

JAERI-M

8559

ニュークリア・フローティング・アイラ
ンド構想に関する検討評価

1979年11月

村田 浩・武谷 清昭・両角 実

この報告書は、日本原子力研究所がJAERI-Mレポートとして、不定期に刊行している研究報告書です。入手、複製などのお問い合わせは、日本原子力研究所技術情報部（茨城県那珂郡東海村）あて、お申しこしください。

JAERI-M reports, issued irregularly, describe the results of research works carried out in JAERI. Inquiries about the availability of reports and their reproduction should be addressed to Division of Technical Information, Japan Atomic Energy Research Institute, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken, Japan.

ニュークリア・フローティング・アイランド構想に関する検討評価

日本原子力研究所

村田 浩・武谷清昭⁺・両角 実⁺⁺

(1979 年10月19日受理)

わが国のエネルギー源が大幅な石油依存から脱却するには、当面原子力以外考えられないにもかかわらず、原子力施設の立地は、人口密度の高いわが国において、今後深刻な問題になるものと予想される。そこで、新立地として、わが国をとり囲む海上に原子力エネルギー・センターを置く構想を提案し、その技術的可能性について調査、検討を行った。

前提として、日本の沖合 20 km、水深 150 m の海域に現存最大規模の加圧水型原子力発電所を置くことを想定した。この海上プラントは半潜水式の浮体を海底に係留する方式が適当で、面積は 140 m × 140 m、総排水量は約 30 万トンとなり、現在の技術の延長で建造し得ることが分かった。又、このような海上プラントで生産される 2 次エネルギーを陸上に輸送する方式についても見通しが得られた。

+ 日本原子力研究所特別研究員

++ 日本原子力研究所動力炉開発・安全性研究管理部

Feasibility study of a Nuclear Floating Island (NUFIS)

Hiroshi MURATA, Kiyooki TAKETANI⁺ and Minoru MOROZUMI⁺⁺

Japan Atomic Energy Research Institute

(Received October 19, 1979)

Under the present oil demand/supply situation, oil consumption must be reduced in Japan, implying the reliance on nuclear energy in future. The siting for nuclear power plants is limited, however, because of the dense population; there must emerge a new concept in this connection. Feasibility of a nuclear floating island (NUFIS) has been studied. The NUFIS is located about 20km offshore with sea depth about 150m and has a 1,200 MWe PWR plant on a 140m X 140m floating platform, with displacement about 298,000 tons. It is technologically feasible, and the platform is stable enough to build the power plant and its associated facilities on it. It is possible to construct a nuclear floating center offshore of Japan, which comprises VHTR, FBR, fuel reprocessing and fabrication plants.

Keywords: Nuclear Floating Island, Reactor Site, Feasibility Study,
PWR, Stability, Offshore Power Station

+) Special Research Scientist, JAERI

++) Division of Power Reactor Projects, JAERI

目 次

1. ニュークリア・フローティング・アイランド (NUFIS) 構想の検討	1
1.1 はじめに	1
1.2 ニュークリア・フローティング・アイランド (NUFIS) 方式のアセスメント	2
2. ニュークリア・フローティング・アイランドの技術的可能性に関する検討	10
2.1 検討方法及び基本条件の設定	10
2.1.1 検討方法	10
2.1.2 基本条件の設定	10
2.2 海洋学的条件の調査, 検討, 並びに設計条件の設定	11
2.2.1 波 浪	11
2.2.2 風 速	12
2.2.3 潮 流	12
2.2.4 津 波	12
2.2.5 他の自然条件	12
2.2.6 船舶の衝突	12
2.2.7 海洋学的設計条件の設定	13
2.2.8 今後の課題	13
2.3 海上プラント本体の技術的検討	13
2.3.1 プラント搭載方式の選定	13
2.3.2 搭載原子力プラントの主要仕様の設定	13
2.3.3 原子力プラント及び浮体構造物の試設計	14
2.3.4 静的安定性の検討	15
2.3.5 波浪中における動揺安定性の検討	16
2.3.6 結果の評価, 今後の課題	16
2.4 浮遊海上プラント係留装置の技術的検討	17
2.4.1 各種係留方式の比較, 検討	17
2.4.2 係留システム設計基準, 条件, 及び解析法の設定	17
2.4.3 各種係留方式の試設計及び解析	18
2.4.4 試設計・解析結果の評価, 係留方式の選定	18
2.4.5 結果の評価, 今後の課題	18
3. 浮防衝堤に関する技術的検討	55
3.1 浮防衝堤の型式選定, 規模の検討	55
3.2 浮防衝堤の試設計及び解析	56
3.3 浮防衝堤係留装置の技術的検討	57
3.4 結果の評価, 今後の課題	57

4. 海上多目的炉プラントで生産される各種2次エネルギー源の陸上への輸送方式 に関する技術的検討	61
4.1 2次エネルギー源と各種輸送方式の比較検討	61
4.2 設計条件の設定	61
4.2.1 海上原子力プラントの規模	61
4.2.2 石炭のガス化による気体燃料の生産量	62
4.2.3 石炭の液化による液体燃料の生産量	62
4.2.4 水の熱化学分解による水素の生産量	62
4.2.5 電力の生産量	62
4.3 海底パイプライン方式による石炭ガス化、液化燃料輸送法の検討	63
4.3.1 パイプライン諸元	63
4.3.2 海底パイプラインの敷設法、埋設法の調査検討	64
4.3.3 海上プラントと海底パイプラインとの接続法の検討	64
4.4 海底パイプライン方式による水素輸送法の検討	65
4.4.1 気体水素の輸送法の検討	65
4.4.2 液体水素の輸送法の検討	65
4.5 海底電線による送電法の検討	65
4.5.1 海底ケーブルの諸元	66
4.5.2 海底ケーブルの敷設法、埋設法	66
4.5.3 海底ケーブルと海上プラントとの接続法の検討	66
4.6 結果の評価、今後の課題	67
4.6.1 検討結果の評価	67
4.6.2 今後の課題	67
5. まとめ	88

CONTENTS

1. Assesment of concept of Nuclear Floating Island System (NUFIS)	1
1.1 Introduction	1
1.2 Assesment of NUFIS	2
2. Technical feasibility study on NUFIS	10
2.1 Procedure of feasibility study and design concept	10
2.1.1 Procedure of feasibility study	10
2.1.2 Design concept	10
2.2 Survey of Oceanographic condition and setting of design guidline	11
2.2.1 Wave	11
2.2.2 Wind	12
2.2.3 Tidal current	12
2.2.4 Tsunamis	12
2.2.5 Other natural conditions	12
2.2.6 Collision of ship	12
2.2.7 Oceanographic design guidline	13
2.2.8 Discussion	13
2.3 Technical feasibility study of nuclear floating plant	13
2.3.1 Selection of plant loading type	13
2.3.2 Main specifications of nuclear plant	13
2.3.3 Preliminary design of nuclear floating plant	14
2.3.4 Static stability	15
2.3.5 Dynamic stability	16
2.3.6 Discussion	16
2.4 Technical feasibility study of plant mooring	17
2.4.1 Mooring system	17
2.4.2 Design guidline on mooring of nuclear floating plant	17
2.4.3 Preliminary design of plant mooring systems and its analysis	18
2.4.4 Selection of mooring system	18
2.4.5 Discussion	18
3. Survey on floating multi-buoy system for the protection of ship collision	55
3.1 Selection of floating breakwater	55
3.2 Preliminary design of multi-buoy system and analysis of ship colliosion	56
3.3 Preliminary design of mooring of floating buoy	57
3.4 Discussion	57
4. Study on transmission of secondary energy produced by NUFIS	61
4.1 Survey on transmission of various secondary energies	61
4.2 Design concept	61
4.2.1 Scale of the nuclear power plant	61
4.2.2 Production of gaseous fuel produced by coal gasification	62
4.2.3 Production of liquid fuel produced by coal liquefaction	62
4.2.4 Production of hydrogen produced by thermochemical water splitting	62

4.2.5 Production of electric power	62
4.3 Study on submarine pipeline for transmission of gaseous or liquid fuel	63
4.3.1 Specification of pipeline	63
4.3.2 Survey on laying technique of submarine pipeline	64
4.3.3 Survey on connecting technique between submarine pipeline and NUFIS ...	64
4.4 Survey on submarine pipeline for transmission of hydrogen	64
4.4.1 Survey on transmission technique of gaseous hydrogen	65
4.4.2 Survey on transmission technique of liquid hydrogen	65
4.5 Study on transmission of electric power by submarine cable	65
4.5.1 Specification of cable	66
4.5.2 Survey on laying technique of submarine cable	66
4.5.3 Survey on connecting technique between submarine cable and NUFIS	66
4.6 Discussion	67
4.6.1 Discussion of results	67
4.6.2 Future works	67
5. Conclusion	88

1. ニュークリア・フローティング・アイランド (NUFIS) 構想の検討

1.1 はじめに

わが国のエネルギー需給の状況からみて、過度の石油への依存から脱却するためには、今後原子力開発の比率を益々高めなければならないことは明らかであろう。これに関連して原子力関連施設の設置場所の選定が重要な課題となることは論をまたない。すなわちわが国の原子力発電開発計画の実現を原子力発電所の海岸立地にのみ頼るとすれば、将来サイト問題からその推進に支障をきたすおそれがないとはいえない。他方、最近の情勢からすれば、地域住民の環境保全に対する意識の向上は無視できないものがあり、このため原子力発電所の新設あるいは増設に対するコンセンサスが得難い状況が続くものとみられる。

日本原子力研究所は早くから原子力によって生産される熱エネルギーの有効利用に関する研究開発を進めてきている。その目的のため、多目的高温ガス炉の開発をすすめ、これにより電力以外の二次エネルギー、すなわち還元ガス、メタンガス、水素ガスなどの供給をも可能とすることが必要と考えている。したがって原子力発電所の設置についてはもとより、将来このような多目的高温ガス炉の開発をも併せ考えると、上に述べた原子力施設のサイト問題の新たな可能性を探ることは極めて重要な課題である。以上の観点から日本原子力研究所では原子力施設の立地に関する問題の重要性を指摘すると共に自らも立地可能性拡大のための方向を検討しておくことが望ましいとしている。

このような状況の下で、数年前より専門機関にも依頼して、立地問題に関する委託調査を実施するなど、問題解決のための具体策の検討を重ねてきているが、その一つ的手段として原子力施設を海洋上に立地するニュークリアフローティングアイランド (Nuclear Floating Island; NUFIS) 構想に関する検討評価の結果が一応まとまったので、ここで報告することとした。

新立地概念として、これまでに諸外国において検討され或いは実施されている立地方式には、海洋上立地、沖合い立地、地下立地など各種ある。これらを含め原子力発電所の海上設置と陸上設置についてその技術的および経済的問題を比較検討したが、現在わが国の原子力発電所がすべて海岸立地であり、海水中に廃熱している状況から見て、また今後の原子力施設基地の大型化をも考えると、これらの新立地方式の中では、わが国として海洋上立地への発展が第一候補となるであろう。なお海上立地の原子力発電所としては、すでに米国のオフショアパワーシステム社 (Offshore Power Systems) の沖合い方式によるフローティングニュークリアープラントの技術的検討の結果が発表されているが、それによると水深 20 m 程度の水域に着定式防波堤を構築し、その内側にプラントが定置されることとなっている。プラント諸元は原子炉出力 115 万キロワット、床面積 378 フィート×400 フィート、総排水量 164,000 トンである。これに対して本報告では、わが国の実情から見て沖合 20 km、水深 150 m 程度の海洋上に設置することを提唱しており、^{1,2,3,4)} その地点での海象条件下のニュークリアフローティングアイランド (NUFIS) 方式の検討を行ったものである。このような沖合立地方式では、i) 消費地域への電力あるいはエ

エネルギーの輸送が比較的近距离ですむこと、ii) 大規模基地とした場合の災害評価が有利と考えられること、iii) 立地に伴う補償も比較的容易であること、iv) 空間的制約の少ない設計ができること、v) 工場での組立加工を行い機器の信頼性を向上できるなどの特徴があげられる。このように、この立地方式は他と比較し極めて優れた特色を有するものであるが、その実現のためにはまず技術的可能性が十分に検討されなければならない。

その見地から筆者らはニュークリアフローティングアイランド (NUFIS) 方式の技術的フィージビリティの検討、すなわち、i) 原子力発電施設を海洋にある浮上式プラットフォームに設置並びに係留することの可能性、ii) このプラットフォームの防衝方式、iii) このプラットフォームから陸地への発生二次エネルギー輸送方式などについて検討を行った。その結果ニュークリアフローティングアイランド (NUFIS) 方式は技術的に可能であると結論されたが、この場合の諸元は、原子炉出力 120 万キロワット、床平面 140 メートル×140 メートル、総排水量 298,200 トンである。このプラットフォームは外洋性の気象海象に耐えるように、前述の沖合い方式よりも構造設計面で強化されているので、大型化するのはやむをえないと思われる。

したがって最初の技術的検討の段階では、ニュークリアフローティングアイランド (NUFIS) 構想により、わが国の沿岸沖合 20 km 附近に設置される浮上式プラットフォームに原子力発電所を建設する可能性は十分に考えられ、将来の原子炉立地問題の解決に大きく貢献することが期待される。

この概念をさらに発展させてニュークリアフローティングアイランド (NUFIS) に原子炉施設のみならず、燃料再処理施設、燃料加工施設などを設置すれば、原子力エネルギーセンターが構成される。さらにニュークリアフローティングアイランド (NUFIS) の原子炉施設として、軽水型発電炉の他に高速増殖炉あるいは高温ガス炉を設置するならば、核燃料サイクルもこのセンター内で実現され、総合的な立地にも寄与することができよう。さらに、高温ガス炉系からの熱エネルギーを電気以外の二次エネルギーすなわち還元ガス、水素ガスなどの生産に当てるのが可能であるから、日本列島周辺にこのようなセンターを構築し、センター間をパイプラインなどで連結するシステムを実現すると、このシステムでは年中無休で各地区へのエネルギー供給が確保できることとなる。将来のわが国のエネルギー問題の解決のためには、このような規模雄大な構想が必要であることは昭和49年3月の日本原子力産業会議年次大会で発表された『原子力開発への長期戦略』²⁾と題する講演のなかで筆者の一人村田が提案したところである。

本報告では、原子力施設のためのニュークリアフローティングアイランド (NUFIS) 構想の原子炉型式としては、動揺に対して安定な特性をもつ加圧水型軽水炉をまず対象として、そのフィージビリティ・スタディを行った。また本報告にはニュークリアフローティングアイランド (NUFIS) 実現のために必要な今後の研究計画とその方法についても記述してある。

1.2 ニュークリアフローティングアイランド (NUFIS) 方式のアセスメント

日本原子力研究所においては、昭和44年から多目的高温ガス炉の研究開発を進めてきているが、これはよく知られているように、核熱エネルギーを電力以外の二次エネルギーとして供給可能とする意図をもつものである。その後、昭和48年の石油危機以降、原子力発電の推進が緊急の

課題として認識されてきたが、とくに長期的観点からは、核熱エネルギーの発電利用のみならず、一般産業におけるプロセスヒート利用への開発を進め、核エネルギーによる石油の代替えをより広く行うことが重要と考えられるに至った。

この観点から、現在日本原子力研究所が、多目的高温ガス炉を開発する一方、その利用システムを並行して開発することにより、直接還元製鉄、還元ガス製造、石炭のガス化さらにはガスタービン発電などの結合が考えられている。特に具体的には、通商産業省工業技術院の大型プロジェクトのひとつである直接製鉄技術の研究開発と協力して、それに必要な熱エネルギー供給源としての多目的高温ガス炉の研究開発を進めているところである。

このような方向に核熱エネルギー利用の開発が進められていくなれば、当然のことながら、現在計画されている原子力発電規模に対応する原子力発電所のサイトの数に加えて、多目的高温ガス炉とその利用施設を設置するサイトが必要であるため、さらに多くの原子炉サイトの確保が要求される。

しかしながら世界的に見て原子力発電所をはじめ原子力関連施設の立地は、地元住民の一部の反対運動や施設立地の受入れに対する消極的な姿勢のため、地域のコンセンサスをえるのはきわめて困難な状態にある。このようなサイト難といった問題を解決するためには、長期的な観点に立って、これまでの立地概念とは異った新しい立地概念を具体化することが必要である。

新立地概念の具体的なものとしてすでに諸外国において実施されている立地を検討すると、海上立地、沖合い立地、地下立地など各種あるが、現在わが国の原子力発電所がすべて海岸立地であり、海水中に熱を廃棄している状況、さらに今後の原子力基地の大型化をも考えると、これらの立地条件の中からわが国として海洋立地を第一候補とすることは妥当とされるであろう。

米国においてもすでにオフショアパワーシステム社によって河川内あるいは海岸近くにフローティングニュークリアプラントと称する原子力発電所を設置することが検討されている。その結果の概要を次に示す。

設置場所	: 沿岸近辺 (港湾を含む)
	河川内
	陸地から5マイル程度離れる
設置場所の水深	: 20 m程度
防衛方式	: 着定式 (土砂又はコンクリートケーソン)
浮体構造	: プラットフォーム構造
浮体定置方式	: もやい方式
水平面積	: 115 m (378フィート) × 122.m (400 フィート)
喫水	: 10.3 m
高さ	: 68.6 m
総排水量	: 164,000 トン

原子力発電所電気出力: 115万キロワット

これに対して本報告書では、原子力発電所の海洋立地ということで沿岸から沖合20 km程度に設置する場合の検討を行っている。これは筆者の一人である村田の提唱によるものである。このような海洋立地は、j) 消費地域への電力あるいはエネルギーの輸送が比較的近距離になること、

ii) 災害評価の観点から核燃料処理、加工施設を含む大規模エネルギー基地となしうること。iii) 立地に伴う補償も陸上立地に比較して容易であること。iv) 空間的制約の少ない設計ができることなどが特徴としてあげられる。

筆者らは以上に述べた構想に基づいてその具体化を図るために、まず適当な機関に委託調査を実施し、本構想の妥当性の確認と質的向上に努めた。

すなわち昭和48年度及び49年度には多目的高温ガス炉に関するテクノロジーアセスメントを行った。これは同炉システムが社会に導入される場合の経済、社会、技術などの分野での位置づけを検討したものである。その結果核熱エネルギーの多目的利用の必要性和共に立地問題が指摘された。昭和50年度には立地に関する一般的検討を行い、海上立地を選定した。この場合沖合い式の定着式防波堤方式のサイト構成と浮上式プラットフォーム方式のサイト構成をそれぞれの長所短所を海洋学的条件も加えて比較検討した。その結果、浮上式プラットフォーム方式が優れていることを確認した。

筆者のひとり村田はこの浮上式プラットフォームにより原子力関係施設を集合させて、原子力エネルギーを構成する構想を提案した。このセンターには、高速増殖炉と多目的高温ガス炉などが含まれ、さらにそれらに必要な燃料製造加工工場と再処理工場なども浮上式プラットフォームに搭載されている。これらの施設がリビングクォータを中心に配列しており、それらの一つ一つを乗せたプラットフォームは相互に連繫させてある。その外側を防波堤が囲んでいる。この見取図を図1.2-1に示してあり、この原子力エネルギーセンター内の浮上式プラットフォーム配置図は図1.2-2に示してある。ここではリビングクォータを中心に、左側に多目的高温ガス炉が6基、右側に高速増殖炉が3基、さらにその外側に燃料製造工場と再処理工場とが配置してある。この海洋立地の原子力エネルギーセンターでは図1.2-3に示すように浮上式プラットフォームの直下の海底に放射性廃棄物貯蔵の施設を設置し、そこにこのセンター内において、原子炉その他から発生した廃棄物を貯蔵することができるという特徴も持つ点で極めて有効なものである。

浮上式プラットフォームによるこの原子力エネルギーセンターはさらに具体的な利点として次の事項があげられる。

- i) 社会地域との離隔距離を大きくすることが容易なので社会環境への影響を少なくすることができ、地域住民のアクセプタンスをえ易い。
- ii) 地質、地盤、地形の影響があまりなく、地震の影響も直接ないため、プラントの大部分について標準化規格化ができて、品質の一層の向上が図られ維持の簡易化が容易で、経済性も向上する。
- iii) 陸上輸送の場合の制約がないので、工場においてニュークリアフローティングアイランド(NUFIS)の組立を完了した後に、設置場所に移動させることができる。
- iv) 工場での組立部分を大型化し、機器の信頼性を向上させることができる。したがって現場組立作業を簡略しえて、プラントの安全運転を期待しうる。その結果工期の短縮と共に経済性の向上も可能となる。

以上のような浮上式の総合プラントは先にも述べたように原子力エネルギーセンターとして、日本の沿岸で沖合20 km程度に設置することを究極の目的としている。この洋上の原子力エネルギーセンターでは、発電炉による電力の発生と共に、多目的高温ガス炉は発電に加えて、核熱エ

エネルギー利用の一環としての還元ガス、水素ガスなどの製造、石炭のガス化なども行うことができる。この原子力エネルギーセンターをわが国のエネルギー多消費地の近接洋上に設置するならば、上記のエネルギーすなわち電気、還元ガス、水素ガスなどを容易に消費センターに輸送することができる。なお原子力エネルギーセンターを日本列島周辺の洋上に、陸上の各エネルギー消費センターに対応して設置すると共に、これらの原子力エネルギーセンターを相互に電力、還元ガス、水素ガスなどの配線や配管によって連絡して、エネルギー供給パイプラインシステムを構成することができる。これを図 1.2-4 に示してある。このような方式を取るることによって一つの原子炉の定期点検あるいは修理期間においては、他の原子力エネルギーセンターの原子炉から電力および還元ガスなどを供給することができることになり、エネルギー多消費地に年中無休のエネルギー供給ができ、従来から言われている原子炉の定期点検時のエネルギー供給不能という問題点も解消されよう。

長期的観点からは、原子力エネルギーセンターの実現が理想であるが、本報告書では原子炉施設として動揺に対して比較的安定性のある加圧水型軽水発電炉を対象として、このような構想の具体化のための技術的フィージビリティの検討評価をこれ以降 3 章にわたって述べてある。ここでは技術的フィージビリティを以下の 3 項目にわけて検討する。これは、1) 浮上式プラットフォーム及び係留方式の技術的検討、2) プラットフォーム防衝の方式、3) プラットフォームからのエネルギー輸送方式である。

以上検討結果の概要として、まず浮上式プラットフォームの外観図を図 1.2-5 に、またその諸元を以下に示す。

設置場所	: 海岸から沖合 20 km 程度
設置場所の水深	: 150 m 程度
防衝方式	: 浮上式 (鋼製ポンツーンと係留チェーン)
浮体構造	: ブーレス, コラム, デッキ方式
浮体定置方式	: チェーンによる係留
水平面積	: 140 m × 140 m
喫水	: 18.5 m
高さ	: 86 m
総排水量	: 298,000 トン
原子力発電所電気出力	: 120 万キロワット

このプラットフォームを前述のオフショアのフローティングニュークリアプラントと比較すると、総排水量はかなり大きくなっている。その理由は本プラットフォームは外洋に設置するため定位置においてバランスタンクに水を入れて、外洋の海象条件に耐えて、プラットフォームの安定性を確保する必要があるためなどである。

このプラットフォームは製造工場において、プラットフォームおよび原子力発電設備いっさいを完成させて、目的地まで曳航する方式を採用している。目的の定位置まで曳航されると、チェーンによって係留されることになる。これら曳航の状況やチェーンのパーマネントパイルアンカーの概念図を図 1.2-6 に示してある。またエネルギー輸送の方式についてもほぼ見通しをえた。

以上に検討の結果の一部を示したように、加圧水型軽水発電所を沖合に定置し、安定した発電

を行うことの可能性について一応の目安はついたものと考えられる。

今後、この浮上式プラットフォームによる原子力発電の具体化に当っては、さらに詳細な技術検討と設計検討を行う必要があることは当然である。

なお、本報告書は、三菱重工業株式会社に委託した調査の報告書などを参照し、筆者らの検討結果を加えてまとめたものである。

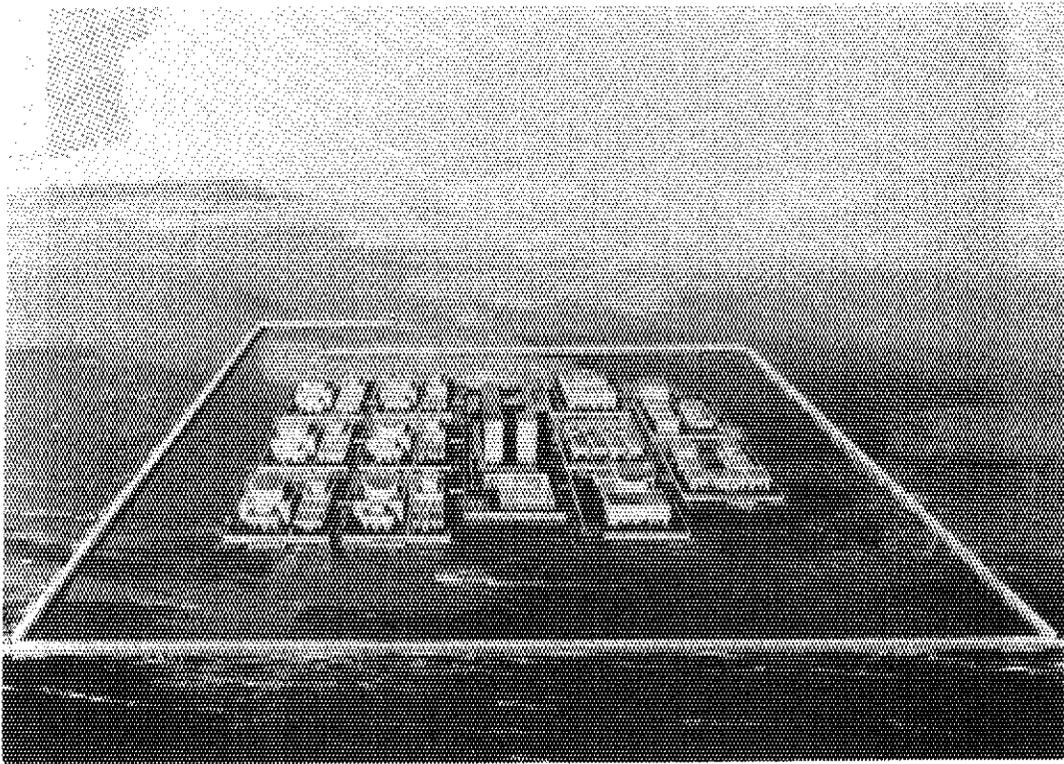


図 1.2 - 1 海上原子力エネルギーセンター

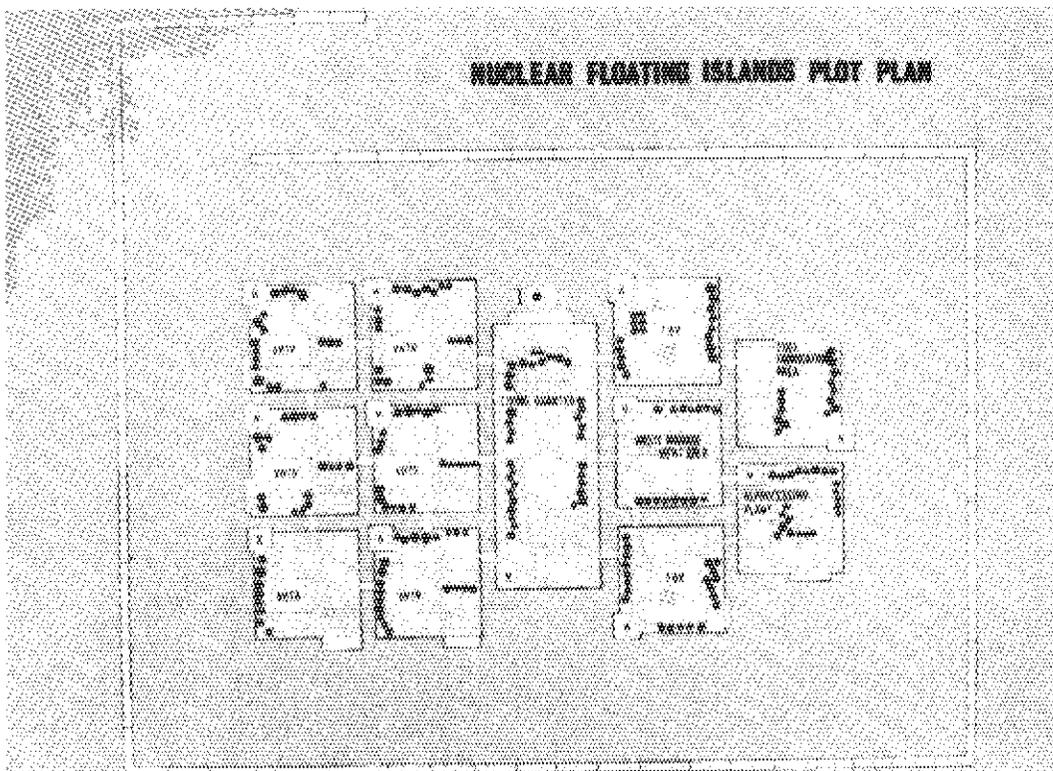


図 1.2 - 2 海上原子力エネルギーセンターの配置図

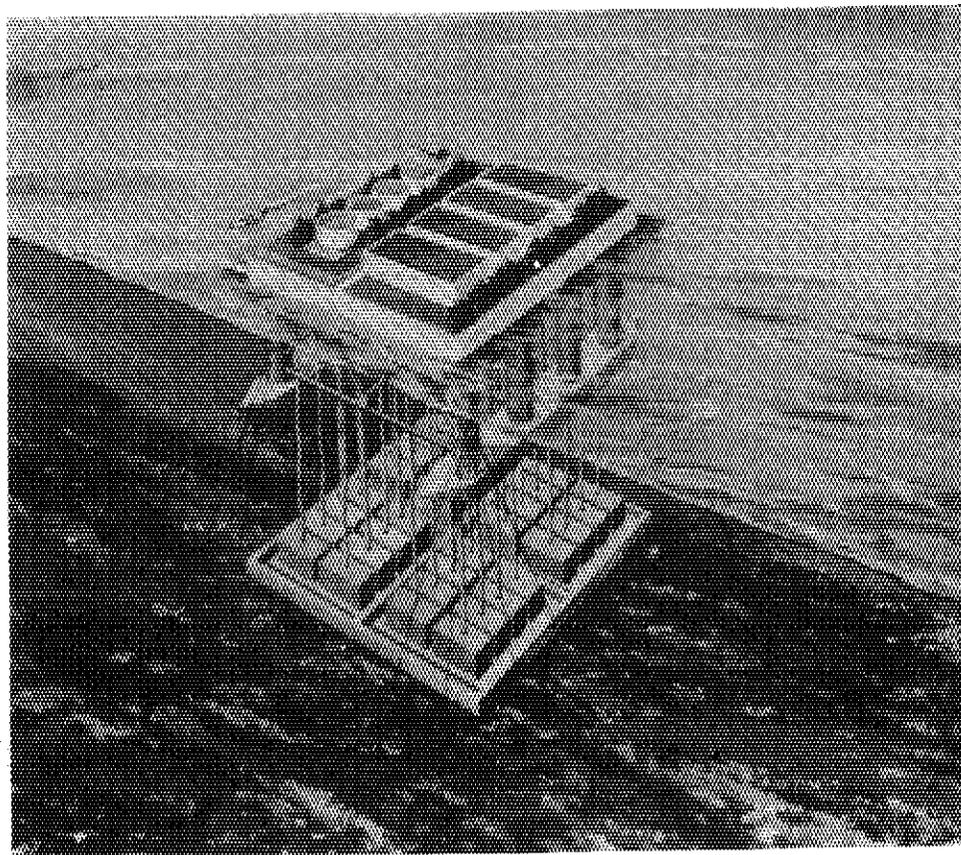


図1.2-3 海上再処理工場

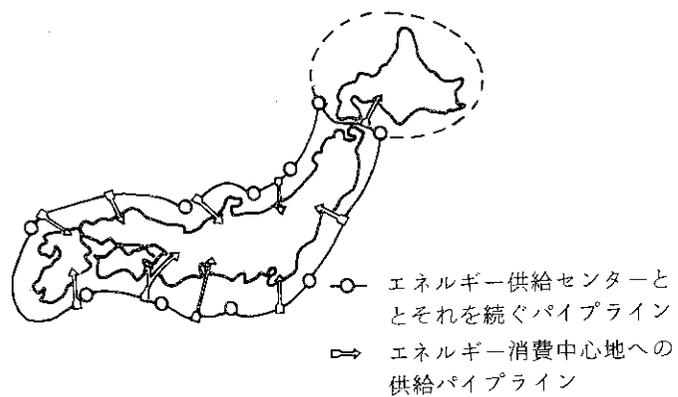


図1.2-4 日本列島エネルギー供給パイプライン

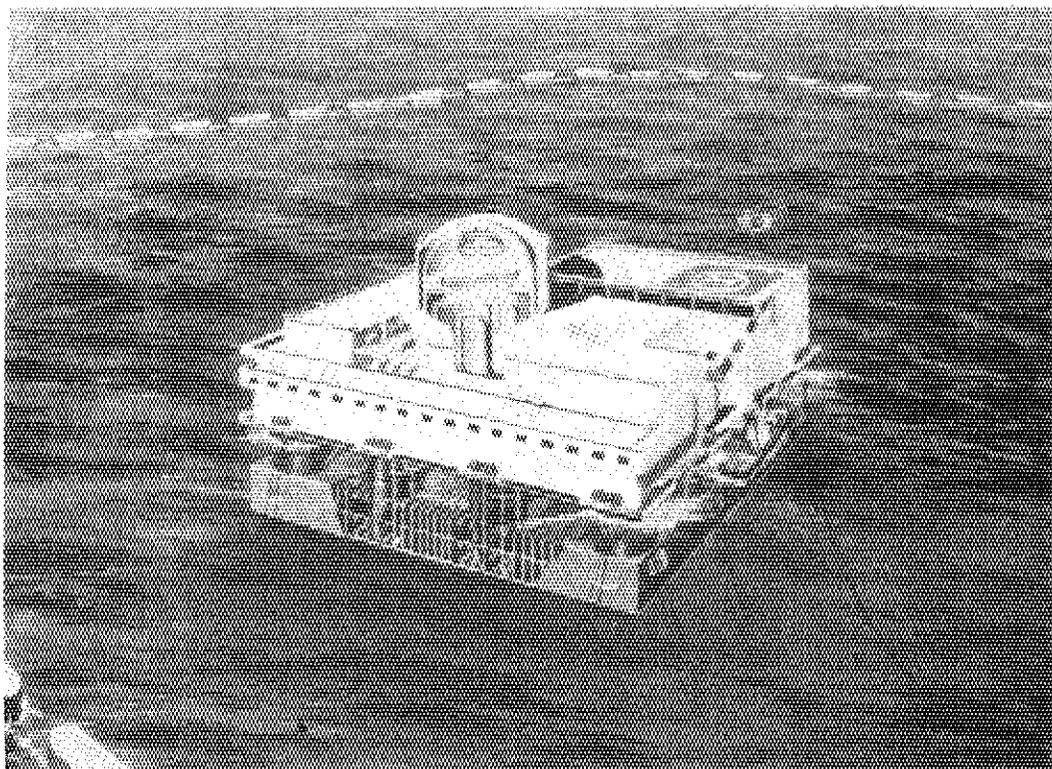


図 1.2-5 原子力発電用ニュークリアーフローティングアイランド

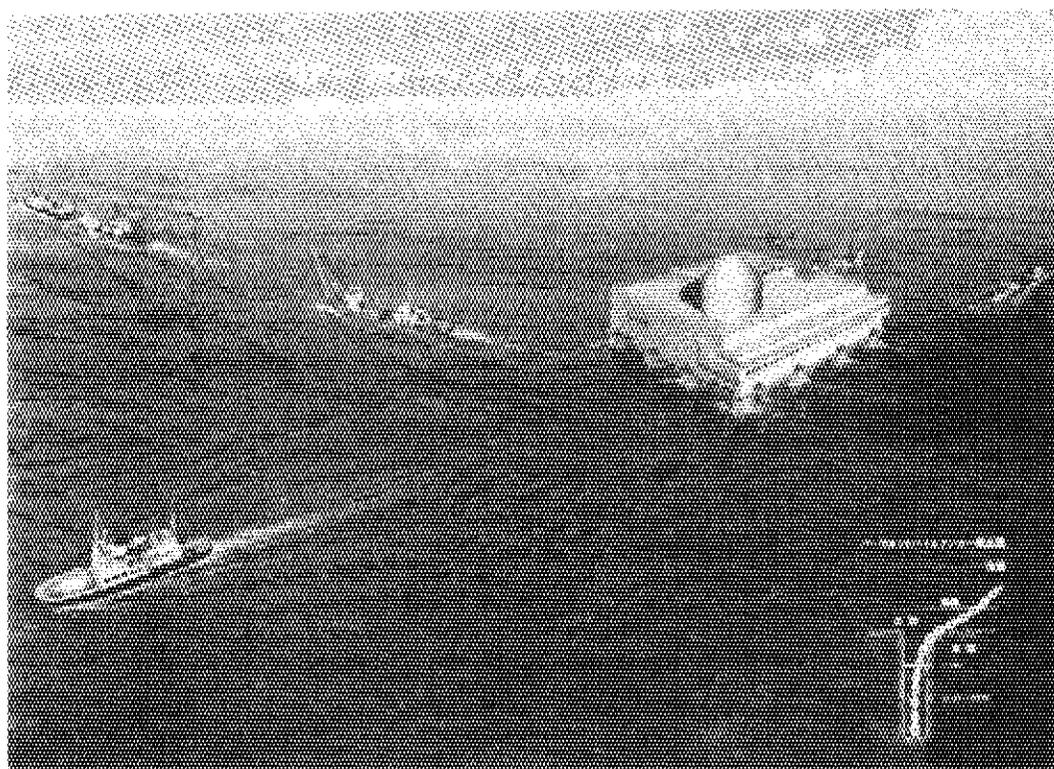


図 1.2-6 ニュークリアーフローティングアイランド係留ライン布設作業

2. ニュークリア・フローティング・アイランドの技術的可能性に関する検討

2.1 検討方法及び基本条件の設定

2.1.1 検討方法

洋上原子力プラントの技術的可能性を検討するため、以下のような手順による方法を用いた。

- ① 塔載プラント及び立地条件等の基本条件を定める。
- ② 海上プラントとなる部分について、まず試設計を行い、次に最も厳しい海洋条件下での動揺解析を行い、その結果を検討、評価する。
- ③ 海上プラントを一定地点に係留するための索について試設計を行いその能力を検討する。
- ④ 海上プラントを防護するための防波堤、防衝堤についても試設計を行い、その能力を検討する。
- ⑤ 海上プラントにおいて生産が考えられている、各種の2次エネルギー源を陸上に輸送する方式について検討を行い、可能なものについては試設計を行う。
- ⑥ 上記それぞれについて、今後実現を図る際に必要な課題を抽出する。

2.1.2 基本条件の設定

(1) 立地点

海上に立地することの最も大きな理由のひとつは、人間社会からの離隔が十分とれることである。この面からは、海岸から離れている程良いことになるが、反面、外交上の問題や定点に留めておくことの問題が生ずる。これら三つの要因を主に勘案した結果、わが国の主権が及ぶ領海（12カイリ \approx 22 km）内の陸棚上を想定して、沖合 20 km で水深 100 ~ 150 m の海域を立地点に設定した。

日本の沿岸で、水深が 100 ~ 150 m の海域と沖合 20 km の線を図 2.1 - 1 に示す。これから、日本沿岸の沖合 20 km で水深が 100 ~ 150 m かそれより浅い海域は全沿岸の 7 割以上存在することが分った。したがって、本条件下で海上プラントを設置することが可能なら立地点は日本沿岸の広い範囲から選ぶことが可能である。

(2) 搭載プラント

本構想が実現される時期には、1 で述べたように、大型化、集中化、多目的利用化、複合化等が進み、プラント規模はかなり大きなものになるであろう。しかしながら、これらのプラントは諸元が固まるに至っていない。そこで、諸元の分っている既存の原子炉施設の中から、最大規模の加圧水型原子力発電所（PWR）を搭載することを想定した。PWR は動揺に対する炉心の性能が優れており、原子力船の動力源としても用いられているもので、現時点では、海上原子力発電所用の炉として最も適していると考えられる。

(3) 自然条件

海上施設について設計、解析、評価を行うには、波浪、潮流、津波、風等の、陸上とは異った

自然条件を考慮しなければならない。一方、わが国をとり囲む海は広い範囲にわたっているため、気象、海象は海域によって様々に異った様相を示す。ここでは、一般の海洋構造物の設計で使われる手法を用いることとし、気象、海象の実測データを基に、運転時に加わる最大外力、並びに非常時に加わる最大外力を設計条件として設定することにした。一般の海洋構造物に対しては、非常時の設計条件として100年に1回は生じ得る可能性のある（再現期間100年）最大外力が設定されている。ここでは、商用原子力発電所の安全性についての考え方と同様に非常時の設計条件として百万年に1回は生じ得る可能性のある最大外力を、運転時の設計条件として100年に1回は生じ得る可能性のある最大外力を、それぞれ用いることにした。

なお、この他に大きな自然力である地震は、海上プラントに対しては海水、係留索等減衰効果の大きなものを介して影響するにすぎないため、その影響は無視しうる程度に小さいとして本設計条件の対象から除外した。

2.2 海洋学的条件の調査、検討、並びに設計条件の設定

海洋構造物は、海洋に置かれた場合に受ける波浪などの外力を考慮して設計・建設を行う必要がある。

わが国においては、海洋構造物の海洋学的な設計条件として確立したものは未だないが、参考になるものとしては、土木学会が編集した「海洋鋼構造物設計指針（案）解説」⁵⁾がある。一方、外国の基準としては、ノルウェー船級協会による基準（DNVルール）⁶⁾や米国海運局の規則（ABSルール）⁷⁾などがある。但しこれらは、いずれも海洋石油掘削リグを主たる対象としたものであり、又必ずしも確立された基準とは考えられていない。沿岸の構造物に対しては、日本港湾協会による「港湾構造物設計基準」¹²⁾があるが対称は水深の浅い湾内のものである。

そこで、本検討にあたっては、これらの基準と米国の沿岸原子力プラントの基準を参考とし、わが国における海象・気象データを調査、参照して以下のように条件を設定した。

2.2.1 波 浪

日本周辺の波浪に関しては、水深10～15mまでのものは港湾構造物設計波の資料が参考になるが、水深20m以上の海域における実測資料はほとんどない。

そこで、日本沿岸における観測データを基に作成された、日本近海及び沿岸波浪図⁸⁾をDNVルール⁶⁾による統計的手法によって整理してみた。ノルウェー船級協会は、北海の厳しい環境下に置かれる海洋構造物の設計・建造に対して船級協会としての実績を数多く有しており、又その統計的な設計思想の分野で最も進んでいると考えられている。

上記手法により、全データを包含すると思われる代表的波浪条件を求め、発生頻度が1ヶ月に1回（曳航、据付時）、100年に1回（運転時）、100万年に1回（非常時）となる最大波浪を設定した。

これらの値の基となるデータは灯台や測候所等で得られた海岸付近の観測値であり、かつ、台風や季節風等による厳しい海象条件を十分に反映してはいないと思われる。しかし、一般に波長より水深が小さい場合には、波高は沖合より高くなる⁹⁾ので海岸付近の観測波高をそのままと

れば、設計に対しては安全側の設定をしたことになる。しかしながら、台風、季節風等によるものを十分反映させるには、今後データを蓄積してゆく必要がある。

2.2.2 風速

海洋構造物の設計に用いる風速の非常時の値としては、DNVルール⁶⁾では40～55 m/sが、ABSルール⁷⁾では52 m/sが設定されている。

わが国における風の記録としては、各観測所における、6月～11月、12月～5月の最大風速、最大瞬間風速、日最大風速階級別頻度(回/月)、風速階級別頻度(%)等が防災ハンドブック¹⁰⁾に整理されている。

この表を基に、年間最大風速の値がGumbel分布¹¹⁾に従うものとして、再現期間100年、100万年の各地における最大風速を求めた。結果を表2.2-1に示す。これから、再現期間100年の最大風速は、鳥島を除いた海岸地域では52 m以下であることが分る。

この値はABSルール、DNVルール等で定められている値ともほぼ合致するので、再現期間100年の値を52 m/sとし、他の値はこれを基に外挿して設定した。

2.2.3 潮流

設計に用いる潮流としては、海流(tidal current)と風送流(wind-generated current)とを考慮する必要がある。

前者については、日本近海海況図から2ノット(1.03 m/s)程度と設定し、後者については2.2で設定した値をDNVルールに従って算出した。

2.2.4 津波

日本における著名な津波は、港湾構造物設計基準¹²⁾や設計、施行のための港湾・空港ハンドブック¹³⁾に記録がまとめられている。これによると例へば1933年の三陸沖地震の際に綾里で24 m程度の潮位が記録されている。しかし、沖合水深100 m以上での津波の記録はないので、沖波と浅水深との関係や湾部と外海との関係を考慮し、海岸部での記録の1/2程度以下と推定し基準の設定を行った。

2.2.5 他の自然条件

竜巻は、わが国においてはあまり多くはない。気象庁の研究時報¹⁴⁾によると、風速は100 m/sと設定すれば妥当と考えられるので、設計条件としては風速の項に含まれるものとした。

その他のものとして一応、潮位と雪荷重を考慮した。

他に設計条件としては気温、水温、湿度、気圧、海底条件等があげられるが、今回は技術的可能性の検討にあたっては重要な条件ではないので概略検討にとどめた。

2.2.6 船舶の衝突

原子カプラントの立地点は沖合20 kmの外海を想定しているため、衝突する可能性のある船舶としては内航船だけでなく外航船も考えられる。しかしながら、原子カプラントは当然主要航路

を外した地点への設地が要求されるので外航船が衝突する確率は非常に少ないものと考えられる。

海洋鋼構造物設計指針(案)解説では、衝撃荷重として、船舶の接岸及び係留時の荷重を考慮することが要求されている他、制御を失って漂流する船舶等による衝撃に対する対策の必要性が付記されているのみである。

そこで、ここでは、日本海洋開発産業協会が、海上石油備蓄の条件として提案した値を防衛堤の設計条件としてみた。

これは、3,000グロストン(満載排水量7,000トン)の内航船が衝突の直前に逆推進操作をして4ノットで衝突する、という条件である。3,000グロストン以下の船は、運輸省海運局の「内航船腹量種別船型一覧」によれば、全内航船の99.4%をカバーしているので内航船の衝突に対しては十分配慮されたものといえる。又このときの衝突のエネルギーは24万トン(満載排水量約55万トン)の最大級タンカーが0.5ノットで衝突した場合に相当する。

この基準を洋上の構造物に適用することについて議論の余地はあるが、暫定的に、これを設計条件とした。

2.2.7 海洋学的設計条件の設定

以上の考えに基づいて設定した各種の海洋学的設計条件を表2.2-2に示す。

2.2.8 今後の課題

海洋学的条件の設定に関しては、基本となる沖合でのデータを蓄積することが主たる課題である。特に、波浪、風速については実測データを集め設計の基本となる考え方を確立する必要がある。

2.3 海上プラント本体の技術的検討

2.3.1 プラント搭載方式の選定

洋上プラントの台座となる部分については、現在までに次のような種類のものが開発、実用化されている。

- i) 接地式：着定型、甲板昇降型
- ii) 浮上式：船型及びバージ型、半潜水型

これら各形式の概略と最大稼働水深の一般的傾向とを図2.3-1に示す。

又、これらの形式の一般的特徴を表2.3-1に示す。表に記されているように、これらは主として海底石油掘削のため建造されているものである。

これらの中から、設定水深に適しかつ地震力に対して有利であること、大重量の原子力プラントを搭載するのに適した形状及び係留方法がとりやすいこと、波浪中での動揺安定性がすぐれていること、などの理由から半潜水型のプラットフォームの浮体構造を選定した。

2.3.2 搭載原子力プラントの主要仕様の設定

海上プラントとして搭載する原子力施設は、2.1.2で述べたように最大の出力規模を持つ加圧

水型原子力発電所とした。

本調査では、わが国における現存のPWRを基にし、米国 Offshore Power Systems (OPS) 社の浮上原子力プラント¹⁵⁾の規模及びレイアウトを参考にして、搭載プラントを設定した。設定した原子力プラントの主要項目は以下のとおりである。

原子力プラント型式	:	加圧水型原子力発電所
出力	:	約 1,200 MWe
原子炉格納容器	:	外径 46 m × 高さ 73 m
搭載基数	:	1 基
重量	:	171,400 トン

(1) 原子力プラントの配置

海上原子力プラントは、陸上プラントのように地形や地質による拘束を受けることがないため、海上浮遊という特殊性とプラントシステム構成上の配慮を主体に配置を決めれば良い。ここでは、海上プラントとしての適性を保つため次の点を考慮した。

- ・平面的には原子炉格納容器内は陸上プラントと同様とし、重心、主蒸気管経路等を配慮する。
- ・立面的には、原子炉格納容器、原子炉補助建屋及び使用済燃料ピットの運転床レベルを合せ、重心の低下と空間の有効利用を図るため、一部の機器を海面下にも置く。
- ・原則として放射性機器の区画と非放射性機器の区画とを分ける。

(2) 原子力プラントの重量

上記の配置を具体化する上で必要なプラント構成要素の重量は、陸上原子力施設についての資料を基にし、米国沿岸原子力プラントの資料を参考として、系統互に機器、建屋コンクリート、鉄骨等に区分してまとめた。

結果を表 2.3-2 に示す。

2.3.3 原子力プラント及び浮体構造物の試設計

前節で述べた各種の条件を基にして、海上沖合原子力発電所の試設計を行った。その結果をまとめると次のとおりになる。

(1) 浮体構造物

海上プラントの浮体となる半潜水式プラットフォームの基本構成は、図 2.3-2 に示すように、海面下において浮力を持たせるためのマット、原子力プラントの大部分が載せられるデッキ、並びにマットの上においてデッキを支えるコラム及びブレースからなるトラスドラーメン構造である。

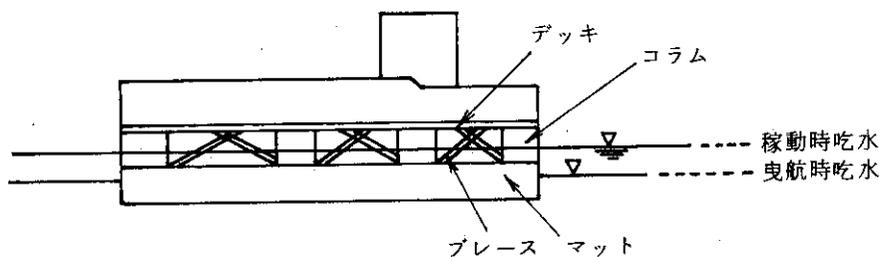


図 2.3-2 半潜水式プラットフォームの基本構成

この主要寸法は次のとおりとなった。

長さ×幅×高さ	= 140 m × 140 m × 28.5 m (デッキまで)
マット	= 140 m × 140 m × 13 m
コラム	..... 20 m φ - 12本, 10m φ - 3本
格納容器保護コラム	..... 50 m φ
復水器保護コラム	..... 40 m × 15 m
ブレース	..... 2 m φ

(2) 全体構成

全体構成に際しては、2.3.2でのべた事項を考慮し、面積を小さくし、且つ全体の重心が低くなるように、重量の大きなもので分割可能な部分（炉心構造、タービン復水器等）はできるだけマット内に配置するように配慮した。

プラント建家の概略配置を図2.3-3に、主要個所の立面を図2.3-4から2.3-7に、平面を図2.3-8から2.3-15に示す。

2.3.4 静的安定性の検討

前記試設計の結果について算出したプラント及び浮体構造物の主要機器の重量及び重心位置を表2.3-3に示す。大別した重量は次のとおりである。

原子カプラント重量

格納容器内	.....	50,700 t
補助建屋内	.....	79,800 t
タービン建屋内	.....	28,400 t
スイッチヤード, トランス内	.....	2,500 t
原子カプラント 全体		171,400 t

浮体構造物

メインデッキ	.....	9,800 t
コラム	.....	14,020 t
ブレース	.....	960 t
マット	.....	23,520 t
浮体構造物 全体		48,300 t

以上を合計した値、219,700 トンが海上原子力施設の総重量である。ただし、表2.3-3から分るように、このままでは重心の位置が中心からややずれて全体に傾きが生ずるため、建造場所から設置海域までの曳航時や、現地に固定する運転時には、マットの底部にバラスト水を入れてバランスをとると共に喫水を定める必要がある。このような調節を行った結果、並びにこのプラントの静的安定性を評価した結果を、曳航時については表2.3-4に、運転時については表2.3-5に示す。

この結果、運転時における排水量はほぼ30万トンとなった。この値は、最大級のタンカーの排

水量（約60万トン）からみるとさして大きな値とはいえないが、停止している海洋構造物としてはこれ程大きなものについての実績はない。ちなみに、1975年7月から沖縄で開催された海洋博覧会の主会場として造られた「アクアポリス」の開館時排水量は28,100トンであり、又海底石油掘削リグもほぼ同程度の重量である。

又、プラント運転時における動揺の固有周期（20～30秒）は、18秒～20秒以上の周期を持つ波の成分が非常に少いことから、波浪に対する安定性の面で良好な値といえる。

2.3.5 波浪中における動揺安定性の検討

海洋における波は実際には不規則な現象をしており、このような波に対する応答として浮遊構造物の動揺や構造物に加わる加速度を正確に求めることは難しい。今までの解析法としては、統計理論をもとに規則波中の応答を求めてきている。¹⁶⁾

ここでは、現在最も進んだものとして、規則波中の応答関数と波スペクトラムを用いる解析¹⁷⁾を行った。

本試設計プラントの各状態における動揺と加速度の解析結果を表2.3-6に示す。又、ロール、ピッチについて、風、潮流、漂流力などによる静的傾斜も含めた結果を表2.3-7に示す。

これらのうち、気象、海象による最大の回転角及び格納容器に加わる最大の加速度をまとめたものを表2.3-8に示す。参考までに、米国OPS社の海上プラントの設計基準を（ ）内に示してある。

これらの値から、本プラントの動揺は非常に小さいといえよう。又、海象の非常時において原子炉に加わる最大加速度も、わが国の陸上原子力発電所が最大地震の際に加えられる加速度を300 Gal程度に設定している状況からみると、陸上炉の受ける最大外力より一桁近く低い値である。

海上プラントの全体規模を更に大きくすると動揺に対する固有周期をより大きく、プラントの回転角をより小さくすることが期待できる。反面、静的な復元力は小さくなることも考えられるので、本格的な設計を行う際には、これらを含めた系統的な詳細検討が必要である。

2.3.6 結果の評価、今後の課題

以上の検討の結果、海上原子力プラント本体建造の技術的可能性については見通しが得られたものと考えられる。

しかしながら、本構想の実現化を図るに際しては詳細な検討を行うと共に各種の試験・研究も行う必要がある。本検討の結果から、次のような課題を解決していくことが本構想実現への道と考えられる。

(a) 原子力プラント関連事項

- ① 今回の設計条件下では、プラットフォームの動揺に対する応答は浮遊式海洋構造物としてはかなり優れたものであったが、原子力プラントがこの動揺で十分健全であるかを検討するまでには至らなかった。海上原子力プラントを設計する際にはこの面での検討を加える必要がある。

- ② 原子力船で考えられている沈没対策についても考慮する必要がある。ただし、これには、

プラント内での想定事故による場合や船舶の衝突による場合などを考慮し、プラント本体、浮体構造物、さらには防衝堤も含めた総合的な検討を行う必要がある。

(b) プラットフォーム関連事項

- ① 今回は衝突対策を浮防衝堤に持たせることですませ、本体での検討は行っていない。船の衝突の可能性の確率的評価を行い、浮防衝堤の機能とのかね合せて、プラットフォームにどの程度の防衝機能を持たせるかを明確にしておく必要がある。
- ② 長期健全性の確保についても、実証試験を含む十分な検討が必要である。船の場合は定期的にドックに入って検査されているが、本構想のような大規模なものでは、運転開始後ドックに戻すことは非常に難しいと考えておくべきである。現地での定期点検、保守を設計の段階で考慮しておくべきである。
- ③ 本構想のような海上プラントは規模が大きい程有利となることは論を待たない。規模の拡大としては今回の試設計結果と同程度のものを結合していく方法と単一の浮体をスケールアップしていく方法が考えられる。これらのいずれを採用するのが妥当かについては係留装置も含めた詳細な検討評価が必要である。

2.4 浮遊海上プラント係留装置の技術的検討

海上浮遊構造物を一定点に保持しておくためには、一端を海底に固定した係留索が必要である。係留索については、海洋石油掘削装置、海上作業台、海上都市等定位置を保持することが要求されるものに用いられ、年々規模が大型化し、かつ稼働水深も増大している。しかしながらこれらのものは本検討対象である海上プラントより重量がはるかに小さい。そこで現在の技術で海上原子力プラントが係留し得るかを主体に検討を行った。

2.4.1 各種係留方式の比較、検討

現在、浮遊式海洋構造物の係留索としては、ワイヤー又はチェーンが使われており、係留方式としては係留索のみでなく中間ブイやシンカーを併用したものも使われている。これら各種方式の分類と特徴を表2.4-1に示す。

これらのうち、ワイヤ方式とチェーン方式の特徴は比較的似ているが、最近では、保守管理が容易なことと係留時のバネ特性が良好なことからチェーン方式が多く用いられる傾向にある。そこで残った4方式について試設計を行い、解析した結果から方式を決定することにした。

2.4.2 係留システム設計基準・条件及び解析法の設定

(1) 設計基準・条件の設定

浮遊式海洋構造物の係留システムに関しては、従来、船級協会等の技術基準にも詳細な規定がなく、メーカー各社が過去の経験や実績に基づいて独自の設計基準を定めているのが実情である。

海上原子力プラントでは、原子力施設であるために厳しい安全性が要求されることから、係留システムについても一般の海洋構造物より厳しい要求がなされるものと考えられる。

ここでは、とりあえず、一般の海洋構造物に適用されている設計基準を参考とし、係留索の破

断強度に対する安全率をより厳しい値にとって設定を行った。設定した基準値を表 2.4-2 に示す。

設計条件については、2.2 で定めた値とプラットフォーム試設計の結果から必要なものを抜粋した。これを表 2.4-3 に示す。又、動揺解析の結果求められた水平外力を表 2.4-4 に示す。

(2) 解析法の決定

係留システムの解析は、非線型問題として取扱う必要があるため非常に煩雑となるので、一般に次の手順がとられている。

- ・係留ラインの浮体側端部での変位と反力の関係を求め、係留力を等価バネ系に置換する。
- ・等価バネ系に置換された係留特性を持つ係留浮体の運動を解析する。
- ・上記解析により求めた係留浮体の運動振幅、位相を係留ライン端部に作用する強制振動として与え、非線形な係留ラインの解析を行う。

又、係留ラインの解析に当っては、一般に、風や潮流等の定常外力に対する静的解析と波浪等の変動外力に対する動的解析とを個別に行い、結果を線形重畳する方法がとられている。

静的解析としては要素分割法^{18, 19)} を、動的解析としては有限要素法^{20, 21)} を用いた解析を行った。

2.4.3 各種係留方式の試設計及び解析

前記設計条件に基づいて行った各種係留方式の試設計結果を図 2.4-1 に示す。プラント係留の際は、図 2.4-1 に示すように 32 本の係留索を 11.25 度の等張角で用いる。

又、これら 4 方式について係留特性を解析した結果を表 2.4-5 から表 2.4-8 に示す。

2.4.4 試設計、解析結果の評価、係留方式の選定

各種係留方式について比較した結果を表 2.4-9 に示す。表から分るように、暴風時における水平移動量及び索張力安全率も占有海域も各方式間に大差がない。そこで曳航・据付けの作業性も良く、経済性に優れていることから、チェーン方式を最適なものとして選定した。チェーン方式は実績も最も多く信頼性が高いものである。

なお、ここでとりあげたチェーンは現在製造可能な最大径のものであり、プラントの規模がさらに大きくなることを考慮するとより強力なチェーンも必要となる。

選定したチェーン方式係留システムの主要目を表 2.4-10 に、水平配置の概略を図 2.4-2 に示す。

なお、2.3 で試設計を行った海上プラントにこれらの係留索を装着して、プラント設置点まで曳航し、係留させる操作手順についても検討した結果、十分可能であることが分った。

2.4.5 結果の評価、今後の課題

本検討の結果、係留についての技術的可能性は十分あることが分った。

しかしながら係留方式に関しても技術的に未確立の点も多く、次のような課題を解決していく必要があると考えられる。

① 設計基準の確立

海上原子力プラントとして、合理的強度計算に適合した安全率を設定することを含む設計基準を確立することが必要である。このためには、一般の海洋構造物に関する基準等も参照し、基準の確立に必要な鋼の疲労強度及び腐食に関するデータを蓄積する必要がある。

② 動的解析法の確立

係留システムの合理的設計を行うには、係留ラインに加わる張力頻度や疲労の解析を行って正しい寿命推定をすることが必要である。そのための中心となる動的解析法を確立することが望まれる。又、それに必要な、規則波中と不規則波中における動揺及び係留力に関する実験データをとる必要がある。

③ シンカー／アンカーの開発

係留索が強力であっても、この一端を海底で固定、保持させるシンカー／アンカーの保持力（把駐力）が大きくなないとプラントは動いてしまう。大きな把駐力を持ち、かつ経済性の良いシンカー／アンカーを開発することも望まれる。

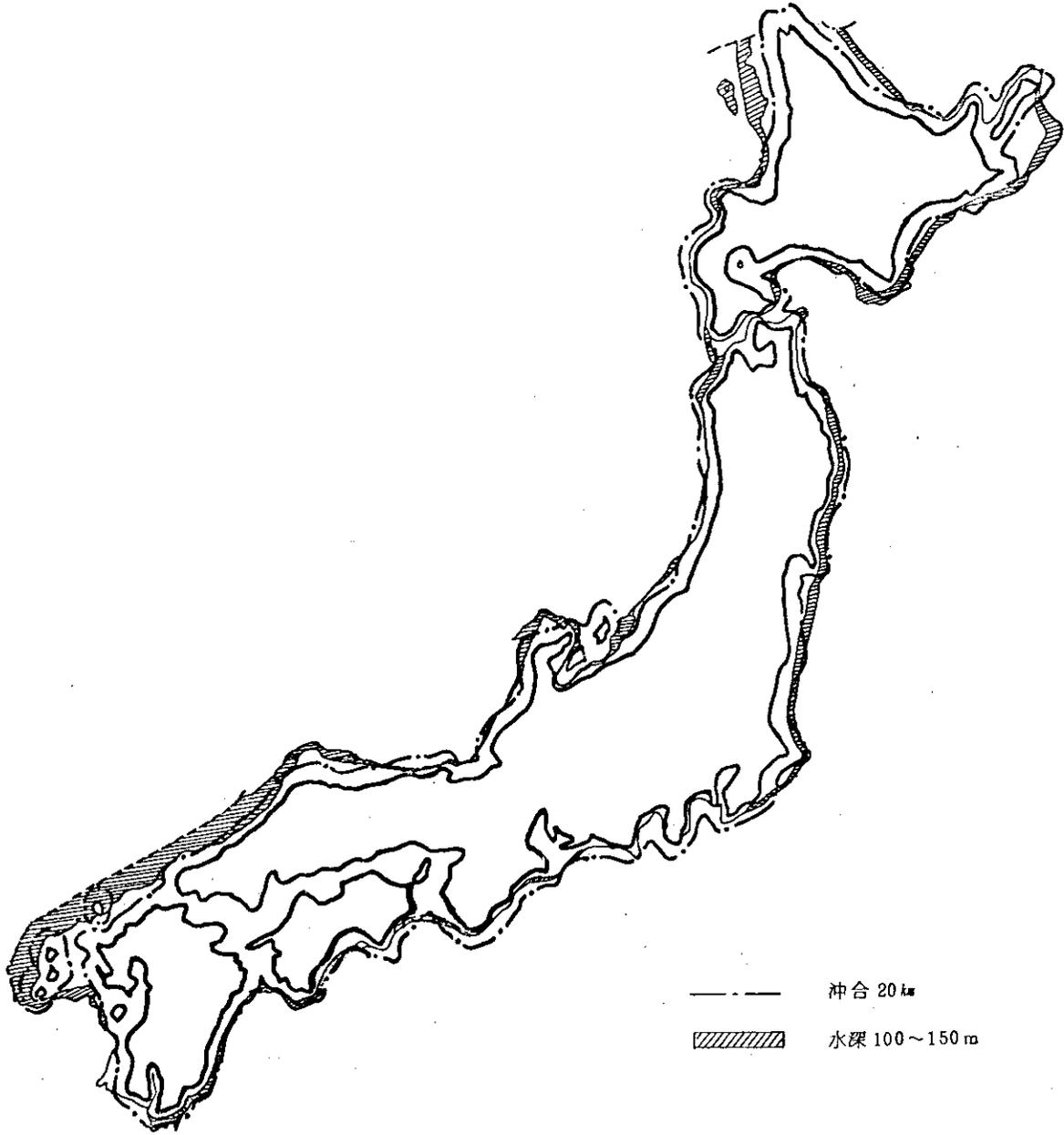


図 2.1-1 日本沿岸水深分布図

表 2.2-1 再現期間による年最大風速 (m/s)

(つづく)

順位	地名	30年	50年	100年	100万年	順位	地名	30年	50年	100年	100万年
45	名瀬	30.7	32.7	35.4	71.1	158	松永	19.6	20.3	21.2	33.7
27	屋久島	41.2	43.1	45.7	79.6	94	岡山	25.6	27.0	28.9	53.9
18	枕崎	41.4	43.6	46.6	85.8	86	津山	30.6	31.8	33.4	54.8
26	鹿児島	35.6	37.8	40.8	80.0	96	浜田	28.9	30.1	31.7	53.1
6	都城	40.5	43.5	47.5	101.1	109	西郷	28.8	29.4	30.9	50.5
67	宮崎	29.7	31.2	33.2	60.0	120	松江	25.6	26.7	28.2	47.8
21	阿久根	33.0	35.5	38.9	83.5	108	境	24.5	25.8	27.6	50.8
48	牛深	33.6	35.4	37.8	70.0	124	米子	24.8	25.9	27.4	47.0
38	人吉	31.3	33.5	36.5	75.7	80	鳥取	27.8	29.2	31.1	56.1
101	熊本	24.0	25.4	27.3	52.3	59	豊岡	28.8	30.5	32.8	63.1
63	阿蘇山	29.9	31.0	34.5	61.3	70	姫路	25.3	27.0	29.3	59.6
9	温泉岳	47.2	49.7	53.1	97.7	24	洲本	34.3	36.6	39.7	80.8
37	長崎	34.0	36.1	38.9	76.4	93	神戸	27.8	29.1	30.9	54.1
41	富江	34.4	36.4	39.1	74.8	49	大阪	26.6	28.7	31.5	69.0
156	佐世保	19.8	20.5	21.4	33.9	118	生駒山	30.0	30.9	32.1	48.2
19	平戸	34.7	37.2	40.6	85.2	84	和歌山	28.9	30.7	33.7	55.3
76	簸原	26.8	28.3	30.3	57.1	69	潮岬	31.4	32.8	34.7	59.7
55	佐賀	28.0	29.8	32.2	64.7	51	大台ヶ原	27.8	29.8	32.5	68.2
16	背振山	49.7	51.6	54.2	88.1	111	壇原	21.8	23.2	25.1	50.1
42	福岡	32.1	34.2	37.0	74.5	20	京都	27.2	30.0	33.8	83.8
78	飯塚	24.4	26.0	28.2	56.7	88	比叡山	36.6	37.5	38.7	54.8
50	行橋	30.2	32.1	34.7	68.6	185	官津	23.2	24.6	26.5	51.5
114	日田	22.7	24.0	25.8	49.0	87	舞鶴	28.5	29.8	31.6	54.8
28	大分日田	34.6	36.8	39.8	79.0	68	彦根	25.7	27.4	29.7	60.0
81	大分	25.7	27.2	29.2	56.0	140	春照	24.6	25.5	26.7	42.9
102	下関	30.1	31.2	32.7	52.3	5	伊吹山	52.9	55.3	58.5	101.4
95	萩	25.3	26.7	28.6	53.6	143	尾鷲	20.9	21.9	23.2	41.1
22	早和島	34.8	37.2	40.4	83.3	58	津	29.8	31.5	33.8	64.1
110	防府	28.2	29.3	30.8	50.4	99	上野	24.1	25.5	27.4	52.4
32	宿毛	35.1	37.2	40.0	77.5	102	亀山	27.6	28.8	30.4	51.8
122	清水	26.9	27.9	29.2	47.1	65	名古屋	26.4	28.1	30.4	60.7
82	足摺	29.6	30.9	32.7	55.9	91	西浦	28.1	29.4	31.8	54.4
17	高知	35.8	38.3	41.7	86.3	60	岐阜	26.8	28.1	30.5	62.7
34	室戸岬	42.6	44.3	46.6	76.9	148	高山	20.4	21.4	22.4	40.6
29	徳島	34.2	36.4	39.4	78.6	39	伊良湖	33.3	35.4	38.2	75.7
66	高松	28.0	29.6	31.8	60.3	14	浜松	32.0	35.0	39.0	92.6
85	多度津	28.8	30.1	31.9	55.1	75	御前崎	31.8	33.1	34.9	58.1
2	剣山	59.2	62.0	65.8	115.8	103	静岡岡	23.8	25.2	27.1	52.1
15	四阪島	38.2	40.7	44.1	88.7	4	富士山	67.2	69.3	72.1	109.6
54	波止浜	27.6	29.5	32.1	66.0	129	御殿場	21.5	22.7	24.3	45.7
97	松山	22.7	24.2	26.2	53.0	126	三島	25.9	26.9	28.2	46.1
46	広島	30.3	32.3	35.0	70.7	3	箱根山	55.5	58.4	62.3	114.1
52	呉	31.5	33.3	35.7	67.9	71	網代	32.9	34.2	36.0	59.2

(註) 防災ハンドブック P 247の表を再計算。

表 2.2 - 1 (その2)

順位	地 名	30年	50年	100年	100万年	順位	地 名	30年	50年	100年	100万年
57	伊 東	31.9	33.5	35.7	64.2	116	新 潟	28.5	29.5	30.8	48.7
10	長 津 呂	40.7	43.5	47.3	97.3	138	小 名 浜	25.0	25.9	27.1	43.2
89	茅 ケ 崎	30.8	31.5	33.1	54.5	159	白 河	23.2	23.7	24.4	33.3
23	横 浜	35.2	37.5	40.6	81.7	144	猪 苗 代	21.9	22.9	24.2	42.1
137	東 京	23.0	24.0	25.3	43.2	166	福 島	18.8	19.2	19.7	26.9
40	大 島	37.1	39.0	41.6	75.5	83	仙 台	21.2	22.9	25.2	55.5
7	三 宅 島	46.0	48.7	52.3	100.5	124	石 巻	26.8	27.8	29.1	47.0
31	八 丈 島	39.1	41.0	43.6	77.5	115	水 沢	26.5	27.6	29.1	48.7
1	鳥 島	63.6	67.4	72.5	140.4	155	宮 古	20.6	21.3	22.2	34.7
8	富 崎	42.8	45.6	49.4	99.4	154	盛 岡	22.0	22.7	23.6	36.1
92	館 山	26.1	27.5	19.4	54.4	53	岩 手 山	43.1	44.3	45.9	67.3
12	勝 浦	41.4	44.0	47.5	93.9	165	山 形	16.6	17.3	18.2	30.7
11	銚 子	41.7	44.4	48.0	96.2	133	山 田	30.7	31.4	38.3	44.8
117	布 佐	24.0	25.2	26.8	48.2	119	秋 田	28.0	29.0	30.3	48.8
142	館 野	22.2	23.2	24.5	42.4	100	深 浦	28.2	29.4	31.0	58.4
35	筑 波 山	40.5	42.3	44.7	76.9	61	八 戸	32.1	33.6	35.6	68.4
64	水 戸	26.8	28.5	30.8	61.1	146	青 森	23.2	24.1	25.3	41.4
43	湊 都 官	35.9	37.8	40.4	74.3	139	田 名 部	26.9	27.7	28.0	43.1
128	宇 都 官	23.6	24.7	26.2	45.8	125	函 館	26.7	27.7	29.0	46.9
152	中 官	21.6	22.4	23.5	37.8	72	江 差	36.7	37.8	39.3	58.9
25	足 尾	25.5	28.2	31.8	80.0	62	森	29.4	31.0	33.2	61.7
145	前 橋	23.5	24.4	25.6	41.7	77	室 蘭	28.5	29.9	31.8	56.8
127	本 庄	23.7	24.8	26.3	45.9	90	苦 小 枚	32.2	33.3	34.8	54.4
163	熊 谷	19.2	19.8	20.6	31.3	47	浦 河	36.1	37.8	40.1	70.4
151	秩 父	18.0	19.0	20.3	38.2	162	帯 広	20.1	20.7	21.5	32.2
79	船 津	28.1	29.5	31.4	56.4	134	釧 路	24.3	25.3	26.6	44.5
154	甲 府	19.5	20.3	21.4	35.7	13	寿 都	43.1	45.6	49.0	93.6
138	輕 井	21.3	22.5	24.1	45.5	73	俱 知 安	30.6	32.0	33.9	58.9
150	追 分	18.7	19.7	21.0	38.9	78	小 樽	28.4	29.8	39.8	56.7
167	諏 訪	17.7	17.8	17.9	19.7	160	札 幌	20.6	21.2	22.0	38.7
161	長 野	18.3	19.0	19.9	32.4	74	岩 見 沢	28.0	29.5	31.5	58.3
149	松 本	21.3	22.2	23.4	39.5	153	旭 川	18.1	19.0	20.2	36.3
141	飯 田	20.5	21.6	23.1	42.7	44	留 萌	37.2	38.9	41.2	71.5
136	敦 賀	25.9	26.8	28.0	44.1	121	羽 幌	29.1	30.0	31.2	47.3
107	福 井	24.7	26.0	27.8	51.0	112	椎 内	28.8	29.8	31.1	49.0
106	金 沢	27.3	28.5	30.1	51.5	143	北 見 枝 幸	26.1	26.9	28.0	48.3
131	輪 島	25.1	26.1	27.4	45.3	36	雄 武	38.4	40.3	48.9	76.8
97	伏 木	24.4	25.8	27.7	52.7	30	網 走	32.2	33.6	35.5	78.4
135	富 山	26.1	27.0	28.2	44.3	112	根 室	26.5	27.2	28.1	49.6
157	高 田	19.7	20.4	21.3	33.8	33	新 島	36.8	38.0	41.5	99.2
132	相 川	28.7	29.5	30.6	44.9						

表 2.2-2 設計条件一覧

状態 項目	曳航時	運転時	非常時		備考
			暴風時	津波時	
稼動水深 (m)	-	100~150	100~150	100~150	
風速 V_{10} (10分間平均)(m/s)	26	52	90	52	
瞬間最大 V_w 風速 (m/s)	30	60	104	60	$V_w = 1.15V_{10}$
最大波高 H_{max} (m)	5	8	11	6	註 1
有義波高 $H^{1/3}$ (m)	3	4	6	3	註 2
平均波周期 T (s)	5.4	6.6	8.8	5.4	
波長 λ (m)	45	68	120	45	$\lambda = \frac{g}{2\pi} T^2$
潮位 (m)	-	2	2	2	
津波波高 (m)	-	-	-	5	
津波周期 (min)	-	-	-	30~60	
潮流 V_c (m/s)	1.54	1.54	1.54	1.54	
雪荷重 (t/m ²)	-	1.0	1.0	1.0	
地震	-	-	-	-	
衝突船舶	-	-	3000 G/T, 4 kn	-	

註 1 : 連続して 10,000 波を観測した中の最大値

註 2 : 連続して 100~1,000 ケの波を観測したうち大きい方から 1/3 とり上げた波の平均値

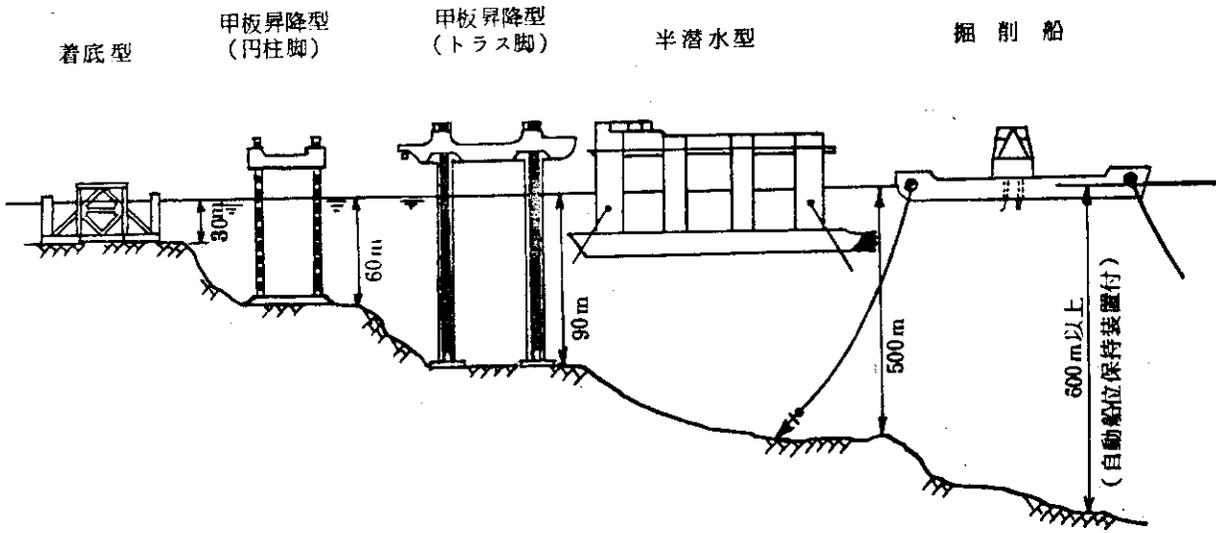


図 2.3-1 海上プラントの各種型式

表 2.3-1 形式別一般の特徴

特 徴		形 式		接 地 式		浮 上 式		
		着 底 型		甲 板 昇 降 型		半 潜 水 型		船 型 (含バージ)
				非 自 航 式	自 航 式	非 自 航 式	自 航 式	
用 途		試 掘、採 掘		試 掘、採 掘、改 修		試 掘、採 掘(改 修)		試 掘、採 掘
稼 働 水 深		5 ~ 30 m		10 ~ 90 m		30~200 m	30~500 m	10 ~ 300 m (DP付600 m以上)
掘 削 能 力		1,500 ~ 9,000 m		4,500 ~ 9,000 m		6,000 ~ 9,000 m		1,500 ~ 9,000 m
海 底 状 態		1. 軟弱地盤, 粘土, 砂 2. 平坦, 海底勾配小		各種海底, ただし海底の状況に応じて脚の接地部形状を変える必要あり		1. 着 底: 着底型に同じ 2. 半潜水: 各種海底 ただし, アンカー把駐力に要注意		各種海底, ただしアンカー把駐力に要注意
作 業 限 界	風 速	20 m/s		20 m/s		20 m/s		20 m/s
	潮 流	3 Kt		3 Kt		3 Kt		3 Kt
	波 高	2 ~ 6 m		3 ~ 9 m		6 ~ 9 m		2 ~ 6 m
安 全 性 の 設 計 条 件	風 速	60 m/s		60 m/s		60 m/s		60 m/s
	潮 流	3 Kt		3 Kt		3 Kt		3 Kt
	波 高	3 ~ 12 m		4 ~ 18 m		15 ~ 30 m		4 ~ 18 m
波 浪 中 の 運 動	移 動 時	大		かなり大		やや大		大
	作 業 時	着底, 問題なし		着底, 問題なし		小		大
移 動 性	抵 抗	大		大	小	やや大	小	小
	船 体 強 度	トラス構造要注意		脚の振動, 動揺慣性力が問題		荒天下では半潜水に調整		特に問題なし
位 置 決 め (ロ ケ ー シ ョ ン)		アンカー, 曳船, バラスト注排水		アンカー, 曳船, 甲板昇降	アンカー, 曳船, 推進機, 甲板昇降	アンカー, 曳船, バラスト注排水	アンカー, 推進機, 曳船, バラスト注排水	アンカー, 推進機, 曳船, バラスト注排水
貯 蔵 能 力 (バリアブルロード)		800 ~ 3,000 t		800 ~ 2,000 t		甲板上: 1,000~3,000 t タンク内: 1,000~6,000 t		2,000 ~ 10,000 t

表 2.3-2 原子力プラント重量

単位 : トン

項 目	重 量				合 計
	機 器	コンクリ ー ト	鉄 骨	そ の 他	
(1) 格納容器内	6,500	43,000	1,200	-	50,700
(2) 補助建家内					
(a) 安全保護系機器室 崩壊熱除去ポンプ, 熱交換器 スプレイポンプ, 熱交換器 安全注入系ポンプ	100	10,000	-	-	10,100
(b) 廃棄物処理系	1,400	13,200	-	-	14,600
(c) 使用済燃料ピット	2,000	6,000	20	2,180	8,400
(d) 補助建家鋼構造	-	-	5,600	-	5,600
(e) 化学体積制御系	100	3,700	-	-	3,800
(f) フィルタおよびデミネライザ	50	2,650	-	-	2,700
(g) ボロン熱再生系機器	600	2,400	-	-	3,000
(h) 主メーキャップタンク	400	-	-	-	400
(i) 凝縮水貯蔵タンク	1,000	-	-	-	1,000
(j) 燃料交換系水タンク	2,000	-	-	-	2,000
(k) 純水プラントおよびタンク	2,500	-	-	-	2,500
(l) 海水ポンプ, 機器冷却水ポンプ	40	-	-	-	40
(m) ディーゼル発電機室	300	2,100	-	-	2,400
(n) 機器冷却水熱交換器	240	-	-	-	240
(o) 補助ボイラ	40	-	-	-	40
(p) ドラム充填室	300	1,000	-	-	1,300
(q) 新燃料室	50	-	-	-	50
(r) 換気系機器	80	-	-	-	80
(s) 制 御 棟	400	2,800	-	-	3,200
(t) 補助建家クレーン	150	-	-	-	150
(u) 主蒸気管通路	-	6,200	-	-	6,200
(v) 床コンクリート	-	12,000	-	-	12,000
(3) タービン発電系	12,400	22,000	400	-	38,400
(4) 開閉所および変圧設備	2,100	-	400	-	2,500

合 計 171,400トン

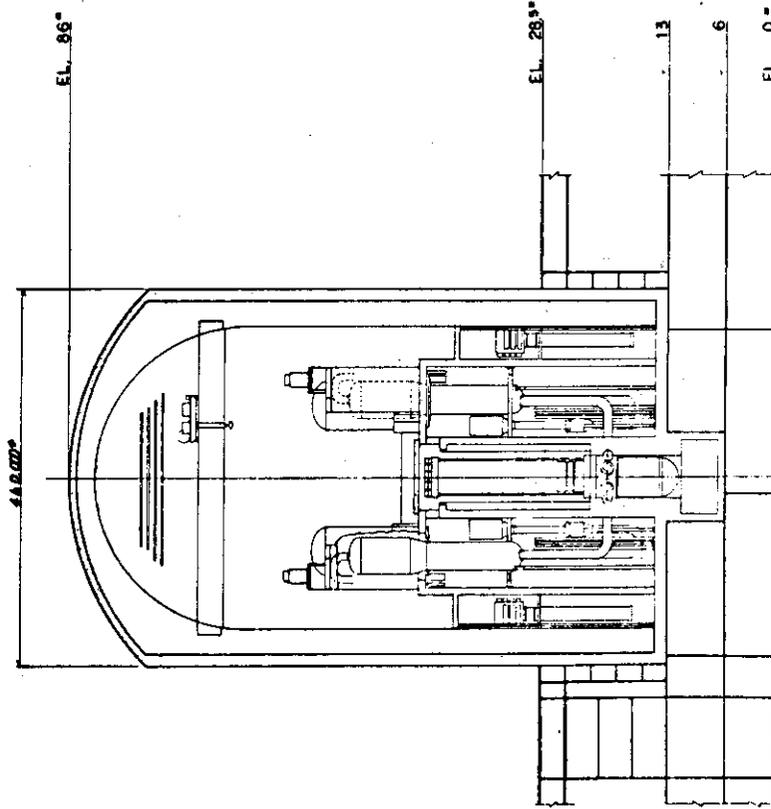


図 2.3-4 格納容器部断面

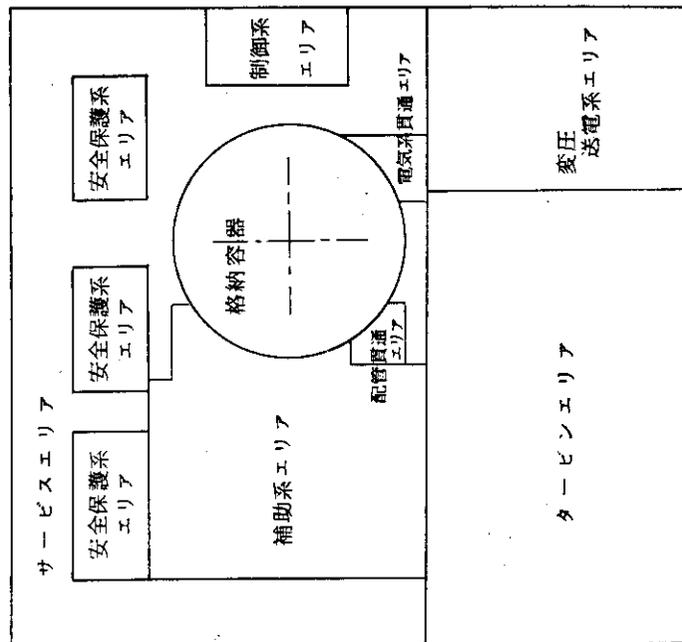


図 2.3-3 原子力プラント建家概略配置図

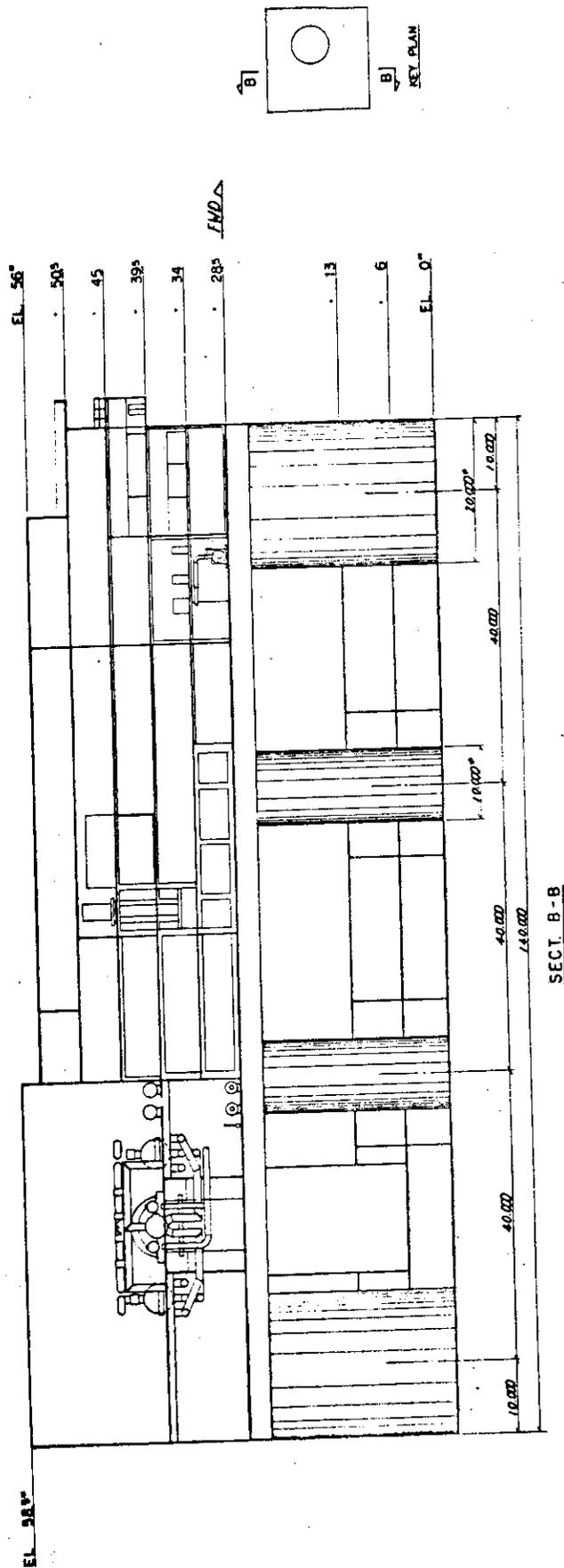


図 2.3-5 タービン建屋部断面

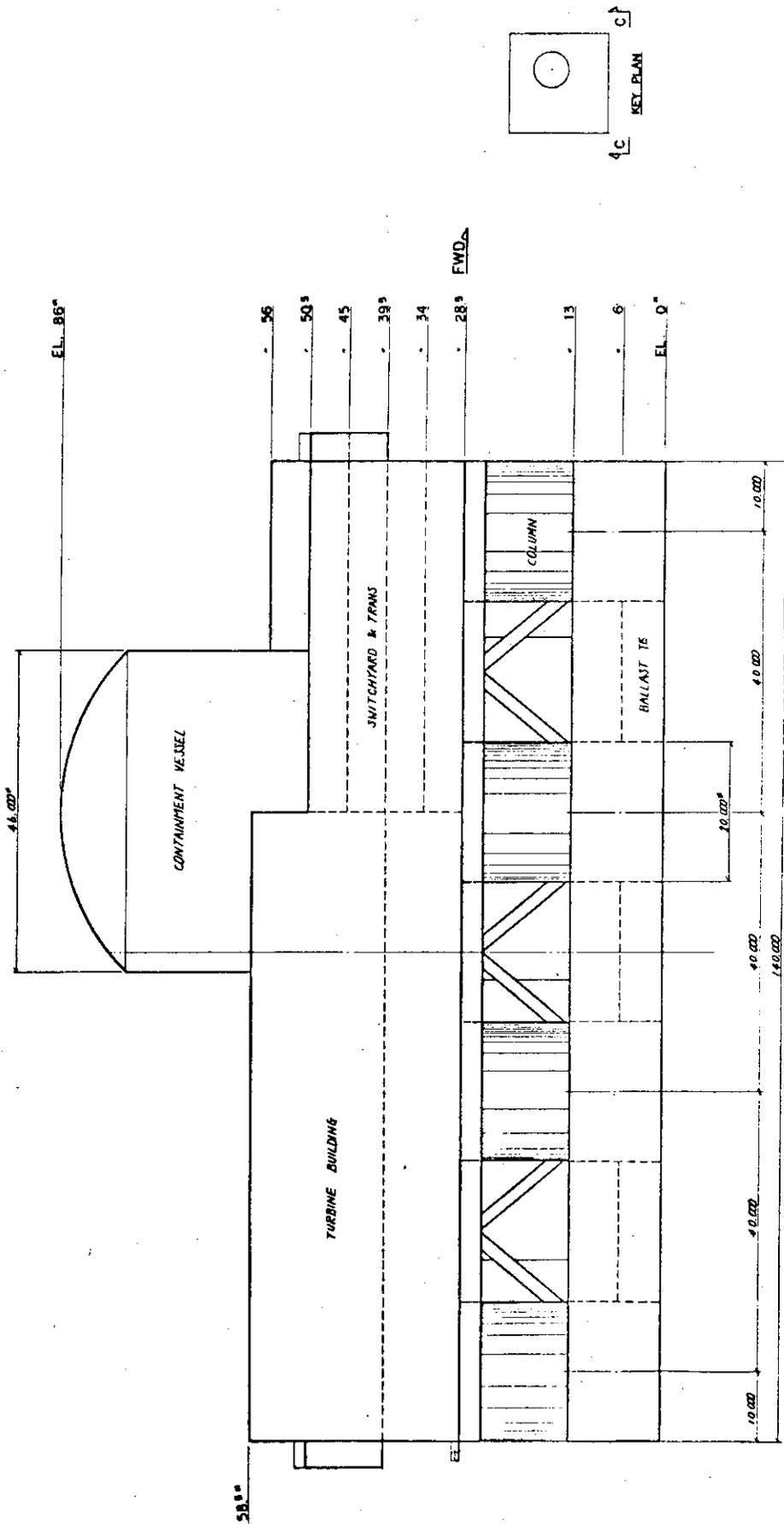


図 2.3 - 6 右舷側立面図

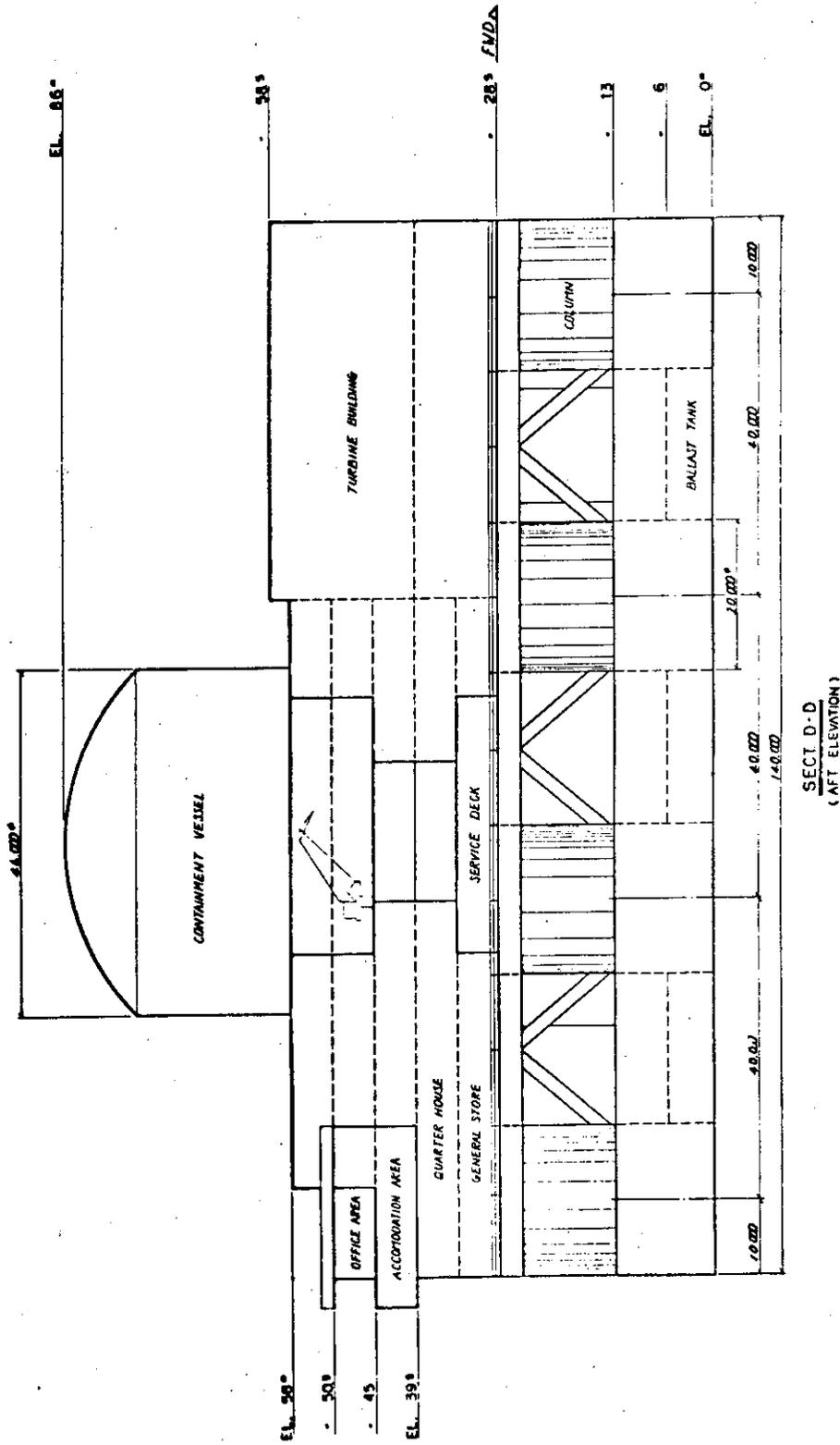


図 2.3-7 後側立面図

図 2.3-8 底部平面

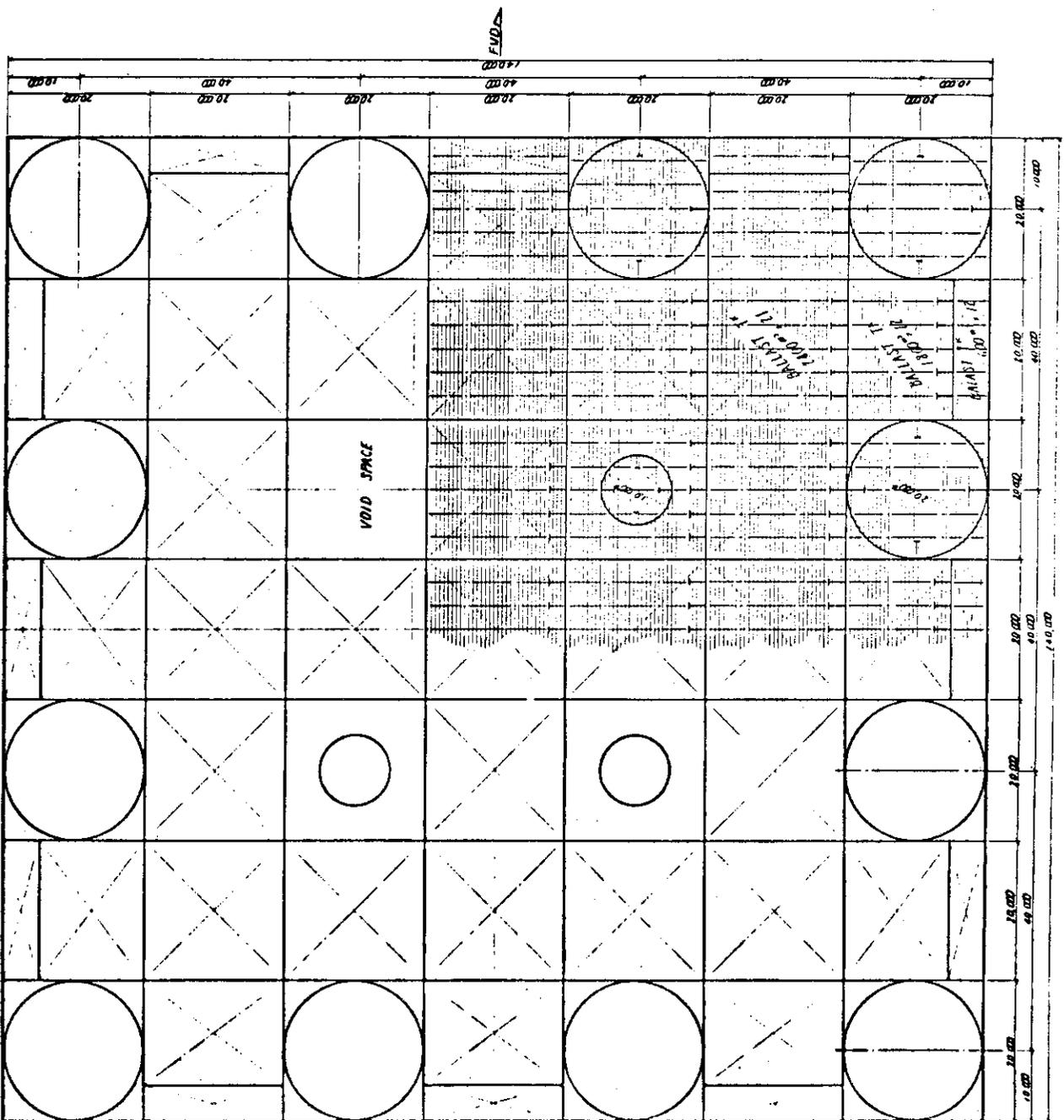


図 2.3-9 E.L. 6 m 平面配置図

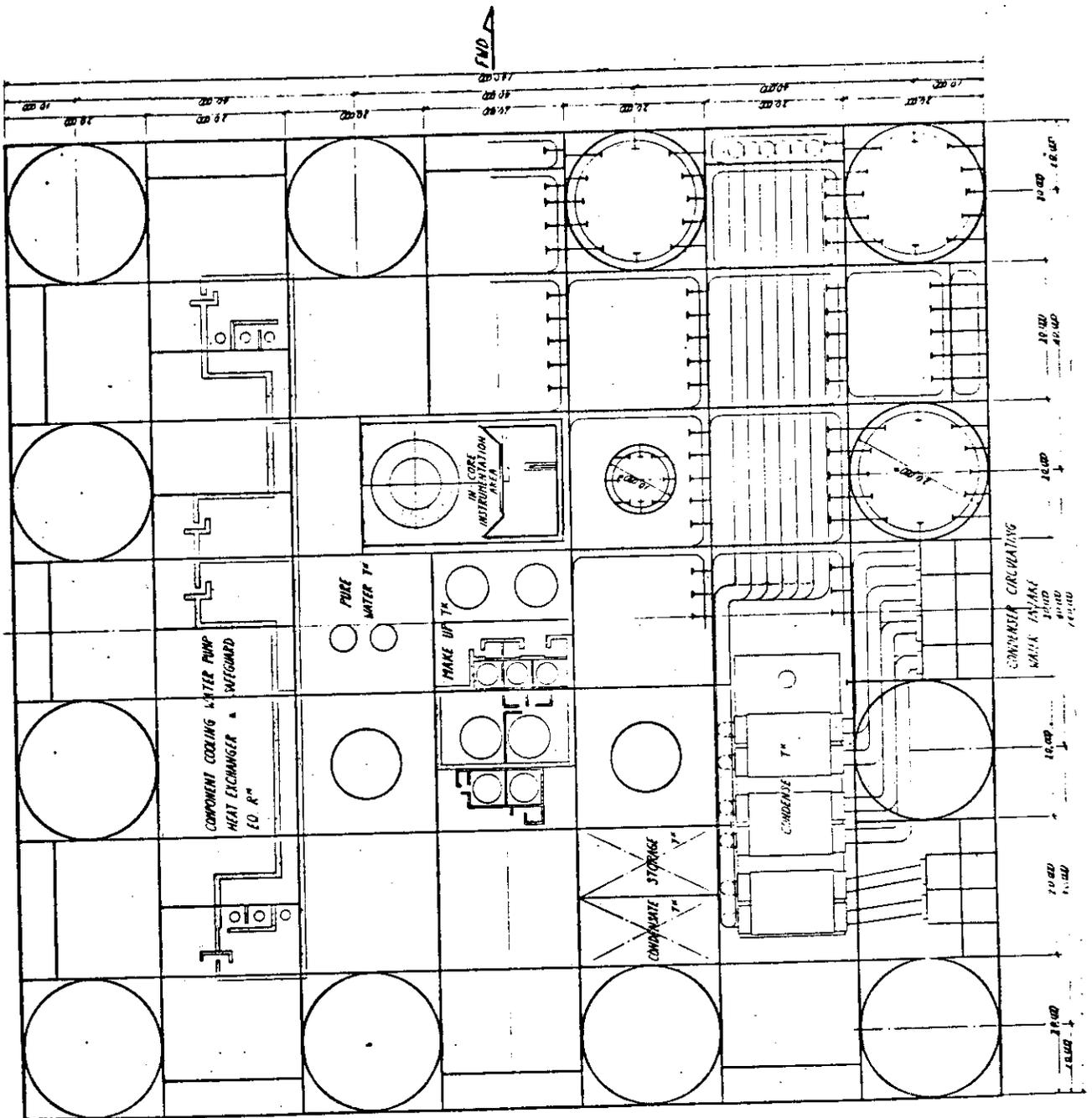
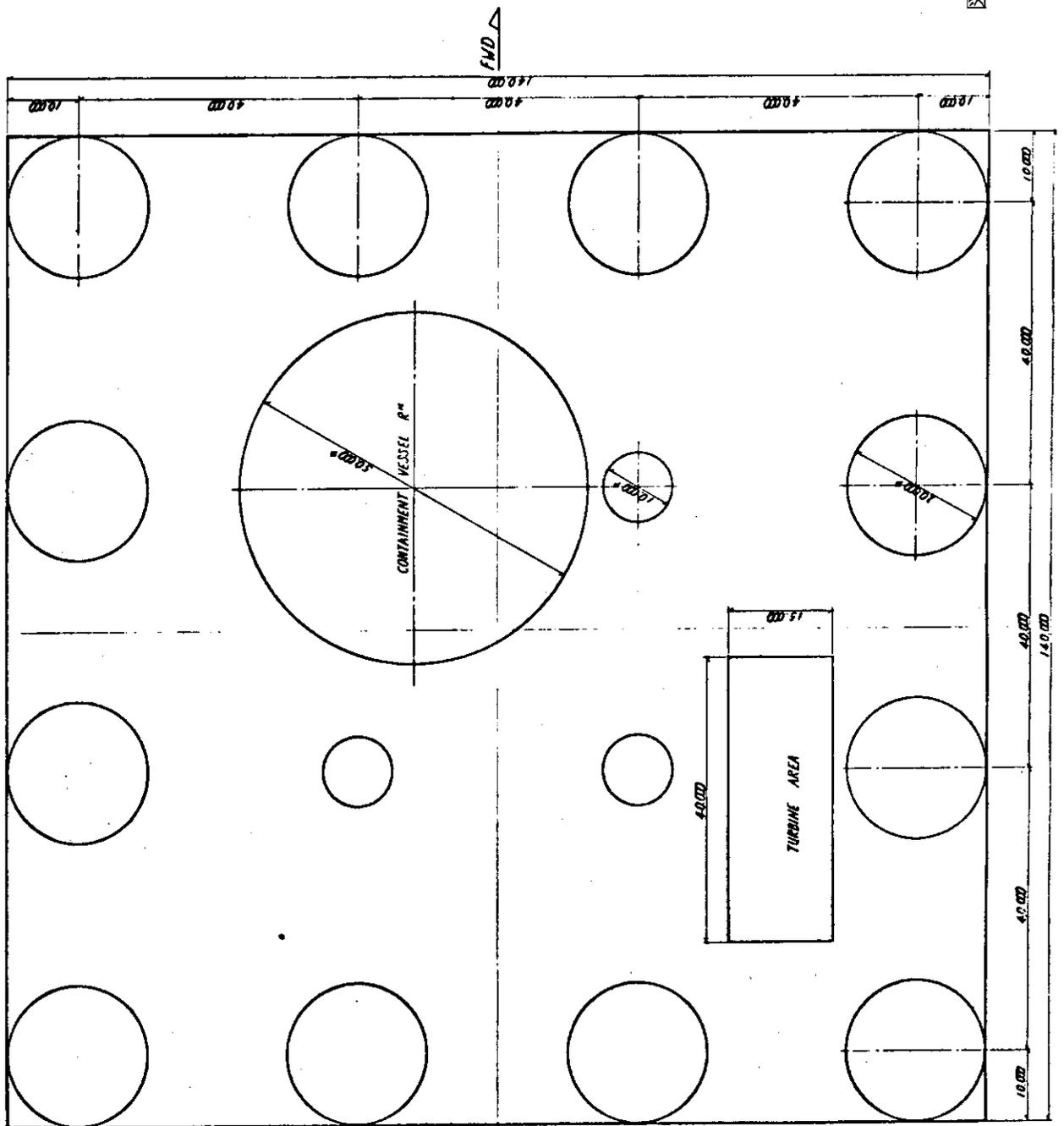


図 2.3-10 E.L. 18.5m 平面配置図



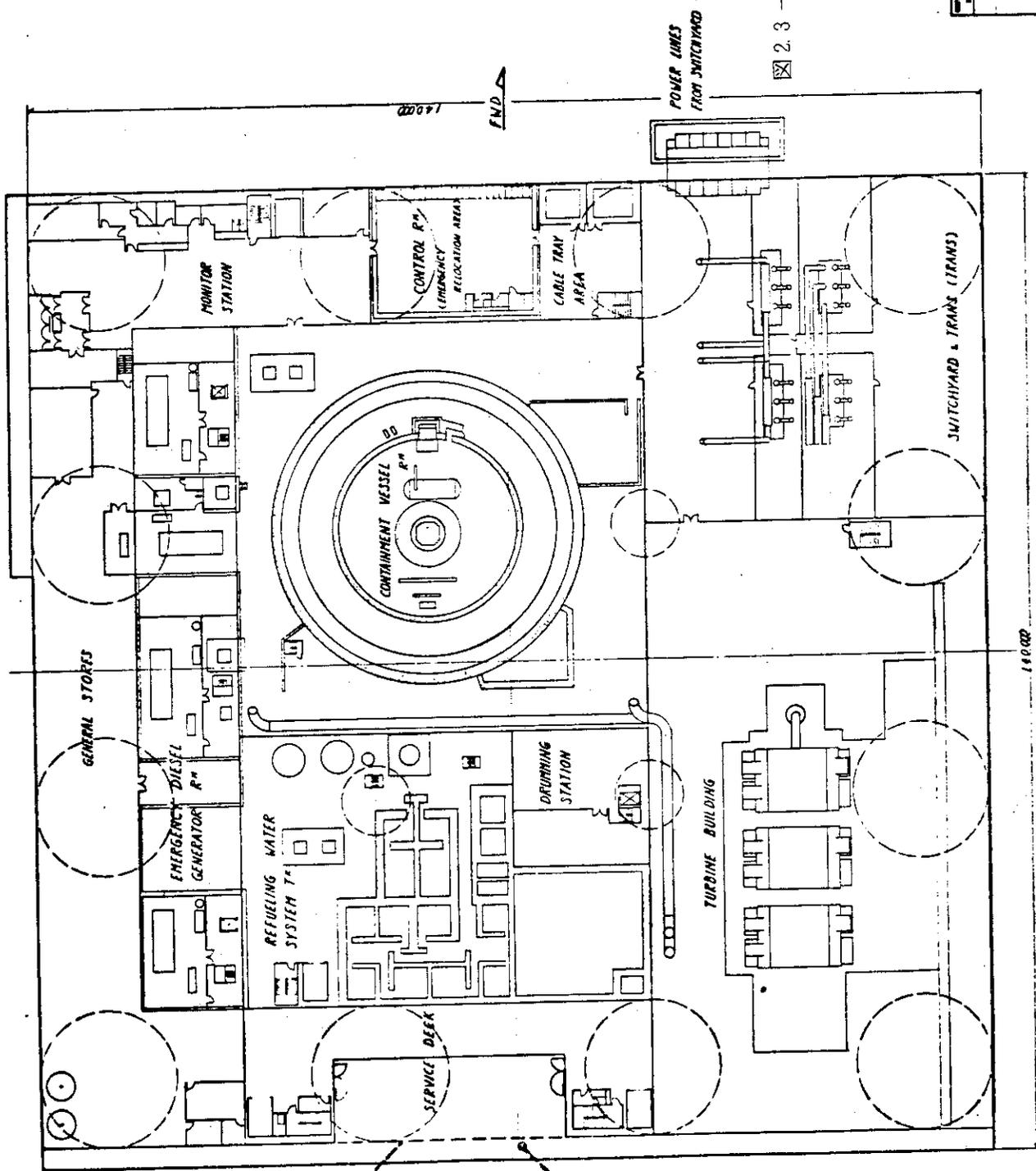


図 2.3 - 11 E.L. 28.5m 平面配置図

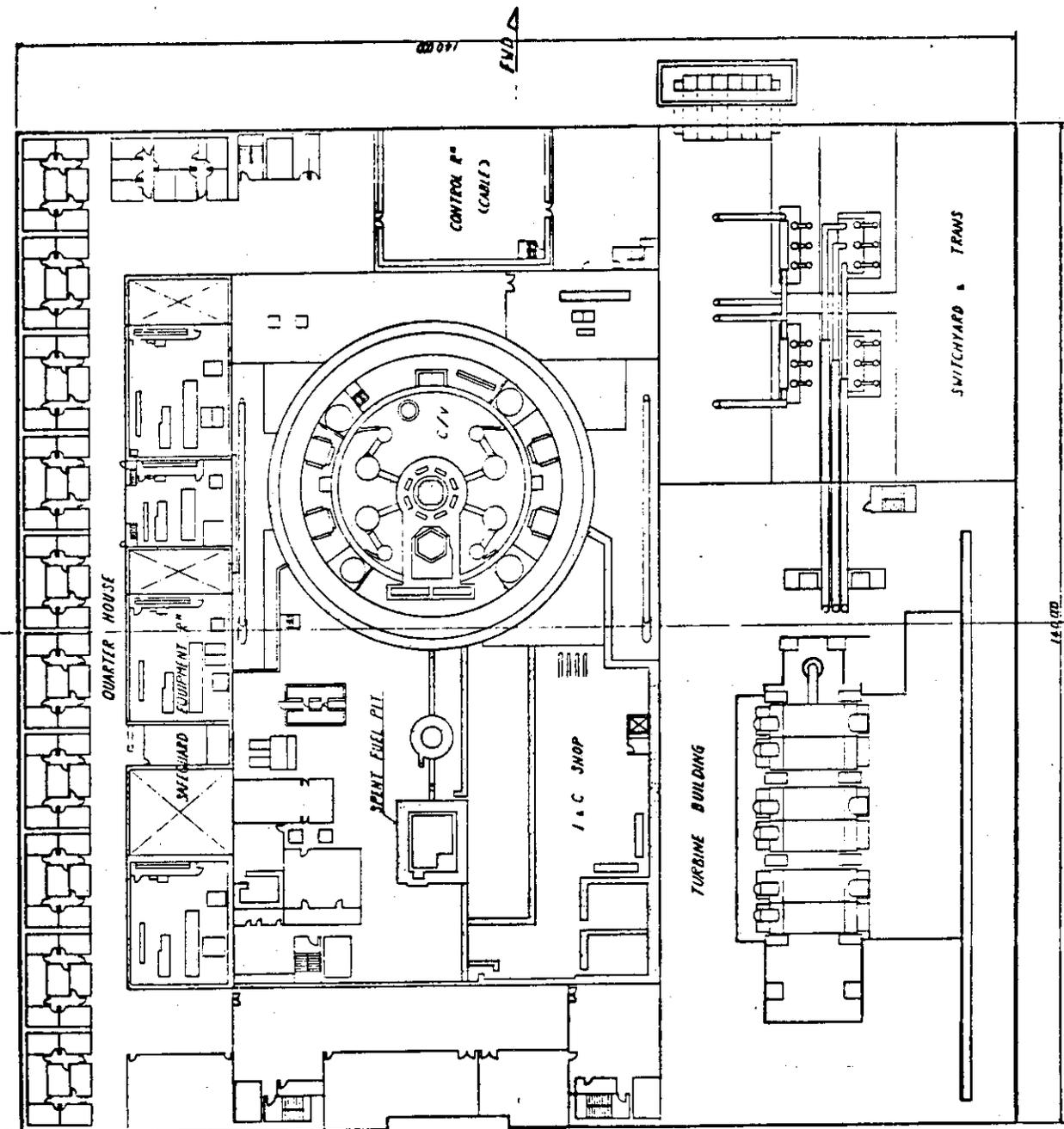


図 2.3-12 E.L. 34m 平面配置図

図 2.3 - 13 E.L. 39.5m 平面配置図

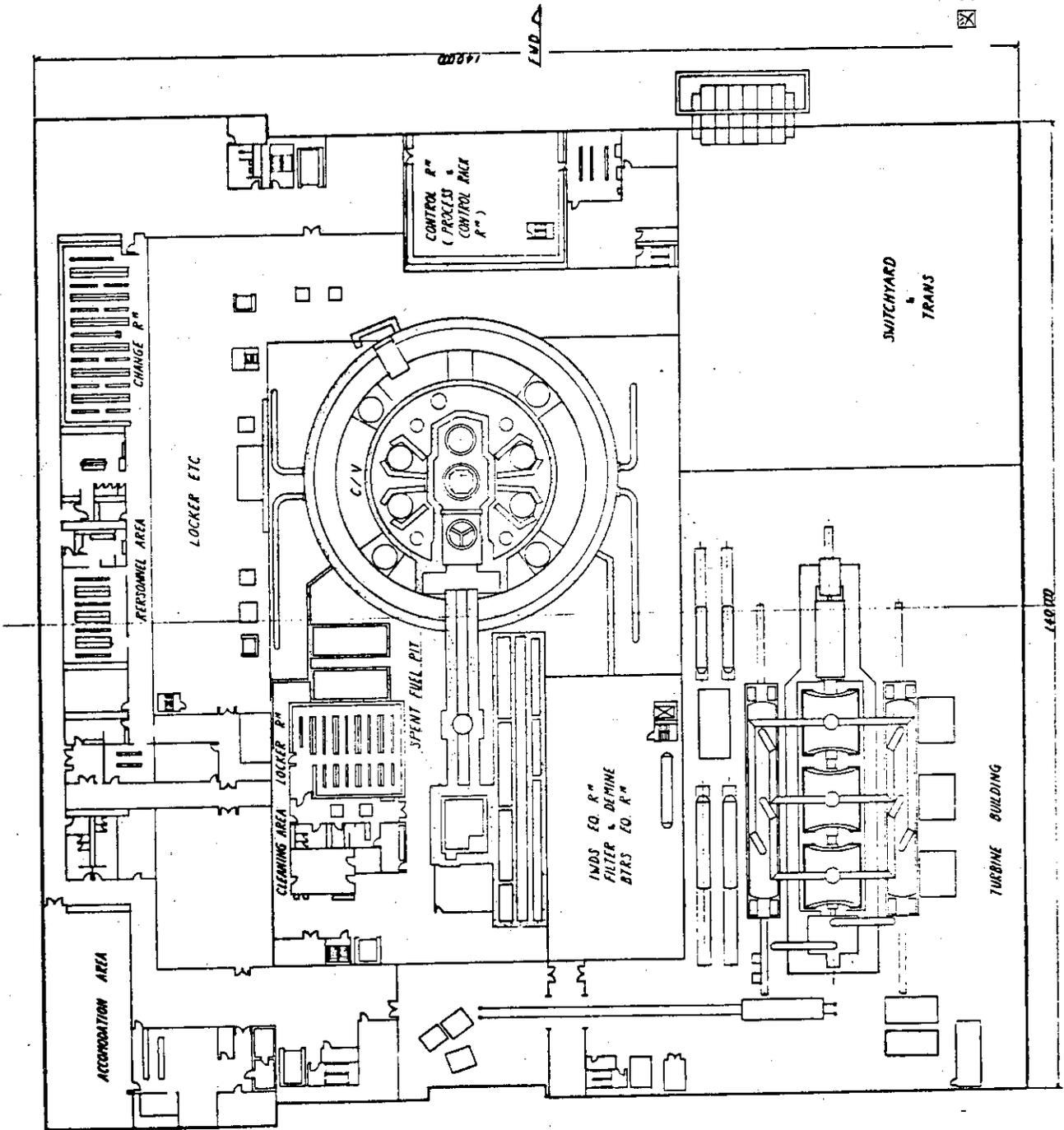
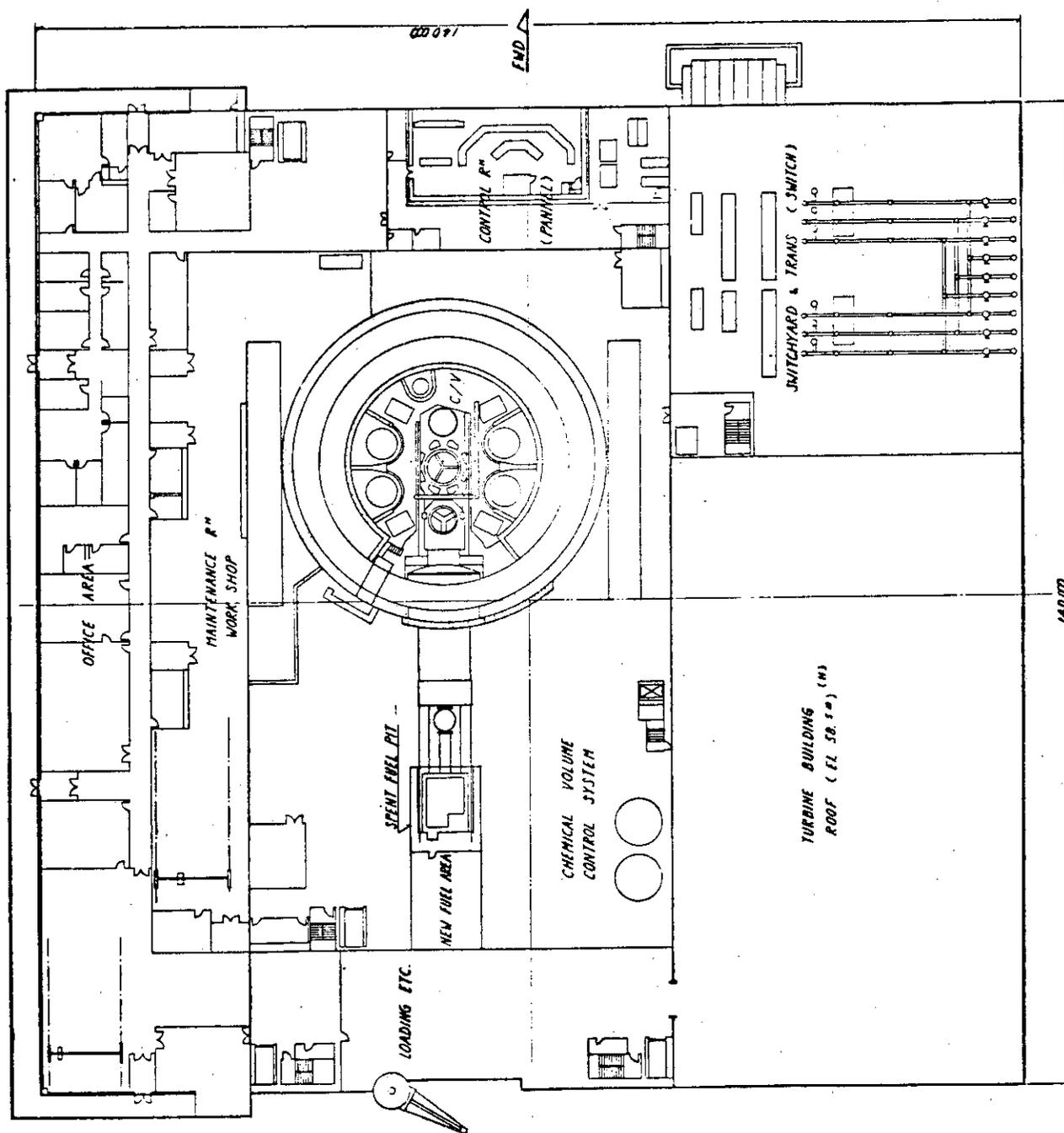


図 2.3 - 14 E.L. 4.5 m 平面配置図



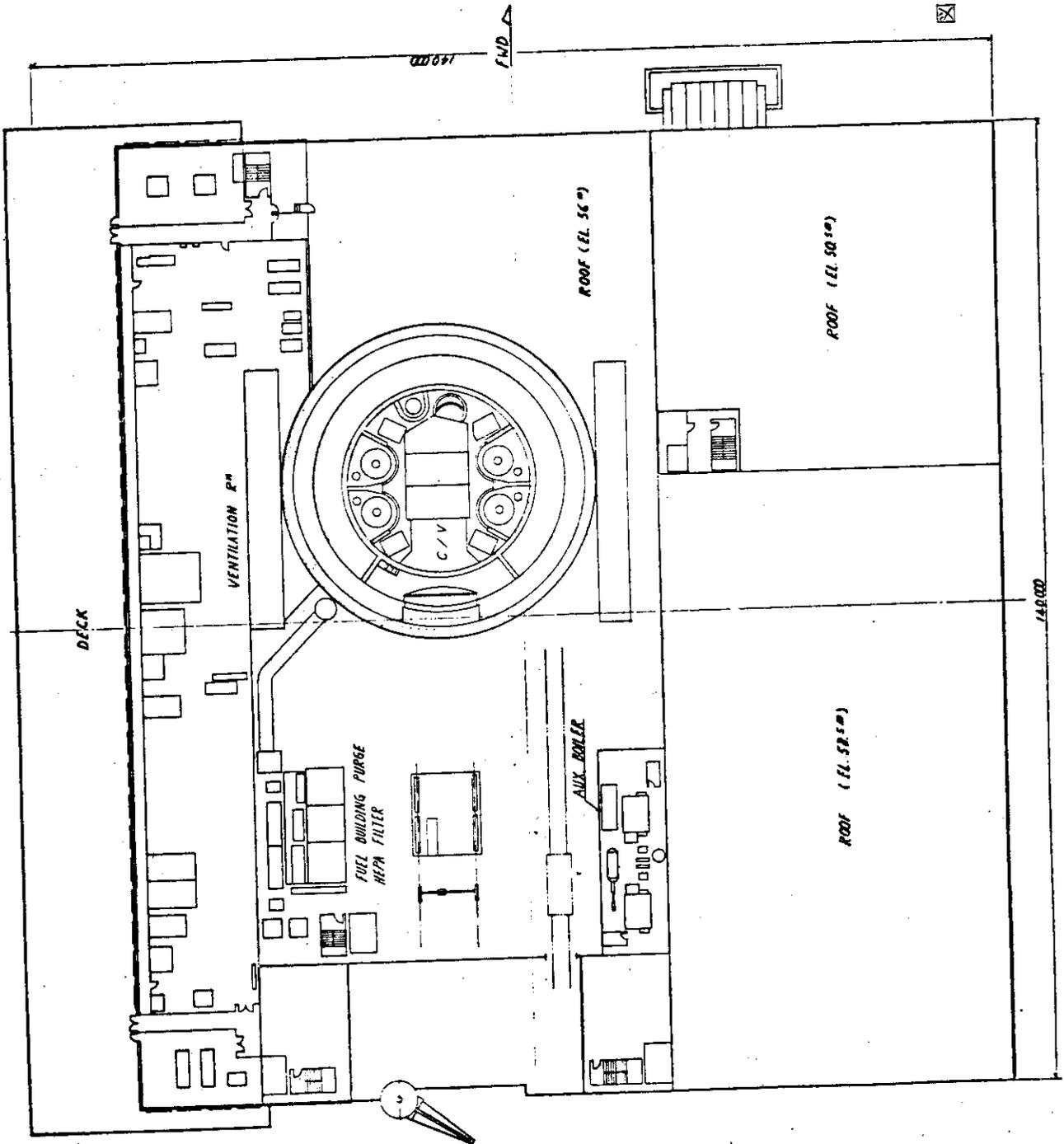


图 2.3-15 E L. 50.5m 平面配置图

表 2.3-3 軽荷重量・重心計算

積 載 荷 重	重 量 W (ton)	縦 方 向		横 方 向		高 さ 方 向		
		⊙.G (m)	L.M (t.m)	⊙.G (m)	T.M (t.m)	KG (m)	V.M (t.m)	
1. 格 納 容 器 内	50,700	-20.0	-1,014,000	-12.0	-608,400	37.0	1,875,900	
補 助 建 家 内	安全保護系機器室	10,100	0.0	0.0	-47.5	-479,750	15.0	151,500
	廃棄物処理系	14,600	30.0	438,000	10.0	146,000	40.5	591,300
	使用済燃料ピット	8,400	30.0	252,000	-12.5	-105,000	39.5	331,800
	補助建家鋼構造	5,600	0.0	0.0	-20.0	-112,000	39.5	221,200
	化学体積制御系	3,800	25.0	95,000	10.0	38,000	46.0	174,800
	フィルター及びデミネライザ	2,700	30.0	81,000	10.0	27,000	40.5	109,350
	ボロン熱再生系機器	3,000	30.0	90,000	10.0	30,000	40.5	121,500
	主メーキャップタンク	400	10.0	4,000	0.0	0.0	9.0	3,600
	凝縮水貯蔵タンク	1,000	0.0	0.0	20.0	20,000	9.0	9,000
	燃料交換系水タンク	2,000	30.0	60,000	-10.0	-20,000	29.5	59,000
	純水プラント及びタンク	2,500	0.0	0.0	-20.0	-50,000	9.0	22,500
	海水ポンプ, 機器冷却水ポンプ	40	0.0	0.0	-40.0	-1,600	7.0	280
	ディーゼル発電機室	2,400	0.0	0.0	-47.5	-114,000	29.5	70,800
	機器冷却水熱交換器	240	0.0	0.0	-40.0	-9,600	9.0	2,160
	補助ボイラ	40	35.0	1,400	15.0	600	51.5	2,060
	ドラム充填室	1,300	20.0	26,000	10.0	13,000	29.5	38,350
	新燃料室	50	45.0	2,250	-12.5	-625	46.0	2,300
	換気系機器	80	10.0	800	-47.5	-3,800	51.5	4,120
	制御棟	3,200	-60.0	-192,000	0.0	0.0	39.5	126,400
	補助建家クレーン	150	70.0	10,500	-20.0	-3,000	46.0	6,900
主蒸気管通路	6,200	0.0	0.0	-20.0	-124,000	39.5	244,900	
床コンクリート	12,000	0.0	0.0	-20.0	-240,000	36.5	438,000	
小 計	79,800	10.9	868,950	-12.4	-988,775	34.2	2,731,820	
3. タービン発電系	38,400	20.0	768,000	25.0	960,000	29.5	1,132,800	
4. 開閉所及び変圧設備	2,500	-45.0	-112,500	25.0	62,500	37.5	93,750	
合 計	171,400	3.0	510,450	-3.4	-574,675	34.0	5,834,270	
海 洋 構 造 物	メインデッキ	9,800	0.0	0.0	0.0	0.0	27.5	269,500
	コ ラ ム (1)	8,310	0.0	0.0	0.0	0.0	14.3	118,833
	〃 (2)	520	10.0	5,200	10.0	5,200	14.3	7,436
	〃 (3)	860	10.0	8,600	40.0	34,400	20.8	17,888
	〃 (4)	4,330	-20.0	-86,600	-12.0	-51,960	20.8	90,064
	マ ッ ト	23,520	0.0	0.0	0.0	0.0	6.0	141,120
そ の 他	960	0.0	0.0	0.0	0.0	28.5	27,360	
合 計	48,300	-1.51	-72,800	-0.26	-12,360	13.9	621,201	
軽 荷 重 量	219,700	1.99	437,650	-2.67	-587,035	29.62	6,506,471	

表 2.3-4 曳航時 (吃水 12 m) 静的安定性能

積 載 荷 重 重 量 ・ ・ 重 心							○ 船尾, 右舷
							○ 船首, 左舷
項 目	w (ton)	\bar{x}_G (m)	LM (tm)	\bar{L}_G (m)	TM (tm)	KG (m)	VM (tm)
軽 荷 状 態	219.700	1.99	437.650	-2.67	-587.035	29.62	6.506.471
パ ラ ス ト 水	21.380	-20.47	-437.650	27.46	587.035	3.0	64.140
合 計 排 水 量	241.080	0.0	0	0.0	0	27.25	6.570.611
安 定 性 能 値				曳 航 抵 抗 曲 線 潮 流 力 曲 線		縦 復 原 力 曲 線 横 復 原 力 曲 線	
項 目	記 号	縦 方 向	横 方 向				
排 水 量	w (ton)	241,080					
吃 水	d (m)	12.0					
ト リ ム ・ ヒ ール	t, h (m)	0.0	0.0				
水 線 面 積	AW (m ²)	19.600					
毎 セ ン チ 排 水 量	TPC (t/cm)	201					
浮 面 心 位 置	\bar{x}_F, \bar{L}_F (m)	0.0	0.0				
浮 心 位 置	\bar{x}_B, \bar{L}_B (m)	0.0	0.0				
	KB (m)	6.0					
重 心 位 置	\bar{x}_G, \bar{L}_G (m)	0.0	0.0				
	KG (m)	27.25					
浮 心 ・ 重 心 間 距 離	BG (m)	0.0	0.0				
メ タ セ ン タ 高	KM (m)	142.1	142.1				
	GM (m)	114.9	114.9				
自 由 水 に よ る 重 心 修 正	GG ₀ (m)	1.0	1.0				
修 正 後 の メ タ セ ン タ 高	G ₀ M (m)	113.9	113.9				
毎 セ ン チ ト リ ム モ ー メ ン ト	MTC (tm/cm)	1.961	1.961				
固 有 周 期	上 下 動	T _h (sec)	12.1				
	縦 揺 れ	T _p (sec)	15.8				
	横 揺 れ	T _r (sec)	15.8				
備 考 :				風 荷 重 (傾 斜 角 0°) V _t = 100 K _t = 52 m/sec R _i = 1.770 ton, M = 51.000 t-m D _w = 0.21 m (A+B) / (B+C) ≧ 1.4 潮 流 V _c = 3K _t = 1.54 m/s, R _c = 208 t			

表 2.3-5 運転時 (吃水 18.5 m) 静的安定性能

積 載 荷 重 重 量 ・ ・ 重 心							
項 目	W (ton)	KG (m)	LM (tm)	LG (m)	TM (tm)	KG (m)	VM (tm)
軽 荷 状 態	219,700	1.99	437,650	-2.67	-587,035	29.62	6,506.471
バ ラ ス ト 水	78,500	-7.74	-607,624	7.62	598,367	3.0	235,500
合 計 排 水 量	298,200	-0.57	-169,974	0.038	11,332	22.61	6,741.971

○ 船尾, 右舷
○ 船首, 左舷

安 定 性 能 値				曳 航 抵 抗 曲 線	縦 復 原 力 曲 線
項 目	記 号	縦 方 向	横 方 向	潮 流 力 曲 線	横
排 水 量	W (ton)	298,200			
吃 水	d (m)	18.5			
トリム・ヒール	t, h (m)	0.0	0.0		
水 線 面 積	AW (m ²)	6,569			
毎センチ排水量	TPC (t/cm)	67			
浮 面 心 位 置	BF, LF (m)	-4.60	0.31		
浮 心 位 置	KB (m)	7.65			
	BG, LG (m)	-0.57	0.038		
重 心 位 置	KG (m)	22.61			
	BG (m)	0.0	0.0		
メ タ セ ン タ 高	KM (m)	45.48	46.50		
	GM (m)	22.87	23.89		
自由水による重心修正	GG ₀ (m)	1.0	1.0		
修正後のメタセンタ高	G ₀ M (m)	21.9	22.9		
毎センチトリムモーメント	MTC (tm/cm)	466	488		
固 有 周 期	上下動	Th (sec)	23.2	風 荷 重 (傾 斜 角 0°) Vi = 100 kt = 52 m/sec Ri = 1440 ton, M = 36.900 t-m Dw = 0.12m (A+B)/(B+C) = ≫ 1.4 潮流 Vc = 3 kt = 1.54 m/s R _c = 400 t	
	縦揺れ	Tp (sec)	35.1		
	横揺れ	Tr (sec)	35.7		

備考:

- KG, KB, KM の原点はマツト底面
- t, h, MTC は外側コラム外板

表 2.3-6 各状態における動揺，加速度の値

項 目		運 転 時	非 常 時	
			暴 風 時	津 波 時
サ ー ジ (m)	平均値 X_{mean}	0.125	0.525	0.056
	有義値 $X_{1/3}$	0.200	0.840	0.090
	最大値 $X_{1/10,000}$	0.443	1.86	0.199
ス ウ ェ イ (m)	平均値 Y_{mean}	0.125	0.450	0.056
	有義値 $Y_{1/3}$	0.200	0.720	0.090
	最大値 $Y_{1/10,000}$	0.443	1.59	0.199
ヒ ー プ (m)	平均値 Z_{mean}	0.100	0.413	0.041
	有義値 $Z_{1/3}$	0.160	0.660	0.066
	最大値 $Z_{1/10,000}$	0.354	1.46	0.146
ロ ー ル (deg)	平均値 ϕ_{mean}	0.215	0.668	0.094
	有義値 $\phi_{1/3}$	0.344	1.068	0.150
	最大値 $\phi_{1/10,000}$	0.762	2.366	0.332
ピ ッ チ (deg)	平均値 θ_{mean}	0.210	0.713	0.075
	有義値 $\theta_{1/3}$	0.336	1.14	0.120
	最大値 $\theta_{1/10,000}$	0.744	2.53	0.266
ヨ ー ル (deg)	平均値 ψ_{mean}	0.010	0.015	0.004
	有義値 $\psi_{1/3}$	0.016	0.024	0.006
	最大値 $\psi_{1/10,000}$	0.035	0.053	0.013
加 速 度 X_a (gal)	平均値 X_{mean}	12.9 (0.01%)	19.5 (0.02%)	8.72(0.01%)
	有義値 $X_{1/3}$	20.6 (0.02%)	31.2 (0.03%)	14.0 (0.01%)
	最大値 $X_{1/10,000}$	45.5 (0.05%)	69.1 (0.07%)	30.9 (0.03%)
加 速 度 Y_a (gal)	平均値 Y_{mean}	13.1 (0.01%)	19.7 (0.02%)	8.91(0.01%)
	有義値 $Y_{1/3}$	20.9 (0.02%)	31.6 (0.03%)	14.25(0.01%)
	最大値 $Y_{1/10,000}$	46.2 (0.05%)	69.9 (0.07%)	31.6 (0.03%)
加 速 度 Z_a (gal)	平均値 Z_{mean}	5.83(0.01%)	11.8 (0.01%)	3.36(0.003%)
	有義値 $Z_{1/3}$	9.32(0.01%)	18.9 (0.02%)	5.37(0.01%)
	最大値 $Z_{1/10,000}$	20.6 (0.02%)	41.9 (0.04%)	11.9 (0.01%)

表 2.3-7 各状態における回転角

単位 deg

項目	運 転 時	非 常 時		
		暴 風 時	津 波 時	
ロ ー ル	平均値 ϕ_{mean}	0.32 ± 0.22 (0.1 ~ <u>0.54</u>)	0.97 ± 0.67 (0.3 ~ 1.64)	0.32 ± 0.09 (0.23 ~ <u>0.41</u>)
	有義値 $\phi_{1/3}$	0.32 ± 0.34 (-0.02 ~ <u>0.66</u>)	0.97 ± 1.07 (-0.1 ~ 2.04)	0.32 ± 0.15 (0.17 ~ <u>0.47</u>)
	最大値 $\phi_{1/10,000}$	0.32 ± 0.76 (-0.44 ~ <u>1.08</u>)	0.97 ± 2.37 (-1.4 ~ 3.34)	0.32 ± 0.33 (-0.01 ~ <u>0.65</u>)
ピ ッ チ	平均値 θ_{mean}	0.32 ± 0.21 (0.11 ~ <u>0.53</u>)	0.97 ± 0.71 (0.26 ~ <u>1.68</u>)	0.32 ± 0.08 (0.24 ~ 0.40)
	有義値 $\theta_{1/3}$	0.32 ± 0.34 (-0.02 ~ <u>0.66</u>)	0.97 ± 1.14 (-0.17 ~ <u>2.11</u>)	0.32 ± 0.12 (0.20 ~ 0.44)
	最大値 $\theta_{1/10,000}$	0.32 ± 0.74 (-0.42 ~ <u>1.06</u>)	0.97 ± 2.53 (-1.56 ~ <u>3.50</u>)	0.32 ± 0.27 (0.05 ~ 0.59)

註：表 2.3-6, 2.3-7 に使われている記号の定義

- X : 重心でのサージ片振幅 (m) \hat{X} : 無次元値サージ (x/h_A)
 Y : " スウェイ " (m) \hat{Y} : " スウェイ (y/h_A)
 Z : " ヒープ " (m) \hat{Z} : " ヒープ (z/h_A)
 ϕ : " ロール " (deg) $\hat{\phi}$: " ロール (ϕ/θ_w)
 θ : " ピッチ " (deg) $\hat{\theta}$: " ピッチ (θ/θ_w)
 ψ : " ヨー " (deg) $\hat{\psi}$: " ヨー (ψ/θ_w)
 X_a : 格納容器頂部のサージ方向加速度 (gal) \hat{X}_a : (X_a/h_A)
 Y_a : " スウェイ " (gal) \hat{Y}_a : (Y_a/h_A)
 Z_a : " ヒープ " (gal) \hat{Z}_a : (Z_a/h_A)
 h_A : $\frac{1}{2}$ 波高 (m)
 T : 波周期 (s)
 λ : 波長 (m)
 θ_w : 最大波傾斜角 (deg) , $\theta_w = 360^\circ \times \frac{h_A}{\lambda}$

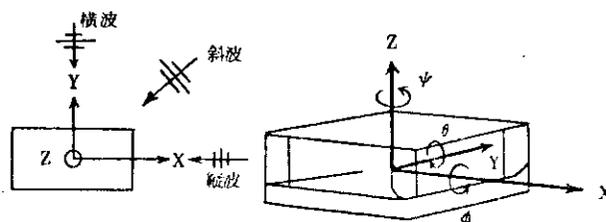


表 2.3 - 8 回転角, 加速度の最大値比較

項 目		運 転 時	非 常 時	
			暴 風 時	津 波 時
回 転 角* (deg)		1.08 (2.00)	3.50 (2.00)	0.65 (2.00)
加 速 度	サージ方向 (G)	0.05 (0.05)	0.07 (0.10)	0.03 (0.10)
	スウェイ方向 (G)	0.05 (0.05)	0.07 (0.10)	0.03 (0.10)
	ヒープ方向 (G)	0.02 (0.05)	0.04 (0.10)	0.01 (0.10)

註1. *ロール, ピッチのうち大きな方を示す。

註2. () 内数字はOPS社基準による。

表 2.4-1 浮遊式海洋構造物の係留方式の分類と特徴

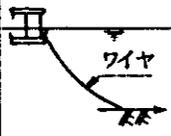
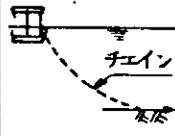
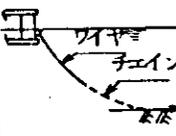
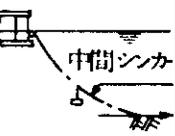
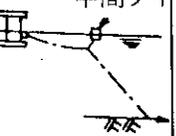
係留方式		ワイヤ方式	チェーン方式	ワイヤチェーン複合索方式	中間シンカー方式	中間ブイ方式
						
特性						
適正水深		50~200m	20~500m	400~1000m	20~1000m	20~100m
コスト		普通	普通	高価	やや高価	高価
操 作	主要機器	大型ウインチ	大型ウインドラス	大型ウインチ及び大型ウインドラス	大型ウインチまたはウインドラス 中間シンカー	大型ウインチまたはウインドラス 中間シンカー
	作業船	中形	大形	大形	大形	大形
	保守・管理	ワイヤロープの破損に注意のこと	普通	ウインチ・ウインドラスの保守・管理をひんばんに行なう必要あり	中間シンカーの収納保管方法要検討	中間ブイの保守・管理をひんばんに行う必要あり
	係留地点への移動性	良	良	良	やや不良	不良
	信頼性	実績多	実績多	新方式	新方式	新方式
性 能	船体への影響	格納時に重心高	格納時に重量大	重心高, 重量増	重心高または重量大	係留時の負担重量小
	通常(作業)時	水平移動小	水平移動比較的大	水平移動比較的小	水平移動比較的小	水平移動大
	暴風時	エネルギー吸収効果小, 走錨しやすい	エネルギー吸収効果比較的大	エネルギー吸収効果比較的大	エネルギー吸収効果大, 走錨しにくい	エネルギー吸収効果大
問 題 点	浅水深	走錨しやすい	走錨比較的ににくい	ワイヤ切断の危険性	走錨しにくい	走錨しにくい
	大水深	ワイヤ長さに製造上の制約	重量増加大	比較的安定	比較的安定	中間ブイ容量大
	大外力	ワイヤ長さ大走錨しやすい	比較的安定	比較的安定	比較的安定	安定

表 2.4-2 海上原子力プラントの構造物の係留システム設計基準（比較検討用）

項 目 \ 状 態	運 転 時	非 常 時	
		暴 風 時	津 波 時
(1) プラント構造物の操船（位置・張力・調整）及び安全のための係留索余長	200 m	200 m	200 m
(2) プラント構造物の許容水平移動量	特に設定しない。		
(3) 錨索の破断強度に対する安全率	3.5 (2.8)	2.4 (1.7)	3.5 (2.8)
(4) アンカー持上り角度	0°	ほぼ0°	0°
(5) アンカー／シンカーの走錨	不 可	不 可	不 可

註) 係留ラインの初期張力は、プラント構造物の水平移動量が、水深の10%の時、錨索の破断強度に対する安全率が2.0となるよう設定する。

() 内の値は一般海洋構造物の設計基準例。

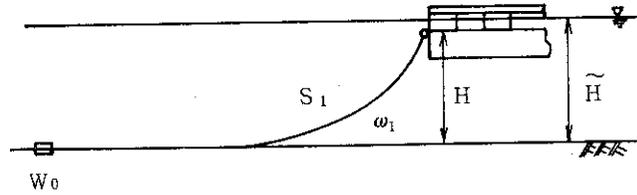
表 2.4-3 係留システムの設計条件

項 目 \ 状 態	運 転 時	非 常 時	
		暴 風 時	津 波 時
水 深	150 m	150 m	150 m
潮 位	2 m	2 m	2 m
津 波	—	—	5 m
係留点 高 さ	プラットフォーム	146.5 m	151.5 m
	浮 防 衝 堤	150.9 m	155.9 m
10 分間平均風速	52 m/s	90 m/s	52 m/s
有 義 波 高	4.0 m	6.0 m	3.0 m
平均波周期／波長	6.6s／68.0 m	8.8s／120.0 m	5.4s／45.0 m
潮 流	1.54 m/s	1.54 m/s	1.54 m/s

表 2.4-4 海上原子力プラント構造物に作用する水平外力及び変位
(吃水 $d = 18.5 \text{ m}$)

項 目	運 転 時	非 常 時	
		暴 風 時	津 波 時
風 圧 力	1,436 t	4,302 t	1,436 t
潮 流 力	398 t	398 t	398 t
漂 流 力	115 t	194 t	81 t
合 計	1,949 t	4,894 t	1,951 t
強 制 変 位	0.08 m	0.30 m	0.12 m
係 留 高 さ	146.5 m	146.5 m	151.5 m

チェーン方式による係留システム

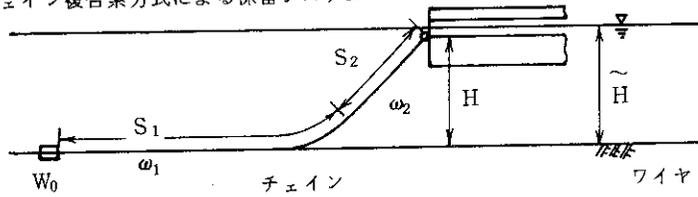


索 径: 203mmφチェーン $\omega_1 = 0.92 \text{ t/m (空中)}$
 $= 0.80 \text{ t/m (水中)}$

索 長: $S_1 = 750 \text{ m}$

破断強度: BS = 2,287 t (Grade 3)

ワイヤ・チェーン複合索方式による係留システム

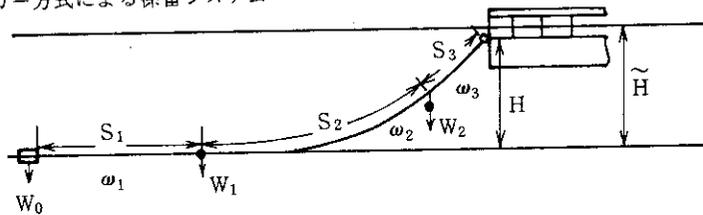


索 径: 203mmφ $\omega_1 = 0.92 \text{ t/m (空中)}$ $\omega_2 = 0.1566 \text{ t/m (空中)}$
 $= 0.80 \text{ t/m (水中)}$ $= 0.1362 \text{ t/m (水中)}$

索 長: $S_1 = 450 \text{ m}$ $S_2 = 450 \text{ m}$

破断強度: BS = 2,287 t (Grade 3) BS = 2,150 t (S.I.P.S)

中間シンカー方式による係留システム



索 径: 203mmφチェーン $\omega_1 = 0.92 \text{ t/m (空中)}$
 $= 0.80 \text{ t/m (水中)}$

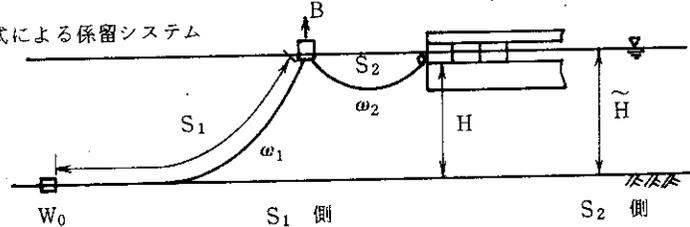
索 長: $S_1 = 450 \text{ m}, S_2 = 300 \text{ m}, S_3 = 150 \text{ m}$

中間シンカー: $W_1 = 120 \text{ t} (\approx 1.0 \omega_1 \tilde{H})$

$W_2 = 60 \text{ t} (\approx 0.5 \omega_1 \tilde{H})$

破断強度: BS = 2,287 t (Grade 3)

中間ブイ方式による係留システム



索 径: 203mmφチェーン $\omega_1 = 0.92 \text{ t/m (空中)}$ $\omega_2 = 0.92 \text{ t/m (空中)}$
 $= 0.80 \text{ t/m (水中)}$ $= 0.80 \text{ t/m (水中)}$

索 長: $S_1 = 750 \text{ m}$ $S_2 = 200 \text{ m}$

破断強度: BS = 2,287 t (Grade 3) BS = 2,287 t (Grade 3)

中間ブイ: 水線面積 $A_w = 378.5 \text{ m}^2$, 吃水 3.81
 (浮防衛堤 1 基相当の規模)

$B = 1,480 \text{ t}$

図 2.4-1 各種係留方式による試設計結果

表 2.4-5 係留特性 (チェーン方式)

状態	外力	初期張力 $T_{A0}(t)$	風+潮+漂 変位量(m)	最大張力発生索				備考
				風+潮+漂 張力 $T_A(t)$ 持上量 $S(m)$	風+潮+漂+波 張力 $T_A(t)$ 持上量 $S(m)$	風+潮+漂+波 張力 $T_A(t)$ 持上量 $S(m)$	風+潮+漂+波 張力 $T_A(t)$ 持上量 $S(m)$	
運動時 $H = 14.65 \text{ m}$	風圧力	1,436 t	5.7 (3.8%水深)	632	452	503	634*	*BS/TA = 3.6
	潮流力	398 t						
	漂流力	115 t						
	計	1,949 t						
波による変位量 0.08 m								
暴風時 $H = 14.65 \text{ m}$	風圧力	4,302 t	12.5 (8.2%水深)	943	565	829	961*	*BS/TA = 2.4
	潮流力	398 t						
	漂流力	194 t						
	計	4,894 t						
波による変位量 0.30 m								
津波時 $H = 15.15 \text{ m}$	風圧力	1,436 t	5.8 (3.7%水深)	635	461	504	640*	*BS/TA = 3.6
	潮流力	398 t						
	漂流力	81 t						
	計	1,915 t						
波による変位量 0.12 m								

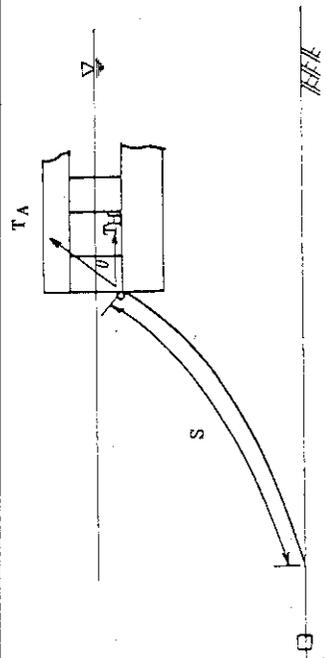


表2.4-6 係留特性 (ワイヤ・チェーン複合索方式)

状態	外力	初期張力 T _{A0} (t)	風+潮+漂 変位量(m)	最大張力				発生索		備考
				風+潮+漂		風+潮+漂+波		風+潮+漂+波 張力T _A (t)持上量S(m)	風+潮+漂+波 張力T _A (t)持上量S(m)	
				風+潮+漂 張力T _A (t)持上量S(m)	風+潮+漂 張力T _A (t)持上量S(m)	風+潮+漂 張力T _A (t)持上量S(m)	風+潮+漂+波 張力T _A (t)持上量S(m)			
運転時 H=146.5m	風圧力 1.436t 潮流力 398t 漂流力 115t 計 1.949t 波による変位量 0.08m	7.27	1.08 (7.1%水深)	304	325	612	308	329*	615	*BS=1400t BS/TA =4.2
暴風時 H=146.5m	風圧力 4.302t 潮流力 398t 漂流力 194t 計 4.894t 波による変位量 0.30m	7.27	1.74 (11.4%水深)	738	766	818	763	792*	829	*BS/TA =1.8
津波時 H=151.5m	風圧力 1.436t 潮流力 398t 漂流力 81t 計 1.915t 波による変位量 0.12m	7.37	1.10 (7.0%水深)	300	321	616	306	327*	619	*BS/TA =4.3

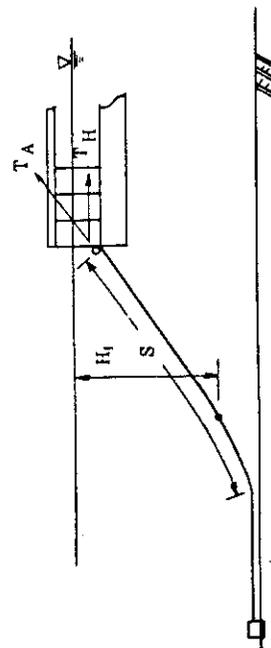


表 2.4-7 係留特性 (中間シンカー方式)

状態	外力	初期張力 $T_{A0}(t)$	風+潮+漂 変位量 (m)	最大張力発生索						備考
				風+潮+漂		風+潮+漂+波		張力 $T_A(t)$	張力 $T_A(t)$ 持上量 $S(m)$	
				風+張力 $T_H(t)$	張力 $T_A(t)$ 持上量 $S(m)$	風+張力 $T_H(t)$	張力 $T_A(t)$ 持上量 $S(m)$			
運転時 $H = 14.65 m$	風圧力	295	9.6 (6.3%水深)	410	500	415	505*		*BS = 1471 t BS / TA = 2.9 下シンカー着底	
	潮流力									
	漂流力									
	計									
暴風時 $H = 14.65 m$	風圧力	295	1.58 (10.4%水深)	725	819	750	844*		*BS / TA = 1.7 (if BS = 1592 t) (BS / TA = 1.9) 下シンカー持上り	
	潮流力									
	漂流力									
	計									
津波時 $H = 15.15 m$	風圧力	296	9.9 (6.3%水深)	390	475	396	481*		*BS / TA = 3.1 下シンカー着底	
	潮流力									
	漂流力									
	計									

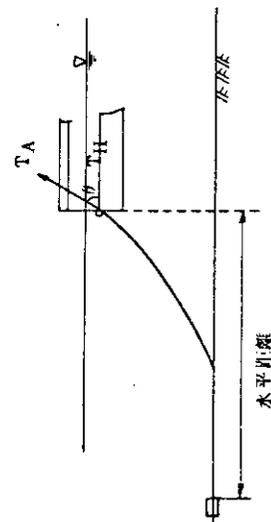


表 2.4-8 係留特性 (中間ブイ方式)

状態	外力	初期張力 $T_{A0}(t)$	風+潮+漂 変位量(m)	最大張力発生索				備考		
				風+潮+漂		風+潮+漂+波				
				水平張力 $T_H(t)$	張力TA(t) 持上量S(m)	水平張力 $T_H(t)$	張力TA(t) 持上量S(m)			
運轉時 H=146.5m	風圧力	267	8.0 (5.3%水深)	418	TA=427 TAC=484	754	420	TA=430* TAC=486	756	*BS/TA =3.0
	潮流力									
	漂流力									
	計									
波による変位量 0.08 m										
暴風時 H=146.5m	風圧力	267	16.1 (10.6%水深)	783	TA=791 TAC=849	945	803	TA=812* TAC=869	955	*BS/TA =1.7
	潮流力									
	漂流力									
	計									
波による変位量 0.30 m										
津波時 H=151.5m	風圧力	269	8.1 (5.2%水深)	416	TA=425 TAC=484	763	419	TA=428* TAC=487	765	*BS/TA =3.0
	潮流力									
	漂流力									
	計									
波による変位量 0.12 m										

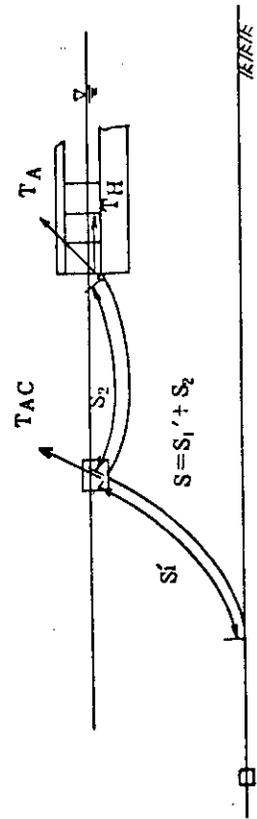


表2.4-9 各種係留方式の比較

係留方式 項目	チェーン方式	ワイヤ・チェーン 複合索方式	中間シンカー方式	中間ブイ方式
(1) 係留索要目	32本-203mmφ チェーン×770m* 32コ-190t シンカー	32本-203mmφ チェーン250m +ワイヤ650m* 32コ-190t シンカー	32本-203mmφ チェーン660m* 32コ-60t 中間シンカー 32コ-120t 中間シンカー 32コ-190t シンカー	32本-203mmφ チェーン1000m* 32コ-中間ブイ (浮防衝堤) 32コ-190t シンカー
(2) 暴風時 水平移動量 (対水深比)	8.4%	8.7%	8.9%	8.1%
(3) 暴風時 索張力の安全率 (破断強度/最大張力)	2.4	2.6	2.4	2.5
(4) 占有海域 代表長さ (フェアリーダー、シン カー水平距離)	539m	684m	417m	760m**
(5) 曳航・据付の 作業性	○	○	△	△
(6) 経済性	◎	○	△	△
(7) 総合比較	(1)	(2)	(3)	(4)
備考				中間ブイとして浮 防衝堤を利用する

註) *余長として200mを見込んでいる。

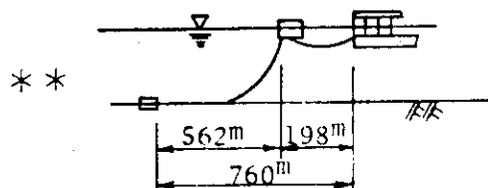


表 2.4-10 最適係留方式の主要目表*

方 式		チェーン方式
チェーン要目	本 数	3 2
	呼 び 径	203mm (8")
	索 長	770m (余長 200m 含む)
	重 量	0.92t/m (空中), 0.80t/m (水中)
	Grade/破断強度	Grade 3/2.287t
シンカー要目	個 数	3 2
	主 要 寸 法 L×B×D	7m×7m×4m
	重 量	390t (空中), 190t (水中)
ウインドラス要目	台 数 , 型 式	16-2 ウインドラス I モーター型
	容 量**	500/250t×5/10m/min (500kw)
	ストッパー容量***	2300t

- * 暴風時に相当する張力(961t)を確認するため、油圧による巻込装置を別途備える必要がある。(巻込量は約5mとなる。)
- ** モーター容量は1台でウインドラス2台分とし、初期張力(485t)調整用の容量をもたせた。
- *** ストッパー容量は暴風時の最大張力に対し安全率2.4とした。(チェーンの破断強度と一致させた。)

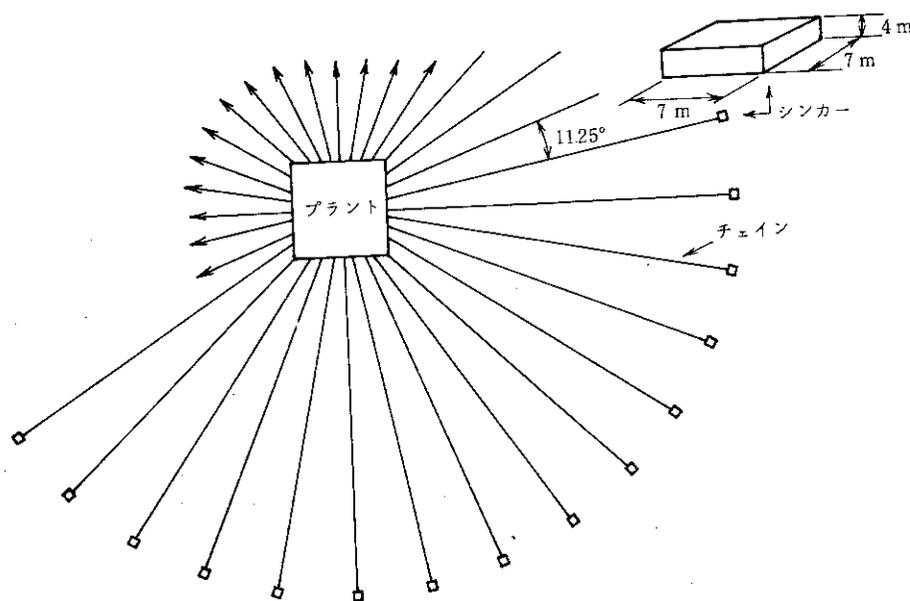


図 2.4-2 係留システム水平配置

3. 浮防衝堤に関する技術的検討

海上原子力プラントに防波堤・防衝堤が必要であるか否かについては意見が分かれるところであろう。

防波・防衝に関しては次のような対策のどれかがとれば良いと考えられる。

- ① 専用の堤を造る
- ② 本体（浮体構造物）の設計・建造の中で対処する
- ③ 上記①と②を並用する

米国OPS社の浮上原子力プラントでは、一般的な着底式の防波、防衝堤がめぐらされることになっているが、これは水深が20 m程度の水域を想定しているため、建設に大きな支障はない。一方、本検討のプラントは水深100～150 mの海域を設置点としているので、着底式の防波防衝堤を構築することは、技術的には可能であっても経済面から現実的とは考えられない。

本検討プラントと同様あるいは更に大きな水深の海域で 사용되는海上石油掘削リグでは防波・防衝のための堤はなく防衝は本体の設計で考慮することになっている。又、当然のことながら、原子力船においても防波・防衝堤はないが船の原子炉室側部がしかるべき耐衝突構造となっている。

そこで、海上沖合原子力プラントに防波・防衝堤をつくるべきか否かは、今後詳細な議論の後に決定されるべきであると考え、ここでは次のような条件を前提として防衝堤の試設計を行ってみることにした。

- (i) 前記2.3.5の結果のように、本検討プラント本体（プラットフォーム）の耐波浪性は良好であるので、防波のための堤は必要ないとする。
- (ii) 衝突防止のための堤は必要とする。但しこれは、数の多い小型船舶に対処するとどめ、大型船舶の衝突の確率は非常に小さいものと考え、防衝堤のための設計条件は2.2.6の値を用いる。

これらの条件を満足させれば良いと考えるなら、一般的な着底式の堤でなく浮上式にすることが可能となる。

以上の前提を基に浮上式の防衝堤について技術的検討評価を試みた。

3.1 浮防衝堤の型式選定、規模の検討

浮上式の防衝堤としては、図3.1-1に示すように逆T型、ポンツーン型が、又着底式との折衷型ともいふべきカーテン型等が考えられる。ここでは、水線面積が大きくとれるため同一重量のものとしては復元力が大きいポンツーン型を採用した。

浮防衝堤については、日本海洋開発産業協会が石油の海洋備蓄に関連して検討している。同会の研究報告書^{22, 23)}によれば、浮防衝堤の規模は対象とする衝突船舶、吸収エネルギー等と密接な関係があり、浮防衝堤の規模と衝突力及び水平変位との関係は次のようになっている。

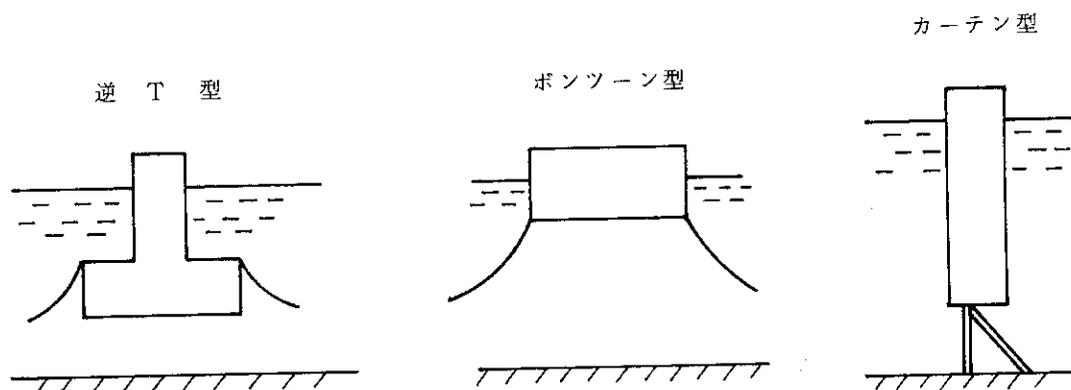


図 3.1-1 各種浮防衝堤の概念

浮防衝堤質量 (M_0) / 衝突船質量 (m_0) が $1/3$ 以上では衝突時に防衝堤に加わる力のピークは 1 回だけで、 M_0/m_0 が大きくなるに従って衝突力は大きく衝突継続時間は短くなる。 M_0/m_0 が $1/3$ 以下になると衝突力のピークは 2 回以上現われ、水平変位は大きくなるが復元は早くなる。2 回目以後のピークは浮防衝堤に作用する減衰力及び復元力によるものである。衝突力のピークは M_0/m_0 が小さくなるに従い浮防衝堤に作用する減衰力と復元力によるピークが大きく、いわゆる「柔らかく」なる現象を示すがこの比があまり小さくなりすぎると、浮防衝堤の水平変位や回転変位が増大し、又連結する個数の増大に伴う経済性の悪化等も生ずる。これらの結果から、前出の報告書²³⁾では M_0/m_0 を $1/3$ 程度と推奨している。

そこで本検討でもこれに準じることとした。

3.2 浮防衝堤の試設計及び解析

3,000トン(満載排水量 7,000トン)級タンカーに対して排水量が $1/3$ 程度の小判形ポンツーン式の浮防衝堤を試設計した結果を図 3.2-1 に示す。ここでは、近海におけるタンカー事故を念頭に置き、ポンツーン間の結合部にオイルフェンスを設けた。

試設計結果の静的安定性能を表 3.2-1 に示す。又、規則波中の動揺計算の結果、当然のことながら、プラント本体と比較して固有周波は 5~6 秒と小さく、動揺性能は劣る。これを改善するには規模の増大が考えられるが、これも衝突に対して必ずしも有利ではなく、今後は構造面での配慮などで改善を図ることになる。

又、この消波効果については、前出の報告書²³⁾により検討した結果、波周期 6 秒以上のものについては消波効果がほとんど期待できないことが分った。

船舶衝突時の挙動を解析した結果の概略は次のとおりである。

衝突のエネルギー	: $E_0 \approx 2 \times 10^3 \text{ t} \cdot \text{m}$ (満載排水量 3,000 トンの船が 4 ノットで衝突)
最大衝突力	: $F \approx 900 \text{ t} \cdot \text{m}$
最大水平移動量	: $\chi \approx 5.9 \text{ m}$
連結部伝達力	: $F_c \approx 140 \text{ t}$
ロール角度	: $\theta \approx 36 \text{ 度}$

3.3 浮防衝堤係留装置の技術的検討

2.4で設計した係留チェーンは、空気中での重量が0.133 t/m（水中で0.116 t/m）、Grade 2の品質のものは耐力222トン、破断荷重330トンであり、Grade 3のものはそれぞれ307トン及び438トンである。

この係留系の、暴風時（非常時）における係留特性を解析した結果を表3.3-1に示す。一方、船舶衝突時に係留索に加わる張力の増加分は10t程度である。

これらの結果から、浮防衝堤の係留索としてはGrade 2のもので設計条件を満足し得ることが分った。

3.4 結果の評価、今後の課題

以上の検討の結果、海上原子力プラント本体を防護する堤としては

- ・周期の大きな波に対する防波効果は期待できない
- ・数の多い小型船舶に対する防衝効果は十分期待できる

ことが分った。

しかしながら、本防衝堤についてはかなりの建造費となることが予想されるのにもかかわらず全船舶の衝突を防ぎきることはできない。従って、このような規模の浮防衝堤が必要であるか否かについては今後詳細な検討が必要である。

今後は、船舶衝突の確率評価を十分に行い、その結果を基に、海上原子力プラント全体の防衝機能はどうあるべきかを定め、防衝堤は必要か否か、必要とするならその防衝能力はどの程度とすべきかを定めるべきであろう。その際には、一般の海洋構造物、さらには原子力船の設計基準・安全基準等との整合性も考慮する必要がある。

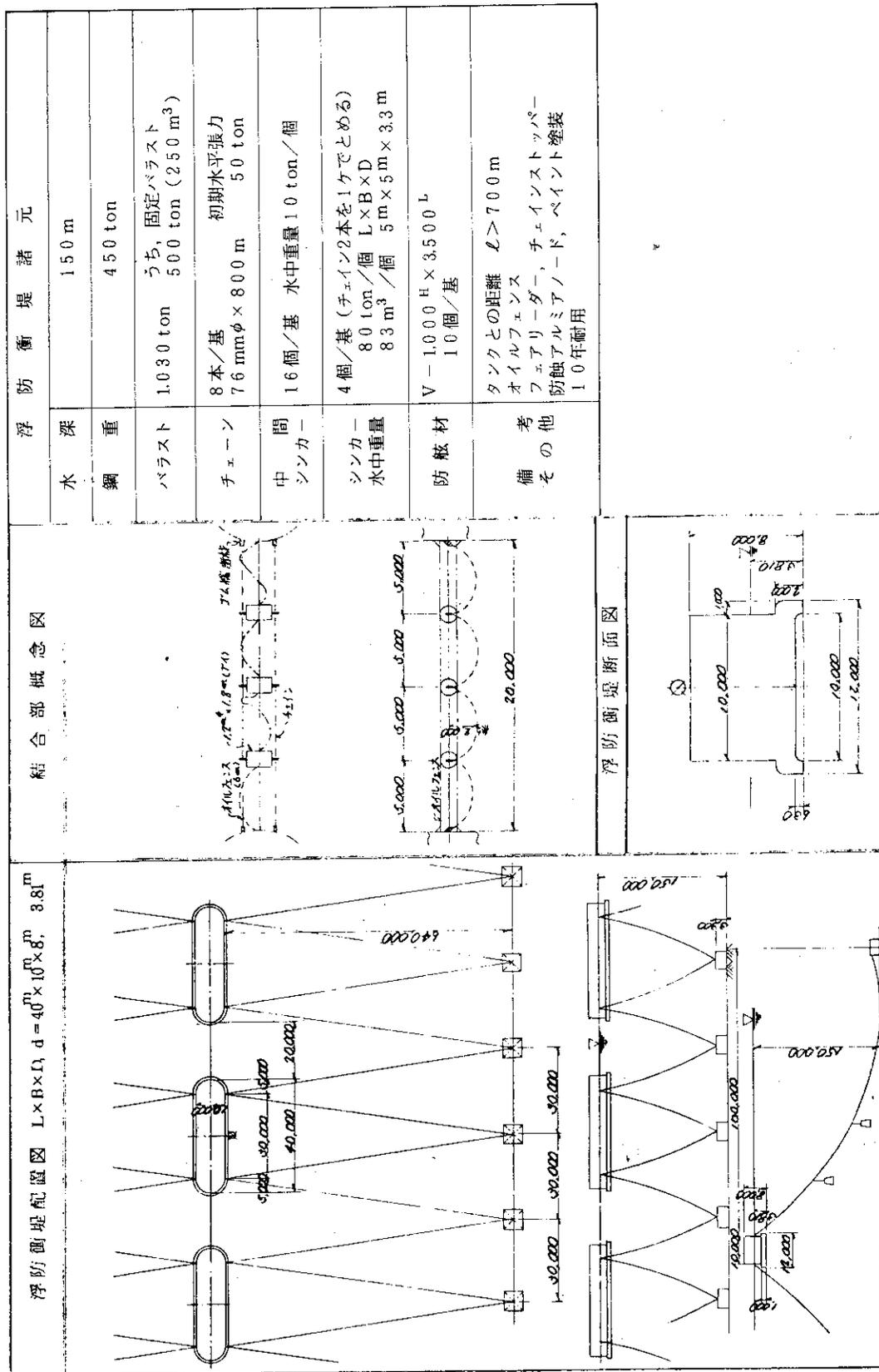


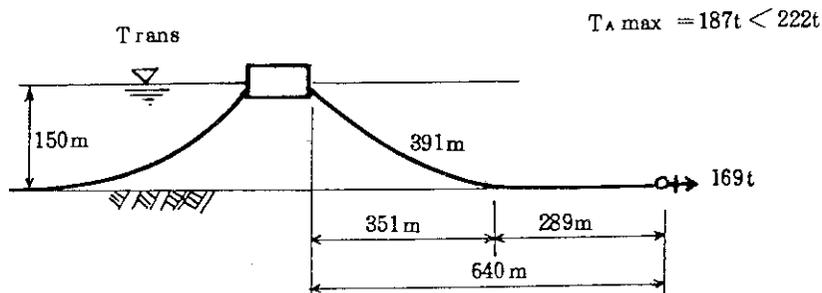
図 3.2-1 浮防衝堤配置図

表 3.2 - 1 浮防衝堤の静的安定性能

項 目			
概 念 図 (平 面 図)			
対衝突船舶 排水量比 (Mo/mo)		1/5	
L × B × D, d (m)		40.0 × 10.0 × 8.0, 3.81	
排 水 量 W (t)		1,480	
水 線 面 積 Aw (m ²)		378.5	
毎センチ排水量 TPC (t/cm)		3.88	
浮 心 高 さ KB (m)		1.91	
重 心 高 さ KG (m)		2.67	
浮心・重心高さ BG (m)		0.765	
		LONG (縦方向)	TRANS (横方向)
浮心・メタセンター高さ (m) BM = I · I' / W		31.31	2.07
メタセンター高さ KM (m)		33.22	3.98
重心・メタセンター 高さ GM (m)		30.55	1.31
自由水重心調整 GGo (m)		0.1	0.175
重心・メタセンター 高さ KaM (kn)		30.45	1.135
毎センチトリム MTC (t/cm)		11.27	1.68
国 有 周 期 (s)	ロ ー ル Tr	-	6.4
	ピ ッ チ Tp	5.7	-
	ヒ ー ブ Th	-	5.6
水線便 2次モーメント I (m ⁴)		45,690	2,990
慣性モーメント J (t · m ²)		379,000	23,700
慣 動 半 径 K (m)		16.0	4.0

表 3.3 - 1 係留特性 (暴風時)

状 態	外 力	初期水平 強 力	風+潮+ 漂 変 位 量	風+潮+漂 /アンカーライン張力		水平力	風+波+ 潮+波 張 力	ライン持上り長さ	
				上流(F ₁)	下流(F ₂)			風+潮+漂	+ 波
暴 風 時 H= 150.9 m	Trans	50 t	13.0 m +波 (11.9%水深)	109 t	29 t	301 t	T _w =169t T _A =187t	554 m	680 m
	風 84.8 t 潮 18.9 t 漂 184.4 t 計 288.1 t 変位 4.5m								
H= 150.9 m	Long	50 t	25.0 m +波 (19.5%水深)	84 t	32 t	71 t	T _w = 94t T _A =111t	492 m	516 m
	風 21.2 t 潮 4.7 t 漂 46.0 t 計 71.9 t 変位 4.5m								



4. 海上多目的炉プラントで生産される各種2次エネルギー源の陸上への輸送方式に関する技術的検討

多目的高温ガス炉プラントの利用系態は、文字通り多様なものが考えられるが、原子力製鉄のような各種産業への核熱の直接供給と気体・液体燃料を含む2次エネルギー源の生産とに大別されよう。これらのうち、2次エネルギー源を陸上に送るには、パイプラインや送電線を用いるのが適当であることは論を待たない。そこで、海上多目的高温ガス炉プラントで生産が考えられている各種2次エネルギー源をパイプライン又はケーブルで陸上に輸送することの技術的可能性についても調査、検討を行った。

4.1 2次エネルギー源と各種輸送方式の比較検討

多目的高温ガス炉プラントにおける生産が考えられている2次エネルギー源は、現在次の四つである。

- ① 石炭のガス化による気体燃料
- ② 石炭の液化による液体燃料
- ③ 水の分解による水素
- ④ ガスタービン発電による電力

これら2次エネルギーを輸送するために考えられる各種の方式について定性的な比較検討を行った。結果を表4.1-1に示す。検討の結果、次の四つを代表的な方式としてとりあげ、検討を行うことにした。

- ① 海底パイプライン方式による常温、高圧石炭ガス化燃料の輸送
- ② 海底パイプライン方式による石炭液化燃料の輸送
- ③ 海底パイプライン方式による水素の輸送
- ④ 海底ケーブル方式による電力の輸送

4.2 設計条件の設定

パイプライン又はケーブルを試設計するための設計条件は以下のように定めた。

4.2.1 海上原子力プラントの規模

海上多目的高温ガス炉プラントの形態及び規模については、まだ確定される段階に達していないため、2章と同様、現存の最大出力規模の軽水炉と同程度と考え、熱出力3000 MWの多目的高温ガス炉プラントを設定した。又プラントとしては複合プラントも考えられるが、ここでは単一プラントについてのみ検討した。

4.2.2 石炭のガス化による気体燃料の生産量

石炭のガス化については、世界各国で各種の方式が考えられているが、核熱利用を考慮した代表的なものとしては水蒸気ガス化法及び水添ガス化法^{24, 25)}が挙げられよう。実用化に際してどの方式が採択されるか現在は不明であるため、とりあえず上記2方式を基に生産量を速定した。

生産量の算出には、西独の Bergbau Forschung 社で検討された値²⁴⁾を採用した。設定の結果を表 4.2-1 に示す。

4.2.3 石炭の液化による液体燃料の生産量

石炭の液化については、直接水添法、溶剤抽出水添法、乾留液化法、合成液化法等各種の方式が考えられているが、かなりの量の水素が必要とされ、核熱利用の方式については本格的な開発は開始されていない。そこで、C. R. Richard らが高温ガス炉を利用した液化プロセスについて試算した結果²⁶⁾を基に求めた。結果を表 4.2-2 に示す。

4.2.4 水の熱化学分解による水素の生産量

水の分解によって得られる水素は、燃焼後ふたたび水に戻るため枯渇の恐れがないこと、SO_xやCOが発生しないため環境汚染の面でもすぐれていることなどから、化石資源枯渇後の燃料用2次エネルギー源として最も期待されているものである。

現在、高温ガス炉を利用する方式として最も期待されているものに水の熱化学分解法がある。^{27, 28)}これは、適当な媒体を用いて1000°程度の温度で化学的反応をさせて水から水素を得ようとする方法である。

この方法は、未だ基礎的研究の段階にあって効率を求められる状況でないため、この方法の開発の目標値である50%を効率として設定した。

求めた結果を表 4.2-3 に示す。

表 4.2-3 水の熱化学分解法による水素製造量

水素生産量	$1.1 \times 10^7 \text{ Nm}^3/\text{day}$
酸素発生量	$5.0 \times 10^6 \text{ Nm}^3/\text{day}$
工業用水必要量	$8.3 \times 10^3 \text{ m}^3/\text{day}$

注： 原子炉熱出力 3,000 MW

4.2.5 電力の生産量

多目的高温ガス炉は、一次冷却材の原子炉出口温度が1,000℃もの高温となるため、エネルギーを効率良く利用するには熱のカスケード利用が妥当と考えられている。これは、高温のみを要する利用系に中間温度を要する利用系、低温でも可能な利用系を連ねて熱を無駄無く利用すると共に、廃熱公害を軽減しようというものである。このような利用の場合、中間温度領域の利用系

として蒸気タービン発電も有力な候補と考えられる。ちなみに、低温度領域の利用系としては海水脱塩が有力な候補である。このようにして得られた電力は、海上プラントの需要に応ずることになるが、かなりの余剰電力が生ずると予想されるので、これは陸地に供給するのが適当である。

さらに、ヘリウムガスタービンが開発された場合には発電効率が格段に向上して軽水冷却発電炉とも経済的に競合し得ることが予想されている。

これらの理由から、電力の陸上への輸送についても検討を試みた。

送電規模の設定には、とりあえず前記2で検討した海上原子力発電プラントの値を用いることにした。

4.3 海底パイプライン方式による石炭ガス化・液化燃料輸送法の検討

石炭のガス化・液化燃料の輸送については、本質的に天然ガスや石油と同様の取扱いがなし得る、と考えて良い。

天然ガスや石油のパイプライン輸送、特に石油については、陸上はもとより海底においてもかなりの実績がある。ここでは、これらを参考とし、ガス輸送を主体にして技術的検討を行った。ガスの種類としては、合成天然ガス (Synthetic Natural Gas : SNG) として考えられているメタンを取り上げることにし、前記4.2.2でのべた中から水添ガス化法により生産されるガスを代表とした。

4.3.1 パイプライン諸元

(1) ガス輸送用パイプライン

海上プラントにおける生産量から定まる輸送量を基に天然ガス輸送用パイプラインでの輸送速度を参考にしてガス輸送速度を定めてパイプ径を求め諸元を算出した。

i) 海底パイプライン

海底パイプラインは鋼管製とし施行面、維持保安面から単管とした。この場合、周囲温度の変化による膨張、収縮を吸収するため適当な間隔で伸縮ジョイントを設置する必要がある。長い距離を輸送するパイプラインでは、圧力損失により輸送ガス圧が低下するのに備えて、中継点等にポンプステーションが設けられる。検討の結果、20 km程度の長さでは、出口側のガス速度が8%程度低下するにすぎなかったことから、ここではポンプステーションは不要と考えられる。

ii) フレキシブルパイプ

海底管が固定されているのに対し、海上プラントは浮遊した状態にあるため、この間を結ぶパイプには、両者の相対的な移動量を吸収し得る可撓性が要求される。

可撓性を持ち高圧に耐え海中で使用し得るパイプとしては、現在石油をタンカから積み下す際、一点係留ブイで用いられているフレキシブルパイプが適当と考えられる。これは、天然ゴム又は合成ゴムを表面ライニングとし、スチールワイヤ及び織布を補強材としており、上記要求を満足し得るものである。

但し、同パイプは製造上の制約から大口径のものの製造は難しいため、複数本の配管が必要

となる。

iii) ガス輸送管の諸元

上記条件を基に求めたパイプラインの諸元を表 4.3 - 1 に示す。又、参考資料としてわが国の主要な天然ガスパイプラインを表 4.3 - 2 に示す。

(2) 液体燃料輸送用パイプライン

石炭の液化による液体燃料の輸送は、パイプライン技術からみても石油輸送の技術がそのまま適用し得る。

4.2.3 で試算した生産量を基に求めたパイプラインの主要諸元は次のとおりである。

輸送量	.....	2.4×10^4 kl/day
輸送ポンプ容量	.....	1,000 kl/h 1台
海底パイプ	.....	300 mm (12 in) 径 1本
フレキシブルホース	.....	300 mm 径 1本

この程度の輸送量は、今日の石油輸送の主流となっている 30 万 DWT タンカーの荷揚げ量に相当するもので、海底配管、フレキシブルホース共に実績が多い。

4.3.2 海底パイプラインの敷設法、埋設法の調査検討

海底にパイプラインを敷設する技術としては、陸上から長管を繰り出して海底を曳いていく海底曳航法、海底でなく予定線の海上に曳き出した後沈設する浮遊曳航法、海底パイプライン敷設船 (lay barge) を用いてパイプの許容応力以内にパイプの敷設曲線を調整しながら順次沈設してゆく敷設船法、などがある。これらのうち、前 2 者は比較的短い距離でごく小規模なものに適用される技術のため、本検討の立地条件では敷設船法が適当であろう。

現在までに敷設されている世界の主な海底パイプラインの実績を表 4.3 - 3, 4.3 - 4 に示す。表から、水深 150 m、長さ 20 km 程度の海底に口径 1 m 弱のパイプを敷設することは現在の技術で可能な範囲と考えられる。この方法による敷設作業の概要を図 4.3 - 1, 図 4.3 - 2 及び図 4.3 - 3 に示す。

海底パイプラインは、船の投錨等の外力に備え海底に埋設するのが望ましい。埋設工法としては、パイプの敷設前に埋設溝を掘る先行掘削法と、パイプを敷設したのち所定の深さまで沈める「水中掘削法」とがあるが、これらには潜水作業が伴うため浅海域に限られており、実績は水深 40 m 程度までである。しかしながら、船舶の投錨が多いのは浅海域であるから、通常の潜水作業の限界とされている水深 60 m 以内の部分は埋設とし、それ以上の水深の箇所は単なる敷設でも特に支障はないと判断した。

4.3.3 海上プラントと海底パイプラインとの接続法の検討

海底に静止しているパイプと海上で動揺しているプラントを結ぶ管には、両者の相対的な変位量を吸収する機構が必要である。

このような接続について考えられる方法、並びにそれらの主な特徴、利点、欠点を表 4.3 - 5 ~ 4.3 - 8 に示す。これらのうち、現在、技術的に最も可能性が高いものは固定やぐらを立て海上プラントとの間のみをフレキシブルホースで結ぶ方法と考えられる。但し、今後 150 m 程度の

水深でもホースの取換え等の保守作業が容易になるなら、海中をパイプで結び他の強度部材で補強する方法が有力になると考えられる。さらに鋼管と鋼材のみで接続部の可撓性を持たす方式が開発されたなら、これも有力な候補になる。

4.4 海底パイプライン方式による水素輸送法の検討

水の分解により得られた水素をパイプライン輸送する場合も、石炭ガス化による気体燃料輸送と同様、気体で送る方法と液化して送る方法とが考えられる。

4.4.1 気体水素の輸送

水素の生産量は、4.2.4で述べた様に $1.1 \times 10^7 \text{ Nm}^3/\text{日}$ と推定される。これは石炭ガス化による気体燃料とほぼ同量であり、規模の面からは技術的に石炭ガス化燃料と同様の扱いができる。常温高圧の水素による管材の脆化は、本検討の範囲では大きな問題とはならない、と考えられるが、実施の際には確認しておくべき課題であろう。

なお、水素と共に生産される酸素については、常温で輸送しようとする限りあまり問題とならないが水分除去については十分な配慮が必要である。

4.4.2 液化水素の輸送法の検討

水素を液化して輸送すると、気体の場合に比較して、体積が小さくなるためパイプの口径もポンプ動力も小さくできる、パイプライン輸送後の貯蔵、運搬にも有利であり、今後の有力な電力輸送方法と考えられている超電導送電も並用し得る、等の利点が考えられる。

しかしながら、液体水素のパイプライン輸送については、米国のNASAで宇宙開発用として、陸上数千フィートの距離を持つ内径2～20インチのものが実用化されている²⁹⁾にすぎず、又同様なものとして液化天然ガスの海底パイプライン輸送が一部で研究されている³⁰⁾にすぎない状況のため、今後の開発が期待される。

液体水素輸送システムについての概略検討を行った結果、主要な開発課題として次のものが抽出された。

- ① 海上プラントとの接続法については気体輸送で採用したゴム系等のフレキシブル・ホースは使用できないため、金属製で断熱性能の良いフレキシブル・ホースの開発が必要
- ② 極低温においても十分な機械的性質が確保され、かつ長期間劣化しない材料及び構造の開発が必要
- ③ 長期間良好な断熱性が確保される断熱材及び断熱構造の開発が必要

4.5 海底電線による送電法の検討

海上発電プラントの構想は現在の火力発電についても考えられており、これと関連して陸上への電力輸送方式も検討されている。又、電力輸送用海底ケーブルについては、実用化され、すでにかかなりの実績がある。ここでは、これらの調査を主体とし、本構想における電力輸送の技術的

可能性について検討する。

4.5.1 海底ケーブルの諸元

(1) 送電容量

送電量は4.2で設定した約120万kWとすると、電力輸送一般に広く採用されている3相交流で、電圧は送電ロスを少なくするため現在実用化されている最高の500kVで送電するのが妥当である。

(2) ケーブルサイズ

現在実績のあるケーブルを使用すると最大のもので、500kV×800mm²程度のケーブルとなるがこの場合は2回線が必要となる。大口径ケーブルについては現在各メーカーで開発が進められており、近い将来実用化が期待されているので、これを考慮すると次のようになる。

電 圧： 500 kV

口 径： 2,000 mm²

構 造： 鉄線がい装、ポリエチレン防食鉛被OF (Oil-Filled) ケーブル

電線数： 単心×3本 (3相のため)

このケーブルの構造断面を図4.5-1に、又各構成部の断面寸法を表4.5-1に示す。

4.5.2 海底ケーブルの敷設法、埋設法

海底ケーブルの敷設法としては、船上ブレイキ布設方式、船上サポート型BPF布設方式、布設同時埋設方式等各種の方式が開発されている。

海底電力ケーブルの敷設実績を表4.5-2に示す。海底電線の敷設技術はケーブル布設船の布設機の能力により決定され、布設機の能力はケーブルの水中重量と水深によって能力が定まる。本検討の電力ケーブル重量と水深の積はかなり大きなものとなるが、現在の技術から見て対処し得るものと考えられる。

埋設の技術については、ウォータージェット式、鋤式、トレンチャー式等の埋設機が実用化されているが、海底パイプラインと同様に水深は大きくとれず最高のものでも100m以下である。従って、当面はケーブルの場合も水深60mが埋設の限界と考えておくべきであろう。

4.5.3 海底ケーブルと海上プラントとの接続法の検討

海上浮遊発電所と陸地までの輸送ケーブルとの接続法については各種の案が考えられている。これらを表4.5-3に示す。ただし、これらの大部分については実績がない。本検討の設定条件は、水深、距離のどちらについても最もきびしい範囲にあるので、表中の案をそのまま適用し難い。

現状では、パイプラインの接続法と同様、海底からやぐらを立てる方式が技術的に最も可能性の高いものと考えられる。接続部のケーブルは、海上プラントの動揺に伴ってくり返し応力を受け、寿命が短くなるため、交換作業が必要となり、このためやぐらに接続箱を設けることになる。

今後、大水深でのケーブル取換え技術が開発されるなら、海底近傍に接続箱を設ける方式が経済的にも有望となろう。

4.6 結果の評価, 今後の課題

海上多目的高温ガス炉プラントで生産され陸上に輸送することが考えられる, 各種の2次エネルギー源をパイプライン又はケーブルにより輸送する方式について検討した結果, 並びに今後の課題をまとめると次のようになる。

4.6.1 検討結果の評価

技術的可能性についての結論は次のとおりである。

(1) 石炭のガス化による気体燃料の輸送

常温・気体での輸送については可能と考えられる。

- ① 設計条件の輸送量については天然ガスの輸送技術がほぼ適用できる。
- ② 海上プラントの立地条件, 水深 100 ~ 150 m, 陸地からの距離 20 km での敷設については, 実績は極めて少ないが, 現在の技術で可能な範囲と考えられる。
- ③ 海上プラント設置点の水深 150 m は, プラントと海底パイプの接続についても, 現在の技術で設置が可能な範囲といえる。

(2) 石炭の液化による液体燃料の輸送

技術的に可能と考えられる。

- ① 設計条件の輸送量については石油の輸送技術がほぼ適用できる。
- ②, ③ 他の面では石炭ガス化燃料と同様である。

(3) 水分解による水素 (及び酸素) の輸送

常温・気体での輸送は石炭ガス化燃料とほぼ同様に可能と考えられる。但し, 水素については管の脆化, 酸素については気体中の湿分管理についての技術的検討が必要である。

(4) その他の輸送方法

高温気体, 液化気体での輸送については開発課題が多く, 現状では実用的とは考えられない。この方式には海上プラントとの接続法と断熱性が良好で信頼性及び耐久性の高いパイプラインの開発が不可欠である。

(5) 電力輸送

電力輸送についても技術的に可能と考えられる。

- ① 設計条件の送電量については1回線で送れるだけのものは未だ開発されていないが, 各メーカーが開発を進めており, 近い将来実用化が予想される。
- ② 設計条件の水深への敷設については現在の技術で対処し得る。
- ③ 海上プラントとの接続については, パイプラインと同様の方式をとることにより技術的には一応可能と考えられる。

以上の結論を基に現在の技術で可能な輸送方式の概略を図 4.6 - 1 に示す。

4.6.2 今後の課題

本検討の結果, 図 6.6 - 1 に示した方法を用いることにより技術的可能性については見通しが得られたが, この方式を用いるとしても次のような点は今後の主要な課題になると考えられる。

(1) 海上プラントと海底静止部との接続方法

本検討では、やぐら方式を採用することにより技術的に可能との結論を得たが、海底から 150 m 以上ものやぐらを建設するには多額の費用がかかると予想されるので、より経済的な方法の開発が望まれる。このためには、大水深での接続・交換方法、金属製で可撓性のあるフレキシブルホースの開発等が必要である。

(2) 敷設・埋設法

本検討では水深 60 m 以上は埋設しないもの、としたが海底部全体を埋設するのが良いことはない。大水深における埋設技術の開発が望まれる。

(3) 海底管の耐久性

パイプライン、ケーブル共海中での耐久性については、かなりの実績があるが、海水による腐食等の更に詳細な検討及び対策が望まれる。

(4) 保安技術

現在の陸上ガス輸送パイプラインでは昇圧のためのステーションで圧力検出器又はガス検知器等によりガスの漏洩を発見するシステム、あるいは地震計と連動させた緊急遮断弁等により事故を防止する対策をとっている。海底パイプラインにおいても、より安全な運転のため、次のような事故予防法及び処置法が開発が望まれる。

- ① 海底パイプラインの水中監視装置の開発
- ② フレキシブルパイプのような可動部の監視システムの開発
- ③ 海底パイプラインの破損に対する保修法の開発

表 4.1-1 海上原子カプラントで生産される2次エネルギー源とその輸送方式の長所短所(その1)

2次エネルギー	輸送方式	長	所	短所及び問題点	輸送方式に関する現在の技術水準・将来性	検討方針*
高温・高圧 石炭ガス化燃料	(a) 海底パイプライン	(1) 連続輸送が可能		(1) パイプラインと海上原子カプラントの接続点に特別の考慮が必要。 (2) パイプラインの保温が困難であり熱損失も多い。 (3) 配管のフレキシビリティ(接続部、施工時)が必要。 (4) 耐熱腐食の点より管の選定が非常にむづかしい。 (5) 原料(石炭)供給設備(着岸、貯蔵、灰処理)が必要。	(1) 現在のガスバイプライン技術がある程度活用可能	B3
常温・高圧 石炭ガス化燃料	(a) 海底パイプライン	(1) 連続輸送が可能 (2) パイプライン技術はある程度実績がある。		(1) パイプラインと海上原子カプラントの接続点に特別の考慮が必要。 (2) 配管のフレキシビリティ(接続部、施工時)が必要。 (3) 原料(石炭)供給設備(着岸、貯蔵、灰処理)が必要。	(1) 現在のガスバイプライン技術がある程度活用可能	A
	(b) 船	(1) 設備がパイプラインより簡単になる。 (2) 高圧ガスタンカーの技術は確立している。 (3) 消費地が多岐に分散している場合は、小型船舶による輸送配給システムが有利。		(1) 製品輸送のための船舶の着積設備が必要。 (2) バッチ輸送のため製品の一時貯蔵設備が必要。 (3) 原料(石炭)供給設備(着岸、貯蔵、灰処理)が必要。	(1) 現在の高圧ガスタンカー技術で実現可能	B1
石炭ガス化燃料の 低温液化(CH ₄)	(a) 海底パイプライン	(1) 連続輸送が可能		(1) パイプラインと海上原子カプラントの接続点に特別の考慮が必要。 (2) メタンガスの液化設備が必要。 (3) パイプラインの保温が困難。 (4) 配管のフレキシビリティ(接続部、施工時)が必要。 (5) 低温化の点より材料選定に注意を要する。	(1) 現在開発中の技術で実験段階にある。 (2) より厳しい条件の液化水素のバイプライン輸送に対する検討結果は流用出来る。	B2
	(b) 船	(1) 設備がパイプラインより簡単になる。 (2) LNGタンカーの技術は確立している。 (3) 消費地が多岐に分散している場合は、小型船舶による輸送配給システムが有利。		(1) 製品輸送のための船舶の着積設備が必要。 (2) バッチ輸送のため製品の一時貯蔵設備が必要。 (3) 原料(石炭)供給設備(着岸、貯蔵、灰処理)が必要。	(1) 現在のLNGタンカー技術で実現可能	B1

備考：*検討方針の分類には次の記号をもちいて表わした。A：詳細検討を行なう。B：次の理由で検討を行わない。B1：開発済みの技術である。B2：本検討で同様の検討を行なう。B3：技術的に困難である。B4：経済的に困難である。

表 4.1-1 海上原子力プラントで生産される2次エネルギー源とその輸送方式の長所、短所 (その2)

2次エネルギー	輸送方式	長	所	短所及び問題点	輸送方式に関する現在の技術水準・将来性	検討方針
石炭液化燃料 (常温常圧液体)	(a) 海底パイプライン	(1) 連続輸送が可能 (2) 原油のパイプライン技術と同等の技術で可能		(1) パイプラインと海上原子力プラントの接続点に特別の考慮が必要。 (2) 配管のフレキシビリティ (接続部、施工時) が必要。 (3) 原料 (石炭) 供給設備 (着筏、貯蔵、処理) が必要。	(1) 現状の石油パイプライン技術で可能	B1
	(b) 船	(1) 設備がパイプラインより簡単になる。 (2) オイルタンカーと同等のものが利用出来る。 (3) 消費地が多岐に分散している場合は、小型船舶による輸送・配給システムが有利。		(1) 製品輸送のための船舶の着筏設備が必要。 (1点係留ブイも可能) (2) パッチ輸送のため製品の一時貯蔵設備が必要。 (3) 原料 (石炭) 供給設備 (着筏、貯蔵、処理) が必要。	(1) 現状のオイルタンカー技術で可能。	B1
高圧・高温 水素ガス	(a) 海底パイプライン	(1) 連続輸送が可能。 (2) 原料の水を海水より製造出来る。		(1) パイプラインと海上原子力プラントの接続点に特別の考慮が必要。 (2) パイプラインの収温が困難であり熱損失も多い。 (3) 配管のフレキシビリティ (接続部、施工時) が必要。 (4) 耐熱腐食の点より管の選定が非常にむづかしい。 (5) 原料製造の海水淡水化装置が必要。	(1) 現在のガスパイプライン技術のある程度流用可能。	B3
	(a) 海底パイプライン	(1) 連続輸送が可能 (2) 原料の水を海水より製造出来る。 (3) 常温で圧力が40 kg/cm ² 以下の水素であれば腐食はあまり問題とならない。		(1) パイプラインと海上原子力プラントの接続点に特別の考慮が必要。 (2) 配管のフレキシビリティ (接続部、施工時) が必要。 (3) 原料製造の海水淡水化装置が必要。	(1) 現在のガスパイプライン技術のある程度流用可能。	B2
常温・高圧 水素ガス	(b) 船	(1) 設備がパイプラインより簡単になる。 (2) 高圧ガスタンカーの技術は確立している。 (3) 消費地が多岐に分散している場合は、小型船舶による輸送・配給システムが有利。 (4) 原料の水を海水より製造出来る。		(1) 製品輸送のための船舶の着筏設備が必要。 (2) パッチ輸送のため製品の一時貯蔵設備が必要。 (3) 原料製造の海水淡水化装置が必要。	(1) 現在の高圧ガスタンカーの技術で実現可能。	B1

備考：*検討方針の分類には次の記号をもちいて表わした。A：詳細検討を行なう。B：次の理由で検討を行わない。B1：開発済みの技術である。B2：本検討で同様の検討を行なう。B3：技術的に困難である。B4：経済的に困難である。

表 4.1-1-1 海上原子力プラントで生産される2次エネルギー源とその輸送方式の長所、短所 (その3)

2次エネルギー	輸送方式	長	所	短 所 及 び 問 題 点	輸送方式に関する現在の技術水準・将来性	検討方針
低 温 液 体 水 素	(a) 海底パイプライン	(1) 連続輸送が可能。 (2) 「超電導電力輸送」との組合せも考えられる。 (3) 原料の水を海水より製造出来る。		(1) パイプラインと海上原子プラントの接続点に特別の考慮が必要。 (2) 水素ガスの液化設備が必要。 (3) パイプラインの保命が困難。 (4) 配管のフレキシビリティ(接続部, 本体(施工時))が必要。 (5) 低温脆化の点より材料選定に注意を要する。 (6) 原料製造の海水後水処理設備が必要。	(1) 現在開発中の技術であり, 現段階では実現の可否は不明。 (2) 将来の夢として「超電導電力輸送」との組合せも考えられる。	A
	(b) 船	(1) 設備がパイプラインより簡単になる。 (2) 消費地が多岐に分散している場合は, 小型船舶による輸送, 配給システムが有利。 (3) 原料の水を海水より製造出来る。		(1) 製品輸送のための船舶の着積設備が必要。 (2) バッチ輸送のため製品の一時貯蔵設備が必要。 (3) 水素ガスの液化設備が必要。 (4) 液体水素用タンカーの技術は未確立。 (5) 原料製造の海水後水処理設備が必要。	(1) 現在開発中の技術であり, 現段階では実現の可否は不明。	B3
電 力	(a) 海底ケーブル	(1) 連続送電 (2) 海底ケーブル技術はある程度確立されている。 (3) エネルギー媒体用の原料供給は不要。 (4) LWR VHTR いずれでも製造可能。 (5) 従来から民間で広く使われているエネルギーであり, 利用者は広範囲にわたって確立されている。		(1) ケーブルと海上プラントとの接続点に特別の考慮が必要。	(1) 現在の海底ケーブル技術を流用可能。	A
	(b) 空中ケーブル	(1) 連続送電 (2) 空中ケーブル技術は確立されている。 (3) エネルギー媒体用の原料供給は不要。 (4) LWR VHTR いずれも製造可能。 (5) 従来から民間で広く使われているエネルギーであり, 利用者は広範囲にわたって確立されている。		(1) 多数の鉄塔の設置は経済的に困難。 (2) 海上交通に対して支障がある。	(1) 現在の空中ケーブル技術を流用可能。	B4

備考: * 検討方針の分類には次の記号をもちいて表わした。A: 詳細検討を行なう。B: 次の理由で検討を行わない。B1: 開発済みの技術である。B2: 本検討で同様の検討を行なう。B3: 技術的に困難である。B4: 経済的に困難である。

表 4.2-1 石炭ガス化による気体燃料生産量*

方式	水蒸気ガス化法	水添ガス化法
生産量 (Nm ³ /day)	1.8×10^7	9.3×10^6
燃料成分 { 物質 率 (%)	H ₂ :CO:CH ₄ 70:24:6	CH ₄ 100
原料炭供給量 (t/day)	9.9×10^3 (但石炭)	5.6×10^4 (但褐炭)
チャー**生成量 (t/day)	—	6.7×10^3
生成油, タール量 (t/day)	1.7×10^3	6.7×10^3
余剰電力生産量 (MW)	637	117

注) *: 熱出力 3,000 MW の高温ガス炉核熱利用

** : チャー (char) とは固型分の燃料でコークスと同様のもの。

表 4.2-2 石炭液化による液体燃料試算例*

液体燃料生成量	$\approx 2.4 \times 10^4$ kl/day
液化に必要な熱量	6.5×10^5 kcal/kl
液化に要する水素量	760 Nm ³ /kl

* : 熱出力 3,000 MW の高温ガス炉の核熱利用

表 4.3-1 パイプラインの諸元

項 目		フレキシブルパイプ	海底パイプライン
諸 元	選 定 品 名	高圧ゴムホース	STPY-26 相当品
	耐 圧	70 Kg/cm ²	約 50 Kg/cm ²
	外 径	354 mm	約 698 mm
	内 径	298 mm	約 638 mm
	所 要 数	5 系統	1 本
ガ ス 輸 送 特 性	ガ ス 温 度	40 ℃	上流入口 40 ℃ 下流出口 15 ℃
	ガ ス 輸 送 速 度	8.86 m/sec	上流入口 9.67 m/sec 下流出口 8.89 m/sec
	ガ ス 圧 力	40 Kg/cm ² a	上流入口 40 Kg/cm ² a 下流出口 40 Kg/cm ² a
	ガ ス 体 積 流	3.09 m ³ /sec	上流入口 3.09 m ³ /sec 下流出口 2.84 m ³ /sec

注：ガス輸送量： 9.3×10^6 Nm³/day，ガス成分：CH₄

表 4.3-2 わが国主要天然ガス輸送パイプライン一覧表

区 間	距離 km	初圧 kg/cm ²	流量 10m ³ /D	外径 mm(in)
秋田北線 申川～秋田	37.6	30	300	165.2 (6)
" 南線 象潟～秋田	67.1	10	160	165.2 (6)
見附～新潟線 見附～新潟	61.1	50	1,073	267.4 (10)
片貝～見附線 片貝～見附	30.1	60	637	216.3 (8)
新潟～中条線 新潟～中条	32.2	12	332	267.3 (10)
長岡～新潟線 長岡～新潟	63.5	50	342	165.2 (6)
長岡ライン 長岡～頸城	62.3	50	500	267.3 (10)
青海ライン 頸城～青海	72.7	50	300	165.2 (6)
東京ライン(高圧) 頸城～草加	302.0	50	1,100	318.5 (12)
" (低圧) 草加～東京	28.5	9.9	700	406.4 (16)
船橋線 千葉～船橋	22.3	7	185	216.3 (8)

(昭和40年12月末)

(資料：石油事典 石油学会編)

表 4.3-3 主な海底ガスパイプライン実績表

項目	名称	BRENT	HEWETT	LEMAN	K/13	FRIGG	KARMAY	TOR	* 東京湾
ル	ト	北海 U. K. 域 スコットランド	北海 U. K. 域 バク トン (イギリス)	北海 U. K. 域 バク トン (イギリス)	北海 オランダ 域 オ ラ ン ダ	北海 ノルウェー 域 スコットランド	北 海 KARMAY 島	北海 ノルウェー 域 EKOFISK	袖 ケ 浦 ↓ 荒 川 河 口
輸送距離	193.2km	32.2km	56.4km	130.0km	378.4km	190.0km	12.1km	25km	
系統数	1	2	3	1	2	-	1	1	
布設水深	140m	27.4m	36.6m	300m	100.6m	280m	-	23m	
パイプライン 口 径	-	-	-	(361インチ) 91.44cm	(321インチ) 81.28cm	(121インチ) 30.48cm (161インチ) 40.64cm	(141インチ) 35.56cm	60cm	
輸送量 (生産量)	-	$150 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{d}$ ($530 \times 10^6 \text{ ft}^3/\text{d}$)	$1982 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{d}$ ($700 \times 10^6 \text{ ft}^3/\text{d}$)	$425 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{d}$ ($150 \times 10^6 \text{ ft}^3/\text{d}$)	$340 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{d}$ ($1200 \times 10^6 \text{ ft}^3/\text{d}$)	-	$2832 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{d}$ ($1000 \times 10^6 \text{ ft}^3/\text{d}$)	-	
技術的可能性 及び備考	1976 運開	1966 運開	1966 運開	1972 運開	1971 運開	計 画 中	1970 運開	1977 運開	

天然ガス輸送

資料: Off Shore Engineering 1978 OCT.

* エネルギー - 1976, No. 11

表 4.3-4 主な海底石油パイプライン実績表

項目	名称	CORMORANT	DUNLIN	THISTLE	NINIAN	HOD-VALHALL	EKOFISK	PIRER	日本海底石油管
ルート		北海 U. K. 域 ↓ SHETLAND	北海 U. K. 域 ↓ SHETLAND	北海 U. K. 域 ↓ DUNLIN	北海 U. K. 域 ↓ SHETLAND	北海ノルウェー域 ↓ EKOFISK CENTRE	北海ノルウェー域 ↓ TEESSIDE	北海 U. K. 域 ↓ ORKNEY	
輸送距離		153.0 km	32.2 km	9.7 km	16.9 km	29.8 km	35.4 km	217.4 km	3 km
系統数		1	1	1	1	1	1	1	-
布設水深		152.2 m	152.2 m	158.3 m	152.2 m	70.0 m	70.0 m	144.4 m	27 m
パイプライン口径		-	-	-	91.4 cm (36インチ)	-	86.3 cm (34インチ)	76.2 cm (30インチ)	76.5 cm (38インチ)
輸送量 (生産量)		-	-	1,590 m ³ /d (100,000 b/d)	9,540 m ³ /d (60,000 b/d)	-	-	39,750 m ³ /d (250,000 b/d)	7,500 m ³ /hr
技術的可能性 及び備考		建設中	1973建設	1973運開	1974運開	建設中	1969建設	1973運開	

石油輸送

資料: Off Shore Engineering 1978 OCT.

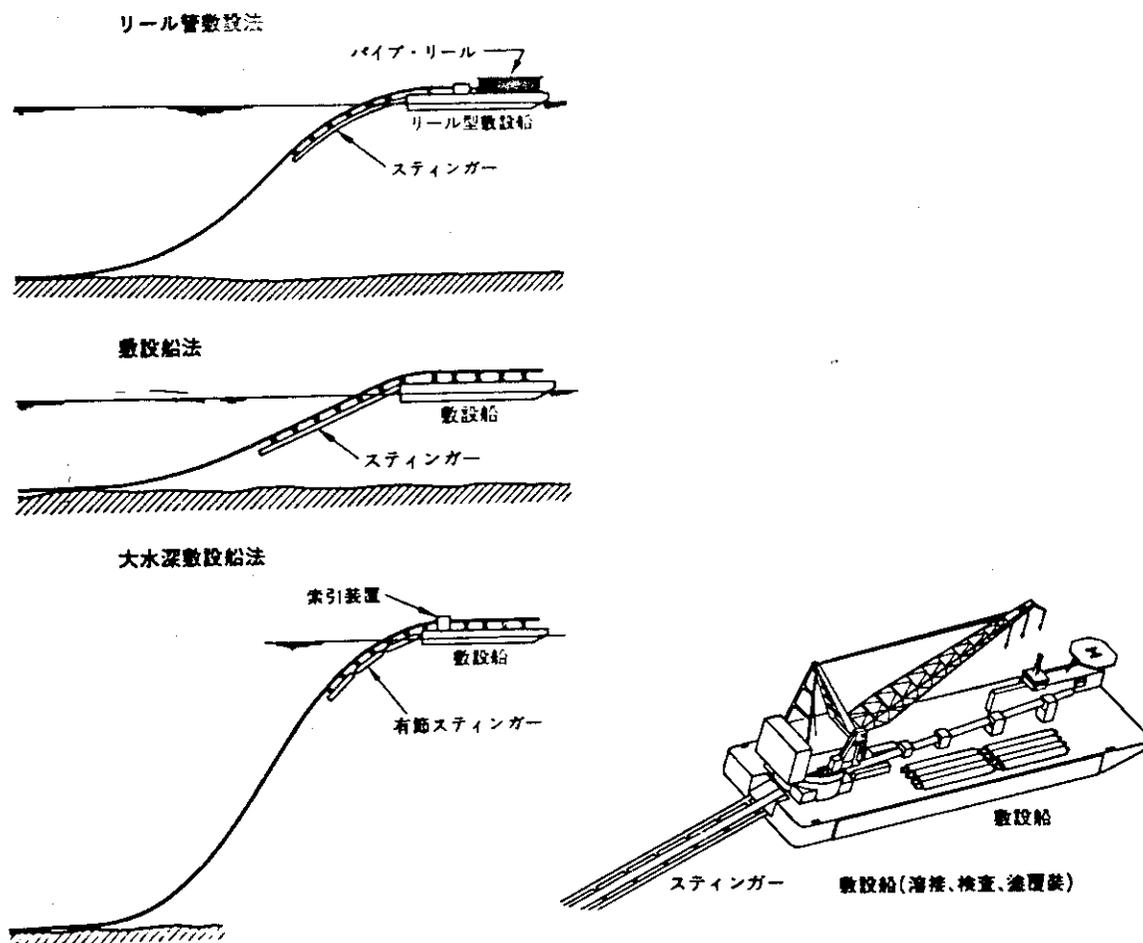


図 4.3-1 敷設船法
(資料: OCEAN AGE 1975-2)

図 4.3-2 敷設船の仕組み
(資料: ENERGY 1976-11)

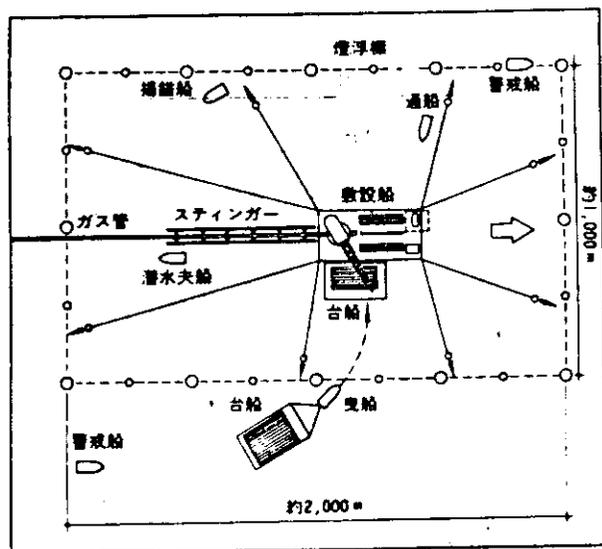


図 4.3-3 敷設船団の編成
(資料: ENERGY 1976-11)

表 4.3-5 海上原子カプラントと海底パイプとの接続法(1)

(No. 1 ~ No. 5 : 海中をパイプで結ぶ方法)

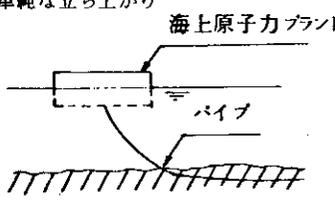
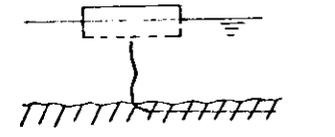
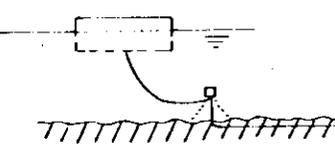
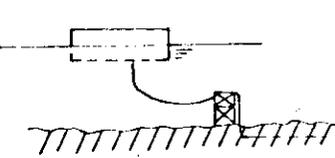
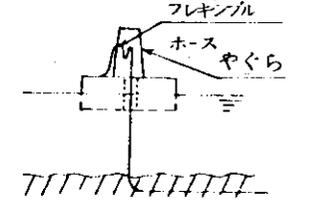
番号	概念図	特徴					備考
		ホースの取替え等メ	プラントの移動に対する追従性	パイプ大径(輸送量)の拡張性	施工性	パイプへの応力軽減性	
1.	<p>単純な立ち上がり</p> 	×	△	△	○	×	<ul style="list-style-type: none"> ○パイプが鋼管であれば重力による曲げ応力が過大である。 ○パイプは耐圧ゴムであれば内圧には耐えうるが、重力による曲げ応力に対して弱い。 ○パイプが海底をこする部分で破断が考えられる。
2.	<p>鉛直立ち上がり</p> 	×	×	△	○	×	<ul style="list-style-type: none"> ○プラントの移動に追従できない。
3.	<p>中間ブイ方式</p> 	×	○	△	○	×	<ul style="list-style-type: none"> ○パイプはカタナリ状であり移動に対する追従性は良い。 ○パイプはフレキシブルである必要からゴムホースとなる。
4.	<p>中間構築物方式</p> 	×	○	△	○	×	<ul style="list-style-type: none"> ○中間ブイに対して海底やぐらは施工が少しむつかしいという難点はあるが動作は確実である。
5.	<p>石油掘削システムの考え方の応用</p> 	×	×	×	○	○	<ul style="list-style-type: none"> ○小口径なら実績あり ○350 kg/cm² の圧力にも耐え得る。 ○プラントの移動量が大いこの方式はむつかしい。(移動量を少なくするためにダイナミックポジショニング等が必要となる。)

表 4.3-6 海上原子力プラントと海底パイプとの接続法(2)

(No. 6 ~ No. 10 : 海中をパイプで結び他の強度部材で補助する方法)

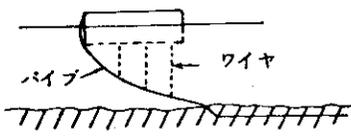
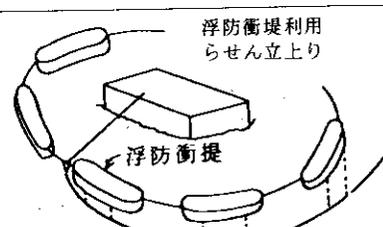
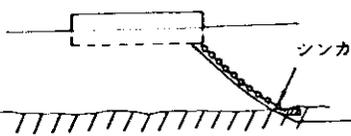
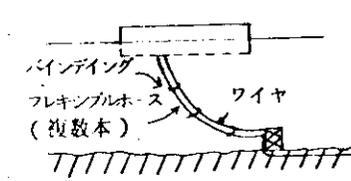
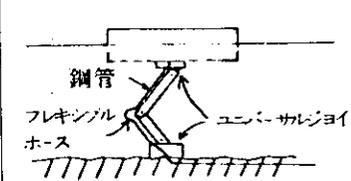
番号	概念図	特徴					備考
		ホーンテナンスの取り換え等々	プラントの移動に対する追従性	パイプ大径(輸送量)の拡張性	施工性	パイプにかかる応力の軽減性	
6.	<p>パイプをバーチに下げる方法</p> 	×	△	△	×	○	○単にパイプを斜めに立ち上げるよりは応力が軽減できる。
7.	<p>浮防衝堤利用 らせん立上り</p> 	×	△	△	×	○	○単にパイプを斜めに立ち上げるよりは応力が軽減できる。 ○浮防衝堤に船が衝突した場合その影響がフレキシブルホースにも及ぶ。
8.	<p>チェーンに沿ってパイプを導設する方法</p> 	×	○	△	○	○	○既存の設備を利用できる反面では係留用チェーンの兼用のため不安が残る。
9.	<p>バインディング フレキシブルホース (複数本)</p> 	×	○	△	○	○	○フレキシブルホースの強度不足の部分をワイヤで補うことができる。 ○海底にフレキシブルホースが接触しないように中間やぐらを設けた。
10.	<p>鋼製アームを利用する方法</p> 	×	○	○	△	○	○フレキシブルジョイントが3箇所だけであとは鋼管が使用できる。

表4.3-7 海上原子力プラントと海底パイプとの接続点(3)

(No.11~No.15: 一点係留ブイ方式あるいはその変形)

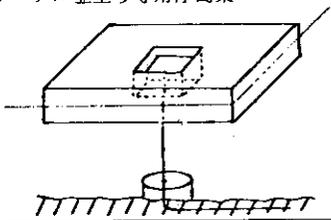
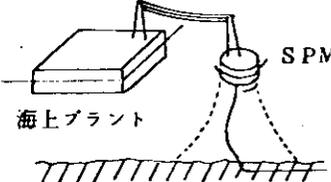
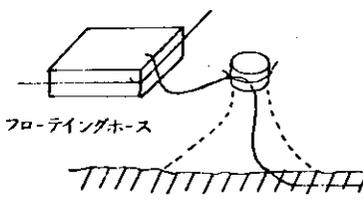
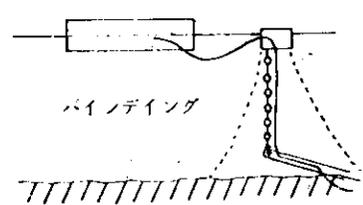
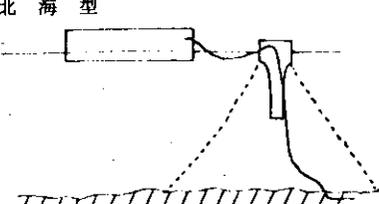
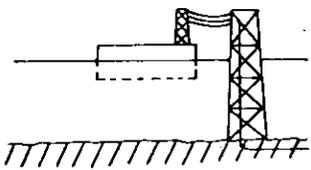
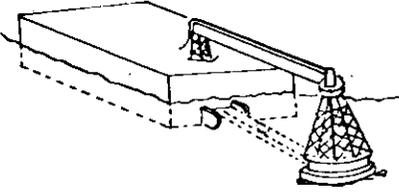
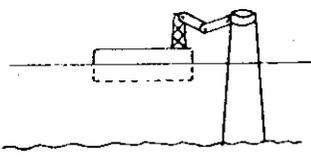
番号	概 念 図	特 徴					備 考
		ホーメンテナンスの取り換え等の容易性	プラントの移動に対する追従性	パイプ径(輸送量)の拡張性	施工性	パイプへの応力軽減性	
11.	<p>ケーブル立上り専用浮島案</p> 	×	×	△	×	○	○一点係留ブイを設置するとその分だけ設備が増え、またブイ自体の変位を考える必要性が出てくる。(No.11~No.15に共通)
12.	<p>一点係留ブイとの接続</p> 	×	○	△	×	○	
13.	<p>フロートリングホース</p> 	×	○	△	×	○	○タンカからの原油の陸揚げに用いられている方法
14.	<p>バインドイング</p> 	×	○	△	×	○	
15.	<p>北 海 型</p> 	×	○	△	×	○	

表 4.3-8 海上原子力プラントと海底パイプとの接続法(4)

(No.16~No.18: 固定やぐらを利用する方法)

番号	概 念 図	特 徴					備 考
		ホ ー ス の 取 り 換 え 等 の 容 易 性	プ ラ ン ト の 移 動 に 対 す る 追 従 性	パ イ プ 大 径 (輸 送 量) の 性	施 工 性	パ イ プ に か か る 応 力 降 下 性	
16.	<p>やぐらとの間を架空で結ぶ方法</p> 	○	○	△	×	○	<p>○建設費が高い。 (No.16~No.18に共通) ○フレキシブル部分が海上にあるという利点がある。 (No.16~No.18に共通)</p>
17.	<p>やぐらとの間に橋をかける方法</p> 	×	○	△	×	○	<p>○資源エネルギー庁の昭和51年度「洋上発電技術の調査研究報告書」には送電線に対しこの案を採用している。</p>
18.	<p>やぐらとの間の橋をピンジョイントにする方法</p> 	○	○	△	×	○	

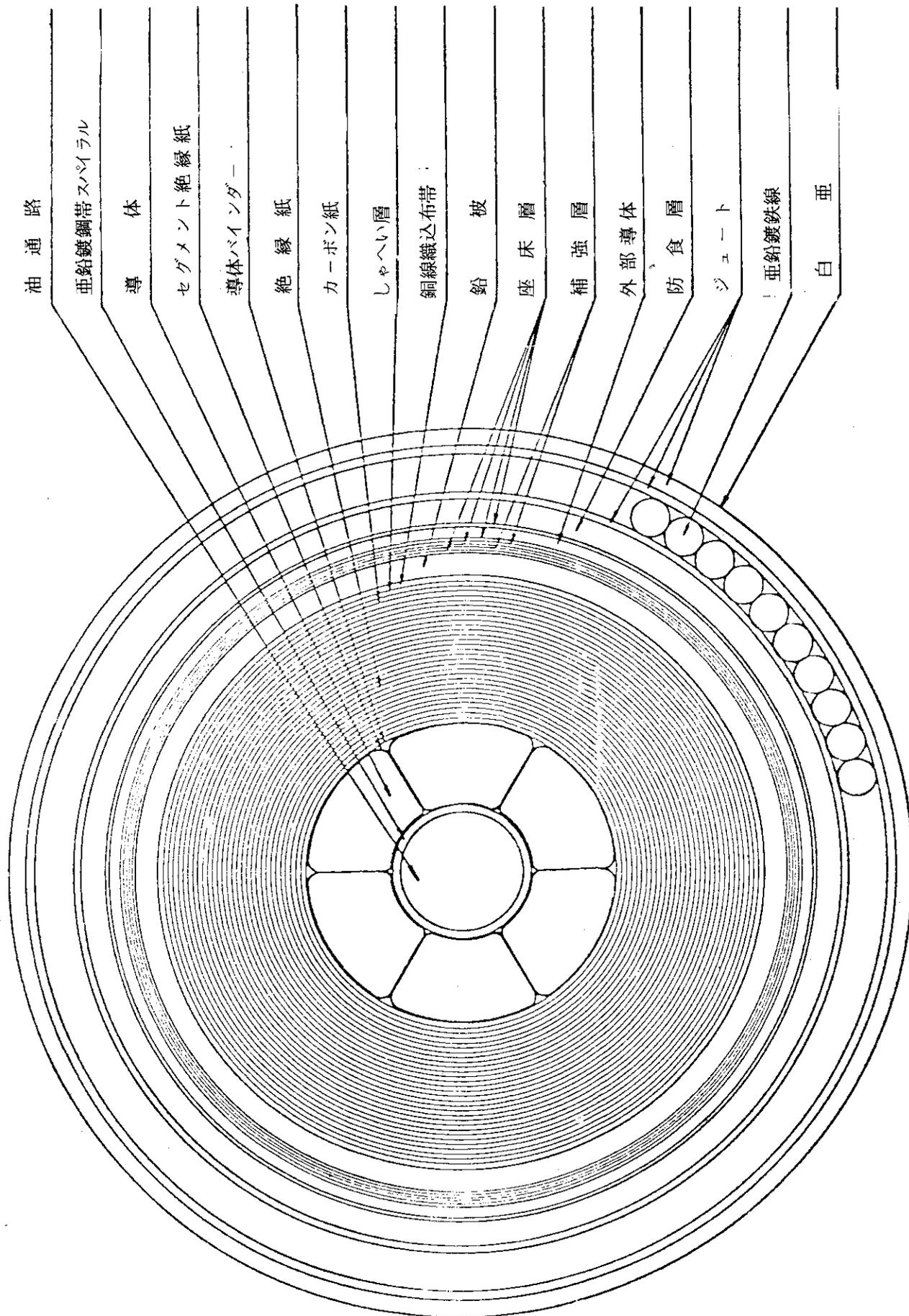


図 4.5-1-1 交流 500KV 1×2000 mm² 8 mm φ 鉄線がい装鉛被 OF ケーブル

表 4.5-1 海底ケーブル構造表

項 目		ケーブル	500KV 1×2000mm ² OFZEWA 海底ケーブル
油 路	肉 径 mm		25.0
	厚 さ mm		1.5
導 体	形 状		6分割圧縮導体
	外 径 mm		62.9
バ イ ン ダ - 厚		”	0.3
絶 縁 体 厚		”	25.0
遮 へ い 層 厚		”	約 0.3
銅 線 織 込 布 帯		”	約 0.5
鉛 被 厚		”	4.4
座 床 ・ 補 強 層 厚		”	2.0
外 部 導 体 厚		”	2.5
座 床 厚		”	0.5
防 食 層 厚		”	5.0
ジ ュ - ト 厚		”	1.5
垂 鉛 鍍 鉄 線 径		”	8.0
ジ ュ - ト 厚		”	5.0
概 算 外 径		”	173
概 算 重 量		kg/m	約 90

表 4.5-2 著名な海底ケーブル（交流）の布設実績表

布設年	線路	電圧 (KV)	ケーブル種類	導体断面積 (mm ²)	長さ (Km×本)	がいそう線径 (mm)	外径 (mm)	重量 (kg/)	最大水深 (m)	水中重量W×水深H (kg)	最大潮流 (Kt)
昭 29	St. Lawrence River	69	Solid	(1×500) 1×250	51×4	7.5	82	14.7	366	3,810	-
昭 34	Oslo Fjord	300	OF	(1×400) 1×400	1.75×4	重鉛鍍銅帯 2層	112	37.0	220	5,940	-
昭 41	Sydney	132	OF	(3×430) 3×435	0.55×5	6.0	145	60.0	17	738	1~2
昭 44	契島線	110	OF	3×100	3.0×1	8.0	130	37.8	42	1,016	2.5
昭 45, 48	明石海峡	77	OF	(3×250) 3×150	5.1×1 5.5×1	8.0および 8.0	155	72.0	100	5,310	6
昭 45	ギリシャ電力公社	150	OF	(1×250) 1×250	0.7×4	6.0	82	20	14	206	7
昭 46	土庄線	66	OF	(3×200) 3×200	1.6×2	6.0	130	51.0	60	2,260	1
昭 47	トリニダードトバゴ	33	GF	(3×100) 3×100	44.6×1	3.26	80	17.8	102	1,310	2~4
昭 48	Oresund Strait	420	OF	(1×1000) 1×1000	7.3×4	7.0	133	41.2	30	820	ほとんどなし
未定	本検討のケーブル	500	OF	3×2000	20×3	8.0	173	90.0	150	9,900	?

□ 最大のもの

表 4.5-3 海上発電プラントとの接続部分調査結果

概略図	備考	概略図	備考
<p>資源エネルギー庁検討(1)*</p>	<p>発電容量 500 MW 送電電圧 275 Kv 海底ケーブル: 単心 OF ケーブル 沖合 10 Km</p>	<p>電線メーカー A 社検討 (1)</p>	<p>発電容量 140 MW 送電電圧 77 KV 送電線 架空 410 mm² × 1 回線 (鋼心耐熱アルミ合金線) 沖合 500 m</p>
<p>資源エネルギー庁検討(2)*</p>	<p>発電容量 500 MW 送電電圧 275 Kv 海底ケーブル: 単心 OF ケーブル 沖合 10 Km</p>	<p>電線メーカー A 社検討 (2)</p>	<p>発電容量 140 MW 送電電圧 77 KV 海底ケーブル 1200 mm² × 1 回線 OF ケーブル 沖合 500 m</p>
<p>資源エネルギー庁検討(3)*</p>	<p>発電容量 500 MW 送電電圧 275 Kv 海底ケーブル: 単心 OF ケーブル 沖合 10 Km</p>	<p>電線メーカー A 社検討 (3)</p>	<p>発電容量 140 MW 送電電圧 77 KV 送電線 架空 410 mm² × 1 回線 (鋼心耐熱アルミ合金線) 沖合 25 m</p>
<p>OPS 社検討**</p>	<p>発電容量 1150 MW 沖合 5 Km</p>	<p>電線メーカー B 社検討</p>	<p>発電容量 ? 送電電圧 77 KV 海中ケーブル 400 mm² × 1 回線 沖合 130 m</p>
<p>海洋温度差発電 300+260 m</p>	<p>発電容量 100 MW 沖合 ?</p>		

* 資料: [6-7] 資源エネルギー庁, 昭和 51 年度洋上発電技術の調査研究報告書

** 資料: [6-8] Robert J Bosnak Design Consideration for the U.S Nuclear Regulatory Commission for the Construction of Nuclear Power Generating Stations in the Ocean

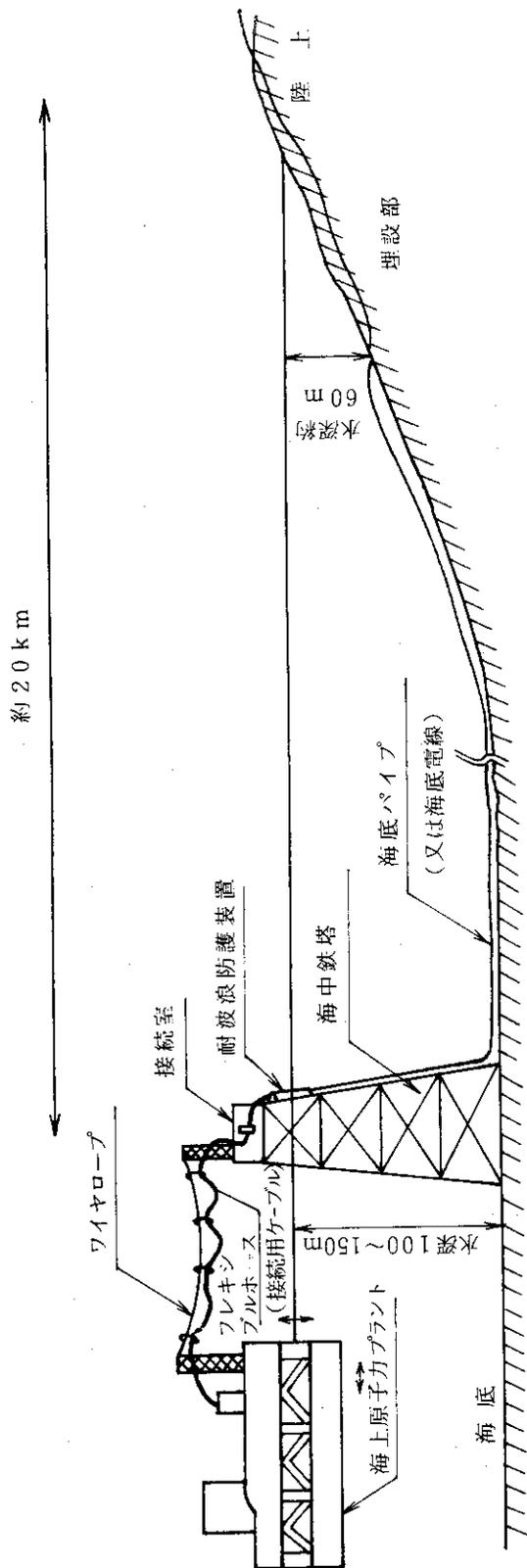


図 4.6-1 パイプライン (又は海底電線) による 2 次エネルギー-源輸送方式 (選定した最終案)

5. ま と め

ニュークリアフローティングアイランド (NUFIS) 構想に関する技術的検討評価を行なうことによって、すでに述べたようにその技術的フィジビリティはほぼ見通しのえられる状況にあることがわかった。すなわちここに述べている浮上式プラットフォームに出力 100 万 kW クラスの PWR 型原子力発電所を設置することの可能性が明らかとなり、さらにそれを発展させた海上原子力エネルギーセンター構成のために必要な係留方式、防衝堤方式およびエネルギー輸送方式についても、日本列島の沖合 20 km 程度、水深 150 m 前後の海洋に設置するとして、その可能性について検討し、その技術的根拠をえたものと考えられる。したがって、現時点での検討評価の目的は、一応達成されたものとみてよからう。今後このニュークリアフローティングアイランド (NUFIS) 構想を実現するために、どのような点について検討し進展させるべきかについて言及してみたい。

もとより、技術的可能性が見出されたからといって、それが直ちにニュークリアフローティングアイランド (NUFIS) の基地構築の設計・施工が可能ということの意味するものではない。

大型施設を搭載する浮上式プラットフォームそのものの設計基準、平常時の安全性の確認などについては、20～30 万トンクラスの海洋構築物を使用するという前例のないことであるがゆえに、その手法が特に安全性を重視して一般性を持って確立されているとはいえない。すなわち、海象条件に関するデータが充分完備しているかどうか、それに対応し、設計するに当たっての安全ファクターをどの程度見込んでおけばよいかといった点については、今後さらにつめる必要がある。

この設計手法の確立のためには、これまでわが国の原子力の分野でよくとられている方法を実施するのが適当であろう。それには関係各方面の関連専門家による中立的性格を持った検討委員会をしかるべき機関に設置して、設計手法の検討と基準の作成を、この委員会に委嘱することである。

他方、設計基準の作成と共に、まず浮上式プラットフォームの波浪試験を実施することが、最初のモデル試験として必要と考えられる。この試験には、運輸省船舶技術研究所に最近設置された大陸棚再現水槽を用いるのが最も適している。

さらに、ニュークリアフローティングアイランドによる原子力エネルギーセンターの構想の実現のための長期的な研究開発機構を確立するために、ステアリング委員会を設置する必要がある。この研究開発は原子力に関する分野と船舶に関する分野とに大別することができるが、両者を総合した未踏の境界領域を含んだ研究開発計画を策定し、施行することが肝要である。これには日本原子力研究所はもとより、運輸省船舶技術研究所、通商産業省の関連試験研究施設のほか、国内の関係省庁、研究機関、電力機器メーカーの協力をえなければならない。もとより、前述の設計基準の検討委員会及び水槽モデル試験は、本ステアリング委員会の下で効果的に活動することが要求される。

ニュークリアフローティングアイランド (NUFIS) 方式による原子力エネルギーセンタ

一構想の実現のためには、上に述べたように、今後さらに実施すべきことが数々あるが、この研究開発の構想を具体化するためには、まず最初に一種のタスクホースを設置し、この限られた人数によるタスクホースによって、構想実現のためのタイムスケジュールを含んだ推進計画を策定し、上述したような研究開発を展開することが好ましい進め方と考えられる。

なお、この推進計画は最初の段階として、現在わが国において標準化されつつある90万kWクラスのPWR型原子力発電設備一式を、20万トンクラスの浮上式プラットフォームに設置するという構想の概念設計から開始するのが適当であろう。この概念設計作業は、エネルギー需要の見通しとも、コンシステントなタイムスケジュールになっている必要があり、時間的な制約があることは当然である。

また、概念設計作業を進めるに当たっては、前述の基準検討の委員会とも協力して進めると共に、原子炉設置申請を配慮して併行的に審査基準のベースになる評価モデルの概念の確立にも努め、その準備を進めるべきであろう。

以上のごとく、ニュークリアフローティングアイランド方式による原子力エネルギーセンター構想の実現には、なお多大の努力の積重ねが必要であるが、日本の将来の長期的エネルギー供給問題を直視するならば、その実現への道を強力にきりひらく努力があってよいものとする。

本報告がわが国における原子力発電所および関連施設の長期的な立地問題解決への一道標となりうるならば、誠に幸いである。

参 考 文 献

- (1) "Future Trend of Nuclear Power as Energy Sources" H. Murata, IAEA-162, 1973
- (2) 「原子力開発への長期戦略」村田 浩, 第7回原産年次大会議事録, 昭和49年3月
- (3) "Foundations of a Long-term Strategy for Nuclear Power Development in Japan", H. Murata, Annals of Nuclear Energy, Vol. 2, 1975
- (4) "Present and Future of Nuclear Energy Development and Utilization in Japan", H. Murata, Journal of British Nuclear Energy Society, Vol. 15, No. 2, 1976
- (5) 「海洋鋼構造物設計指針(案)解説(昭48.8)」, 社団法人, 土木学会編
- (6) Det Norske Veritas, "Rules for the Construction and Classification of Mobile Offshore Units (1973)"
- (7) American Bureau of Shipping, "Rules for Building and Classing Offshore Mobile Drilling Units (1973)"
- (8) 「日本近海及び沿岸波浪図」, 防衛庁
- (9) 「波の波長及び波速の計算表」; 合田良実, 竹田英章, 港湾技研資料 No.12 (昭39)
- (10) 「防災ハンドブック」, 防災ハンドブック編集委員会, 技報堂 (昭39)
- (11) 「海洋工学ハンドブックⅣ」 J. J. Myers 編, ラティス (昭46)
- (12) 「港湾構造物設計基準」, 日本港湾協会 (昭42)
- (13) 「設計・施行のための港湾・空港ハンドブック」, 建築産業調査会 (昭49)
- (14) 「日本における竜巻の調査」, 茨城 昭, 田中 昭, 気象庁 研究時報 13-1 (1961)
- (15) "Offshore Power Systems Plant Design Report, DOCKET-STN-50437-1
- (16) 「海洋波浪の調査研究に関する現況報告」(昭和49年11月) ECR 日本委員会波浪委員会編
- (17) 「耐航性に関するシンポジウム」日本造船学会 (昭和44年7月)
- (18) "The Method of Imaginary Reactions Application to N-point Moors" Skop R. A., Marine Technology (1970)
- (19) "Discrete Parameter Analysis as a Practical Means for Solving Mooring Behavior Problems" Dominguez R. F., Filmer R. W. OTC 1505 (1971)
- (20) "Nonlinear Static and Dynamic Response of Under-Water Cable Structures Using the Finite Element Method" Webster R. L., OTC 2322 (1975)
- (21) 「浮遊式海洋構造物の係留解析法」片山正敏ほか, 三菱重工技報, Vol. 13, No. 4 (昭和51-7)
- (22) 「昭和48年度石油の海洋備蓄システムの技術的検討に関する調査, B-3浮防衝堤の船舶衝突防護特性に関する実験報告書」(昭51年3月), 日本海洋開発産業協会
- (23) 「昭和50年度石油の海洋備蓄システムの技術的検討に関する調査, 浮防衝堤の総合模型に

- よる基礎実験報告書」(昭51年3月), 日本海洋開発産業協会
- (24) "Gasification of coal with special regard to the Utilization of nuclear energy"
Karl H. van Heck, et al, International Symposium on Energy Sources and development, Oct. 19 ~ 21, 1977
- (25) 「西ドイツにおける石炭のガス化, 液化技術の研究開発状況調査報告書」通産省工業技術院編, (財)日本産業技術振興協会(昭53年)
- (26) "The HTGR in Coal Processing Application" C.L.Richard, R.N. Quade;
Seminar on Nuclear Process Heat, Kernforschungsanlage Jülich, Germany, Nov, 19, 1973
- (27) Marchetti, C., Chem, Economy Eng. Rev., 5.7 (1973)
- (28) 「将来のエネルギーシステムの中での水素」, 佐藤章一, PETROTECH, 第1巻5号(1978)
- (29) "Experience in Handling, Transport and Storage of Liquid Hydrogen-The Recyclable Fuel" J.R. Bartleit, et. al. Proc. 7th Intersociety Energy Conversion Eng. Conf. 1972
- (30) "Undersea Cryogenic Pipeline for Offshore Terminals" C. H. Guild, Jr., Applications of Cryogenic Technology Vol. 8