強い要望が常に存在している。そこで、1974 年に当時の通産省工業技術院の下で産官学が一体となり「サンシャイン計画」¹⁷⁾を発足させた。この計画に基づき、化石エネルギーに代わる新たなエネルギーを開発して利用するための技術の確立および実用化に向けての研究開発が始まった。その一つに海洋自然エネルギーから電気エネルギーを取り出す技術の確立があった。

研究開発は、1978 年から始まった波浪発電船「海明」¹⁸⁾の実海域実験を初めとして波浪、海洋風、潮汐、潮流・海流および温度差等の海洋自然エネルギーを利用した発電方式が種々考案され、これらの発電方式に対して試設計、コスト評価および技術開発のための室内実験や実海域実験等が行われた。

その結果、実用化に向けて多くの技術的なポテンシャルの蓄積がなされた。しかしながら、蓄電池の代わりに波浪発電システムを装備した小規模な灯浮標での実用化を除いては構想、試作、研究および実証実験段階で止まっており、商業ベースでは海洋自然エネルギーを利用した発電施設は建設されなかつ

た。

その後、新たな海底油田の開発や掘削技術の進歩等により、原油の供給不安や枯渇の問題が緊急の課題として論議されなくなったことや、石炭の液化技術の進歩、天然ガスや原子力発電の推進等により、安定したエネルギーの需給環境が続いたことと相まって、海洋自然エネルギーを利用して電気エネルギーを得るための研究開発は一時停滞期を迎えた。

1990年代に入り、地球温暖化に対する関心が高まるにつれてその誘因と考えられた二酸化炭素等の温室効果ガスの排出を規制しようとする国際的な取り組みが始まり、1997年に地球温暖化防止京都議定書¹⁹⁾が開催され、「京都議定書」が締結されるに至った。これらの環境問題を背景として、1993年に工業技術院では「サンシャイン計画」、省エネルギーを対象とした「ムンライト計画」および地球環境技術開発を一体化させた「ニュー・サンシャイン計画」¹⁷⁾(エネルギー・環境領域総合技術開発推進計画)を発足させた。この計画では、主要な研究開発の対象技術として陸上における風力発電は取り上げられたが、海洋自然エネルギー利用に関する技術の研究、開発は採用されなかった。

しかしながら、近年京都議定書の発効に伴い日本においても温室効果ガスの排出量の削減が義務づけられたことで、化石燃料に代わるクリーンなエネルギーの開発を求める社会的な風潮が起こってきた。その結果、クリーンで再生可能な海洋自然エネルギーにも関心が集まり、それを利用しようとする研究が多くの研究機関や企業等で再び開始された。その新しい動きとして、下記に示すような研究開発例が報告されている。

1978年の「海明」の実海域実験以来続けられてきた波浪発電装置の集大成である沖合浮体式波浪発電装置「マイティ・ホエル」²⁰⁾の実証性能実験が1998年から三重県の実海域で開始された。

インドにおいては、佐賀大学が技術支援を行い、2003年から1,000kW級の海洋温度差発電の実証実験^{21)、22)}が計画された(取水管のトラブルにより2006年時点でも実験は行われていない)。

良質な海上風の利用と陸上における用地問題の解決とを考慮した、浮体式洋上風力発電システムに関する種々の研究開発^{23)、24)}が進められている。

2003年に、潮流を利用して発電する機能を有する灯浮標^{25)、26)、27)、28)}が明石海峡に設置された。

3.2 波浪エネルギーの利用

3.2.1 海洋波の性質²⁹⁾

静穏な海面に、定常的な風が吹き続けると海面上に小さな波が発生する。小さな波は、風からのエネ

ルギーを吸収しながら次第に発達していき大きな風波(以後、海洋波と称す)に成長する。成長した海洋波は、波速(波の位相速度)が風速に近づくと風から波へのエネルギーの輸送効率が低下する。

一方、海洋波の成長に伴い波傾斜(波高・波長比)が1/10程度を越えると波の峰付近から崩れ始めて砕波となったり、海水のもつ粘性の働きによりエネルギーの一部が失われたりする。そして風から受けるエネルギーと砕波等によって失うエネルギーとが釣り合ったところで、波はその成長を止めて平衡状態になる。その後、風からのエネルギーの供給が止むと、海洋波がもつ短波長成分の波は海水の粘性作用により減衰するが、粘性による減衰が非常に小さい長波長成分の波は滑らかな波長の長いうねりとなって遠くにまで伝搬して行き、沿岸にまで到達する。

3.2.2 波浪発電の原理

波浪発電の原理は、海洋波が有する位置および運動エネルギーを一次変換装置を介して空気エネルギーまたは機械的エネルギー等の工学的なエネルギーに変換し、その変換したエネルギーを動力源として二次変換装置である発電機の空気タービンを回転させたり油圧モーターを動作させたりすることで波浪エネルギーから電気を取り出す技術である。

(1) 一次変換装置

一次変換装置には多様な機構が考案されているが、次の2方式が多く用いられている。

1) 振動水柱型機構を用いた方式^{18)、20)、33)}

空気室内の空気を、波浪エネルギーにより生じた海面の上下振動を利用してその室内に設けた開口部から高速で吸・排気させ、空気エネルギーに変換する方式である。

この方式は、船型形状の浮体に複数の振動水柱型機構を用いた空気室を波の進行方向と平行に搭載したアテニューエータ型と防波堤、岩礁に設けた灯標や浮き消波堤等に複数の振動水柱型機構を用いた空気室を波の進行方向と直角に設置したターミネータ型とに分類される。

2) 可動物体型機構を用いた方式^{30)、31)}

この方式には、海中に設置した受圧板で受けた波浪エネルギーを受圧板の機械的な振子運動エネルギーに変換する方式および波浪エネルギーにより動揺するフロートと固定構造物との相対運動をリンク機構により機械的な回転エネルギーに変換する方式とがある。

(2) 二次変換装置

二次変換装置は、一次変換装置で変換された各々のエネルギーを動力源として電気エネルギーに変換

するための発電装置である。二次変換装置には、一次変換装置で作り出された工学的エネルギーの形態により次に示す機構が考案されている。

1) 一次変換装置に振動水柱型機構を用いた場合
空気タ - ピンと発電機とを組合わせた二次変換装置が用いられる。この方式では、空気室の開口部から空気が吸・排気する際の空気の流れを利用して開口部に取り付けた空気タ - ピンとそれに連動する発電機を回転させて発電する方式である。^{18)・20)}

2) 一次変換装置に可動物体型機構を用いた場合
一般に、油圧モ - タ - と発電機とを組合わせた二次変換装置が用いられる。この方式では、一次変換装置により変換された機械的な運動エネルギー - を動力源として油圧モ - タ - のピストンを動かし、その運動により発電機を働かせて発電する。^{30)・31)}

3) 貯水池方式を用いた場合

一次変換装置部分がなくて、打ち寄せて来た波を直接傾斜のついた導水・集積溝に導いて集めて越波させ、その海水を後背に設けた貯水池に貯留する。

その海水を貯水池の海水面と海面との水頭差を利用して海に排水する際、導水溝に設けた低落差用カプラン水車と発電機とで発電する方式がある。³²⁾

その他に、波浪発電により発電された電気エネルギー - は波浪の性質上変動し易く不安定な状態にあることから電力として利用するには、平滑かつ安定した電力に整流する安定化機構が必要になる場合がある。また、実用化の段階では蓄電設備や陸上への送電設備等が必要となってくる。

波浪エネルギー - を利用したこれら 3 方式による発電装置の概念図を図-3.3 に示す。

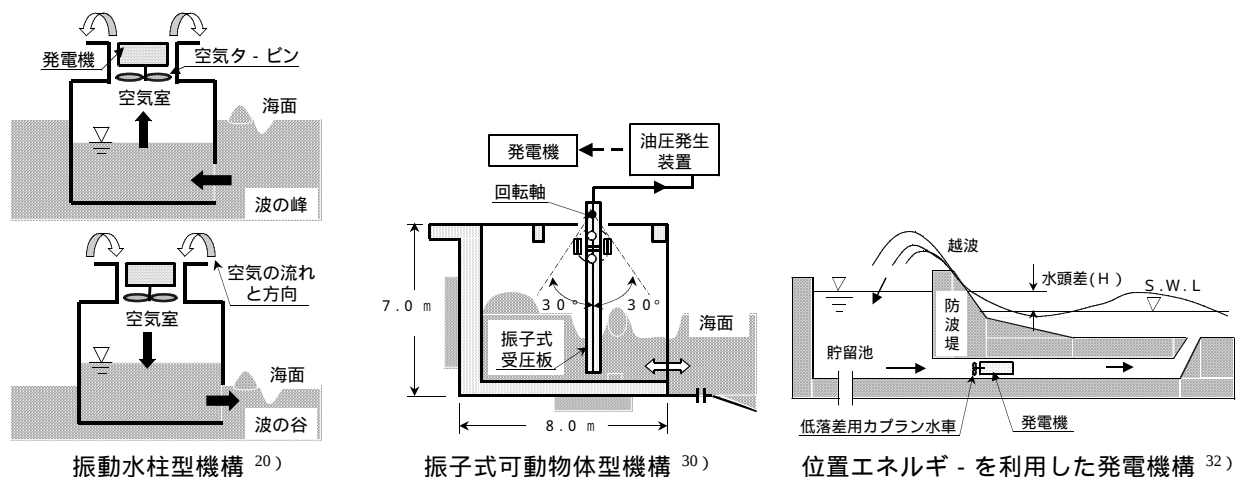


図-3.3 波浪エネルギー - を利用した発電装置 3 方式の概念図

3.2.3 波浪発電の実用化に向けての研究開発例

(1) 振動水柱型一次変換装置を用いた波浪発電装置例

【浮体式：マイティ - ホエ - ル】²⁰⁾

【マイティ - ホエ - ル実証実験の目的】

波浪エネルギー - を利用する浮体式波浪発電装置の実用化に向けての設計手法を開発する。その設計思想に基づき建造した実験船に対して、実海域実験結果から得られた動揺特性、発電性能、搭載機器類の性能確認や安全性等の評価結果に基づき設計手法の妥当性を検証すると共に、問題点を明らかにする。

【実験実施者】海洋科学技術センタ - (実験当時)

【実験期間】1998 年 ~ 2002 年

【設置海域】

三重県南勢町五ヶ所湾湾口部沖合 1.5km、水深約 40m

【設計環境条件】

風速 (10 分平均) : 36.4m/s、有義波高 ($H_{1/3}$) : 8m

有義波周期 ($T_{1/3}$) : 10 ~ 15 秒、流速 : 1.2m/s

【特徴】タ - ミネ - タ - 型沖合浮体式波力装置

【本体構造主要目：図 - 3.4 参照】

長さ : 50m、幅 : 30m、型深さ H : 12m

喫水 : 8m、排水量 : 4,380ton

空気室 : 長さ 10m、幅 8m、深さ 12m

浮力タンク体積 : 5,580m³

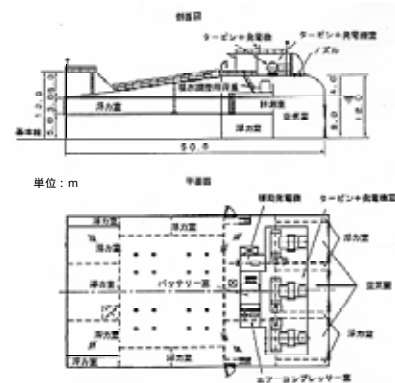


図-3.4 マイティ - ホエ - ルの概要図

沖波周期：(T₀)10 秒
 設計潮位：H.W.L. + 1.3m、L.W.L. ± 0.0m
 現地盤高：- 1.0m、砂質土地盤：N=30

【特徴】

消波堤を兼ねた振動水柱方式のタ - ミネ - タ - 型固定式波力発電システムである。

波浪エネルギーを吸収装置で空気圧に変換した後、定圧化タンクに貯蔵して平滑化させ、その後二次変換装置に送り発電する。

定圧化タンクに貯蔵することで、安定した電力が得られることを可能にする工夫がなされている。

【実証試験システムの基本構成図】

タ - ミネ - タ - 型の消波工型定圧化タンク方式波力発電システムの一次変換機構の原理および装置の概要を図-3.6 に示す。

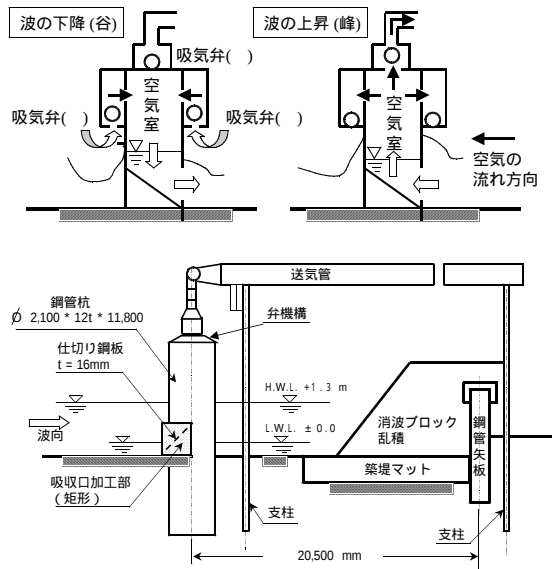


図-3.6 エネルギー吸収装置の原理と装置の概要

また、実証試験システム装置全体の基本構成を図-3.7 に示す。

ここで図中の記号、T は空気タ - ビン、G はジェネレータ - 、CONV はコンバ - タ - 、INV はインバ - タ - を示す。

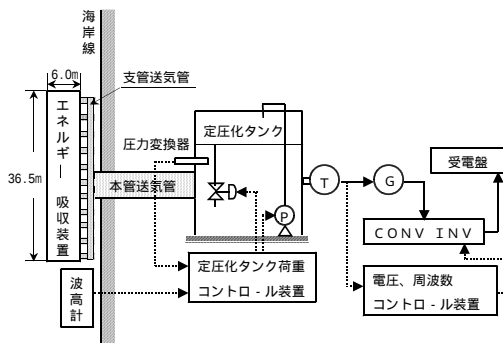


図-3.7 実証試験システム全体の基本構成図

波浪エネルギー - 吸収装置 10 基で変換した空気圧を集めて定圧化タンクに送り、一定圧力に平滑化した後に空気タ - ビン式発電機に送り発電する。

定圧化タンクは、送気管により送られてきた変動する空気圧を平滑化して空気タ - ビンに送る機能と空気圧を短期的に貯蔵する機能を併せ持つ機器である。

空気圧を定圧化タンクに封入する方式には、水封式定圧化タンク方式、ピストン式定圧化タンク方式およびバル - ン式定圧化タンク方式の 3 方式がある。

【システムの主要構成部の主要目】

波浪エネルギー - 吸収装置：10 基

送気管：支管 10 本、本管 1 本

空気タ - ビン：最大出力 37.5kW 1 基

発電機：容量 32.5kVA 1 基

制御装置：屋内防滴閉鎖自立形

定圧化タンク：半地下式中央支柱方式

Φ 9.3m、高さ GL + 5.4m 1 基 等

【成果の抜粋：発電効率】

一次変換時の波高と空気出力との関係を図-3.8 に示す。ここで、空気圧量（空気出力）とは、波浪エネルギー - 吸収装置により波浪エネルギー - が空気圧に変換され、単位時間に送気管を通して定圧化タンクに貯えられる空気量および空気圧とする。

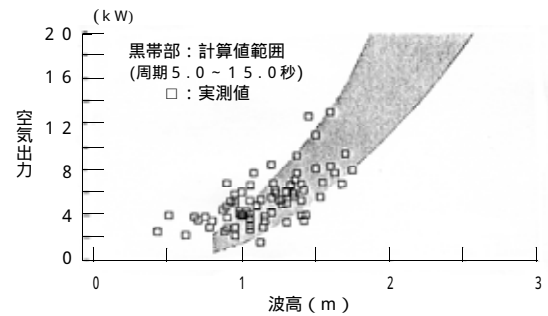


図-3.8 一次変換時の波高と空気出力との関係³⁷⁾

次に、空気出力から発電出力へ二次変換した際の結果を、図-3.9 に示す。

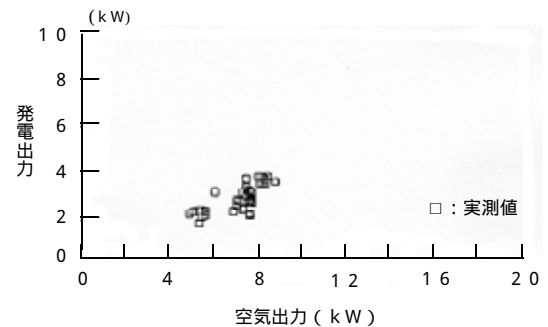


図-3.9 発電効率（空気出力と発電出力との比率）³⁷⁾

ここで、空気出力とは空気タ - ビンに流入する空気

がもつ出力、また発電出力は発電機本体からの出力を示す。

この図から、発電効率(発電出力と空気出力との比)は空気出力 5 ～ 9kW に対して 30 ～ 55 % を示している。

空気タ - ビンに直結した発電機からの出力(発電出力)を、コンバ - タやインバ - タ等の制御装置を用いて安定した電圧、周波数(200V、50Hz)の良質な出力(送電出力)に変換して負荷に送る場合の制御装置等の変換効率(発電出力と送電出力との比)は、ほぼ 80 ～ 98 % を示す。

発電コストは、1 システム(10 ユニット分)で償却年数 25 年等、設定した条件の下で試算した場合には 40.3 円/kWh 程度になるとの結果が示されている。

(2) 可動物体型一次変換装置を用いた波浪発電装置例

【固定式：沿岸固定型振り子式波力発電装置の特性】³⁸⁾

【沿岸固定型振り子式波力発電装置実証実験の目的】

比較的静穏な海域において、波の運動に付随して振り子運動する可動受波板を用いた下部支持型振り子式の総合変換効率(一次変換効率と二次変換効率との積)の良い波力発電システムを開発する。

【実験実施者】室蘭工業大学

【実験期間】1980 年～1988 年

【設置海域】室蘭港の南外防波堤前方海面

【設計環境条件】

入射波高 3m に対してケ - ソンが安定であること。

入射波高 2m の波圧(波圧モ - メント $1 \times 10^6 \text{Nm}$)に対して振り子が、垂直に固定した状態で耐えられること。

このシステムは、有義波高($H_{1/3}$) 1.5m、有義波周期($T_{1/3}$) 4 秒、入射波パワ - 10kW(振り子幅 2m の時)、油圧シリンダ - が吸収するパワ - 5kW(波力エネルギー - 効率を 50 %)程度を想定している。

【実証試験システムの基本構成図】

システムの基本概念図を図-3.10 に示す。

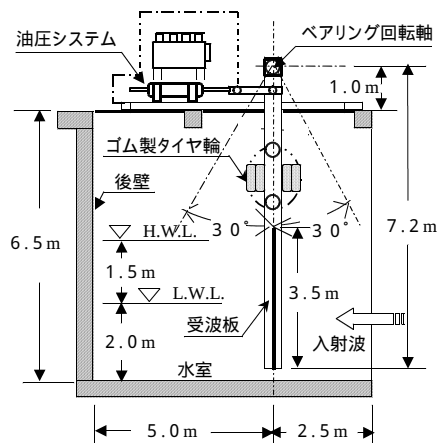


図-3.10 沿岸固定型振り子式波力発電装置概念図

装置は、沖合に向けて開口部を有する水室を設けた防波ケ - ソン内に、上部をベアリングの軸受けで支持された受波板の付いた振り子と波により発生した振り子運動を電気エネルギーに変換する発電システムとから構成された波力発電装置である。

【特徴】

水室内に導かれた入射波は、後壁に反射して定常波に変わる。この節部(図-3.10 に示す振り子と後壁との間の距離)における波動は水平往復流のみとなり、この位置で入射波の全エネルギーが水流に変わる。

この水流により受波板付き振り子を振動させて振り子運動に変換し、その振り子運動をさらに油圧システムを介して油圧ポンプを動作させて電気エネルギーに変換する。

【システムの主要構成部の主要目】

ケ - ソン：幅 6.1m、高さ 7.0m、奥行き 8.0 m

水室：幅 2.3m、奥行き 7.5 m、平均水深 2.75m、

2 室(その 1 つの水室に 1 基の振り子を設置)

受波板：上部支持型振り子板(幅 2m、高さ 5m)

油圧シリンダ - : 1 基、液圧モ - タ: 2 基

フリ - ホイ - ルクラッチ: 2 基、ポンプ: 1 基 等

【成果の抜粋：発電効率】

16 ヶ月間の運転期間中、油圧シリンダ - が吸収できたパワ - は周期 4 秒のとき約 58kW(これ以上ではストップ - が働く)以下である。この場合の油圧シリンダ - の吐出量は毎秒最大約 3 リットルで、油圧モ - タ(押しのけ容積 19ml/rev、2 台)の速度は、約 4,600rpm レベルに達する。

波力エネルギー - 効率(油圧モ - タの出力パワ - と入射波パワ - との比)は、平均周期 4 秒近傍で高くなり、その効率は約 50 % を示す。ここで、入射波のパワ - は周波数スペクトル密度関数から求めている。

(3) 位置・水流エネルギー - 利用例 ³²⁾

この方式による波浪発電システムの研究開発は、日本沿岸海域に到達する波浪エネルギー - 密度が小さいことや貯留池を建設するための広い場所の確保が困難なこと等の要因により、日本では研究室段階での研究に止まっている。

3.2.4 実用化された波浪発電装置事例

世界における波浪エネルギー - 密度を比較した値を図-3.11 に示す。この図に見られるように、日本沿岸海域における波浪エネルギー - 密度は、例えばノルウエ - 沿岸海域 ⁴⁰⁾ では年間平均で 40kW/m にも達するのに比べて前述したように 10kW/m と小さな値である。このことが発電コストを押し上げ、日本における商業ベ - スでの波浪発電を難しくしている。また、北海やイギリス沿岸等の海外では実用段階にまで進んでいるのにも係わらず、日本において実用

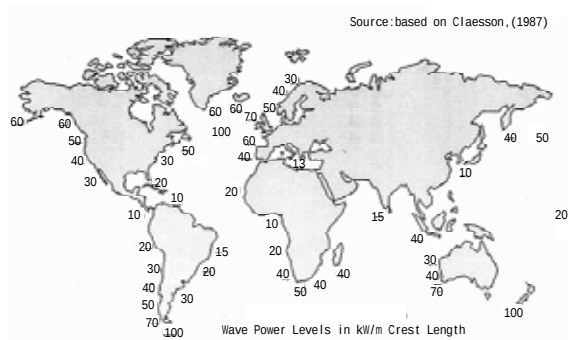


図-3.11 世界の波浪エネルギー - 密度レベル
の比較³⁹⁾

段階の商業用波浪発電施設が建設されない要因の一つになっている。

国内では小規模な波浪発電施設として、1965 年に海上保安庁が、所轄する灯浮標の電源用^{41)、42)、43)}に開発し実用化した。平成 16 年度末現在で、波浪発電方式を採用した航路標識は固定式が 3 (1) 基、灯浮標が 320 (178) 基可動している^{44)、45)}。なお、() 内の数値は複合電源 (波力発電 + 太陽光発電) で運用している箇所を示す。

灯台や灯浮標等の光波標識は、その多くが離島や海上に設置されているために商用電力の確保が難しいこと等の理由から、太陽光発電や波浪発電等の自然エネルギー - を利用⁴¹⁾した電源の確保が図られてきた。この方針は今後も推進されていく傾向にある。

海外で実用化された波浪発電事例としては、1985 年にノルウェー - において多重共振式振動水柱型空気タ - ビン方式 (略称 MOWC)⁴⁰⁾の定格出力 500kW 級大型波浪発電装置が TAPCHAN (越波流波力発電実証プラント) に隣接して建設され順調に試験運転されていた。しかしながら、1988 年に発生した異常波浪によりタ - ビンと発電機を格納した主塔が倒壊して海中に没したことが報告されている。

イギリスでは、陸上設置型の波浪発電システム (LIMPET: Land Installed Marine Powered Energy Transformer) として 500kW 級の商用波浪発電所が建設された。

【陸上設置型の波浪発電システム: LIMPET】⁴⁶⁾

【陸上設置型の波浪発電システム: LIMPET の概要】

傾斜したコンクリート管の下端部に海水の出入口を設けて海中に没水させ、波の動揺により上下する管内の海水面の上下動を利用して管内に閉じこめた空気を開口部から吸・排気させることで空気エネルギー - に変換し、そのエネルギー - を利用して空気タ - ビンを回転させて発電する振動水柱型発電装置である。

発電の他に護岸目的としても用いることができる。

【設置年月】2000 年

【設置場所】スコットランドのアレ - 島

【特徴】

商用波浪発電所として、15 年間の電力販売契約をスコットランドの公共電力供給会社と結び商業化を図っている。

防波堤上に設置できるために、発電と護岸の両方の目的で用いることが可能である。

現地で製造できるので建造や保守等が容易である。

最低限の補守管理で、60 年間の使用が可能である。

【発電装置性能】

発電出力: 500kW

振動水柱型方式の空気室を用いて空気の流れを発生させ、その空気の流れを利用して 2 台の発電用タ - ビン (タ - ビンは、空気の流れに関係なく一定の方向に回転) を回転させ発電している。

【越波流波力発電実証プラント】⁸⁾

【越波流波力発電実証プラントの概要】

波が沿岸に到達するに従い、収斂して波高を増幅させるような自然地形および収斂して増幅した波が防波堤を越波した海水を貯めて置く広い貯留池から構成される。

【プラント名】TAPCHAN: Tapered Channel Power Plant

【設置年月】1986 年に完成

【設置場所】

ノルウェー -、ベルゲンの西北西約 20km

北海に面した Toftestallen の岩礁地帯

【特徴】

収斂形状を有した自然地形により波高を増幅させ、防波堤を越波させて貯留池に溜める。その貯留池の海水を貯留池と海面との水頭差を利用して海面に放出する際に、導水管に設置した発電装置を用いて発電を行う。

収斂する先の方向が一方に湾曲した地形をしている。この事は非常に重要な要件で、構造物の斜面や側面の受ける波の衝撃力を少なくすると同時に、越波する海水の量を増やす効果がある。

【システムの主要目】

貯留池面積: 約 8,500m²

貯留池の海水面と海面との水頭差: 3 ~ 8m

流量: 水頭差 3m で 14 ~ 15m³/s

【主要発電機器】

低落差用カプラン水車、発電機

【発電出力】

定格出力: 350kW

3.3 洋上風力エネルギー - の利用

3.3.1 海上風の性質

洋上風は、一般的に陸上風と比べ以下のような特徴がある。

風速が高い

乱れ強度（標準偏差 / 平均風速）が小さい
地表面影響による風速の高度差が小さい

図-3.12 は、日本建築学会「建築物荷重設計指針」に示されている基本風速図である。構造物に作用する風荷重算定の基礎となる風速を与えているが、地域ごとの風速の差が見てとれる。図に示されていないが、伊豆諸島および小笠原諸島は 45m/s、薩南諸島および沖縄諸島、大東諸島、先島諸島では 50m/s という値が与えられており、内陸より高い風速値が与えられている。



30m/s：比較的静穏な沿岸・陸域
35m/s：秋田沿岸・北海道・九州北部
40m/s：伊豆諸島・房総南岸
45m/s：伊豆諸島・小笠原・房総鹿島沖
50m/s：薩南・沖縄・大東・南西諸島

図-3.12 基準風速

風速の高度分布は、一般に以下の式で与えられる。

$$U_z = U_0 \times (Z/Z_0)^\alpha$$

U_z ：高度 Z での風速

U_0 ：基準高さ Z_0 での風速

α ：地表面粗度により変わる指数値

α は洋上では 1/10 程度、粗度の小さい海岸線等で 1/7 ~ 1/10 程度、粗度の大きい陸域では 1/5 ~ 1/3 程度の観測値が得られている。

図-3.13 は、洋上と陸上で観測された風の乱れ強度の代表例を示している。縦軸の乱れ強度は $TI = (\text{時系列の標準偏差} / \text{平均風速})$ として定義している。また、図の横軸は平均風速であり、通常 10 分間の計測値が使用される。上図が洋上で、相模湾中央部の大型ブイ「拓海」で観測されたものである。下図の陸上代表例は鈴鹿山系の野登山で観測された結果である。図中の線は、IEC が推奨している風車製造または建設における設計に用いる基準値を示している。洋上は基準値を下回り、陸上は大きく上回っていることがわかる。このように、日本のような

山岳部の多い地形では乱れ強度が高いために、発電出力の変動が大きくなったり、風車自体へ作用する風荷重の変化が大きくなるため、風力発電の運用や風車寿命などの点で不利な条件となる。

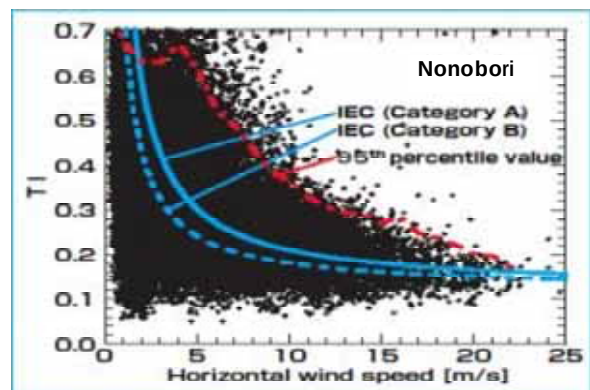
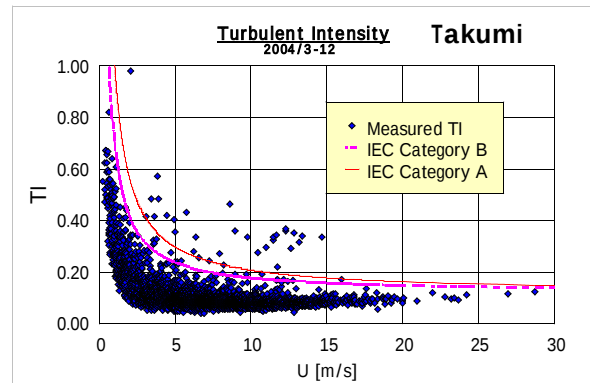


図-3.13 乱れ強度の比較

3.3.2 風力発電の原理

(1) 風のエネルギーと取得エネルギーの限界

ある面積 A を通過する空気流の単位時間あたり質量は、空気密度を ρ 、風速を V とすると ρAV であるから、風が保有しているエネルギー E は次式のように表される。

$$\begin{aligned} E &= (1/2) \times m V^2 = (1/2) \times (\rho AV) \times V^2 \\ &= (1/2) \times \rho AV^3 \end{aligned}$$

即ち、風のエネルギーは面積に比例し、風速の 3 乗に比例する。

このエネルギーを理想的に全て取得できれば良いが、そのような状態は風車通過直後の流速が 0 となることであり、流れ中に置かれ機械的にエネルギーを取得する風車では物理的に意味をなさない。

風車のようなプロペラが取得できるエネルギーの理論限界効率は、F.W.Lanchester, A.Betz により示されている。一般に「ベッツの限界」、「ベッツ係数」として知られ、効率 $C_p = 16/27 = 0.593$ で与え

られる^{47) 48)}。

C_p はパワー - 係数と呼ばれ、次式で定義される。

$$C_p = P_w / ((1/2) \times \rho A V_0^3)$$

P_w : 取得エネルギー -

V_0 : 流入風速

C_p は高効率の風車でも 0.40 ~ 0.45 程度であり、実際のプロペラ式風力発電装置でのエネルギー - 損失は、風車翼の空力的損失が約 50 %、発電機の電氣的損失が約 6 %、歯車などの機械的損失が約 4 % 程度であるとされる。

(2) 風車の種類と効率

風車の歴史は古く、紀元前 2000 年に遡るともいわれる。近代に入ってからオランダ型風車にみられるように産業革命以前から様々な形式の風車が考案され使用されてきているが、空力的な特徴から大別すると、「揚力型」と「抗力型」に分けられる。

揚力型の代表格はプロペラ式であるが、翼に発生する揚力を利用することにより流入風速の 3 ~ 5 倍の速度で翼を回転させ、他の形式に比して最も効率が低い。抗力型は、文字通り風の抗力、即ち空気抵抗を利用して回転力を得るものである。風速より高い回転数を得るのは難しく、効率はプロペラ式の 1/4 程度である。

回転軸の構造的な形式で分類すると、「水平軸型」と「垂直軸型」に分けることができる。水平軸型は、現在主流になっているプロペラ型のように回転軸が水平に取り付けられたものである。

垂直軸型として 19 世紀に考案されたダリウス型が有名であるが、パドル型、サボニウス型などの抗力型の多くはこの形式である。ダリウス型は揚力型の 1 種であり、プロペラ式に近い高い効率が得られる。垂直軸型は、構造的に翼を遠心力に耐えるように設計する必要があるが、ダリウス型は遠心力が翼に引張り力として作用するよう、回転する縄跳びの縄と同様の曲線の翼形状をもたせ強度成立性を高めている。このため大型化が可能であり、カナダで 4MW の実験機が建造されたこともある。小型風車では、直線翼垂直軸型も近年多く採用されている。翼長に対して大きい受風面積を確保し易く、風切り音が小さくプロペラ式に匹敵する効率が得られるという特徴を持つ。但し、遠心力が翼への荷重の約 80 % にもなるため、翼の軽量化や剛性を高めるなどの設計技術が重要となる。

一方、水平軸プロペラ型では遠心力の影響は小さく、空力荷重が支配的になるため構造的な負担が少く大型化し易いという特徴がある。

図-3.14 は、各種風車のパワー - 係数 C_p (効率) と周速比 (翼先端速度/風速) の関係を示したものである。

サボニウス型、多翼型、オランダ風車等は抗力型といわれ、回転が低くトルクが大きいのが特徴で、周速比が低い範囲でピークを持つ。効率は 10 ~ 25 % 程度である。

ダリウス型、プロペラ型は揚力型と呼ばれ、回転数が高く周速比の高い範囲で効率のピークを持つ。効率は 40 % を超える。

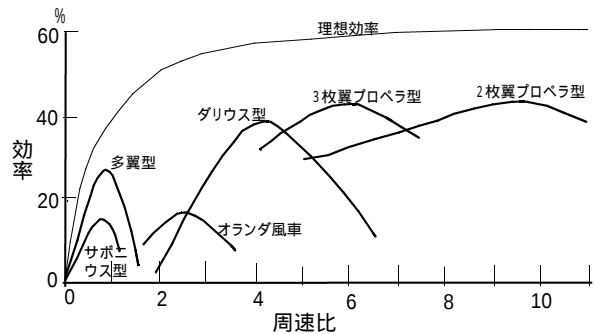


図-3.14 各種風車の効率と周速比の関係

(3) 大型風力発電装置の構造

現在普及している水平軸プロペラ型大型風力発電機の代表的構造例を図-3.15 に示す。

発電機としては誘導発電機が比較的多く採用されている。誘導発電機は高回転域で効率が上がる特性を持つため、一般的に発電機の前段には増速機が付けられている。また、増速機を必要としない多極同期発電機なども近年開発されている。

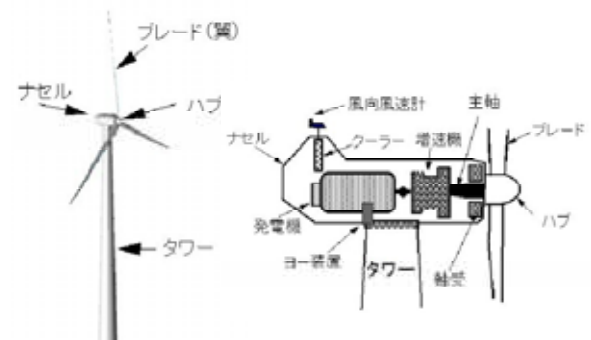


図-3.15 大型風力発電機の構造例

3.3.3 洋上風力発電の研究開発

(1) 着底式風力発電

遠浅の広大な海域を有する欧州では、洋上に大規模風力発電ファームが着底工法で建設されている。

最近では 5MW 前後の定格出力を持つ大型風車も開発されているが、主に洋上展開を念頭においたものであり、運搬・施工のための専用船も開発されている。日本では、北海道西岸の瀬棚町と山形県酒田市の港湾区域に建設された例があるが、欧州のよう

に大規模なファームは建設されていない。しかし、港湾区域は風況が良いため導入計画があり、日本沿岸開発技術研究センターで、基礎建設工法の研究が行われ技術マニュアル⁴⁹⁾が整備されている。

(2) 浮体式風力発電

1) 日本海洋開発産業協会（以後、JOIA と称す）の研究⁵⁰⁾

浮体式洋上風力発電に関しては、JOIA による「海洋資源・エネルギーを複合的に活用する沖合洋上風力発電等システムの開発調査研究」⁵⁰⁾の一環として行われた研究がこの分野での先駆けとなっている。この研究では、各種のコンセプトが提案され、技術的、経済的な面からの比較検討が行われている。

表-3.11 JOIAで検討された浮体式風力発電装置

水深 (m)	浮体形式	風車形式	単機容量 (MW)	風車数	総容量 (MW)
100 ~ 200	セミサブ	プロペラ型	3 or 5	1	3 or 5
	スパ-		5	1	5
20 ~ 50	ハイブリッド	直線翼垂	1.7	3	5.1
	格子型	直軸型	1.7	3	8.5
	着座型		1.7	3	5.1

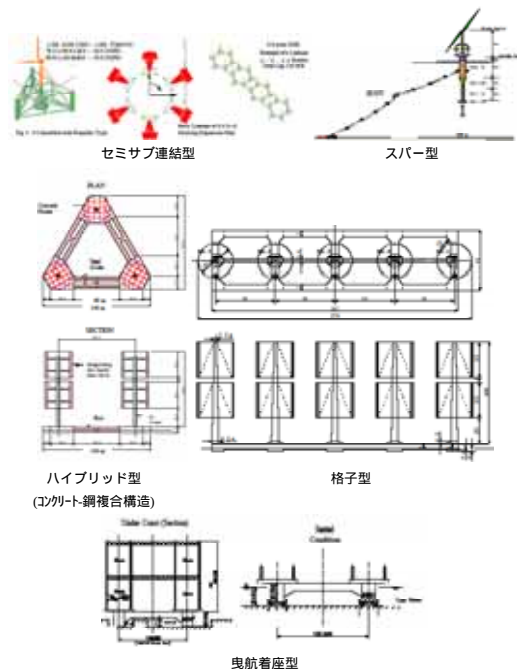


Fig.2.3.1 JOIA で検討された浮体式風力発電装置

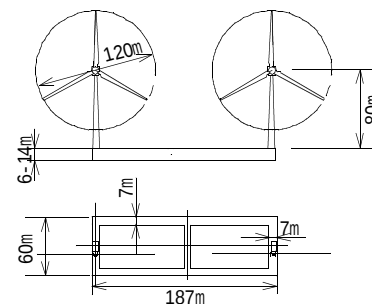
図-3.16 JOIA提案の各種浮体式風力発電形式

検討されたコンセプトの概要を表-3.11、図-3.16に示す。100 ~ 200m の大水深域ではセミサブ型とスパ-型が、20 ~ 50m の比較的浅い海域にはポンツ-ンを基本構造にしたコンクリート+鋼構造のハ

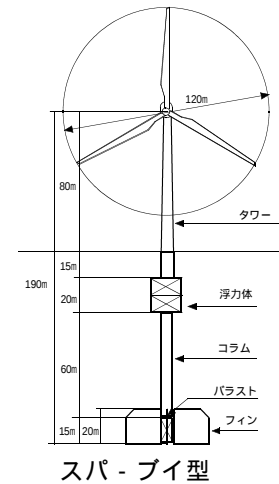
イブリッド型と格子型ポンツ-ンが対象とされている他、設置海域まで浮体式として曳航して行き、その後、着座させるタイプの形式についても検討されている。風車形式として、プロペラ式の他に直線翼垂直軸型が用いられているのも1つの特徴である。

2) 海技研の係留型浮体式研究⁵¹⁾

海技研を中心としたプロジェクト研究では、格子ポンツ-ン型とスパ-型浮体を用いた風力発電の研究が行われている。ポンツ-ン型は 5MW 風車 2 搭載、スパ-型は 1 基搭載である。図-3.17 に海技研プロジェクトの 2 形式の浮体の概念図を示す。



格子ポンツ-ン型



スパ-ブイ型

図-3.17 海技研プロジェクトの 2 形式の浮体

定点海域への係留を前提としており、係留方式として合成繊維索と VLA (Vertical Loading Anchor) の適用が考えられている。また、この研究では、得られた電力を陸上に電送するばかりでなく、海水を電気分解して水素を生成し、さらには陸上の大規模火力発電などから回収した二酸化炭素と反応させてメタンに改質し、化学燃料の形でエネルギーを蓄積するというコンセプトが提案されている。図-3.18 に化学燃料転換貯蔵のコンセプトの概要を示す。

JOIA の研究では技術的検討と経済性評価が主であったが、この研究からはエネルギー収支や二酸化

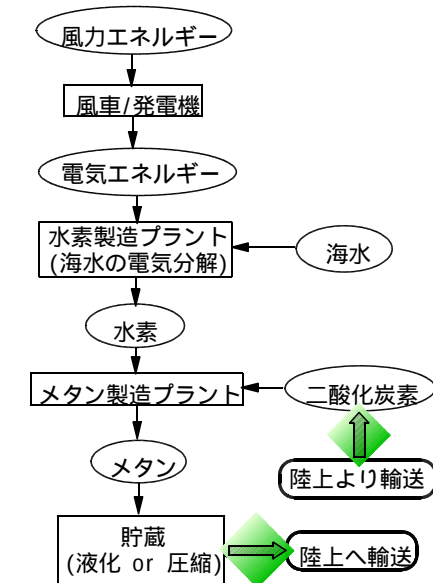


図-3.18 化学燃料転換貯蔵のコンセプト

炭素収支といった概念についての評価が加えられたのも特徴といえる。エネルギー収支比（期間内取得エネルギー/製造および期間内運用エネルギー）は電力利用で 6.9 ~ 5.2（送電距離 10 ~ 50km）、メタン製造で 4.8 ~ 4.9 発電コスト 10.7 円/kWh という値が得られている。

3.1.2 項で各種海洋エネルギーの賦存量について述べたが、日本近海の風力エネルギー賦存量に関しても多くの報告がある⁵²⁾。どれも陸域に比べて莫大な量が示されている。このプロジェクト研究では、係留の可能性や経済性の観点を考慮して、設備利用率の高い海域で、かつ水深 100 ~ 200m で係留に適する海底地質を持つ有望な 4 つの海域を選定して、陸域との発電量の比較を行っている。その結果によれば、選定海域の 5 % 面積を使えば、陸域の 2010 年導入目標 300 万 kW で得られる電力の約 3 倍の年間発電量が得られると試算されている。

(3) 国立環境研究所の非係留浮体式⁵³⁾

国立環境研究所のプロジェクト研究では、非係留型の超大型帆走式浮体に 11 基の 5MW 風車を搭載した約 2,000m の超大型浮体を想定した研究が行われている。図-3.19 に非係留帆走型超大型浮体の風力発電方式の概念図を示す。

この研究は、風力発電を基幹エネルギーとして使用できるかということを検証することが主要目的であり、良好な風を予測しながら広大な海域を巨大な帆を制御して移動し、効率よく風エネルギーを回収しようというものである。多数の浮体を展開して船団を形成することになる。得られた電力は水素に転換して陸域に運ぶ。また、台風などの異常海象は避



図-3.19 国立環境研究所の非係留帆走型風力発電方式の概念図

けながら移動することとし、有義波高 6m に耐える設計がされている。エネルギー収支比については電力利用で 17.3、水素利用で 4.3 という値が報告されている。

3.4 潮汐・潮流および海流エネルギーの利用

3.4.1 潮汐・潮流および海流発電の原理^{54) 55)}

(1) 潮汐発電の原理

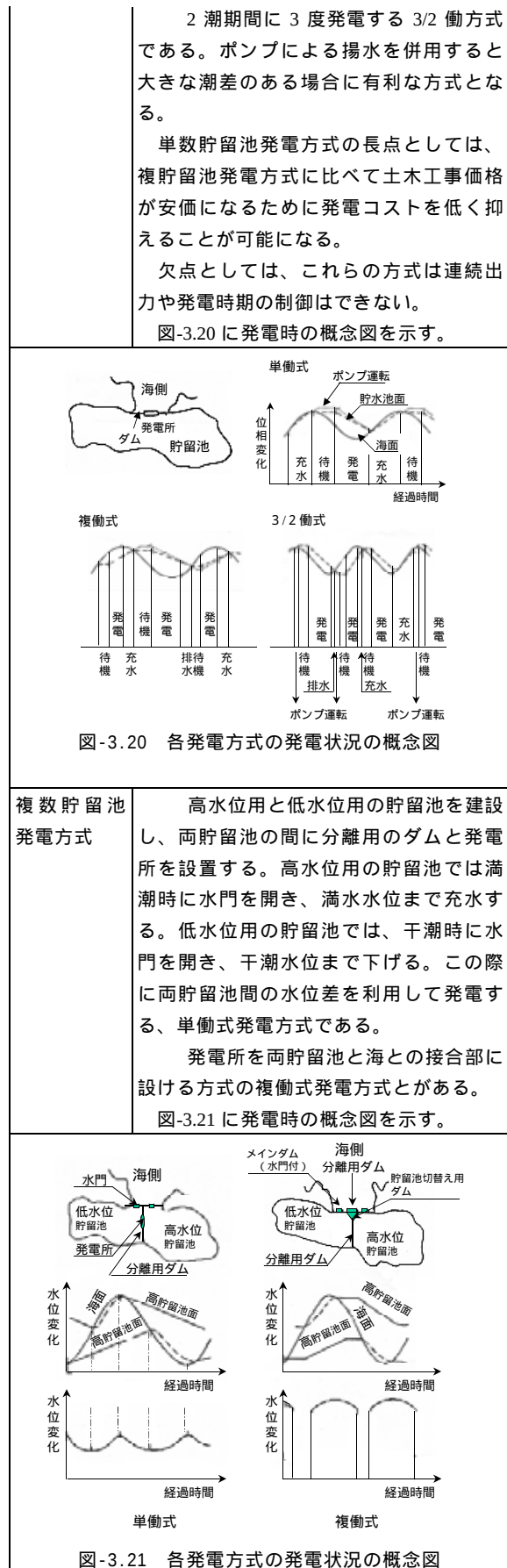
潮汐で引き起こされた海水の干満によって湾を出入りしていた海水の流れを、湾の入口にダム等の堰を設けることで湾内を発電用貯留池として仕切り、水門の開閉により満潮時は貯留池に海水を溜めて置き、干潮時に放出する。その際にダム等に設けた発電装置により発電する方式である。

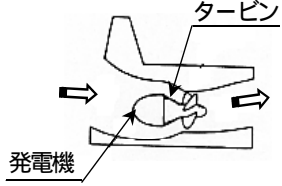
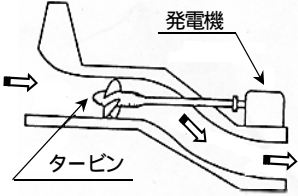
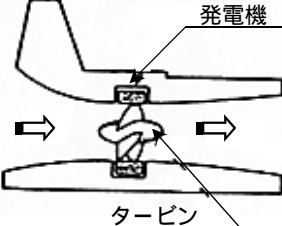
潮汐発電方式は、月の運行により潮汐が支配される関係で、発電可能な時間は制約を受ける。そのため連続運用や発電時間の制御は難しいが、年間の潮汐変動量はほぼ一定しており比較的安定した電力の発電が可能なおよび発電方法や発電装置に対して水力発電で確立された技術が利用できること等が特徴として挙げられる。発電方式には、貯留池の違いにより 2 方式に分類される。その特徴を表-3.12 に示す。

潮汐発電に用いられる発電機には 3 種類の低落差用水平軸流水車が開発されている。その特徴を表-3.13 に示す。

表-3.12 発電方式の特徴^{12) 54)}

発電方式	特徴
単数貯留池 発電方式	満潮時を利用して貯留池に貯めた海水を干潮時に海に放出する際に発電する単動方式（1 潮期間に 1 度発電）である。 干潮時に海に放出する際と貯留池に貯める際とで発電する複動方式（1 潮期間に 2 度発電）である。発生電力量は方式に比べて大きくなる。

表-3.13 発電機型式の特徴⁵⁴⁾

発電機型式	特徴
バルブ型	発電機と可逆ポンプの両方に使用可能である。 ランナ - が下流側にあり、発電機は上流側のユニット内に格納される。 全体が水路内に設置される。 ランス発電所やキ - スラヤ発電所で使用されている。  バルブ型
チュー - プ型	発電機が水路の外部にあり、水路は S 状に曲がっている。 従来型の発電機の使用が可能になる。  チュー - プ型
直流 (リム型) タ - ビン	低落差用水力発電機として開発された。 潮汐発電にも適用が可能である。 発電回転子が翼端に取りつけられ、円形リム内を回転する。 水路が短くてすむ。 土木工事が簡単になる。  リム型

(2) 潮流および海流発電の原理

潮流および海流発電の原理は、基本的には両方式とも同じである。潮流発電の場合は、潮汐により生じた海水の流れが有する運動エネルギー - を用い、また海流発電の場合は、黒潮のような海水の循環流が有する運動エネルギー - を利用して水車等の動力変換機構を動作させ、運動エネルギー - を機械的エネルギー

- に変換して得られた動力を用いて発電機を回し発電する方式である。

両者の違いは、潮流の場合には1日にほぼ4回流向が反転するために、得られたエネルギーは零レベルから最大レベルまで変化する。一方、海流の場合は年間を通じてほぼ一定方向の流向を示すが、季節や年および冷水塊の存在等により、流軸が変化したりエネルギー密度が変化したりする。また、流速が比較的遅く、エネルギー密度も低い特徴がある。

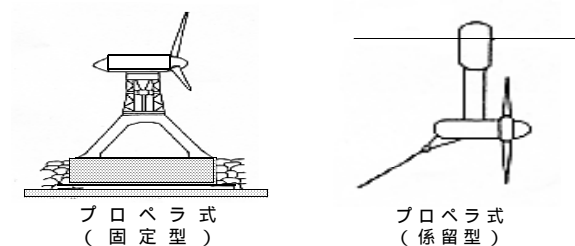
動力変換機構は、流れの運動エネルギーを利用するために多くは水タビンを用いて回転運動に変換する方式である。その他、一様流中に置いた翼を振動させてエネルギーを取り出す振動翼方式や海流中に一種の渦を発生させる構造物を構築し、渦によるくぼみ（Cavity）を発生させ、それによりできる水頭差を用いて発電するダイナミック・ダム方式も考案されている。

回転軸方式を用いた水タビンの動力変換機構を分類して表-3.14に、また動力変換機構例の概念図を図-3.22に示す。

表-3.14 回転軸方式を用いた水タビンの動力変換機構の分類⁵⁴⁾

水平軸型	プロペラ式	プロペラタビン カブリタタビン
	サボニウスロタ式	
	ジャイロ・ミル式	
	直流（リム型）タビン式	
垂直軸型	フォイトシュナイダ・プロペラ式	
	倉掛全流向式	
	セ・ルキャノビ式	

【水平軸型例】



【垂直軸型例】

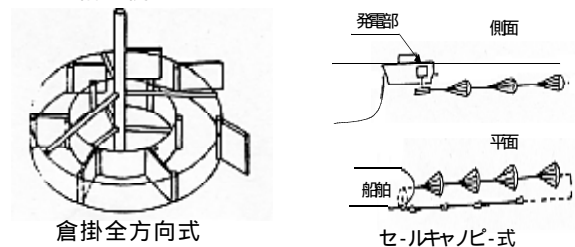


図-3.22 動力変換機構概念図の一例

3.4.2 潮汐・潮流および海流発電の実用化に向けての研究開発

(1) 潮汐発電の実用化に向けての研究開発

日本における潮汐発電の研究開発は、潮位差が海外に比べて小さい上に貯留池を設置する広い場所の確保や環境問題の解決が難しい等の要因で、潮汐発電を行うのに適した海域が殆ど見あたらないこともあり、研究や事前調査の段階で止まっている。

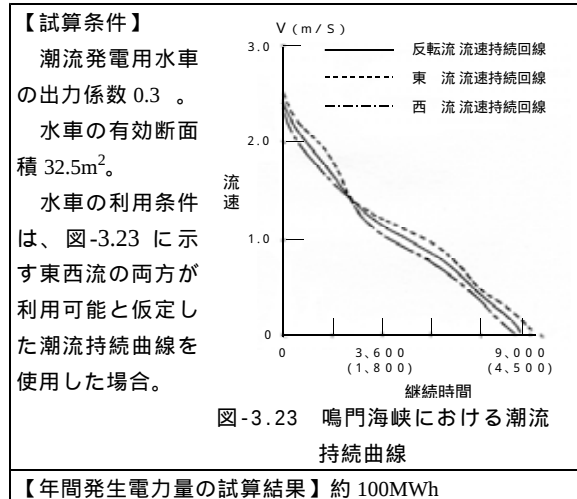
海外では、潮位差が大きく潮汐発電を行うのに有利な海域が多く存在している。表-3.6に見られるように潮位差の大きな海域を有する国では、1966年からフランスのランス川河口において潮汐発電所が稼動を開始したのを始めとして幾つかの国で既に実用化の段階に至っている。

(2) 潮流発電の実用化に向けての研究開発

潮流発電に関しては、表-3.7に示したように流れの早い海峡が幾つかあり潮流発電が可能な潜在的エネルギーをも有しているが、これらの海峡の多くは海峡幅が狭い上に海上交通が盛んなため、大きな構造物を海峡に設置して潮流発電を行うことは困難な環境にある。

本四連絡橋公団では、鳴門海峡にある大鳴門橋の主塔基礎部分を利用して潮流発電を行った場合の年間発生電力量を試算している。

【鳴門海峡を利用した潮流発電方式の年間発生電力量の試算例の概要】¹²⁾



徳島大学や日本大学では、瀬戸内海の速い海流を利用した潮流発電の実海域実験を実施している。

【鳴門海峡および来島海峡の潮流を利用した実海域潮流発電実験の概要】⁵⁵⁾

【実験実施主体】徳島大学
【実験海域】

鳴門海峡の鳴門大橋工事に用いた橋脚に固定。

【使用水車】

クロスフロ - 水車の概念図を、図-3.24 に示す。

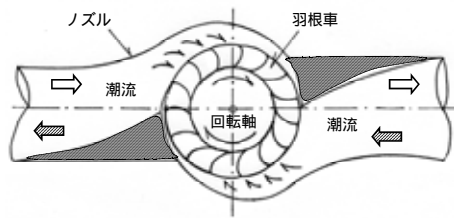


図-3.24 クロスフロ - 水車の概念図

【水車の機能】

ノズルと直角に配置した羽根車に、ノズルで導かれた潮流を当てて回転させる動力変換機構である。

【水車の特徴】

効率が高いことや起動特性に優れている。
ゴミや流れ藻等の対策が必要である。

【実験実施主体】 日本大学

【実験海域】

愛媛県今治市の大浜沖の来島海峡に沈めて実施。

【使用水車】

3枚翼ダリウス型水車の概念図を、図-3.25 に示す。

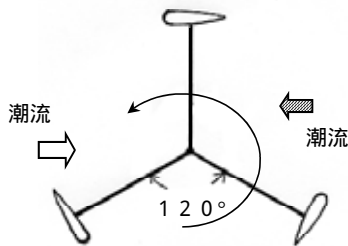


図-3.25 ダリウス型水車の概念図

【水車の機能】

単純構造で効率が高い。

短所は起動特性がやや劣る。

水車と同じ流速を与えた場合、水車の直径を大きくすると回転数が落ち、トルクが増加する傾向がある。

水車出力は水車の直径、高さに応じて大きくなるが、相似比的には増大しない傾向がある。

(3) 海流発電の実用化に向けての研究開発

海流発電の研究は、弘前大学⁵⁶⁾において2002年6月から津軽海峡に流れ込む対馬暖流を利用して発電する研究を始めている。津軽海峡は、西から流れ込む対馬海流の流れが、西向きの潮流の流れより強いために、常に東向きに流れており年間を通じて流向と流速が一定である利点を有している。

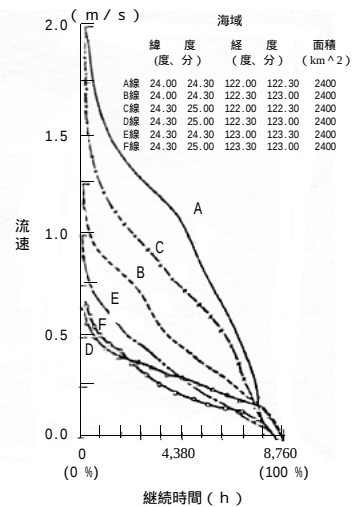
黒潮を利用して海流発電を行う目的で、幾つかの

海域に対して理論発電量が推算されている。

【海流発電の理論発電量の推算例】¹²⁾

【推算方法】

図-3.26 に示す八重山諸島海域における表層流速資料を基にした流速持続曲線 A (年間を通じて1m/s以上の安定した流速を得る確率は55%を有する)を用いる。



海流の単位

断面積当たり
のエネルギー -

は、流速の3乗

に比例しており、流速が1m/sの場合には500Wの理論出力に相当する。理論出力を500W/m²として求めた各海域における推定理論発電量を表-3.15に示す。

表-3.15 各海域における推定理論発電力

海峡名	海域全体の断面積: A (千m ²)	水深30-200mの断面積: B (千m ²)	理論発電力 B × 500W/m ² (万kW)
与那国島	1,027	755	37.8
仲ノ上島 (西表島)	12,249	1,758	87.9
諏訪瀬島 (トカラ列島)	10,737	938	46.9
足摺岬沖	3,014	2,216	110.8
大越鼻 (八丈島)	11,700	1,860	93.0
計	38,727	7,527	376.4

海流を利用して発電する研究は、発電量の事前予測調査や種々の発電方式が提案されているが、海流に対する基礎データの不足、発電方式の技術的な問題や発電装置の設置費用が大規模になること等の理由で構想、研究や実験段階に止まっている。

3.4.3 実用化された潮汐・潮流および海流発電

(1) 潮汐発電の実用化

日本では、潮汐を利用した発電所は実用化されていないがフランス、カナダ、中国、ロシア、韓国やオーストラリア等において潮汐発電用のパイロット

プラントが建設されている。潮汐発電所例を表-3.16に示す。

表-3.16 潮汐発電所例⁵⁴⁾

場所 (国名)	平均 潮位差 (m)	潮池 面積 (km ²)	発電 容量 (MW)	年間 発電量 (GWh)	運転 開始 (年)
ランス (フランス)	8.5	17	240	540	1966
キスラヤ (ロシア)	2.4	2	0.4		1968
Jiangxia (中国)	5		0.5		1980
アンナポリ ス(カナダ)	6.4	6	17.8	50	1985

パイロットプラントとして建設されたアンナポリス潮汐発電所では出力 2 万 kW で年間 3,000 万 kWh 以上の電力を供給し、4,000 戸の電力を賄っている⁵⁷⁾。また、ランスでは下記の概要に示すように既に大規模な潮汐発電所が建設され稼動している。

【ランスの潮汐発電施設】^{11)、55)、58)}

【ランスの潮汐発電所の概要】 ランス川河口を堤防により仕切った貯留池に、潮汐（平均潮位差約 8.5m）により出入する時の流れを利用して発電する出力 24 万 kW の潮汐発電施設である。
【プラント名】ランス潮汐発電所
【設置年月】1966 年に完成
【設置場所】 フランス西北部ブルタ - ニュ地方、ランス川河口のサンマロ湾
【設置場所の特徴】 湾口には大小の岩礁があり 4km 入ったダム地点では大西洋の波浪の影響は受けない。 岩盤は片麻岩であり、漂砂は皆無である。 海水が浸透することによる問題はなく、また沿岸漁業等の補償問題もない。 ダムを作ること、湾内水位がある値以上に保たれ常時、船の運航が可能になることや堤防は道路橋としても利用されており経済効果も無視できない。
【システムの主要目】 潮位差：大潮時 10.9m、小潮時 5.4m 平均潮位 8.5m、親潮 13.5m 最大貯水量：1 億 84 万 m³ （最大水位 13.5m と最低水位 0m 時） ダム高さ：25m、ダム長さ：750m
【主要搭載機器】 潮汐発電用チュ - ブラ水車 10,000 kW 発電機 24 基（1960 年最終案）

【発電出力：発電効率】

発電出力 24 万 kW、発電効率 15 %

(2) 潮流発電の実用化

日本で実用化された潮流発電には、2003 年に明石海峡に設置された潮流発電方式の灯浮標がある。

【灯浮標用潮流発電装置】^{25)、26)、27)、28)、41)}

【灯浮標用潮流発電装置の概要】 灯浮標の下部に取り付けた水車を潮流を利用して回転させ、発電する方式である。
【設置主管】第 5 管区海上保安部
【設置年月】平成 14 年 12 月 12 日から実用化のための試運用開始。平成 16 年 2 月 26 日に改良方法の検討や保守点検等のために引き上げている。
【設置場所】明石海峡航路中央第二号灯浮標
【灯浮標用潮流発電システムの主要目】 灯浮標：直径約 6m のおわん形状浮体に高さ約 5m の灯台を設置 1 基 潮流発電用水車：ダリウス型 4 枚翼 2 基 水車寸法：直径 0.6m、高さ 0.45m 発電した電力はバッテリー - に蓄え、灯火用発光ダイオードの電源として利用する。
【発電装置の性能】 試験期間：平成 13 年 2 月 16 日～平成 13 年 3 月 30 日 実測発電量：18.2kWh（発電可能流速は 1.2m/s 以上とする。） 理論発電量：588.7kWh（理論対象流速発生時間を 500.33 時間とした場合） 発電効率：18.2/588.7 = 0.031 この発電効率を用いて算出した年間期待発電量は、総発電量：171.3kWh / 年 （流速 1.2m/s 以上の流速発生時間の合計日数を、187.3 日とした場合） 延べ日の平均発電量：0.47kWh / 日 平均日の発電量：39.1Ah / 日 (12V 条件)

(3) 海流発電の実用化

日本において商業化された海流発電の実績はない。海外では英国リンマウス市近郊の北デ - ボン州の海岸において海流でタ - ピンを回して発電する Seaflow プロジェクトと呼ばれる海流発電計画^{57)、59)}がある。2003 年 5 月に実験機（ロ - タ直径 11m、秒速 2.7m の潮流で 300kW の発電計画）が設置された。UK の貿易産業省、EU およびドイツ政府から支援された企業体が、2006 年～2007 年には商業運転を開始する予定である。

3.5 海洋温度差エネルギーの利用

3.5.1 海水の温度分布と深層低温海域¹⁵⁾

海水の垂直方向の温度分布は図-3.27に示すように海面下100mまでは、太陽の影響等を受けて季節により変化する。

100m-1,000mにかけて水温は大きく変化する。

その深度を越えると4～6程度の安定した冷水海域になる。この冷水海域では非常に低速で海水が循環している。この循環は「海のベルトコンベアー」とも呼ばれ、地球規模で起こっている。グリーンランド沖の北大西洋では氷結により低温で塩分濃度の高い高密度の海水が作られ、深海に沈み込んでいる。それが温度変化をほとんど受けないまま深層をゆっくりと流れて南極海に達する。そこでウエッデル海から沈んできた低い温度の海水と一緒に、インド洋や太平洋まで流れて行き、そこで1cm/day程度の湧昇流となって表層まで上昇して拡散する。表層で温められた海水は表層流となって大西洋へ流れ、やがてグリーンランド沖まで循環して行って、そこで再び冷やされて沈み込んで行く。

この地球規模で起きている海水の大循環の中で、深層域を流れる期間は数千年を要し、このことが安定した冷水海域を形成する要因となっている。

グリーンランド沖とウエッデル海から沈み込む海水の量は、約40Mton/sに達すると推定されている。

3.5.2 海洋温度差発電の原理²¹⁾

海洋温度差発電とは、表層の温海水と深層の冷水水との温度差（大略15以上）を利用して発電する方式である。その発電方式は、オ・ブンサイクル型、クロ・ズドサイクル型および両者を組み合わせたハイブリッドサイクル型の3方式に大別される。

【海洋温度差発電方式】^{60)、61)、62)}

【オ・ブンサイクル型発電方式の概要】

表層海水域から取水した温海水を、蒸発器でフラッシュ蒸発（低压下では水温30でも沸騰）させて水蒸気に換える。この水蒸気を動力源として蒸気タービン

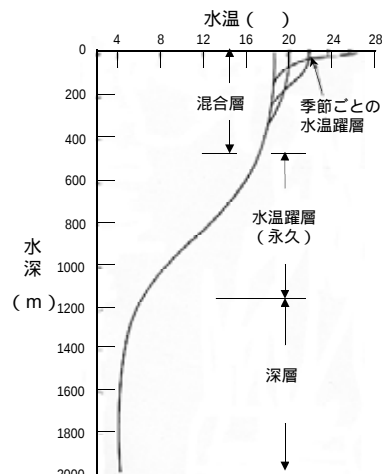


図-3.27 海水の垂直方向の温度分布¹⁵⁾

を回転させて発電する。発電後の水蒸気は凝縮器に送られ、そこで深層から取水した冷水水により冷却されて水に戻された後、表層海水域に廃棄される。この繰り返しで発電する方式である。図-3.28にオ・ブンサイクル型温度差発電方式の概念図を示す。

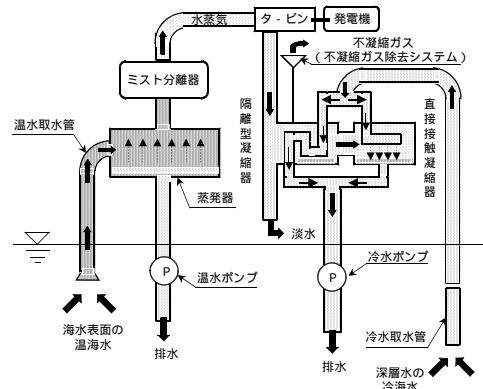


図-3.28 オ・ブンサイクル型温度差発電方式の概念図⁶³⁾

【特徴】

凝縮器には、直接蒸気に接触させる方式をとる直接接触凝縮器と熱交換器を用いる方式をとる隔離型凝縮器とがある。後者は副産物として淡水が得られる。

高価な上に生物付着の影響を受け易い熱交換器が不要である。

低压・比容積の大きい水蒸気を用いるために巨大なタービンが必要となる。

作動流体には、温海水を蒸発させた水蒸気を用いる。この方式を改良したものに蒸気リフト方式がある。

【主要構成機器】

蒸発器、ミスト分離器、タービン・発電機、凝縮器、不凝縮ガス除去装置等

【クロ・ズドサイクル型発電方式の概要】

温海水を蒸発させた水蒸気の代わりに、水蒸気より蒸気密度の大きな気体（経済性の面からはアンモニアを使用、また安全性の面からはフロン22を使用）を作動流体に用いた方式である。クロ・ズドサイクル型の温度差発電方式の概念図を図-3.29に示す。

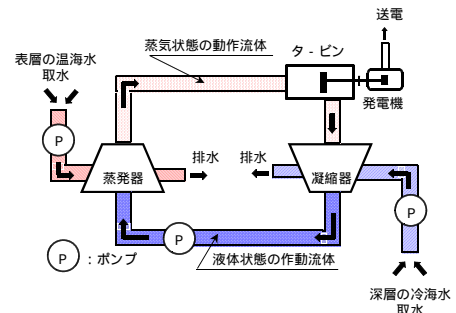


図-3.29 クロ・ズドサイクル型温度差発電方式の概念図²¹⁾

作動流体は、図-3.29 に示すように蒸発器で温海水から熱を受け取り、等圧過程の下で蒸発させて高圧蒸気を作る。この高圧蒸気は蒸気タ - ビンに送られ、そこで断熱膨張してタ - ビンを回転させて発電する。仕事を終えた蒸気は凝縮器に送られ、等圧過程の下で冷海水により冷やされて凝縮液化される。液化した作動流体は作動流体ポンプにより断熱圧縮されて蒸発器に戻り、閉鎖したル - プを形成する。これら一連の動作はランキンサイクルで示される過程の下で行われる。

一方、カリ - ナ (A.A.Kalina) は、従来の発電サイクルとは異なる新しい発電サイクル (カリ - ナサイクル) を考案した。この発電サイクルでは、ランキンサイクルが作動流体に純物質 (アンモニアやフロン) を用いているのに対して、作動流体に水とアンモニアの混合物質を用いる。この結果、理論的には温海水入口温度が 28℃、冷海水入口温度が 4℃ の場合、サイクルの熱効率はランキンサイクルでは約 3% に対し、カリ - ナサイクルでは約 5% までに向上する。しかし、作動流体に水とアンモニアの混合物質を用いるために純粋のアンモニアを用いるランキンサイクルに比べて蒸発器および凝縮器の性能がかなり低下する欠点がある。

上原サイクルは、カリ - ナサイクルの欠点を補うためにカリ - ナサイクルが 1 基のタ - ビンであるのに対して 2 基のタ - ビンを用いている。第 1 段目のタ - ビンから出た蒸気を抽気して凝縮器の負荷を低減させた改良型の発電方式である。この方式の理論熱効率は、カリ - ナサイクルよりも最大で約 2% 高くなることが示されている²²⁾。

【特徴】

オ - プンサイクル方式に比べて経済的である。
より大きな出力の発電が可能である。
熱交換器は、腐食やファウリング (海洋付着生物等) の除去が重要な課題となる。
作動流体にアンモニア (経済性の観点) やフロン (安全性の観点) を用いる。

【主要構成機器】

熱交換器、タ - ビン・発電機、作動流体ポンプ等

【ハイブリッド型発電方式の概要】

オ - プンサイクル型と同様に温海水を一度蒸発させ、この蒸気をクロ - ズドサイクルの熱源として用いる。

【特徴】

海水が直接熱交換器に触れないので生物付着の問題が生じない。

3.5.3 海洋温度差発電の実用化に向けての研究開発

1881 年に、フランス人のダルソンバ - ルにより考案された海洋温度差発電は、1973 年の第一次石油危機が発端となって本格的な研究開発が開始された。日米等では実証プラントを用いた実証実験や搭

載機器等の性能向上を目指した研究開発が一時期盛んに行われた。その後、停滞期を迎えるが近年環境への負荷が小さい海洋自然エネルギー - 利用への期待が高まるに伴い、海洋温度差発電も再び注目され始めてきた。

佐賀大学では 2003 年新設された同大学付属の海洋エネルギー - 研究センタ - ⁶⁴⁾ を中心に同施設が所有する 30kW の海洋温度差発電装置を始め、関連する実験装置を用いて温度差発電装置に関する技術開発等の総合的な研究を進めている。また、同大学ではインドやナウル共和国等における実証プラントの建設に対して海洋温度差発電に関する技術供与を進めている。

高知県⁶⁵⁾やハワイ島⁶⁶⁾等多くの場所において、清浄な上に豊富な栄養分やミネラル等が多く含まれる深層水を取水して飲料、食料や工業用原材料に活用する研究が進んでいる。一方で、深層水を魚介類の養殖等に利用する陸上設置型の実証プラントも建設され稼働している。これらの施設では、現在深層水を取水する際の動力にディー - ゼル発電機等を用いている。一方で、表層海水と取水した深層水との温度差を利用して温度差発電を行い、発電した電力を取水用の動力等に用いる構想⁶⁶⁾もあるが、現在のところではコスト面で成り立たないとの理由により温度差発電は行われていない。

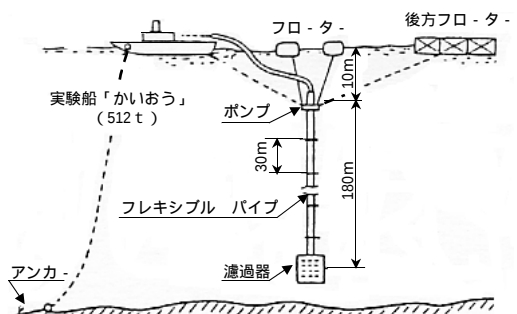
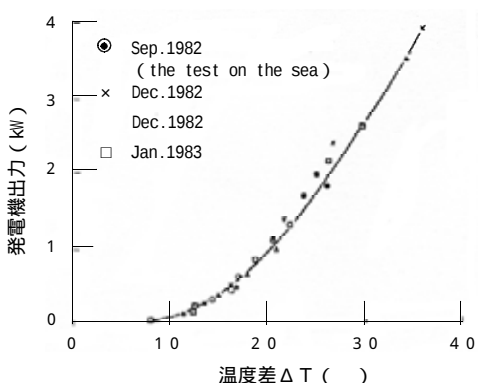
また、洋上に浮かべたバ - ジや船に搭載した洋上型温度差発電施設を用いて温度差発電を行うと共に取水した栄養豊富な深層水を海面に放出・散布することで、その海域における漁場の改良に利用する研究や実証実験が行われている。

(1) 洋上型温度差発電船「かいおう」⁶⁷⁾

長崎大学は 1982 年 9 月 2 日 ~ 14 日に島根県日御崎北東 38km の地点において洋上型温度差発電船の実証実験を実施している。同地点は、島根沖冷水と呼ばれる冷海水塊が強く接岸する海域である。実験時の主要な仕様および概念図を図-3.30 に示す。

【洋上型温度差発電船設備の主要目】

【実験実施主体】長崎大学	
【船舶の主要目】	
実験船名	かいおう
主要目	船長：50.2m、船幅：10.0m 喫水：4.6m、排水量：512ton
【搭載機器類の主要目とその性能】	
【冷海水取水ポンプ】	
揚水パイプ	6" × 210m、揚水量：60 m ³ /h 4" × 30 m、揚水量：35 m ³ /h
4" 水中ポンプ	水頭 8.5m、流量 1.2m ³ /min 2 基

【熱交換器（管群方式）】	
凝縮器	凝縮熱：203,444kcal/h (61 冷凍 ton 相当) 冷海水流量：67.8 m ³ /h
蒸発器	蒸発熱：212,154 kcal/h (64 冷凍 ton 相当) 温海水流量：70.718 m ³ /h
【タ - ビン・発電機】	
フロン タ - ビン	型式：スクリュ - 膨張式 容量：10kW 回転数：3,000 ~ 4,000rpm フロン流量：100 kg/min 仕様：220 V、19.8A
7.5 kVA 発電機	回転数：1,500 ~ 3,600rpm (max.4,000rpm)
 図-3.30 実験時の概念図	
【成果の抜粋】	
冷海水温度 2.3、温海水温度 24.4、冷海水量 45ton/h の条件下において、最大約 1.5kW の発電機出力を記録している。 実験の結果を図-3.31 に示す。なお、図中には学内での予備実験の結果をも併せて記述している。	
 図-3.31 温度差と発電機出力との関係	

(2) 洋上型海洋肥沃化装置「豊洋」¹⁵⁾

1989 年～1990 年にかけて通産省工業技術院電子技術総合研究所（当時）は、富山湾において洋上型

の海洋肥沃化装置「豊洋」を用いて水深 250m 付近の深海域から汲み上げた深層水を直接海面に放出・散布することでその海域の漁場を改善する人工湧昇実証実験を実施している。同時に搭載した温度差発電システムについても洋上試験を行っている。

【海洋肥沃化装置「豊洋」の主要目】

【実験実施主体】	
通産省工業技術院電子技術総合研究所	
【バ - ジの主要目】	
主要目	船長：25m、船幅：11m 喫水：2.5m 設置水深：300m
【取水装置の主要目】	
主要目	直径：φ 0.45m 喫水（深層水取水水深）：250m 深層水汲上量：26,000ton / 日 表層水取水量：52,000ton / 日

(3) 洋上型海洋肥沃化装置「拓海」

(社)マリノフォーラム 21 は、相模湾中央部に於いて洋上型海洋肥沃化装置「拓海」による人工湧昇の実証実験を 2003 年 5 月から開始し、2007 年度まで実施する予定である。この実験は水深 200 m の深層水を汲み上げ、表層水と混ぜ合わせて水深 20 m の有光層に密度流として放出するというのが特徴である。現在、拓海は大量の冷海水を汲み上げる動力としてディーゼル発電機を使用しているが、この実験の計画段階¹⁸⁾では温度差発電による電力で深層水を汲み上げる構想も示されていた。

(4) バ - ジ型温度差発電船「ミニオテック」と船型温度差発電船「OTEC-1」^{60)、61)、62)}

1979 年に米国のハワイ島においてバ - ジ方式の小規模な温度差発電実験（ミニオテック）を実施している。

【ミニオテックの主要目】

【バ - ジの主要目】	
主要目	船長：37m、船幅：10m、 排水量：268 ton
【取水装置の主要目】	
取水管	直径：φ 0.61 m 材質：ポリエチレン製 喫水（深層水取水水深）：655 m 深層水汲上量：75ton / h
動作流体	アンモニア
【成果の抜粋】	
53.6kW（動力等で消費した電力は 35.1kW）の発電に成功している。	

また、1980 年には同海域においてタンカ - を改造した温度差発電船を用いた実験（OTEC-1）を実施している。この取水方式は、表層温海水を船首から取水し、冷海水は船体中央部に設けた 3 本の取水管で取水している。

【OTEC-1の主要目】

【OTEC-1の概要】	
米海軍 T-2 タンカ - のChepachecを改造	
【取水装置の主要目】	
取水管	直径：φ 1.22m、長さ：640m 本数：3 基 材質：ポリエチレン製 喫水(深層水取水水深)：686m 深層水汲上量：15,480ton / h
動作流体	アンモニア
サイクル	クロ - ズド・サイクル
【実験の抜粋】	
発電機は搭載せずに蒸発器と凝縮器の性能、取水管の取り付け、生物付着、ごみの除去方法および海流の影響等の実験を実施している。	

(5) バ - ジ型温度差発電船「SAGAR SHAKTHI」の実証プラント²¹⁾

2003 年から佐賀大学の技術支援の下、インド政府はインド南東部 Tuticorin 沖 35km において、バ - ジ型の温度差発電船を用いて 1,000kW の実証プラント実験を計画している。

【温度差発電船の実証プラントの主要目】

【プラント船名】SAGAR SHAKTHI	
【プラント船の主要目】	
主要目	船長：70m、船幅：16m 高さ：約 4m
【取水装置の主要目】	
冷海水取水管	直径：φ 0.88 m 長さ：1,000m 温海水温度：29 冷海水の入口温度：7
【発電機装置の主要目】	
発電出力	1,000kW（正味出力 493kW）
ポンプ動力	温海水：192kW 冷海水：297kW 動作流体：18kW
【熱交換装置の主要目】	
蒸発温度	23.85
凝縮温度	14.14
総伝熱面積	蒸発器：3,924 m ² 凝縮器：3,610 m ²
プレ - ト枚数	蒸発器：872 枚

海水流量	凝縮器：900 枚
	温海水：7,560 ton / h
	冷海水：5,364 ton / h
【期待する成果の抜粋】	
冷・温海水の取水口での温度差 22 対して温度差発電を実施する計画である。	
このシステムでは、発電出力 1,000kW の約 50 % の正味出力を目指している。	

3.6 海洋自然エネルギーを用いた発電方式と化石燃料による発電方式との発電コストおよび環境負荷に及ぼす影響の比較

サンシャイン計画が発足した当初に実施された波浪発電実証実験船「海明」に対する発電コストの考え方は、海明で発電した電力の発電コストが当時離島において使用されていた小規模なディ - ゼル発電機の発電コストを下まわることを目指していた。

しかしながら、海洋自然エネルギーを用いた実用化または実用化段階にある大型の発電装置や施設に対して実施されている最近の発電コストの考え方では、「その発電コストが化石燃料等を用いた既存の発電方法で発電した場合の発電コストに対してどの程度まで近づけることが可能か」が求められている。

3.6.1 発電コストに対する比較例

「海明」の第一期実験では、小規模なディ - ゼル発電機による発電コストを約 100 円/kWh（当時の大規模発電における火力、水力および原子力発電の発電コストは約 10 円/kWh）に対して当面の目標を 50 円/kWh に設定している。¹⁸⁾

沿岸センタ - に設けられた研究会の調査では、空気タ - ビン方式の波力発電装置を離島の防波堤に設置し、商用電力の補助電力（商用電力の 2 ～ 3 割を受け持ち、24 時間稼働の場合）として用いた場合、25 ～ 40 円/kWh と試算している。⁴⁰⁾

ノルウェ - では、民間の 2 つの企業が見積もっている波力発電の発電コストは、発電方式や設置場所により異なるが、海象条件が良ければ 500kW 級の発電施設で 14 円/kWh と試算している。⁴⁰⁾

インド政府が 2003 年から実証実験を開始する予定の洋上型 1,000kW 級温度差発電に対して試算した発電コストは 19.8 円/kWh（1 ドル 120 円で換算）としている。また、100MW 級に大型化すると発電コストは 7.5 円/kWh にまで下がり、大型化することの有利性を示している。²¹⁾

英国では、2000 年にスコットランドのアイレ - 島で陸上設置型の 500kW 級波浪発電システム「LIMPET」⁴⁶⁾を建設している。このシステムにおける発電コストは不明であるが商用ベ - スにのり、公共電力供給業者と 15 年間の販売契約を結んでい

る。また、北デ - ボン州沿岸では海流発電⁵⁹⁾を計画しており、2005 年には英国全土に商用ベ - スでの電力が供給できるとの報道がなされている。

海洋自然エネルギー - を利用した発電方式と化石燃料等を用いた発電方式との発電コストの比較は、自然環境、設置場所、対象とする発電規模や積算対象が実績値か試算値か等により算出条件が異なるため直接には比較できないが、引用した論文に示された条件で算定された発電コストを単純に比較した結果を図-3.32 に示す。なお、塗りつぶした記号が海洋自然エネルギー - を利用した発電方式であり、白抜きの記号が既存の発電方式を示す。また、海洋自然エネルギー - を利用した発電方式の発電コストの算出については、その多くが量産体制が整った場合を想定している。

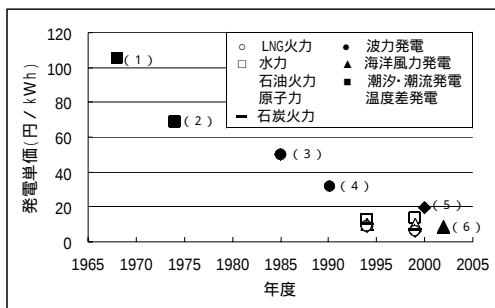


図-3.32 発電方式別の発電コストの比較

但し、図中に記号で示した発電単価は、各論文で示された発電単価をそのまま記入したものであり、算出条件等が異なるために直接比較することはできない。

【発電コスト算出条件等の主要目（抜粋）】

【図中記号番号】：(1)¹¹⁾、58)

【発電方式】：潮汐発電方式

【発電出力】：24 万 kW

【算出条件等】：1968 年度の実績値

潮位：最大潮位 13.5 m、平均潮位 8.5 m

平均流量：5,000 m³/秒

最大貯水量：1 億 84 万 m³

ダム高さ：25m、ダム長さ：750m

10MW の発電機：24 基

【発電コスト】：年間発生電力量と建設費との比で表した場合 105 円/kWh

【図中記号番号】：(2)¹²⁾

【発電方式】：プロペラ係留型海流発電方式

【発電出力】：5,000kW

【算出条件等】：1974 年度米国での試算値

計算条件：

発電年負荷率 25 %（最大 4knot、平均 2knot）

金利 10 %、耐用年数 10 年

為替レ - ト：1 ドル 330 円

【発電コスト】：69 円/kWh

【図中記号番号】：(3)¹⁸⁾

【発電対象】：実海域実験船「海明、期実験」

【発電方式】：船型アテニユエ - タ - 式波浪発電方式

【算出条件等】：1983 年の実海域実験目標試算値

【発電コスト】：50 円/kWh

【図中記号番号】：(4)⁸⁾

【発電方式】：固定式タ - ミネ - タ式波浪発電方式

【発電出力】：10MW 級

【算出条件等】：土木学会エネルギー土木委員会「波エネルギー利用技術の現状と将来展望」1990 年の試算値

【発電コスト】：17.3 ~ 33.1 円/kWh

【図中記号番号】：(5)²¹⁾

【発電方式】：温度差発電方式

【発電出力】：1,000kW

【算出条件等】：インド政府による 2000 年の試算値
為替レ - ト：1 ドル 120 円

【発電コスト】：19.8 円/kWh

【図中記号番号】：(6)⁶⁸⁾

【発電方式】：洋上風力発電方式

【発電出力】：52,560MW・h

【算出条件等】：2003 年の試算値

【発電コスト】：7.58 円/kWh（送電設備を除く）

【発電方式】：白抜きの印は、既存の発電方式を示す。

【算出条件等】：1994 年版および 1999 年版の試算値

【発電コスト】：文献 69 参照

3.6.2 環境負荷に対する比較例

再生可能な自然エネルギー - を利用する最も重要な点は、化石燃料に対して環境に及ぼす負荷が少ないことの優位性にある。一般にこの優位性を比較する指標として、炭素または二酸化炭素の排出量値が用いられる。発電方式別に、炭素の排出量を比較したものを表-3.17 に示す。

表-3.17 発電方式別炭素排出量⁷⁰⁾

発電方式	燃料分 (g-c/kWh)	建設・運用分 (g-c/kWh)	総炭素排出量 (g-c/kWh)
石炭火力	246	24	270
石油火力	188	12	200
LNG 火力	138	40	178
原子力	0	6	6
水力	0	5	5
太陽光	0	22	22
風力	0	10	10
波力	0	25	25

ここで、表中の単位(g-c/kWh)は、各発電方式において 1kW の電力を 1 時間供給したときの炭素(C)の排出量を g 単位で表している。

環境影響を評価する場合、ある発電方式で排出する二酸化炭素等の排出量が環境に対してどの程度の負荷を及ぼすかを評価する統一した基準や評価方法が必要となる。

現在、二酸化炭素等の排出に関して環境評価を行う算定方法としては、ライフサイクルアセスメント（以後、LCA と称す）が一般的である。LCA は、「原材料の調達から設計・製造、使用、リサイクルそして最終的な廃棄処分までの間に、製品が使用する資源やエネルギーと製品が排出する環境負荷とを定量的に推定・評価し、更に製品の潜在的な環境影響を評価する手法」⁷¹⁾と定義された評価手法であり、国際標準規格（以後、ISO と称す）の場で ISO14040 シリ - ズとして規格化が進んでいる。但し、LCA は環境影響を評価する手法の一つであるために、使用目的や調査範囲の設定および使用するデータ等の違いにより異なった結果が導き出される場合もある。

沖合浮体式波力装置マイティ - ホエ - ルに対して実施された LCA の調査結果を図-3.33 に示す。

なお、図は電力中央研究所研究報告書⁷²⁾で求めた他の発電方式による炭素の排出量とを比較した結果で示してある。図中の発電方式の種類 T がマイ

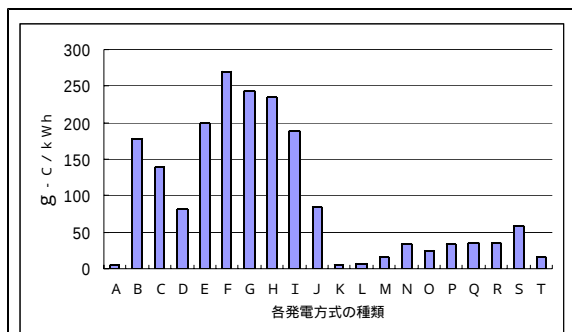


図-3.33 沖合浮体式波力装置マイティ - ホエ - ルで実施された LCA の調査結果^{72), 73)}

【図中記号の説明】

記号	発電システム名	記号	発電システム名
A	原子力（ガス拡散法）	K	水力
B	LNG火力	L	地熱（55MW）
C	LNG複合発電	M	太陽光（家庭用）
D	CO ₂ 回収（LNG火力）	N	太陽光（電気事業用）
E	石油火力	O	波力（海上式）
F	石炭火力	P	風力
G	超々臨界圧発電	Q	潮流
H	石炭ガス化複合発電	R	海洋温度差
I	MCF C 複合発電	S	太陽熱（タワ - 式）
J	CO ₂ 回収（石炭火力）	T	マイティ - ホエ - ル

ィ - ホエ - ルの LCA 調査結果である。

この実用機のライフサイクルの炭素の排出量は、約 15.6g-C/kWh になるとの報告⁷³⁾がなされている。

同様に LCA の調査方法を用いて、各発電方式別の二酸化炭素の排出量を調査した別の結果例を図-3.34 に示す。図中の縦軸は、二酸化炭素の排出原単位を示す。

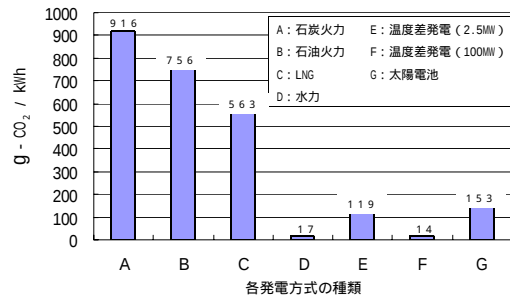


図-3.34 LCA の調査方法を用いた各発電方式の二酸化炭素の排出量結果²¹⁾

これらの図から、海洋自然エネルギーを用いた発電方法は化石燃料を主体とした発電方式に比べて大略 1/10 程度までに炭素（二酸化炭素）の排出量が抑えられている。この結果、炭素（二酸化炭素）の排出量に対しては環境に及ぼす影響が少ない発電方式であると言える。

【参考文献および参照Webサイト】

- 1) 能沢：新しい海洋科学、成山堂書店
- 2) NEDO：海外レポ - ト特別号（新エネルギー - 海外情報 2000-2 号、調査・分析・予測）、太陽・風力・バイオマスエネルギーの導入条件調査、第 1 章、1999-2000 年度
<http://www.nedo.go.jp/kankobutsu/foreigninfo/html002/>
- 3) 新エネルギー - 賦存量の推定：掛川市、Home Page
<http://www.city.kakegawa.shizuoka.jp/newevsn/ev33.pdf>
- 4) 日本造船学会海洋工学委員会性能分科会海洋エネルギー - パネル：「海洋エネルギー - 利用」特集 1. 波浪発電、日本造船学会誌 第 637 号 別冊、pp2-10、1982. 7
- 5) 前田、木下：波浪発電、生産技術研究、第 33 巻 11 号 pp717、1979.11
- 6) 田端、柳生、他：日本における波のエネルギー - 港湾技研資料、No.364 pp 1、1980.12
- 7) 合田：沿岸波浪の統計的性質、第 1 回波浪エネルギー - 利用シンポジウム、pp19-31、1984.11
- 8) 廣瀬：波力発電の現状、（財）電力中央研究所

- 識者会議推進室、
<http://www.glocom.ac.jp/eco/esena/resource/hirose/>
- 9) NEDO 資料 海外レポ - ト 819 : 【特集】洋上風力、新エネルギー - 産業技術総合開発機構、
<http://www.nedo.go.jp/kankobutsu/report/819/819-1.html>
- 10) 長井、牛山、上野：日本の海岸線における風況と発電量、第 20 回記念 国際風力エネルギー利用シンポジウム、1998
- 11) 佐々木、奈須、杉浦、他：海洋開発事典、東洋経済新報社、pp284-290、1971. 7
- 12) 日本造船学会海洋工学委員会性能分科会 海洋エネルギー - パネル：「海洋エネルギー - 利用」特集 2. 海流・潮汐発電、日本造船学会誌 第 637 号別冊、pp52-62、1982. 7
- 13) Welcome to マルト汽船、Home Page
<http://www1.newweb.ne.jp/wb/maruto/umi/kairyuu.htm>
- 14) 学研学習事典デ - タベ - ス、
<http://db.gakken.co.jp/jiten/ka/121450.htm>
- 15) 高橋：海にねむる資源が地球を救う、あすなる書房、1991
- 16) 清水、他：自然エネルギー - 利用学（改訂版）、パワ - 社、pp208
- 17) 通産省情報：
<http://www.ecology.or.jp/member5/agency/9805-3.html>
- 18) 海洋科学技術センタ - ：波力発電装置「海明」第 期計画研究報告書、1987.3
- 19) Welcome to COP3 Home Page：地球温暖化防止京都会議
<http://www.env.go.jp/earth/cop3/index.html>
- 20) 鷺尾：沖合浮体式波浪エネルギー - 利用装置の設計手法および性能評価に関する研究、日本大学博士論文、平成 13 年
- 21) 上原、池上：海洋温度差発電の実際と展開、佐賀大学理工学部付属海洋温度差エネルギー - 実験施設、pp -5-1 ~ -5-6
- 22) 上原：エネルギー - 開発と海洋温度差発電、第14回海洋工学シンポジウム、日本造船学会、pp25-31、1998.7
- 23) 井上、田中、木下、高木、他：非係留超大型浮体による外洋利用大規模風力発電システムの検討、第 18 回海洋工学シンポジウム、日本造船学会、2005.1
- 24) 中條、太田、西村、他：浮体式洋上風力発電の基本コンセプトの確立、第18回海洋工学シンポジウム、日本造船学会、2005.1
- 25) 神戸新聞：日本初の潮流発電式ブイ、五管が明石海峡に設置、2002.11
<http://www.kobe-np.co.jp/kobenews/sougou/021130ke85620.html>
- 26) 足立：足立隼夫が選んだ世界のニュー - ス、潮流発電で明石海峡に「浮かぶ電灯」登場、2003.9
<http://my.reset.jp/~adachihayao/021130D.htm>
- 27) 平本：潮流発電装置に関する研究、海上保安試験センタ - 技術第 2 課
<http://www.kaiho.mlit.go.jp/syokukai/soshiki/soumu/seika/h12/05.pdf>
- 28) 山本：潮流発電装置の実用化に関する研究、海上保安試験センタ - 技術第 2 課
- 29) 酒井：波浪の予知 風波の発生、うねりの伝搬、海岸工学入門、森北出版、第 2 章、pp.19-26
<http://www.suiri.civil.yamaguchi-u.ac.jp/kaigan/coast4.ppt>
- 30) 渡部、近藤、山岸、工藤：振子式波力発電プラントの設計、第 3 回波浪エネルギー - 利用シンポジウム、pp3-13、1991.1
- 31) (財) 日本造船振興財団海洋環境技術研究所：波力発電「海陽」パンフレット
- 32) 宮江、手繰：集波堤による波浪エネルギー - の位置エネルギー - への変換実験、第 1 回波浪エネルギー - 利用シンポジウム、pp145-154、1984.11
- 33) 鹿籠、中田、村田、他：波力発電防波堤のエネルギー - 変換装置の設計 - 酒田港波力発電実証実験 - 、第 3 回波浪エネルギー - 利用シンポジウム、pp181-193、1991.1
- 34) 中田、鈴木、高橋、他：波力発電防波堤ケ - ソンの設計と観測結果 - 酒田港波力発電実証実験 - 、第 3 回波浪エネルギー - 利用シンポジウム、pp161-170、1991.1
- 35) 中田、村田、大根田、他：波力発電防波堤による発電運転結果 - 酒田港波力発電実証実験 - 、第 3 回波浪エネルギー - 利用シンポジウム、pp207-218、1991.1
- 36) (財) エンジニアリング振興協会：固定式波力発電システムの実証試験に関する報告書 - 消波工型定圧化タンク方式、ENAA 1986-DP1、昭和 62 年 9 月
- 37) (財) エンジニアリング振興協会：固定式波力発電システムの実証試験に関する報告書、ENAA、1987-DP1、昭和 63 年 8 月
- 38) 渡部、近藤、谷野：沿岸固定形振子式波力発電装置の特性、第1回波浪エネルギー - 利用シンポジウム、pp387-396、1984.11
- 39) World Energy Council：SURVEY OF ENERGY RESOURCES WAVE ENERGY
<http://www.worldenergy.org/wec-geis/publications/reports/ser/wave/wave.asp>
- 40) 合田：クロ - ズアップテクノロジー - 「波エネルギー - 」 - 日本の経験と展望 - 、
<http://www.cdit.or.jp/magazine/vol1/p02.html>

- 41) 海上保安レポート 2003 海の安全のために：海上保安庁 Home Page、
<http://www.kaiho.mlit.go.jp/info/books/report2003/topics03/02.html>
- 42) 中村、勝目、矢作、他：航路標識灯浮標用波力発電装置の実海域における発電量の現状、第3回波浪エネルギー・利用シンポジウム、pp305-313、1991.1
- 43) 呉海上保安部：灯浮標に近寄ったら Home Page
http://www.kaiho.mlit.go.jp/06kanku/kure/i_umimaru_school/i-3_naibu/i_naibu6.htm
- 44) 日本の航路標識 18.海上保安庁所管航路標識基数：燈光会HP
http://www.mmjp.or.jp/tokokai/je_aids/j/a_koro18.html
- 45) 平成11年度版海上保安白書第8章航路標識業務への取組：海上保安庁 Home Page
<http://www.kaiho.mlit.go.jp/info/books/h11haku/2-8.htm>
- 46) WEEKLY トピックス - :
<http://www.ecology.or.jp/w-topics/wtp13-0012.html>
- 47) F.W.Lanchester, Contribution to the Theory of Propulsion and the Screw Propeller, Transactions of the Institution of Naval Architects, Vol.LVII, Mar.1915
- 48) A.Betz, Das Maximum der theoretisch moeglichen Ausnuetzung des Windes durch Windmotoren, Zeitschrift fuer das gesamte Turbinwesen, Heft 20, Sept. 1920
- 49) (財)沿岸開発技術研究センター：洋上風力発電の技術マニュアル(2001年度版) - 基礎工法に重点を置いて -、2002.6
- 50) 日本機械工業連合会、日本海洋開発産業協会：海洋資源・エネルギーを複合的に活用する沖合洋上風力発電等システムの開発調査研究報告書、2002.3
- 51) 大川、矢後、宮島、他：浮体式風力発電による輸送代替燃料創出システムの研究：第3回洋上風力発電フォーラム、海上技術安全研究所、2006.4
- 52) A. R. Henderson, R. Leutz, T. Fujii, Potential for Floating Offshore Wind Energy in Japanese Waters, Proceedings of The Twelfth (2002) International Offshore and Polar Engineering Conference, May, 2002、等
- 53) 植弘：セイリング型風力発電による水素製造に関する研究：第3回洋上風力発電フォーラム、海上技術安全研究所、2006.4
- 54) 北海道港湾・海岸研究会：海洋エネルギー - 利用技術、調査研究報告第1号、pp58-64、1983.10
- 55) 海と旅：潮汐、潮流、海流発電、
<http://members.jcom.home.ne.jp/umi-to-tabi/step4.html>
- 56) 東奥日報：Web 東奥・ニュース 津軽海峡を利用し海流発電開発へ、2002.9
http://www.toonippo.co.jp/news_too/nto2002/0926/nto0926_12.html
- 57) 編集委員会：潮汐発電・潮流発電と海流発電(「海洋における自然エネルギー - と船舶での新エネルギー - の適用」特集)、日本造船学会誌、No.877、pp12、2004.1
- 58) 稼動中の潮汐発電所の例：ランス潮汐発電所、
<http://taro.t.u-tokyo.ac.jp/alumni/inoue/TiedGeneration/ExaRance.htm>
- 59) Holistically Ours：海流発電、
<http://www.purnama.gr.jp/holistic/news/kankyo/energy/energy08.html>
- 60) 大楠：海洋温度差発電、日本造船学会誌、pp359-362、第637号、1982.7
- 61) 新井：海洋温度差発電、日本造船学会誌、pp363-367、第637号、1982.7
- 62) 梶川：海洋温度差エネルギー - 利用技術と将来性、エネルギー・資源、エネルギー・資源研究会、pp64-70、Vol.7、No.6、1986.11
- 63) (財)通産産業調査会：新エネルギー - 便覧平成10年版 資源エネルギー - 庁(編)、pp71、1999.3
- 64) 佐賀大学海洋エネルギー - 研究センタ - : IOESパンフレット
- 65) 高知県海洋深層水研究所 Home Page :
<http://www.pref.kochi.jp/~sangi/shinsou/>
- 66) Hawaiian Spa products. LLC. Home Page : ハワイ島コナの海洋深層水 / 水の役割、
<http://www.hawaiianspaproducts.com/history.htm>
- 67) 栗須：海洋温度差発電に関するフィールド実験 エネルギー・資源、pp71-74、Vol.7、No.6、1986.11
- 68) 矢後、大川：浮体式風力発電システムに関する基礎的研究、第3回海上技術安全研究所研究発表講演集、pp107-110、2003.6
- 69) 資源エネルギー庁：原子力発電の経済性
<http://www.enecho.meti.go.jp/e-ene/handbook/qa/010000/010800/010801/index.html>
- 70) 風力エネルギー - :
http://members.at.infoseek.co.jp/s_kawada/wind.html
- 71) LCA 実務入門編集委員会：LCA 実務入門、丸善
- 72) 電力中央研究所報告書：資料番号 Y94009
- 73) 大澤、宮崎、緒方、他：沖合浮体式波力装置「マイティホエール」のLCAに関する検討、第17回海洋工学シンポジウム、日本造船学会、pp.203-206、2003.7

4. 海洋資源（海水溶存金属・海底鉱物資源編）

4.1 海水中に溶存する希少金属

海水中には、日本ではほとんど産出しない希少金属であるリチウムやウラン等が海水 1ton あたり数 mg 程度の希薄な濃度で溶存している。海水中に溶存している希少金属の一覧を表-4.1 に示す。

表-4.1 海水中に溶存する希少金属の一覧¹⁾

希少金属名	海水中の含有率 (ppm)	海水中の推定全量 (億 ton)
ストロンチウム	8.0	109,600
リチウム	0.17	2,330
リン	0.07	960
バリウム	0.03	410
イリジウム	0.02	270
モリブデン	0.01	140
ウラン	0.003	40
バナジウム	0.002	30
チタン	0.001	10

4.1.1 海水中溶存リチウム・ウラン等希少金属の回収に向けての研究開発

(1) 海水中溶存リチウム

海水中に溶存している希少金属を回収する技術の研究開発は、1975 年度に通商産業省（当時）において「海水希少資源回収システム技術開発調査」を立ち上げ開始された。産業技術総合研究所四国センターでは、平成 10 年度からリチウム回収用吸着剤の開発および回収システムの開発²⁾を実施しており、現在では吸着剤 1g 当たりリチウム約 32mg の吸着性能を有する高性能リチウム吸着剤を開発している。また、月産 100kg の高性能リチウム吸着剤の大量造粒技術をも確立し、実用化に向けての研究が進められている。

広島大学では、タンク内の海水を連続して交換することで海水中に溶存するリチウムを効率よく吸着剤に吸着させて採取するシステム³⁾の研究開発を進めている。このシステムでは、バ - ジ船に設けた二重構造のタンクに粒状吸着剤を積層し、その吸着剤の隙間にタンク底部から流入させた海水を透過させた後にタンク上部からポンプにて船外に排出する方式を採用している。このバ - ジ船（長さ 180m、幅 40m、深さ 12m）を用いたリチウムの吸着コストは、年間稼働日数が 300 日、吸着サイクルが 20 日および設備償却年数を 15 年とした場合、3,852 円/kg になると算出している。

実証実験^{4) 5)}は、2000 年に小型模型（長さ 0.5m、幅 4.5 m、深さ 3.5m）を用いた吸着実験を実施し、30 日間吸着させて 2kg のリチウム採取を目指した。

2005 年にはパイロットプラント（浮体長さ 50m、

幅 2 m、深さ 2m 吸着床タンク長さ 50m、幅 4 m、深さ 2m）を造り、粒状吸着剤 100ton を用いて 30 日で 1ton の吸着を 10 回繰り返して年間（300 日稼働）で 10ton のリチウムの回収を目指している。

2010 年には、このシステムを実用化するための実証実験計画が示されていたが、現段階でその計画が進められている動きはない。

2003、2004 年度に経済産業省の地域コンソーシアム事業として、民間と大学および産総研からなる「海水リチウム採取の実用化技術の研究開発」を立ち上げてパイロットプラントを製作して運転させた結果、採取したリチウムから高純度無水塩化リチウムとして 400g 生産されるまでに至っている。現在、火力発電所に設置されたパイロットプラントは撤去、廃棄されているが、参加したメンバーは海水リチウム採取の事業化をめざして補完研究委員会を組織して活動を継続している。

海技研では、紀伊水道南方沖約 100km のところを流れる黒潮の中に海水中溶存リチウム採取装置を設置してリチウムを回収する「海洋エネルギーを利用した浮体式海水中リチウム採取システムの開発」⁶⁾を提案し、このシステムに対する概念設計、浮体および係留部等の安全性評価に必要な模型水槽実験や、リチウム回収機構部の回収性能実験およびシステムの経済性評価等を実施した。システムの概念図を図-4.1 に示す。

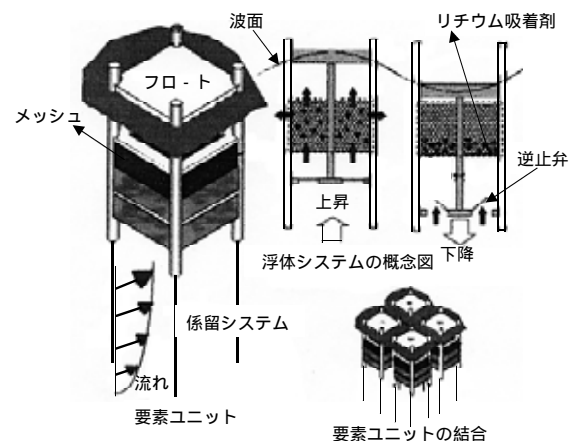


図-4.1 海技研で提案したリチウム採取システムの概念図

システムの特徴は、図-4.1 に示すように波の上下動を利用してフロート部を上下運動させることでピストンシリンダ - の逆止弁が開閉し、海水が吸着剤積層部に流れ込み、吸着剤を攪拌して強制的に流動床状態を造り出している点にある。強制的に攪拌させることで、リチウムを吸着させる吸着剤の吸着効率を高める工夫がなされている。

最小基本浮体ユニット 1 基あたり約 300ton の吸着剤が搭載できる本システムを用いたリチウムの回収コストを算出した結果を、表-4.2 に示す。ここでは、標準ケース（現在の技術でほぼ実現可能）と将来ケース（今後の技術開発により達成可能と予測できるレベル）とに分けて評価している。

コスト評価の結果を見ると、標準ケースの場合で炭酸リチウムのコストは 1,980 円/kg となる。

表-4.2 経済性の検討結果

【標準ケース】	
リチウム採取浮体基数	10 基
吸着日数	10 日、年間サイクル数 30 回
採取可能量	吸着剤吸着率 12.8mg/g とした場合、1,290ton/年
年間総コスト	84.3 億円/年
炭酸リチウムコスト	1,980 円/kg（現在の炭酸リチウム単価は約 300 円/kg）
【将来ケース】	
リチウム採取浮体基数	100 基
吸着日数	10 日、年間サイクル数 30 回
採取可能量	吸着剤吸着率 26.3mg/g とした場合、2.65 万 ton/年
年間総コスト	約 630 億円/年
炭酸リチウムコスト	約 720 円/kg

この価格を現在輸入している炭酸リチウムの価格（約 300 円/kg）と比較すると 6 倍強高く、価格の面からは競争できない。また、吸着効率の高い吸着材の開発や、設備の大規模化等による生産効率の改善を想定した将来ケースの場合では、コストは約 720 円/kg にまで低減できると推算された。

一方、このシステムに対する水槽模型実験による安全性評価では、想定した水深が 1,000m の黒潮の中に設置する場合、今回の設計条件では厳しいとの結果が得られている。特に係留系の強度に問題があり、係留系の安全率を高める必要があることや、設置海域として気象・海象条件等がより緩やかな海域を選択する必要があることが指摘されている。

(2) 海水中溶存ウラン

資源エネルギー庁が、金属鉱業事業団（当時）に委託して 1975 年～1987 年まで実施した「海水ウラン回収システム技術確証調査研究」プロジェクトにおいて、海水中に溶存している海水ウランを回収する吸着剤の開発や回収方法およびモデルプラントの概念設計等の技術開発が行われた。

日本原子力研究所（当時）高崎研究所や電中研では、むつ関根浜沖合においてウランの吸着性能が良く製造コストの面で実用性が高いアミドキシム基をもつ高分子吸着材のアミドキシム不織布を用いた海

水中有用金属捕集吸着材の吸着性能に対する実海域試験を実施している。

試験では、むつ関根浜沖合 7 km の位置に 350kg の布状捕集材が浸漬可能な施設（1 片が 8m の生け簀型浮体の下に 4m 角で、高さ 40cm の吸着床を係留することができる構造の試験装置）を平成 11 年度に設置して、布状およびモル状吸着材の性能を調べている。その結果、放射線グラフト重合により作成した捕集材を実海域に 3 年間浸漬させて 1kg のウランを採集できたことが報告されている。^{7）、8）}

2002 年からの 2 年間に渡る沖縄県恩納村海域におけるウランの捕集性能試験では、30 日間の浸漬で 1.5g/kg-ad（kg-ad は捕集材乾燥重量）の性能が得られている。^{9）、10）}

【放射線グラフト重合法^{11）}】

【放射線グラフト重合法を用いた捕集材】	
【概要】	繊維状素材に電子線を照射することで、反応を活性化させる種を表面に生成させる。この種を接ぎ木したような状態（グラフト重合）で重ね合わせ、捕集機能を高めた捕集材である。 図-4.2 にその概要を示す。
図-4.2 グラフト重合の概要^{12）}	
【特徴】	平膜や繊維、織布、不織布等の既存の素材にその物理的特性を損なうことなく様々な性質を比較的容易に付与することができる。
【応用例】	イオン交換基や錯体形成機能の導入が可能である。 電池用隔膜の合成に成功している。 クリンルム用ケミカルフィルタの実用化に成功している。 海水から有用希少金属を捕集する捕集材の開発研究を行っている。 工業廃液から有害成分を除去する分離機能材料の開発研究を行っている。

4.2 海底メタンハイドレ - ト¹³⁾、¹⁴⁾、¹⁵⁾

4.2.1 メタンハイドレ - トの基本的特性

メタンハイドレ - トにおけるメタンの起源は、生物の発酵を起源とするガスと有機物の熱分解を起源とするガスとに大別される。前者はメタン分子に富み、後者はプロパン等メタン以外の炭化水素の比率が高いのが特徴である。

これらのガス分子が、低温高压の条件下で、水分子が作る三次元結晶構造（立体クラスタ - ）内の空隙（半径 0.39 ~ 0.47nm）に取り込まれたものをハイドレ - トと呼ぶ。一般にガス分子が取り込まれたものがガスハイドレ - ト（以後、GHと称す）であり、メタン分子が取り込まれたものがメタンハイドレ - ト（以後、MHと称す）である。模式図を図-4.3に示す。

また、ガスハイドレートは、内包されるガス分子の種類と大きさにより3種類の結晶構造（I型、II型およびH型）を構成することが知られている。

表-4.3 に I 型の構造を有する MH の理論的組成の概要を示す。

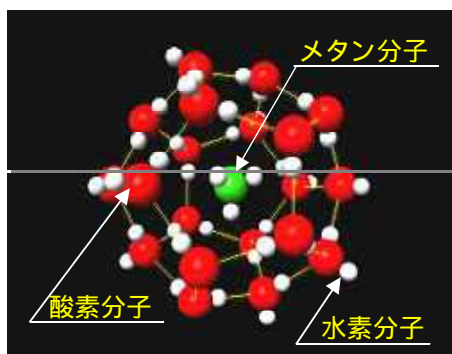


図-4.3 クラスタ - 構造正 1 2 面体模式図¹³⁾

表-4.3 I型構造を有するMHの理論的組成¹⁴⁾

【理論的組成】	単位格子に含まれる 46 個の水分子と 8 個のメタンガス分子からなる。（水分子 46 個とメタン分子 8 個との個数比 5.75 は水和数と呼ばれる。）
【分子構造式】	$\text{CH}_4 \cdot 5.75 \text{H}_2\text{O}$
【特性】	比重は 0.92 である。 MH 中に取り込まれる理論上のガス量は、標準状態に換算してハイドレ - ト自体の容積の約 170 倍である。実際のクラスタ - は、空隙占有率が 70 ~ 80 % である。そのために MH 1m^3 にはメタンガスが標準状態で $120 \sim 150\text{m}^3$ 程度含有していると推測される。

MH は、比較的低温・高压下において生成されるために自然界においても温度と圧力の条件さえ適合すれば安定した状態で存在している。

これらのハイドレ - トができる環境を圧力 - 温度の関係で図式化したハイドレ - トの相平衡図を図-4.4 に示す。

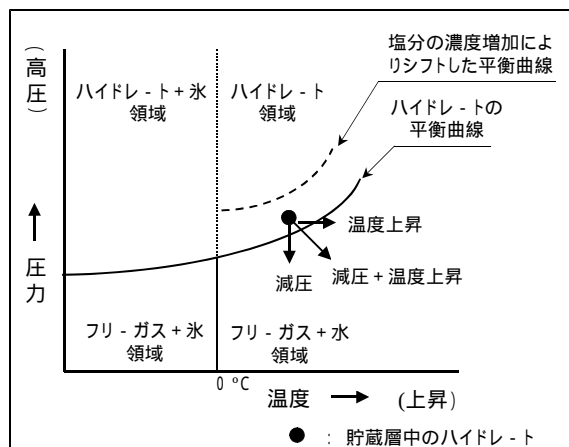


図-4.4 ハイドレ - トの相平衡図¹⁵⁾

【図中の注釈】

平衡曲線を境界として、上側の領域（ $\square$ ）はハイドレ - トが安定して存在する温度・圧力条件を示し、下側の領域（ $\square$ ）はフリ - ガスと水または氷が共存する温度・圧力条件を示す。

【特徴】

ハイドレ - トは温度および圧力の変化に従い、 $\sim$ の状態に変化する。
MH の安定条件はガス分子の種類、ガス組成および溶液の組成等により大きく異なる。
溶液中の塩分濃度が増加すると平衡は低温、高压側に移行する。

4.2.2 日本近海域におけるMHの賦存海域と探査

(1) MHの賦存海域と賦存量¹⁵⁾

MH は世界的に分布しているが、特に大陸縁辺部の海底堆積層と永久凍土地帯に集中している。

日本周辺では、北海道周辺の海域、東海沖から四国沖にかけての南海トラフおよび南西諸島海域においてMHの存在を示す探査結果が出ている。

日本の近海におけるMHの賦存海域（図中の黒く塗りつぶした箇所）を図-4.5 に示す。

日本の近海におけるMHの賦存量は、採取可能なガス量で約 6 兆 m^3 と試算され、1999 年度に日本で消費された天然ガス消費量の約 70 ~ 100 年分に相当すると考えられている。

(2) 日本近海におけるMHの探査計画

1995 年に実施された海底に賦存する GH の掘削調査（国際深海掘削計画：ODP）の顕著な成果等をふまえて、日本においてもMHの研究・開発のた

めの国家プロジェクトが開始された。¹⁶⁾

経済産業省は 1995 年度から MH に関する調査研究に着手し、1999 年 1 月に御前崎沖南海トラフにおいて MH の存在を確認している。

これらの試錐結果等から、MH 開発には中長期的な取り組みが必要であるとの考えに基づき、経済産業省資源エネルギー庁に MH 開発検討委員会が設置された。この報告書によると、第 1 段階として 2001 年度～2006 年度に日本近海域での物理探査および試錐による MH 賦存有望地域の選定と産出試験実施場所の確定を行うことが明記されている。

なお、最新の報告によると、第 1 段階は 2008 年まで延長の予定である。

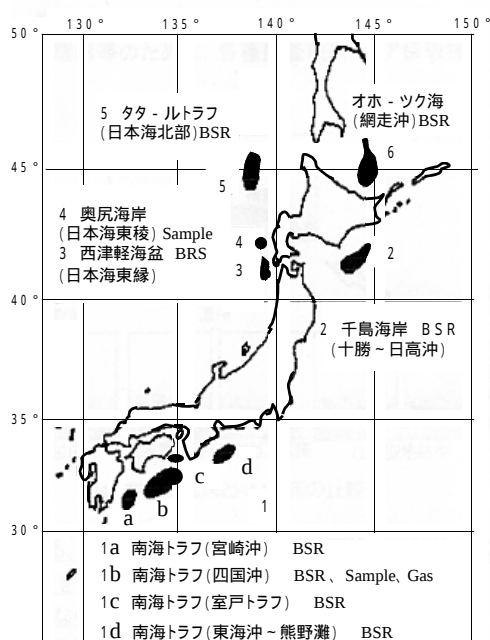


図-4.5 日本近海における MH の賦存海域¹⁵⁾

石油天然ガス・金属鉱物資源機構(以後、JOGMEC と称す)等では、1999 年 11 月～2000 年 2 月にかけて、「南海トラフ」の天竜川河口沖合 50km、水深 945m、掘削深度 3,300m 地点の 6 坑井に対して基礎試錐の掘削を行い反射法音波分析、ガンマ線、比抵抗および音波速度等を用いた調査により、MH を含む砂層の存在を確認した。

2003 年、2004 年に掘削した基礎試錐の地点は、南海トラフ「東海沖～熊野灘」において東海沖 7 ケ所、東海沖(遠州灘)2 ケ所、第二渥美海丘 4 ケ所および熊野灘 3 ケ所である。¹⁸⁾

第 2 段階は、第 1 段階の探査結果に基づき 2007 年度～2011 年度に日本近海域において海洋産出試験を実施して経済性評価や環境影響評価等を行い、最終の第 3 段階では 2012 年度～2016 年度に産業的産出準備や総合評価(経済性、環境影響等)を実施する計画が示されている。

また、この報告書に基づき JOGMEC、産業技術

総合研究所およびエンジニアリング振興協会を中心に「MH 21 研究コンソ-シアム」が組織され、資源量評価、生産手法および環境影響評価に関する研究開発を行っている。

4.2.3 海底 MH 資源開発に向けての研究開発¹⁵⁾

日本近海における MH の賦存量の探査と平行して(独)資源環境技術総合研究所(当時)では、MH の基礎的な物性の解明、採取の過程で固体から気体に変化し易い MH に対する採取方法の技術開発、採取に伴う事故回避の問題や海底生物・環境に及ぼす影響の問題等についての研究が行われてきた。

要素技術に対する主要な研究、開発の概要を次に示す。

MH を安全に採取するために必要な MH 固有の基礎的な物性や特性を解明する研究

MH の賦存量評価や賦存状況に対する推定精度の向上を図るための探査技術やコア採取技術の開発

MH 層の開発に適した掘削リグやライザ-掘削の坑井掘削システム技術の開発および集積したガスを海上の施設にまで揚げてくる装置や運用システム技術の開発

地層中の MH は固体の状態で存在するため、MH を地層中において分解し、ガスとして採取する必要がある。このための固体から気体への分解(化学変化、物理変化を伴う)を制御して目的にあった流量でガスを採取する技術の開発

地層中における MH 鉱床の圧力分布や鉱床周辺の熱供給等を明らかにし、分解したメタンガスや水が地層内をどのように流動して生産井に集積するかを解明する技術の開発

ガスを採取した後の空間に残った水により、滑り易くなった地層を安定に保つ技術の開発

MH の採取が深海底生物や環境に及ぼす影響を極力軽減する技術の開発

(1) MH の探査技術¹⁷⁾

MH の探査方法としては、反射法音波(地震波)探査が多く用いられている。この探査方法では、海面上から発した音波(地震波)が海中を伝わり、その一部は海底面で反射されるが、海底面下中にも伝搬していく。海底面下中に伝搬した音波は、物性の異なる地層境界面で違った反射を起こし海面に戻ってくる。この海底面下の伝搬探査記録から MH 層とフリ-ガス層の境界および鉱物相境界を示す反射面(海底疑似反射面(以後、Bottom Simulating Reflector: BSR と称す))を見つけることで MH の深度、分布および特性等を明らかにする手法である。

B S Rは、次のような一般的特徴を有している。
 海底面とほぼ平行の強反射面である
 埋没による温度・圧力の上昇に伴う続成鉱物相
 の境界面に比べて連続性が悪い
 位相反転を伴う

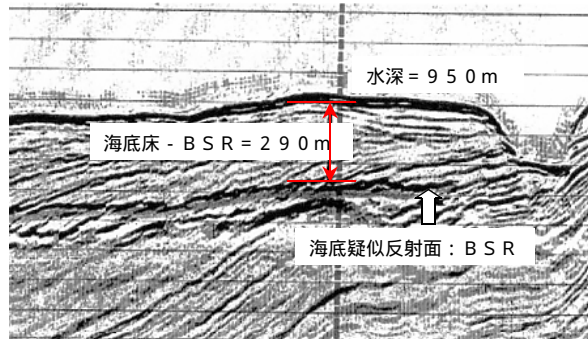


図-4.6 B S R 例¹⁷⁾

B S Rの例を図-4.6に示す。

MHの探査にはB S R探査法の他に、地質の物理的な性質を調べることでMHの賦存を探索する電磁探査法、重力探査法や地殻力学応答探査法および坑井間トモグラフィ探査法がある。また、海底からのメタンガス等の湧出や漏洩により変化した海底地形を観察するポックマ - ク探査法や、海中におけるガス濃度を検出する地化学的な手法であるブリュ - ム探査法がある。一方、直接試錐することでコアサンプルを採取してMHの賦存を調べる坑井を用いた探査法も用いられている。

(2) MHの掘削および採取方法の開発¹⁷⁾

日本近海に賦存するMHは、これまでの探査から水深が約1,000 m以深の地層中にある。

1) 掘削方法

MHを試錐調査するために必要なコアの採取や生産に向けて坑井(または坑道)を掘削するには、ライザ - 掘削方式や大深度掘削リグ方式による坑井掘削技術およびその運用システム等の開発が必要となる。一方で、これらの掘削技術や掘削装置の多くは海底油田やガス田からの原油やガスの採取方法と基本的には類似した技術であり、既存の技術や装置の利用や応用が考えられる。

2) MHの採取手法

基本的には、開発対象鉱区まで坑井(または坑道)を掘削してそこで採掘、集積した後に坑井(または坑道)を通して地上に回収する従来型の化石燃料資源(石炭鉱床、原油・天然ガス等)の開発と同じ手法が用いられる。しかしながら、MHは地層中に固体の状態で存在しているので、MHを生産する場合には何らかの方法でガス化して採取する手法が必要となる。MHの採取方法として考えられている採掘

方法には、安定した状態でMH層に賦存しているMHの圧力・温度条件を強制的に変えることでMHの分解を促進・ガス化して生産する減圧法や加温水(水蒸気)圧入法、およびMH層に分解促進剤(再生抑制剤)を圧入してMHの分解を促進・生産するインヒビタ圧入法がある。

また、MH層周辺の地層に対して人為的に亀裂や変化を起こすことで生産する坑井刺激法や水圧破砕(フラクチャリング)法も考えられている。

(3) MHの採掘鉱区における安全性確保と開発に伴う環境影響評価に関する研究開発¹⁷⁾

MHの基本特性、埋蔵状態や賦存している地層および海底環境には未知な部分が多く残されているため、MHを採掘する際の生産鉱区における安全性の確保は重要な課題である。

1) 事故の発生要因とその対策

開発に伴い低温流体が海表面に流出する事故、坑井周辺地層に起きた圧密が原因でセメントやケ - シング自体が損傷する事故、海底地盤の変動や沈下でMH層上部に生じた地層シ - ル機能の低下による事故およびMH層自体の崩壊による事故等が挙げられる。これらの事故を回避する方法としては、開発対象区におけるMH層および周辺の地層の性状特性等を試錐調査や各種のシミュレ - ションを用いた評価方法により、十分に把握する事前調査が必要である。

シミュレ - ションを用いた評価方法としては、メタンガス生産に伴う地盤沈下や地層の変形および不安定領域を評価するための地形変形を予測するシミュレ - タの開発や、室内試験や陸上産出試験における多角的な物理探査手法を用いた地層内流体挙動観測結果に基づき、海洋産出試験においても適用可能な地層内流動予測手法の開発などが行われている。

また、両者を組み合わせることで総合的に安全性を評価する手法の研究もなされている。

一方、運用に際しては安全な開發生産方法の構築および事故を想定した十分な安全対策や事故発生時の対処方法の確立、機器類の保守管理、要員に対する安全教育等の事故予防策が求められる。

2) 開発に伴う深海底環境への影響評価方法

MHが賦存する深海底は、長い年月を経て微妙なバランスの上に成り立った一つの閉鎖した環境を形成している。そのため、一度そのバランスが破壊されると現状の復帰は困難となり、深海底を生活の基盤としている深海底生物の生存に甚大な影響を与える危険性が考えられる。このことから深海底の開発を計画する場合、開発に伴う深海底の環境への影響を事前に評価する手法の確立が重要となる。

深海底環境の基礎デ - タを把握する事前調査には、底層水固有の特質(流向、流速、水温、溶存懸

濁物質組成)、海底地形・底質(堆積物組成、年代)や底生生物の属性(群集組成、環境耐性)についての海底環境調査および堆積物を巻き上げた場合等に生じる生物相に与える影響についての海底生態系調査がある。また、MH開発時のガスの漏洩や地層変形に係わる環境影響を常時モニタリングするために、大深度における長期間且つ広域を対象とした環境指標計測手法の開発が必要となる。そのための各種指標計測要素技術とそれらを統合した観測網の構築技術、深海曳航測器やROV等による環境指標マッピング等の技術開発や研究が進められている。

4.2.4 GHの基礎物性を利用した産業技術への応用¹⁴⁾

MHを始めとするGHの基礎物性に関する研究から明らかになったGH特有の性質を応用して工業や産業に利用するための研究開発が行われている。

GHの基礎物性と産業への利用例を表-4.4に示す。

表-4.4 GHが有する基礎物性と産業技術への応用例

基礎物性	応用例
【高いガス包蔵性】 ガス密度が約 $200\text{cm}^3/\text{cm}^3$	天然ガスの輸送貯蔵 天然ガスの備蓄等
【大きな生成・解離熱】 質量あたり水の約 1.3 倍の潜熱	冷熱利用システム 蓄熱システム等
【高い生成・解離差圧】 237 K で約 $350\text{kPa}/\text{K}$	アクチュエータ 温度差発電等
【高い反応選択性】 ガスによって相平衡が大きく変化する。	ガスの分離 / 回収 海水の淡水化等

また、MHの有する自己保存効果を利用して、メタンを主成分とする天然ガスをGH化することで天然ガスを貯蔵したり運搬したりする技術の開発¹⁴⁾、¹⁹⁾や、ハイドレートが海水に溶けにくい性質を利用して、CO₂をハイドレート化して深海に貯蔵する技術の開発²⁰⁾等の研究が行われている。

4.2.5 MHの採取、開発の経済性評価²¹⁾

南海トラフにおいて、MHの生産を行った場合の生産システムに対する技術的評価および経済性の試算評価(初期投資の増加を最小に抑えた生産方式4ケースについて経済性を評価)によると、次のような結論(要旨)が示されている。

いずれのケースにおいても経済的に採算をとるのは難しい。

生産コストの低減には坑井掘削コストの軽減が大きな要素を占めている。

しかしながら、現状では賦存量の調査が始まった段階にあり、MHの採取や開発に対する技術・経済性評価を行う場合において必要となる基礎データや賦存量データ等が不足している。また、今後の技術の進歩や世界経済の動向が不透明なこと等の不確定な要素も多く残されている。これらのことから、現時点において技術・経済性を正しく評価するのは難しい面もある。

4.3 海底鉱物資源

海底鉱物資源、特にマンガン団塊を採鉱する研究プロジェクトは昭和57年度～平成9年度まで資源環境技術総合研究所(当時)等が中心となって実施されたが商業化されるまでには至らなかった。

しかしながら、近年2009年5月を申請期限とする国連海洋法条約に基づく大陸棚画定作業に伴う大陸棚地質探査や、伊豆・小笠原の深海底等で多くの金属類を含む有望な熱水鉱床の存在が確認され出したこと、および南海トラフでのMHの賦存量試掘調査・探査が開始されたことで、海底鉱物資源開発に対する関心が再び高まってきた。

開発が期待される主要な海底鉱物資源には、マンガン団塊、コバルト・リッチ・クラスト(Cobalt-rich crust:以後、CRCと称す)および熱水鉱床(Seafloor massive sulfide:以後、SMSと称す)がある。

これらの海底鉱物資源は、次に示す観点から注目されている。

日本の排他的経済水域(以後、EEZと称す)を含む日本近海の大陸棚で大量に賦存し、日本固有の鉱物資源として採鉱できる可能性が高い銅、亜鉛や鉛等の金属(ベ-スメタル)やマンガン、コバルトやニッケル等の稀少金属(レアメタル)および金、銀等の貴金属を高品位で含有している

これらの鉱物資源は、陸上で産出される同鉱物と比較して一般に有用金属の含有量が高く、賦存量が非常に多い

4.3.1 太平洋における海底鉱物資源の分布域とその産状例^{22)、23)、24)、25)}

産業技術総合研究所によって纏められた西太平洋における海底鉱物資源の分布を図-4.7 に示す。

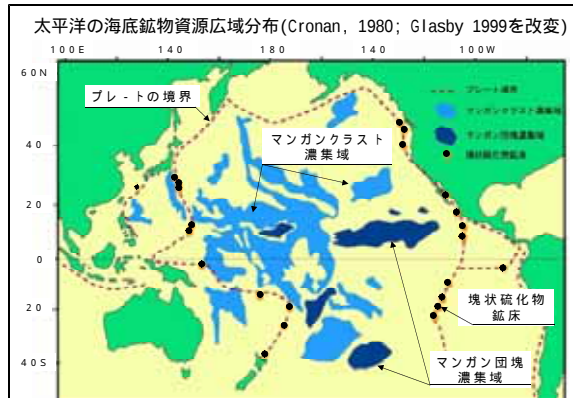


図-4.7 太平洋の海底鉱物資源広域分布^{22)、26)}

【図中の説明と産状】

図中の説明	産状
【濃い黒色面部分】 マンガン団塊は、日本近海では大東沖・沖大東海嶺および中部太平洋域（ハワイ南東方から東にかけての海域）に分布している。	主に水深 4,000 ~ 6,000m の深海底に団塊状の形状で分布している。 有用鉱物である銅、ニッケル、コバルト、マンガン等を含んでいる。 海底に分布する海底マンガン団塊を図-4.8 に示す。



図-4.8 海底に分布する海底マンガン団塊²⁵⁾

【写真の説明】

しんかい 2000 による潜航調査で、父島西方の水深 1,400m の海底で発見されたマンガン団塊

【薄い黒色面部分】 CRC は、日本近海では沖ノ鳥島や南鳥島周辺および南太平洋から太平洋中央部の海山の山頂や斜面に分布している。	水深 500 ~ 2,500m の海山の山頂や斜面を皮殻状に覆う形状で分布している。 マンガン団塊と同様に銅、ニッケルやコバルト等を含んでいる。コバルトの含有がマンガン団塊に比べて多いのが特徴で
--	--

	ある。
【プレ-ト境界上の黒丸】 SMS は、日本近海では沖縄トラフ、南方諸島海底火山および東太平洋海膨等で発見されている。	水深 2,000 ~ 3,000m のプレ-トの境界にある海底火山等に伴って湧水する熱水から沈殿した鉱物が厚さ数十 m の泥状または塊状の形状で海嶺部や背弧に堆積して分布、散在している。 有用な鉱物としては亜鉛、銅、鉛の他に、銀や金の含有量が多いのが特徴である。

4.3.2 海底鉱物資源開発に向けての探査・研究開発の経緯と最近の動向

第 1 次（1973 年）、第 2 次（1979 年）の石油危機を発端に、国が主体となってエネルギー・資源の自給体制を図る構想（1974 年のサンシャイン計画やマンガン団塊の開発計画等）の下で、1979 年 8 月に内閣総理大臣に対して「長期展望に立つ海洋開発の基本構想および推進方策について」の答申¹⁾がなされ、この答申等に基づいて海底鉱物資源の探査および研究開発が本格的に開始された。

(1) 海底鉱物資源開発の主要な経緯

1975 年度からハワイ南東海域のクラリオン・クリッパ-トン破裂帯（以後、CCFZ と称す）を有望な海底鉱物資源の鉱区と考え、地質探査船「白嶺丸」等による探査（延べ 421 万 km²）が開始された。

1985 年からは SMS の探査を、また 1987 年からは金属鉱業事業団等が中心となって CRC の探査を実施している。

2001 年 6 月には、国際海底機構（ISBA）と深海資源開発（株）との間においてハワイ南東沖 7.5 万 km² の鉱区に対してマンガン団塊の探査に関する契約を締結している。

表-4.5 に主要な海底鉱物資源開発の経緯とこれまでの動向についての一覧を示す。

(2) 大陸棚画定調査^{27)、28)、29)}

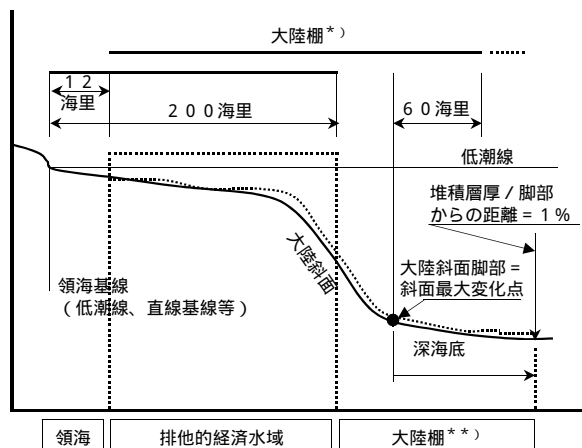
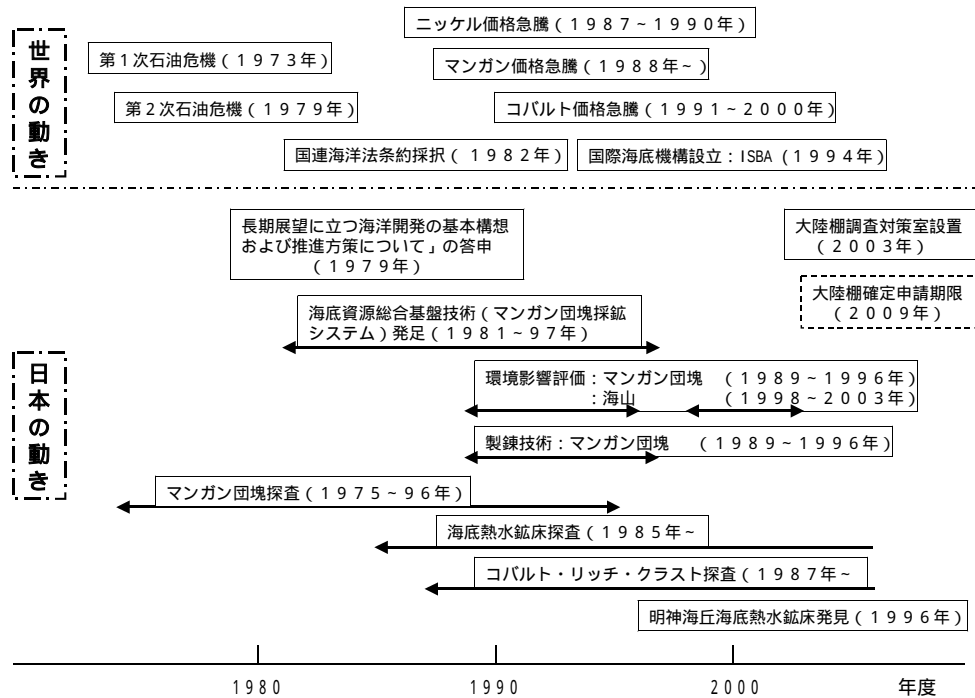
海洋法条約に基づく大陸棚を定義した概念図を、図-4.9 に示す。ここで、図中の大陸棚^{*}は、領海を越える海底およびその下までにある自国の大陸棚の概念を示している。また、大陸棚^{**}は、自国の大陸棚とするには大陸棚限界委員会により確定されることが必要となる箇所を示す。

海洋法条約に基づいた大陸棚とは、領海を越える海底およびその下であって、1) または 2) により定義されている。

1) 大陸縁辺部の外縁までとする。

なお、外縁線は大陸棚限界委員会の勧告に基づき次の何れかにより決定することが求められている。

表-4.5 海底鉱物資源開発の経緯と動向

図-4.9 海洋法条約に基づく大陸棚の定義²⁹⁾

外縁線は堆積岩の厚さが大陸斜面の脚部までの最短距離の1%以上であるような点のうち最も外側の点まで

大陸斜面の脚部から60海里を越えない点まで
但し、海嶺(海底海嶺、海洋海嶺)最大幅(2,500m等深線から100海里、または350海里まで)に関する制限がある。

2) 外縁が領海基線から200海里まで延びていない場合には、200海里までとする。

最近の重要な動向の一つに、大陸棚画定調査がある。大陸棚画定調査とは、海洋法条約に基づき国連の下に設けられた大陸棚限界委員会に対して、2009

年5月までに大陸棚の限界が自国の領海の基線から200海里を越えて延びていることを科学的、技術的に証明して申請する作業である。この申請が認められた場合、自国の大陸棚として資源等の探査や開発を行う権利が与えられる。日本の場合、その範囲は国土の約1.7倍に相当し、そこには新たに排他的な資源等の探査や開発を行う経済上の権利が発生する可能性がある。

日本政府は、2002年6月内閣に「大陸棚調査に関する関係省庁連絡会議」を、また2003年12月には「大陸棚調査対策室」を設置してこの大陸棚画定調査に取り組んでいる。海上保安庁では、大陸棚画定調査に必要な海底調査データの収集に関連した大規模な大陸棚調査²⁸⁾を実施している。また、石油天然ガス・金属鉱物資源機構により、平成10年度より8年計画で深海底鉱物資源探査船「第2白嶺丸」を用いて大陸棚延長の可能性のある海域における石油・天然ガスおよび鉱物資源に対する大水深域での基礎探査や調査^{30)、31)}が実施されている。この調査では、物理探査船を用いた二次元マルチチャンネル地震探査による海底上部の堆積構造を調べる地質構造調査や、ボ・リングマシン(以後、BMSと称す)を用いた海山および海底の試料採取・分析により資源量を評価する層序区分調査を実施している。

これまでの成果としては、次に示すような資源量評価や大陸棚画定の提出資料に必要なデータの蓄積などがある。

平成14年度までに測線長約24,000kmに渡る海

上からの物理探査の実施および BMS を用いた鉱物採取により約 40 点等の試料を採取
九州 - パラオ海嶺沿いでは安山岩、玄武岩や流紋岩質軽石等の分布を、沖大東島南西方海域や小笠原諸島東方海域では安山岩、玄武岩を確認
九州 - パラオ海嶺の南部、南大東島南西方海域では初の岩石を採取

(3) 最近の海底資源探査の現状

海洋研究開発機構(当時の海洋科学技術センター) 所有の潜水調査船「しんかい 2000」等を用いた海底鉱物探査の結果、伊豆・小笠原弧で大規模な多金属硫化物鉱床³²⁾、³³⁾、³⁴⁾が発見されている。この鉱床は、東京から南へ約 474km の地点にある明神海丘のカルデラ内壁東部付近に位置しておりサンライズ鉱床と呼ばれている。

サンライズ鉱床の概要を表-4.6 に示す。

表-4.6 サンライズ鉱床の概要³³⁾、³⁴⁾

項目	概要
【位置】	明神海丘： 経度 139° 51'、緯度 32° 06'
【鉱床の規模】	海底火山活動に伴う熱水活動で形成された黒鉱タイプの多金属硫化物鉱床である。 水深が 520 ~ 880m の位置にカルデラ縁の直径が約 7 km の規模で存在している。そこでは 270 前後の熱水が海水中に噴出している。
【品位】	金を含む大型の結晶鉱物は見つからないが、微小サイズの金や銀の粒子を含んでいることが確認されている。 試料の品位は平均値で金が 20ppm、銀が 1,213ppm あり、他の代表的な海底熱水鉱床に比べ高品位である。
【埋蔵量】	推定で金 180ton、銀 1 万 ton 程度。 鉱床内部を含めた鉱物の総重量は、約 900 万 ton と推測している。
【今後の調査】	海洋研究開発機構では、関東通産局に、サンライズ鉱床を含む 6 km 四方の鉱区設定手続きを行っている。

日本周辺では、海底鉱物探査により伊豆・小笠原弧の水曜海山³⁵⁾や沖縄トラフの伊是名海穴等において多量の金や銀を伴う熱水活動の存在が確認されている。

(4) 海底鉱物資源開発のための調査研究の概要 海底鉱物資源を開発するのに必要な研究開発項目

としては、海底に賦存する鉱物を採鉱し、さらに採鉱した鉱物を海面上まで揚鉱するのに必要な採鉱・揚鉱方法、それらを制御するシステムの研究開発や関連する機器類の開発、およびそれらを実証実験により検証する実海域実験等が挙げられる。また、海底鉱物資源を開発する際に発生する海底生物や海底環境等に及ぼす影響を前もって予測するためのシミュレーションを用いた環境予測手法の確立も必要となる。

これらの研究課題に対して、1981 年度には技術組合海底鉱物資源開発システム研究所と資源環境技術総合研究所(当時)とが中心となって海底に賦存するマンガン団塊、CRC 鉱床等の採鉱技術開発を目的とした海底資源総合基盤技術(マンガン団塊採鉱システム)プロジェクト³⁶⁾、³⁷⁾を立ち上げ、1997 年度までの 17 年間にわたり研究開発を実施している。

このプロジェクトは、主として次に示すマンガン団塊の採鉱システムに関する要素技術の研究開発を目的に実施されている。

海底に賦存する団塊状の鉱物を集鉱し、その鉱物と海底堆積物とを分離・整粒した後、安定的に揚鉱システムに供給する被曳航式集鉱機の集鉱システム開発

分離・整粒されたマンガン団塊と海水とをスラリー・状にした状態で揚鉱管を介して深海底より海面上の採鉱船まで輸送する流体ドレッジ方式(ポンプリフト方式とエア・リフト方式)の揚鉱システム開発

ここで、ポンプリフト方式とは、集鉱機と採鉱船とを結び揚鉱管の途中に設置した高圧水中ポンプを用いて集鉱機で集められたマンガン団塊を海水と共に輸送する方式である。また、エア・リフト方式とは、揚鉱管の先端から吸い込まれた海水の水流でマンガン団塊を海面上の採鉱船まで輸送する方式である。揚鉱管内の海水流は、揚鉱管の途中に設けた空気吸い込み口から空気を注入することで管内外に生じる圧力差によって発生させている。

曳航索と輸送管の機能を兼ねるパイプストリングと海中機器とをデリック装置へ搬出入する移送・格納装置およびパイプストリングを組立て、降下して握持するデリック装置の開発とそのハンドリングシステムの開発

各種機器の計測、制御、計測データの伝送および総合的なデータ処理を行い、採鉱システムを安全に制御する計測制御システムの開発

マンガン団塊採鉱時の海底攪乱やそれに伴う再堆積等が深海の環境や底生生物の生態系に及ぼす影響および揚鉱に伴って海洋表層域に放出される低温・高栄養塩の底層水が表層海域生物に

及ばず影響等を調査研究する環境保全システムの研究

採鉱・集鉱実験、パイプハンドリング実験、エア・リフト実験およびフレキシブルホース実験の4項目に対して、これらの装置やシステムの性能を確認したり採鉱時の問題点を解明するための採鉱・集鉱実海域実証実験の実施

なお、実証実験は1997年に平頂海山で2度実施された。この海山は日本の南東約1,500海里にあり、金属鉱業事業団が1990年に発見し、その後の精査で海山上にマンガン団塊が卓越して密集している事が判明している。この実証実験で採鉱されたマンガン団塊は2,880kgと4,370kgであった。

4.3.3 海底鉱物資源開発に関する国際海洋法

国連の場において「海底鉱物資源は人類の共同の財産(海洋法条約136条)である」との考えの下、1970年に「深海底を律する原則宣言」が国連総会において可決された。

国連海洋法条約では、第11部で深海底における海底鉱物資源の国際管理の問題を取り決めている。

また、第11部第4、5節では深海底鉱物資源を一括管理する国際海底機構の設立を定めている。³⁸⁾

(1) 国際海底機構^{38)、39)、40)}

公海上の海底鉱物資源を開発する場合、各国間で海底鉱物資源の所有権や開発鉱区の許認可および割り当て等に関して問題が生じてくる。一方、海底鉱物資源を調査、開発する際には深海底に生息する生物に及ぼす影響を極力小さく抑え、海底環境を保護・保全しなければならない。このように、国家間の利害調整や海底における生態系の環境保全に必要なガイドラインの作成、指導、勧告および広報等の重要な課題に取り組む機構として、1994年11月に国連海洋法条約の発効および条約を締結した全ての締結国を構成国とした国際海底機構(International Sea-Bed Authority: 以後、ISBAと称す)が設立された。ISBAの概要を表-4.7に示す。

表-4.7 ISBAの概要

【設立】	国連海洋法条約は、1982年4月に採択され1994年11月に発効した。 国連海洋法条約第11部実施協定は、1994年11月に採択され1996年7月に発効した。
【組織】	本部は、ジャマイカの首都キングストンに設置された。 2003年現在、138ヶ国が加盟して運営されている。

	機構は、最高機関である総会、36ヶ国の理事国からなる理事会、事務局および理事会に対して勧告等を行う法律・技術委員会と財政委員会等から構成されている。
【活動目的】	深海底資源の国際管理は、深海底(何れの国の管轄権も及ばない区域(排他的経済水域および大陸棚の境界の外側))の海底およびその下の資源の管理を主たる目的として、条約および条約第11部の実施協定に従い活動している。
【財政】	機構の運営資金は、構成国の分担金等からなる。
【活動・業務】	主な活動・業務は、各種手続や規則の採択および本部協定の署名等組織基盤の整備(ほぼ、完了)にある。 実質的な活動としては、同機構と日本の深海資源開発(株)DORDを含む7つの登録先行投資者との間で、マンガン団塊の調査の業務計画の登録、承認および探査契約を締結している。 1999年7月に、マイニング・コード(マンガン団塊の概要調査および探査に関する規則)を採択、承認する。 2000年7月に、マンガン団塊の採鉱に伴う環境影響評価指針(環境ガイドライン)を作成している。 SMSおよびCRCの概要調査と探査に関する規則作成に関する検討を開始する。 毎年、ワークショップを開催する。
【国連との関係】	独立した国際機関として関係協定を締結する。 オブザバ-の地位を獲得している。
【日本との関係】	日本は深海鉱物資源に係わる主要、且つ先進的な活動を行っている国であり、理事国として参加している。 最大負担国として、分担金の25%(2002年の日本の分担額は約120万米ドル)を拠出している。 総会・理事会等の活動に積極的に参画し、法律・技術・財政委員会に委員を参加させている。 DORDは、2001年6月に同機構との間でマンガン団塊の探査契約を締結した。

(2) ISBAの役割と活動⁴¹⁾

海洋法条約では、図-4.9に示すように大陸棚を定義している。この図に示すEEZおよび大陸棚の境界の外側に位置する深海底を開発する場合、ISBAとの間で調査の業務計画を登録、承認および探査に関する契約を締結しなければならない。

一方、ISBA は開発の認可等の権限を有すると共に、契約者に対して開発海域の環境保護・保全を遵守させる義務を負っている。そのために ISBA は契約者に対して開発に関する規則（マイニング・コード）の制定や ISBA が設置した法律技術委員会の勧告に従い、海洋環境の保護・保全のための調査を要求することができる。

この勧告を基に、2001 年に採択されたマンガン団塊の採鉱に伴う環境影響評価指針（環境ガイドライン）では、海洋環境の保護・保全に関してリオ宣言原則 15 を反映した予防原則を念頭におき、適用可能な最良の技術を採用するように勧告している。

この内容は、今後科学の発展および開発の状況に応じて定期的（5 年ごと）に見直されることになっている。

4.3.4 海底鉱物資源開発の経済的可能性

陸上の鉱物資源を開発するのに比べて多くの面で非常に困難を伴う海底鉱物資源開発が経済的に成り立つか否かは、開発に必要な技術的な問題や開発コストの問題等の外に、市場価格の動向、供給量の確保や今後の需要見通しに大きな影響を及ぼすであろう世界における工業発展や経済活動が大きく関係してくると考えられる。

(1) 希少金属の市場価格形成の要因

希少金属は陸上での埋蔵量が少ない上に、主要な産出国の上位 3 ヶ国で産出シェアの約 50 % 以上を占めており、偏在性が高い鉱物資源である。

表-4.8 には、主要な鉱物資源に対する陸上部と海底部との賦存量の比較、上位 3 ヶ国の生産シェアおよび日本の自給率例を示す。また、表-4.9 には、陸上部における希少金属の埋蔵量と主要生産国の上位 3 ヶ国が占める生産量の割合例を示す。

表-4.8 主要な鉱物資源の賦存量と上位 3 ヶ国の生産シェアおよび日本の自給率⁴²⁾、⁴³⁾、⁴⁴⁾

金属名	推定賦存量		偏在性 (%)	自給率 (%)
	陸上部* (千ton)	海底部** (千ton)		
銅	340,000	5,000,000	44.6	0
亜鉛	140,000	デ - タ無		10
鉛	69,000	デ - タ無		3
コバルト	3,200	1,250,000	56.0	0
ニッケル	58,000	6,300,000	54.0	0
マンガン	670,000	37,500,000	90.0	0

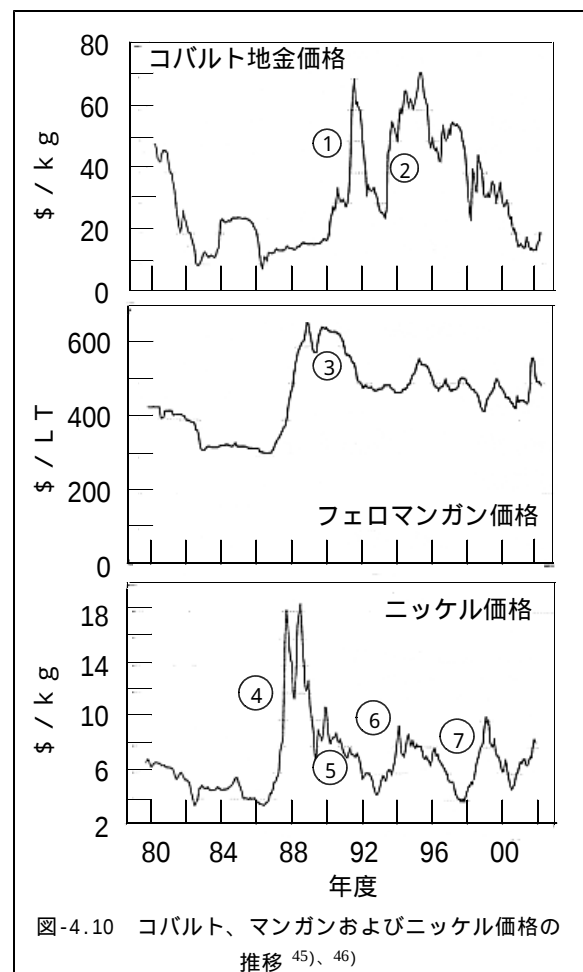
【表中の注釈】
 * : 現在経済的に採鉱が可能である鉱量
 ** : A.A.Archer 1977 年から引用したマンガン団塊に対する推定埋蔵量

表-4.9 希少金属の埋蔵量と主要生産国⁴⁵⁾

金属名	埋蔵量 (千ton)	主要産出国 (上位3ヶ国)	シェア (%)
コバルト	9,600	コンゴ、キューバ 豪州	81.7
マンガン	680,000	南ア、ウクライナ ガボン	80.8
ニッケル	46,000	豪州、ロシア、カナダ	47.8
クロム	1,150,000	南ア、カザフスタン ジンバブエ	96.1
タングステン	3,200	中国、カナダ、ロシア	68.0
モリブデン	12,000	米国、チリ、中国	78.2
バナジウム	10,000	ロシア、南ア、中国	100.0

次に、希少金属の市場価格の変遷と価格変動要因を図-4.10 に示す。なお、図中にはコバルト、マンガンおよびニッケルの 1980 年～2003 年間の当月価格の推移を実線で示す。また、図中の数値記号は価格変化が生じた要因番号を示す。

ここで、図中の \$ / LT の LT は、ヤードポンド法の英国制の質量単位「long ton」の略で、1 LT は 1,016 kg に相当する。



【図中番号の説明】

コンゴの暴動によりコバルトの生産が中断。
 コンゴ、ザンビアでの生産者価格の引き上げ等。
 ロシアの輸出削減および輸出価格の引き上げ。
 コンゴ、ザンビアでの減産。コンゴの政情不安および設備投資の減少等に伴い生産量が減少。
 インコ社(カナダ)の生産が中断等。
 世界の鉄鋼生産量の増加に伴う供給不足等。
 ニュ・カレドニア(SLN 社)のストの長期化。
 石油危機で、キュー・バの精錬所の操業が中断等。
 インコ社のスト懸念、ロシアにおける輸出が停滞。
 LEM の在庫量が減少等。
 豪州における新規のニッケルプロジェクトが停滞。
 カナダ(インコ社マニトバ鉱山)およびニュ・カレドニア(仏エラメット SLN 社)のスト。
 ステンレス鋼の生産増加に伴う供給不足の懸念等。

希少金属に対するこれまでの需要の多くは、鋼材に対する強度特性、耐食性、耐熱性や耐摩耗性等を高める重要な添加物質としてのものであった。

近年、めざましい発展を遂げてきたコンピュータを始めとする IT 関連の機器および太陽光発電用パネルやリチウム電池等の電子部品や触媒に欠かせない金属としてその需要は大きな伸びを示している。その主な用途を表-4.10 に示す。

表-4.10 希少金属の主な用途例⁴⁴⁾

金属名	主な用途
コバルト	耐熱合金(ジェットエンジン)、磁性材料
マンガン	普通鋼、特殊鋼
ニッケル	ステンレス鋼、IC 材料、二次電池材料
クロム	ス・パ・アロイ(原子炉)、アルミ合金
タングステン	触媒(脱硫用)、超硬工具、特殊鋼
モリブデン	構造用合金鋼(一般機械、造船、建設)
バナジウム	触媒、超伝導用材料、パイプライン用鋼管

国は希少金属の需要の増大に対して、昭和 58 年以降、希少金属 31 種類の中から特に代替性が小さく、また供給国の偏在性が高いニッケル、クロム、タングステン、バナジウム、モリブデン、マンガンおよびコバルトの 7 鉱種に対して消費量の 60 日分の備蓄を目標に掲げているが未達成である。⁴³⁾

(2) 海底鉱物資源開発の経済性評価に対するフィジビリティ・スタディ

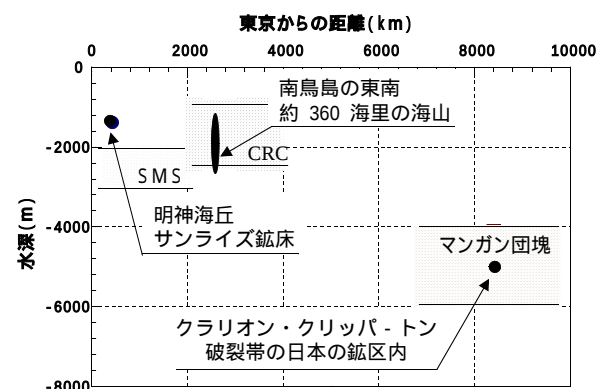
有用な鉱物資源を多量に賦存している海底鉱物資源を開発することにより、日本ではほとんど産出しない希少金属等の金属を、必要な時に安定した量を安定した価格で供給が受けられる自給体制の確立が

望まれている。しかしながら、実際に海底鉱物資源を開発するには、鉱区の探査および集鉱・揚鉱等の設備、人件費等を始めとして多額の投資や技術開発が必要であることや、採鉱した鉱物から精錬して製品にする工程が難しいこと等、多くの課題が残されている。そのために幾つかの国において海底鉱物資源を開発するためのフィジビリティ・スタディ(以後、F S と称す)が行われたにも拘わらず、投資額や生産コスト等の面で商業生産は困難であるとの結論に達していた。

近年、開発の対象金属を従来の亜鉛や銅等のベ-スメタルから今後需要の増大が見込まれるニッケルやコバルト等の希少金属および価格のより高い金や銀等の金属にシフトさせると共に、開発規模を有望な鉱区に絞り込むことで開発に必要な投資額を抑え経済性を高める考え方が取り入れられてきたこと、湿式精錬技術や金属リサイクル技術の進歩により金属を効率よく回収する技術が確立されてきたことおよび明神海丘サンライズ鉱床等で有望な黒鉱型海底 SMS 鉱床が幾つか発見されたこと等で、再び海底鉱物資源開発に関心がもたれてきた。

このような開発環境の変化に伴い産業技術総合研究所の海洋資源研究部門では、マンガン団塊と CRC 鉱床および SMS 鉱床を対象として海底鉱物資源を開発した際の経済性を評価するために、F S⁴³⁾を実施している。なお、F S の結果は、鉱区取得前の探査費用を含まないとの前提の下に行われて得られたものである。

対象とされた鉱区を図-4.11 に示す。

図-4.11 F S の対象となった有望な鉱区と鉱物資源の概要^{47)、48)、49)}

最近のデ-タを基にした F S の結果によると、次に示すような理由で、やはり民間企業が独自で開発することは難しいとの結論に達している。但し、国策に基づいた開発の可能性はあるとの評価を示している。

経済性を考慮したマンガン団塊および CRC の

開発には、巨額の投資が必要であること。

コバルトの市場規模が小さいためにリスクが大きいこと。

内部収益率（以後、IRR と称す）が 15 % 以下であること。

しかしながら、明神海丘サンライズ黒鉱型海底 SMS 鉱床を対象とした F S では、SMS 鉱床の賦存場所が距離的に日本本土に近いことや既存の製錬所の利用が可能なことおよび初期投資が少なくすむこと等の理由により、含有する金や銀の鉱量と品位があれば IRR は 15 % を越えて民間企業による商業の開発の可能性はあるとの結果が示されている。

一方、2100 年までの銅の需給をシミュレーションした資料を基に銅の供給見通しを算定した結果、早い場合には 2020 年に銅資源の不足が予測され、2020 年～2030 年には銅資源を含む亜鉛、鉛、ニッケル、白金等も供給が窮屈になることが示されている。また、将来起こり得る可能性がある鉱物資源の需給不足に対する対策としては、技術的な面や経済性等の観点から研究開発段階で止まっている海底鉱物資源の開発をパイロットプラントの水準にまで高めることを提唱している。⁵⁰⁾

この報告では、2004 年度の金属価格および経済指標を用いたマンガン団塊、CRC および SMS の海底鉱物資源開発に対する経済性について F S を実施している。この F S による評価では、次のような結果が示されている。

マンガン団塊は、民間企業ベ－スでの開発の可能性が十分ある。

CRC も民間企業ベ－スでの開発が可能な水準に近づいている。

民間企業ベ－スでの開発が可能な水準に一番近いとされていた SMS が、この評価結果では逆に最も経済性が低い。

この F S による評価結果をふまえて、国連海洋法条約で認められた我が国の EEZ 鉱区内に賦存するマンガン団塊の開発についてもその可能性を追求すべきであるとの提言がなされている。

【参考文献および参照Webサイト】

- 1) 政府関係資料：'81 海洋開発 - 今後の政策と開発技術、資源問題研究会、p130、1980.11
- 2) 宮井、加納、大井：マンガン酸化物系吸着剤による海水からのリチウム採取、四国工業技術研究所報告 第 28 号、1999
- 3) 信川、北村、周、他：海水中に溶存するリチウム採取システムについて、日本造船学会論文集、No.183、pp309-313、1998
- 4) 信川：パ－ジを利用した海水リチウム採取システムの開発、広島大学
- 5) 信川：海水リチウム採取システムの実現への展望について、広島大学、1998.7
- 6) 湯川、高井、星野、他：海洋エネルギー - を利用した浮体式海水中リチウム採取システムの開発、海上技術安全研究所報告、第 4 巻、第 5 号、pp1-17、2004
- 7) 玉田、宮本、清水、他：海水中の有用金属捕集(1) 放射線グラフト重合捕集材の開発と性能評価、(社)日本原子力学会「2002 年秋の大会」、2002.9
- 8) 斉藤：放射線グラフト重合法により作成した海水ウラン採取用不織布、2000.1
<http://www.rada.or.jp/database/home4/normal/ht-docs/member/detail/010160.html>
- 9) 原子力百科事典 ATOMICA：海水からのウラン回収
http://www-atm.jst.go.jp:8080/04020112_1.html
- 10) 清水、坂口、玉田、他：海水中の有用金属捕集(2) モ－ル状捕集材の係留システム、(社)日本原子力学会「2002 年秋の大会」、2002.9
- 11) 日本原子力研究開発機構 金属捕集・生分解性高分子研究グループ：放射線グラフト重合法
http://www.taka.jaea.go.jp/eimr_div/j637/graft_j.html
- 12) 原子力百科事典 ATOMICA：海水からのウラン回収(接ぎ木の技術とグラフト重合)
<http://www-atm.jst.go.jp:8080/pict/04/04020112/02.gif>
- 13) JOGMEC：第 1 回メタンハイドレ－ト、メタンハイドレ－トって、分子構造で見てみよう、
<http://www.jogmec.go.jp/topic/index.html>
- 14) 北海道工業技術研究所 Riodb ガスハイドレート物理的特性データベース:ガスハイドレートとは
<http://www.aist.go.jp/RIODB/ghdb/index.htm>
- 15) 小林：NIRE ニュ－ス、次世代エネルギー - 資源メタンハイドレ－ト - 海底地層中の氷状物質からのメタンガス採取 -
<http://www.nire.go.jp/publica/news-96/96-10-2.htm>
- 16) (財)エネルギー - 総合工学研究所：4.メタンハイドレ－トの分布、研究成果、
http://www.iae.or.jp/publish/tenbou/1997-HIZAIRAI/4s_hou.html
- 17) 経済産業省資源エネルギー - 庁石油・資源課：メタンハイドレ－ト開発検討委員会報告書「我が国におけるメタンハイドレ－ト開発計画」、2001.7
- 18) 辻：わが国のメタンハイドレ－ト調査の現況、第 30 回海洋工学パネル、pp94-98、2004.7.30
- 19) 城田、太田、中島、他：ガスハイドレ－トペレットによる天然ガス海上輸送に関する研究 - 3.メタンハイドレ－トペレットの特性 -、第 3 回海上技術安全研究所研究発表講演集、pp129-134、2003.6
- 20) 山根、綾、小島、他：第 1 回二酸化炭素深海貯留

- 国際共同実験報告、第3回海上技術安全研究所研究発表講演集、pp125-128、2003.6
- 21) 鈴木、今埜、久保：メタンハイドレ - ド生産用スバ - 型システムの成立性に関する研究、第17回海洋工学シンポジウム、pp431-438、2003.7
 - 22) 産業技術総合研究所：北西太平洋(日本周辺海域)海底鉱物資源デ - タベ - ス、鉱物資源の概要
<http://www.aist.go.jp/RIODB/db058/ferromanganese%20oxide1.htm>
 - 23) Marine Information Research Center：海洋資源、
<http://mirc.jha.jp/knowledge/seabottom/resource/>
 - 24) 資源エネルギー - 庁：鉱物資源政策について、
<http://www.enecho.meti.go.jp/policy/mineral/mineral02.htm>
 - 25) 産業技術総合研究所：北西太平洋(日本周辺海域)海底鉱物資源デ - タベ - ス、鉱物資源の概要、生成環境・性状、潜水艇や海底カメラで、
<http://www.aist.go.jp/RIODB/db058/ferromanganese%20oxide4-2.htm>
 - 26) 産業技術総合研究所：北西太平洋(日本周辺海域)海底鉱物資源デ - タベ - ス、マンガnkラストおよび団塊の概要
<http://www.aist.go.jp/RIODB/db058/ferromanganese%20oxide-online.htm>
 - 27) 武井：大陸棚画定調査 - 国益の確保と産学官の協力について - 、大陸棚に関する講演会配布資料、日本財団、2004.3
 - 28) 梅澤：大陸棚の限界はどこか？、大陸棚に関する講演会配布資料、日本財団、2004.3
 - 29) 葉室：国連海洋法条約の排他的経済水域および大陸棚制度、講演会配布資料、日本財団、2004.3
 - 30) 神田：「大水深域における石油資源等の探査技術等基礎調査」その1：事業概要および「地質構造調査」の紹介、大陸棚に関する講演会配布資料、日本財団、2004.3
 - 31) 棚橋：「大水深域における石油資源等の探査技術等基礎調査」その2：第2白嶺丸を用いた「層序区分調査」の紹介、大陸棚に関する講演会配布資料、日本財団、2004.3
 - 32) 海洋資源環境研究部門 海底系資源・環境研究グループ：海底はホットでリッチだ、
http://www.aist.go.jp/aist_j/museum/tisitu/kaitei/kaitei.html
 - 33) 非鉄関連 NEWS：非鉄関連 NEWS HEAD-LINE、1999.2
http://www.japanmetal.com/back_number/h1999/h19990212.html
 - 34) 個別火山体デ - タ 376 ver.(99122)：(現在、このHPは無い)
<http://www.geo.chs.nihon-u.ac.jp/tchiba/volCAno/kobe>
[tsu/id-376.htm](http://www.aist.go.jp/RIODB/db058/ferromanganese%20oxide4-2.htm)
 - 35) Chishitsu News 0202：地質ニュー - ス 2002 年 2 号
http://www.gsj.jp/Pub/News/n_index/index.html
 - 36) 厨川：資源と環境「海洋資源総合基盤技術(マンガn団塊採鉱システム)の研究開発」要旨、Vol.8、No.1、1999
http://www.nire.go.jp/publica/sgkkyo_j/sgkk8-1.htm
 - 37) 旧海洋資源環境技術総合研究所：/ 資源と環境 / 、2001.03
<http://www.techno-qanda.net/dsweb/View/Collection-1899>
 - 38) 深海底(海洋法)第11編 海洋の区分(9) 深海底
<http://www.geocities.co.jp/WallStreet/7009/mg000829.htm>
 - 39) 外務省国際機関人事センタ - ：国際海底機構(ISA)
http://www.mofa-irc.go.jp/link/kikan_info/isa.htm
 - 40) 第13講 国際海底機構 Int' Sea-Bed Authority：ISA - 深海底開発のための国際機構 -
<http://www.kiwinet.seiryu-u.ac.jp/inahara/internationalorganization13.html>
 - 41) 福島、山崎、白山：深海底鉱物資源開発に関する環境ガイドラインの技術的評価、第17回海洋工学シンポジウム、pp417-421、2003.7.17-18
 - 42) 平成14年度 鉱業便覧、pp332 ~ pp339
 - 43) 資源エネルギー - 庁：希少金属備蓄の見直しについて、鉱業審議会希少金属対策分科会報告、2000.12
<http://www.meti.go.jp/kohosys/press/0001188/0/001220raremetalgaiyou.html>
 - 44) 資源エネルギー - 庁：施策情報__鉱物資源政策について、
<http://www.enecho.meti.go.jp/policy/mineral/mineral01.htm>
 - 45) 金属鉱業事業団：希少金属価格推移 & 埋蔵量金属関係デ - タ
http://www.jogmec.go.jp/data/data_2_3.html
 - 46) (社)特殊金属備蓄協会：平成14年度稀少金属鉱産物備蓄業務に関する調査報告書(年間回顧と展望)、pp42、pp109、pp179、2003.3
 - 47) 山崎、朴、島田、他：深海底鉱物資源開発の技術・経済的可能性評価、第17回海洋工学シンポジウム、pp423-429、2003.7.17-18
 - 48) 山崎：深海底資源のポテンシャル、第10回海洋フォーラム配布資料、2003.9
 - 49) 山崎：EEZ 内および大陸棚の深海底鉱物資源のポテンシャル、第29回海洋工学パネル、pp48-57、2004.1
 - 50) 山崎：銅があぶない - Reminder ! 深海底鉱物資

源 - 、造船学会 海洋工学委員会 合同部会、
2005.03.23

5. 海洋資源（海洋生物資源編）

海洋生物資源には、我々になじみの深い魚介類、海藻・海草類の他、植物性・動物性プランクトンや珊瑚等様々なものがあるが、それら全てを網羅することは困難であるため、ここでは近年話題となっているものをトピックス的に取り上げる。

5.1 日本の沿岸漁業を取り巻く現状(漁獲量減少の背景)

日本周辺海域は世界の三大漁場のひとつと言われているが、近年では沿岸海域の荒廃や乱獲等による漁業資源の減少が起きている。世界の水産資源についても乱獲が報告されており、また国際的な禁漁区の設置等により我国にとって良好な漁場海域が減少している。このような漁場を取り巻く環境悪化の他、消費者の魚離れや外国からの大量輸入による価格低下等が要因となり、漁業従事者の高齢化や漁船の老朽化を招き、漁獲量や漁業従事者が減少傾向になっている。

最近 10 年間で国内生産額は 32%減（平成 6-16）、国内生産量は 29%減（同）となり、65 歳以上の漁業従事者の割合は 34%（平成 15）に達している。

このような状況を改善するため、水産物の自給率 65%（平成 24）を目標とする水産基本計画が平成 14 年に策定されたが、現在その見直しが行われているところである。

5.2 日本の沿岸海域の現状と改善への取り組み

5.2.1 沿岸海域の現状

東京湾や有明海および瀬戸内海等の閉鎖海域を含む沿岸海域では、従来から干潟や海水中および海底面下の泥中に棲む多様な生物、微生物の働きにより海水の浄化がなされてきた。一方、アマモやホンダワラ等の海草・海藻が繁茂する沿岸海域の藻場では、魚介類の産卵場所や幼魚に対して良好な環境を提供してきたために豊かな漁場環境を形成し、沿岸海域での漁業を盛んにしてきた。しかしながら、近年都市への人口集中やそれに伴うインフラの不備等が要因となって、多量の富栄養物が河川や海に直接排出されたり、工業化に伴う埋め立てや護岸工事等が大規模に行われてきたことで、これまで海水の浄化作用を担ってきた多様な生物や微生物等の棲む生息域および藻場が急激に減少し始めてきた。その結果、沿岸海域では海水の富栄養化や貧酸素化が進み、毎年赤潮や青潮の発生が原因で大量の魚介類が死滅したり養殖場に大きな被害を及ぼすなどして、干潟

や藻場を産卵や稚魚の成育の場所としていた魚介類の著しい減少が起きている。一方で、富栄養化した汚染海域を好む海藻の一種であるアオサが大量に発生することで海岸の景観が損なわれ、打ち上げられたアオサの廃棄処分が自治体にとって大きな負担になっている。

その他、明確な発生要因は特定されていないが、沿岸海域でその面積を拡大させ、魚介類に悪影響を及ぼしている磯焼けも大きな問題となっている。

5.2.2 沿岸海域の保全と再生への取り組み

最近、このような荒廃した沿岸海域を再生しようとする活動の一つとして、干潟の保全運動やアマモ等の海草や海藻を移植することで、藻場の回復を試みる運動が各地で盛んに行われるようになってきた。

また、波による沿岸海域の浸食や漂砂の防止および藻場の再生を目的として、人工藻場造成に関連した研究や装置の開発等も行われている。

沿岸海域を再生しようとする幾つかの試みを以下に示す。

(1) 干潟の保全と再生

干潟を守り再生することで、そこを生息域とする生物の生息環境を保護すると共に、彼らが持っている海水浄化能力を利用して海水の浄化が図られる。

また、海草や海藻をその海域に移植育成することで魚の産卵や稚魚の生育を促すと共に、渡り鳥の飛来地をも確保することが可能となる。このような沿岸海域を保全する運動や再生する運動に対する取り組みが、東京湾に残された三番瀬干潟¹⁾を始めとして各地の干潟で行われている。

(2) 海藻や海底生物を利用した海水浄化の研究

1) 網生け簀方式の養殖場において、夏に成長するアオサと冬に成長するヒロメとを養殖することで、養殖魚介類からの排泄物や残餌等の汚濁物により発生するチッソやリンを吸収させ、これら海藻類の栄養分とすると共に養殖場の海水浄化を図る一方で、養殖したヒロメは商品化して市場に出荷し、アオサは養殖魚の餌に利用する研究²⁾が行われている。この研究では、アオサを養殖場に設けた海上筏から籠に入れ、水深 1m に垂らして設置した場合、40 日目で開始時の重量の約 2.5 倍程度までに成長した。また、18mm の口 - プにヒロメの種苗を植え付けた場合、養殖開始後 86 日目で 767 g と順調に成長したとの報告がなされている。

この様に養殖場で養殖魚介類と海藻類とを複合的に養殖し、養殖場の海水浄化と海藻類の増産を図る試みは多くの場所で試みられている。

しかしながら、網生け簀養殖場の様な開放型の養

殖場では、養殖場から排出された栄養塩等の多くが海水中に拡散し、海水浄化の面においてはあまり効率が良くないとの結果も報告³⁾されている。

2) 海水に溶存する汚濁有機物等を補足・蓄積する二枚貝等を積極的に育成・利用して、海底生物のもつトラップ部（富栄養物をえさとして取り込む）と、その排泄物等の汚濁物質を分解させる有効細菌のコロニ-および排泄物を捕食するゴカイやナマコ等のネスト（住处）部とが一体化した生息場所（実証プラント）を人工的に造り、富栄養化した海水を浄化しようとする実験⁴⁾が進められている。

(3) 多孔質材料部材を用いた藻場の造成と沿岸海域の再生および保全方法の開発

磯焼けを起こした沿岸海域に組織培養したホンダワラ類の苗を移植して人工的に藻場を造成する試み⁵⁾や、防波堤の表面を加工したり新しい多孔質素材を用いることで天然の藻類の付着を促して藻場の回復を図る方法^{6), 7)}の研究が進められている。

1) ポ-ラスコンクリ-トの多孔質な形状は、微小生物の生息場所として機能し、また海藻類の着生基盤として有効である。更に、貧栄養化や栄養バランスの崩れた海域で、栄養成分を積極的に補給するために配合した栄養塩類等を特殊シ-ルで処理し、栄養成分の溶出量を制御した多孔質材料も開発されている。この栄養を強化した多孔質材料を利用して人工藻場を造成する研究開発が進められている。

栄養を強化した多孔質材料の概要を図-5.1 に示す。

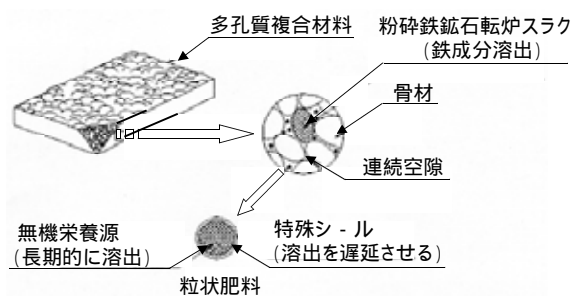


図-5.1 栄養強化したポ-ラスコンクリ-トの概念図⁸⁾

2) 港湾構造物の主要な材料であるコンクリ-ト部分に環境共生機能（コンクリ-トの表面処理に凹凸処理を施したものや硫酸第一鉄等でコンクリ-ト表面を薬剤処理したものおよび軽量多孔質のポ-ラスコンクリ-トの使用等）を付加する事で、構造物周辺に魚介類の寄り場、産卵場等の海藻群落を造成する試みがなされている。研究では、提案されているコンクリ-トの表面処理方法の違いによる海藻着

性状況について調査している。⁷⁾

3) 海水交換の悪い閉鎖性内湾等における汚濁海水を直接浄化する方法として、磯間接触生物膜法が着目されて研究が行われている。研究では生物膜の成長と剥離過程を把握するために、数種類の担体を用いて比較検討している。特に連続空隙を有する多孔質コンクリ-ト（ポ-ラスコンクリ-ト）に着目し、生物膜の発達に適した空隙特性について詳細な検討を行っている⁹⁾

(4) 人工海藻や人工構造物を設置して沿岸海域の保全と漁場の改善を図る研究

1) 人工海藻を用いた海岸域の再生と保全

従来、沿岸の海底に繁茂していた海藻は、産卵や稚魚等の生育場としての場を提供すると共に、海藻がもつ揺動効果等により海底砂の移動を押さえ堆積させる働きをしていた。

近年、埋め立てや海水汚染等の要因により多くの海底でその繁茂域が消滅してきており、波による海底砂の巻き上げや移動により海底地形の変形が問題となってきた。

そこで、高分子樹脂（ポリエステル、ナイロン、発泡ポリエチレン等）を素材とした葉状体の人工海藻を作り植生区域に配置することにより、この区域近傍の海水の流れを制御して海底の砂の巻き上げや移動を抑制する効果等を理論計算と水理実験の面から調査を行い、人工海藻を設置した場合の沿岸海域の保全に対する有効性について調べている。

これらの研究^{10), 11)}から、人工海藻を設置した場合、海底砂の堆積や漂砂等に対して有効であることが示されている。

2) 海岸域に潜水圧気型係留浮体を設置する事で、碎波による流れ場を制御して漂砂の堆積を促進し、移動等による海底地形変化を抑えて海岸域の保

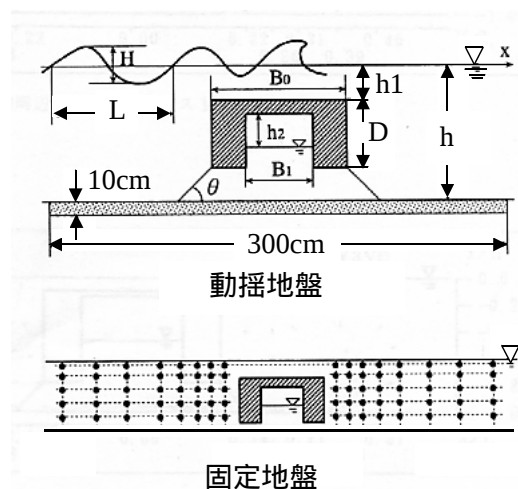


図-5.2 潜水圧気型構造物の概要¹²⁾

全を図る研究¹²⁾が行われている。水理実験や理論計算を基にした結果から、潜水圧気型係留浮体を設置することにより、その周辺で生じた流れ場が制御されて岸側への堆積を促進する効果等のあることが報告されている。

水理実験で用いられた潜水圧気型係留浮体の概要を図-5.2に示す。

3) 大分県南海部郡上浦町(現佐伯市)の地先海岸において、人工光を利用した海中緑化実験システムの構築および人工光と海藻の育成状況等を調べる目的で、有光層以深の海中に人工光を用いた藻場の造成と、複合型海中緑化装置を用いた実証実験¹³⁾が行われた。この装置は実験海域における環境状況が計測できる水温センサ - 、光量子センサ - 、波高計、風向・風速センサ - および大気温度センサ - を搭載したスパ - ブイである。実験開始後の3回の潜水調査結果から、海藻の育成状況には顕著な成果が認められており、所期の目標を十分に達成できつつあるとの報告がなされている。また、人工光に用いた発光ランプ部には汚れが殆ど見られず、光量の低下も極めて少ないことが示されている。

4) 産業廃棄物として埋め立て等に用いられていた石炭灰を、石炭灰硬化体ブロックに加工し海中に自由落下させて海底に積み上げて人工海底山脈を造成し、その山脈により発生した湧昇流により沿岸海域の漁場の改良を図る方法¹⁴⁾が考案されている。

その効果を調査する実証実験が、長崎県生月島沖合い5km、水深82mの海底に延長120m、高さ12m、幅60mで、容積が約3万 m^3 の人工海底山脈を造成して実施された。

これまでの実験結果によると、NASAの人工衛星の海色センサ - デ - タを用いたクロロフィルa濃度の分布調査では、造成した海底山脈の規模に対して約15 km^2 の広い海域面積で、対照したある区画と比較してクロロフィルa濃度比が増加している。また、標本漁船調査の結果からは、人工海底山脈を中心とした20km × 18kmの海域で年間漁獲量が6倍程度にまで増加したことが示されている。

5) 大型の廃船を海底に沈めることで人工の湧昇流を発生させて漁場の開発を促進させる方法¹⁵⁾が研究されている。この方法は、従来型に比べて構造物の高さ、幅を飛躍的に大型化でき、大水深海域においても漁場の開発が可能となる。また、大水深を対象とする事ができるために海洋深層水の栄養塩濃度の高い海水を直接湧昇させる事が可能となり、既存の施設と比較して単位湧昇流量当たりの生産効率の増加が期待できることが示されている。

大型の廃船を用いた沿岸海域漁場改善方法の概念図を図-5.3に示す。

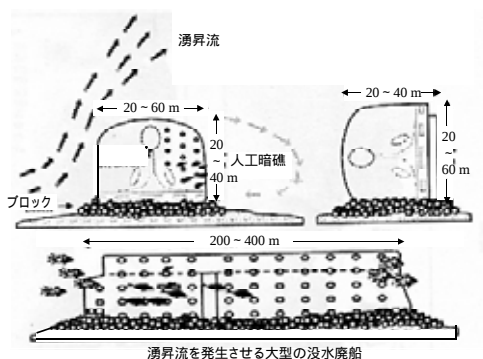


図-5.3 大型の廃船を用いた沿岸海域漁場の改善方法の概念図¹⁵⁾

6) 水産庁の外郭団体「(社)マリノフォーラム21」では、2003年5月から相模湾上において、一点係留された浮体から降ろした取水管を介して深層水を汲み上げ、海水表層の有光域に放出・散布することでその海域の漁場を改善する、洋上型海洋肥沃化装置「拓海」¹⁶⁾を用いた実証実験を開始している。図-5.4に「拓海」の全容を示す。

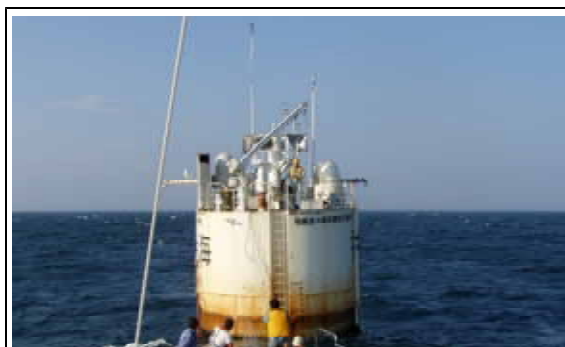


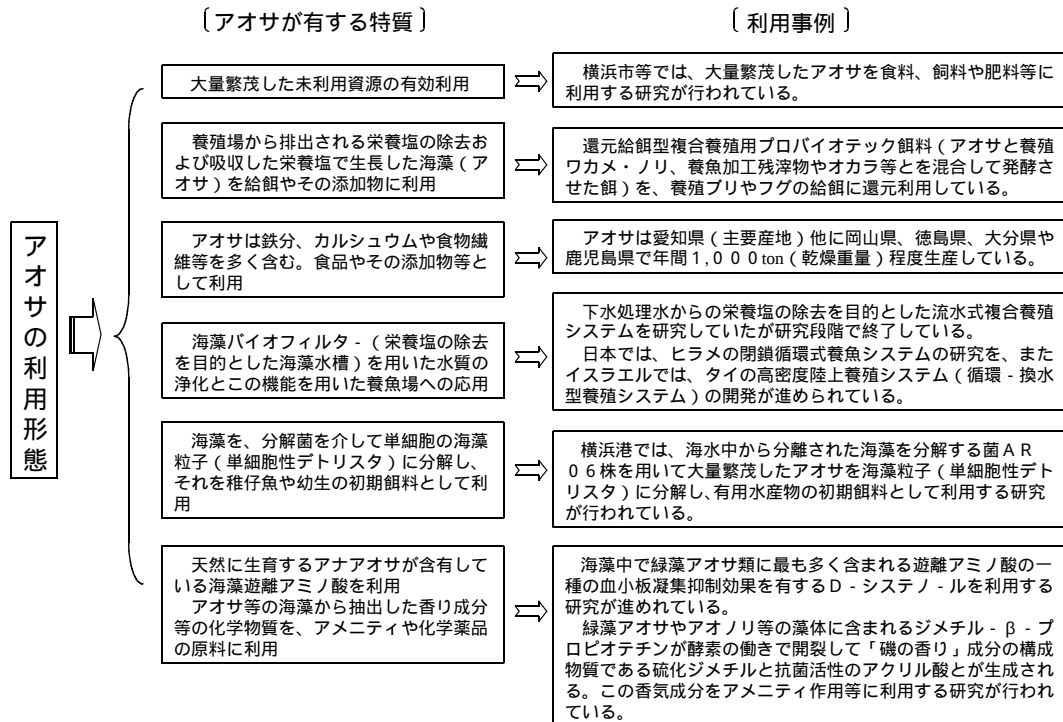
図-5.4 実証実験中の拓海の全容¹⁶⁾

【海洋肥沃化装置「拓海」の主要目】

全高さ	約213m
最大直径	φ16.8m
吸水(深層水取水水深)	約205m
排水量	約1,700ton
ライザ - 管長さ、内径	175m、φ1.0m
放水口水深	約20m
係留水深	約1,000m
ディ - ゼル発電機定格出力	115kW
深層水汲み上げ量	約10万 m^3 /日
表層水取水量	約20万 m^3 /日
放水量	約30万 m^3 /日

同様の実験は、前述の3.5.3項の洋上型温度差発電船「かいおう」においても実施されている。

(5) アオサを利用した水質浄化とその利用

図-5.5 アオサの利用事例³⁾

横浜港や瀬戸内海等で大量に繁茂するアオサは、海底生物の生息環境を阻害し、また海岸に打ち上げられた大量のアオサは腐敗に伴う悪臭や景観等の面から問題になっている。その上、打ち上げられたアオサの多くは乾燥させて焼却されているのが現状であり、多額の処理費用が必要となっている。

反面、アオサが大量に繁茂する海域では6月～8月には一時的に栄養塩濃度は減少し、9月以降アオサの減少に伴って栄養塩は増加に転じることが確認されている。この要因は、アオサは生長する際に海水中の栄養塩（アンモニア・硝酸・亜硝酸態、窒素、リン酸態リン等）を葉体内に吸収して取り込んでそれを栄養源にして生長することにある。また、葉体は光合成を行うことで海水中の二酸化炭素を吸収して固定する働きをも有している。^{3)、17)、18)}

この相反する特性を有するアオサを利用して、汚染海域の水質を浄化させると共に、大量に繁茂したアオサを有用な資源として活用しようとする研究が行われている。

1) アオサは青ノリ等の食品、養殖魚介類の餌料、家畜飼料の添加物や堆肥等として利用されている。

最近では、医薬品の原料として利用する研究も進んでいる。現状では、アオサを資源として大量に利用するところまでには至っていない。アオサを用いた利用形態の幾つかを図-5.5に示す。

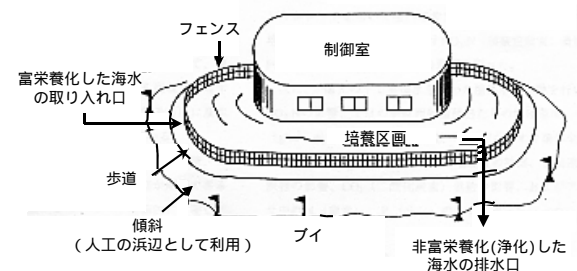
2) 閉鎖性の海域において、海水の富栄養化等の

要因により大量に増殖、繁茂したアオサを産業廃棄物として処理するのではなく、アオサの有する特質を資源と捉えて利用する研究¹⁹⁾が進んでいる。

この研究では、不稔性（成熟することなく生長し続ける）アオサを一定規模の装置を用いて積極的に培養し、バイオフィルタ - として海水浄化に活用すると共に、資源として生産する浮体式培養生産装置の検討および概念設計を行っている。

図-5.6に、浮体式アオサ培養生産装置の概念図を示す。

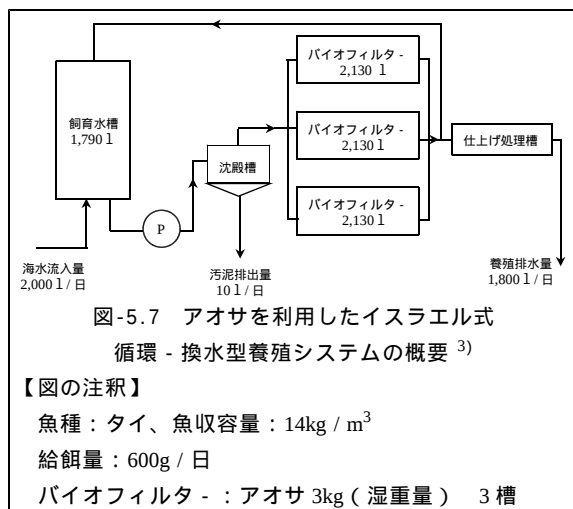
概念設計された海洋浮遊型アオサ培養生産装置（長さ110m、幅60m、培養面積2,700m²）では、清浄アオサ50dry-kg/dayの生産物が回収できると共に1.9kg/dayの窒素の除去が期待できる。

図-5.6 浮体式培養生産装置の概念図¹⁹⁾

これらの結果から、アオサによる海域浄化（バイオリメデイエーション）と食料・飼料等の資源生産を兼ね合わせた装置化技術の見通しを得たと結論している。

3) 陸上において、高密度でタイを養殖すると共に、その排水処理にバイオフィルタ - としてアオサを利用した閉鎖型の循環 - 換水型養殖システムがイスラエルの養殖研究センタ - で研究開発されている。このシステムの完成度は高く、実用規模の実験においても良い結果が得られている。

システムの流れ図を図-5.7 に示す。



【参考文献および参照Webサイト】

- 1) 千葉県三番瀬プロジェクトチ - ムホ - ムベ - ジ
http://www.pref.chiba.jp/syozoku/b_seisaku/sanbanze/index-j.html
- 2) 和歌山県県増養殖研究所：海藻類で水質保全、紀伊民報 AGARA フラッシュユニ - ス、2003.8
http://www.agara.co.jp/DAILY/20030820/20030820_001.html（現在、この HP は改訂されている）
- 3) 能登谷：アオサの利用と環境修復（改訂版）、成山堂書店、pp71-76、2001.7
- 4) 国土交通省四国地方整備局小松島港湾・空港整備事務所：（現在、この HP は無し）
<http://www.pa.skr.mlit.go.jp/komatsushima/50th/63p.htm>
- 5) 水産増殖試験場：ホンダワラ類の組織培養と人工藻場造成、和歌山県情報館ホ - ムベ - ジ
http://www.pref.wakayama.lg.jp/prefg/070100/070101/seika/sen-h12/h12_19.htm
- 6) 海洋機材（株）ホ - ムベ - ジ：藻場創造システム「モバテックス」、2002.06.18
<http://www.kaiyokizai.co.jp/mobatechs.html>
- 7) 明田、谷野、中内、他：表面処理の相違によるコンクリ - ト面への海藻着生状況について、海岸工学論文集、第 43 巻、pp1246-1250、1996

8) EPOC (Enriched POrous Concrete) 藻場造成技術：

<http://www.okumuradbk.co.jp/gijyutsu/technology/seaweed/seaweed.htm>

- 9) 村上、伊藤、水口、他：海岸構造物材料としての多孔質コンクリ - トにおける付着生物の発達、海岸工学論文集、第 43 巻、pp1252-1255、1996
- 10) 伊福、岩田、米澤、他：人工海藻周辺の流れと漂砂、海岸工学論文集、第 41 巻、pp566-570、1994
- 11) 小田、東海、横山：弾性変形する難動揺型人工海藻帯近傍における流れ場の数値解析、海岸工学論文集、第 42 巻、pp216-220、1995
- 12) 岩田、金、他：潜水圧気型構造物周辺の流速場と海底地形変化に関する研究、海岸工学論文集、第 41 巻、pp572-575、1994
- 13) 古賀、甲斐、菊池：人工光源利用海中緑化実験システムの開発、第 9 回海洋工学シンポジウム、pp79-86、1989
- 14) 鈴木：人工海底山脈による海洋での食料増産の可能性、第 30 回海洋工学パネル配布資料、pp59-66、2004. 7.30
- 15) 瀬戸、藤田、川原：大型廃船をリサイクルした人工湧昇流発生礁の開発に関する基礎的研究、第 16 回海洋工学シンポジウム、pp159-164、2001.7
- 16) 大内：相模湾での海洋肥沃化実験装置「拓海」の概要、第 17 回海洋工学シンポジウム、日本造船学会、pp181-187、2003.7
- 17) 水産総合研究センター・中央水産研究所ホ - ムベ - ジ：東京湾で大発生しているアオサの生態研究、中央ブロック水産関係試験研究推進会議
<http://ss.nrifs.affrc.go.jp/seika/h08/nrifs96105.html>
- 18) 工藤、松川：金沢八景のアオサ対策研究、研究情報、神奈川県水産総合研究所、中央水産研究所
<http://ss.nrifs.affrc.go.jp/news/news13/news1314.html>
- 19) 宮坂、平山、大久保：不稔性アオサによる海域浄化と海洋浮遊型培養生産装置、第 15 回海洋工学シンポジウム、pp135-138、2000.1

6. 海洋資源利用の将来展望

「自然界に存在する物資やエネルギー - の全てがそのままでは資源と考えない。人間が自然界に対して現在の利用または将来に利用する技術的、経済的可能性への期待を込めた働きかけをすることにより始めて資源となる¹⁾」との観点から海洋資源を見ると、漁業資源は既に資源として重要な位置を占めている。反面、資源の質および利用の際の経済性や技術的な問題等が多く残されていることで、資源として十分に利用、開発されていない資源も多く見られる。

日本では、海洋に賦存するこれら多くの未開発の資源を利用するために、これまで産官学が共同して研究や技術開発を行ってきた。しかしながら、原子力や化石燃料の持つエネルギー密度と比較して海洋自然エネルギーは、その賦存量が膨大であるにも係わらずエネルギー密度が非常に小さいことが障害となり、現在の化石燃料や原子力を用いた発電方式に比べて発電コストを始めとした多くの面で問題を抱えている。同様に、海中溶存金属の回収や海底鉱物資源の開発に対しても、陸上鉱物資源を開発して利用の方が生産コストや回収、採鉱技術等の面で有利であるため、商業化段階にまで至っていないのが現状である。

海洋資源開発の商業化に向けての動きは、経済性が優先されている今日、世界的な経済活動の発展に伴う化石燃料、鉱物資源の枯渇不安や価格の大幅な上昇および国際的な二酸化炭素排出規制強化等に見られるような、大きな外的圧力が作用した場合には、大きくなる可能性がある。

6.1 海洋自然エネルギー - 利用

海洋自然エネルギー - 開発の現状は、図-3.11 で示したように、波浪エネルギー密度が高い北海での波浪発電を始めとして、海外では既に多くの発電技術が実用化または実用化の途中段階にある。

日本は、波浪発電を始めとした海洋自然エネルギー - を利用する技術に関して最も進んだ国の一つであり、条件が整えば実用化は可能などところまで技術的ポテンシャルは達していると思われる。

しかしながら、実用化までには技術面以外のところで多くの問題が山積していると言える。

6.1.1 海洋波浪エネルギー -

浮体式の大型波浪発電装置を用いた実海域実験を実施し、浮体構造物や発電装置および係留方式等の設計・建造や設置に関する技術的なノウハウの蓄積は完了している。今後は、化石燃料や原子力を用いた発電方式と比較して発電コスト低減の面でどのように対抗していくかが課題となる。

その対策の一つとして、商業電源の確保が難しい離島や僻地での利用がある。海上保安庁では、灯浮標の電源として既に小規模な波浪発電を実用化している。今後も離島や僻地および灯浮標の電源として波浪エネルギー等の自然エネルギー - を利用したシステムの導入を進めていく計画を示している。

現在、日本においては商業用の波浪発電建設計画はないが、浮体式の大型波浪発電装置「マイティ・ホエル」²⁾では、波浪発電による電力を用いて海水を電気分解し、将来の燃料として期待されている水素を製造する試みがなされている。また、この浮

体式発電装置を設置したことにより生ずる後背の静穏域を海洋レジャ - 施設に利用することで、ト - タルとして海域利用を広げようとする構想が考えられている。

6.1.2 海上風エネルギー -

風力発電に関する技術面や実用化の実績は、陸上風力発電において既に確立されている。また、環境負荷に対する評価も高く、最も利用されている自然エネルギー - の一つである。

日本における陸上風力発電設備は、2005 年末で約 108 万 kW の設備容量に達した³⁾。総合資源エネルギー調査会・新エネルギー部会では、2010 年までに 300 万 kW⁴⁾を導入目標としている。しかしながら、風車による騒音の発生、景観の侵害、野鳥への被害など、新たな環境問題も少なからず抱えているため、陸上では新たな設置場所の確保が困難になってきており、目標達成は難しいと考えられている。そのため、風力発電装置を洋上にも設置する構想が出てきているが、日本沿岸はすぐに深くなるところが多く、ヨーロッパで行われているような遠浅な海での着底式による大規模展開は望めない。そのため、水深の深い海域において、係留されたポンツーン型構造物やスパン・ブイを基盤浮体として風力発電装置を設置する、浮体式風力発電システムが考えられている。現在、その実用化に向けての研究、開発が進められている段階である。

6.1.3 潮汐、潮流および海流エネルギー -

潮汐エネルギー - の利用は、海外では既に実用化されている。しかしながら、日本では潮汐変化が小さく発電条件の面で不利なことや、貯留池を作るのに十分な設置場所が確保できないことおよび環境問題等、解決できない課題が多くある。今後、大規模な潮汐発電の実用化は難しいと考えられる。

潮流エネルギー - を利用した潮流発電に対しては、灯浮標用のエネルギー - 源として実用化され、利用され始めた。海上保安庁では灯浮標の電源として小規模な潮流発電を用いることを推進しており、今後増加していくと思われる。

一方、海底に発電装置を固定するための基礎等を構築して潮流発電を行う方式の実用化は、潮流発電に適した海峡が海上交通量の非常に多い要衝であることや、設置面積が十分に確保できないこと等の理由で、研究や予備調査の段階で止まっている。

黒潮を対象とした海流発電の場合、流向の主軸が大きく変動する（蛇行して流れる）等その本質に未知な部分が多いことや、海底に基礎を造り海流発電装置を設置するには多額の投資が必要になり、技術

的な困難もあるため、構想や調査の段階で止まっている。

6.1.4 海洋温度差エネルギー -

日本における海洋温度差発電の技術的なポテンシャルは、ウエハラサイクル式熱交換器に代表されるように非常に高く、海洋温度差発電の実施計画や実証実験に対しても指導的な立場にある。

現在、佐賀大学に設けられた海洋エネルギー - 研究センター - 等を中心にして研究開発が進められているが、経済性評価等の面で実用化されるまでに至っていない。海外においては、佐賀大学の技術指導の下でインドやナウル共和国において、実用化に向けて実証試験の計画が進んでいる。

海洋温度差発電には、大別して陸上型と海上型があるが、深層の冷海水と表層の温海水との温度差を利用して発電する方式である点においては同じ機構を有している。

(1) 陸上型海洋温度差発電方式

ハワイや高知県等では、陸上に設置した深層水取水装置を用いて深層水を汲み上げ、工業用や飲料水等を製造したり、魚介類の養殖用に利用する等の施設が造られて研究が進められている。

しかしながら、現時点では取水用の動力として、温度差発電による電力ではなく、よりコストの安い一般の商業電力やディーゼル発電による電力が用いられている。

今後、深層水を取水して飲料水や食品等に利用しようとする計画は増加すると考えられる。しかしながら、温度差発電で発電した電力を取水用の動力の一部として利用する点については構想段階に止まっている。

(2) 海上型海洋温度差発電方式

海上方式は、発電コスト等の経済的な問題の他に、浮体とライザ - 管との共振問題や構造強度の問題および係留問題等解明すべき課題が多く残されており、研究段階にある。

温度差発電は昼夜や季節および天候等の影響を受けにくく、自然エネルギーの中では唯一安定したエネルギー源である。海水の温度差が年間を通じて 15

以上の海域であれば発電が可能であり、副産物として淡水が得られる。また、取水した深層水は食品や工業製品等の原料として利用でき、養殖用としても注目されている。さらに、豊富な栄養塩により基礎生産を増やすことにも使う事が出来る。このように、海洋深層水は温度差発電を中心として多角的な利用が出来、貴重な資源と考えられる。しかし、大量に取水することで、環境に及ぼす影響も懸念され

るため、海洋深層水の持続可能な消費量を見積もる試みもなされている¹¹⁾。

6.2 非再生海洋資源利用

日本では殆ど産出しない稀少金属類を海水から吸着剤や吸着布を介して採取したり、深海底に賦存する鉱物資源を採鉱する研究開発は古くから進められてきたが、技術的な難しさやコスト面の問題があり、商業化されるまでには至っていない。

しかしながら、これら稀少金属類は今後の国家の経済活動の根幹をなす IT 産業等において欠かせない金属類であり、海外の諸事情に影響されずに安定した価格と量を確保できる体制が望まれている。

6.2.1 海水中に溶存する稀少金属類の回収

海水にはリチウムやウラン等が微量溶存しており、これらの稀少金属類を採取するために必要な吸着剤や吸着布および採集システムの研究開発が取り組まれてきた。

現在、2010 年のリチウム採取システムの実用化を目指して、大型模型を用いたパイロットプラントを造り 2002 年に 10ton、2005 年には 100ton のリチウムの採取を目標とした吸着実証実験の計画⁶⁾が進行している。しかしながら、2010 年に計画されていたリチウム採集システムの実用化に向けてのリチウム吸着実証プラントの建造構想については、現段階でその計画が進められている動きはない。

ウランの吸着剤については、近年ウランの吸着性能やコスト面でも優れたアミドキシム不織布を用いた吸着材の実海域試験が行われている。今後、捕集性の良い捕集材の開発とシステムの性能評価を行うための実証実験が計画されている。

6.2.2 メタンハイドレート (MH) の採掘

経済産業省資源エネルギー - 庁が 2001 年 7 月に提出した MH 開発検討委員会報告⁷⁾によると、2012 年頃からの生産の産業化が計画されている。現在、日本近海に賦存する MH の賦存量を調査するために、南海トラフにおいて試錐掘削を開始している段階である。日本近海には、日本で年間使用する天然ガス 100 年分に相当する賦存量があると推定されているが、現状では採算が可能な密度でどの程度分布しているかや採掘法等に不明の部分が多くあり、産業化するのは難しいとの評価がなされている。

一方で、MH の性状や採掘・集鉱技術および採掘に伴う環境影響等の研究が行われてきた。これらの研究から、MH が有する物理的な特性を利用して天然ガスをハイドレート化して貯蔵運搬する技術等、工業や産業に応用できる技術の開発も進んでいる。

6.2.3 海底鉱物資源の採鉱

マンガン団塊の開発は 1979 年 8 月に提出された答申⁸⁾に沿って、1990 年代には「商業生産の開始」、2000 年代には「安定操業体制の確立」を目標に探査や研究・技術開発が進められてきた。その結果、実海域での 2 回の実証採鉱実験において合計 4.5ton 程度のマンガン団塊が採鉱された。その後、商業化に向けての採鉱は進んでいない。

今後、需要の増加が見込まれる稀少金属類や、価格の高い貴金属を多く含有する有望な鉱床に目標を絞り込んだ海底鉱物の開発に向けて予備調査を実施しているが、商業化は難しい結果になっている。

一方、2009 年 5 月を提出期限とした「大陸棚画定作業」に向けて、現在詳細な海底地質探査や海底鉱物探査を行っており、この動勢を大きな関心と注意を払って見守っていききたい。

6.3 沿岸海域の海洋生物資源とその活用

1990 年代の高度成長期に行われた沿岸海域の埋め立てや港湾工事、および都市から大量に排出された富栄養化した汚水等により、都市部での沿岸海域における環境が破壊された。一方、地方の沿岸においても乱獲および漁業従事者の高齢化が進行するに伴い、海域の保全が困難になってきている。今後の水産環境研究⁹⁾では、

目標：増産から持続的利用へ

方法：個体群研究から生態系研究へ

領域：地域研究から流域研究へ

枠組：住民参加型への展開

の 4 つの視点から研究が進められようとしている。

6.3.1 沿岸海域の再生・創生活動

都市部の沿岸海域では、より良い生活環境を創生する一環として、近年下水道の整備や汚水の排出規制等により水質の浄化が進む湾内の浅瀬に、海藻を移植して魚介類、底生生物等の生態系を再生すると共に、渡り鳥との共存を図る自然環境を造り出す活動が試みられている。これらの多くの活動は住民参加型であり、幅広い活動が今後も推進されていくと考えられる。

地方の沿岸海域では、乱獲や磯焼け等により荒廃が進んだ沿岸漁場を、漁業従事者が生活の場として持続的に活用できる場を造り出す活動が進められている。一つの事例として、移植等による藻場の造成や人工漁礁の投入および稚魚や稚貝の放流による漁場の創生が行われている。また、漁業従事者の高齢化に対しては、潜降浮上型の人工海底を有する浮体式の「あわび養殖施設」の開発¹⁰⁾等、高齢な漁業従事者の作業負担を軽減し、且つ高価格な魚介類を安定して出荷できる装置の開発も進められている。

しかしながら、これらの活動の多くは漁協や自治体単位で個別に取り組まれている場合が多く、全国的な広がりには小さい。一方で、全国の至る所にまで広がりを見せている磯焼けのような沿岸海域の荒廃現象に対しては、その発生要因が多様な上にその原因も確定されておらず、再生のための決定的な解決策に乏しいのが現状である。このような荒廃現象の放置や対策の遅れは、沿岸漁業の衰退や沿岸環境の荒廃に進展していき、その結果として沿岸漁業の悪循環⁹⁾に陥る原因の一つになっている。

磯焼け対策は、一つの自治体だけでは対処しきれない問題であり、解決には国が主体となり要因の解明を進めると共に、沿岸海域の環境保全と生態系の創生との両面からの早急な対応が求められている。

6.3.2 アオサを利用した海水浄化とその利用

毎年、湾内等で大繁茂してその処理が問題となっているが、アオサは従来から食品の添加物や肥料、および養殖場や養鶏場における餌の添加物等として利用されてきた。また、アオサを餌に添加することで養殖魚の肉質の改善や鶏卵の良質化が見られたとの報告もある。今後、薬品の原料等に用途を広げていく研究開発も進められており、アオサの利用は多方面で展開されようとしている。

一方で、アオサが成長する際の栄養素として海洋汚染物質のリンやチッソ等の有機塩類を藻内にとり込むことや光合成により二酸化炭素を固定する性質を利用して海水を浄化する構想や、養殖場から出る排泄物や残餌を浄化する実験施設も考案されている。

このようにアオサを利用する試みはなされているが、大量に繁茂するアオサを有効に利用することで大量処理する手段は、見つかっていないのが現状である。

【参考文献および参照Webサイト】

- 1) 立見：鉱物資源を考える（1）、地球資源論研究室ホムペ - ムペ - ジ
http://home.hiroshima-u.ac.jp/er/Rmin_TT1.html
- 2) 鷲尾：沖合浮体式波浪エネルギー - 利用装置の設計手法および性能評価に関する研究、博士論文、2001.
- 3) Record year for wind energy: Global wind power market increased by 40.5% in 2005
[http://www.gwec.net/index.php?id=30&no_cache=1&tx_ttnews\[pointer\]=3&tx_ttnews\[tt_news\]=21&tx_ttnews\[backPid\]=4&cHash=f9969873b6](http://www.gwec.net/index.php?id=30&no_cache=1&tx_ttnews[pointer]=3&tx_ttnews[tt_news]=21&tx_ttnews[backPid]=4&cHash=f9969873b6)
- 4) 総合資源エネルギー調査会 新エネルギー - 部会：新エネルギー - 部会報告書 - 今後の新エネルギー - 対策のあり方について -

- 5) 新エネルギー・産業技術総合開発機構：【特集】洋上風力
<http://www.nedo.go.jp/kankobutsu/report/819/819-1.html>
- 6) 信川：海水リチウム採取システムの実現への展望について、広島大学、研究会配布資料、1998.8.7
- 7) 経済産業省資源エネルギー庁石油・資源課：メタンハイドレート開発検討委員会報告書「我が国におけるメタンハイドレート開発計画」、2001. 7
- 8) 政府関係資料：'81 海洋開発 - 今後の政策と開発技術、資源問題研究会、1980.11
- 9) 中村：水産における環境研究の視点、第 30 回海洋工学パネル配布資料、2004. 7
- 10) 富田、岡本、和泉、他：潜降浮上型人工海底「マリンあや 1 号」の開発、第 11 回海洋工学シンポジウム、pp417-424、1992.7
- 11) (社)日本船舶海洋工学会・IMPACT 研究委員会編：海洋の大規模利用と環境影響評価手法に関する評価報告書、2006. 3

7 結言

浮体式構造物に関する海技研の技術ポテンシャルの活用を念頭に置きつつ、我国における海洋資源利用の現状を調査した。その結果、利用可能性のある海洋資源のほぼ全ての項目について、これまで多くの人員と多額の研究開発費が投入され、研究や装置開発が進められてきたことがわかった。しかし、資源が備えるべき要件(大量にあり集中していること、経済性等、2.1 参照)を十分に満足しない場合が多いため、現在まで実用化されたものは多くない。

しかしながら、中国やインド等で予想される急激な資源消費の増加、資源枯渇の問題等、その前提となる条件は変化しつつある。これら動向を含む 2004 年度データに基づき、海底鉱物資源開発の実現可能性調査を行った最新の結果によると、採算性が最も難しいとされたマンガン団塊も再び着目され、開発の重要性が強く求められている。この様に、経済環境が早い速度で大きく変化している現状では、それに即した研究体制の柔軟な対応が求められる。

本調査に関連し、産業技術総合研究所の海洋資源環境研究部門(四国センタ-)や地質情報研究部門(つくば)、佐賀大学海洋エネルギー研究センタ-を訪問した。そこでの意見交換では、海洋資源の抽出から製品となるまでの一連の生産サイクルにお

いて、洋上に係留した浮体構造物が生産拠点や一時的な貯蔵基地として重要な役割を果たすであろうことが指摘された。そして、これら係留浮体に関し当所が重要な役割を担うことが要望された。

係留浮体に関する技術は当所が長年取り組んできた研究課題であり、高い技術ポテンシャルを蓄積していることから、それらを生かし今後の海洋資源利用に貢献して行く予定である。

謝辞

最後に、参考文献として引用させて頂いた関係各位にお礼申し上げます。

なお、本文ではできる限り最新の情報を取り入れるために、参考文献と共に関連 Web サイトも引用しています。これらの Web サイトは、新しい内容に更新されたり削除されたりします。掲載した Web サイトは、一部を除き平成 18 年 12 月 6 日現在に確認された内容を参考にしています。