

深海高速炉利用法についての調査検討

1997年9月

動力炉・核燃料開発事業団
大洗工学センター

複製又はこの資料の入手については、下記にお問い合わせ下さい。

〒311-13 茨城県東茨城郡大洗町成田町4002

動力炉・核燃料開発事業団

大洗工学センター

システム開発推進部・技術管理室

Inquiries about copyright and reproduction should be addressed to: Technology Management Section, O-arai Engineering Center, Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation 4002 Narita-machi, O-arai-machi, Higashi-Ibaraki, Ibaraki-ken 311-13, Japan.

動力炉・核燃料開発事業団 (Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation) 1997

深海高速炉利用法についての調査検討

大坪 章*、小綿 泰樹*

要 旨

動燃では現在まで色々なタイプの新型高速炉の研究をしてきた。その中で深海高速炉は我が国の海洋・気象・深海底油田・地震等の専門家からの開発研究に対する期待が大きく、また開発に要する予算も小さく、開発課題も殆ど無く、最も実現性の高いものである。

本報告書では開発目標とする40kWe 及び200-400kWeの深海高速炉の概要について説明するとともに、その利用法について調査検討をした。深海高速炉は海洋では、長期気候予測及び地球科学研究用無人海底基地、深海底油田基地等での電源としての利用がある。一方陸上においても、極地での研究施設の暖房と電力供給が考えられる。またより将来は、宇宙での利用も考えられる。

現在、大型高速増殖炉開発計画は順調に進まず、実用化時期がかなり遠のいた状態にある。深海高速炉を一刻も早く実用化し、高速炉技術を現代社会にしっかりと植え付けることが、現時点で最も大切なことであると筆者は考える。

* 大洗工学センター 基盤技術開発部 先進技術開発室

Research on the Usage of a Deep Sea Fast Reactor

Akira OTSUBO * , Yasuki KOWATA *

Abstract

Many new types of fast reactors have been studied in PNC. A deep sea fast reactor has the highest realization probability of the reactors studied because its development is desired by many specialists of oceanography, meteorology, deep sea bottom oil field, seismology and so on and because the development does not cost big budget and few technical problems remain to be solved.

This report explains the outline and the usage of the reactor of 40 kWe and 200 to 400 kWe. The reactor can be used as a power source at an unmanned base for long term climate prediction and the earth science and an oil production base in a deep sea region. On the other hand, it is used for heat and electric power supply to a laboratory in the polar region. In future, it will be used in the space.

At the present time, a large FBR development plan does not proceed successfully and a realization goal time of FBR has gone later and later. We think that it is the most important to develop the reactor as fast as possible and to plant a fast reactor technique in our present society.

* Frontier Technology Development Section, Advanced Technology Division.

目 次

1. はじめに	1
2. 開発目標システム概要	3
2. 1 40kWeシステム	3
2. 2 200-400kWeシステム	4
2. 3 スケジュール	5
3. 無人観測基地	11
3. 1 長期気候予測用観測基地	11
3. 1. 1 海洋大循環	11
3. 1. 2 エルニーニョ	12
3. 1. 3 海氷	12
3. 1. 4 観測ブイ	14
3. 1. 5 基地概念	14
3. 2 地球科学研究用観測基地	18
4. 深海底油田基地	41
5. より将来の利用法	43
5. 1 有人観測基地	43
5. 2 CO ₂ 貯蔵基地	43
5. 3 メタンハイドレート層採掘基地	44
5. 4 金属資源採鉱基地	45
5. 5 深海バイオ基地	46
5. 6 沈没タンカー重油回収	46
6. 極地での利用	54

7. 宇宙での利用	56
8. まとめ	58
謝辞	59
参考文献	60
付録	
1. NaK 中でのSS316 の腐食速度	62
2. 天気1年予報あたるかな（朝日新聞朝刊1997年5月19日）	64
3. 温暖化で海水の循環停滞（日本経済新聞朝刊1996年12月15日）	65
4. InterRIDGE計画とは	67
5. 多相流体輸送技術	69
6. 深海バイオ用高速炉熱源システム概念検討	70

表 リ ス ト

表 3. 1	長期気候予測用観測基地 1 設置センサ	22
表 5. 1	有人長期観測基地主要目	47

図 リ ス ト

図 2. 1	40 kWe システム	7
図 2. 2	200 kWe システム	8
図 2. 3	400 kWe システム	9
図 2. 4	深海高速炉開発スケジュール	10
図 3. 1	海洋大循環	23
図 3. 2	地球温暖化による気温上昇	25
図 3. 3	エルニーニョによる天災発生	27
図 3. 4	海水の力学・熱力学に関する諸過程	28
図 3. 5	北極海水の氷厚変化速度、移動経路、 及び海水変化過程に対する河川水の役割	29
図 3. 6	赤道近辺海水温度速度計算結果	30
図 3. 7	長期気候予測用観測基地 1	31
図 3. 8	音響 CT における送波器と受波器の配置例	32
図 3. 9	長期気候予測用観測基地 2	33
図 3. 10	地球科学研究用観測基地	34
図 3. 11	地震観測サテライト基地	35
図 3. 12	地殻変動観測サテライト基地	36
図 3. 13	熱水湧水帯観測サテライト基地	37
図 3. 14	物質エネルギー収支観測サテライト基地	38
図 3. 15	孔内地震観測サテライト基地	39
図 3. 16	磁気電物変動観測サテライト基地	40
図 4. 1	大水深海底石油生産システム	42
図 5. 1	有人長期観測基地	48
図 5. 2	分離型 CO ₂ 深海送り込みシステム	49
図 5. 3	深海 CO ₂ 貯蔵基地	50
図 5. 4	メタンハイドレート層採掘基地	51
図 5. 5	金属資源採鉱基地	52

図 5. 6	沈没タンカー重油回収図	53
図 6. 1	極地観測研究所	55
図 7. 1	ERATO20kWeシステム	57

1. はじめに

新原子動力グループでは深海高速炉として、20-40kWe及び、200-400kWeのシステムを検討してきた。この深海高速炉を現実のものとするためには、その具体的な利用法を提案する必要がある。深海は現在まで人類が余り活躍してこなかった領域であり、深海は人類にとって十分には明らかにされていない。従って深海高速炉に関しては、我が国の海洋・気象・石油・地震等の専門家からの開発研究に対する期待が大きく、また開発に要する予算も小さく、最も実現性の高いものである。本報告書では深海高速炉の利用法について、新原子動力グループで数年間かけて調査を行ってきた結果について記述する。

海での原子力利用と言えは我が国においては、かつての原子力船「むつ」の騒ぎを思い出し、国民的な理解を得るという観点から深海高速炉の開発研究は難しいのではないかとこの意見がある。この点に関して、新原子動力グループは原子力船「むつ」の騒ぎを十分に検討すれば、その解決策は出てくるのではないかと考える。

例えば、地上試験炉の次の、現在から10-20年後の実際に海洋で試験する深海一号炉については、外国に母港を設けることが考えられる。外国に母港を設けるということには、多少抵抗を感じられる人もいるかもしれないが、医学の分野で臓器移植とか新薬開発といった場合に、外国で十分に開発されてから日本に入ってきているという現実を考えると、日本が世界一の海洋国家であるが故に海洋の開発研究が盛んであるが、深海高速炉の開発研究の海洋での最初の試験のみを外国ですということも、止むを得ないのではないかと筆者は考える。

実際の母港設置場所に対しては、原子力研究が盛んで且つ海洋研究についても熱心なフランスの太平洋の植民地である仏領ニューカレドニアや米国、2000年までに日ロ平和条約締結が予定されているロシア、更には核廃棄物の貯蔵受け入れに意欲を示している南太平洋の島国マーシャル諸島等の方がその候補と言える。

勿論筆者は我が国に母港を設ける案を完全に否定するわけではない。原子力船「むつ」の場合は日本近海で原子力を利用することもあったが、深海高速炉の場合は原子炉を設置するのは太平洋の真ん中で深さ数千mの海底まで下ろしてから原子炉を起動させる。即ち、日本近海はただ運搬して通過するだけであるという両者の違いを考え、また原子力船「むつ」の場合の炉を製作した場所と母港の場所との地理的な距離、即ち余り離れるといわ

ゆるよその感覚が出てくるというような点を考慮すると、我が国に母港を設ける案についても更に検討すべき箇所があるように筆者には考えられる。

2 開発目標システム概要

2.1 40kWe システム

現在まで可搬型高速炉としては40kWe システム⁽¹⁾ 及び200-400kWeシステム⁽²⁾ を検討してきた。ここでは最初の開発目標とするプラントとしては、製作し易さの点から、図2.1の40kWe システムを選ぶ。また使用目的としては、現時点で需要が一番はっきりしている地球環境問題に必要な海洋データを観測する海底無人基地用動力源とする。勿論確かな需要があれば、このシステムを地上用及び宇宙用を使用することは可能である。

本高速炉システムは、現時点での技術的確立性の点から、一次系は冷却材溶融のための予熱が不要な、炉容器出口温度約 600°CのNaK冷却炉とし、二次系はガスタービン発電システム、即ち米国で宇宙用に既に開発されているHe-Xe混合ガス密閉ブレイトンサイクルとした。深海炉の場合全システムは、深海の高圧状態に耐えるように耐圧殻中に設置される。開発目標とするプラントの主要項目は次のようなものである。

電気出力：40kWe

熱出力：200kWt

燃料：約60% 濃縮UN

耐圧殻：チタン合金製、内径約2.6mの球状のものの2連球、厚さ約70mm

炉容器：SS316 製の2重容器

作動流体：1次系 NaK、2次系 He-Xe混合ガス

ループ数：1次系 1、2次系 4

廃熱：海水自然循環

中性子遮蔽材：LiH

全長：約5.2m

総重量：約20トン

炉容器出口温度：約 600°C

連続運転期間：5年

使用期間：30年

設置場所：水深3,500mの太平洋海底

耐圧殻に用いるチタン合金は、海水に対する腐食が無いことから、海洋開発では良く用いられる材質である。

1次系作動流体のNaKについては、30年以上以前に既に米国でNaK冷却炉を運転した経験がある。炉容器材質のSS316のNaK中での腐食については、当時の文献を検討して本報告書の付録1とした。筆者は、SS316のNaK中での腐食速度は、Na中での腐食速度とあまり差はないと判断している。

中性子遮蔽材のLiHは、重量が軽いために宇宙炉設計で用いられる材料である。水と反応するがその反応は爆発的ではない。ここでは従って、LiHの表面を薄い金属板で覆って、仮想的な海水の耐圧殻内への漏洩事故時にも、海水とLiHが直接接触しないようにしておけば、深海用のシステムにも使用可能であろうと判断した。

設置場所とした水深3,500mの太平洋海底は、十分に広い海底域である。最初の設置場所としては、設置に関する技術的な容易さからは浅い海底が望ましいが、余り狭い海底域と限定するのも良くないという判断から、水深3,500mを選択した。

尚ここでは耐圧殻は内径約2.6mの球状のものの2連球としたが、図2.1に示す原子炉部分の球状耐圧殻については内径約2.0m程度まで小型化出来る可能性がある。そうすれば上記プラントの主要目のうち、全長及び総重量も少し小さな値になる。詳細は、実際の製作時の設計作業での検討項目である。

2.2 200-400kWeシステム

水深1,000m以上の深海海底油田では、付録5及び後に図4.1の最左の欄に示すような多相流ポンプを備えた無人の生産システムが必要になると想定されている。海底油田の場所が、陸地から百km以上離れたような遠方の場合では、多相流ポンプに必要な約1,000kWeの電力を陸地から電力ケーブルで送電するのは、経済的ではない。深海用の可搬型高速炉の利用が考えられる。

図2.2には200kWeの高速炉システムを示す。ここではこのシステムを水深1,500m用として検討する。原子炉の冷却材NaKの最高温度は熱効率を良くするために、前節の40kWeの目標プラントの場合より50℃温度を上げて650℃とする。耐圧殻の材質はシステムからの廃熱を良くするために10%Ni鋼とする。耐圧殻の形状は内径3mの2連球で、厚さは

37mmである。耐圧殻からの廃熱は、海水の強制循環により行う。図には示していないが海水を流動するためのファンは海水中に設置するものとする。重量は約25トンである。

図2. 3には400kWeの高速炉システムを示す。図2. 2と同様の方針で設計を行うものとする。重量は約33トンである。深海海底油田では、図2. 3の高速炉システムを2基備えれば総発電量は800kWeとなり、ほぼ目的が達成されることになる。

2. 3 スケジュール

本開発のスケジュールを図2. 4に示す。計画全体について言えば、まず最初の10年間は深海炉の実用化を目指すことを研究目標にし、その後は地上炉及び宇宙炉を研究目標にする。

1. の地上試験炉では、最初の10年間は深海炉の実用化を目指すために、地上試験炉の設計・製作・試運転・過渡試験・連続試験を行う。設計では、熱流動解析、構造解析、信頼性解析等を行う。過渡試験では、異常及び事故事象を含む色々な過渡事象に対応する実験を行う。連続運転は、本システムが数年間の連続運転が可能であることを証明するために行うものである。尚この地上試験炉では、使用する燃料としては3章で説明した目標とする可搬型炉で使用する約60%濃縮UN燃料ではなく、Pu富荷度約50%のMOX燃料を使用する。これは地上試験炉のスケジュールを短縮するために、60%濃縮Uを輸入する交渉をせず、動燃の現状技術で可能な燃料を使用しようという立場に立ったためである。

ガスタービン発電装置は、2次系に使用する密閉ブレイトンサイクル(Closed Brayton Cycle: CBC)を製作するもので、これは米国NASAからの仕事を受託して密閉ブレイトンサイクルを開発した、米国の会社に発注するのが良いと考える。

2. の安全解析は、最初の5年間は地上試験炉製作の際の安全審査対応に必要な、安全解析を行うものである。後の5年間は、最初に海洋で試験する5. の深海1号炉のための解析を行う。

3. 炉物理試験は5. の深海1号炉用に、仮想的な耐圧殻海水漏洩事故時に、更に炉容器バウンダリーが破損して炉心内に海水が侵入したとして、この炉心浸水状態での未臨界性を確認するものである。これは原研のFCAで行うのが良い。

4. 窒化物燃料のスケジュールは、1. の地上試験炉用の燃料としては現状技術で可能な酸化物燃料を使用するのに対して、5. の深海1号炉用にはより小さな炉心が可能とな

る窒化物燃料を使用しようというものである。

5. 深海1号炉では、1. の地上試験炉の過渡試験の終了時期に準備期間を予定した。この準備期間中に、原子力界以外の関係機関の人々との十分な打ち合わせが行われることになる。この打ち合わせの結果実施可能という結論ができれば、深海1号炉の設計製作に進む。深海1号炉の海中試験については今の時点では何も言えないが、海洋関係機関の協力を得て動燃が実施主体となることもあり得る。

尚、5. 深海1号炉の計画が不幸にも万一予定通り実施されない場合は、1. の地上試験炉の試験研究のみになる。この場合は、地上炉および宇宙炉の試験に約10年かかるので、全体としては約20年のいわゆる可搬型炉の基盤研究を行うことになる。この場合でも、可搬型炉という人類にとって高速炉の新技术を開発したと言うことは出来る。

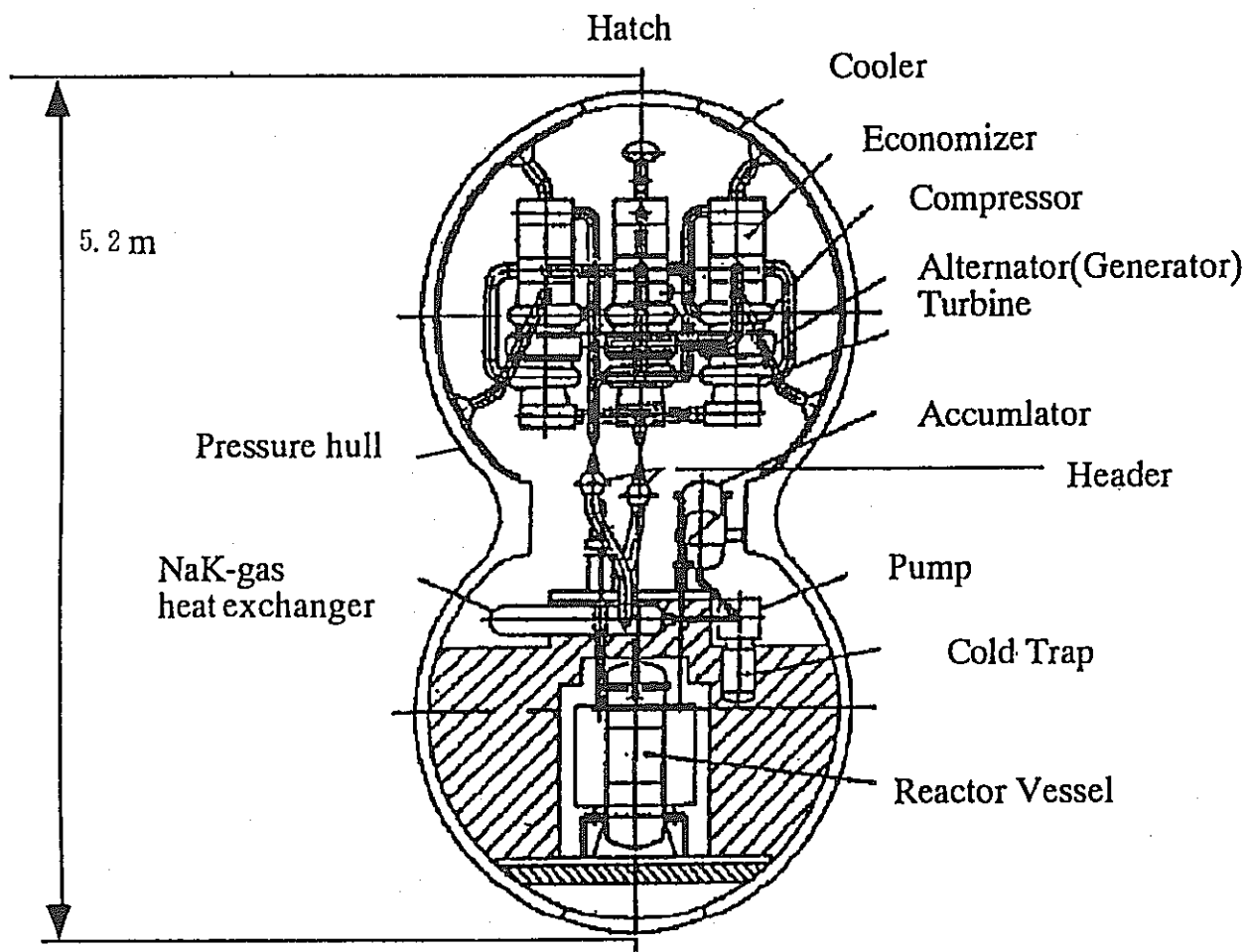


図 2. 1 4 0 k W e シ ス テ ム

40 kWe system

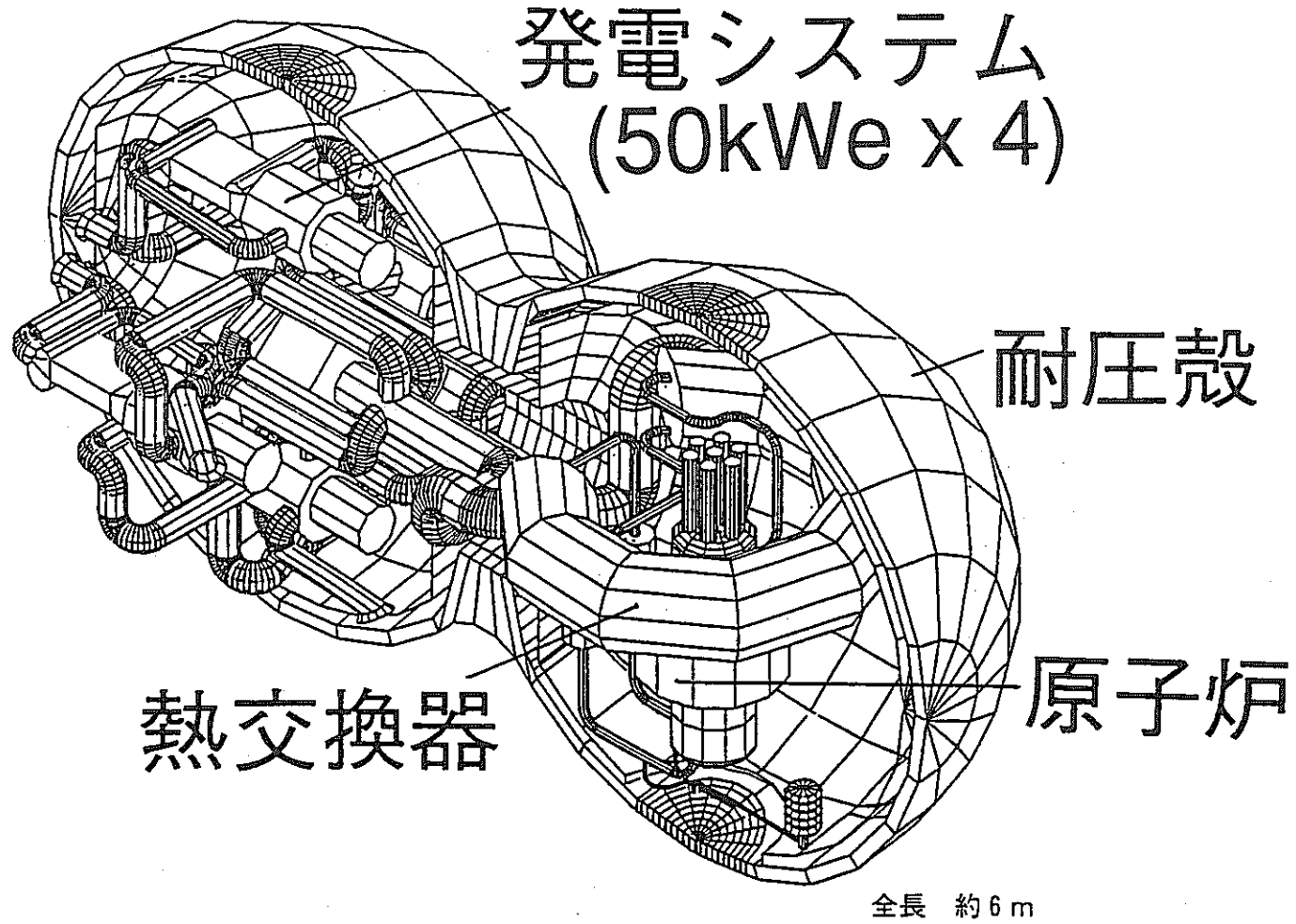
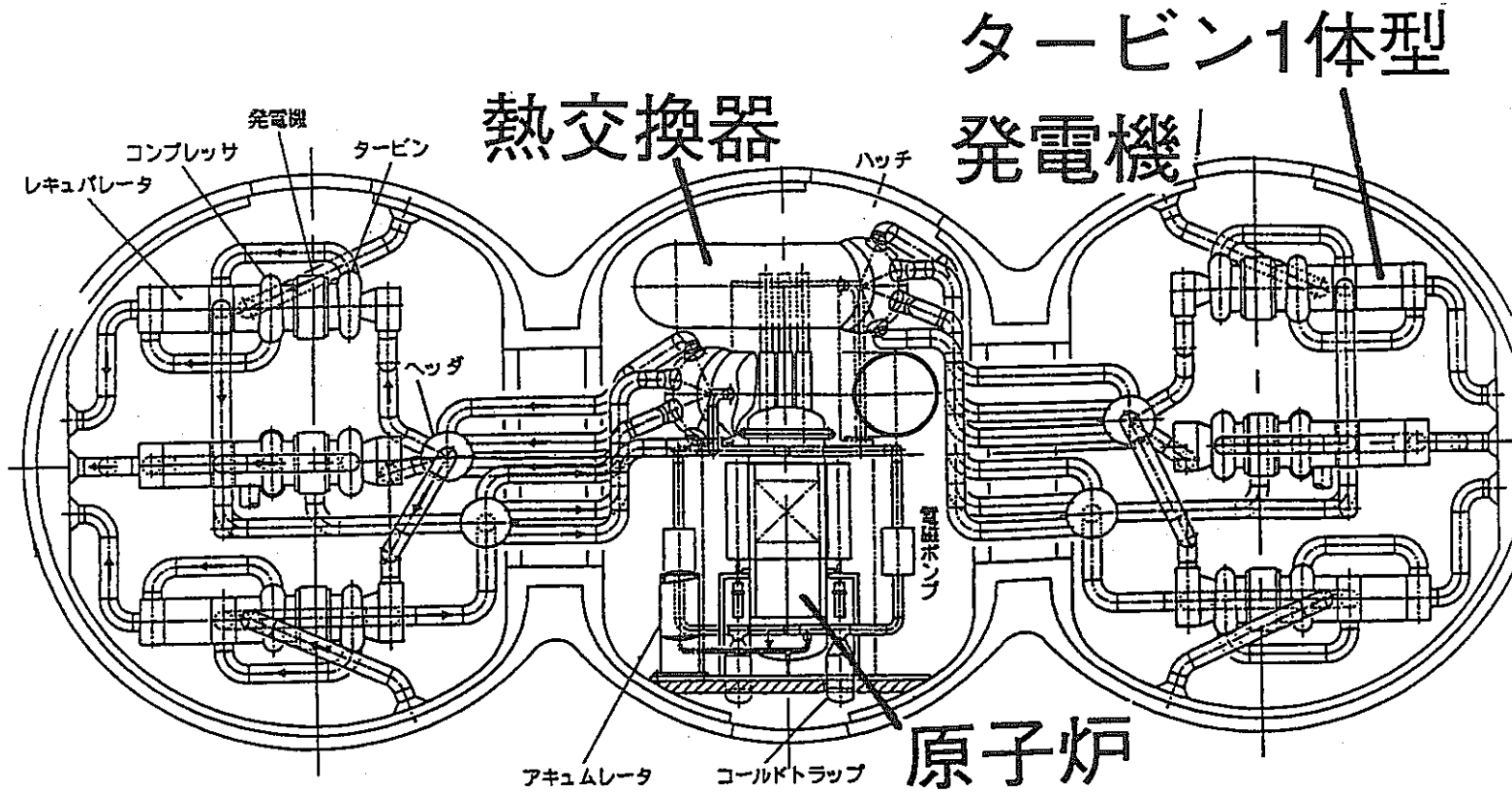


図2. 2 200 kWe システム

200 kWe system



400kWシステム

全長約8m

図2. 3 400kWeシステム

400 kWe system

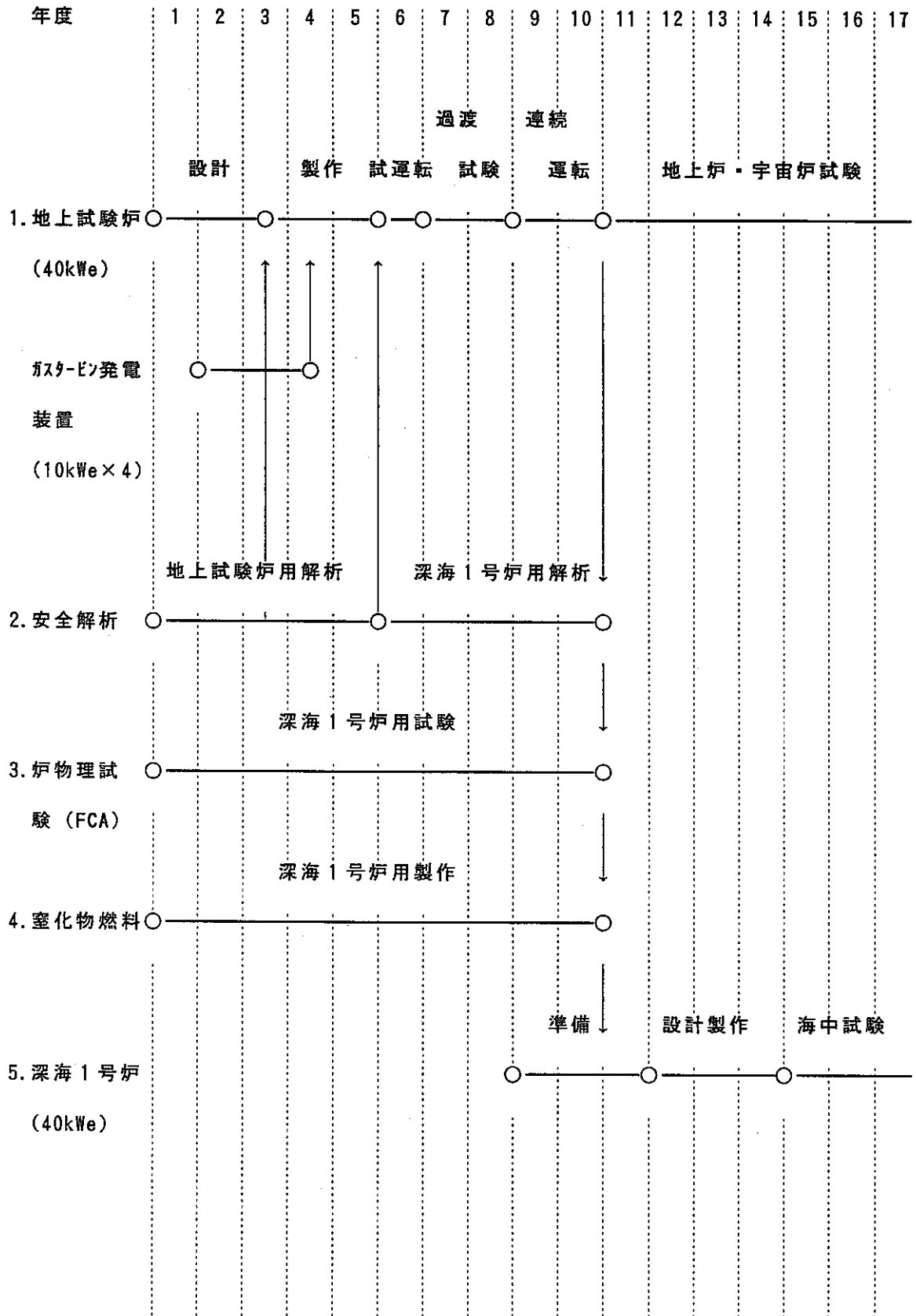


図 2. 4 深海高速炉開発スケジュール

Development schedule of deep sea fast reactor

3. 無人観測基地

3. 1 長期気候予測用観測基地

3. 1. 1 海洋大循環

気象の異常が社会生活に及ぼす影響は非常に大きいものである。異常気象を含む長期気候変動を前もって予測することは、人類にとって大きな課題である。付録2の朝日新聞（'97年5月19日夕刊）によれば、気象庁には現在「1年予報」構想があり、気象審議会に諮問中である。また産業界には「3～5年先まで知りたい」という要望がある。

海洋の循環は熱帯、亜熱帯、中緯度、亜寒帯、高緯度や極域の全海洋域に存在する。近年もっと長期的な気候変動の原因として全球（全地球の意味）的な熱の流れでもある、海水の全球的流れ、「海洋大循環」が取りあげられるようになった。図3.1は米国コロンビア大学ブロッカー教授が、海洋大循環をベルトコンベアーの動きに例えて作成したものである⁽³⁾。この図から分かるように海水の流れは表層だけでなく、深層にも存在する。従って海洋大循環の観測は海面表層にとどまらず、中層から深層の観測も必要であり、かつ全球的な観測も必要である。付録3の日本経済新聞の記事のように、最近特に地球温暖化の影響で、深層の海水流れが異常に変化しているのが問題視されてきている。また参考文献(3)の海洋研究全般についての教養書でも、大西洋の深層流れの一時的停止によって、過去の地球の急激な寒冷化が起こったという最近の学説を紹介している。

図3.2には気象庁気象研究所が開発した全球気候モデルを使用して計算した、地球温暖化による50年後の気温上昇予測を示す⁽⁴⁾。この計算によれば、2035年には世界平均で1.2℃の気温上昇となり、特に北半球では気温上昇が大きく、オホーツク海では約4℃上昇する。このモデルの改良には、海水の表層から中層と深層への及びその逆の流れについての、詳細な観測データが必要である。

二酸化炭素や炭化水素等のいわゆる温室効果ガスが原因と考えられるこの地球温暖化の問題の解決には、大気中の50倍以上の炭素が存在するといわれている海洋についての詳細な観測データが必要である。海洋は、大気-海洋間相互作用、生物活動、海水循環、堆積作用などを通じて物質（炭素）循環に大きな役割を果たしている。しかし、海洋に関する知識は温暖化を十分な精度で予測するためには極めて不足しているのが現状である。具体的には、炭素の大気/海洋間の移動量、海洋中の炭素の存在量、炭素の海洋/海底間の移動

量、基礎生産に必要な栄養塩の溶存量、中層深水の循環、海底堆積作用による物質の移動量などの説明が重要である。

日刊工業新聞（'97年5月19日）では、炭素循環の仕組みを解明する大がかりな国際共同研究が、日本、中国、ロシア、タイ、インドネシアの研究機関の間でこれから5年間行われると報じられている。

3. 1. 2 エルニーニョ

図3. 3は、エルニーニョ現象がアジア大陸から南北アメリカ大陸に到る広い地域にもたらす天災を示したものである⁽⁵⁾。我が国の気象庁においても、気象異常の研究が精力的に進められている⁽⁶⁾。この気候変動に大きな影響を持つのが海洋であり、海水の流れによる熱の移動である。このため全地球的な海洋観測と、これに基づく海洋大気数値モデルによるシュミレーション技術の研究が日米欧をはじめ世界中の研究所等により進められている。現在科学技術庁を中心に計算科学研究「地球シミュレータ」開発が検討されているが、これは長期気候変動を予測する精度の良い解析プログラムを作ることである。

現在海洋での観測には、後に説明する観測ブイが多数用いられているが、これでは深さ方向の観測点数が限られる。エルニーニョ現象の研究のためには海面下数100m迄の表層全体を把握する必要があるため⁽²⁹⁾、将来2～3か所には深海高速炉を用いた無人基地を設置して、海表面から深海までにわたって十分な数の観測を行うことが望まれる。

3. 1. 3 海水

世界の海洋の約10%は氷に覆われる。地球温暖化の影響は高緯度の雪氷圏で大きく、特に氷水域の面積に大きな変化を起こすことが知られている⁽⁷⁾。また我が国の気象とオホーツク海の海水については、次のような重要な観測結果が報告されている。熱帯太平洋の海水温の異常が中高緯度の大気に異常をもたらし、その結果としてオホーツク海の海水面積に影響を及ぼしている。例えば、オホーツク海の海水面積の変動とエルニーニョ現象とは相関があり、エルニーニョ年は海水面積が大きくなり、反エルニーニョ年には逆に小さくなるという⁽⁸⁾。

このように高緯度域の氷水域は、地球の冷源として大気、海洋の地球規模の大循環に関係しており、地球の気象に大きな影響を及ぼすことが明らかになってきた。即ち、氷水域

での物理過程（力学、熱力学）の研究は、気候変動の研究にとって非常に重要になってきている。しかし海水についての観測データは現状では十分でなく、今後は広範囲の観測を継続して行う必要が指摘される。現在のところ人工衛星によっても、陸地からのレーダ観測によっても、海水の厚さの分布は定量化出来ていない⁽⁹⁾。現在有効な広範囲の測定は、潜水艦の上方探査ソナーでなされている。しかしこの測定は北極海では限定され、南極海ではない。また潜水艦の深さが不明なので、臨界的なうすい水のものには適しない。オホーツク海等の海水の長期的観測が、地球温暖化の検出に基礎を与えるものと見られている⁽¹⁰⁾。氷海域での海洋観測を行う場合には、その電源として深海高速炉を設置した、AUV（自律型無人無策潜水機）を備えた海底基地の利用が有効と考えられる。

図3. 4は海水と周囲との熱的、力学的相互作用を模式的に示したものである⁽¹¹⁾。海水表面での熱流束には太陽放射、大気・雲からの赤外放射、大気境界層内の乱流熱流束（顕熱及び潜熱）、海水による赤外放射がある。海水やその上の冠雪層の中では、熱は主に伝導によって伝わる。冠雪は海水に比べて含有する空気量が多く、断熱性も海水の約10倍である。海水も比較的熱伝導率が低く、氷海においては大気～海洋間熱交換過程に対して断熱材として働く。海水は単に海洋から大気へ移動する熱に対して遮蔽効果を示すのみならず、太陽や雲からの放射に対する反射効果がかなり大きい。

しかし広大な氷海においては、海水内部の熱伝導過程も重要である。日射によって海水が吸収した熱量の大部分は、表面付近の雪や氷の温度上昇と融解に費やされ、残りが海水内部に伝導する。海水は厚さの増加とともに大気～海洋間熱交換が著しく減少するため、面積比にして数%しかないlead（氷板間の隙間の開水路）での熱交換が大きくなる。leadの占める割合の比較的大きい氷海域では、融解時期における開水路の役割が極めて大きい。

海水の底面では、海水との熱・塩分交換が行われる。海水は結氷時に塩分を排斥するので、海水の塩分濃度は海水より低い。排斥された塩分は海水直下の海水と混合し（混合層を形成）、周囲より高い濃度の塩分水（brine）を形成する。

図3. 5は北極海で長期にわたり観測された海水データをもとに、海水の厚みの変化速度の年平均値を示したものである⁽¹²⁾。北極海中央部には渦が発生しているため、中央部の海水は渦中心で生成、成長して周辺部へと移動していることが分かる。一方シベリア大陸からは大規模河川が数多く流入しており、北極海にもたらす真水は膨大な量に上る。この河川水を多く含む海水は北極海のシベリア大陸棚上で結氷と融解を繰り返しつつ移動する。この結果、北極海には図に示すように2つの異なる海水からなる。両者の生成過程の

違いは塩分に最も大きく反映される。つまり、北極海中央部の海水は、周辺の陸棚海域（縁海）に比べて塩分が高く（約0.3%）、陸棚水は含んでないことを示している。

3.1.4 観測ブイ

これらの量の観測のために、近年従来の局所的な観測に替えて、海洋全体に設置されたブイを用いた地球規模における二酸化炭素などの物質循環についての観測が計画されている。

図3.6には米国NOAAの研究者が大型計算機で計算した赤道近辺の海水の温度と速度を図示するが⁽¹³⁾、このような詳細な計算結果を観測データで確認するためには、観測データも十分に詳細なものでなければならない。

ブイの動力源としては電池が用いられているが、電池容量の制限から、観測項目、観測点分布、データサンプリング時間や回数、データリアルタイム伝送の容量や回数、さらに観測期間などを大きく制限しており、単機能・少数点・短期の観測を強いられている。

ここに、ブイシステムの動力源として、長期間使用可能な高速深海炉を用いることができれば、上記のような制約から解放され、総合的・広範囲・長期に海洋環境を観測することができ、地球環境問題の解決に大きく寄与することができる。

3.1.5 基地概念

このような動力源があれば、上記海洋大気数値モデルの作成に重要な南極や北極の氷山の厚さの時間的変化の測定も観測対象となる⁽¹⁴⁾。即ち、超音波測定装置を装備したグライダー型潜水艇AUV(Autonomous Underwater Vehicle)⁽¹⁵⁾にこのような動力源で給電し、定期的に、例えば1週間間隔でこのAUVを航行させて、氷山の底の位置を測定し、氷山の厚さの時間的変化を求める方法が考えられる。

ここでは深海高速炉を動力源として、従来の測定技術を用いて気象・熱循環及び物質循環の観測を総合的に実施し、衛星通信によりこれらの大量の観測データをリアルタイムで陸上基地へ伝送する長期気候予測用観測基地1と、現在研究開発中の音響計測機器トモグラフィシステムを用いた長期気候予測用観測基地2を検討した。以下にその各々について説明する。

(1)基地概念1

図3. 7に本基地の概念を示す。深海高速炉を用いた動力源基地を中心とし、メインブイ（表層ブイ）、中層ブイ及び低層台をつないだシステムである。このシステムは精度のよい海洋大気数値モデルの作成に必要な、海表面から海底までの各種海水データの鉛直方向分布を観測するものであるが、本システムを数100km間隔で設置することにより広い海洋の領域を観測することができる。これらのシステム間はAUV（自律型無人無策潜水機）が回遊観測して補間するものとする。AUVは動力源基地で動力の供給を受けると共に取得したデータを伝送する。AUVはまた海洋観測ブイシステムのメンテナンスにも供する。

このシステムには、気象観測及び衛星通信のため、表層ブイが必要である。一方、動力源基地から表層ブイまで動力や信号を伝送するため、ケーブルは光電力複合ケーブルとすることが必要となる。複合ケーブルはヤング率が小さく、表層ブイの係留索と兼用すると、悪海象時や強潮流に耐えるようにするにはケーブルが巨大となる。この対策として下記に示したようなコンセプトを考える。

メインブイ（表層ブイ）

役割：気象観測、衛星通信、ADCP（流向流速）及びCTD（塩分・氷温・圧力）の鉛直分布計測

係留方式：係留用ナイロンロープと情報電力伝送用光電力複合ケーブルの併用。

※海象の影響が大きい浅水部はからみを避けるためケーブルのみとし、深水区は係留用にはヤング率が大きく伸縮に自由度があるナイロンロープを、伝送用には余裕長を持たせた複合ケーブルの2本建てとする。

中層ブイ

役割：流向流速計測及び沈降粒子計測（セディメントトラップ）

係留方式：中層ブイ（光電力複合ケーブル）

※表層ブイは海象の影響を受けケーブルが振動するため、流速計測は精度をあげるため中層ブイでも計測する。沈降粒子はプランクトンの死骸で、海洋中の炭素循環の解明に重要な量である。

低層台

役割：深層環境の化学変動観測

係留方式：ヤグラ式

※化学センサを各計測点につけることは難しく台上に装備する。各計測点から海水を汲みあげる必要がある。

ブイ及び台に取り付けるセンサの種類と数を表3. 1に示す。これらのセンサの開発状況を次に説明する。

沈降粒子計測及び深層環境観測以外のセンサは既に広く用いられている。しかし、使用期間が1～2年であり、もっと長期にメンテナンスフリーで耐久性のあるものの開発が必要である。特にCTDについては浅水部に設置するものに対し、生物付着対策が問題である。沈降粒子計測に関しては、沈降粒子を集めるだけのものは既に広く用いられているが、その量を現場で計測し分析する装置は現在開発中である。深層環境観測（PH・Eh, TCO₂, PCO₂）については、船上での分析器は広く用いられているが、現場分析のセンサは現在開発中である。本システムに必要な電力量は次の通りである。

メインブイ（表層ブイ）

センサ	気象用	50We× 2	100We
	CTD	130We× 92	11,960
伝送	信号処理		100
	データログ		100
	通信制御		40
	衛星通信		150 (インテルサットC)
小計			12,400

中層ブイ

センサ	ADCP	150We× 12	1,800We
	セディメント	150We× 12	1,800
	洗 浄	150We× 12	1,800 (トラップ洗浄)
伝送	信号処理		100
小計			5,500

低層台

センサ	化学分析	150We × 4	600We
	ポンプ	150We × 12	1,800 (海水汲上げ)
伝送	信号処理		100
小計			2,500
	合計		20,400We
伝送ロス	(20%)		4,080We (電圧降下)
AUV 充電			6,000
総計			30,480We ≒ 35kWe

(2)基地概念 2

最近音波を伝搬させることによりリモートセンシングとして三次元温度速度密度分布の測定を可能とする音響CT技術トモグラフィーが研究されている⁽¹⁶⁾⁽¹⁷⁾。これは図3.8に示すように、音響の送波器及び受波器を水深約1,000mに取り付けたブイを数100km離して設置して測定するものである。この送波器と受波器のうち送波器の使用電力は約900Weと、他の測定機器と比較して非常に大電力を必要とするものである。従ってこのトモグラフィーは、深海高速炉のような数十kWeの電源と組み合わせてその真価が発揮されるものと言える。

図3.9に本観測基地における送波器と受波器の両方を取り付けたブイの配置を示す。一つのブイに送波器と受波器の両方を取り付けるのは、速度分布の測定には双方向に音波を伝搬させる必要があるからである。温度や密度のみの測定であれば図3.8のように、送波器及び受波器を分離して配置してもよい。図3.9で温度速度密度分布が測定されるのは、音波の通り道である音線が交わっている点においてである。この交点で、海表面から海底までの鉛直方向の温度速度密度分布が測定される。これだけの数の測定点があれば、図3.6の温度及び速度分布の計算結果の確証にほぼ十分と言えよう。図3.6に於いて深海高速炉は円の中心に位置している。従ってこの円の半径を150-200kmとすると、この距離を海底ケーブルで深海高速炉が発電した電力を交流で送電することになるが、現在

カナダのバンクーバーにおいて38kmの交流海底ケーブルが使用されているという事実があるので⁽¹⁸⁾、深海高速炉の電気出力40kWeのうち例えば2kW即ち5%のみ送電出来れば良いというのであれば、150-200kmの送電は可能であろうと我々は推測する。

3. 2 地球科学研究用観測基地

昔から、地球の表面は幾つかの地殻（プレート）に分割されており移動しているというプレートテクトニクス理論が提唱されていたが、近年になってその理論を立証するデータが続々と出され一般的な知識となってきた。このプレートテクトニクスはプレートの一端から新しいプレートが生まれ（湧出し）、他端に向って移動して最後は消滅する（沈み込み）というものである。これに伴い、海底の隆起や沈降、地震や火山活動、冷水や熱水の湧出など様々な現象を伴い、これらの環境から特異な生物や微生物のコロニー、深海底鉱物資源などが発生している。

このような深海底の調査ははじまったばかりであり、大部分が未踏の場所であり未知の世界である。これらの調査は、地球の構造や変動を明らかにするための学術的研究にとどまらず、地球の将来の環境、地震や津波などの災害予測、新種のバイオ資源やレアメタルが豊富な鉱物資源の利用など人類生活に密着したものも多い。

さらには、深層海流、深海堆積物、海水・海底の相互交換など前述の熱循環や物質循環など地球環境問題に大きな影響を及ぼす課題も多い。

深海底の状況の変動は、相互に非常に深い関係があり、時間的にも長期間にわずかな変動がある中で、突然瞬時にまたは短期に大幅な変動をする。したがってこれらの観測は総合的にかつ長期に実施する必要がある。

ここに動力源として、長期無補給でメンテナンスフリーの原子動力を用いることができれば、動力源からの制約から開放され、総合的・高密度・長期間の深海底環境を観測することができ、地殻変動とそれに伴う諸現象の解明とそのモニター、またその環境下での生物・微生物の生態の解明などに大きな貢献をもたらすことができる。

地球科学研究用観測基地は、深海底において各種の観測を行うものである。現在我が国では国際協力でインターリッジ計画と呼ばれる、地球上の大洋にのびて存在する中央海嶺に関して、深海底変動の長期観測及び、海底噴火活動の探知と調査を実施しているが、地球科学研究用観測基地はこのような研究のために、海底に設置するものである。インター

リッジ計画に関しては、付録4で説明する⁽¹⁹⁾。

図3. 10に地球科学研究用観測基地全体を示す。図3. 11から図3. 16にはこの地球科学研究用観測基地の中央動力基地から電力の供給を受けて、各種の観測を行うサテライト基地を示す。

地球科学研究用観測基地のコンセプトは次のようである。

原子力を動力源とする中央動力基地を中心に種々の観測機能をもつサテライト観測基地を配置する。中央動力基地とサテライト観測基地間はケーブルでつなぎ、動力供給とデータ伝送を行う。中央動力基地に隣接して通信用の表層係留ブイを配置し、衛星通信により陸上基地へリアルタイムデータ伝送する。中央動力基地から発進するAUVを配置し、サテライト観測基地の保守管理させると共に、サテライト観測基地間のデータの補間収集を行う。次に、基地の構成、センサの開発状況、必要電力量について説明する。

(基地の構成)

中央動力基地

動力供給部，データ収集部，AUV発進部からなる。

○動力供給部・・・各サテライト観測基地及び係留ブイへ給電する。

○データ収集部・・・各サテライト観測基地のデータを収集処理し、係留ブイへ伝送する。

○AUV発進部・・・AUVの発進・帰着を誘導する。動力部からの充電を受ける。データ収集部へデータを伝送する。

表層ブイ

表層ブイとケーブルからなる

○表層ブイ・・・衛星通信装置を装備し、セントラ動力基地から伝送されたデータを陸上基地へ伝送する。

○ケーブル・・・光電力複合ケーブルにより、電力とデータを伝送する。

サテライト観測基地(1)：地震観測基地

断層帯などに沿って配置し、地震や地形や地形変動を観測する。中央動力基地から2～30kmに5基。

○搭載センサ・・・地震計，ハイドロホン，傾斜計，歪み計，ガンマ線計測器，

熱流量計サテライト観測基地(2)：地殻変動観測基地

プレートの境界両側に設置し，地殻の移動を観測する。

○センタ動力基地から2～30kmに4基

○搭載センサ・・・音響測距システム，傾斜計，CTD

サテライト観測基地(3)：熱水湧水帯観測基地

熱水や冷水の湧水帯に配置し，湧水状況や生物コロニーの観測をする。中央動力基地から2～30kmに5基。

○搭載センサ・・・地震計，ハイドロホン，テレビカメラ，CTD，流向流速量，熱流量計

サテライト観測基地(4)：物質エネルギー収支観測基地

深海底における物質エネルギーの収支を観測する。センタ基地の近辺に3基。

○搭載センサ・・・鉛直湿度分布計測……CTD，地下温度計

沈降粒子観測……セディメントラップ，現場分析器

環境化学変動観測……O₂溶存，CO₂溶存，PH

サテライト観測基地(5)：孔内地震観測基地

深海堀削船で堀削された孔を利用して，地中深い位置の物理量を計測する。中央動力基地から5kmに1基。

○搭載センサ・・・地震計，傾斜計，歪み計，温度計

サテライト観測基地(6)：磁気電物変動観測基地

サテライト観測基地(1)，(2)および(3)に敷設されたケーブルに流れる電流を利用して，磁気・電物の変動を計測する。センタ動力基地から2～10kmに10基配置

○搭載センサ・・・磁気センサ，電場センサ

(センサの開発状況)

音響測距及び沈降粒子と環境化学変動の観測装置を除き、広く用いられている。ただし使用期間は1～2年までであり、もっと長期にメンテナンスフリーで耐久性のあるものとする必要がある。また設置の困難さを考慮し、基地のコンパクト化やケーブルの細径化を図るため、センサのコンパクト化が必要であり、現在開発が進められている。

○音響測距・・・基線1 kmで分解能2 cmオーダーのものが実験中であるが、1 cm精度のものとする必要があり、現在開発中。

○沈降粒子及び環境

化学変動の観測装置・・・海洋環境観測基地の場合と同じく、現在開発中。

(必要電力量)

サテライト観測基地

(1) 地震計測基地	3 kWe × 5 = 15kWe
(2) 地殻変動観測基地	1 kWe × 4 = 4
(3) 熱水湧出帯観測基地	5 kWe × 5 = 25
(4) 物質エネルギー収支観測基地	1 kWe × 3 = 3
(5) 孔内観測基地	1 kWe × 1 = 1
(6) 磁気電物変動観測基地	0.1kWe × 10 = 1

計 49kWe

中央基地 信号処理・通信制御 2kWe

係留ブイ 信号処理・衛星通信 1

合計 52kWe

伝送ロス 20% 10kWe

総計 62kWe

表 3. 1 長期気候予測用観測基地1設置センサ

Sensors Used at an Observation Base 1 for Long Term Climate Prediction

ブイ	観測項目・センサ	設置位置	センサ個数
メインブイ (表層ブイ)	気象観測 大気圧, 大気温度 相対湿度, 風向風速 雨量, 短波放射	ブイ上 各2	各2
	海水塩分温度計測 CTD	水深 100mまで 10m毎 400mまで 25m毎	92
	流向流速計測 ADCP	5, 500mまで100m毎 6, 000mまで 25m毎	
	海底下温度計測 温度計	海底下10mまで	3
中層ブイ	流向流速計測 ADCP	100m毎	60
	沈降粒子計測 セディメントトラップ	500m毎	12
低層台	深層環境観測 PH, Eh PCO ₂ , TCO ₂	台上 各1 取水口 海底上 1, 5, 10, 20, 50cm 海底下 1, 5, 10, 20cm	各1

CTD ; 塩分・温度・圧力計測センサ

ADCP ; 超音波式多重層流向流速計

PH ; ペーハーセンサ

Eh ; 酸化還元電位センサ

PCO₂, TCO₂ ; 炭酸ガスの分圧及び全圧計測センサ

II ダイナミックな海洋の動きと気候変動

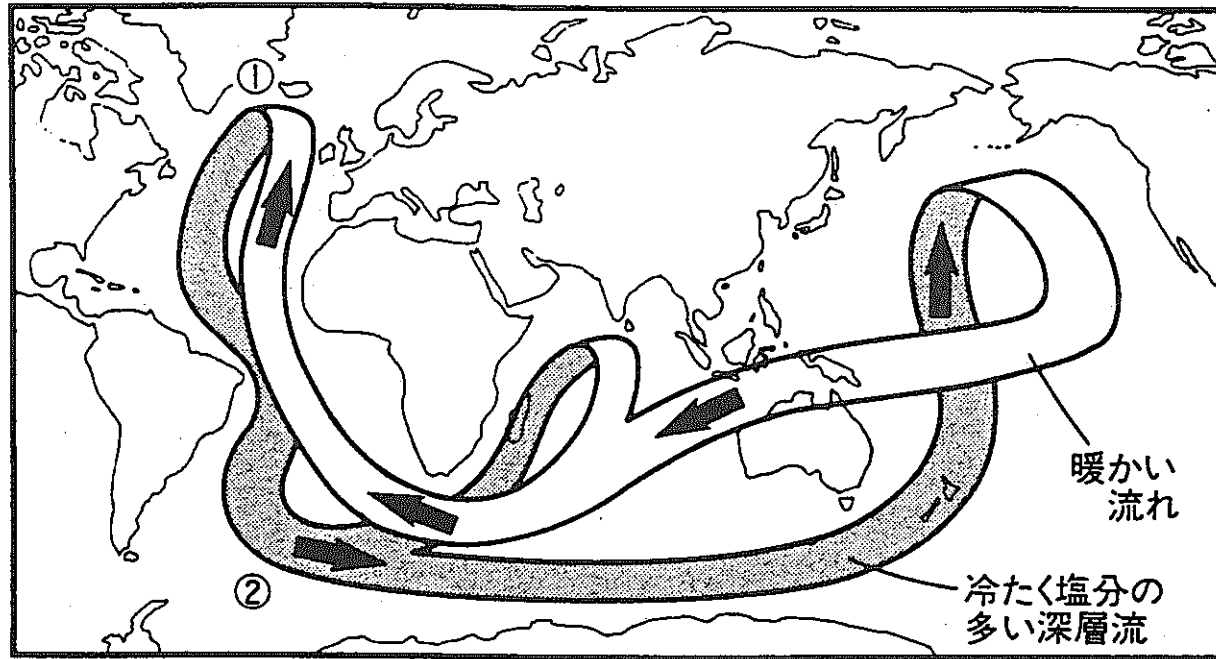


図 II-1 ブロッカーによるベルトコンベアー (Broecker, 1990 による)

図 3. 1 海洋大循環⁽³⁾

Water circulation of the world ocean

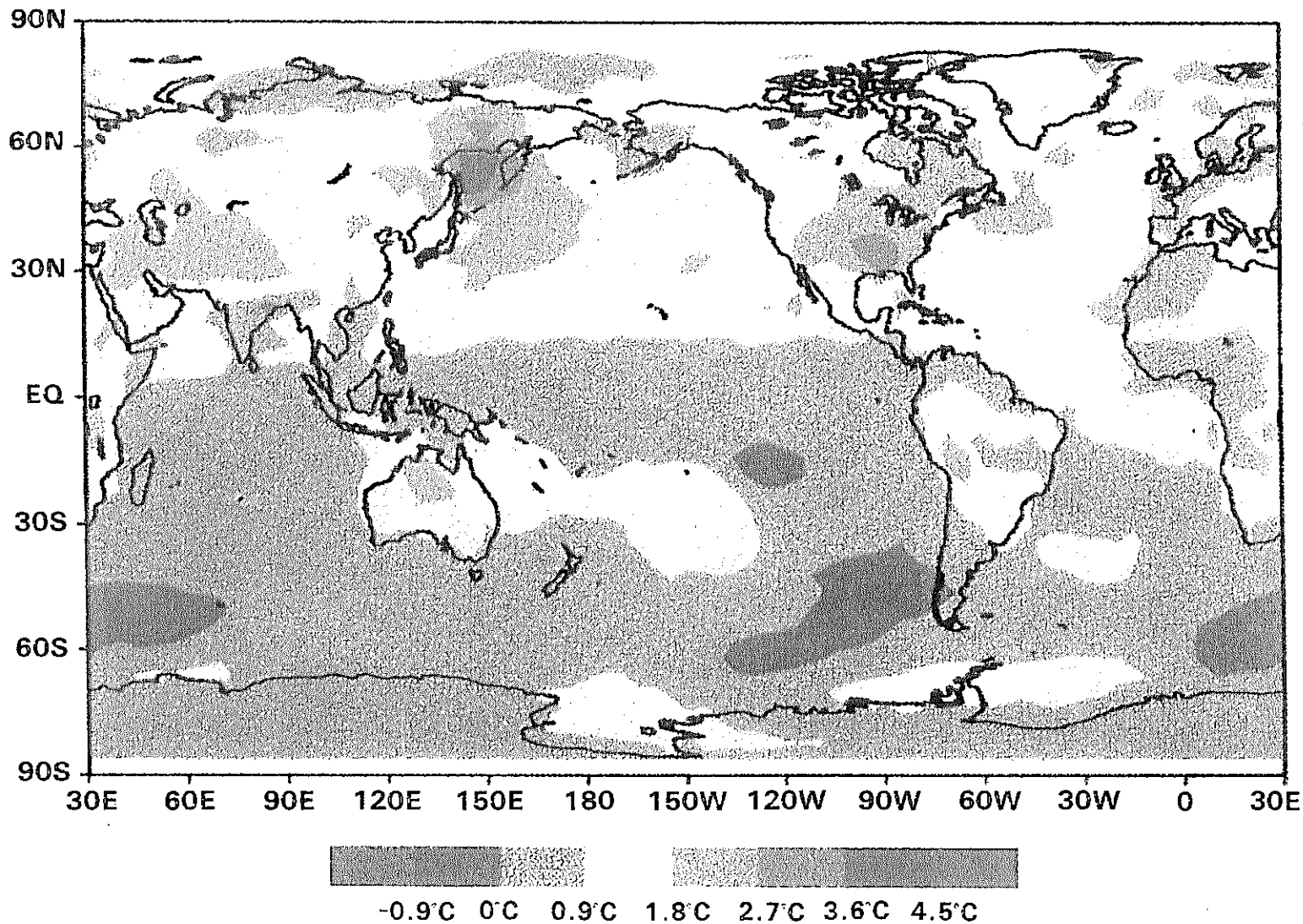
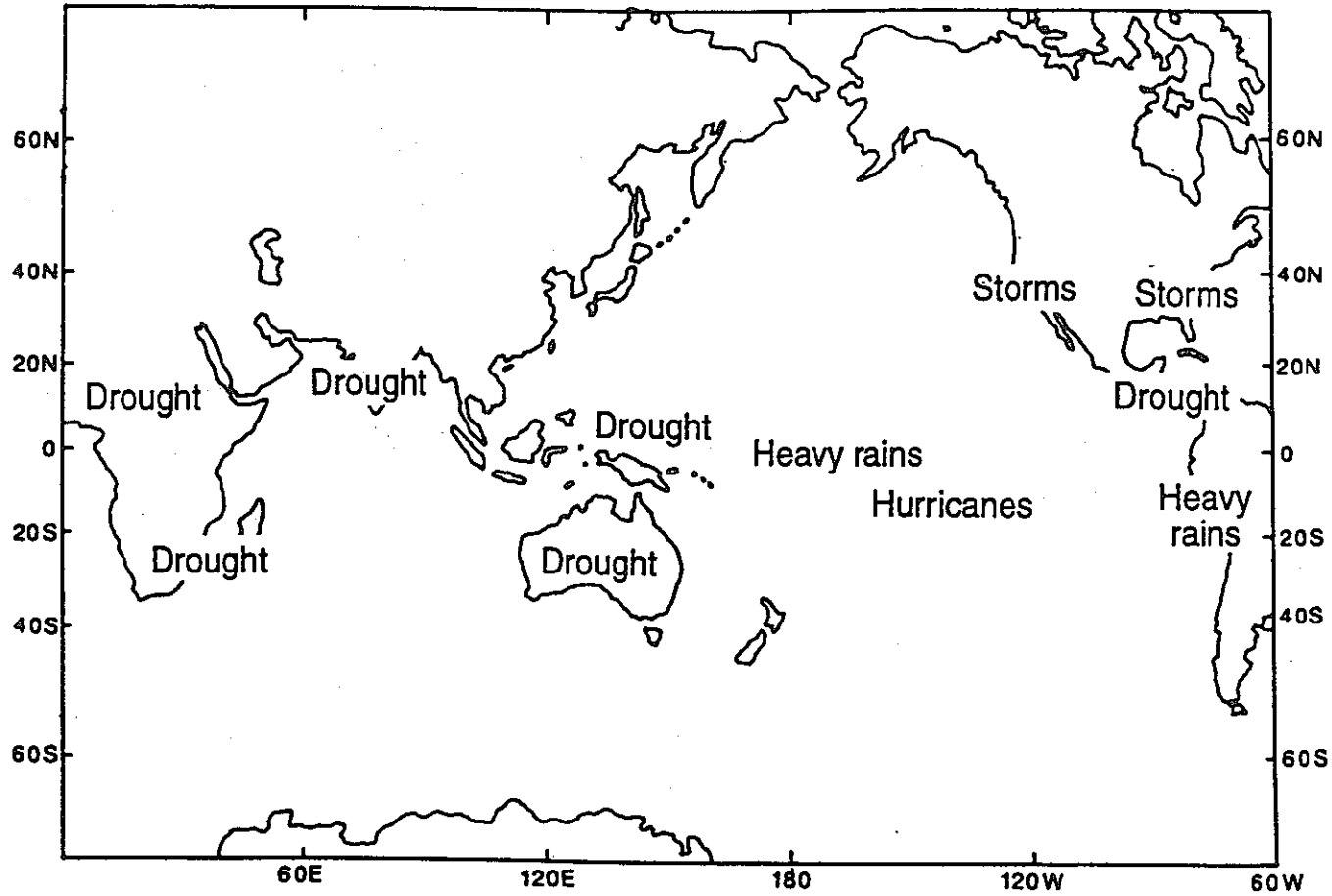


図 3. 2 地球温暖化による気温上昇 (4)

Atmospheric temperature rise due to the earth warmed

ENSO: Ocean-atmosphere interaction in the tropics



The impact of ENSO in the tropics beyond the Pacific Basin

図 3. 3 エルニーニョによる天災発生 (5)

Natural calamity caused by El Ninyo

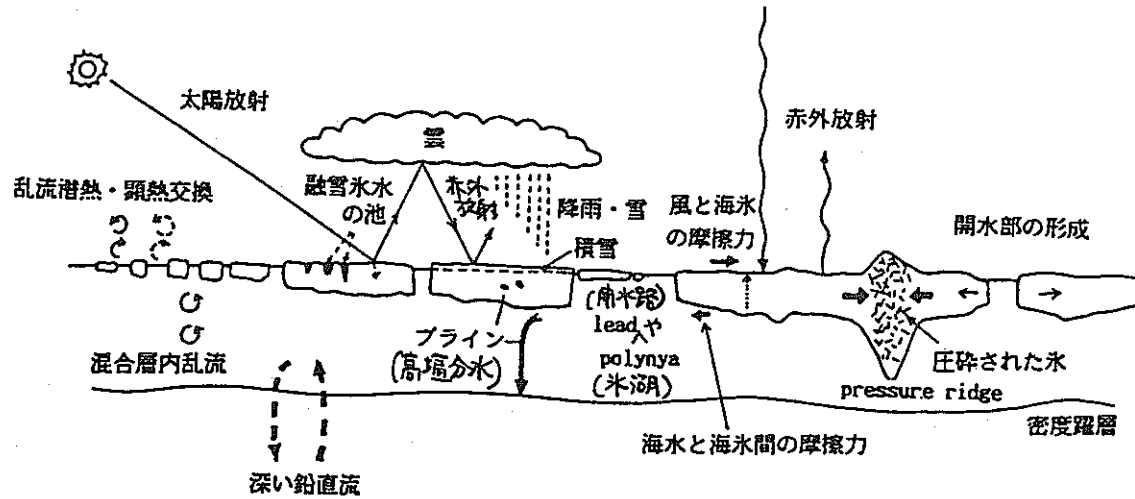


図 4.1: 海水の力学・熱力学に関する諸過程。
 (気象研究ノト, 1977, P.133 より転載)

図 3. 4 海水の力学・熱力学に関する諸過程 ⁽¹¹⁾

Several processes of dynamics and thermodynamics of iceberg

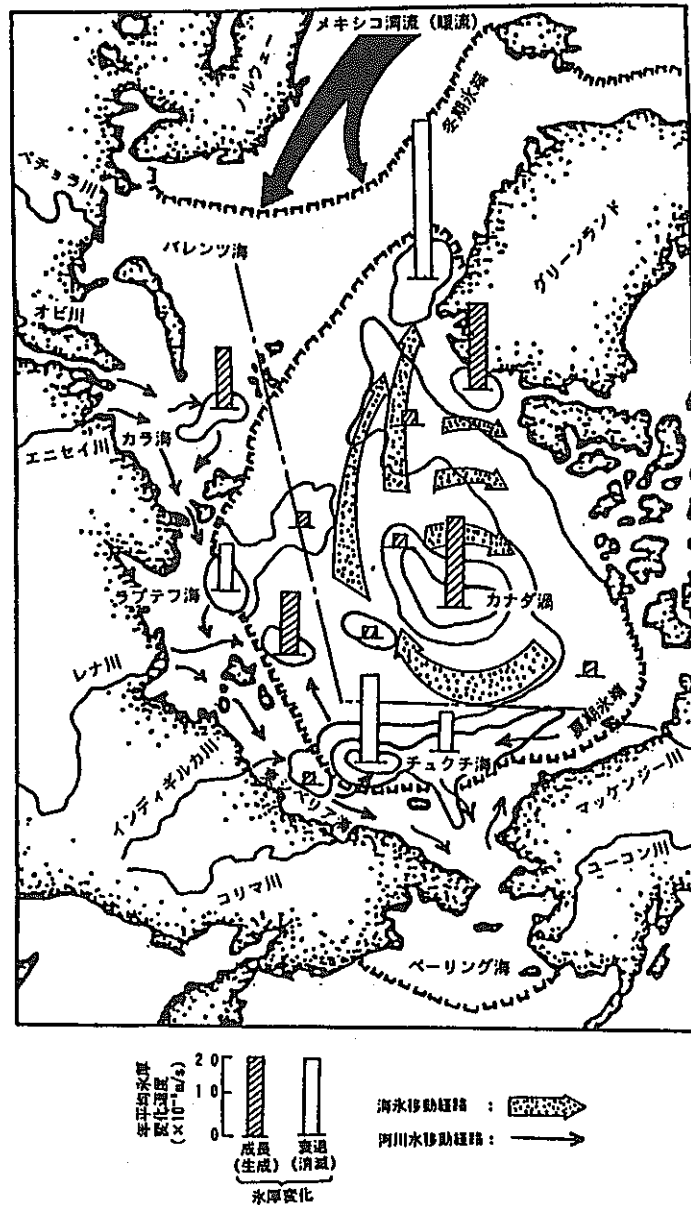


図 4.2 北極海氷の年平均氷厚変化速度, 海水移動経路, 及び海水変化過程に対する河川水の役割
 (気象研究ノート, 187, p.38より転載)

図 3. 5

北極海氷の氷厚変化速度、移動経路、及び

Thickness changing speed and moving path of iceberg in the north pole region,

海水変化過程に対する河川水の役割⁽¹²⁾

and the role of river water for an iceberg changing process

MARCH YEAR 13

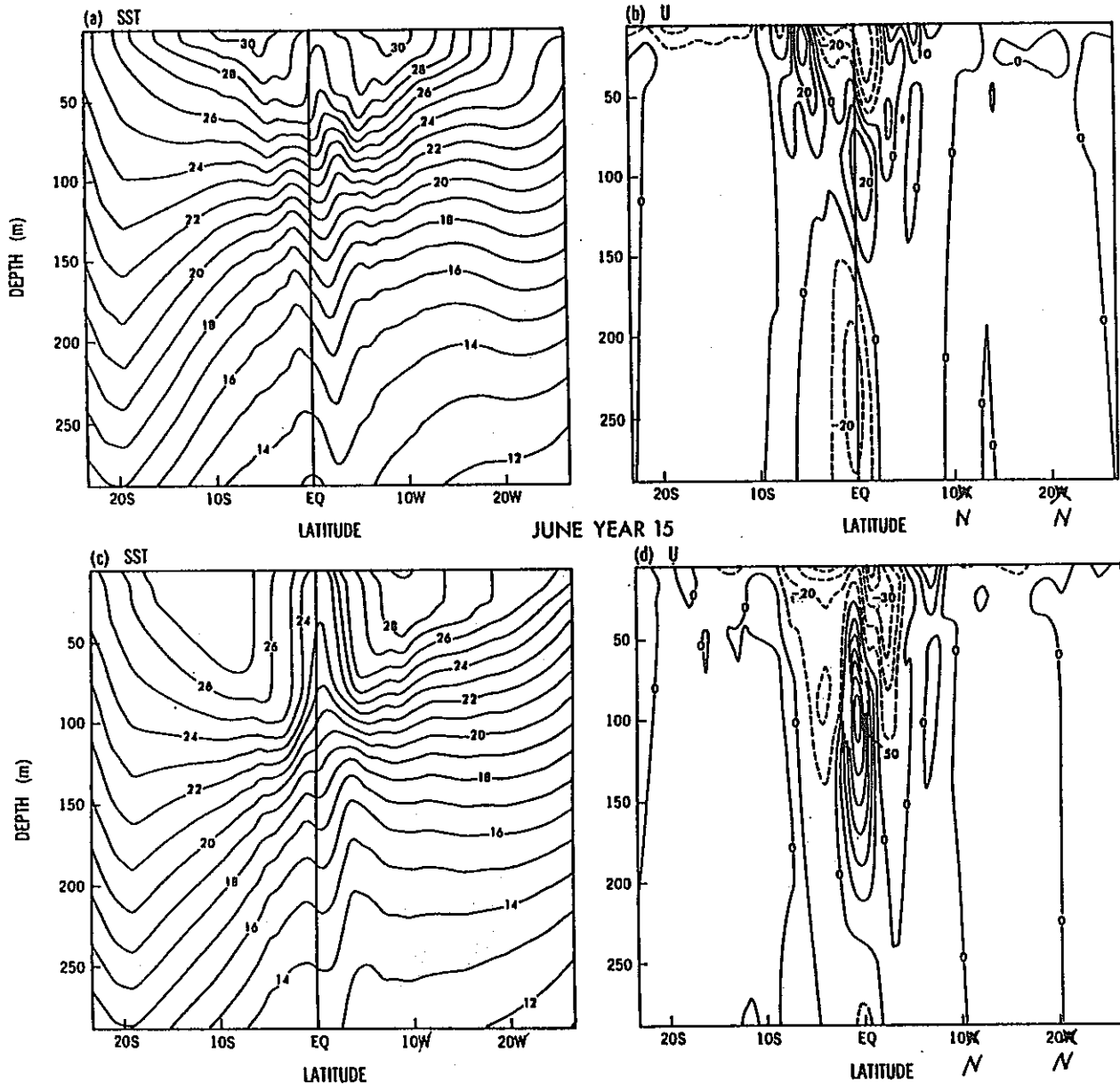


FIG. 9. The temperature ($^{\circ}\text{C}$) and zonal currents (10^{-2} m s^{-1}) in the central Pacific along 136°W at the peak of an El Niño episode in March of year 13 in (a) and (b) and at the peak of a La Niña episode in June of year 15 in (c) and (d). Dashed contours indicate westward flow.

図 3. 6 赤道近辺海水温度速度計算結果⁽¹³⁾

Calculation results of sea water temperature and velocity near the equator

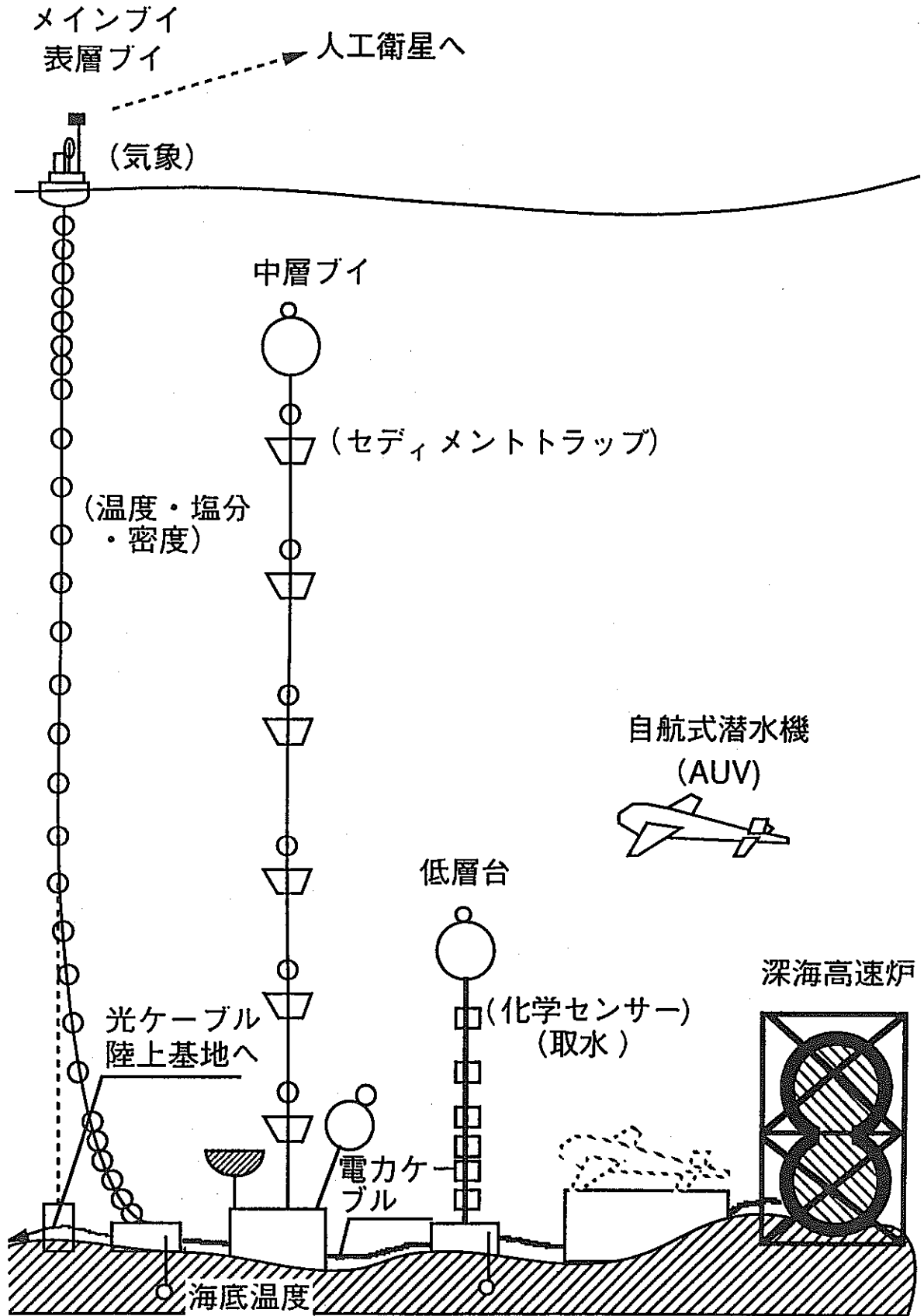


図 3. 7 長期気候予測用観測基地 1

Observation base 1 for long term climate prediction

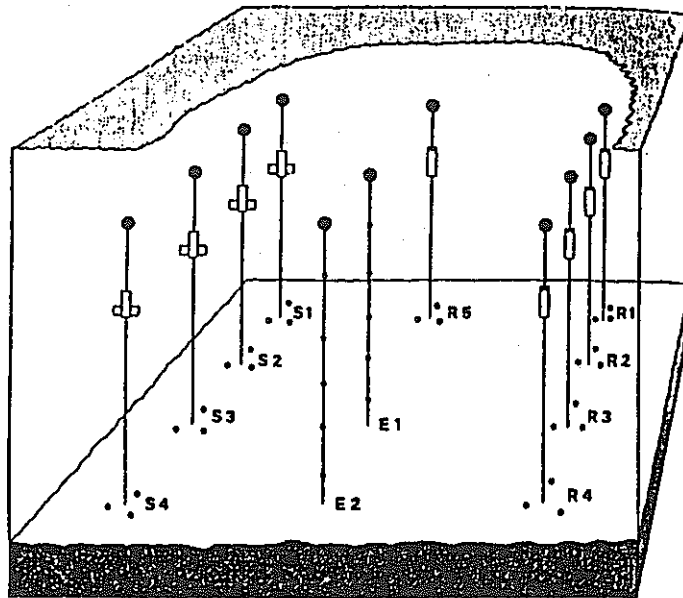


図6-59 音響 CT における送波器(S)と受波器(R)の配置例

図 3. 8 音響 CT における送波器と受波器の配置例

(16)

Example of arrangement for acoustic CT

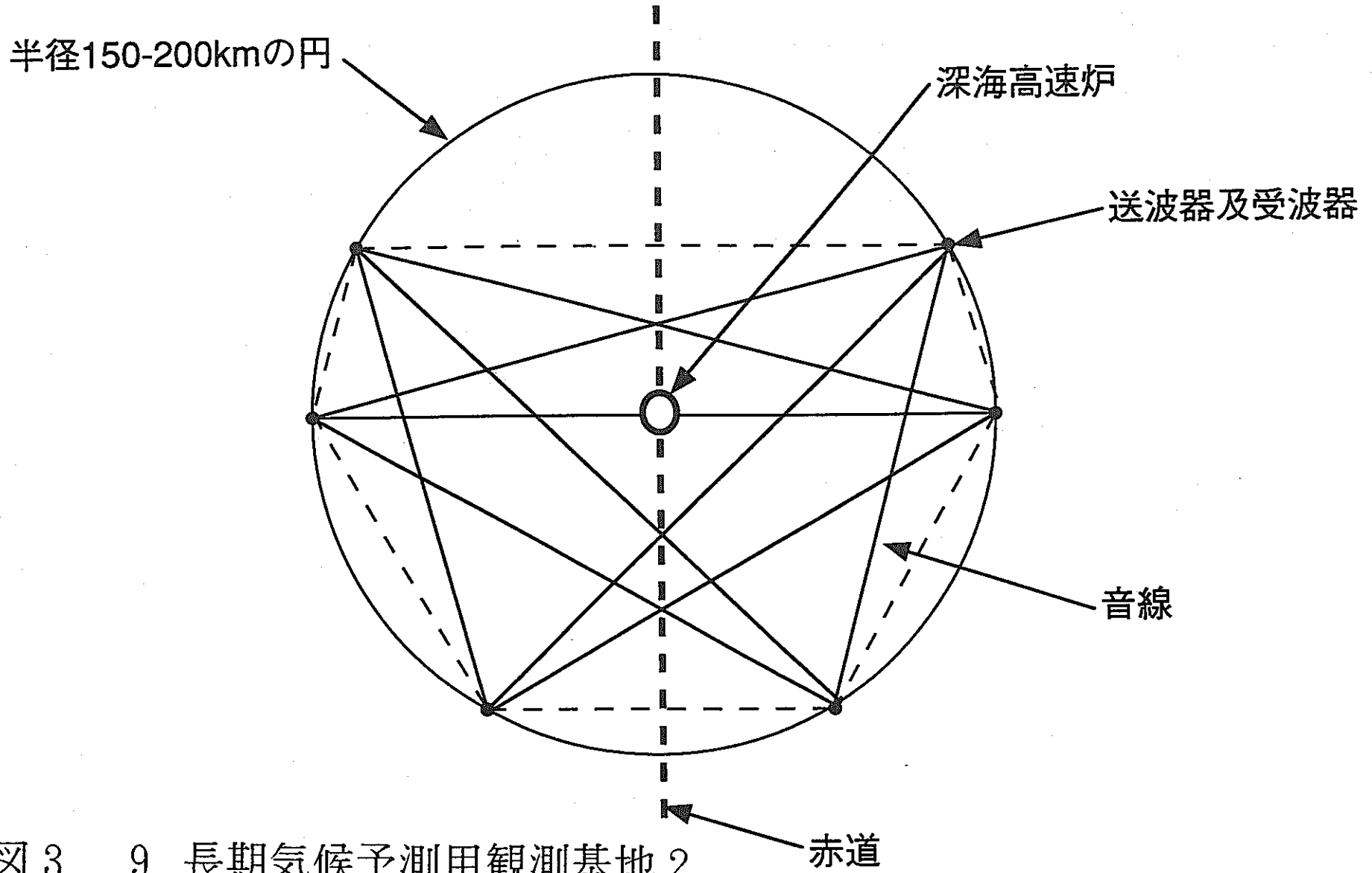


図 3. 9 長期気候予測用観測基地 2

Observation base 2 for long term climate prediction

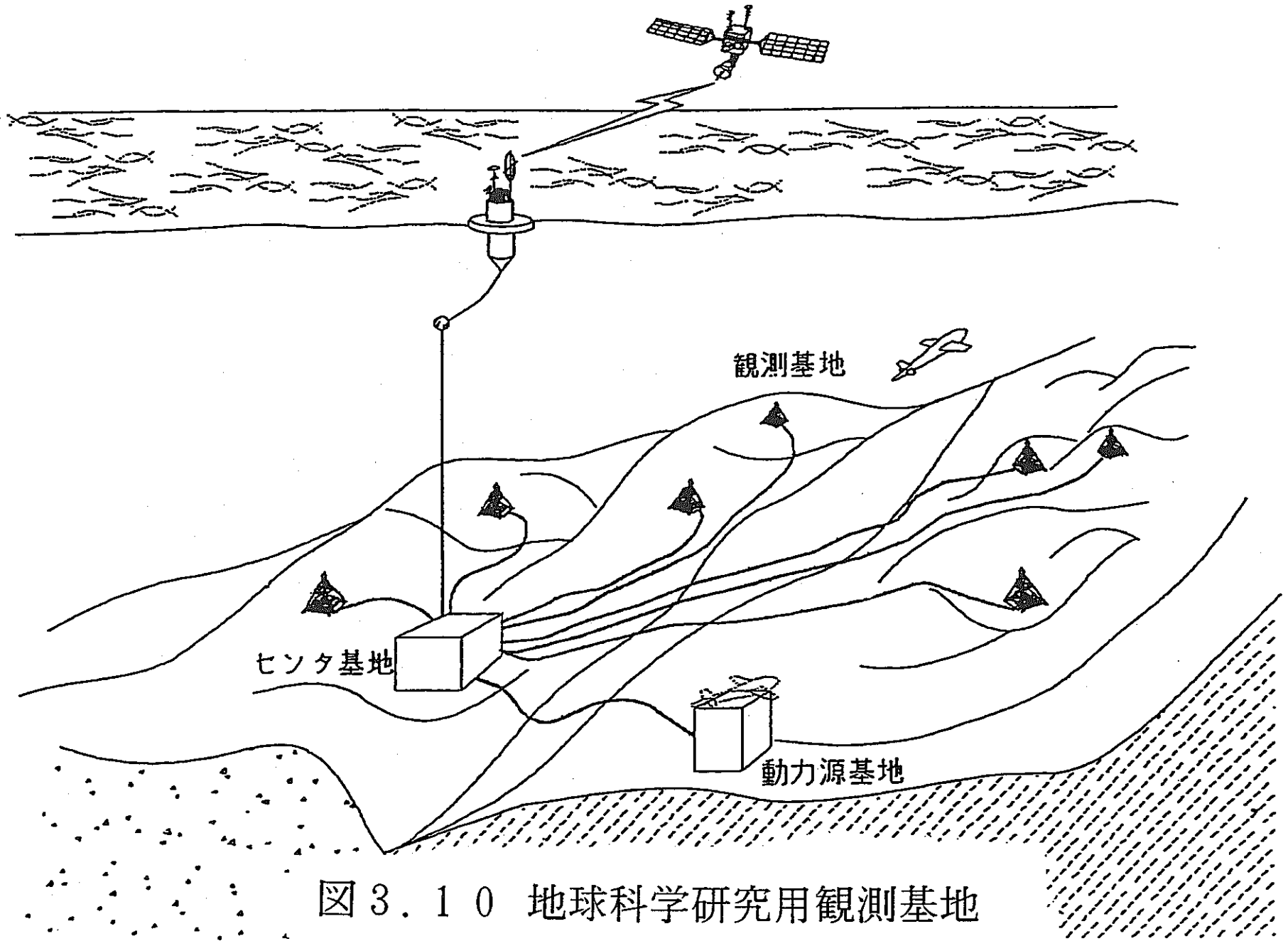
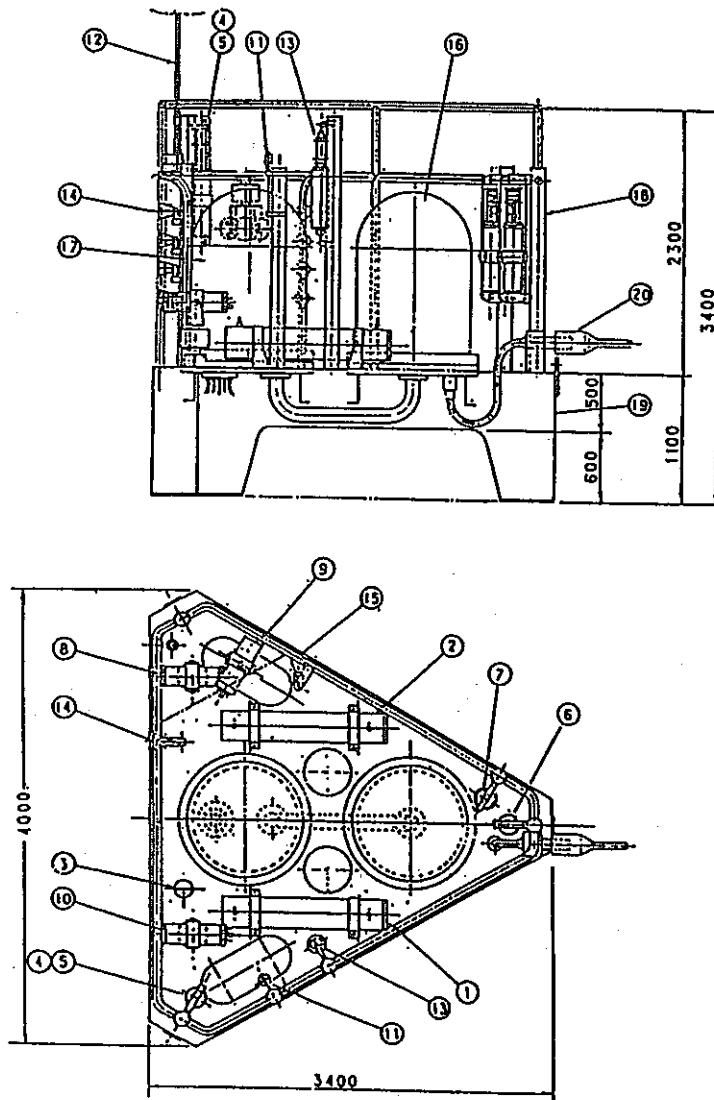
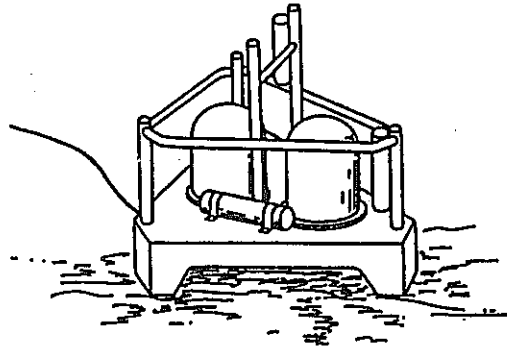


図 3. 1 0 地球科学研究用観測基地

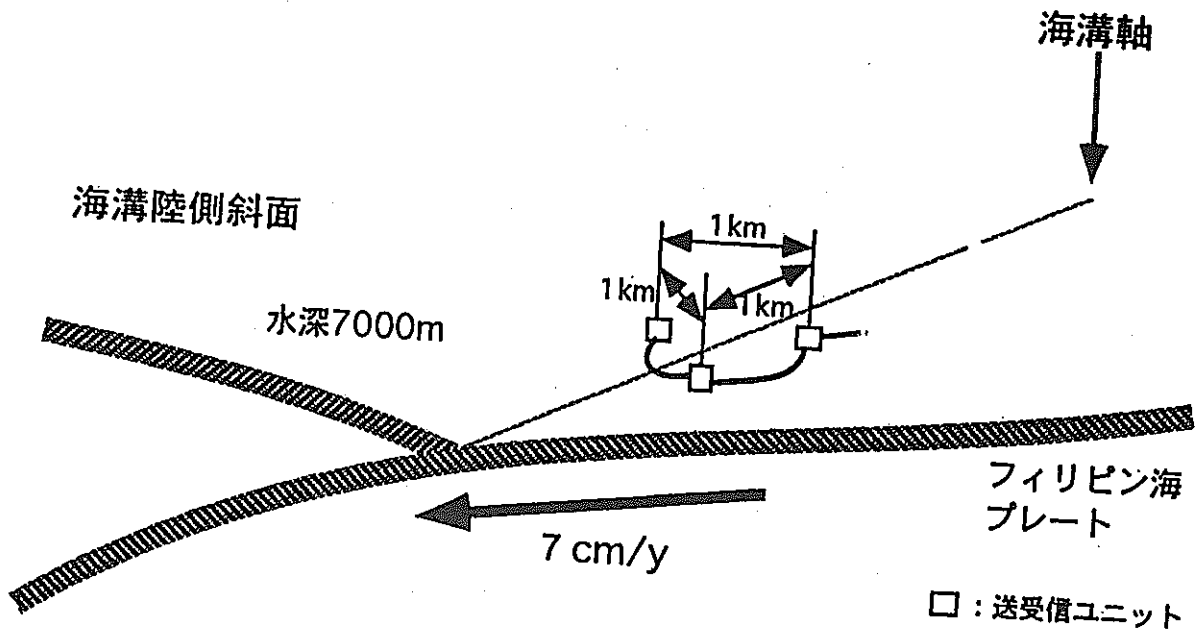
Observation base for the earth science



機器名称	
1	速度型地震計 (3成分)
2	加速度型地震計 (3成分)
3	傾斜計 (2成分)
4	塩分・温度計
5	流向・流速計
6	水素イオン(PH)濃度計
7	溶存酸素計(DO)
8	環境観察用ビデオカメラ
9	微生物観察用サブステーション用ビデオカメラ
10	環境観察用電子スチルカメラ
11	ハイドロホン
12	電磁波計用アンテナ
13	トランスポンダー
14	環境観察用ライト
15	微生物観察サブステーション用ライト
16	給電ユニット
17	観測ユニット
18	ケージ
19	架台
20	光電気複合ケーブル用コネクタ

図 3. 1 1 地震観測サテライト基地

Satellite observation base for an earthquake



音響測距ユニットの模式図

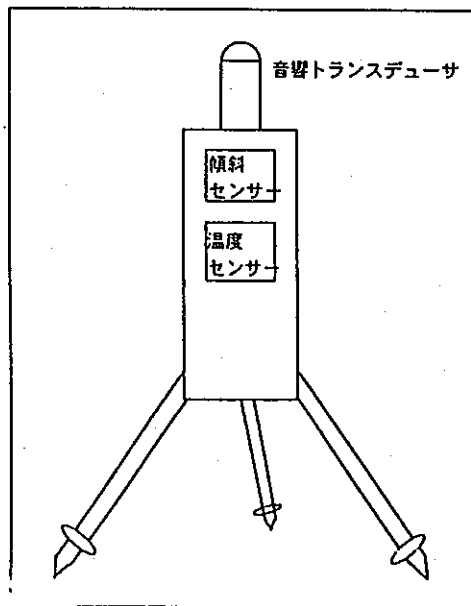


図 3. 1 2 地殻変動観測サテライト基地

Satellite observation base for plate movement

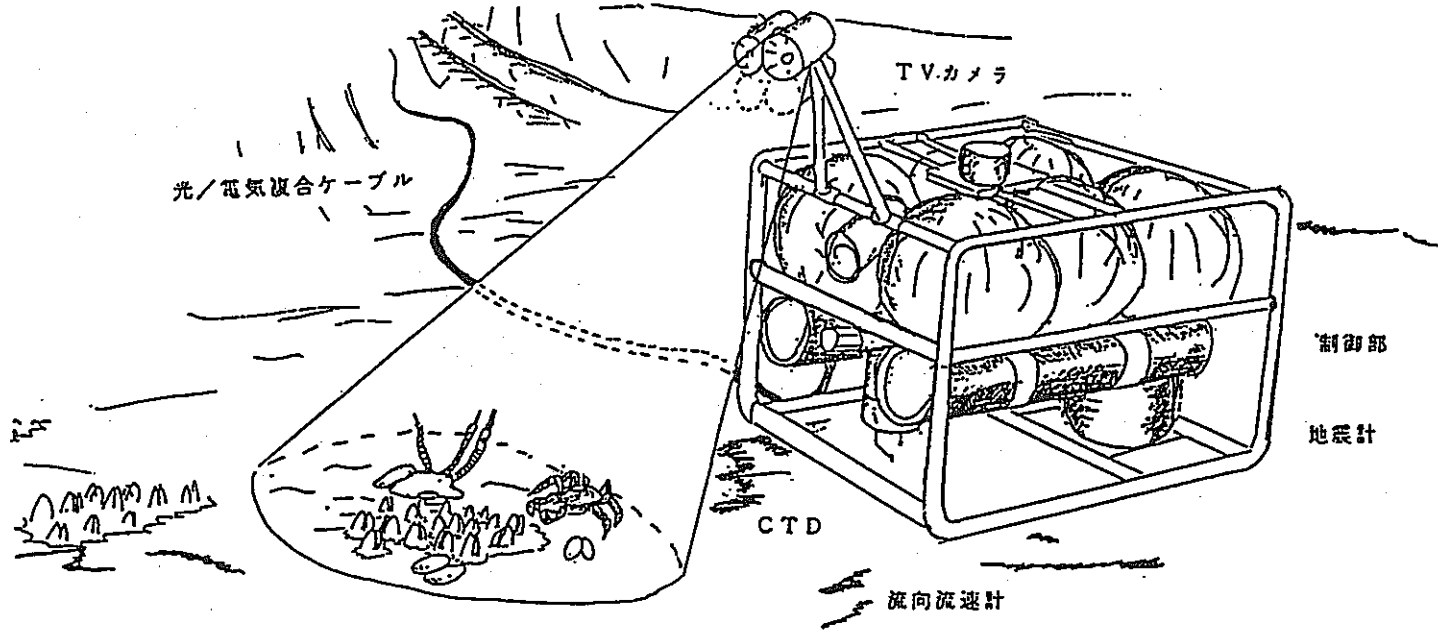


図3. 13 熱水湧水観測サテライト基地

Satellite observation base for hot water and gushing-out water

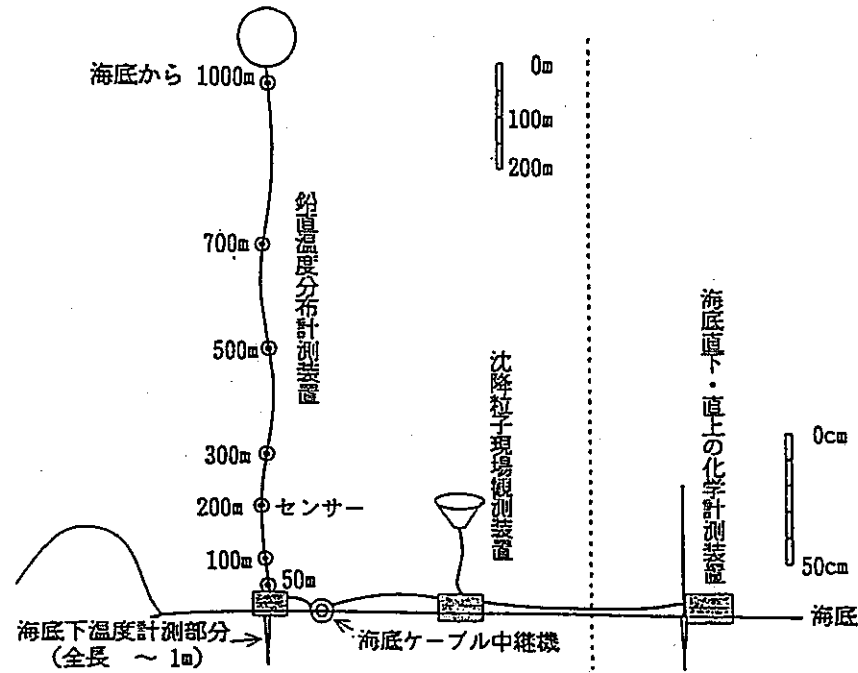


図 3. 1 4 物質エネルギー収支観測サテライト基地

Satellite observation base for mass and energy balance

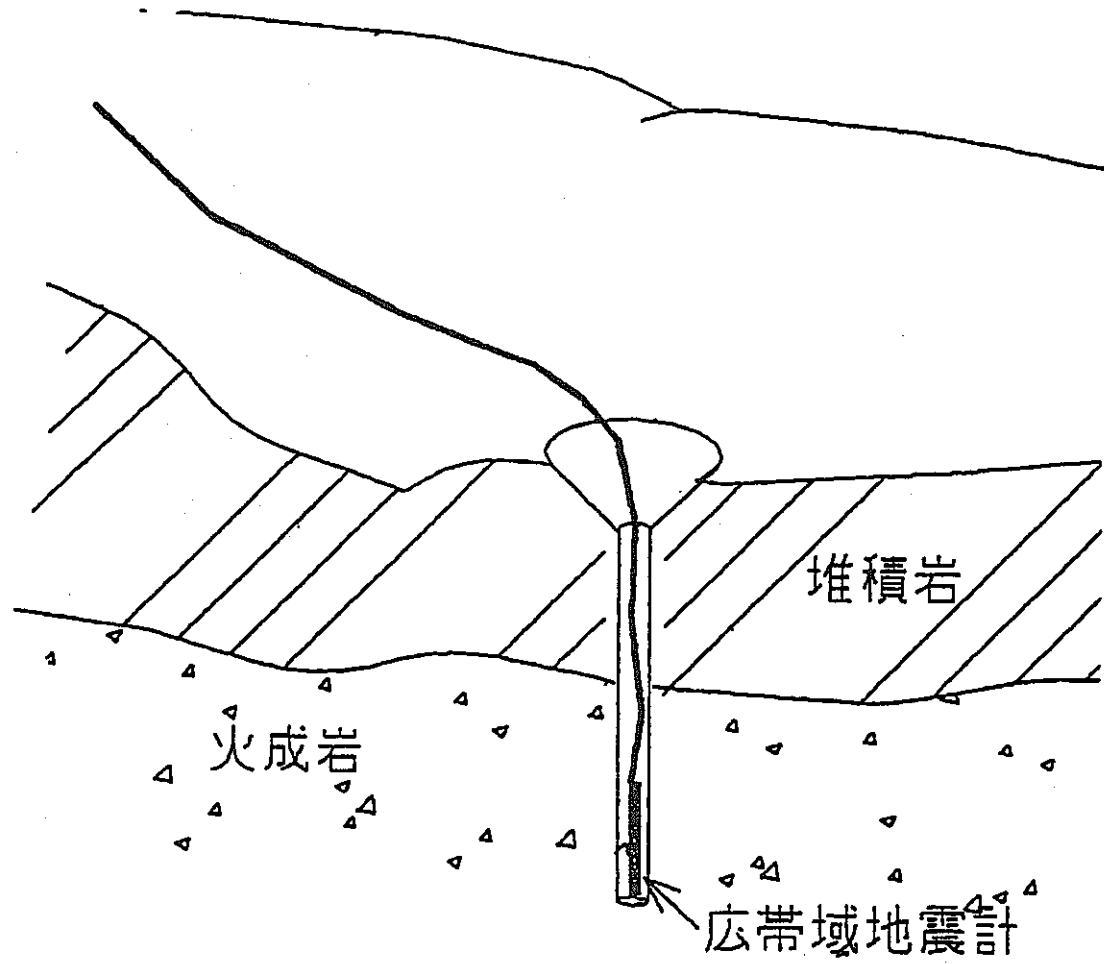


図 3.1 5 孔内地震観測サテライト基地

Satellite observation base of hole type for an earthquake

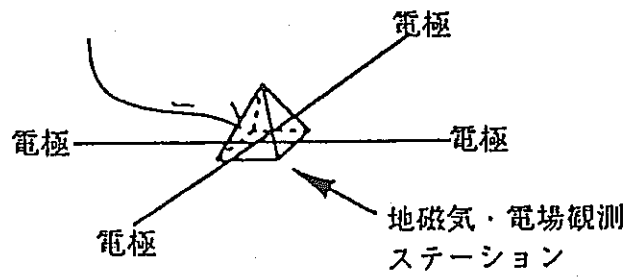


図 3. 1 6 磁気電物変動観測サテライト基地

Satellite observation base for magnetic and electric force change

4. 深海底油田基地

水深300m以深の大水深の海底油田に適用される生産システムとしては、図4. 1に示すような浮遊式システムと、着底式システムがある⁽²⁰⁾。水深が更に深く2,000mでも現実にブラジル沖では大油田が発見され開発が進行している。このような大水深になり、しかも陸地から遠い油田の場合、図4. 1の最左の欄の、総ての機器を海底に置いた生産システムを建設し、必要な電力は深海高速炉で供給するようにするのが、経済的に最も有利になると考えられる。

例えば現在イタリアで研究が実施されているSBS(Subsea Booster System)プロジェクトでは、海底油田は最大水深1,000m、輸送距離100km、生産量3万BPD(バレル/日)という設定で、このサイトに電力は陸上から30kVケーブルで供給されることになっている⁽²¹⁾。この海底生産システムに使用する機器のうち、電力を使用するのはガスと石油及び水の混合物を輸送する多相流ポンプである。実際に深海で使用する多相流ポンプに必要な電力は約1MWeで、現在検討中の深海高速炉の概念で可能な範囲の電力である。また、付録5では、石油公団から入手した多相流体輸送技術に関する資料を示す。右上に大水深海域に設置された多相流生産システムが図示されている。

尚、石油の採掘に原子力を使用するという概念は従来なかったものであるが、石油は単に火力発電の燃料としてのみとらえるべきでなく、例えいわゆる石油が枯渇する数百年後においても、石油は例えば航空機燃料やプラスチックの材料として用いられるであろう。こう考えれば、石油の採掘に高速炉を使用するという事はあっても不思議ではない。

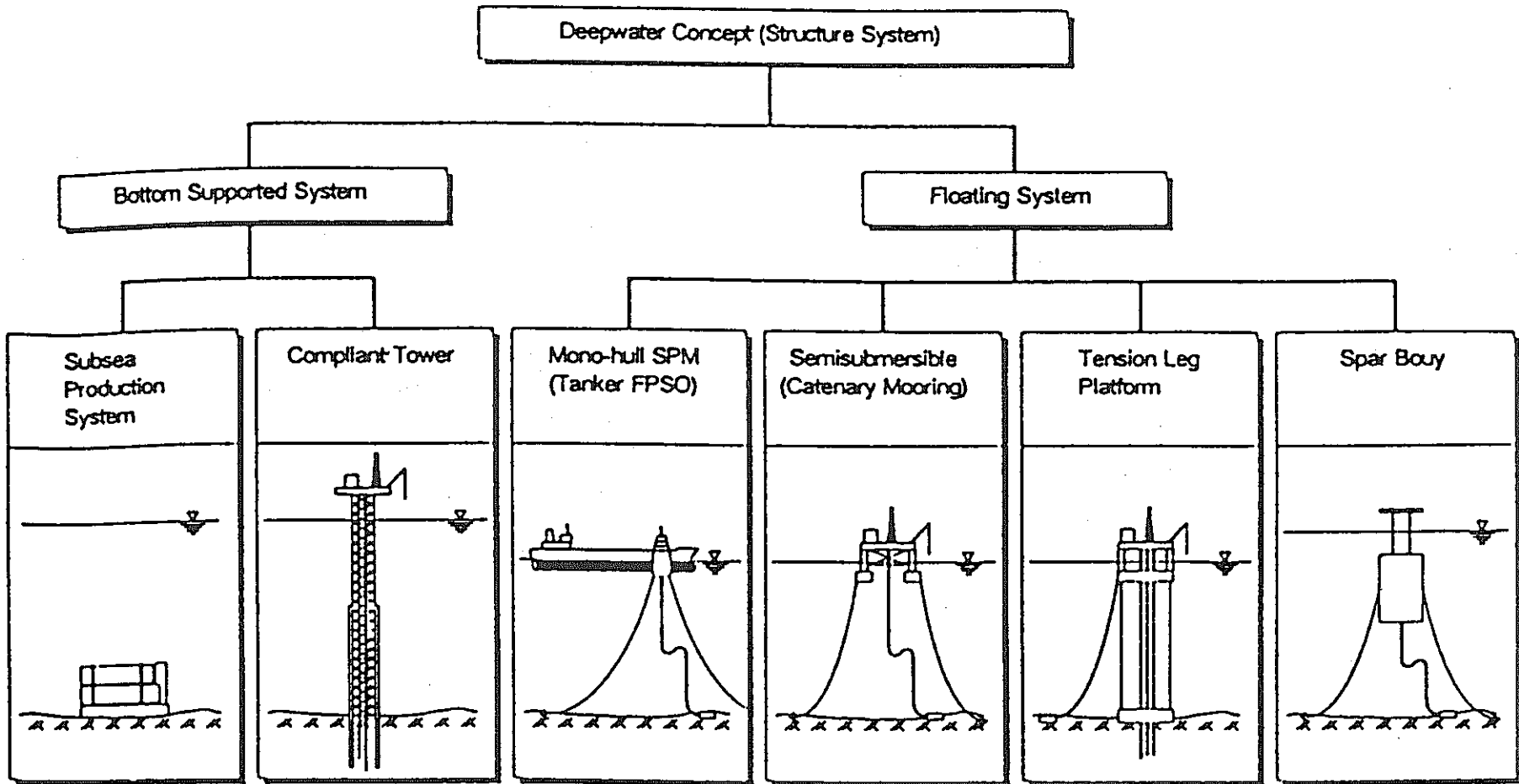


図.4. 1 大水深海底石油生産システム (20)

Petrol production system for very deep sea

5. より将来の利用法

5. 1 有人観測基地

海底基地を有人とするか無人とするかには議論があるようであるが、海底での建設工事や生産工事のように応急時の判断とそれに対する間断ない処置を必要とする基地では、現場環境にいることが重要であり、有人とする必要があろう。

また1章の無人観測基地の場合でも、常時有人にすることはないにしても必要に応じて短期間滞在できる有人基地とすれば、人間が海底に密着して研究或いは仕事を行い、人間のもつ五感をフルに生かすことができる。さらに、海底の環境をそのまま生かしながら考え研究することができる⁽²²⁾。従って、研究成果も充実したものになるであろう。

ここでは、有人基地のコンセプトとして、観測基地の例として一つ概念を図5. 1に紹介する。表5. 1にはこの基地の主要目を示す⁽²³⁾。動力源としては化石燃料使用の50 kWe のものを考えているが、深海高速炉を用いれば問題はない。従って第3章の無人基地が実現した後に、直ぐにこの有人観測基地の計画が出てくるであろう。

5. 2 CO₂ 貯蔵基地

CO₂ の深海への送り込みには、分離型CO₂ 深海送り込みシステムを使用する。本システムは冷却して液化された液体CO₂ を、周囲の圧力温度条件でCO₂ を液体状態に保つことが出来る約水深500mの地点まで送り込むプラットフォームシステムと、そこから液体CO₂ を、その密度が周囲の海水密度より大きくなる約水深3000m の地点まで輸送する輸送システムからなるものである。

従来液体CO₂ 或いは気体CO₂ を水深3000m の地点まで送り込むシステムは、海底から高さ3000m 近くある構造物の建設を前提としたものである。このような構造物は技術的に難しい。また従来システムでは水深3000m の地点で配管の液体CO₂ ふきだし口が浮遊状態であるので、直径200-300m、深さ2000-3000mの海底に存在する孔の中にCO₂ を送り込むのが難しい。このような孔に液体CO₂ を送り込むことにより、液体CO₂ 正確には表面にできるCO₂ の水和化物と海水の接触面積を小さくすることが出来、液体CO₂ の海水への溶解に要する時間を大幅に増大させることが可能となる。

また従来の固体CO₂を深海に送り込むシステムは、特に陸上での固体CO₂の取り扱いが大変で、液体CO₂を深海に送り込むシステムと比較して経済性に劣るものである。

図5. 2にシステム全体を示す。水深500mの地点で、プラットフォームを建設する。プラットフォームの海表面より上の台上には、液体CO₂一時貯蔵タンクとポンプと直流交流変換機を設置する。液体CO₂一時貯蔵タンクは輸送船で陸地から輸送してきた液体CO₂（-50℃、7bar、1,150 kg/m³）を、一時的に貯蔵するものである。ポンプはこの液体CO₂を気化しないように加圧して、送り込み配管を通して、水深500m海底に設置したリザーバに送り込むためのものである。送り込み配管の周りには、保温材を巻いてCO₂の気化を出来るだけ抑えるようにする。ポンプの動力源としては、陸地から直流で送電された電力を、直流交流変換機で交流に変換して用いるものである。水深500m海底では、周囲の海水温度約8℃でCO₂は密度900kg/m³の液体状態である。

リザーバに送り込まれた液体CO₂は、プラットフォームの近くのポンプと、遠くのポンプによって、液体CO₂の密度が周囲の海水の密度より大きくなる水深3000m 海底よりも深い地点の海底孔まで、輸送配管を通して輸送される。プラットフォームの近くのポンプの動力はプラットフォームからの交流送電、また遠くのポンプの動力はポンプ近くの海底に設置した原子炉（深海高速炉）により供給される。水深3000m では液体CO₂は2℃、300bar、1,040kg/m³である。

深海の高圧状態ではCO₂は液化するが、徐々に海水中に溶けだし、最終的には2,000-3,000年後に大気中に放出されると言われる。従ってこの場合「貯蔵」という言葉は使われず、「貯留」という言葉が使われているようである⁽²⁴⁾。

ここでは水深2,000-3,000mの深海底に多数存在する穴の中にCO₂を貯蔵する方法について述べる。図5. 3に示すような、蓋のついた貯蔵所を考える。蓋の材料は例えばテフロンのような海水で腐食されない材料を用いるものとする。こうすれば液化したCO₂が海水中に溶けだすことはない。蓋の耐用年数を1,000年とすれば、1,000年毎に古い蓋を新しいものと取り替えることにより、何千年でも何万年でもCO₂を貯蔵することが可能となる。この取り替え作業に使用する電力は、深海高速炉で供給する。

5. 3 メタンハイドレート層採掘基地

メタンハイドレート層とは深度約1,000m以上の海底に分布し、メタンガスをメタンハイ

ドレート($\text{CH}_4 \cdot 5.75\text{H}_2\text{O}$)の形で含有する地層である。海底のメタンハイドレートは、世界中で標準状態で数千兆立方メートル存在すると考えられている⁽²⁵⁾。これは世界中の天然ガスの確認埋蔵量の数十倍以上である。メタンハイドレート層採掘基地は、深海高速炉を動力源及び熱源として用い、この層よりメタンガスを生産するシステムである。この莫大な量のメタンハイドレートからメタンガスの生産を可能にするシステムは、エネルギー問題を考える上で重要な意味を有する。

図5.4にメタンハイドレート層採掘基地の概念を示す。海表面の下水深約1,000m以上の海底には、メタンハイドレート層が上部地層と下部地層に挟まれて存在している海底領域がある。この層に海表面近くの温度約20℃の暖かい海水を流し込む柔らかい合成樹脂の配管と、メタンガスを陸上に回収するガス配管を設けてメタンガスを生産しようとするものである。柔らかい合成樹脂の配管には断熱材と浮力容器を取り付け、暖かい海水流れをポンプで流す。必要な電力は深海高速炉(例えば、熱出力約2MWt、電気出力約400kWe)より電力ケーブルで供給する。またこの際深海高速炉の廃熱を利用して、温度50-80℃の熱水流れをつくり暖かい海水流れ中に注入する。最終的に暖かい海水は暖かい海水流れとして、メタンハイドレート層中に注入される。温度3-15℃のメタンハイドレート層は温度20℃に熱せられるとメタンガスと水に分解される。水は排水管で海水中に排水される。メタンガスは図の右端のガス配管内を流れる。ガス配管は陸上に設置するメタンガス製造工場まで敷設されている。

5.4 金属資源採鉱基地

金属資源採鉱基地動力源として原子炉を設置した、金属鉱石を採掘し一時貯蔵する海底基地と、一時貯蔵した鉱石を海上へ引き上げる設備を備えた鉱石運搬船よりなるシステムである。深海底に存在するマンガン団塊(水深約6,000m)やコバルト・リッチ・クラスト(水深800-2,400m)等の採鉱を行うものである。

従来技術の殆どは、鉱石を採鉱すると同時に海上の採鉱船へ揚鉱するシステムになっており、これでは採鉱及び揚鉱とも効率が悪くなる。採鉱をしたうえで集まった鉱石を揚鉱装置を使用して全然別の時間に独立に水深数kmの海底から海上まで効率よく揚鉱させるのが望ましい。このような考え方は参考文献(26)に発表されている。しかしこの論文では動力源についての記述がないので、動力源を原子炉として概念構築したのが図5.5であ

る。

図5. 5には採鉱時の模様を示す。海底基地は採鉱制御装置、原子炉、自走式採掘装置から成り立っている。この海底基地への指令は、近くの島から光ケーブルを通して制御装置に伝えられる。勿論人工衛星による指令も可能である。自走式採掘装置はマンガン塊を採掘して、貯蔵所に貯蔵する。

貯蔵されたマンガン塊の運び出しは、今まで势力的に開発されてきた、揚鉱ポンプによる鉱石運搬船への積み込みとなる。

コバルト・リッチ・クラストの場合もマンガン団塊の場合と水深が変わるだけで、鉱石の採鉱・一時貯蔵・運搬の原理は同じである。

5. 5 深海バイオ基地

深海バイオ基地は将来人類にとって有用な微生物が発見された場合に、微生物を深海で大量飼育する基地である。この基地に関しては既に学会で発表済である。ここでは日本原子力学会の予稿を付録6としておく。

5. 6 沈没タンカー重油回収

日本海にロシアのタンカーが沈没し、流れ出た重油による海岸の汚染が大問題となった。まだ沈没タンカーには大量の重油が存在している。このような事故は将来もまた発生する可能性が高い。現在は回収技術が無いのでこの大量の重油は海底にほったまみにしているが、将来回収技術が開発されれば、直ぐに回収する方が良いに決まっている。図5. 6は将来開発されるであろう回収技術を想像して描いたものである。回収に必要な電力は深海高速炉から供給される。回収タンクに回収された重油は、海上の運搬船で引き上げる。

(23)

表5. 1 有人長期観測基地主要目

Main Specifications for a Manned Long Term Observation Base

		有人センターステーション		サテライトステーション		AUV	シャトルボート
		研究管理ステーション	動力源ステーション	有線サテライトステーション	無線サテライトステーション		
基 数		1	1	3	2	1	1
主 要 目 等	L×B×H (m)	15×9×4.7	10×10×5.8	4.0×3.4×3.4 9.7/6.0	3.0×2.0×1.6 2.0/1.0	4.0×直径0.7 2.0/-0.01	8.0×2.6×3.6
	空中重量/水中重量 (t) 性能等	120/45 居住・研究管理スペース 観測・機械スペース 5人×1ヵ月生活	250/85 45kW動力供給 燃料1回/月補給			速力5ノット、航続4時間	速力3ノット、 乗員3名(非常時5名)
耐 圧 殻	材料、形状	NS90、楕形円筒	NS90、球	チタン合金、立形円筒	チタン合金、立形円筒	チタン合金、楕形円筒	チタン合金、 2遠球+半球スカート 1.8mφ×2+1.6mφ半球
	大きさ	10mL×3mφ	直径 3.5m	1.5mH×1.0mφ×2	1.0mH×1.0mφ	2.5mL×0.7mφ	
観 測		海底実験場 (温度、ライト、マニピュレ ータ、テレビ、スチルカメ ラ) 塩分、温度、DO・pH、流向・ 流速 微生物観測装置 生物採取装置		地震波、海中音響、電磁波、 塩分・温度、DO・pH 流向・流速 TVカメラ・スチルカメラ (オプション) 化学観測ステーション 微生物観測ステーション 生物採取装置	動力、傾斜・海床変動、 塩分・温度、DO・pH、 スチルカメラ	磁力計 TVカメラ、スチルカメラ	観望室 TVカメラ、スチルカメラ
動 力 源 等	推進機等					水平用2、上下用2 ブレプログラムまたは自律 制御	主推進1、水平2、上下2 手動または自動制御
	動力供給 動力装置 燃料等	動力源ステーションから受電 (受電盤)	— スターリングエンジン 25kW×2 燃料タンク17m ³ LOX タンク70m ³	ケーブルによる受電 (受電盤)	AUVにより充電 油漬均圧型電池 24V×200AH 充電 10H/2ヵ月	充電 油漬均圧型電池 V×AH 充電20H	センターステーションより 充電 油漬均圧型電池 V×AH×2 充電20H
特 殊 装 置 等		脱出球(2.0mφ) シャトルボートメイティング AUV発進装置 ケーブル・ルール		7-7A: 光電力複合ケーブル 25mmφ×5000m 遮断10t 電力3300V、5kVA 光ファイバ 6芯	AUVメイティング 充電装置 情報伝送装置	サテライト・メイティング 充電装置 情報伝送装置	ステーション・メイティング 充電装置 補給装置

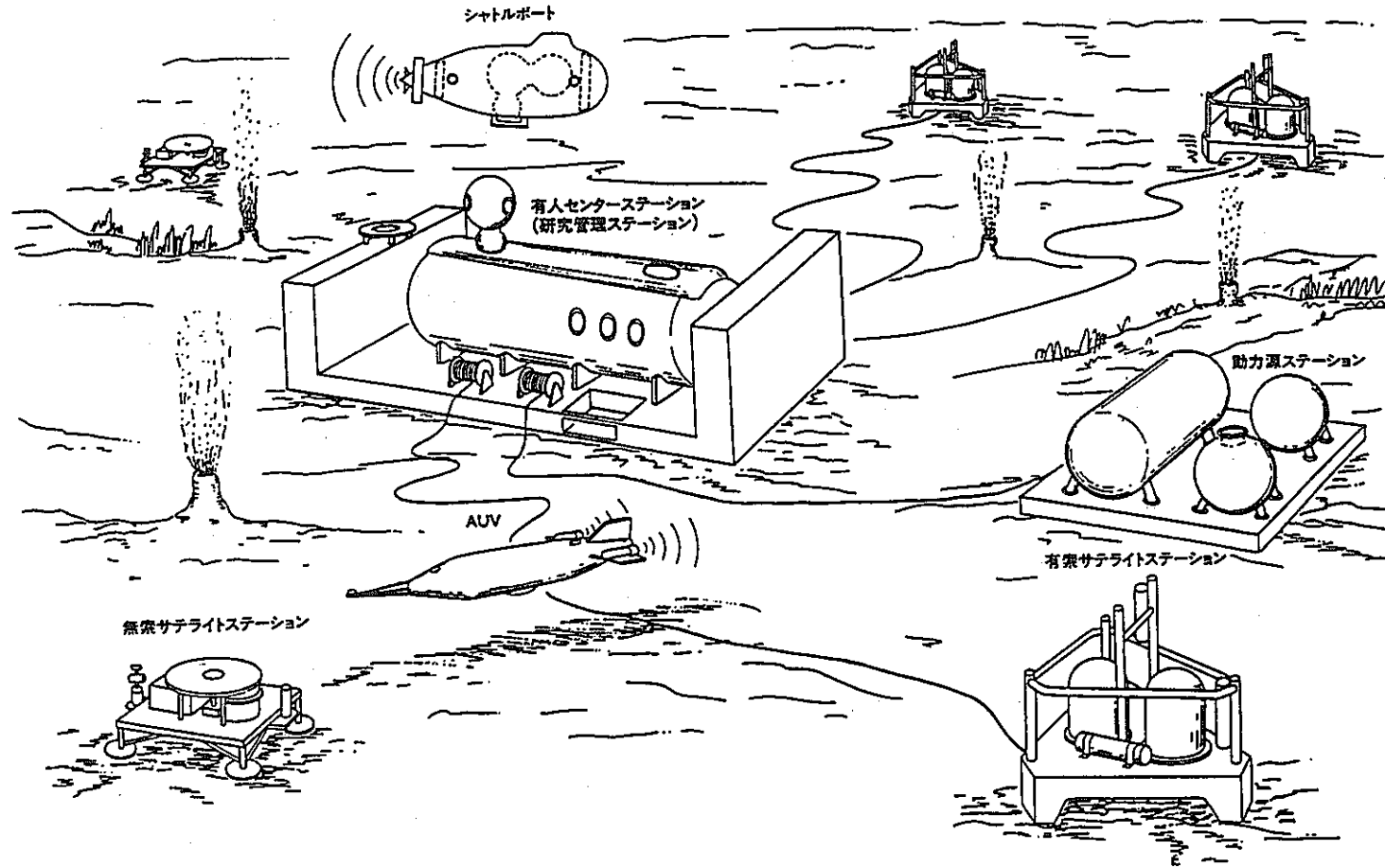


図 5. 1 有人長期観測基地 (23)

Manned long term observation base

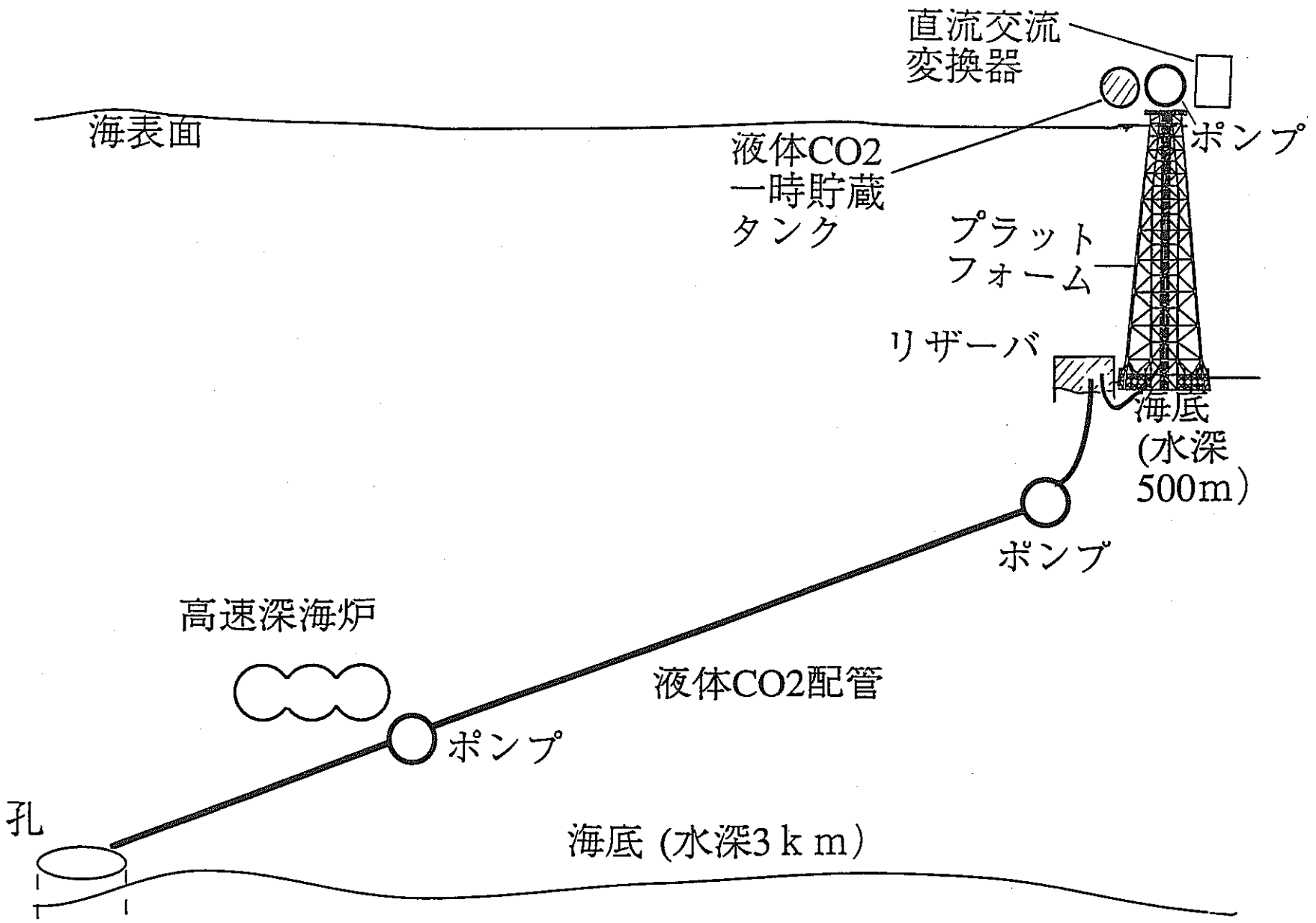


図5.2 分離型CO₂深海送り込みシステム

Separate type CO₂ sending system to deep sea

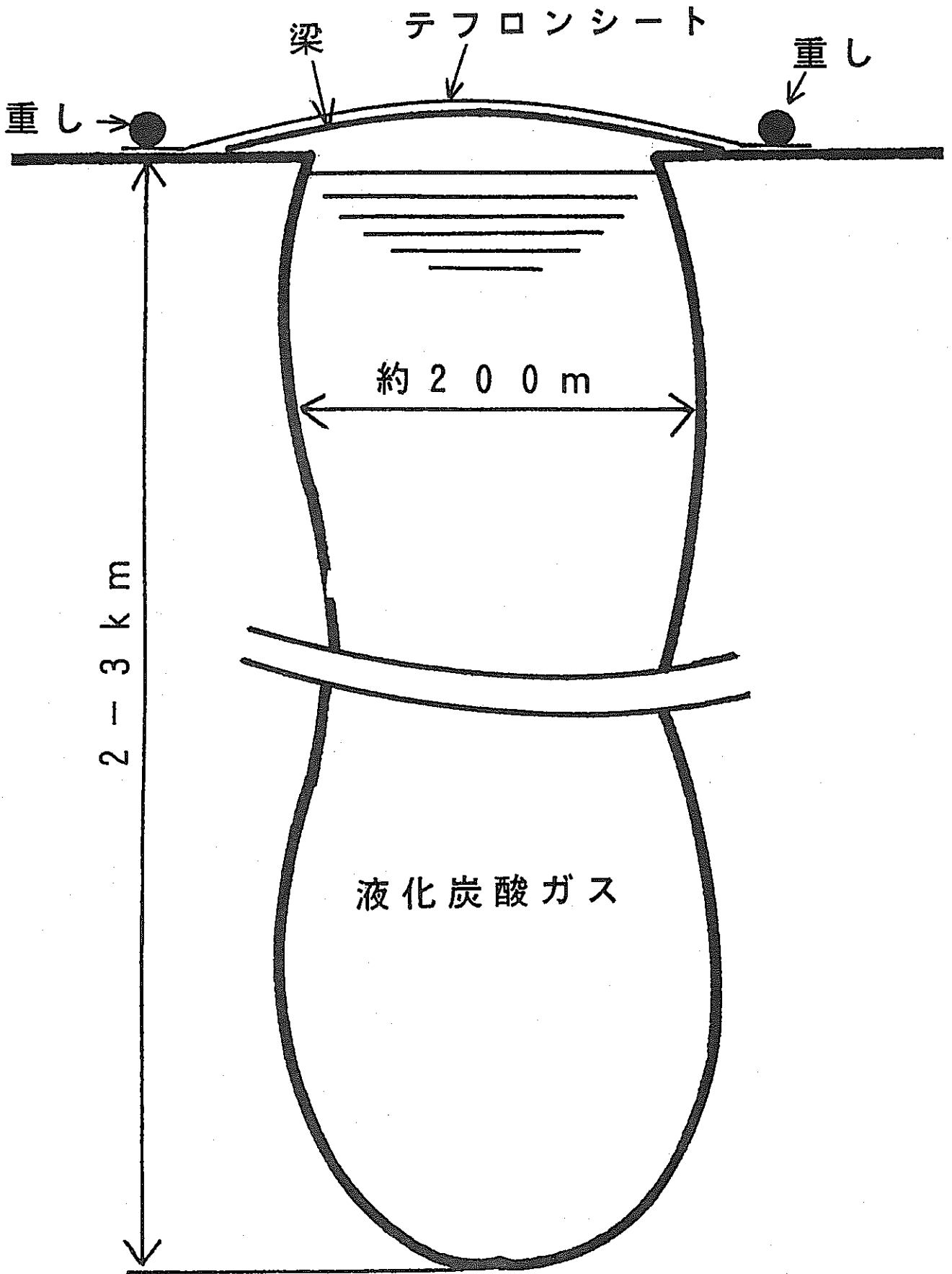


図 5. 3 深海CO₂貯蔵基地

Deep sea storage base of CO₂

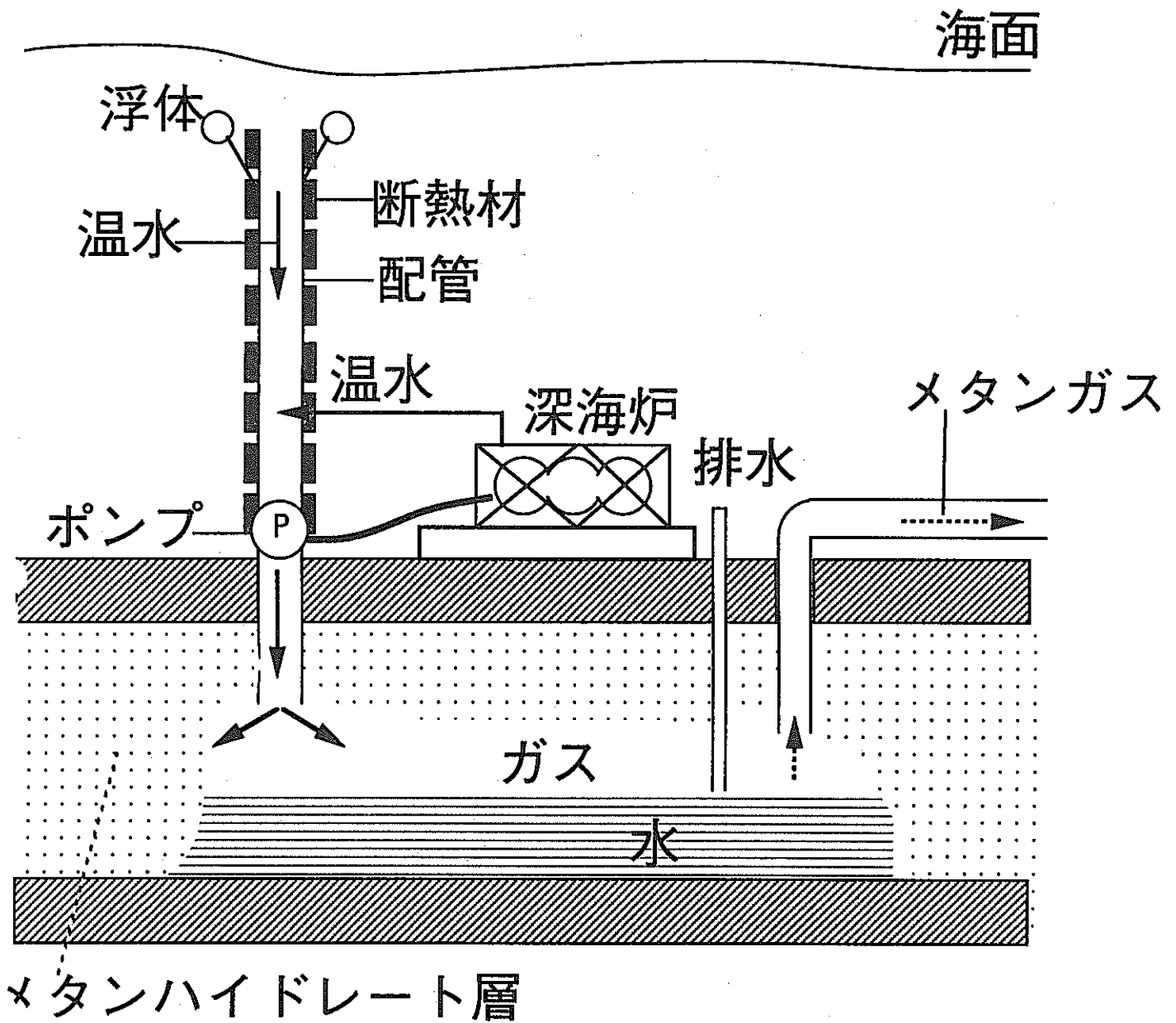


図5. 4 メタンハイドレート層採掘基地

Mining base of methane hydrate layers

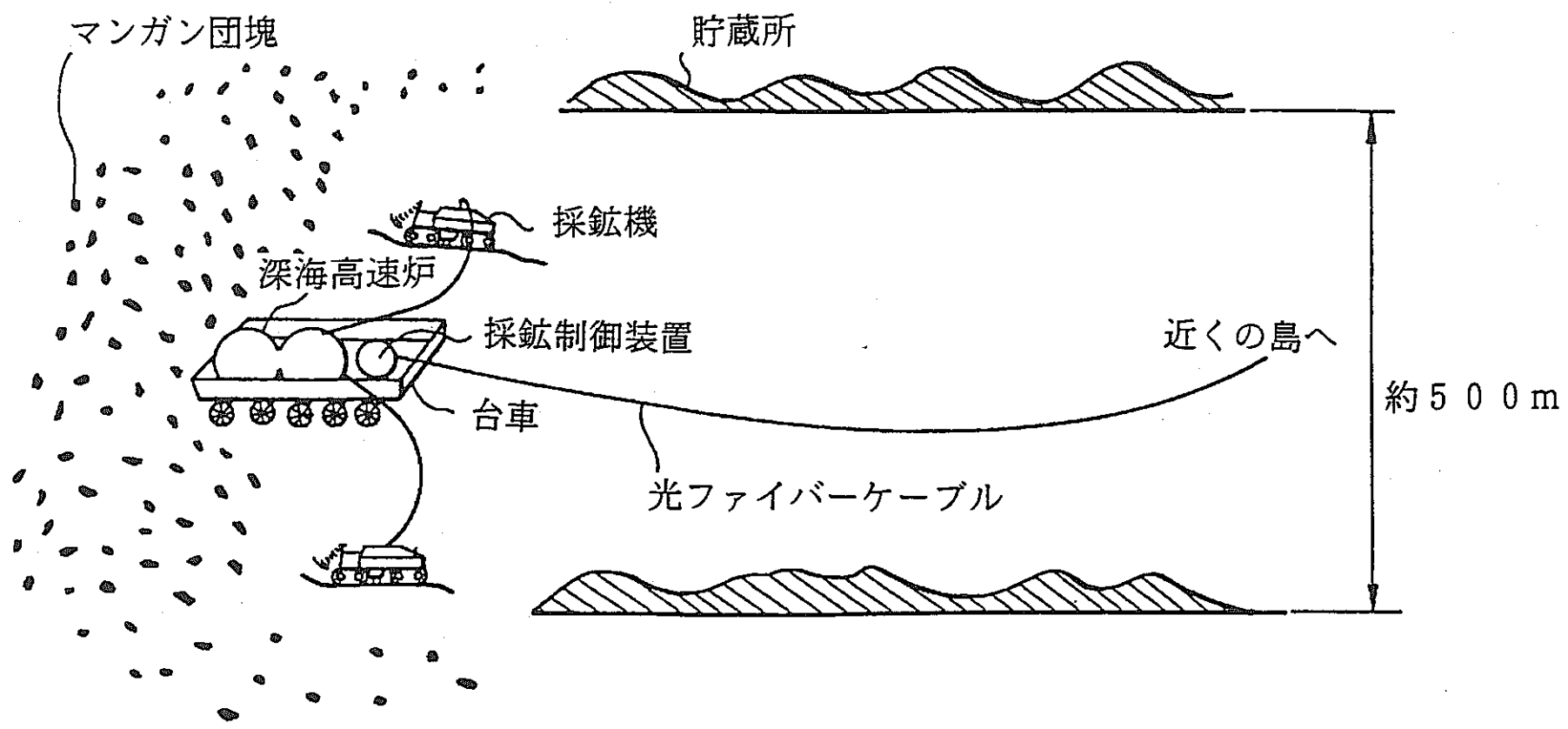


図 5. 5 金属資源採鉱基地

Mining base of metal resources

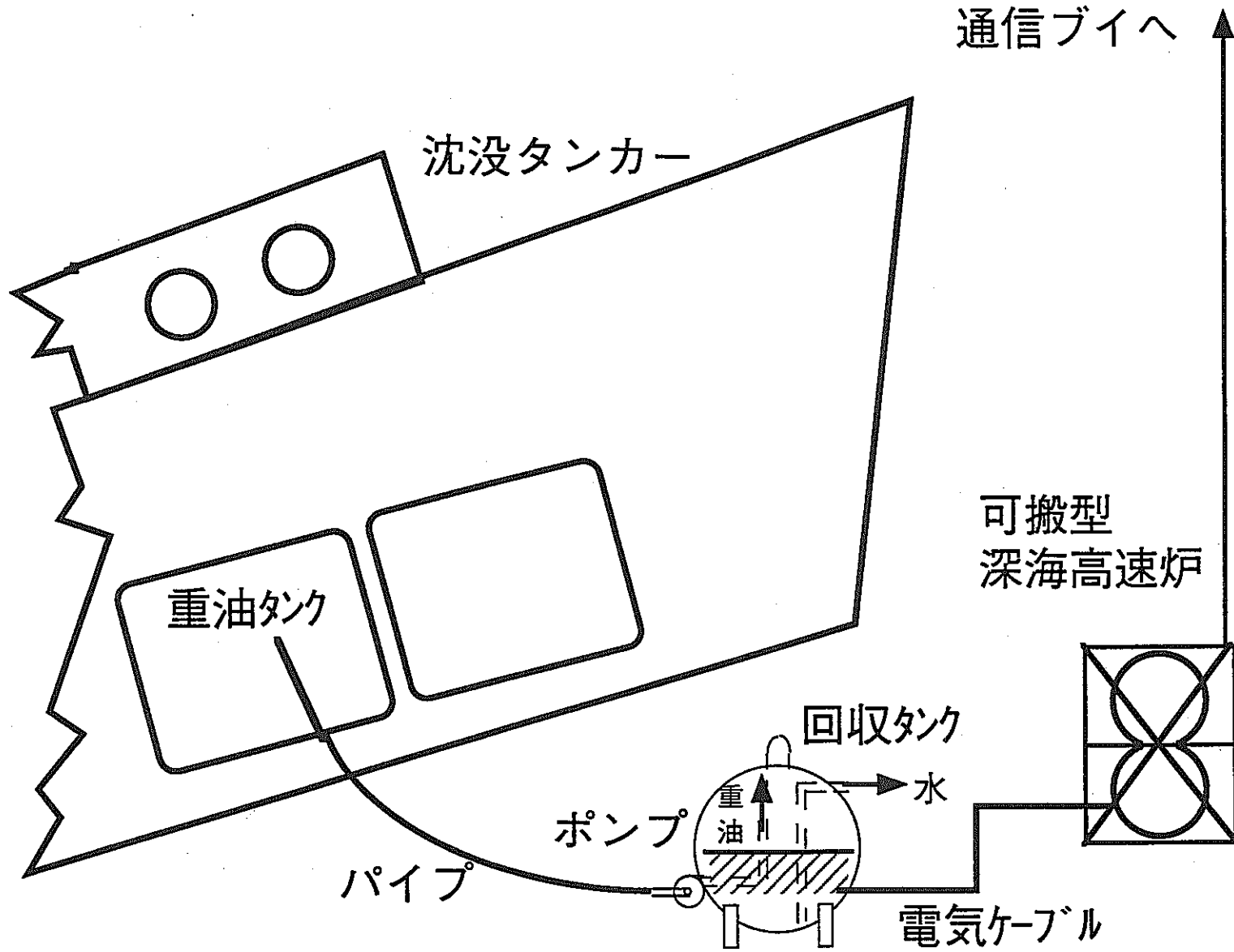


図 5. 6 沈没タンカー重油回収図

Recovering of oil from a sunken tanker

6. 極地での利用

前章までは深海における深海高速炉システムの利用法について説明した。しかし当然のことながら、このシステムは地上においても利用可能である。

図6. 1には極地観測研究所を示す。深海高速炉システムは2次系がガスタービンのため排熱温度が高く、建物の暖房に排熱を利用することが可能である。即ち、深海高速炉システムを深海で使用しているときは周囲の海水中に放熱しているが、この放熱している熱量を極地においては建屋の暖房に使用するということである。

図6. 1の極地観測研究所では、図2. 3の400kWeシステムを2台備えつけて合計800kWeの電力を供給するとともに、合計約3.2MWtの排熱を建屋の暖房に使用することを想定している。

極地觀測 研究所

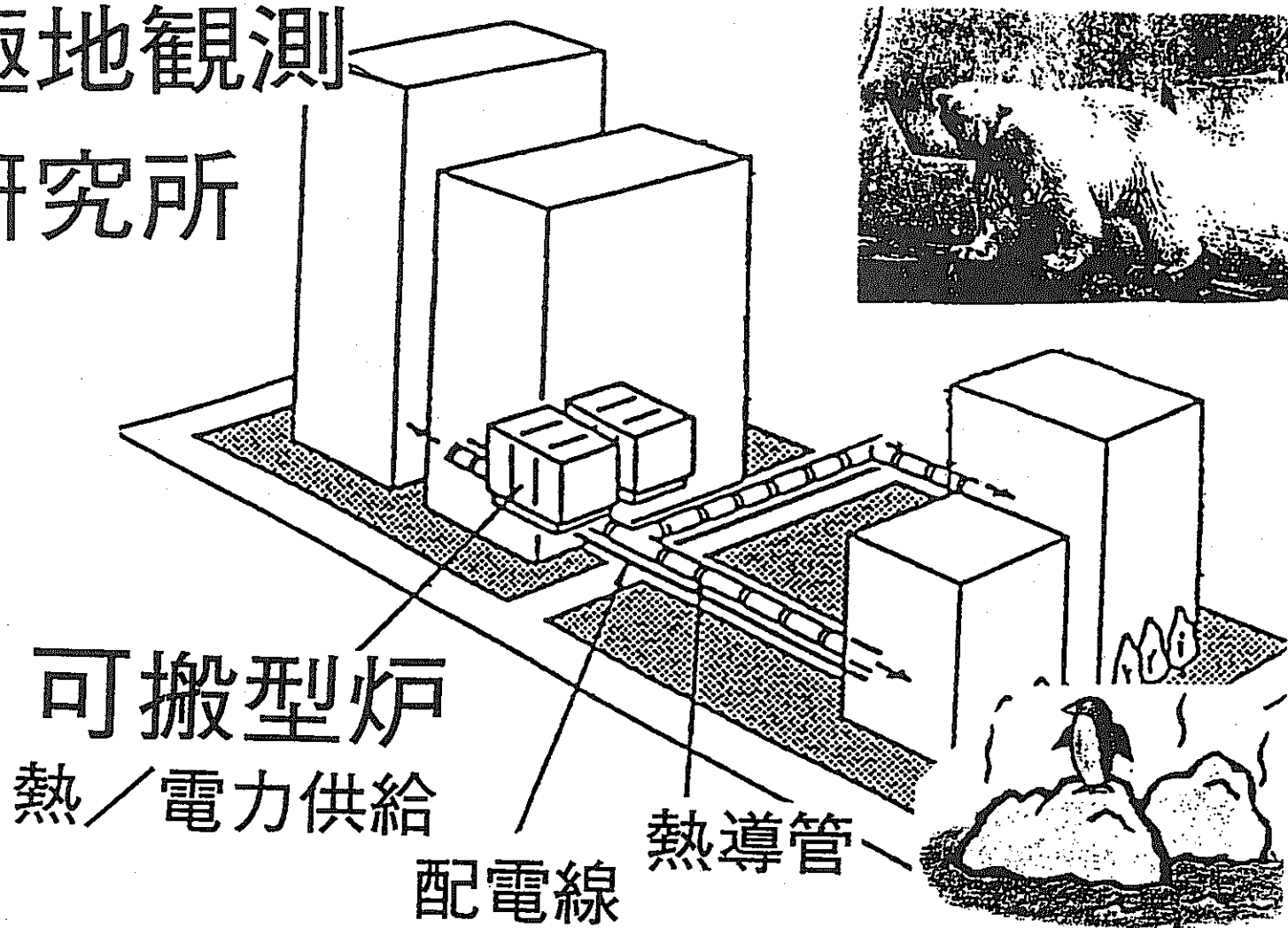


図 6. 1 極地觀測研究所

Observation base in the polar region

7. 宇宙での利用

深海高速炉システムは原子炉部分は宇宙炉のシステムと同じものを使用している。図 7. 1 にはフランスで検討された、20kWe の宇宙炉システムを図示する⁽²⁷⁾。これはアリアンV ロケットで打ち上げるとして設計したものである。深海高速炉システムと宇宙炉システムの大きく異なっている部分は、前者が耐圧殻内面の冷却器より海水中に放熱するのに対して、後者はラジエータで無限宇宙空間に放熱することのみである。

この20kWe の宇宙炉システムはフランスでは地球周囲の低軌道へ地球から打ち上げた物体を、ずっと地球から離れた高軌道へ輸送する輸送機の動力源として設計研究したものである。しかし需要はこれに止まるものではなく、月面基地での使用も可能である。図 2. 2 及び図 2. 3 の200kWe及び400kWeシステムの原子炉部分についても同様である。

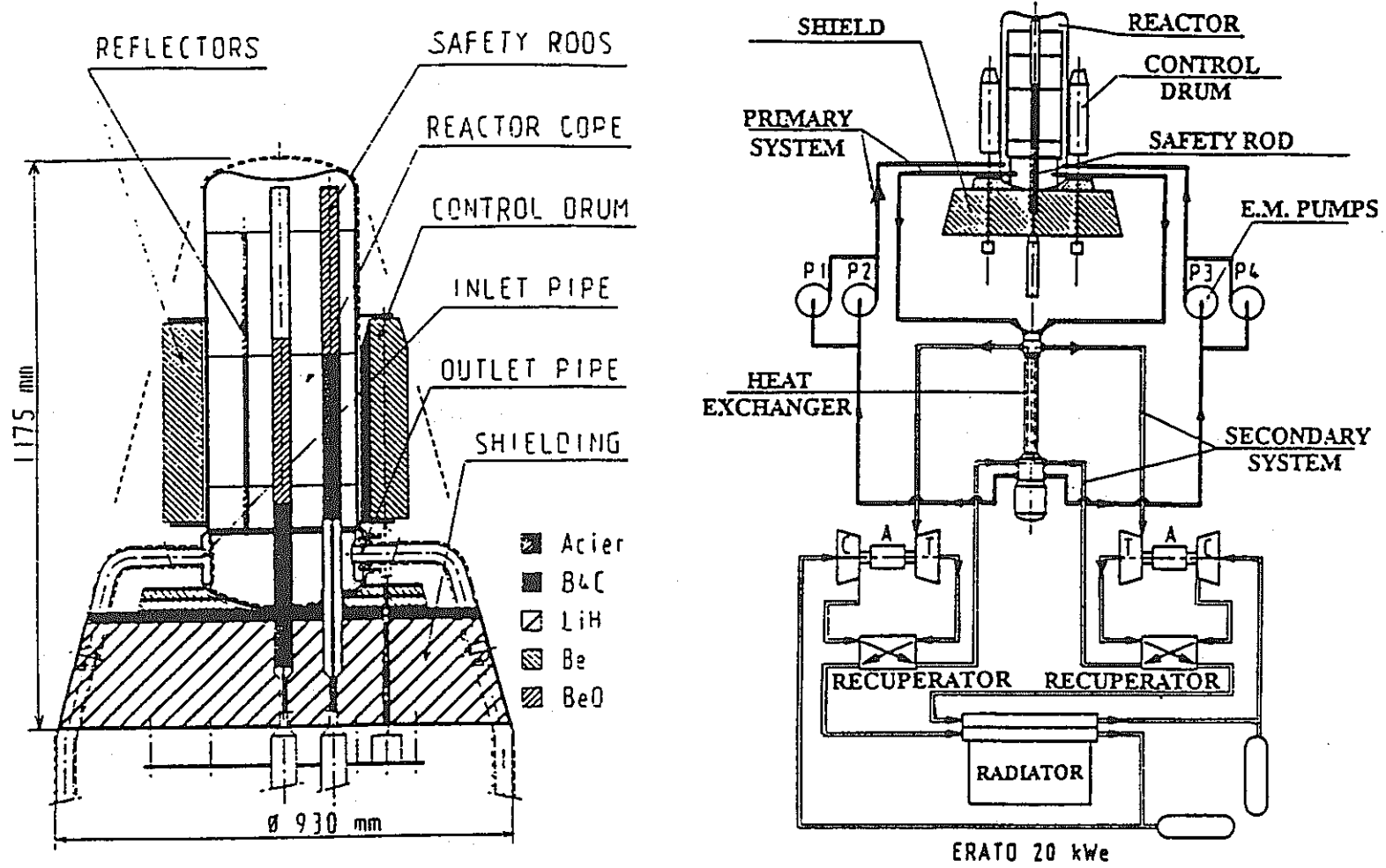


図 7. 1 ERATO 20kWe システム (27)

ERATO 20kWe system

8. まとめ

3章から5章にわたっては、深海高速炉の海洋での利用法について検討した。この結果現時点からずっと将来まで、深海高速炉の需要のあることが明らかになった。

6章では陸上での利用法について述べた。将来極地の有効利用が行われるようになれば、深海高速炉は威力を発揮すると思われる。

7章では宇宙での利用について少し述べた。もともと深海高速炉は原子炉部分には外国で宇宙炉と呼ばれている炉を採用しているので、宇宙での利用に向いているのは当然である。

謝辞

本報告書作成に御協力頂いた、新型炉技術開発株式会社 吉岡直樹氏及び三菱重工株式会社 徳永三伍氏はじめ、その外の非常に多くの海洋及び気象専門家の方々に謝意を表します。

参 考 文 献

- (1) 高速炉ガスタービン発電システム、大坪 章、羽賀 一男、関口 信忠、動燃技報 No. 89、1994年 3月。
- (2) 高速炉を用いた深海用動力源の成立性、大坪 章、羽賀 一男、日本原子力学会誌、Vol. 34、No. 10、1992年。
- (3) 蒲生 俊敬、「海洋の科学」、NHK ブックス、日本放送出版協会、1996年。
- (4) 科学写真雑誌、ニュートン、1994年 8月号。
- (5) G. R. Bigg, "The Oceans and Climate," Cambridge University Press, p. 169, 1996.
- (6) 気象庁編、「近年における世界の異常気象と気候変動 その実態と見通し (V)」、1994年 3月。
- (7) 榎本 浩之、海水と地球気候システムの課題、雪氷、54-1、pp. 57-59、1992年 3月。
- (8) 立花 義裕他、オホーツク海の海水の経年変動に及ぼす熱帯太平洋の影響、低温科学物理編、第48輯、pp. 71-77、1989。
- (9) 青田 昌秋他、氷海の研究とオホーツク海、地学雑誌、98-5、pp. 70-82、1989年。
- (10) 西尾 文彦他、Sea Ice Extents in the Okhotsk Sea、日本リモートセンシング学会誌、Vol. 16、No. 2、pp. 70-82、1996年。
- (11) 大塚 清敏、第 4 章 海水の数値モデリング、気象研究ノート、第 177号、pp. 131-169、1993年。
- (12) 佐々木 保徳、第 4 章 海水、気象研究ノート、第 187号、pp. 37-51、1996年。
- (13) S. G. H. Philander et al, "Simulation of ENSO with a Global Atmospheric GCM Coupled to a High-Resolution, Tropical Pacific Ocean GCM," J. Climate, Vol. 5, pp. 308-329, April, 1992.
- (14) 島村 英紀、幕が開く北極圏での地球科学観測、月刊海洋、pp. 365-369、Vol. 27、No. 6、1995年。
- (15) 浦 環他、グライダー型潜水艇の設計に関する研究 (その 8)、生産研究、pp. 165-167、43巻、3号、1991年 3月。
- (16) 徳山 英一他、「海洋調査フロンティア 海を計測する」、海洋調査技術学会、pp. 200-201、1993年。

- (17)鎌田 弘志他、海洋音響トモグラフィシステム、沖電気開発、第163号、Vol. 61、No. 3、pp. 17-22、1994年7月。
- (18)㈱日本造船学会海中技術専門委員会編、「海中技術一般」、p. 134、成山堂書店、1992年。
- (19)InterRIDGE Japan Working Group, "InterRIDGE Japan News Letter," No. 1, April, 1991.
- (20)中村 新他、大水深開発システムの概要、石油の開発と備蓄、pp. 69-80、No. 6、1996年。
- (21)高雄 信吾他、海洋油ガス田生産システムの概念を変えるか!、PETROTECH、p. 328、Vol. 15、No. 4、1992年4月。
- (22)瀬川 爾郎、有人深海ステーション構想、シンポジウム「深海ステーション」講演要旨集、東大 山上会館、pp. 27-28、1992年10月。
- (23)相馬 久、深海底長期観測ステーション、シンポジウム「深海ステーション」講演要旨集、東大 山上会館、pp. 29-32、1992年10月。
- (24)山根 健次他、地球温暖化抑制対策としてのCO₂の深海貯留について、日本造船学会誌、pp. 13-17、第770号、1993年8月。
- (25)奥田 義久他、ガスハイドレート、月刊地球、pp. 510-567、Vol. 16、No. 19、1994年。
- (26)鶴崎 克也、海洋鉱物資源と深海ステーション、シンポジウム「深海ステーション」講演要旨集、東大 山上会館、p. 11、1992年10月。
- (27)F. Carre et. al., "Update of the ERATO Program and Conceptual Studies on LMFBR Derivatives Space Power Systems," Proceedings of the Seventh Symposium on Space Nuclear Power Systems, pp. 381-386, January 1990.
- (28)R. E. Dyer, "Disassembly and postoperation examination of the SNAP8 experimental reactor," USABC Report NAA-SR-11520(1967).
- (29)気象庁編、「近年における世界の異常気象と気候変動 その実態と見通し (IV)」、1989年4月。

付録 1 NaK 中での SS316 の腐食速度

1. NaK 中での SS316 の腐食速度

最も新しい次の 2 論文から推測する。

(1) NASA TN D-769 Feb. 1961: 温度 1400F (760 °C) 酸素量 20ppm 以下 流速 3cm/s

3000h 0.0008 in の decarburization (=57.23 μ /y)

(2) IN-1185 Oct. 1968: 温度 1400F (760 °C) - 1100F (599 °C) 酸素量 30-50ppm 流速 5.6ft/s

24309h で 1 mil の腐食速度 decarburization (=8.83 μ /y)

腐食速度と温度の関係: 50°C 上昇で 2.5 倍になる。(Na 中で成り立つ関係である。)

腐食速度と流速の関係: 5.6ft/s (1.68m/s) までは影響無し。

腐食速度と酸素量の関係: 20ppm と 30-50ppm は変わらない。

とすると、上記(1)(2)は良く一致する。即ち両者の温度差を 100 °C として、温度 650 °C とすると、

$$8.83 \mu/y \approx (1/2.5)^2 \times 57.23 \mu/y$$

従って(2)の温度を 650 °C とすれば、両者のデータは矛盾しない。次に Na のデータと比較するため 600 °C のときの値を求める。

$$8.83 \mu/y \times (1/2.5) = 3.53 \mu/y$$

2. Na 中での SS316 の腐食速度

比較のために、Na 中での SS316 の腐食速度についても検討する。

原子力学会昭55分科会予稿集 J9(1980)では、温度 600°C、酸素量 約9ppm、流速 1.9 m/s で、腐食速度は 6.5 ~ 1.5 μ /y である。

腐食速度と酸素量の関係は、比例するということが分かっている。ここで Na 中の酸素量を、10ppm とし、NaK 中の酸素量を 20ppm として、NaK 中の腐食速度を 2 で割ると、

$$3.53 \quad \mu/y \div 2 = 1.77 \mu/y$$

この値はNa中でのSS316の腐食速度6.5 ~ 1.5 μ/y と同じ値である。

3. SNAP-8 Experimental Reactor 解体データとの比較

S8BRでは、炉容器出口配管では、704 °C以上の温度のNaKが、流速3.17m/s以上で、約8,753時間即ち約1年間流動していた。炉容器出口配管部の腐食量は、試験後の解体検査で12.5-50.5 μ と測定された⁽²⁸⁾。これを600 °Cに換算すると次のようになる。但しコールドトラップ温度は不明である。

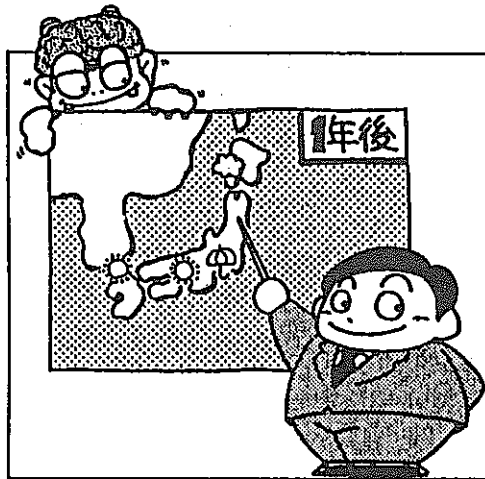
$$12.5 \sim 50.5 \mu/y \times (1/2.5)^2 = 2 \sim 8.08 \mu/y$$

この値は上記1.及び2.とほぼ一致する。

付録 2

天気1年予報 あたるかな

米に次ぎ気象庁が構想



商社・家電の要望受け

一年後の気候をコンピュータを使って予測しようと気象庁が構想している。現在の季節予報の二倍先まで延長しようという試みで、実用化されれば米國に続き世界で二例目になる。「そんなに先まで知ってどうするの」という声が聞かされてきたが、産業界には「三十五年先まで知りたい」という要望さえあり、長期の予報で損や無駄をかなり回避できたという実例は各國にある。「二年予報」構想は現在、気象庁職員に随問中。答が出したい、本格的な研究を始めるところにしている。

現在、気象庁が発表している季節予報は一月、三月、六月、九月先までの概況や寒さを予報する暖候期・寒候期の三種類。いずれも一九五三年二月の開始で、北日本で冷害が頻発し「夏場の天気を予報して欲しい」という稲作農家の声があつた。

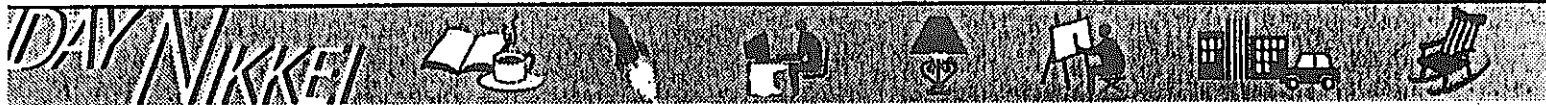
三月月と暖・寒候期は、気候がよく似た過去の例を調べる「統計的手法」で予報する。一月月予報は昨年三月から、スーパーコンピュータで計算する数値予報に切り替えた。九四年末から米國海洋大気庁が出している一年先までの「見通し」は、数値予報に統計を加味した併用型。だが、気象庁の一年予報は、数値予報を予定。これだけ長期になると、気候変動に対する海洋や氷山、山をおおる雷氷の影響が無視できない。大気の循環を中心とした一月月計算用の気候モデルを、大気と海洋の相互作用を織り込んで大幅につくりかえる方針だ。

明日の雨の有無なら百点満点で平均八十点以上の成績だが、一月月は平均五十点程度。それより先だと、四十点と五十点の間をうろたうのが現在の予報精度。それでも、穀物相場を扱う商社は六月以上、エアコンや暖房機の売れ行きが心配な家電各社は六月から一年、食品業界は「商品の企画・試作・プラント建設に時間がかかる」と三年から五年先の予報を求めている。

世界気象機関(WMO)は昨年、各國の季節予報の利用状況をまとめた。農作物選定がうまくいき損失が八五%減った(フランス)、▽農、林、水産の三分野で二億三千億円の被害を免れた(米國)▽Tシャツの発注量の調整で一億五百万円の節約になった(英國)など、実際の成功例を挙げて、季節労働者の雇用やビールの生産、道路凍結防止用塩の在庫調整、水力発電の運用でも効果をおげたと報告している。

一年予報にはハード面での設備投資はほとんど必要ないが、専用の気候モデルの開発から実用化までには四一五年かかる見通し。季節予報を担当する気象庁気候・海洋気象部は「二年先の予報があれば、要望はたいたい満足できるはず」と、それ以上先を自指すこととはせず、精度向上に力を入れることとしている。

季節予報 一月月以上の長期予報を指す。気象庁の一月月予報の場合、予報文に加え、①気温②降水③日照時間の三分野を「低い(少ない)」「平均並み」「高い(多い)」「三階級に分け、それぞれ出現しその確率をつけてあらわす。三月月や暖・寒候期予報では、確率表現はまた気温だけにとどまっている。



ファミリー・サイエンス

深層水減り生態系激変も

地球の表面の七割を占める海。広い海原をめぐる海水は表面近くの海流ばかりでなく、表面と深い海底との間でもダイナミックな循環が起きている。しかし、古代気候の研究やコンピュータによる予測の積集、二酸化炭素(CO₂)の増加などで地球が温暖化する、この海水の大規模な循環が停滞し、海の生態系が激変してしまう可能性のあることが分かってきた。温暖化がもたらす海洋異変を探ってみよう。

温暖化で海水の循環停滞

温暖化問題に関する専門家の集まりであるIPCC(気候変動に関する政府間パネル)は、現在のペースでCO₂排出が続くと、二〇〇年にはCO₂濃度が現在の三倍以上になり、地球の平均気温が約二度、海面が約五十センチ上昇

石が大量にできた。「白亜紀」といふ名称はここから来ている。ところが、この白亜紀の地層から黒く有機物に富んだ堆(たい)積物の層が見つかることがある。こうした堆積物は今も昔も海底の水がよこんで酸欠状態になるとできることが知られている。

極域から赤道に

このため、この時期には広範囲にわたって海底への新鮮な水の供給がとどろく異変があったと考えられている。一九八六年にプリンストン大学のヘルベルト博士は、白亜紀の海底堆積物を高い精度で解析し、このような異変が約一



現在の海水の循環。丸印が海水の沈み込み海域、深層水の流れを太い矢印、表層水の流れを細い矢印で示す。

ることによって引き起こされたと言われている。その原因を深層水が、東京大学気候システム研究所の山田隆二博士がコンピュータによるシミュレーション(模擬実験)を続けていく。この結果、温暖化によって極域と赤道付近の温度差が小さくなり、水が沈み込む場

古代の地層に異変の跡

すると予測している。酸欠で黒く堆積CO₂濃度がこれほど高かった時期を調べると、最近で

は今の四倍から八倍あったことを突き止めた。地球規模の海水は現在、グリーンランド沖か南極大陸の周辺で凍り冷たい水が深層水

中の海洋に流れ出し、循環している。深層水は酸欠だけでなく、水中のプランクトンに必要な栄養塩類も供給している。異変はこの循環が止ま

栄養塩類減少 影響が連鎖

所が極域から赤道付近に移ったため、という見方を強めている。赤道付近の水温はもとより高いため、海水は表面だけで循環することになる。このメカニズムでは、深層に流れ込むような新たな循環は起きにくい。冷えた水の上から

ら湧き足しても、かき混ぜなければ底の方がなかなか暖まらないのと同じ理由だ。山中助手は「海水の循環が停滞すると、栄養塩類がなくなってしまう」ことが激変する原因の一つ。その影響は魚類、そして魚類の捕食動物に及んでいく。古代気候学の研究では、この異変は数千年は続いたとされている。白亜紀に栄えた恐竜が絶滅を前に遭遇していたのも、あるいはこうした温暖化の余波が原因だったかもしれない。

米大気海洋局の真鍋淑博博士は、CO₂濃度が今の四倍になると、深層水の生成が止まり、現在のような海水の循環システムには二度と戻らないというシミュレーション結果を予測している。海水の循環に関しては、グリーンランド沖で生成される深層水が最近、一九六〇年代に比べて減っているという不気味な報告もある。



古代からの警鐘

海水の循環停滞は恐竜の衰退の要因だったかもしれない
イラスト・石井 正美

50年で環境激変
氷河期に海水の循環が止ま

気候変動の研究で海洋の役割が注目されるようになったのはごく最近のこと。データが不足し、詳細な計算モデルがまだ確立していないので、関心の高い近未来を占むには力不足なところもある。ただ、古代の地層に見られる証拠からは温暖化に伴う海洋の変化がかなり大きいといえ、それが再び気候変化に拍車をかける可能性があることが浮きあがらせている。

日経サイエンス編集部 池辺量

付録 4 InterRIDGE 計画とは

研究目的

地球上の大洋の中を延々と75000kmにわたってのびる中央海嶺は地球内部からのエネルギーの散逸がダイナミックに起こっている場であり、地球という惑星の活動を最も直接的に反映している地形である。そこでは地球内部のアセノスフェアから地球表層のリソスフェア、ハイドロスフェア、バイオスフェアへとエネルギーが伝達され、地球の環境形成に比類ない影響を与えている。量的にみた場合、地球上の火山活動の85%が中央海嶺で起こっていると試算されている。残りのわずか15%が、ハワイなどのホットスポット、日本列島などの島弧火山活動によるものということになる。この、地球上で最も大規模かつアクティブな構造である中央海嶺に対し、各国共通の研究戦略を設定し、共同でそのダイナミズムを解明していくことが提案されている。InterRIDGE計画と呼ばれているこの計画は、左ページに示すような多岐にわたる中央海嶺の活動を地球内部からのエネルギーの散逸過程としてとらえ、各活動の時空間変動とそれらの相互作用を全地球規模で明らかにすることを目標としている。

InterRIDGE 計画の特徴

- ・ Global: 全地球規模の現象に対する全地球規模の共同研究
- ・ Interdisciplinary: 地球物理学、地質学、地球化学、生物学にまたがる総合研究

研究内容

- ・ 中央海嶺系のグローバルマッピング

中央海嶺全体のうち、これまでにある程度調査が進んでいるのはわずか5%以下である。InterRIDGE計画の重要な目標は、地球内部からのエネルギーの集中的な散逸過程である中央海嶺系の活動を全地球的な規模で把握することである。

- ・ 中央海嶺活動の詳しい調査

これまでの調査結果によれば、中央海嶺系の活動は一様ではなく場所により特徴のある活動を示している。典型的な活動を示す海域をいくつか選び、2次元、3次元の詳しい調査活動を行ってそれぞれの海域における中央海嶺のダイナミズムを明らかにすることを旨とする。これらの調査に基づき、海底長期観測を行うべき場所が選ばれる。

- ・ 中央海嶺活動の直接モニター

中央海嶺は累々たる溶岩の重なりであるのに、人類はまだ一度もその火山活動の現場を目撃していないし、その火山活動がハイドロスフェア、バイオスフェアにどの程度の影響を与えるのか全く見積れない。また中央海嶺で起こっているプレートの拡散運動も、現場で実測された例はない。そこでInterRIDGE計画では、中央海嶺活動を直接モニターするために次の2種類の海底観測を計画している。

(1) 深海底変動の長期観測

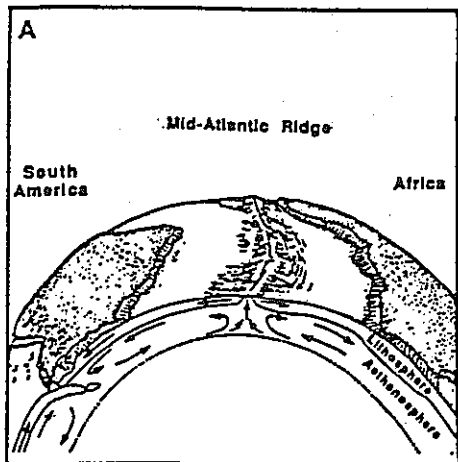
海底設置型測器を用いた海嶺軸付近における長期連続観測および繰り返し観測により、定常的あるいは間欠的な中央海嶺の活動を直接モニターする。

(2) 海底噴火活動の探知と調査

まれにおこる大規模な海底噴火活動を探知し、迅速に調査活動を行って、その活動の実体を明らかにし、ハイドロスフェア、バイオスフェアへの影響を評価する。

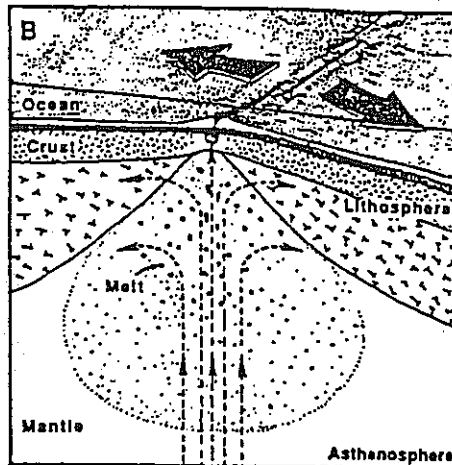
InterRIDGE

地球の熱対流



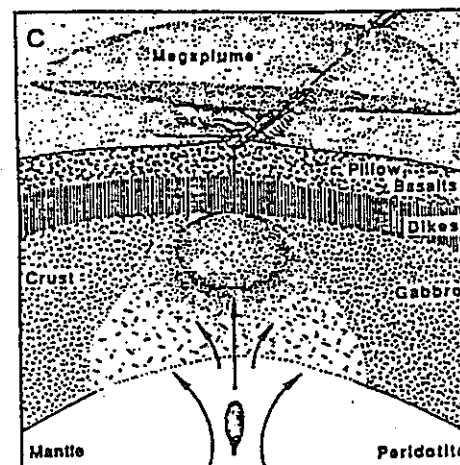
〈地球深部からのエネルギー放出の2/3を中央海嶺が担う〉

プレートテクトニクス



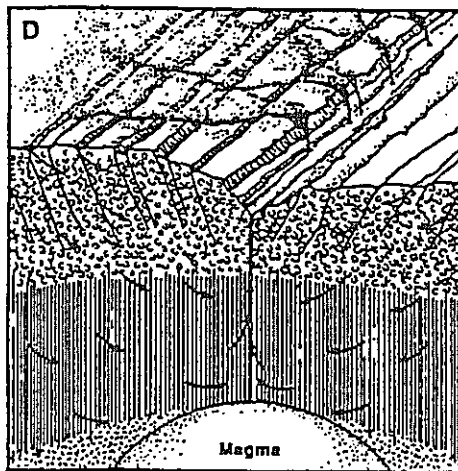
〈地球上の最も大規模なプレート境界〉

火山活動



〈全地球上の火山活動の85%が中央海嶺で起きている〉

熱水活動



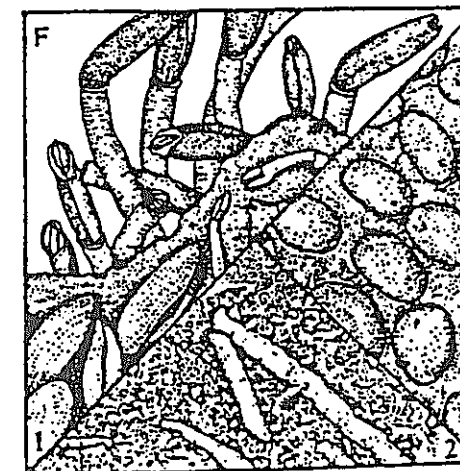
〈活発な熱水噴出が海水の化学を変える〉

生物活動



〈中央海嶺の深海生物コロニーは生物進化の実験場〉

生命の起源

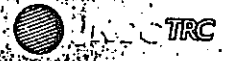


〈原始地球の中央海嶺上で生命が誕生した〉

付録5

多相流体輸送技術

丘谷形状パイプライン内の流体挙動解析



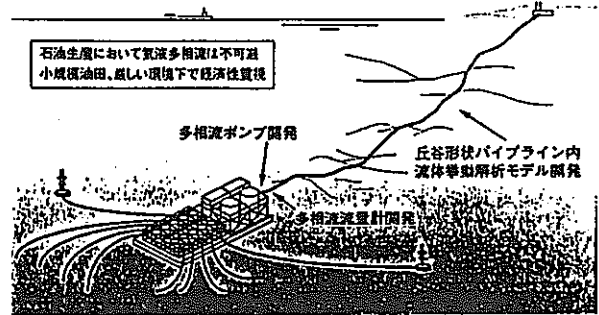
概要

石油開発の対象となる海洋油・ガス田のサイズは年々小規模になり、かつ、大水深海域や氷海域等開発環境の厳しい海域についても開発対象となってきていますが、海洋油・ガス田の開発を経済的に成立させるため、現在様々な開発コンセプトが考案されています。その一つとして、海洋油・ガス田からの生産流体を原油（コンデンサート）/ガス/水の混相状態のまま計量/昇圧し、数km～百km離れた既存のパイプラインあるいはプラットフォームへ輸送する「多相流生産システム」が注目されており、欧米の石油会社、ポンプメーカー、エンジニアリング会社を中心として研究開発が進められています。

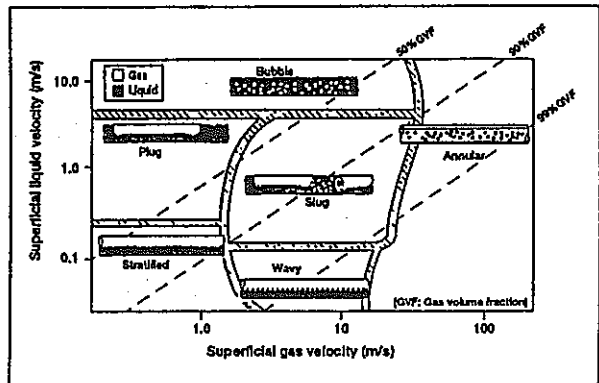
このシステムは多相流ポンプ等昇圧装置を海底に設置し、海底坑口装置からのフローラインをプラットフォーム等大型海洋構造物を新設することなく既存のパイプラインあるいはプラットフォームに直接つなぎ込むことによって新規のプラットフォームを建設するコスト等を削減し、開発コストを大幅に低減できるシステムと考えられています。

また同システムは、既存の海洋構造物の設置水深限界や気象海象限界に制約されることなく開発を推進できるため、大水深海域あるいは厳環境海域等へ適用することで開発対象海域の飛躍的拡大、すなわち、可採埋蔵量の大幅増大が図れることから、石油開発に対して極めて大きな貢献となることが期待されています。

このような背景の下、石油開発技術センターでは平成8年から11年の4カ年計画で、海底等、丘谷形状を呈した地形上に設置されるパイプライン内を流動する多相流体の挙動解析技術に係る研究開発を内外の大学やソフトウェア会社と協力しながら実施中です。



多相流生産システム概念図



水平管内の気液二相流動様式線図

内容

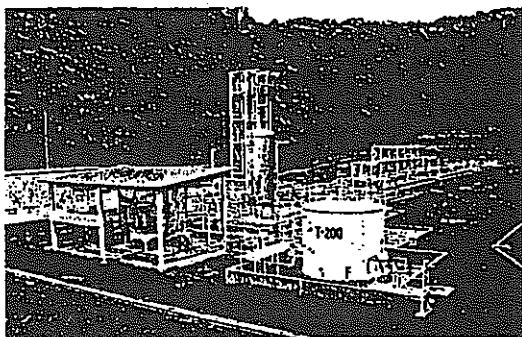
多相流生産システムにおいてはパイプライン内の流体流動の制御が重要になります。

一般にパイプラインの敷設形状は、凹凸な海底地形に沿っているために「丘谷」形状となります。このようなパイプラインでは圧力や流量等が時間的・空間的に大きく変動する非定常スラグ流となることが知られており、流動条件によっては数百m～数Kmに及び長大なスラグが発生することもあります。そしてこのようなスラグが生産施設に流れ込むと生産機器キャリーオーバー、配管系振動、パイプライン腐食等操業に支障を来します。

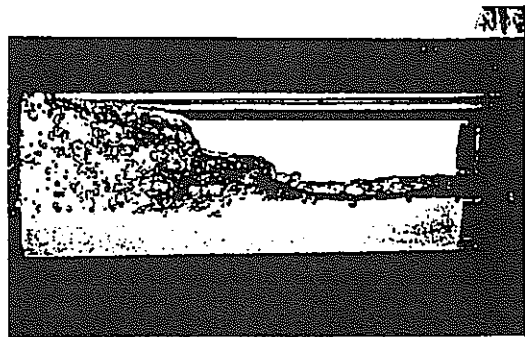
長大スラグの挙動解析は通常の検査体積当りの時間/空間的平均を

考えるシミュレーション手法では信頼性に欠けるため、本研究では「スラグトラッキング」という手法を用いて流動に伴うスラグの発生・消滅・成長・減衰についてシミュレーションする方法を開発します。

新規開発された機器を実用化するためにはその性能や信頼性を実際のフィールドで検証することが不可欠です。しかし一般的に実フィールドのデータは信頼性の点で不十分であったり、また操業条件等パラメーターの変更が容易ではありません。そこで広範な条件下でしかも高精度にデータを取得可能な柏崎テストフィールド多相流実験設備の実験データを用いてモデルの検証を行っています。



柏崎テストフィールド多相流実験設備



水平管におけるスラグ流

付録 6 (社)日本原子力学会「1993春の年会」(1993年3月27~29日, 京都大)

A 59

深海バイオ用高速炉熱源システム概念検討

Conceptual Study on a Fast Reactor Heat Source System for Deep Sea Biotechnology

動燃

○大坪 章

羽賀 一男

OTSUBO akira

HAGA kazuo

緒言・・・前報⁽¹⁾では新たな高速炉の用途開拓の目的で、無人観測基地及び潜水調査船について検討した。今回はより遠い将来の高速炉の用途開拓の目的で、深海バイオ基地を取り上げその概念について検討する。

検討条件・・・深海バイオ基地とは、将来人類にとって有用な微生物が発見された場合に、微生物を深海で大量飼育する基地である。深海には栄養に富むが低温のために深海生物が生存しない海域が広く存在する。ここに、熱源を設置し生物生存に適した環境条件をつくり出す。この基地の条件を次のように設定した。水深：2,000-3,000m、水温：40℃、基地寸法：10m×20m×10m、海水温度：2℃。

検討結果・・・熱源用高速炉としては既発表の熱出力2.2MWtの高速炉を用いた⁽²⁾。炉容器出入口温度は現在のFBRと同じ550/448℃とした。2次系は1次系との熱交換器及び海水への放熱器を設置した4ループのHeガスループとした。耐圧殻は内径3.5m、厚さ4.5cmの10%超高張力鋼製とした。高速炉で発生した熱は、耐圧殻内面の放熱器から耐圧殻を通して海水中に伝熱される。伝熱計算の結果放熱器出入口ガス温度は400/161℃となった。図1に熱源システムを示す。尚電源としては別途動力源用システム⁽¹⁾を設置する。

基地の壁には深海用の小さなガラス球製の浮力材を、断熱性に着目して採用した。壁外側の海水速度を0.1m/sとした。伝熱計算の結果、壁(厚さ30cm)を通して定常的に放熱される熱量は、6.2kWとなった。最後に基地外部よりの海水の流入量の計算を基地全体の熱バランスより求めた。計算の結果、流入量は50.7m³/hとなった。

結言・・・本検討により、深海バイオという新たな分野での高速炉の適用性が確認出来た。

海洋科学技術センター高川真一氏、三菱原子力広田耕一氏、今吉祥氏の御助言、御協力に感謝します。

(1)日本原子力学会「1992秋の大会」

B52「深海用高速炉システム概念検討」

(2)日本原子力学会誌1992 Vol.34, No.10「高速炉を用いた深海用動力源の成立性」

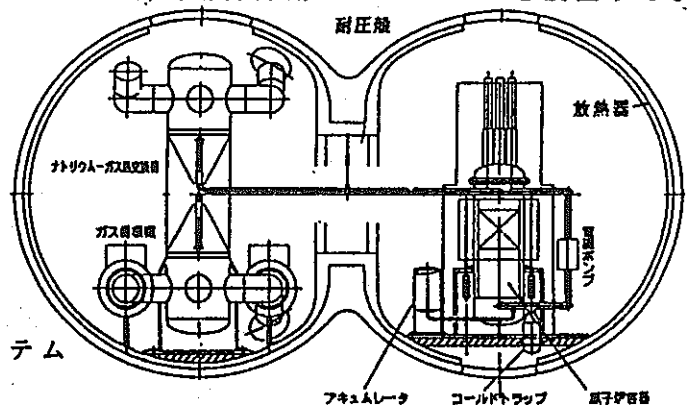


図1 高速炉熱源システム

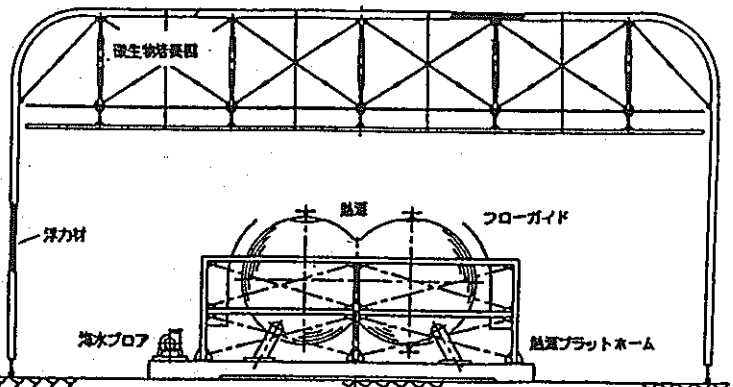


図2 深海バイオ基地