

JNC TJ6557 91-045

~~JNC PJ6557 91-045~~

本資料は /3 年 9 月 19 日付けて登録区分
変更する。

人形崎環境技術センター
環境保全技術開発部 管理課

配布限定

低濃度ウラン溶液からのウラン 採取システムの技術開発

—高性能ウラン吸着剤利用システムに関する調査研究—

(動力炉・核燃料開発事業団 委託研究成果報告書)

付録資料

1990年12月

海洋科学技術センター

[Redacted]

コーディング番号

JNC TJ6557 91-045

~~JNC TJ6557 91-045~~

1990年 2月



表題 低濃度ウラン溶液からのウラン採取システムの技術開発

副表題 高性能ウラン吸着剤利用システムに関する調査研究

筆者氏名 海洋科学技術センター

要
旨

本海水ウラン回収プラントのウラン回収方法は、吸着法によるものである。この吸着法は、有

機系もしくは無機系のウラン吸着剤に海水を適当な期間接触させてウラン成分を吸着させ、その

後それに溶離剤をかけてウランを溶離させ、濃縮工程を経たうえでイエローケーキを精製すると

いう方法であるが、海水中に溶存するウランは、総量としては多くても（約40億トン）濃度は薄

く（約3ppb）。多量のウランを回収するには膨大な量の海水を吸着剤に接触させる必要がある。

この海水の移動を機械的に行うとすれば、莫大なエネルギーを消費することになりその結果と

して回収コストが上り、経済性の面で問題点が出てくる。これに対して、海水を吸着剤に接触さ

せるエネルギー源として、海洋に存在する波および海流のエネルギーを利用すれば、回収コスト

の低減を図ることが可能である。本海水ウラン回収プラントは、この波浪および海流のエネルギ

ーを利用することにより、経済的効率を高めたウラン回収プラントである。

本報告書は、海洋科学技術センターが動力炉・核燃料開発事業団の委託により実施した研究の成果である。

契約番号： 020D0162

事業団担当部課室及び担当者：環境資源開発課 土屋英典

筆者の所属部課名：海洋科学技術センター 海洋開発研究部

本報告書（付録資料）は、

- ①回収プラント本体 ②係留システム ③製錬船 ④運用システム

など海水ウラン回収システムの全体構成に係る試設計の検討結果について取りまとめたもので

ある。

第1編 海水ウラン回収プラント本体の試設計

目 次

I. 序	1
1. 一般	1
2. 全体システムの構成	1
II. 試設計方針	3
1. 機能	3
2. 浮体主要目等	4
3. 主要装備機器	4
4. 検討方針	5
III. 試設計検討	6
1. 設計条件	6
2. 形状	6
3. 主要目	7
4. 一般配置	8
5. 排水量等諸元	12
6. 積付計算	12
7. 復原性	20
8. 波浪中運動特性	30
9. 構造	35
10. 構造強度	36
11. 防食方法	47
12. 建造コスト	48
IV. 今後の課題	49
V. 参考文献	50

第2編 海水ウラン回収プラント係留システム

— 目次 —

	頁
1. 概要	1
2. 設計条件	1
3. 試設計の基本的条件	1
4. 係留力の検討	2
4. 1 定常外力	2
4. 2 水平変位量	4
4. 3 係留要目の検討	5
5. 振れ回り運動	6
6. 係留作業要領	6
7. 今後の課題	7
8. 建造及び現地設置作業コスト	8

目 次

1. 本船の概要	1
2. 主要目等	2
3. 船内区画	2
4. 船内設備	3
5. 船上設備	3

目 次

1. システムの構成・規模	1
1.1 吸着プラント	1
1.2 精練船	1
2. 維持管理の方策	4
2.1 維持管理の概要	4
2.2 浮体式海洋構造物・船舶のメンテナンス事例	5
(1) 香港ビクトリア港避泊ブイ	8
(2) 伊勢湾および周辺海域灯浮標	11
(3) 海底石油生産システム（CADLAO油田）	14
(4) 沖縄海洋博記念公園内アクアポリス	16
(5) 海上石油備蓄設備	20
(6) 浮体式海上空港（構想検討）	23
(7) 船 舶	27
(8) 原油備蓄タンカー（日精丸）	28
2.3 海水ウラン回収プラントの維持管理の方策	32
3. 運用の方策	33
3.1 吸着プラント	33
3.2 精練船	33
4. 耐用年数	34
5. 運用経費	35

6. 吸着剤カセットの防汚対策	36
6.1 防汚塗料による防止法	36
6.2 海水電解法による防汚	37
6.3 超音波による防汚	37

第1編

海水ウラン回収プラント本体の試設計

目 次

I. 序	1
1. 一般	1
2. 全体システムの構成	1
II. 試設計方針	3
1. 機能	3
2. 浮体主要目等	4
3. 主要装備機器	4
4. 検討方針	5
III. 試設計検討	6
1. 設計条件	6
2. 形状	6
3. 主要目	7
4. 一般配置	8
5. 排水量等諸元	12
6. 積付計算	12
7. 復原性	20
8. 波浪中運動特性	30
9. 構造	35
10. 構造強度	36
11. 防食方法	47
12. 建造コスト	48
IV. 今後の課題	49
V. 参考文献	50

I. 序

1. 一般

海水中のウランを採取する方法は、一般に次の様に分類できる。

- ① 共沈法
- ② 吸着法
- ③ 浮選法
- ④ 溶媒抽出法
- ⑤ 生物濃縮法

本海水ウラン回収プラントのウラン回収方法は、このうちの吸着法によるものである。

この吸着法は、有機系もしくは無機系のウラン吸着剤に海水を適当な期間接触させてウラン成分を吸着させ、その後それに溶離剤をかけてウランを溶離させ、濃縮工程を経たうえでイエローケーキを精製するという方法であるが、海水中に溶存するウランは、総量としては多くても（約40億トン）濃度は薄く（約3ppb）、多量のウランを回収するには膨大な量の海水を吸着剤に接触させる必要がある。

この海水の移動を機械的に行うとすれば、莫大なエネルギーを消費することになり、その結果として回収コストが上り、経済性の面で問題点が出てくる。

これに対して、海水を吸着剤に接触させるエネルギー源として、海洋に存在する波および海流のエネルギーを利用すれば、回収コストの低減を図ることが可能である。

本海水ウラン回収プラントは、この波浪および海流のエネルギーを利用することにより、経済的効率を高めたウラン回収プラントである。

2. 全体システムの構成

海水ウラン回収のプロセスは、①吸着剤による海水ウランの吸着②溶離液による吸着剤からのウラン脱離③沈殿・分離により最終製品のイエローケーキを抽出する精錬の3工程から成り、この工程に対応した回収システムの具体的な設備は、一般に下記から成っている。

- ① 吸着剤を保持し海水と接触させてウランを吸着させる吸着設備
- ② ウランを吸着した吸着剤からウランを塩酸等により溶離する脱離プラント
- ③ 脱離液を処理して最終製品であるイエローケーキを抽出する精錬プラント
- ④ 以上の各工程間の吸着剤、脱離液、イエローケーキ等の搬送設備
- ⑤ 各工程に必要な薬剤、水、燃料等のユーティリティを運搬・補給する設備

上記設備を備えた回収システムの全体構成としては、各設備の方式や設置場所等

多数の方式が考えられるが、今回収プラントは、下記のような吸着・脱離浮体および精錬船の組み合わせとしている。

①吸着・脱離浮体

一点係留装置付きの四角全方向通水型構造で、浮体内には脱離プラント、脱離液タンク、塩酸タンク等を装備し、脱離までを行う。

②精錬船

①の浮体より脱離液を受取り、船上に搭載したプラントにより精錬を行ってイエローケーキを生産し、陸揚げする。また、陸揚げ基地より①の浮体へ塩酸・燃料等のユーティリティを運搬する。

本報告書は、上記のうち、吸着・脱離浮体本体の試設計の検討結果についてとりまとめたものである。

II. 試設計方針

浮体本体の試設計は、海洋科学技術センター殿作成の委託研究成果報告書『低濃度ウラン溶液からのウラン採取システムの技術開発－波エネルギー利用方式に関する調査研究－1987年3月』に記載の「吸着・脱離いかだの概念設計」をベースに進めるものとする。

以下に上記「研究成果報告書」の概念設計の概要を示す。

1. 機能

- ①ウラン吸着剤（アミドキシム（AO）樹脂でピンポン玉大）を、波浪中動搖の少ないセミサブ型浮体中央の、小区分に分割された区画室内に保持し、波による海水の上下動に従ってその吸着剤が運動することにより海水と接触させ、ウラン成分を吸着させる。
- ②一定の吸着期間後、ウラン吸着剤をAO脱離塔に移送する。
- ③吸着したウラン成分を、AO脱離塔内で塩酸を使用して吸着剤から脱離させた後、さらに海水で吸着剤を洗浄する。ウラン成分を含んだ溶液（脱離液、洗浄液）は、浮体内に貯蔵しておき、定期的に訪れる精錬船に搬出する。
- ④処理後の吸着剤には塩酸分が残っているので、少量の水酸化ナトリウムを使用し、これを中和してから海水内の区画室に戻す。
- ⑤AO脱離塔は、一度に最大 54m^3 の吸着剤の処理が可能なものとし、一回の処理時間を12時間とする。1区画の吸着剤は、10日吸着、12時間処理の計10.5日間で一回の吸着工程を完了する。
- ⑥その10.5日間には21回分のAO脱離塔処理が可能なため、浮体中央部には21の各 54m^3 の吸着剤を収容した小区画を設け、順繰りに一区画分の吸着剤を処理していくこととして、合計 $1,134\text{ m}^3$ の吸着剤を保有する。ある区画の吸着剤がAO脱離塔で処理されている間にも、もちろん他の区画の吸着剤は区画内で吸着を続いている。
- ⑦10.5日間経過し、一通りのAO樹脂の処理を終了したときに精錬船が訪れ、液体の回収を行うが、その際液体移送の約6時間、係船作業および荒天による手待ち時間等を考慮して、計1日半の平均所要時間があるとして、それを加えて一サイクルを12日間とする。
- ⑧本浮体上の操作は自動制御によるものとし、浮体上は無人とする。

⑨ A0脱離塔処理用に35% 塩酸を稀釀するための海水および洗浄用の海水の一サイクル分の必要量は各2,268 m³とし、処理後のウラン脱離液および洗浄液の量も同様に一サイクル分各2,268 m³とする。

⑩ 稀釀用海水タンクとウラン脱離液タンク、洗浄用海水タンクとウラン洗浄液タンクは、各々兼用タンクとする。

2. 浮体主要目等

(1) 構造様式	半潜水式四角構造、吸着剤区画抱え型
(2) 主要寸法	
長さ (型)	79 m
幅 (型)	112 m
深さ (型)	20 m
ロワーハル高さ (型)	5 m
ロワーハル幅 (型)	6 m
コラム本数	6 本
コラム断面	6m × 6m
吃水 (型)	10 m
(3) 吸着剤区画	
海面下位置	5 m
区画数	21
吸着剤層高	約 17 cm
吸着剤全体積	1,134 m ³
吸着剤比重	1.1
区画壁材	グラスファイバー等の綱板材で、吸着剤を保持し水を透過するもの（上、下面および井桁状に配置の各面に使用）

3. 主要装備機器

エンジン／発電機

燃料ポンプ

発電機冷却用海水ポンプ

発電機起動用空気圧縮機等補機類

吸着剤移送ポンプ

塩酸ポンプ
用水ポンプ
ウラン脱離液ポンプ
ウラン洗净液ポンプ
AO脱離塔
精錬船連結用の係船索
精錬船へのウラン脱離液搬出ポンプ
精錬船への洗净液搬出ポンプ
精錬船との各種液体移送用ホース（浮体側部分）
運転自動制御装置（含、地上監視用データ受授装置および精錬船連結時のリモコン装置）
吸着剤移送制御装置（各区画順の移送）
吸着剤区画壁の網板材（グラスファイバー等の耐蝕性材料を使用）
障害灯、レーダリフレクター

4. 検討方針

試設計を行うに当たっては、下記見直しを行う。

① 形状寸法

強度検討を行い、要すれば形状寸法を変更する。

但し、下記については、その寸法を維持する。

② 全体長さおよび全体幅

⑤ 吸着剤の海面下位置

② タンク配置

④ 積付けを考慮したタンク配置とする。

⑥ 海水、ウラン脱離液およびウラン洗净液の流れは、海水→ウラン脱離液、海水→ウラン洗净液となるが、各液体のタンクよりの送り出し、タンクへの戻りおよび貯蔵を考慮（海水とウラン脱離液、海水とウラン洗净液は、各々兼用タンクに貯蔵される）して、海水／ウラン脱離液兼用タンク、海水／ウラン洗净液兼用タンクを各々1タンク増設し、これをバッファタンクとして使用することにより、各液体の流れによる、海水とウラン脱離液、海水とウラン洗净液の混同を避ける様にする。

（III. 試設計検討 4.一般配置 参照）

III. 試設計検討

1. 設計条件

基本的な設計条件は「研究成果報告書」の概念設計と同様に下記とする。

(1) 設置海域

水 深	200 m
-----	-------

(2) 環境条件

暴風時最大

風 速 (平均)	40.0 m/sec
有義波高	14.0 m
平均波周期	15.0 sec
海 流	1.0 m/sec

通常時、精練船連結時

風 速 (平均)	8.0 m/sec
有義波高	1.0 m
平均波周期	5.0 sec
海 流	1.0 m/sec

(3) 耐用年数 20 年

2. 形状

吸着室への海水の流入量と、吸着剤と海水との接触量をできるだけ多くするために、浮体の形状は、通常の船舶・バージ等に比べてヒービングおよびローリングが小さい半潜水式形状とする。

この構造物のロワーハル間に、上下に網を張った吸着室を固定し、その中に吸着剤を充填して波浪中に設置すると、ロワーハル部における波粒子の、浮体に対する相対運動が大きいので、より多くの海水が吸着室に流入して吸着剤と接触することになり、ウラン吸着が効率的に行われる。

3. 主要目

(1) 船体主要寸法等

型 式	半潜水式長方形全方向通水型
長 さ (型)	79.0 m
幅 (型)	112.0 m
深 さ (型)	19.0 m
ロワーハル幅 (型)	6.0 m
ロワーハル高さ (型)	4.0 m
コラム断面	6 m × 6 m
コラム本数	6 本
計画満載吃水 (型)	9.0 m
排水量	約 14,200 t

(2) タンク容量 (100%)

海水／ウラン脱離液兼用タンク	約 2,900 m ³
同上予備タンク	約 700 m ³
海水／ウラン洗浄液兼用タンク	約 2,900 m ³
同上予備タンク	約 700 m ³
燃料油タンク	約 400 m ³
35% 塩酸タンク	約 300 m ³
25% 水酸化ナトリウムタンク	約 100 m ³
バラストタンク	約 1,500 m ³

(3) 吸着剤区画

区画グループ数	21
吸着剤層高	約 20 cm
吸着剤全体積	約 1,134 m ³

4. 一般配置

一般配置図を図4-1に示す。

ロワーハル間に吸着剤区画室を設ける。吸着剤区画室は、鋼製枠材およびグラスファイバー等の網板材で構成する。網板材は、区画の上下面および井桁状に配置された区分境界面に設置する。全区画はウラン回収サイクルを考慮して21グループに区分する。

右舷後部コラム内にA0脱離塔を設置する。

左舷前部コラム内に発電機室および電気室を設ける。

ロワーハルの四隅部に移送ポンプ室、搬出ポンプ室および雑用ポンプ室を設け、各種ポンプを配置する。

ロワーハル全域にわたって、海水／ウラン脱離液兼用タンク（8タンク）および同予備タンク（2タンク）、海水／ウラン洗浄液兼用タンク（8タンク）および同予備タンク（2タンク）を設ける。両兼用タンクは、海水→ウラン脱離液、海水→ウラン洗浄液の各々の液体の流れによる浮体のトリムおよびヒールの変化を極力小さくすることを考慮して点対称に配置する。

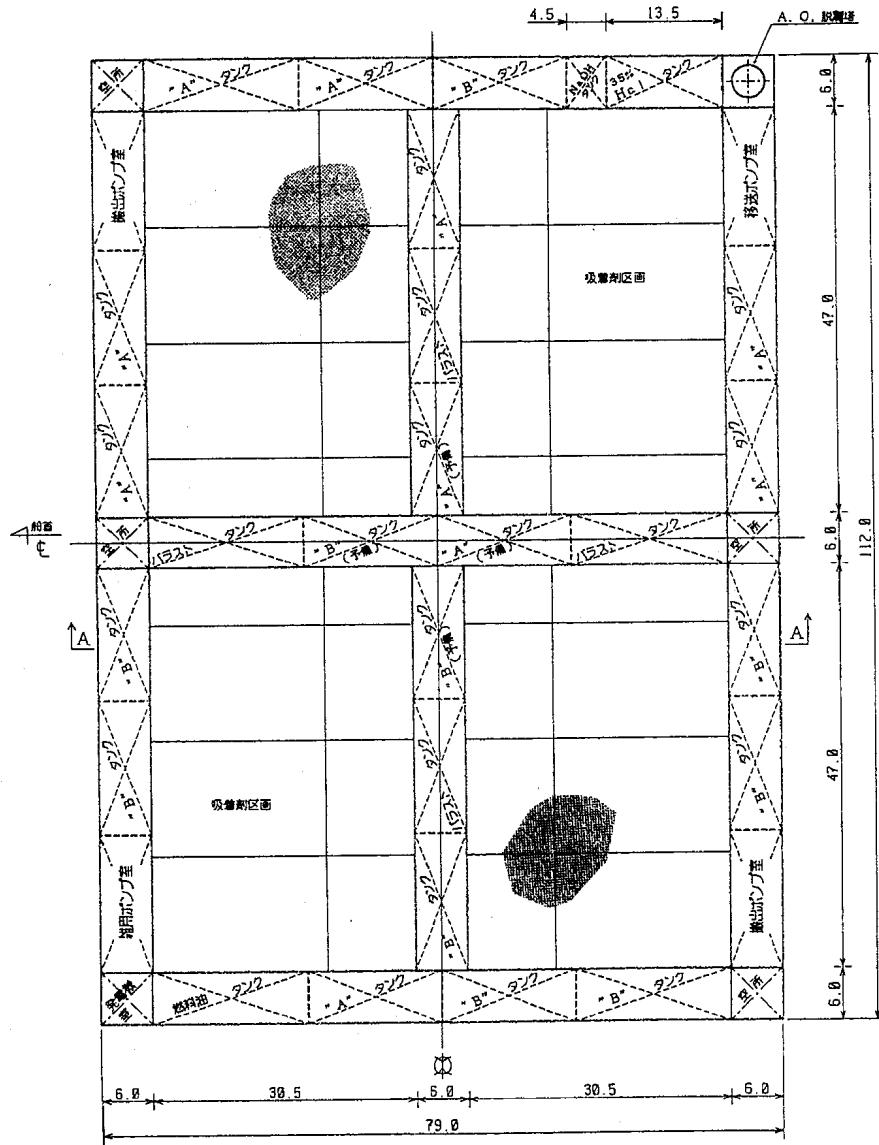
右舷ロワーハル後部に35%塩酸タンクおよび25%水酸化ナトリウムタンク、左舷ロワーハル前部に燃料油タンクを配置する。

35%塩酸タンクおよび25%水酸化ナトリウムタンクと燃料油タンクの積み付け重量のアンバランスによるトリムおよびヒールの調整と吃水の調整のために、ロワーハル内にバラストタンク（4タンク）を設ける。

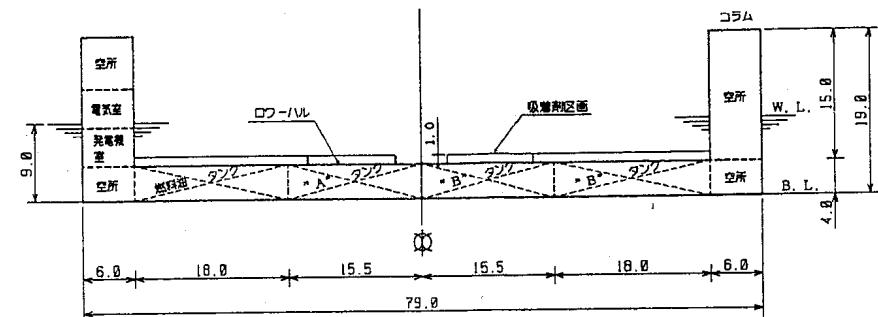
図4-1 海水ウラン回収プラント一般配置図 (S=1/600)

注)
 "A" タンク : 海水／ウラン脱離液兼用タンク
 "B" タンク : 海水／ウラン洗浄液兼用タンク

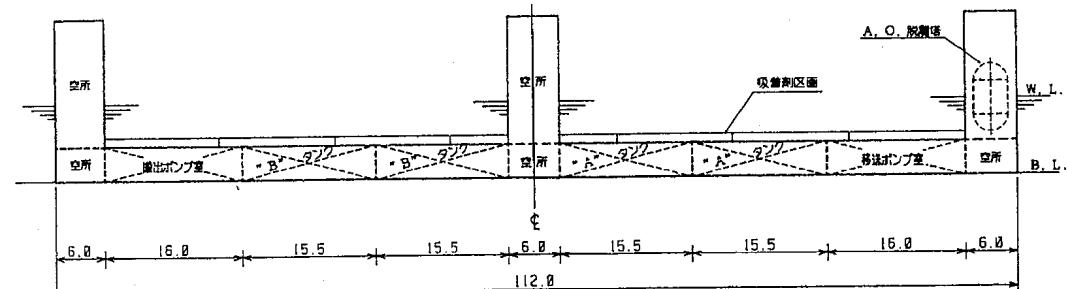
平面図
(ロワーハルトップ)



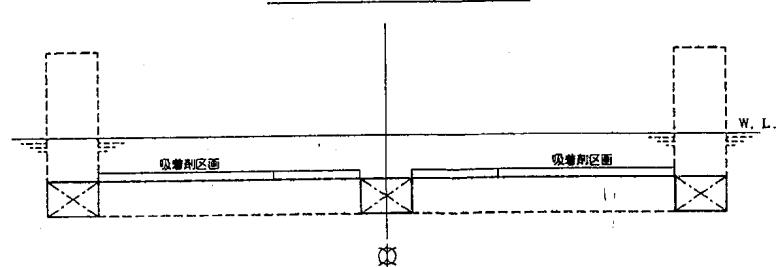
側面図
(左舷)



正面図
(後面)

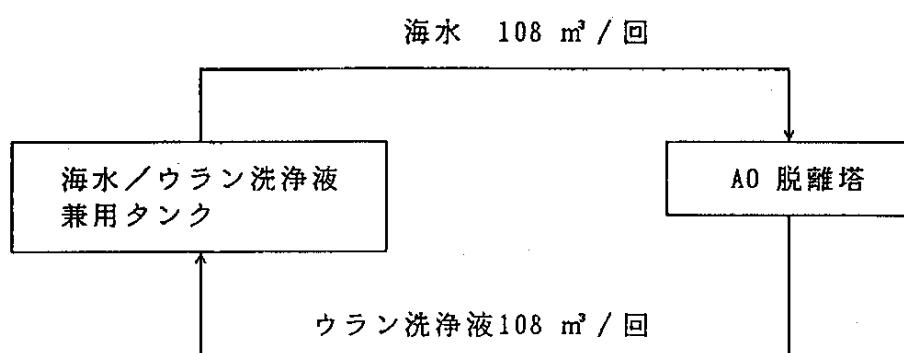
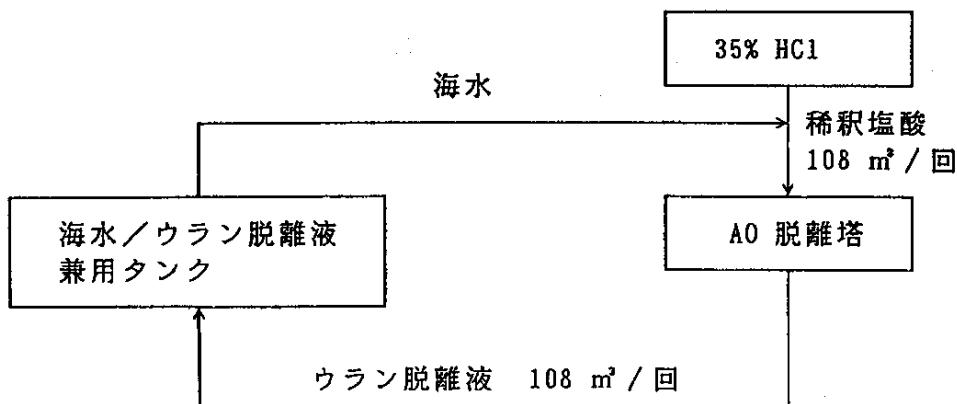


A-A 断面図



タンク内液体の流れ

タンク内の液体の流れは下記の様になる。



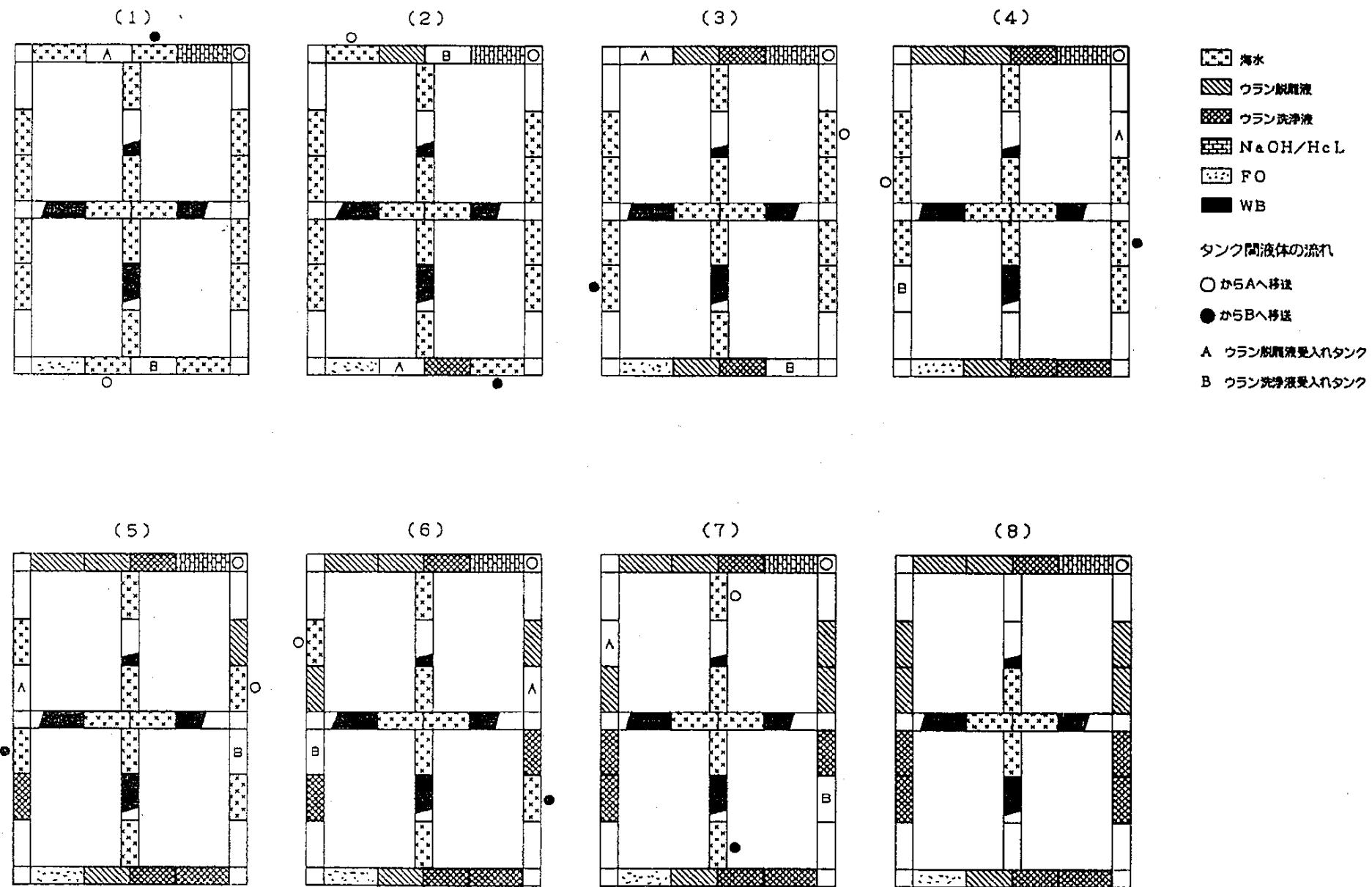
処理のためにタンクから出て行く海水の量および処理後にタンクに戻って来る液体の量は、各々1回の処理当たり 108 m^3 である。

各タンクの容量は、約3回の処理分の容量があるため、処理後の液体を元のタンクに戻すと、処理に使用される前の海水と処理後の液体が混合してしまう。

これを避けるために、空タンクを1タンク設け、処理後の液体はこのタンクに戻すことにして、順次空タンクを作りながら液体を循環させて行くことにする。

各タンク積付の一例を図 4-2に示す。

図4-2 タンク内液体の流れ



5. 排水量等諸元

排水量等曲線を図 5-1に示す。

6. 積付計算

(1) 浮体重量・重心

浮体の総重量および重心の設定値を表 6-1に示す。

(2) 積付計算

積付表を表6-2～表6-3、積付計算を表 6-4～表 6-6に示す。

次の各Caseについて計算を行なった。

Case No. 1 : 燃料油／塩酸／水酸化ナトリウム・・・ 90% full

Case No. 2 : 燃料油／塩酸／水酸化ナトリウム・・・ 50% 消費

Case No. 3 : 燃料油／塩酸／水酸化ナトリウム・・・ 全量消費

ウラン脱離およびウラン洗浄の液体のハンドリングは、各々点対称の位置にあるタンクを使うことにより、トリムおよびヒールの変化を極力小さくするようとする。

(3) 浮体の安定性

各Case共メタセンタ高さは正値であり、正の復原力がある。

表6-7 メタセンタ高さ

Case No.	横メタセンタ高さ (m)	縦メタセンタ高さ (m)
1	27.58 m	18.92 m
2	27.71 m	18.99 m
3	27.81 m	19.05 m

図5-1 排水量等曲線

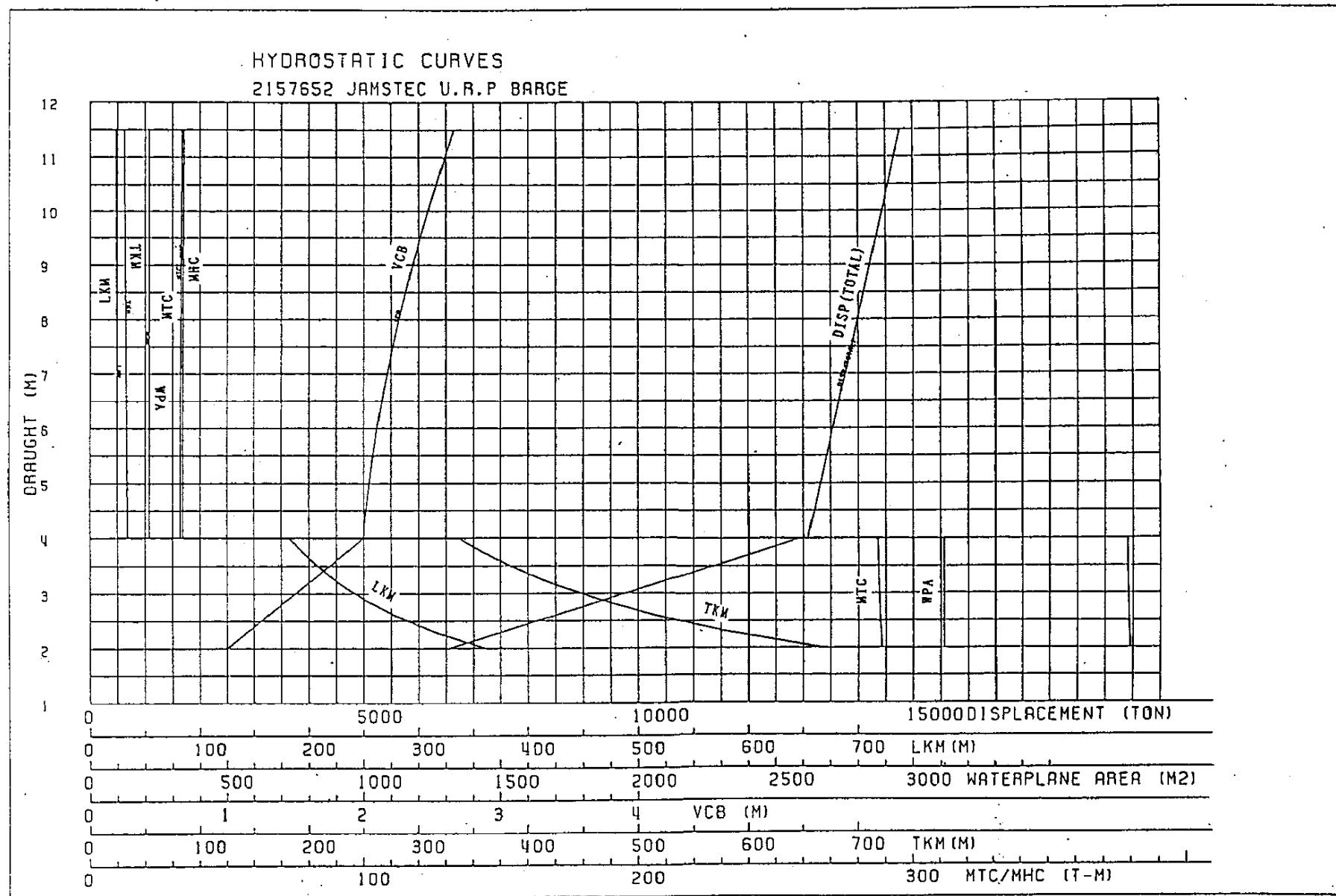


表 6 - 1 浮体重量および重心

名 称	重 量 (t)	O G (m)	C L G (m)	K G (m)
浮体本体				
船体構造部材	5000	0.00	0.00	3.00
船体梯子	17	0.00	0.00	6.00
アノード	15	0.00	0.00	2.50
塗料	70	0.00	0.00	3.00
吸着室枠組み	400	0.00	0.00	4.50
吸着網	50	0.00	0.00	4.50
溶離プラント	50	36.50	-53.00	8.00
電気・機器類	50	-36.50	53.00	8.00
同上	150	0.00	0.00	2.00
ポンプ類	40	0.00	0.00	1.00
配管類	300	0.00	0.00	2.00
合 計	6142	0.00	0.00	3.11
マージン	158			0.09
浮体総重量	6300	0.00	0.00	3.20

表 6-2 積付表

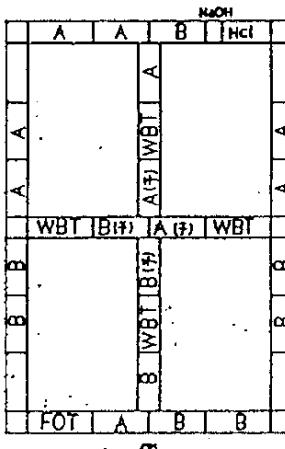
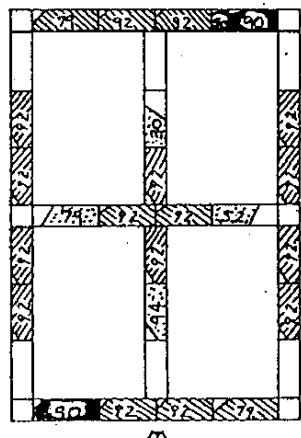
CASE NO.		1
CONDITION		F0/HCl/NaOH 90% full
ITEM		
L. W	t	6,300
A.O.樹脂	t	85
FOT	t	306
HCl Tk	t	319
NaOH Tk	t	104
"A" Tk	t	2,366
Do.予備	t	676
"B" Tk	t	2,366
Do.予備	t	676
(小計)	t	(6,084)
WBT	t	1,022
Total	t	14,220
Draft(mld)(m)		9.00
TGoM (m)		27.58
LGoM (m)		18.92
		

表 6 - 3 積付表

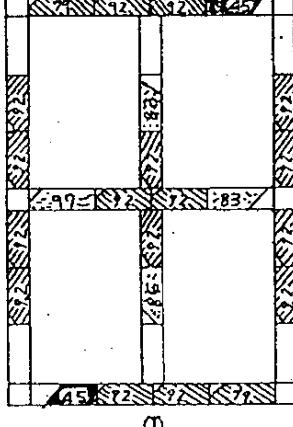
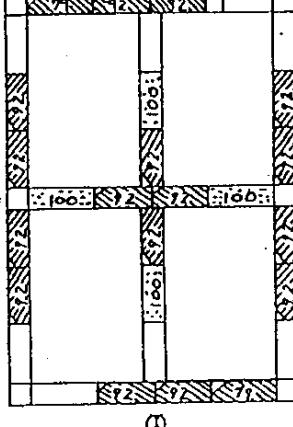
CASE NO.		2	3
CONDITION		FO/HCl/NaOH 45% full	FO/HCl/NaOH empty
ITEM			
L. W	t	6,300	6,300
A. O.樹脂	t	85	85
FOT	t	153	0
HCl Tk	t	160	0
NaOH Tk	t	52	0
"A" Tk	t	2,366	2,366
Do. 予備	t	676	676
"B" Tk	t	2,366	2,366
Do. 予備	t	676	676
(小計)	t	(6,084)	(6,084)
WBT	t	1,296	1,598
Total	t	14,130	14,067
Draft (mld) (m)		8.61	8.33
TGoM (m)		27.71	27.81
LGOM (m)		18.99	19.05
			

表 6 - 4 積付計算

CASE NO. 1	FO/HCl/NaOH : 90% full				
				S : + P : -	
ITEM	% FULL	WEIGHT (t)	X G (m)	CL G (m)	KG (m)
L.W.		6.300	0.00	0.00	3.20
A.O.樹脂		85	0.00	0.00	4.10
FOT	90	306	-24.50	53.00	2.00
HCl Tk	90	319	26.75	-53.00	2.00
NaOH Tk	90	104	17.75	-53.00	2.00
"A" Tk 1	92	338	-36.50	-10.75	2.00
Do. 2	92	338	-36.50	-26.25	2.00
Do. 3	79	338	-24.50	-53.00	2.00
Do. 4	92	338	-7.75	53.00	2.00
Do. 5	92	338	-7.75	-53.00	2.00
Do. 6	0	0	0.00	-42.00	2.00
Do. 7	92	338	36.50	-10.75	2.00
Do. 8	92	338	36.50	-26.25	2.00
(小計)		(2,366)			
"A" Tk 予備 1	92	338	0.00	-10.75	2.00
Do. 2	92	338	7.75	0.00	2.00
"B" Tk 1	92	338	36.50	10.75	2.00
Do. 2	92	338	36.50	26.25	2.00
Do. 3	79	338	24.50	53.00	2.00
Do. 4	92	338	7.75	-53.00	2.00
Do. 5	92	338	7.75	53.00	2.00
Do. 6	0	0	0.00	42.00	2.00
Do. 7	92	338	-36.50	10.75	2.00
Do. 8	92	338	-36.50	26.25	2.00
(小計)		(2,366)			
"B" Tk 予備 1	92	338	0.00	10.75	2.00
Do. 2	92	338	-7.75	0.00	2.00
WBT 1	79	342	-24.50	0.00	2.00
WBT 2	94	346	0.00	26.25	2.00
WBT 3	30	110	0.00	-26.25	2.00
WBT 4	52	224	24.50	0.00	2.00
(小計)		(1,022)			
Total		14,220	-0.00	-0.00	2.54
Draft(mld)(m)		9.00	(喫水)		
X G (m)		0.00	(重心前後位置)		
X B (m)		0.00	(浮心前後位置)		
CL G (m)		0.00	(重心左右位置)		
CL B (m)		0.00	(浮心左右位置)		
TKM (m)		32.29	(基線上横メタセンタ高さ)		
LKM (m)		23.67	(基線上縦メタセンタ高さ)		
KG (m)		2.54	(重心高さ)		
TGGo (m)		2.17	(自由水による重心修正)		
LGGo (m)		2.21	(自由水による重心修正)		
TGoM (m)		27.58	(修正後の横メタセンタ高さ)		
LGom (m)		18.92	(修正後の縦メタセンタ高さ)		

表 6-5 積付計算

CASE NO. 2		FO/HCl/NaOH : 45% full		S : +	P : -
ITEM	% FULL	WEIGHT (t)	KG (m)	CL G (m)	KG (m)
L.W.		6,300	0.00	0.00	3.20
A.O.樹脂		85	0.00	0.00	4.10
POT	45	153	-24.50	53.00	2.00
HCl Tk	45	160	26.75	-53.00	2.00
NaOH Tk	45	52	17.75	-53.00	2.00
"A" Tk 1	92	338	-36.50	-10.75	2.00
Do. 2	92	338	-36.50	-26.25	2.00
Do. 3	79	338	-24.50	-53.00	2.00
Do. 4	92	338	-7.75	53.00	2.00
Do. 5	92	338	-7.75	-53.00	2.00
Do. 6	0	0	0.00	-42.00	2.00
Do. 7	92	338	36.50	-10.75	2.00
Do. 8	92	338	36.50	-26.25	2.00
(小計)		(2,366)			
"A" Tk 予備 1	92	338	0.00	-10.75	2.00
Do. 2	92	338	7.75	0.00	2.00
"B" Tk 1	92	338	36.50	10.75	2.00
Do. 2	92	338	36.50	26.25	2.00
Do. 3	79	338	24.50	53.00	2.00
Do. 4	92	338	7.75	-53.00	2.00
Do. 5	92	338	7.75	53.00	2.00
Do. 6	0	0	0.00	42.00	2.00
Do. 7	92	338	-36.50	10.75	2.00
Do. 8	92	338	-36.50	26.25	2.00
(小計)		(2,366)			
"B" Tk 予備 1	92	338	0.00	10.75	2.00
Do. 2	92	338	-7.75	0.00	2.00
WBT 1	97	418	-24.50	0.00	2.00
WBT 2	86	319	0.00	26.25	2.00
WBT 3	54	200	0.00	-26.25	2.00
WBT 4	83	359	24.50	0.00	2.00
(小計)		(1,296)			
Total		14,130	0.00	-0.00	2.55
Draft (mld) (m)		8.61	(喫水)		
xC G (m)		0.00	(重心前後位置)		
xB G (m)		0.00	(浮心前後位置)		
CL G (m)		0.00	(重心左右位置)		
CL B (m)		0.00	(浮心左右位置)		
TKM (m)		32.44	(基線上横メタセンタ高さ)		
LKM (m)		23.76	(基線上縦メタセンタ高さ)		
KG (m)		2.55	(重心高さ)		
TGGo (m)		2.18	(自由水による重心修正)		
LGGo (m)		2.22	(自由水による重心修正)		
TGoM (m)		27.71	(修正後の横メタセンタ高さ)		
LGoM (m)		18.99	(修正後の縦メタセンタ高さ)		

表 6 - 6 積付計算

CASE NO. 3	FO/HCl/NaOH : empty			S : +	P : -
ITEM	% FULL	WEIGHT (t)	KG (m)	CL G (m)	KG (m)
L.W.		6,300	0.00	0.00	3.20
A.O.樹脂		85	0.00	0.00	4.10
FOT	0	0	-24.50	53.00	2.00
HCl Tk	0	0	26.75	-53.00	2.00
NaOH Tk	0	0	17.75	-53.00	2.00
"A" Tk 1	92	338	-36.50	-10.75	2.00
Do. 2	92	338	-36.50	-26.25	2.00
Do. 3	79	338	-24.50	-53.00	2.00
Do. 4	92	338	-7.75	53.00	2.00
Do. 5	92	338	-7.75	-53.00	2.00
Do. 6	0	0	0.00	-42.00	2.00
Do. 7	92	338	36.50	-10.75	2.00
Do. 8	92	338	36.50	-26.25	2.00
(小計)		(2,366)			
"A" Tk 予備 1	92	338	0.00	-10.75	2.00
Do. 2	92	338	7.75	0.00	2.00
"B" Tk 1	92	338	36.50	10.75	2.00
Do. 2	92	338	36.50	26.25	2.00
Do. 3	79	338	24.50	53.00	2.00
Do. 4	92	338	7.75	-53.00	2.00
Do. 5	92	338	7.75	53.00	2.00
Do. 6	0	0	0.00	42.00	2.00
Do. 7	92	338	-36.50	10.75	2.00
Do. 8	92	338	-36.50	26.25	2.00
(小計)		(2,366)			
"B" Tk 予備 1	92	338	0.00	10.75	2.00
Do. 2	92	338	-7.75	0.00	2.00
WBT 1	100	430	-24.50	0.00	2.00
WBT 2	100	369	0.00	26.25	2.00
WBT 3	100	369	0.00	-26.25	2.00
WBT 4	100	430	24.50	0.00	2.00
(小計)		(1,598)			
Total		14,067	0.00	0.00	2.55
Draft(m1d)(m)		8.33	(喫水)		
KG (m)		0.00	(重心前後位置)		
KB (m)		0.00	(浮心前後位置)		
CL G (m)		0.00	(重心左右位置)		
CL B (m)		0.00	(浮心左右位置)		
TKM (m)		32.55	(基線上横メタセンタ高さ)		
LKM (m)		23.83	(基線上縦メタセンタ高さ)		
KG (m)		2.55	(重心高さ)		
TGGo (m)		2.19	(自由水による重心修正)		
LGGo (m)		2.23	(自由水による重心修正)		
TGoM (m)		27.81	(修正後の横メタセンタ高さ)		
LGOM (m)		19.05	(修正後の縦メタセンタ高さ)		

7. 復原性

風力下の復原性能の検討を行う。

(1) 設計基準

風力下の復原性の設計基準は、日本海事協会「鋼船規則集、P編 海洋構造物及び作業船等、19章 復原性」によるものとする。

(2) 風による傾斜モーメント

風圧 P は次の算式による。

$$P = 1/16 \cdot C_h \cdot C_s \cdot V^2 \times 10^{-3} \quad (\text{t/m}^2)$$

V : 規定による設計風速 (m/sec)

C_h : 高度係数 (1.0とした)

C_s : 形状係数 (1.1とした)

風荷重 F は次の算式による。

$$F = P A \quad (\text{t})$$

P : 風圧 (t/m^2)

A : 各風方向に対する受風投影面積 (m^2)

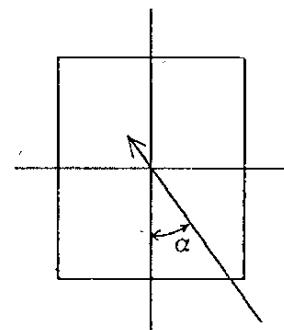
モーメント算定のための艇の長さは、水線下船体の横方向の抵抗中心から風による圧力中心までの距離とし、風による傾斜モーメントは傾斜角の余弦関数とした。

表7-1に風による傾斜モーメントの計算結果を示す。

頁21に風による傾斜モーメントの計算を示す。

表7-1 風による傾斜モーメント

風方向 (α)	風速	
	50 m/sec	25 m/sec
0.0 deg	696 t-m	174 t-m
35.2 deg	970 t-m	243 t-m
90.0 deg	696 t-m	174 t-m



***** WIND FORCE AND WIND HEELING MOMENT *****
(AANGLE = 0.0 deg)

ITEM	l x h (m)	AREA(m ²)	Cs	Ch	H(m)	A*Cs*Ch	A*Cs*Ch*H
COLUMN F/P	6.0 x10.0	60.0	1.1	1.0	11.3	66.0	742.5
COLUMN F/S	6.0 x10.0	60.0	1.1	1.0	11.3	66.0	742.5
COLUMN M/P	6.0 x10.0	60.0	1.1	1.0	11.3	66.0	742.5
COLUMN M/S	6.0 x10.0	60.0	1.1	1.0	11.3	66.0	742.5
COLUMN A/P	6.0 x10.0	60.0	1.1	1.0	11.3	66.0	742.5
COLUMN A/S	6.0 x10.0	60.0	1.1	1.0	11.3	66.0	742.5
TOTAL						396.0	4455.0

WIND FORCE = 1/16*[A.Cs.Ch]total*V2*10^(-3) (t)
WIND HEEL. MOMENT = 1/16*[A.Cs.Ch.H]total*V2*10^(-3) (t-m)

F = 1/16*(396.0)*V2*10^(-3) = 0.0272*V^2 (t)
MT = 1/16*(4455.0)*V2*10^(-3) = 0.2784*V^2 (t-m)

V(m/s)	FORCE(t)	MOMENT(t-m)
* 8.0	1.7	17.8
10.0	2.7	27.8
15.0	6.1	62.6
20.0	10.9	111.4
* 25.0	17.0	174.0
30.0	24.5	250.6
35.0	33.4	341.1
* 40.0	43.6	445.5
45.0	55.1	563.8
* 50.0	68.1	696.1
55.0	82.4	842.3
60.0	98.0	1002.4

***** WIND FORCE AND WIND HEELING MOMENT *****
(AANGLE = 35.2 deg)

ITEM	l x h (m)	AREA(m ²)	Cs	Ch	H(m)	A*Cs*Ch	A*Cs*Ch*H
COLUMN F/P	8.4 x10.0	83.6	1.1	1.0	11.3	92.0	1034.6
COLUMN F/S	8.4 x10.0	83.6	1.1	1.0	11.3	92.0	1034.6
COLUMN M/P	8.4 x10.0	83.6	1.1	1.0	11.3	92.0	1034.6
COLUMN M/S	8.4 x10.0	83.6	1.1	1.0	11.3	92.0	1034.6
COLUMN A/P	8.4 x10.0	83.6	1.1	1.0	11.3	92.0	1034.6
COLUMN A/S	8.4 x10.0	83.6	1.1	1.0	11.3	92.0	1034.6
TOTAL						551.8	6207.3

WIND FORCE = 1/16*[A.Cs.Ch]total*V2*10^(-3) (t)
WIND HEEL. MOMENT = 1/16*[A.Cs.Ch.H]total*V2*10^(-3) (t-m)

F = 1/16*(551.8)*V2*10^(-3) = 0.0379*V^2 (t)
MT = 1/16*(6207.3)*V2*10^(-3) = 0.3880*V^2 (t-m)

V(m/s)	FORCE(t)	MOMENT(t-m)
* 8.0	2.4	24.8
10.0	3.8	38.8
15.0	8.5	87.3
20.0	15.2	155.2
* 25.0	23.7	242.5
30.0	34.1	349.2
35.0	46.5	475.2
* 40.0	60.7	620.7
45.0	76.8	785.6
* 50.0	94.8	969.9
55.0	114.7	1173.6
60.0	136.6	1396.6

(3) 非損傷時の復原性

非損傷時復原性の判定基準を次に示す。

①復原モーメント曲線において、次の条件を満足すること。（半潜水型船舶）

$$\text{面積 } (A + B) \geq 1.3 \times \text{面積 } (B + C)$$

但し、傾斜角は θ_2 までとする。

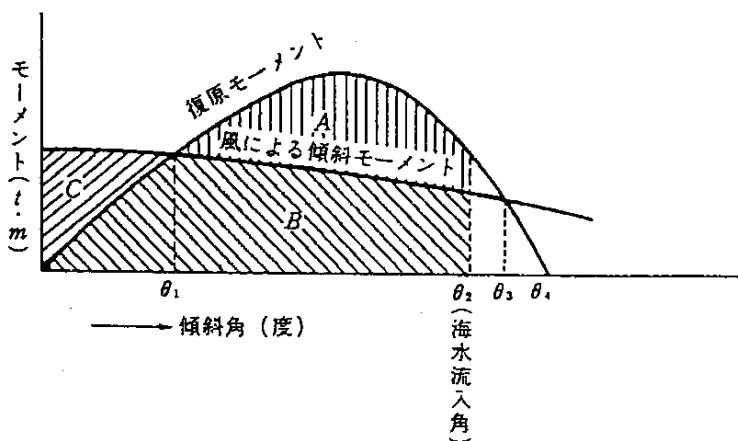


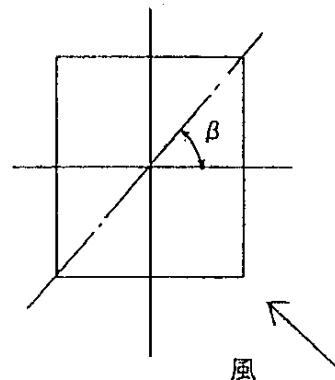
表7-2に計算結果を示す。

いずれも上記条件を満足している。

頁25～26に非損傷時復原性の計算を示す。

表7-2 非損傷時復原性

傾斜軸 (β)	面積比
0.0 deg	47.96 \geq 1.3
35.2 deg	26.39 \geq 1.3
90.0 deg	47.12 \geq 1.3



(4) 損傷時の復原性

損傷時復原性の判定基準を次に示す。

- ① 25m/sec の一様な風を受けた場合でも、それによる転倒モーメントの増加に対して十分な予備復原性を有すること。
- ② 浸水後の最終水線は、浸水が進行し転倒モーメントに対し十分な復原性を有しなくなるような、開口の下縁よりも下方であること。

左舷前部ポンプ室、燃料油タンク、左舷A-タンク、前部B-タンク、左舷前部コラム（発電機室、電気室、空所）および中央前部コラム（空所）が浸水した場合につき計算を行った。

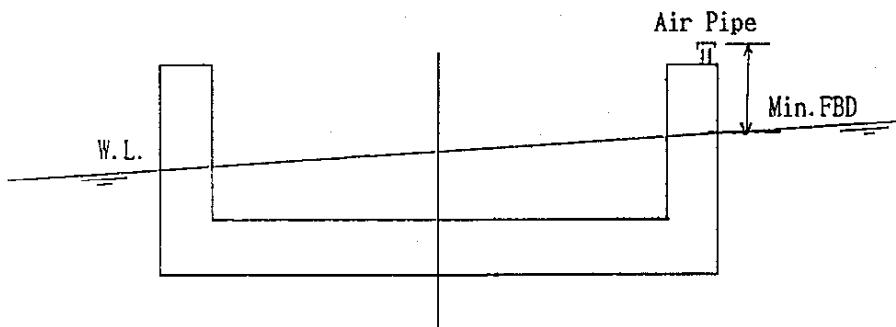
表7-3に計算結果を示す。

頁27～頁29に損傷時復原性の計算例を示す。

浸水後の最終水線は、いずれも開口部よりも下方であり（表中Min FBD>0）また、浸水後の復原モーメント曲線、風による転倒モーメント曲線および海水流入角より判断して、十分な予備復原性を有している。

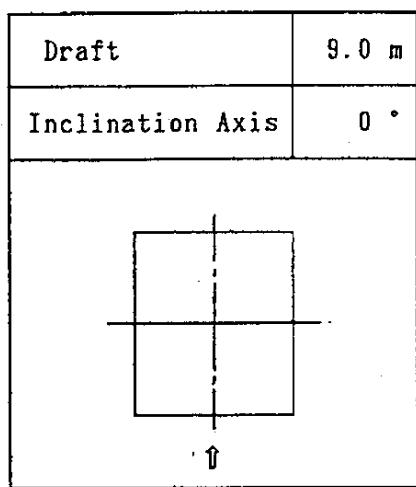
表7-3 損傷時風無し釣合状態

傾 斜 軸	90.0 deg					125.2 deg					180.0 deg				
	deq (m)	Trim (deg)	Heel (deg)	MinFBD (m)	海水 流入角	deq (m)	Trim (deg)	Heel (deg)	MinFBD (m)	海水 流入角	deq (m)	Trim (deg)	Heel (deg)	MinFBD (m)	海水 流入角
浸水区画															
ポンプ室(左舷前部)	10.69	2.95	2.3	4.60	10.0	10.69	2.95	2.3	4.60	8.0	10.69	2.95	2.3	4.60	6.8
燃料油タンク	10.90	2.23	3.3	3.91	8.3	10.90	2.23	3.3	3.91	7.3	10.90	2.23	3.3	3.91	7.1
A-タンク(左舷)	10.64	0.61	2.9	5.65	9.3	10.64	0.608	2.9	5.65	7.4	10.64	0.608	2.9	5.65	8.1
B-タンク(前部)	10.64	2.86	0.6	6.42	11.8	10.64	2.86	0.6	6.42	8.6	10.64	2.86	0.6	6.42	6.9
発電機/電気室/空所	10.93	3.38	3.4	3.08	6.1	10.93	3.38	3.4	3.08	7.1	10.93	3.38	3.4	3.08	5.5
空所(中央部)	10.19	2.11	0.0	7.91	11.8	10.19	2.11	0.0	7.91	8.7	10.19	2.11	0.0	7.91	7.6

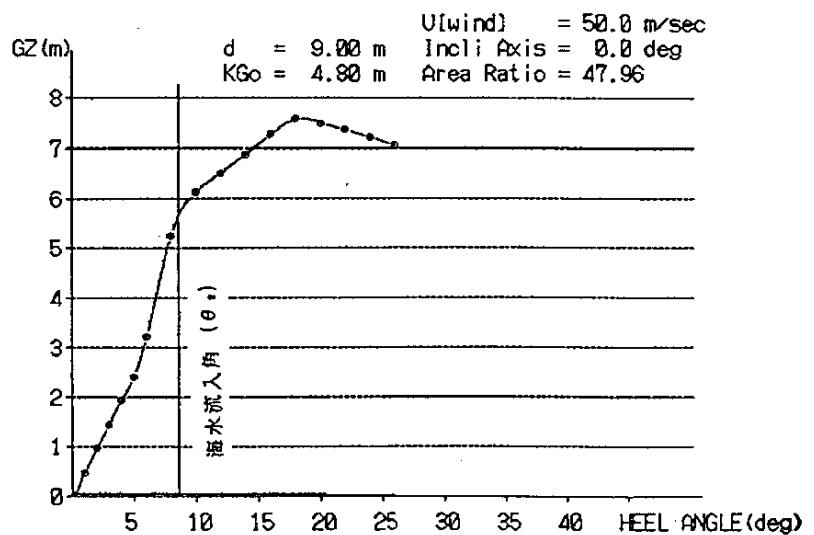


INTACT STABILITY

— : Axis \Rightarrow : Wind

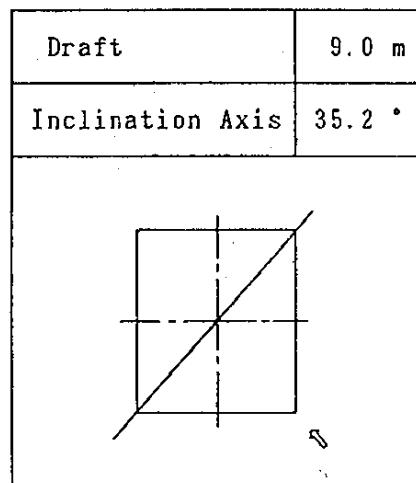


** GZ CURVE **

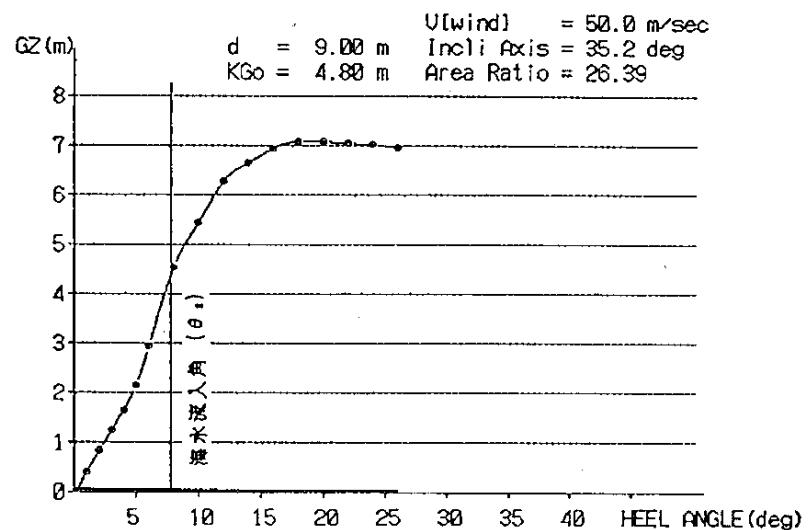


INTACT STABILITY

— : Axis \Rightarrow : Wind

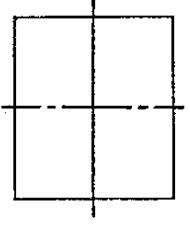


** GZ CURVE **

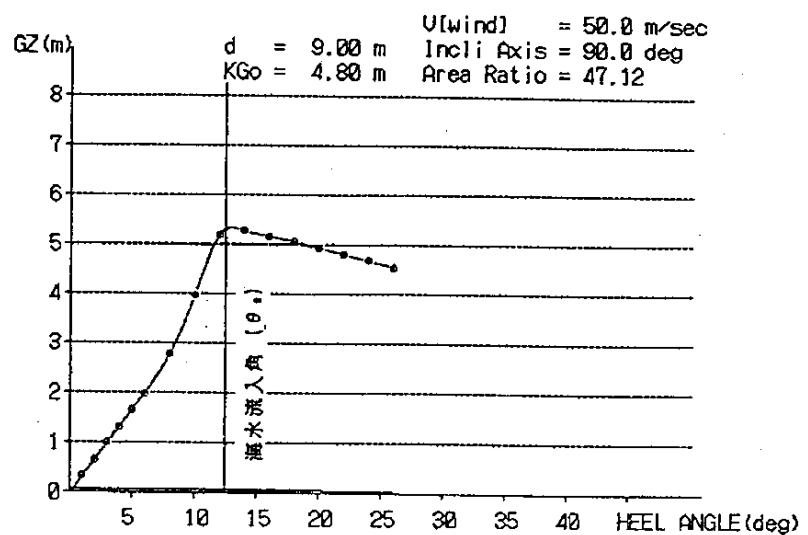


INTACT STABILITY

— : Axis ⇒ : Wind

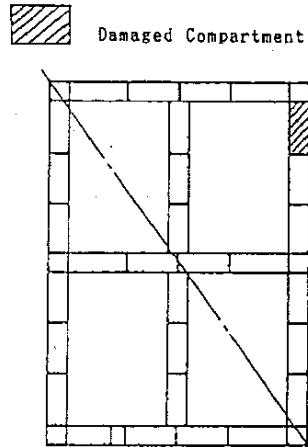
Draft	9.0 m
Inclination Axis	90 °
	

** GZ CURVE **

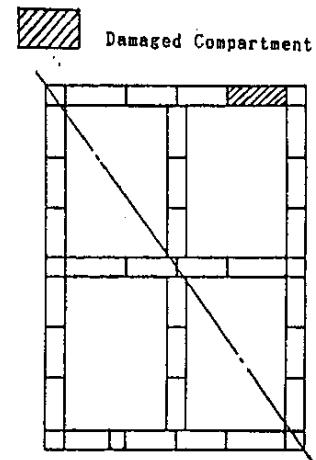


DAMAGED STABILITY

計算結果（風無し釣合状態）	
浸水区画	ポンプ室（左舷前部）
Condition	Intact condition Damaged condition
deg (m)	9.0 10.68
Trim (deg)	0.0 2.95
Heel (deg)	0.0 2.3
Min.FBD(m)	10.45 4.60
Inclination Axis (deg)	125.2

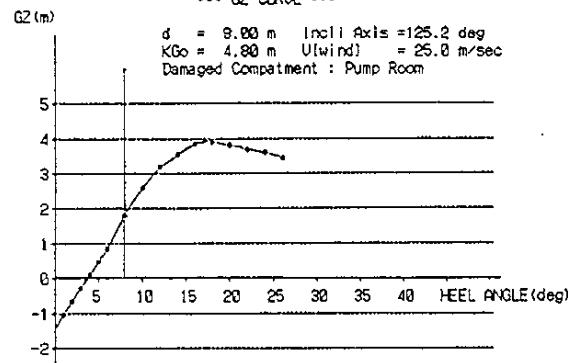
DAMAGED STABILITY

計算結果（風無し釣合状態）	
浸水区画	燃料油タンク
Condition	Intact condition Damaged condition
deg (m)	9.0 10.90
Trim (deg)	0.0 2.23
Heel (deg)	0.0 3.3
Min.FBD(m)	10.45 3.91
Inclination Axis (deg)	125.2

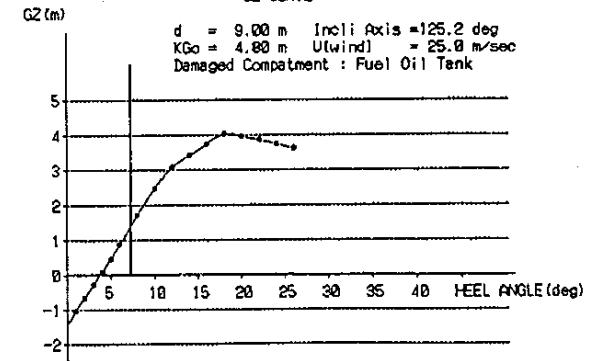


27

... GZ CURVE ...

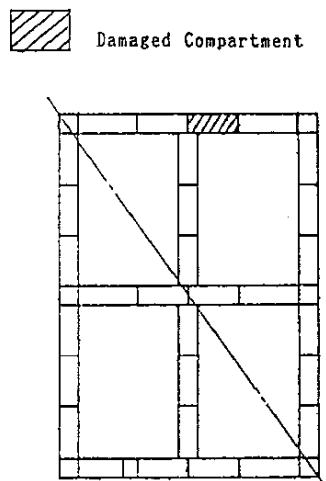


... GZ CURVE ...



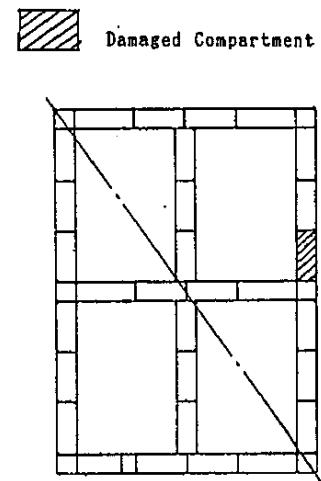
DAMAGED STABILITY

計算結果（風無し釣合状態）		
浸水区画	A-タンク（左舷）	
Condition	Intact condition	Damaged condition
deq (m)	9.0	10.64
Trim (deg)	0.0	0.61
Heel (deg)	0.0	2.9
Min.FBD(m)	10.45	5.65
Inclination Axis (deg)	125.2	

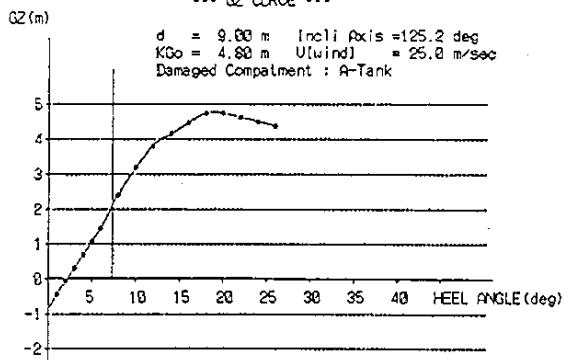


DAMAGED STABILITY

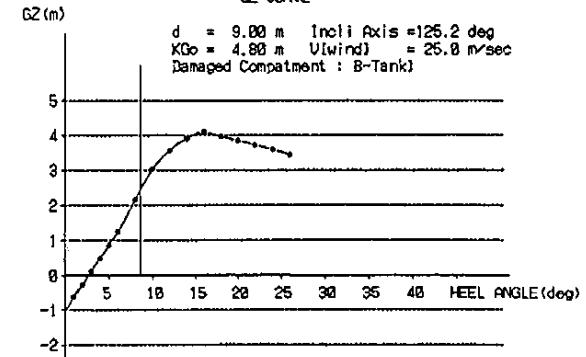
計算結果（風無し釣合状態）		
浸水区画	B-タンク（前部）	
Condition	Intact condition	Damaged condition
deq (m)	9.0	10.64
Trim (deg)	0.0	-2.86
Heel (deg)	0.0	0.6
Min.FBD(m)	10.45	6.42
Inclination Axis (deg)	125.2	



... GZ CURVE ...

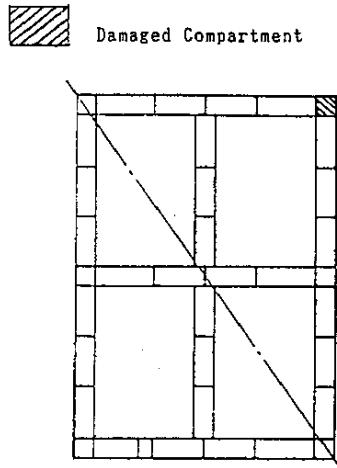


... GZ CURVE ...



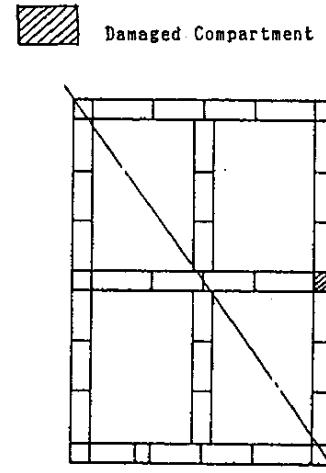
DAMAGED STABILITY

計算結果（風無し釣合状態）		
浸水区画	発電機／電気室／空所	
Condition	Intact condition	Damaged condition
deg (m)	9.0	10.93
Trim (deg)	0.0	3.38
Heel (deg)	0.0	-3.4
Min.FBD(m)	10.45	3.08
Inclination Axis (deg)	125.2	

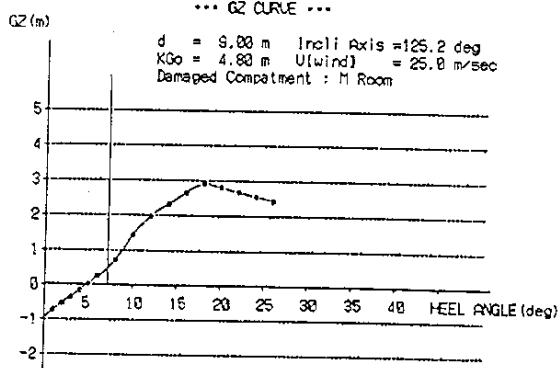


DAMAGED STABILITY

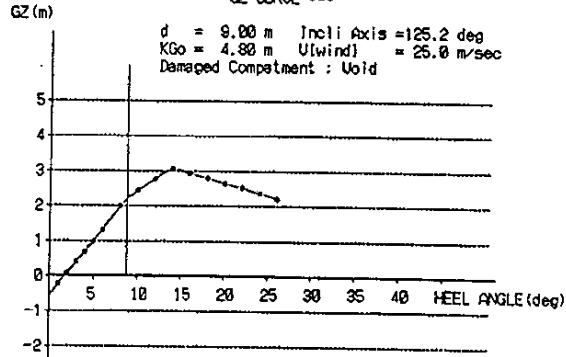
計算結果（風無し釣合状態）		
浸水区画	空所（中央部）	
Condition	Intact condition	Damaged condition
deg (m)	9.0	10.19
Trim (deg)	0.0	2.11
Heel (deg)	0.0	0.0
Min.FBD(m)	10.45	7.91
Inclination Axis (deg)	125.2	



... GZ CURVE ...



... GZ CURVE ...

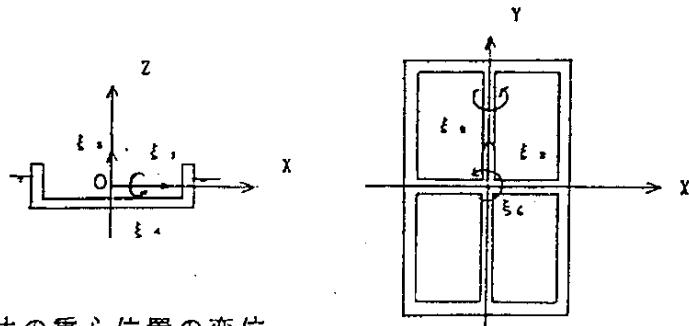


8. 波浪中運動特性

(1) 規則波中運動応答特性

下図の座標系に対して、規則波中における浮体の重心位置の運動は、次の運動方程式を解くことにより求められる。

$$\sum_{k=1}^6 (m_{ik} + M_{ik}) \ddot{\xi}_k + N_{ik} \dot{\xi}_k + C_{ik} \xi_k = F_i \quad (i = 1, 2, \dots, 6)$$



ここで、

ξ_k : 浮体の重心位置の変位

$k = 1$: Surge $k = 2$: Sway $k = -3$: Heave

$k = 4$: Roll $k = 5$: Pitch $k = 6$: Yaw

m_{ik} : 慣性質量係数

M_{ik} : 付加慣性質量係数

N_{ik} : 減衰係数

C_{ik} : 浮力による復原力係数

F_i : 波強制力

数値計算では、付加慣性質量係数 (M_{ik})、減衰係数 (N_{ik})、および波強制力 (F_i) は、セミサブリグに対して通常用いられるHooft 法により計算した。

係留系およびウラン吸着室は無いものとし、その影響は考慮していない。

以上の計算方法に従って求めた浮体の運動応答特性は次のとおりである。

図8-1 : Surgeの応答関数

図8-2 : Sway の応答関数

図8-3 : Heaveの応答関数

図8-4 : Roll の応答関数

図8-5 : Pitchの応答関数

図中の ξ_{1A} , ξ_{2A} , ξ_{3A} , ξ_{4A} , ξ_{5A} は、それぞれ Surge, Sway, Heave, Roll, Pitch の運動の片振幅を示し、 ξ_A は波振幅（波高の1/2）を意味する。

(2) 不規則波中の運動特性

浮体の運動の規則波中応答関数が求められると、波スペクトルとの重ね合わせにより、不規則波中の運動のエネルギースペクトラルは次式により計算できる。

$$S_k(\omega) = S_w(\omega) \{f_k(\omega)\}^2 d\omega$$

ここで、

$S_k(\omega)$: 運動のエネルギースペクトル ($k = 1, 2, \dots, 6$)

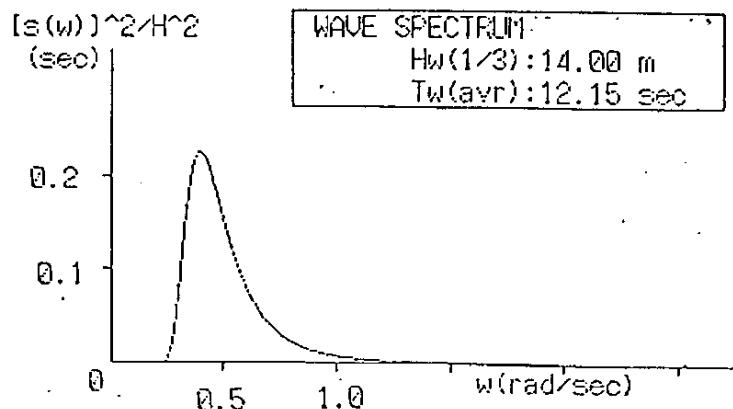
$S_w(\omega)$: 波スペクトル

$f_k(\omega)$: 規則波中の運動応答関数 ($k = 1, 2, \dots, 6$)

ω : 波の円周波数

計算に使用した波スペクトルは、ISSC(1964)-Pierson Moskowitz型波スペクトルで、次式で与えられる。

$$S_w(\omega) = 1/(2\pi) 0.11 H_w^2 T_w (T_w/(2\pi) \omega)^{-5} \exp\{-0.44(T_w/(2\pi) \omega)^{-4}\}$$



運動の標準偏差 R は、不規則波中の運動のエネルギースペクトラルを ω について積分することにより求められ、次の様になる。

$$R_k^2 = \int_0^\infty S_k(\omega) d\omega$$

運動の有義値および運動の最大期待値を表8-1に示す。

計算は暴風時の波浪条件について行った。

図 8-1 : Surge の応答関数

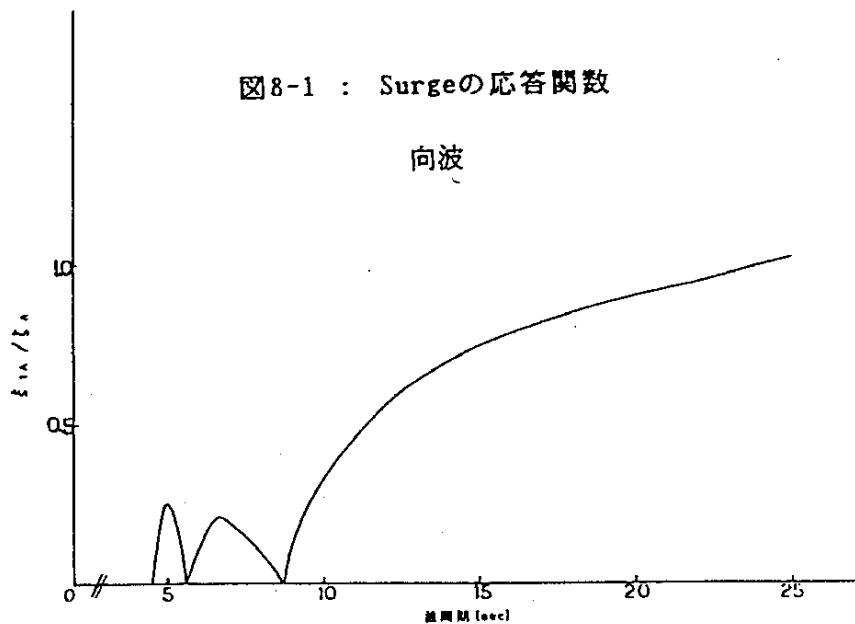


図 8-2 : Sway の応答関数

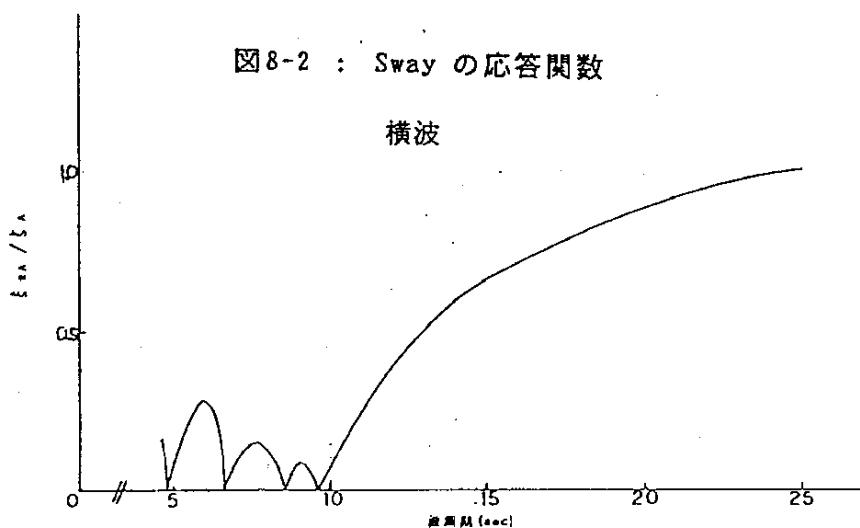


図 8-3 : Heave の応答関数

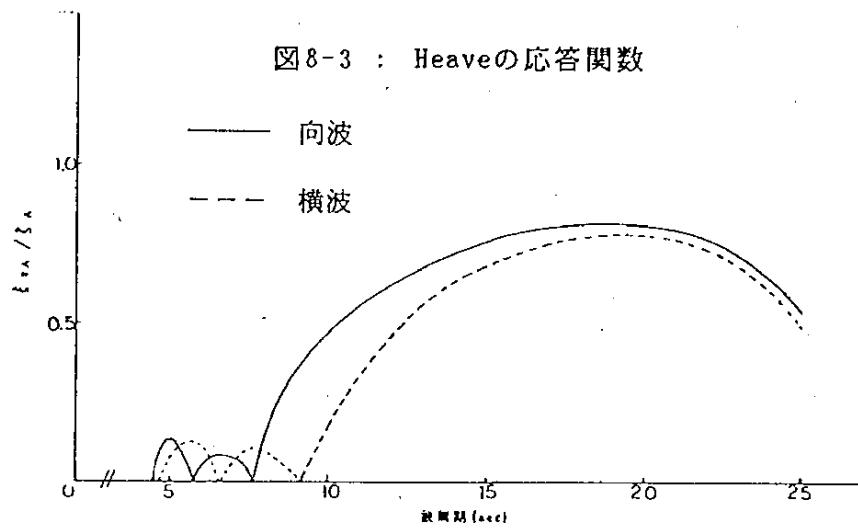


図 8-4 : Roll の応答関数

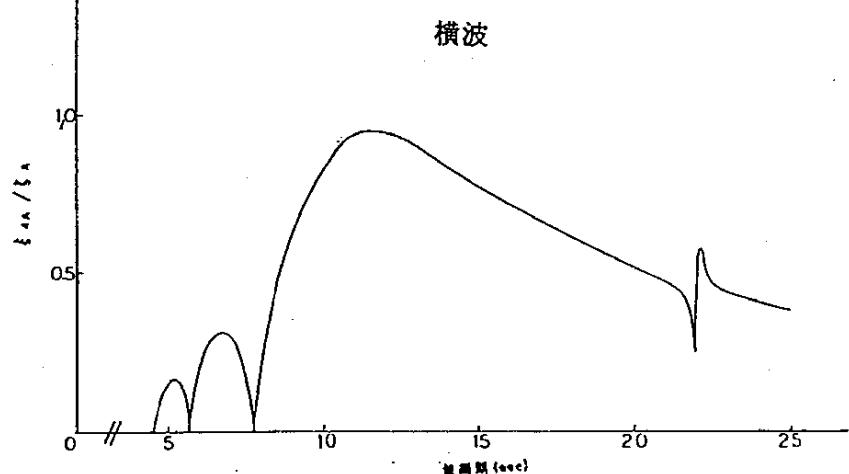


図 8-5 : Pitchの応答関数

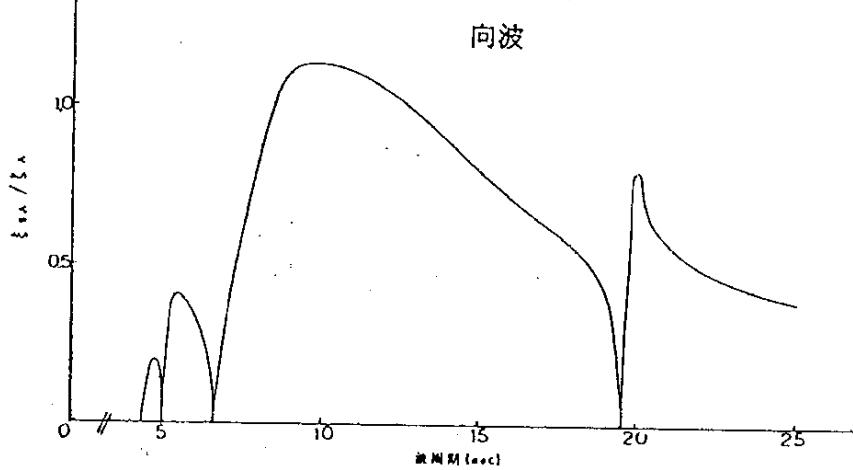


表 8-1運動の有義値および最大期待値

$H_{1/3}=14\text{ m}$	Surge		Sway		Heave		Roll		Pitch		
	T = 15 sec	向 波	横 波	向 波	横 波	向 波	横 波	向 波	横 波	向 波	横 波
有 義 値		4.6m	—	—	4.1m	4.5m	4.0m	—	4.7°	5.3°	—
最大期待値		9.2m	—	—	8.2m	9.0m	8.0m	—	9.4°	10.6°	—

・有義値および最大期待値は片振巾を示す。

・最大期待値= (有義値) × 2 とした。

9. 構造

本浮体は、鋼製溶接構造物とし、海中部の枠組構造（ロワーハル）と、枠組構造上に設けられ海面上に突出する塔構造（コラム）および枠組構造間に設けられ海水ウラン吸着室を支持する桁材より構成されるものとする。本桁材は、枠組構造の外力による変形に対応可能なように枠組構造上に搭載するのみで剛接しないこととする。

枠組構造は縦助骨構造とし、横置隔壁は防撓材付平板構造とする。

なお、海水ウラン吸着室の両端支持点の相対変位を緩和することを主な目的として、「吸着・脱離いかだの概念設計」に示された枠組構造に対し、十字形の構造を追加した形状としている。

10. 構造強度

(1) 構造設計基準

(a) 使用材料

枠組構造物 S M 5 0 及び相当材

吸着剤区画室支持桁 S M 4 1

(b) 許容応力

	長期荷重	短期荷重
S M 5 0	17.0 kg/mm ²	25.5 kg/mm ²
S M 4 1	14.0 kg/mm ²	21.0 kg/mm ²

(日本港湾協会「港湾の施設の技術上の基準 同解説」平成元年6月)

但し、部材寸法算定のパネルに関しては、N K鋼船規則に準じ、膜力を考えない塑性崩壊強度に対し、安全率を1.5として設計を行う。

(c) 荷重条件

全体構造強度を評価するに当たっては、L.W.分布と積付け条件により静水中にて生じる部材力と、波浪外力による部材力を評価する必要がある。海洋構造物に作用する波浪外力は波方向によって厳しい波長が異なり、ここでは次の3種の波浪条件を選択し全体強度評価を行う。

波方向	波周期 (sec)	波 長 (m)	波 高* (m)	* 有義波高 (H _{1/3})
正 面	10.0	158	11.0	
横	8.5	112	9.0	
斜 め	9.4	137	10.0	

また、局部荷重としては、波浪に対し本構造物が動搖しないと仮定し、波高を設計最大波高である 28mとして設計を行う。

(d) 腐食予備厚

(社) 全国沿岸漁業振興開発協会「沿岸漁業整備開発事業構造物設計指針」昭和59年度版によると、1年当りの鋼材の平均的腐食速度は下表のように示されている。

腐食環境	腐食速度 (mm/年・片面)	
H.W.L.以上	0.3	H.W.L. : 大潮平均 高潮面
H.W.L.と海底間	0.1	

そこで、20年という設計寿命を考慮し、

$$\text{吃水線以上} \cdots \cdots \cdots \cdots 20\text{年} \times 0.3 + 2.5/2 = 7.25 \text{ mm}$$

$$\text{吃水線以下} \cdots \cdots \cdots \cdots 20\text{年} \times 0.1 + 2.5/2 = 3.25 \text{ mm}$$

とする。

(ここで、外洋に接しない内面についてはNK鋼船構造規則を準用し、20年相当での腐食予備厚2.5mmの片面分を考慮している。)

(e) 最小板厚

海洋構造物の最小板厚は、Det norske Veritas(DnV) のMOBILE OFFSHORE UNITルールPt.3 ch.1 Sec.6 に参考となる規則があり、それを準用する。

S M 4 1 の場合、 $t = 7 \text{ mm}$

S M 5 0 の場合、 $t = 6.5 \text{ mm}$

(2) 全体構造強度評価

塔構造、枠組構造を3次元骨組構造としてモデル化し、静水中および波浪中の部材力を算定し、許容応力により評価を行う。

3次元骨組構造モデルを図10-1に示す。

波浪荷重は、前項の3種の波浪により枠組構造に働く流体力を算定し、静的荷重として適用する。不平衡力は慣性力として再配分される支持方式を採用する。

各荷重状態の計算結果を図10-2～図10-5に示す。

また、各荷重状態の部材力最大値および静水中+波浪中の最大値と応力を表10-1にまとめる。

表10-1全体構造強度解析結果 最大部材力

部材力		縦曲げ モーメント (t-m)	水平曲げ モーメント (t-m)	捩り モーメント (t-m)	縦剪断力 (t)	水平剪断 力 (t)	軸力 (t)
荷重状態							
静 水 中		4,040	Nil	600	230	Nil	Nil
波 浪 中	正面 波 (波 頂)	14,700	4,680	1,650	630	530	1,230
	正面 波 (波 谷)	7,070	2,820	1,520	390	400	730
	横 波	29,500	820	1,340	750	110	150
	斜 波	17,400	3,700	10,500	740	340	500
静 水 中 +	正面 波 (波 頂)	18,740 (14.1)	<u>4,680</u> (4.0)	2,250 (2.7)	860 (7.6)	<u>530</u> (1.1)	<u>1,230</u> (1.6)
	正面 波 (波 谷)	11,110 (8.4)	2,820 (2.4)	2,120 (2.5)	620 (5.5)	400 (0.8)	730 (0.9)
	横 波	<u>33,540</u> (25.2)	820 (0.7)	1,940 (2.3)	<u>980</u> (8.6)	110 (0.2)	150 (0.2)
	斜 波	21,440 (16.1)	3,700 (3.2)	<u>11,100</u> (13.2)	970 (8.5)	340 (0.7)	500 (0.6)
断面性能		1.33 $\times 10^6$ cm ³	1.17 $\times 10^6$ cm ³	8.4 $\times 10^5$ cm ³	1,136 cm ²	4,824 cm ²	7,920 cm ²

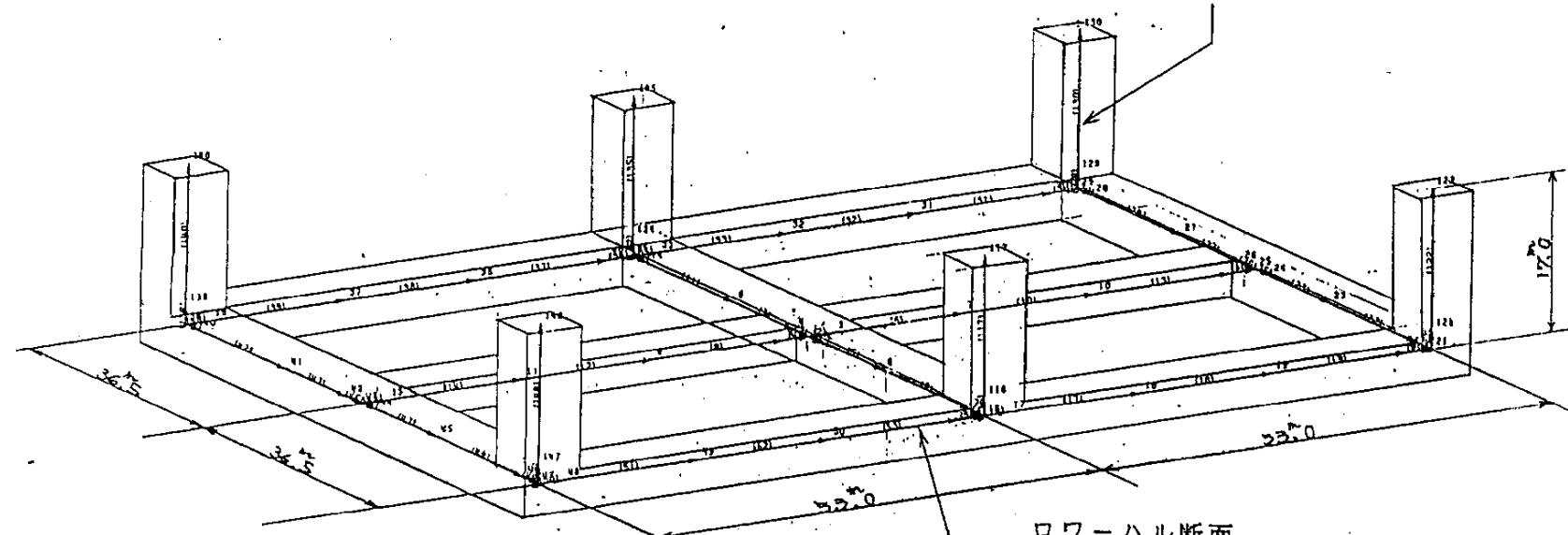
注) 部材力の下の()内は、応力値 (kg/mm²) を示す。 は、各部材力の最大を示す。

** JAMSTEC 2157652 ** 11.2.11.06 **
** CRITICAL STRENGTH **

2157652 JAMSTEC URAN PLANT BARGE

コラム断面

	$A = 0.665 \text{ m}^2$	$I_y = 4.02 \text{ m}^4$
	$A_g = 0.332 \text{ m}^2$	$I_x = 4.02 \text{ m}^4$
	$A_s = 0.332 \text{ m}^2$	$J = 5.78 \text{ m}^4$



ロワーハル断面

	$A = 0.824 \text{ m}^2$	$I_y = 2.77 \text{ m}^4$
	$A_g = 0.222 \text{ m}^2$	$I_x = 3.82 \text{ m}^4$
	$A_s = 0.602 \text{ m}^2$	$J = 4.86 \text{ m}^4$

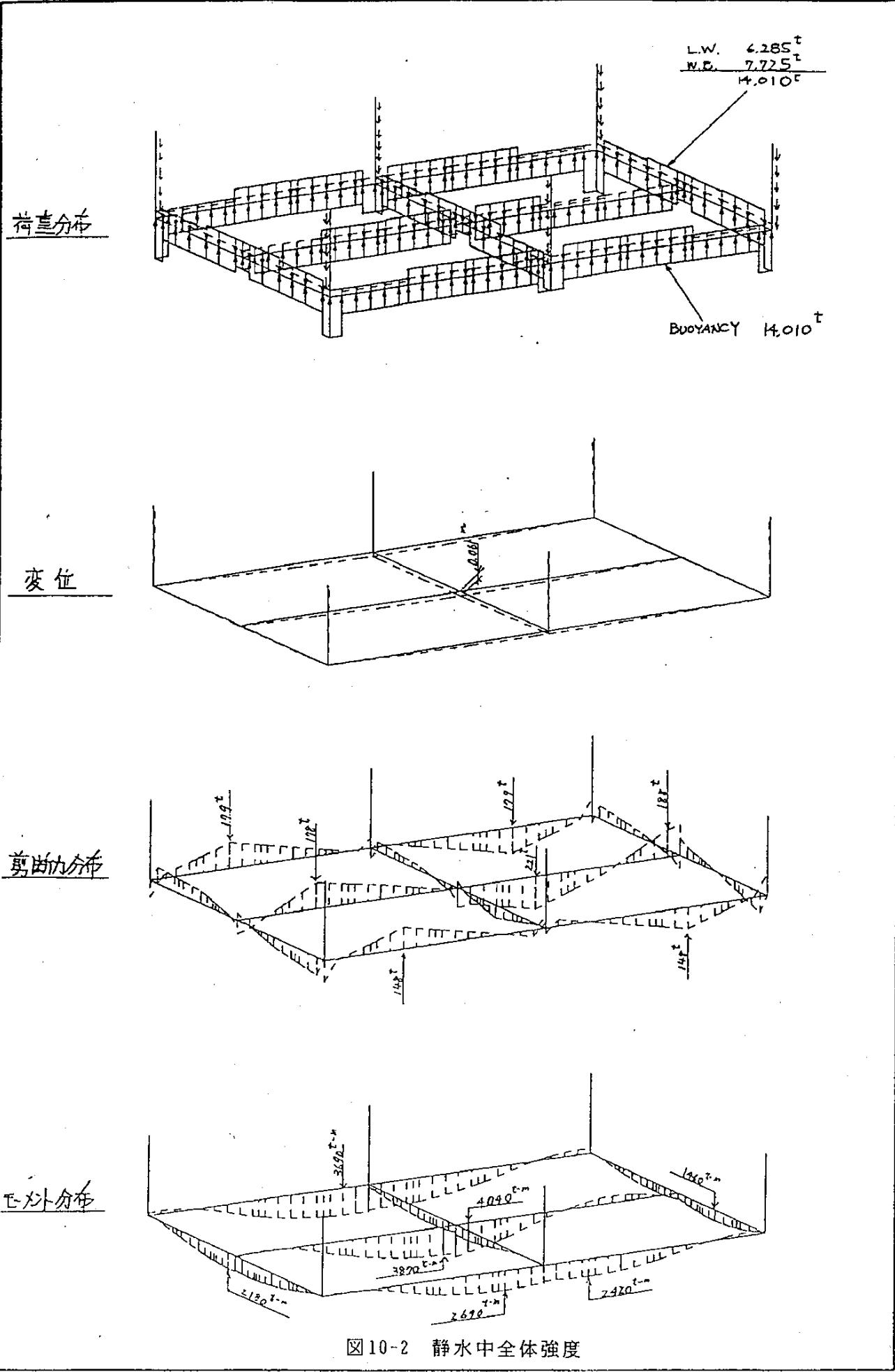


図 10-2 静水中全体強度

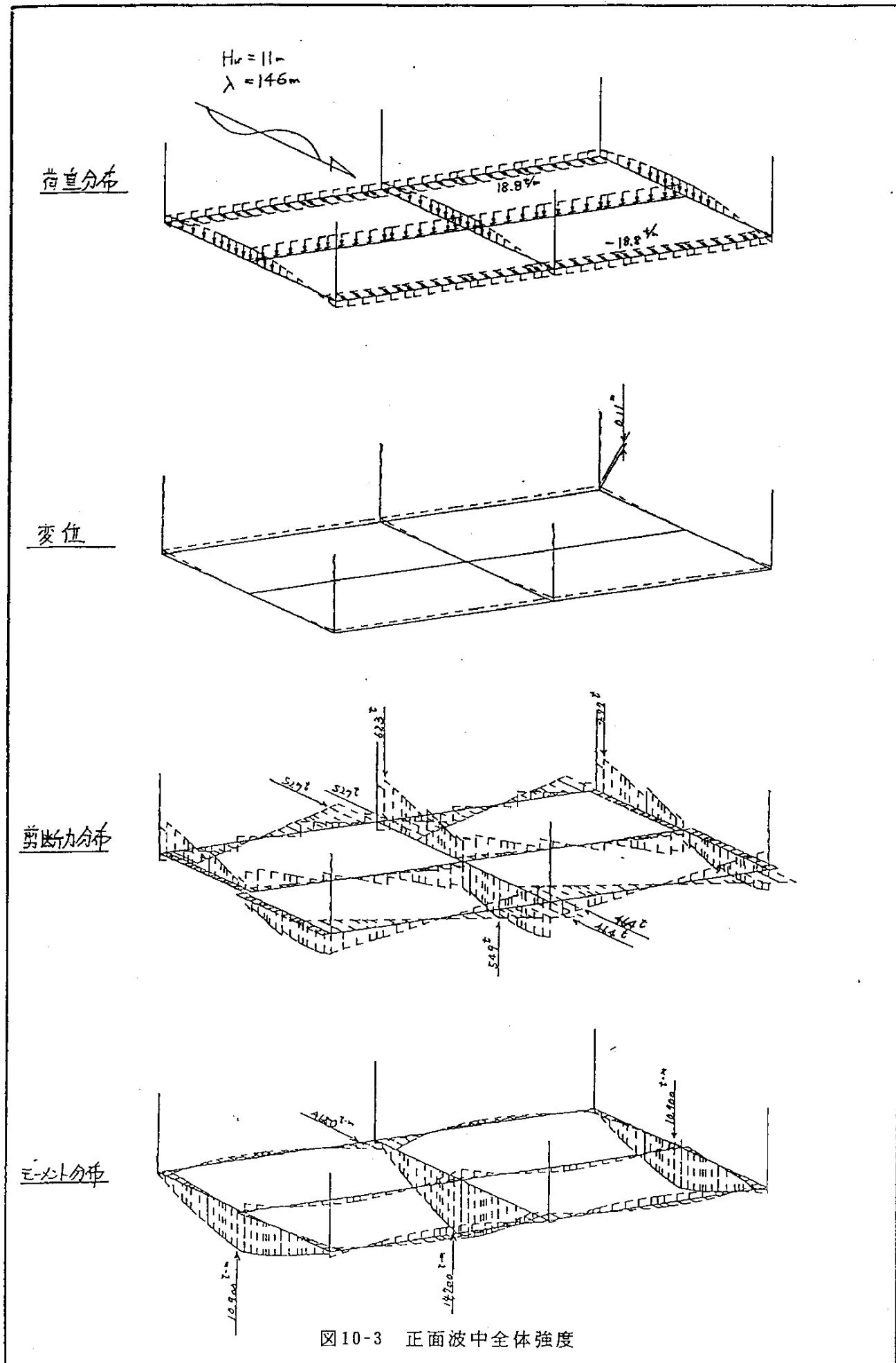


图 10-3 正面波中全体强度

荷重分布

$$H_W = 9 \text{ m}$$

$$\lambda = 106 \text{ m}$$

変位

剪断力分布

モーメント分布

図 10-4 横波中全体強度

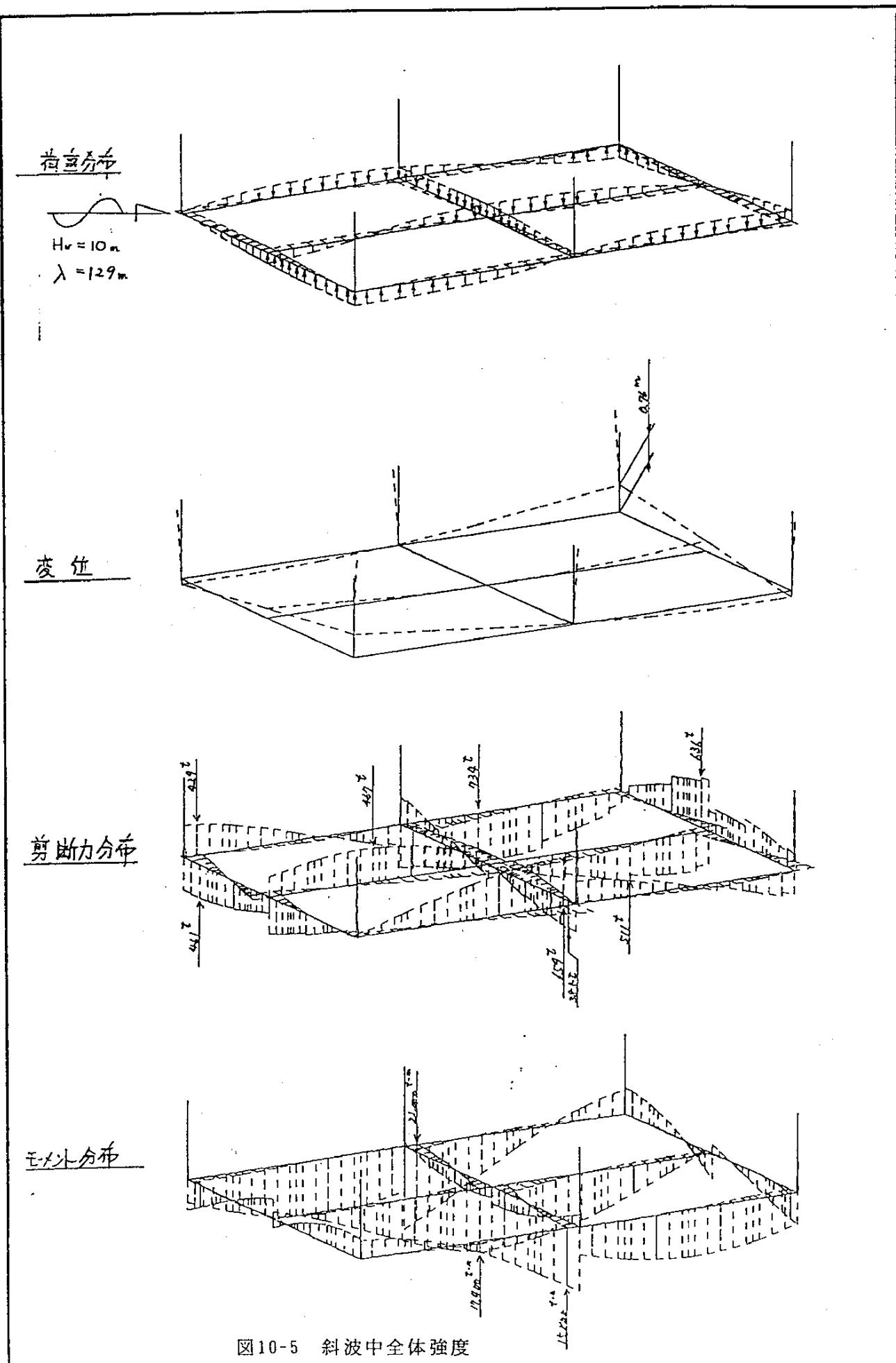


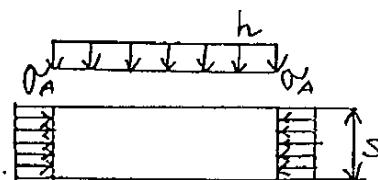
図10-5 斜波中全体強度

(3) 部材寸法の算定

(a) 枠組構造(ローワーハル)の板材

帯板の塑性崩壊強度に対し、安全率 C_p を1.5として要求板厚を算定する。

$$t_{req} = \sqrt{\frac{250 \cdot C_p \cdot h}{\sigma_y}} \cdot s \cdot C_{al} + t_c$$



ここで、

$$C_p = \text{安全率} (= 1.5)$$

$$\sigma_y = \text{耐力} \quad \begin{cases} 30 \text{ kg/mm}^2 & : \text{底板と頂板 (SM50)} \\ 24 \text{ kg/mm}^2 & : \text{側板 (SM41)} \end{cases}$$

$$h = \text{水頭 (m)} = 9.0 \text{ m} + 28 \text{ m}/2 = 23.0 \text{ m}$$

$$C_{al} = \text{全体構造強度より得られる応力 } (\sigma_a) \text{ の影響係数}$$

$$= 1 / \sqrt{2 (1 - \sigma_a / \sigma_y)}$$

$$\text{但し、} \sigma_a / \sigma_y < 1/2 \text{ の場合は、} \sigma_a / \sigma_y = 1/2$$

・頂板及び底板

$$\sigma_a = 25.2 \text{ kg/mm}^2 \quad C_{al} = 1.77$$

・側板

$$\sigma_a = 4.0 \text{ kg/mm}^2 \quad C_{al} = 1.0$$

$$t_c = \text{腐食予備厚} (= 3.3 \text{ mm})$$

・頂板及び底板

$$t_{req} = \sqrt{\frac{250 \times 1.5 \times 23.0}{30}} \times 0.75 \times 1.77 + 3.3 = 25.8 \text{ mm}$$

$$\underline{t_{act} = 43.5 \text{ mm}}$$

・側板

* : 全体構造強度評価より

$$t_{req} = \sqrt{\frac{250 \times 1.5 \times 23.0}{24}} \times 0.75 \times 1.0 + 3.3 = 17.5 \text{ mm}$$

$$\underline{t_{act} = 17.5 \text{ mm}}$$

(b) 枠組構造（ロワーハル）の防撓材

N K 鋼船規則 C.6.4.3を準用し、

$$Z_{req} = \frac{100 c}{(\sigma_y - \sigma_a)} \cdot h \cdot s \cdot l^2 \text{ (cm}^3\text{)}$$

ここで、

$$c = 1.0$$

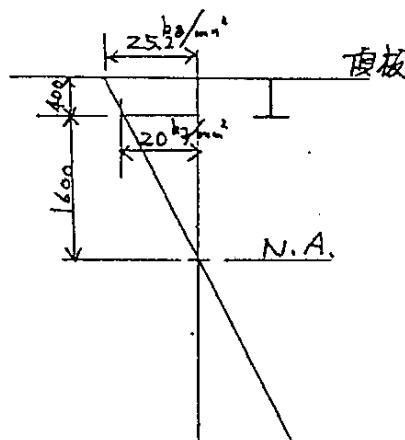
σ_y = 耐力 ($= 30 \text{ kg/mm}^2$) : 頂板及び底板 (S M 5 0)

$$h = 23 \text{ m}$$

$$l = 3.1 \text{ m}$$

$$s = 0.75 \text{ m}$$

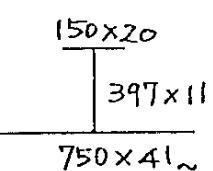
$$\sigma_a = 20 \text{ kg/mm}^2$$



$$Z_{req} = \frac{160 \times 1.0}{(30 - 20)} \times 23 \times 0.75 \times 3.1^2 = 1,660 \text{ cm}^3$$

$$Z_{act} = 1,816 \text{ cm}^3$$

側板の防撓材の寸法も同一とする。



11. 防食方法

設計寿命20年、無補修であることを考慮し、次の防食仕様とする。

枠組構造及び塔構造外面・・・・・・・・・・・・ガラスフレーク入りエポキシ塗料

+

アルミアノード

稀釈塩酸／ウラン脱離液兼用タンク・・・・タールエポキシ塗料

同予備タンク、海水／ウラン洗浄液

兼用タンク、同予備タンクおよび

バラストタンク

35%HClタンクおよび 25%NaOHタンク・・・・エポキシ塗料

ポンプ室等機器室・・・・・・・・・・・・塩化ゴム系塗料

12. 建造コスト

本体構造 16 億円

アノード 0.2 億円

注)

1. コストは平成元年度ベースで算出。
2. 本体構造には、吸着剤区画室を含む。但し、サポート構造のみとし網等の
機器は除く。

IV. 今後の課題

本海水ウラン回収プラントのウラン回収方法は、「波面上昇時には吸着剤が舞い上がって流動床になり吸着室内に海水が流入するが、波面下降時には吸着剤は沈降し網に詰まって固定床になるため海水の流動を阻害する。このような行程を繰り返すため、吸着剤があたかも逆止弁的な働きを行い、これによって、海水は下から上へ常に一方的な流れになる。したがって、常に“新鮮な”すなわち一度もウラン吸着行程を経たことがない海水を取り入れることが可能となる。ということで特徴づけられる。

このことは、構造物側からみれば、波面下降時には、波力の影響をもろに受けるということを意味する。従って、この波力をどの様にして評価するか。それを吸着室の構造設計にどの様に反映するか。また、波面上昇および波面下降時の上記のメカニズムを浮体の運動特性の解析にどの様に組み込んで行くか等が、今後の大変な検討課題の一つであると考えられる。

V . 参考文献

- 1) 海洋科学技術センター : 低濃度ウラン溶液からのウラン採取システムの技術開発
- 波エネルギー利用方式に関する調査研究 -
(動力炉・核燃料開発事業団 委託研究成果報告書) 1987年3月
- 2) 捜田 平ほか : 波運動を利用した海水ウラン採取法に関する研究(その1)、海洋科学技術センター試験研究報告 JAMSTEC TR 15 (1985)
- 3) 捜田 平ほか : 波力利用海水ウラン回収システムについて、第2回波浪エネルギー利用シンポジウム 昭和62年6月4日 捜田 平ほか
: 波力利用海水ウラン採取システムの開発、海洋科学技術センター試験研究報告 JAMSTEC TR 19 (1988)

第2編

海水ウラン回収プラント係留システム

— 目次 —

	頁
1. 概要	1
2. 設計条件	1
3. 試設計の基本的条件	1
4. 係留力の検討	2
4. 1 定常外力	2
4. 2 水平変位量	4
4. 3 係留要目の検討	5
5. 振れ回り運動	6
6. 係留作業要領	6
7. 今後の課題	7
8. 建造及び現地設置作業コスト	8

1. 概 要

図-1に示すカテナリー・ブイ・シンカー係留システムについて検討する。

係留システムの構成は以下のとおり

ヨーク：鋼構造、本体とは2点ピンにて取り合い、ブイとはユニバーサルジョイントにて取り合う構造とする。

ブイ：円筒形鋼構造、上部はユニバーサルジョイントによりヨークと結合できる構造とする。

係留索：係留索はJIS第3種アンカーチェーンとし、その上端はブイに結合し、下端はシンカーに結合する。

シンカー：コンクリート製とし、係留力に対して充分な把駐力を持つ重量とする。

2. 設計条件

「低濃度ウラン溶液からのウラン採取システムの技術開発」（動・燃依託研究成果報告書1987年）に基づき以下とする。

暴風時最大：

風速（平均）	4.0 m/s
有義波高	1.4 m
平均波周期	1.5 秒
海流	1.0 m/s

通常時（製練船連結時）：

風速（平均）	8 m/s
有義波高	1.0 m
平均波周期	5.0 秒
海流	1.0 m/s

係留場所水深：200m

3. 試設計の基本的条件

- (1) 「吸着・脱離いかだ」の主要寸法は図-2に示すとおりとする。
- (2) ブイ変位量は「吸着・脱離いかだ」本体の変位と同じとし、本体の動揺実験結果から求める。

4. 係留力の検討

以下の手順により検討を行う。

風、潮流、波により「吸着・離脱いかだ」が受ける定常外力を算定する。波浪中における水平変位量は動揺実験結果より推定する。定常外力、水平変位量に基づき係留要目の検討を行なう。

4. 1 定常外力

(1) 風荷重 F_a

以下の式により算出する。

$$F_a = 0.0625 \times A \times C_s \times C_h \times V_a^2$$

ここに、 A : 浮体海面上部の投影面積 (m^2)

C_s : 形状係数

C_h : 高度係数

V_a : 設計風速 (m/s)

項目	面積 A	C_s	C_h	$A \cdot C_s \cdot C_h$
コラム 6 本	$6 \times 10 \times 6 = 360$	1.0	1.0	360

暴風時荷重 (風速40m/s)

$$F_a = 0.0625 \times 360 \times 40^2 \times 10^{-3} = 36.0 \quad (\text{t})$$

通常時荷重 (風速8m/s)

$$F_a = 0.0625 \times 360 \times 8^2 \times 10^{-3} = 1.4 \quad (\text{t})$$

(2) 潮流荷重 F_c

以下の式により算出する。

$$F_c = \frac{\omega_0}{2g} \times A \times C_d \times V_c^2$$

ここに、 A : 浮体水中部の投影面積 (m^2)

ω_0 : 海水の単位体積重量 (1.025t/m^3)

g : 重力加速度

C_d : 抗力係数

V_c : 設計流速 (m/s)

船首尾方向の流れに対して、ロワーハル水平構造部材は約30mの間隔を置いて並んでおり、流れの影響は3本共考慮することとした。

項目	面積 A	Cd	A · Cd
水平構造部材	$112 \times 5 \times 3 = 1680$	1.0	1680
コラム 6 本	$6 \times 5 \times 6 = 180$	1.0	180
吸着区画	$47 \times 1 \times 2 = 94$	1.0	94
		合計	1954

潮流荷重（暴風時、通常時共 流速 1.0m/s）

$$F_c = \frac{1.025}{2 \times 9.8} \times 1954 \times 1.0^2 = 102.2 \quad (\text{t})$$

(3) 波漂流力 F_d

以下の式 (API 「THE ANALYSIS OF SPREAD MOORING SYSTEMS FOR FLOATING UNITS」 1984) により算出する。

$$F_d = C_d \times \sum D^2 \times \left(\frac{H_s}{T_s} \right)^2$$

ここに、 Cd : 漂流力係数 ($119.8 \text{kg} \cdot \text{sec}^2 / \text{m}^4$)

D : コラム直徑 (m)

H_s : 有義波高 (m)

T_s : 有義周波数 (sec)

暴風時荷重（有義波高14m、波周期15秒）

$$F_d = 119.8 \times 6^2 \times 6 \times \left(\frac{14}{15} \right)^2 \times 10^{-3} = 22.5 \quad (\text{t})$$

通常時荷重（有義波高1m、波周期5秒）

$$F_d = 119.8 \times 6^2 \times 6 \times \left(\frac{1}{5} \right)^2 \times 10^{-3} = 1.0 \quad (\text{t})$$

(4) 定常外力 F

風、潮流、波による定常外力の合計は暴風時及び通常時のそれぞれについて以下のとおり。

	<u>暴風時</u>	<u>通常時</u>
風荷重	36.0t	1.4t
潮流荷重	102.2t	102.2t
波漂流力	22.5t	1.0t
合計	160.7t	104.6t
S A Y	165 t	105 t

4. 2 水平変位量 x_a

波浪中における水平変位量は「吸着・離脱いかだ」の規則波中の実験結果（海洋科学技術センター殿にて実施）より推定した。

図-3に示すサージ応答値より水平変位量を求めた。

<u>周期(秒)</u>	<u>波高(m)</u>	<u>λ / B</u>	<u>x_a / h_a</u>	<u>x_a</u>
15	14.0	3.13	0.1	0.7
5	1.0	0.35	0.1	0.1
*10	15.6	1.39	0.3	2.3

*: 図-3に示す実験結果より10秒付近にピークがあり
このときの波高を波傾斜 $1/10$ として求めた。

したがって、最大水平移動量は上記計算結果より2.3mとして設定する。

4. 3 係留要目の検討

(1) 検討条件

以下の条件にて係留要目の検討を行なった。

①水深200m

②係留索の許容張力は定常外力が作用し、動搖による水平変位をした状態で、破断試験荷重に対して3以上の安全率を持つ。

③シンカーには上記②の状態においても係留索から上向きの力が作用しない。

④係留索は腐食代、摩耗代として10mmを見込む。

(2) 係留索

JIS第3種アンカーチェーンとして、上記検討条件を満足する係留索の特性をカテナリー理論により計算し図-4に示す。

図-4により水平変位2,3mの時の最大索張力T_{max}は

$$\text{最大索張力: } T_{\max} = 221 \text{ t}$$

$$\begin{aligned}\text{安全率: } & \text{ 破断試験荷重} / T_{\max} \\ & = 669 / 221 = 3.03 > 3.0\end{aligned}$$

また、水平変位した状態でシンカー点には上向きの力は生じない。したがって、係留索要目は腐食代、摩耗代10mmを見込み以下とする。

係留索径: 106 mm

索長さ : 700 m

(3) シンカー

図-4により最大索張力T_{max}に対応する水平分力は186tとなり、シンカーの必要把駐力は水平分力に余裕をみて、

必要把駐力: 190 t以上

したがって、

把駐力係数: 2.0

滑動安全率: 2.0

とすれば、シンカー重量は190t(水中)となる。

なお、把駐力は設置海底の土質、シンカーの形状等により変わるが、上記係数が確保出来るものとした。

(4) ブイ

係留索からブイに作用する鉛直力は図-4より96mm索に対して120t、106mm索に対して133tであるので、ブイに必要となる浮力はブイ自重及びヨークから受ける荷重を約150t程度と考え、
必要浮力：約300t

程度となる。

5. 振れ回り運動

「吸着・離脱いかだ」は1点により係留されているので、風、潮流、波の来る方向に対して自由に振れ回る運動をする。

設計条件に示す暴風時の風、潮流、波が同一方向から来る時、係留ブイが動く水平距離は「4. 係留力の検討」に示す係留特性図（図-4）より約660mとなる。

したがって、海水ウラン回収プラント全体の振れ回り半径は、本体とヨーク部の長さ（約150m）を加え810mとなる。

6. 係留作業要領

「海水ウラン回収プラント」を係留設置する際の設置手順、所要機材について検討する。

(1) 係留設置形態

係留形態はチェーンによる1点係留とし、図-1に示す。

チェーン、シンカーの要目を以下に示す。

チェーン：JIS第3種

呼び径 106 mm

長さ 700 m

シンカー：鉄筋コンクリート製

空中重量 340 t (水中重量 190 t)

大きさ 7 m × 7 m × 3 m 程度 (比重2.3として)

(2) 作業手順

「海水ウラン回収プラント」本体はヨークにてブイと結合された状態で設置海域まで別途曳航されて来るものとする。係留作業の概略手順を以下に記す。

①設置海底調査

- ・海底地形の調査（音響測深器等）

②係留索形成

- ・設置海域近傍の岸壁（シンカー製造工場等）にて係留鎖とシンカーをデッキバージ上に積み込み結合する。（デッキバージ）

③設置海域への移動

- ・デッキバージを設置海域まで曳航する。（曳船）

④シンカー及び係留鎖の沈設

- ・フローティングクレーン及び転錨船を使用してシンカー及び係留鎖を計画設置位置に沈設する。

⑤浮体との接続

- ・別途曳航されて来た本体をデッキバージに近接し、あらかじめブイに取り付けてある係留鎖の一部をフローティングクレーンにて吊り上げ、係留鎖を接続する。

(3) 設置所要機材

係留設置作業に必要となる主な機材を以下に示す。

フローティングクレーン	1隻
転錨船	1隻
デッキバージ	1隻
曳船	2隻
作業支援艇	1隻
海底調査用深海潜水艇	1隻

フローティングクレーン、転錨船、デッキバージ、曳船について参考図を添付する。

7. 今後の課題

上記、定常外力の検討において、水平方向の波漂流力の推定は A P I の基準に基づいて検討しておりますが、ロワーハルが本船のように浅い所にある場合には、ロワーハル（没水部）に対する波浪の影響が生じると考えられます。現在、適当な推定方法はありません。今後、モデル実験により、ロワーハルの影響も考慮した波漂流力の測定をすることが確実な方法と考えます。

8. 建造及び現地設置作業コスト

(1) 建造コスト概算

・係留鎖	: 0.35 億円
(第3種 106φ × 700m)	
・コンクリート製シンカー	: 0.20 億円

合計	0.55 億円

(2) 現地設置作業費概算

・海底調査及び設置状態の確認	: 0.48 億円
・輸送及び沈設作業	: 2.26 億円
・浮体との接続作業	: 0.24 億円

合計	2.98 億円

なお、設置海域は三宅島（東京都）付近とし、出発地は横浜（神奈川県）とした。「海水ウラン回収プラント」本体の曳航は含まれていない。

注記：

- ・上記概算コストは平成3年度をベースとする。
- ・現地設置作業費には、荒天時待機、工事・輸送・労務・第三者賠償等各種保険、官庁諸手続きの費用は含んでいません。

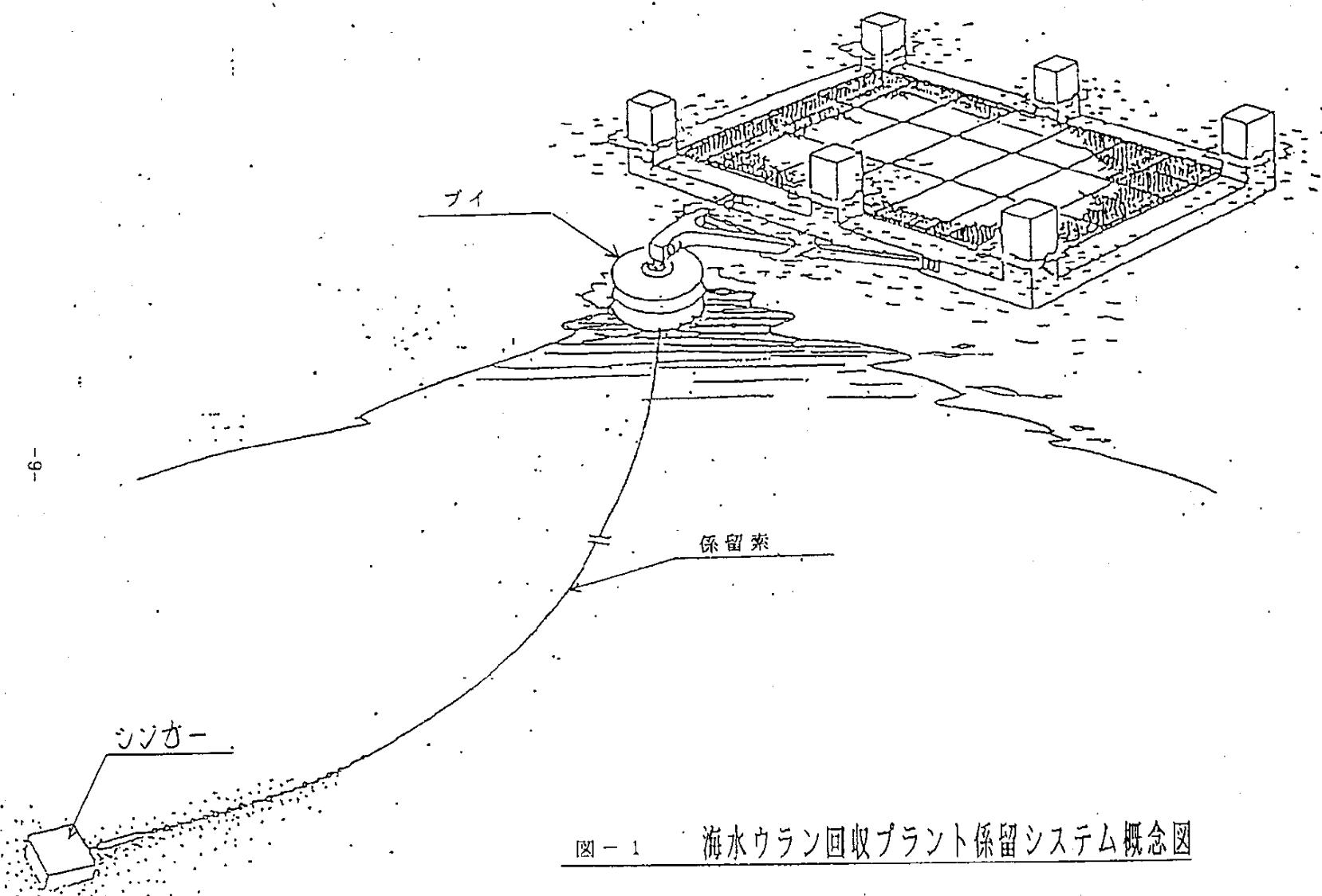
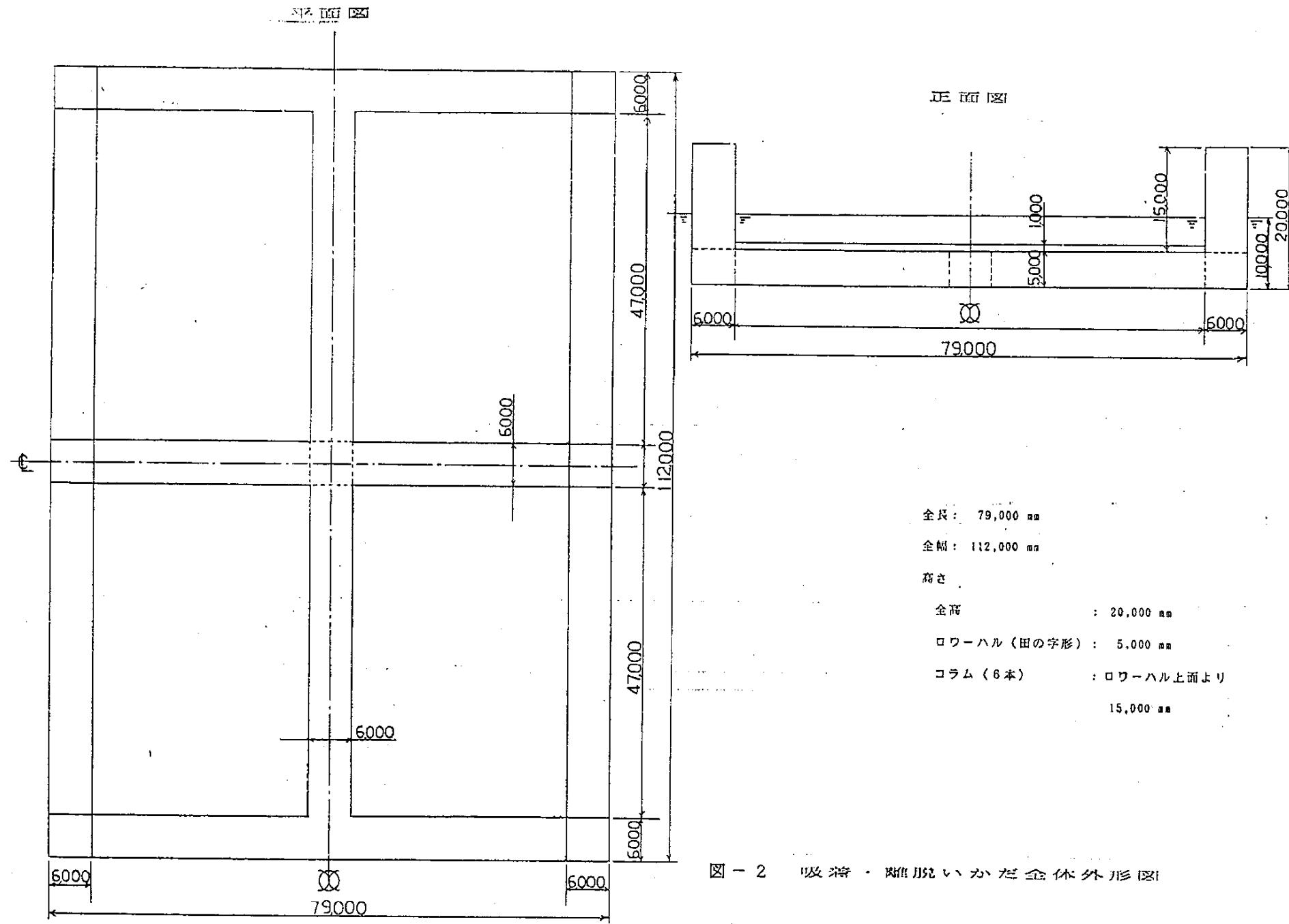


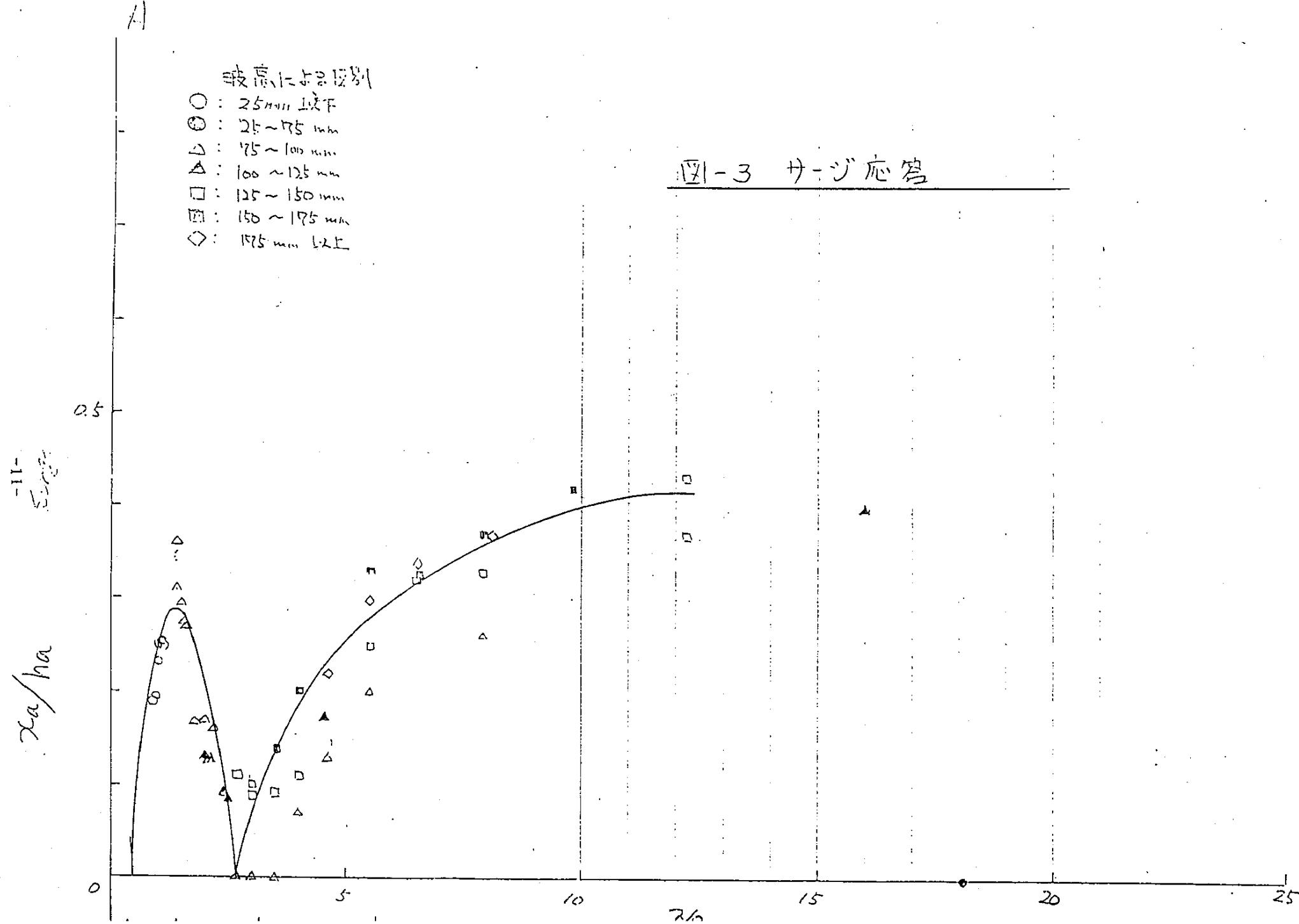
図-1 海水ウラン回収プラント係留システム概念図

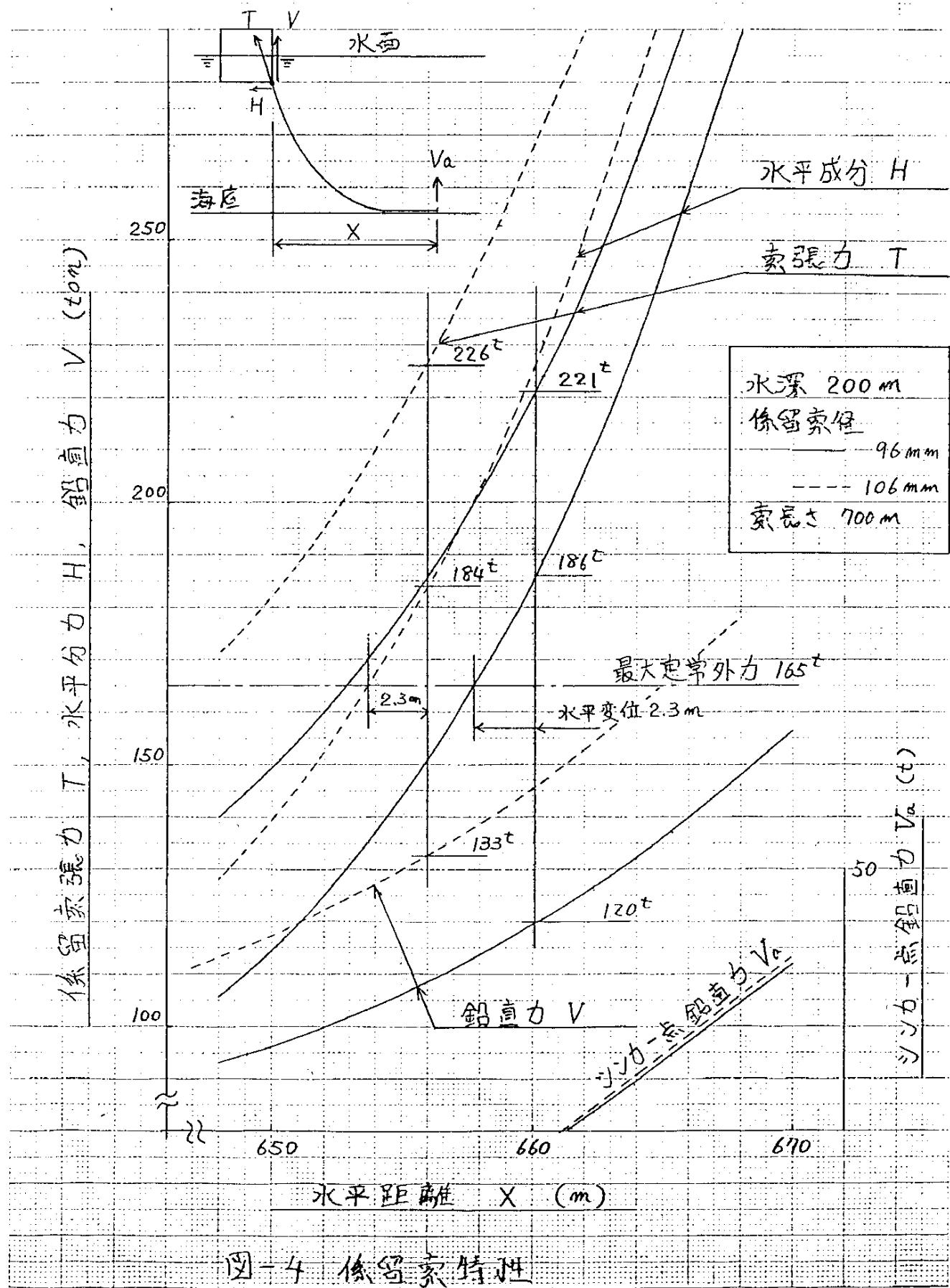


A

- 枝高 1=50 以下
- : 25 mm 以下
 - ◎: 25 ~ 75 mm
 - △: 75 ~ 100 mm
 - ▲: 100 ~ 125 mm
 - : 125 ~ 150 mm
 - : 150 ~ 175 mm
 - ◇: 175 mm 以上

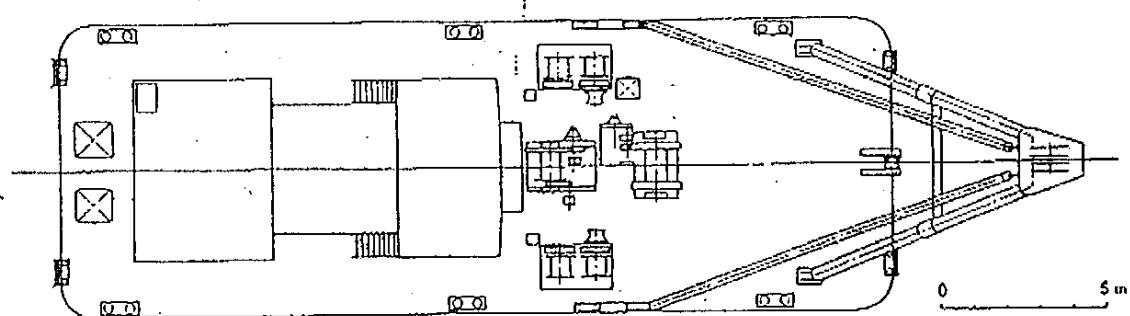
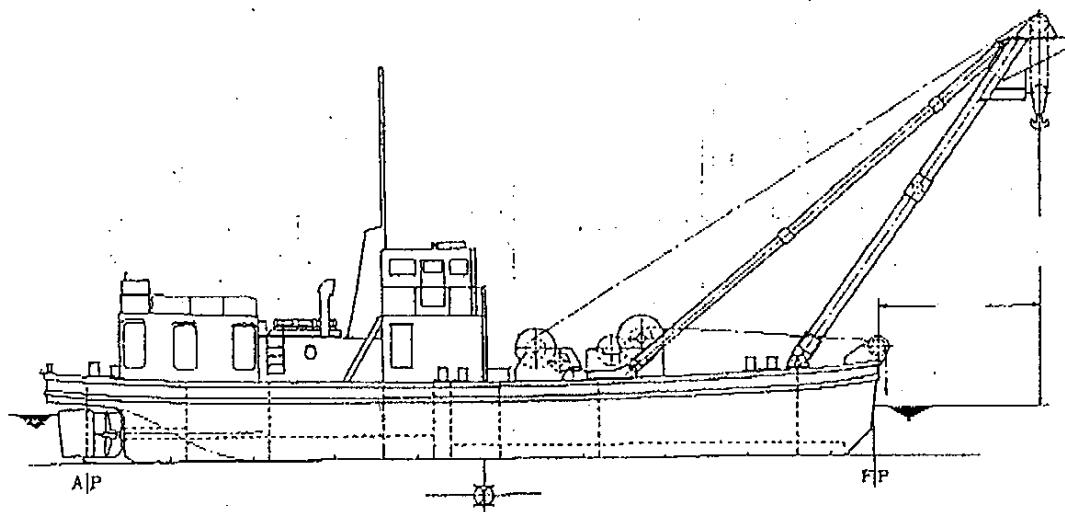
図-3 ハジ応答





長　さ（垂線間）	
幅　（型）	
深　さ（型）	
計画満載吃水	
総　屯　数	
主　機　馬　力	
航　海　速　力	
船　　級	
航　行　区　域	
信　号　符　字	
最　大　搭　載　人　員	
船　船　電　話	

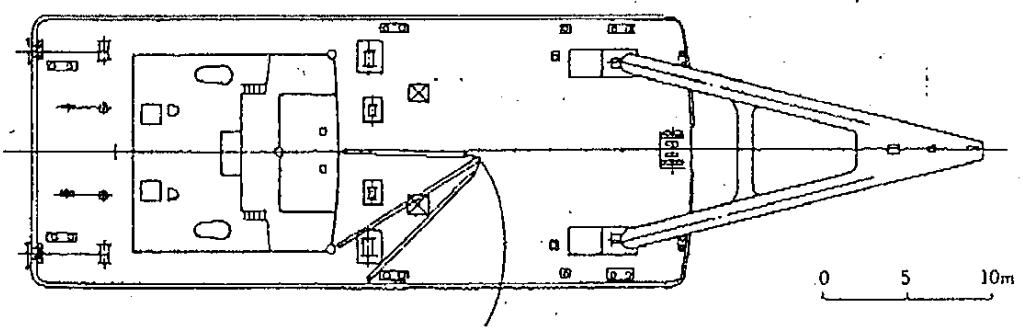
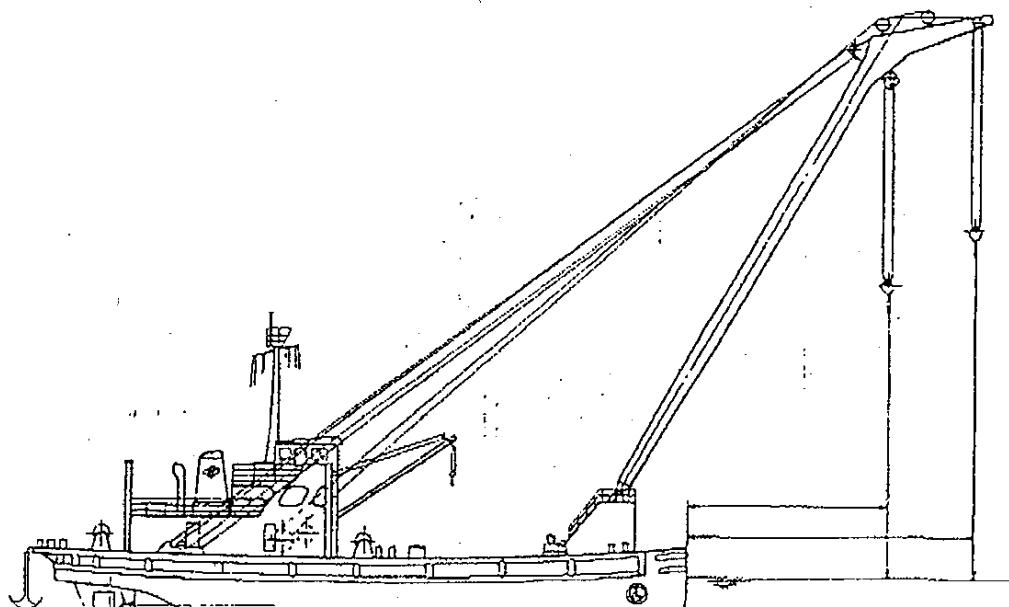
主　卷　定　格　荷　重	
揚　錨　用	
主　卷　用	
操　船　用	



(参考図) フローティングクレーン

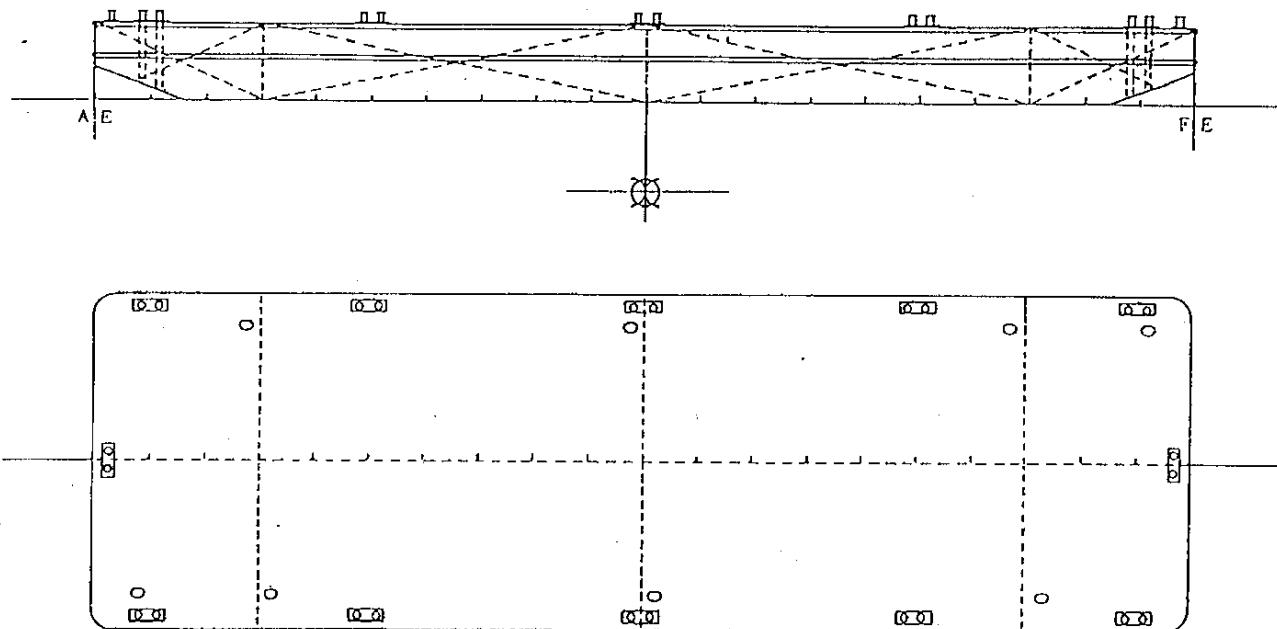
長さ(垂線間)	
幅(型)	
深さ(型)	
計画満載吃水	
総屯数	
主機馬力	
航洋速力	
船級	
航行区域	
信号符字	
最大搭載人員	
船舶電話	
アリック	

主巻定格荷重	
端用	
主捲用	
補捲用	
一本吊用	
呼達用	
操船用	
锚用	



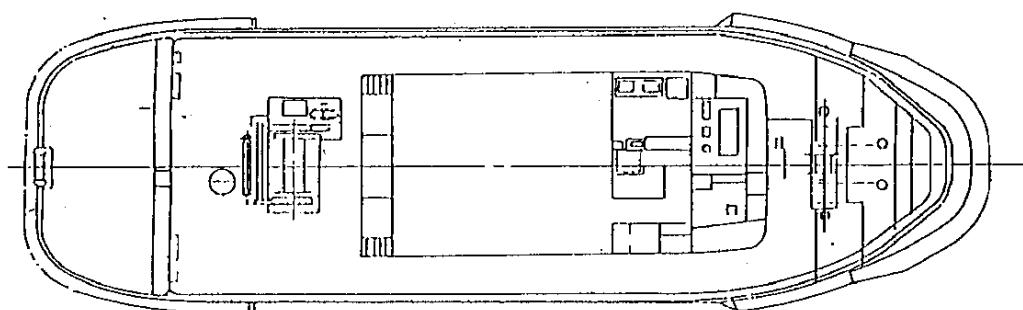
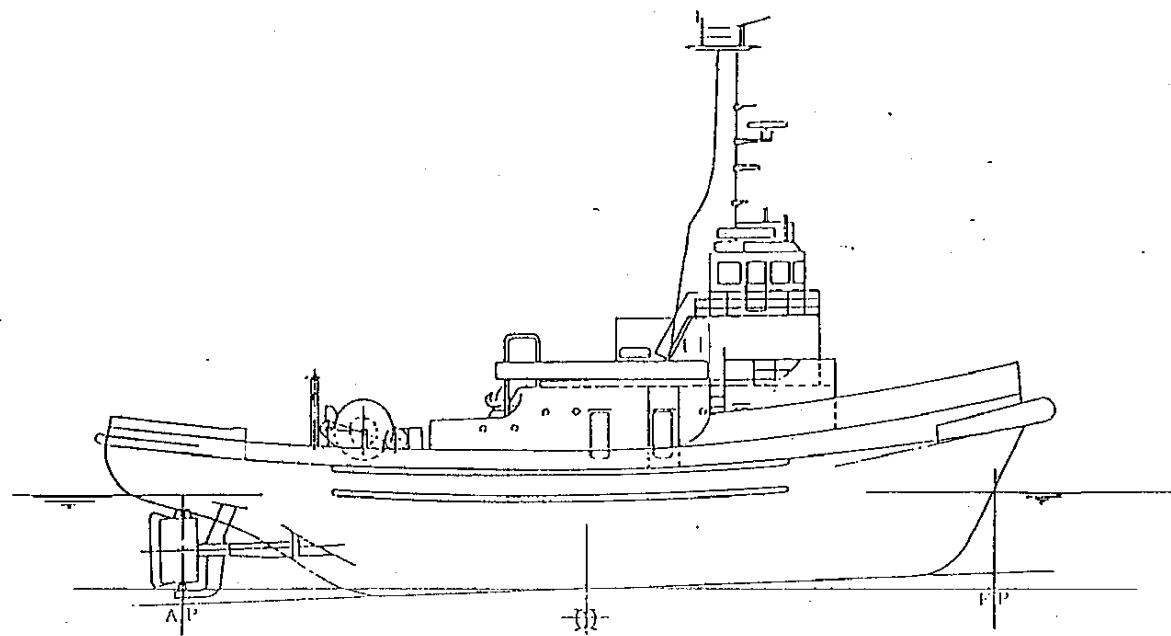
(参考図) 転錨船

長さ(全長)	
幅(型)	
深さ(型)	
満載吃水	
積荷重量	



(参考図) デッキバージ

長さ(垂線間)	
幅(型)	
深さ(型)	
計画満載吃水	
総屯数	
主機馬力	
航海速力	
曳航力	
船級	
航行区域	
信号符号	
最大搭載人員	
船舶電話	



(参考図) 曳船

0 5m

第3編

海水ウラン回収システム製鍊船の試設計

海水ウラン回収システム製練船の試設計

1. 本船の概要

本船は、海水ウラン回収システムに従事する、下記機能を有する製練船として建造される。

本船は、2重底、2重壁、2重甲板を有する完全2重殻構造の船尾部に機関室及び居住区画を配置した船首樓付全通甲板船である。

船上のプラント設備は全て鋼製建屋内に設け、外部との接触を遮断し、ウラン濃縮プラントの槽類は全て別置きタンクとし、万一の漏洩にも対処できるものとし、安全性を確保した。

① 陸上基地からA0脱離塔を搭載した浮体へ塩酸、カセイソーダ、燃料を運搬、補給する。

② 浮体からA0脱離塔により脱離されたウラン溶液を浮体から搬出し、本船にてイエローケーキ(YC)作成までの濃縮作業を行う。

浮体と本船間で授受される各種液体の貯蔵能力、及び本船に搭載されるウラン濃縮プラントの処理能力は、浮体3基に対して本船1隻で対応するものとする。

運航日数は陸上基地と浮体との往復に1日、1浮体に対する移動・係留・液体移送に2日と仮定して、計7日を1航海とする。

③ 本船にて作成されたYCを陸上基地に陸揚げする。

④ 浮体への着船作業、配管接続作業、及びウラン溶液・塩酸・カセイソーダ・燃料等の移送作業の制御は本船の制御室にて行う。

⑤ 本船上にウラン濃縮作業に必要な人員の居住設備、救命・避難設備を有する。

2. 主要目等

(1) 設計条件

暴風時

最大風速(平均)	: 40.0 m/sec
有義波高	: 3.0 m
平均波周期(Tz)	: 5.0 sec
潮流	: 1.0 m/sec

通常時(セミサブ連結時)

最大風速(平均)	: 8.0 m/sec
有義波高	: 1.0 m/sec
平均波周期(Tz)	: 5.0 sec
潮流	: 1.0 m/sec
現地水深	: 200 m

(2) 主要目

隻数	: 1 隻
構造様式	: 2重甲板、2重底、2重壁構造
主要目	: 全長 abt 164.0m
	全幅 26.0m
	全高 13.5m
	喫水 abt 8.6m
	船速 abt 8 kt

3. 船内区画

(1) ウラン濃縮プラント用槽区画

脱離液中継槽	: 3,800 m ³ × 2
洗净液中継槽	: 3,800 m ³ × 2
HCl槽(35%)	: 900 m ³ × 1
NaOH槽(24%)	: 1,350 m ³ × 1
清水槽	: 600 m ³ × 2
燃料油槽	: 550 m ³ × 2
(内浮体用 900 m ³)	

(2) 操船用区画

バラスト	: 14,000 m ³
	1,300 m ³ (船首部)
	300 m ³ (船尾部)
燃料油槽	: 100 m ³ × 1

4. 船内設備

(1) ウラン濃縮プラント

HCl移送用ポンプ	: 1 基
NaOH(24%)移送用ポンプ	: 3 基
脱離液移送用ポンプ	: 1 基
洗浄液移送用ポンプ	: 1 基
清水移送用ポンプ	: 4 基
発電機	: 1 基

(2) 操船用

主機関	: 1 基
発電機	: 3 基
バラストポンプ	: 2 基
機関室/操舵機室	: 各 1 室

5. 船上設備

(1) ウラン濃縮プラント

UR塔	: $20\text{m}^3 \times 1$
沈降分離器	: $140\text{m}^3 \times 1$
遠心分離器	: $0.78\text{m}^3 \times 3$
反応槽-1	: $35\text{m}^3 \times 1$
反応槽-2	: $35\text{m}^3 \times 1$
分離液中継槽	: $80\text{m}^3 \times 1$
上澄液中継槽	: $200\text{m}^3 \times 2$
放流槽	: $120\text{m}^3 \times 1$
中和槽	: $40\text{m}^3 \times 2$
UR脱離液中継槽	: $80\text{m}^3 \times 1$
NaOH槽(2N)	: $4\text{m}^3 \times 1$
NH ₃ 槽(28%)	: $40\text{m}^3 \times 1$
NaHCO ₃ 槽(0.4M)	: $80\text{m}^3 \times 1$
(フレーク NaHCO ₃ 20 m^3 ホッパー付き)	

NaOH(2N)移送用ポンプ	: 1 基
NH ₃ 移送用ポンプ	: 1 基
NaHCO ₃ 移送用ポンプ	: 1 基
YC移送用ポンプ	: 2 基
上澄液移送用ポンプ	: 2 基
放流水移送用ポンプ	: 1 基
中和液移送用ポンプ	: 2 基
UR脱離液移送用ポンプ	: 1 基

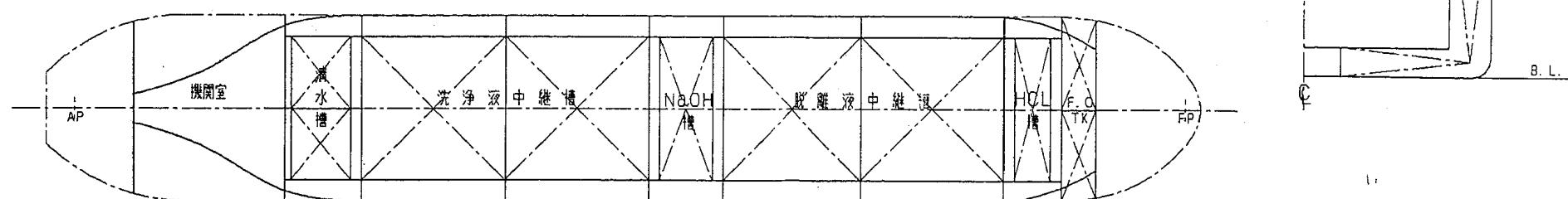
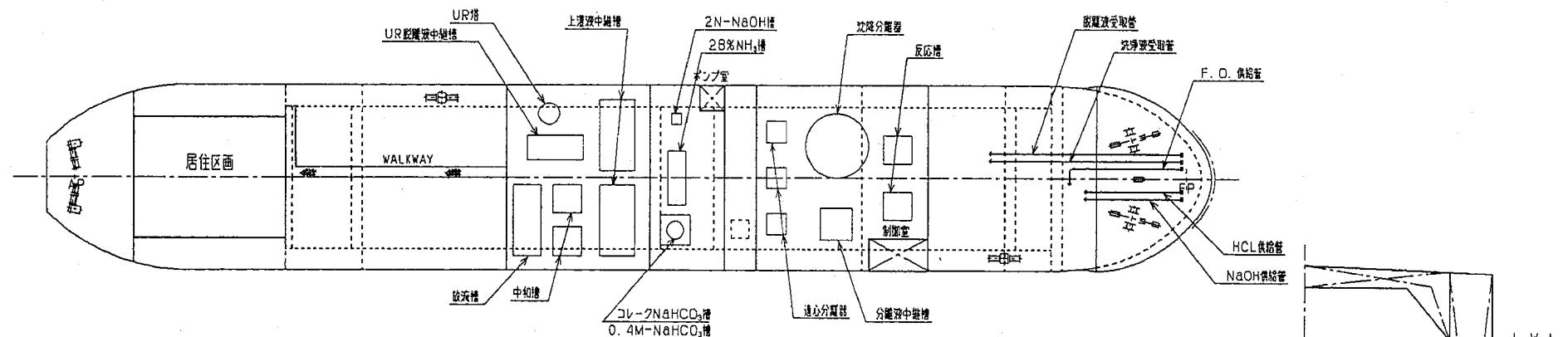
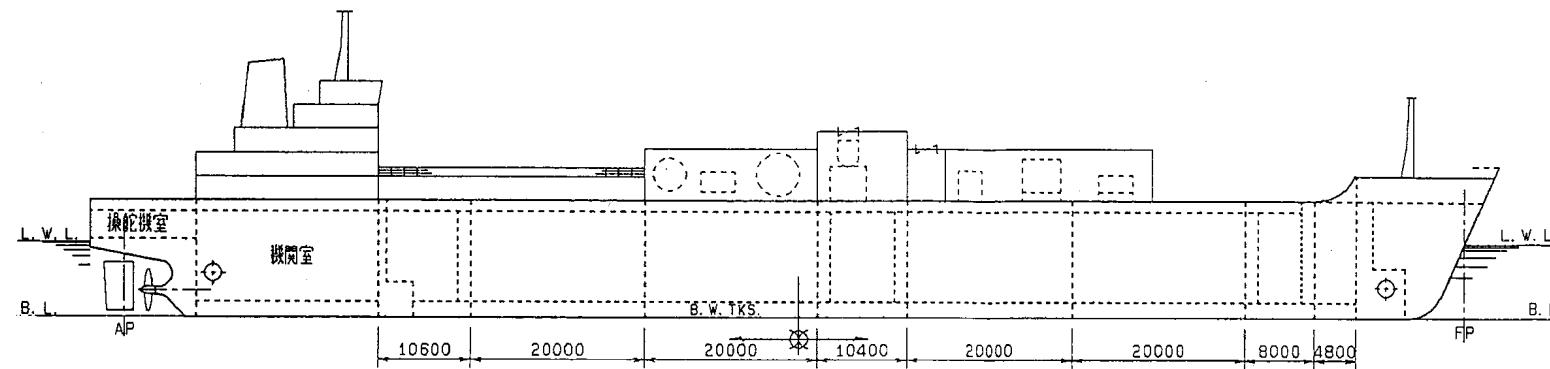
制御室	: 1 室
WALK WAY	: 1 基
浮体との各種液体移送用ホース	: 4 組

(2) 操船用

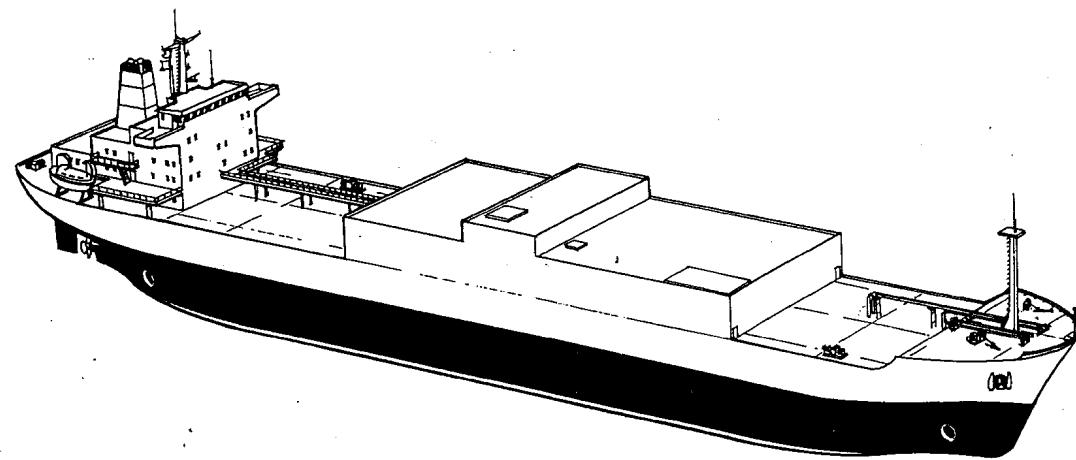
操船室/居住設備	: 1 樓
係船設備/前後スラスター	: 1 式
消防設備	: 1 式
救命, 避難設備	: 1 式

主要目 :

L oa abt.	164.00 m
L pp	156.00 m
B mld	26.00 m
D mld	13.50 m
d mld	8.60 m



製 鍊 船 概 念 図

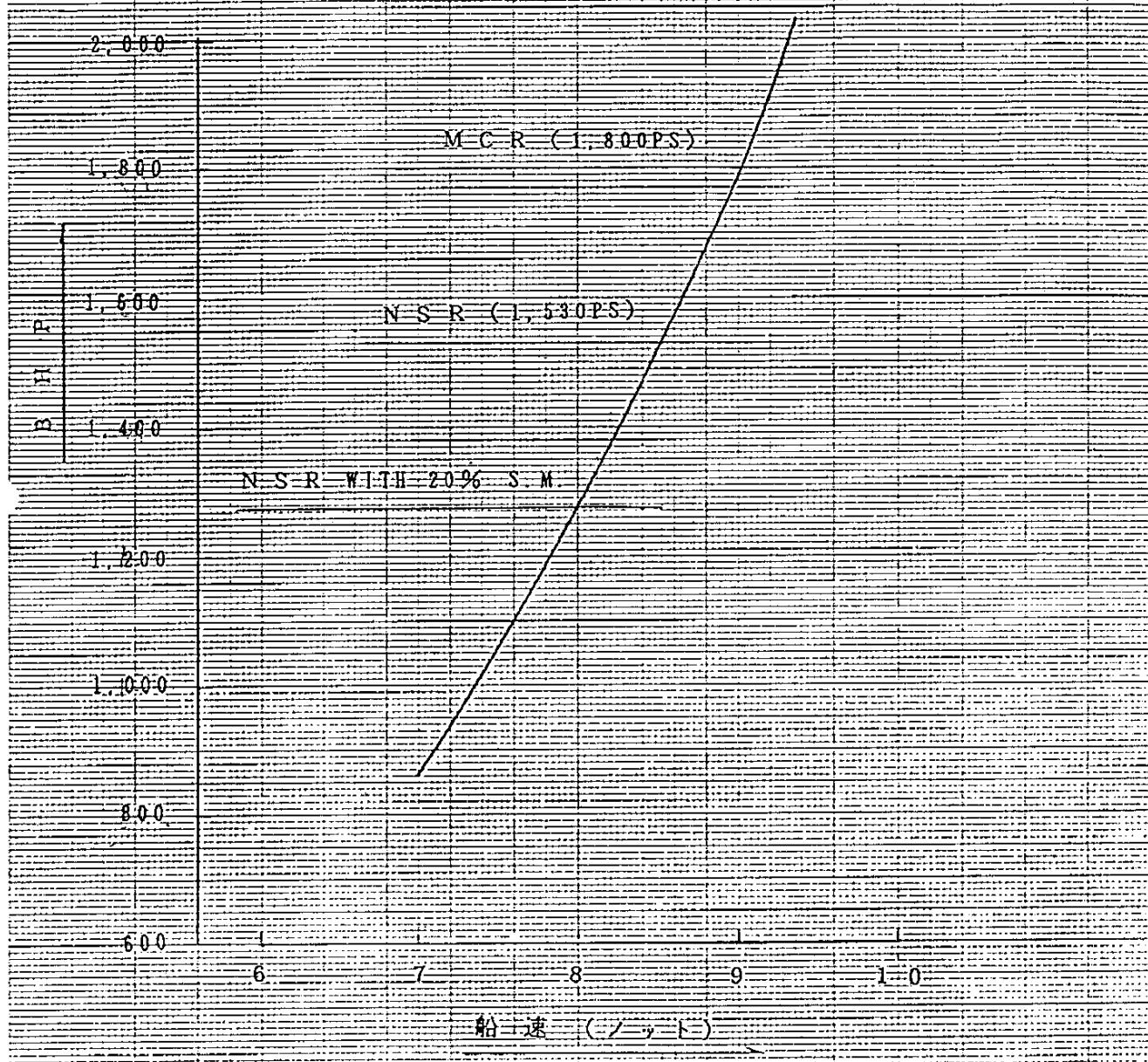


海水ウララン回収プラント精錬船

初期計画速力馬力曲線

L_{PP} × B × D ~ d : 156 M × 26 M × 13.5 M ~ 8.6 M

状 態	型 喫 水 (M)		
	平均	船首	船尾
満載状態	8.6	8.6	8.6



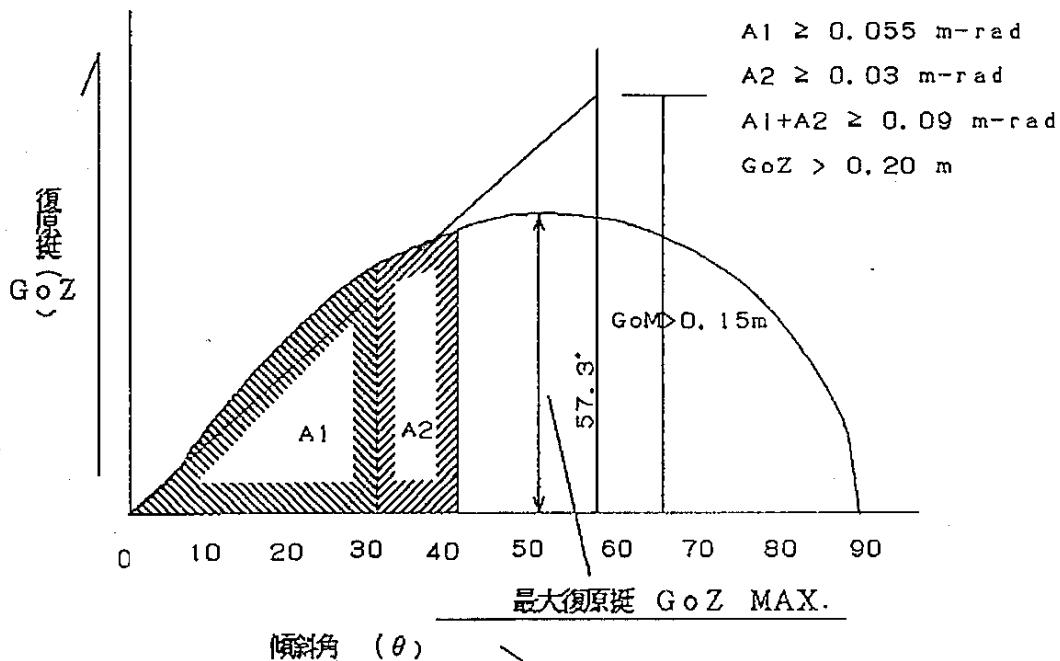
1. 復原性判定のため使用した基準

1-1 非損傷時復原性能

参考として、非損傷時復原性能の検討を IMO A167 及び JG 復原性基準 第11条に従って行った。

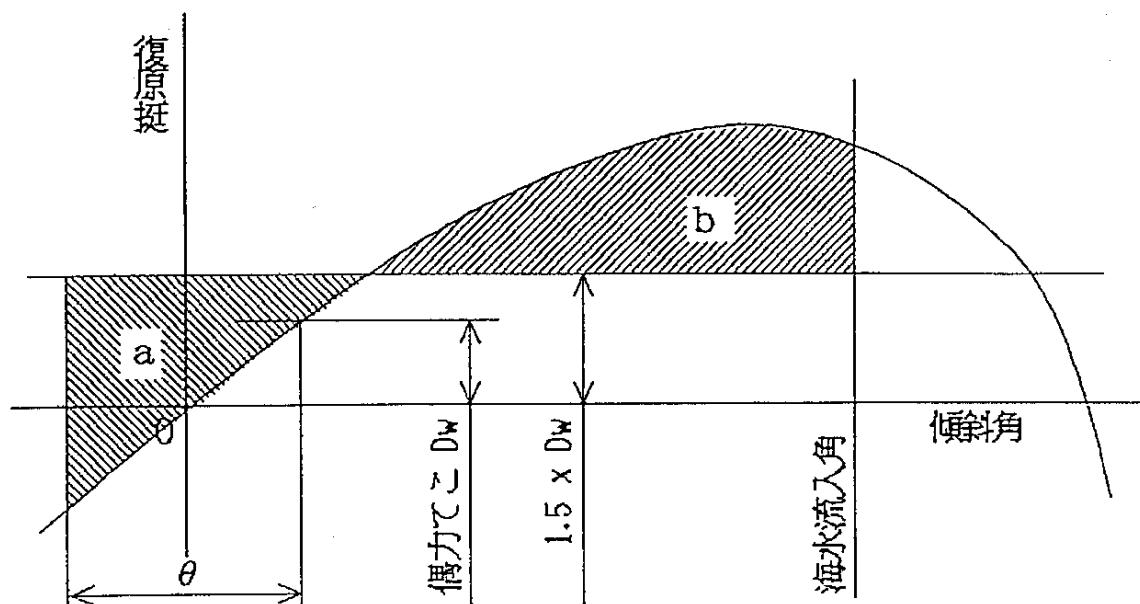
1) IMO (A167) による判定条件。

IMO A167 復原性基準の図解



- a) 復原性曲線 (G Z 曲線) 下方の面積は傾斜角 $\theta = 30^\circ$ までは、0.055 メートル・ラディアン以上でなければならない。
- b) 傾斜角 $\theta = 40^\circ$ まで、又は海水流入角 θ_f が 40° 未満の場合、その角度まで、0.09 メートル・ラディアン以上でなければならない。
- c) 傾斜角 30° と 40° の間、又は海水流入角 θ_f が 40° 未満の場合と θ_f との間の G Z 曲線下方の面積は 0.03 メートル・ラディアン以上でなければならない。
- d) G Z は 30° 以上の傾斜角で少なくとも 0.02 メートル以上でなければならない。
- e) 最大 G Z は 25° 未満で生じてはならない。
- f) 初期メタセンター高さは、G OM は、0.15 メートル以上でなければならない。

2) J G 復原性基準（第 11 条第 2 項）による判定条件。



a) 船舶の最大復原てこ ($G Z_{max.}$)

$G Z_{max.} \geq 0.0215B$ または $0.275m$ のいずれか小さい値であること。

b) $C \geq 1$ とする。

$$C = \text{面積} "b" / \text{面積} "a"$$

D_w : 定常風圧による傾斜偶力てこ。

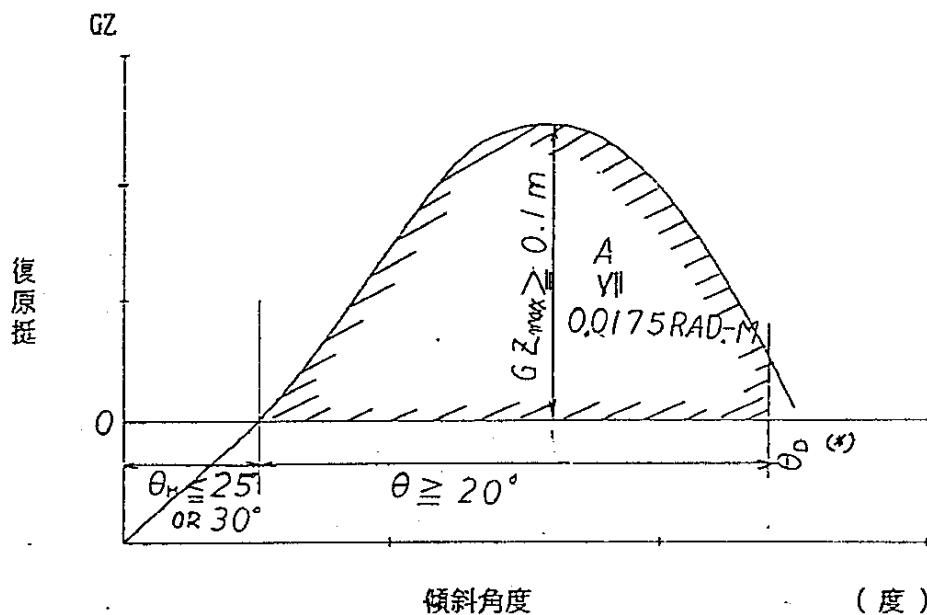
近海以上の区域を航行する船舶の場合、標準風速は、 $26 m/sec$ とする。

θ : 横揺れ角

1 - 2 損傷時復原性能

損傷時の復原性能検討は、IMOのMSC.4(48)に基づくIBCコードに従って行った。

以下に上記規則の損傷時における主たる要求項目を示す。



- a) 非対称浸水による最大横傾斜角は、25度を超えてはならない。但し、甲板が全く水没しない場合には、この角度を30度まで増大する事が出来る。
- b) 復原挺曲線は、平衡状態を超えて最低20度の復原範囲を有する。
- c) 上記20度の範囲内で少なくとも0.1メートルの最大復原挺を有していなければならない。
- d) 復原性曲線(GZ曲線)下方の面積 "A" は、0.0175メートル・ラディアン以上でなければならない。

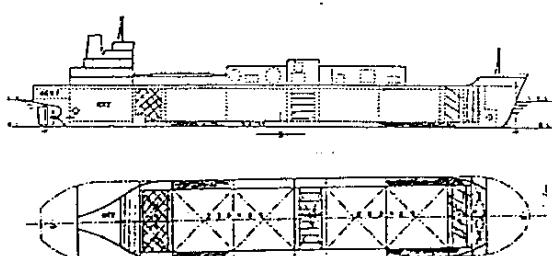
(*)

θ_D : 連続浸水を引き起こす傾斜角

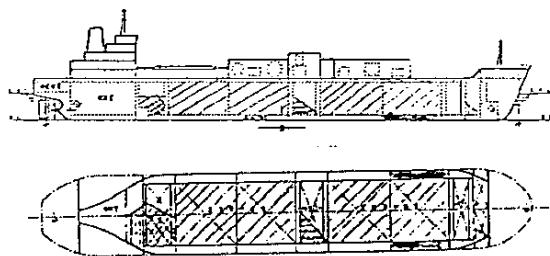
2. 初期トリム／スタビリティー計算

ケース N.O.		(1)	(2)
状 態		陸上基地発 (消費物件満載)	A O 脱離塔浮体発 (消費物件55%積載)
ウラン濃縮プラント用区画	貨 物		
	脱離液中継槽(トソ)	0	7 6 0 0
	洗净液中継槽(トソ)	0	7 6 0 0
	H C L 槽 (トソ)	9 3 0	0
	N A O H 槽 (トソ)	1 4 5 0	3 0 0
	清水槽 (トソ)	1 2 0 0	7 0 0
	燃料油槽(*) (トソ)	1 0 0 0	1 0 0
	上甲板 諸タンク (トソ)	. 1 2 0	1 1 0 0
	合計重量 (トソ)	4 7 0 0	1 7 4 0 0
	二重底燃料油槽(トソ)	9 0	5 0
	清水槽 (トソ)	5 0	3 0
	バラスト水 (トソ)	6 3 0 0	2 2 2 0
	定量物件 (トソ)	3 0 0	3 0 0
	載貨重量合計 (トソ)	1 1 4 4 0	2 0 0 0 0
喫水 (型)	平均喫水 (M)	6 . 2	8 . 6
	船首喫水 (M)	5 . 9	8 . 6
	船尾喫水 (M)	6 . 5	8 . 6
	トリム (M)	0 . 6	0 . 0
	G M (M)	3 . 3 5	2 . 7 0
	G o G (M)	0 . 6 5	1 . 0 5
	G o M (M)	2 . 7 0	1 . 6 5
(*) 備 考	燃料油槽の内 9 0 0 M ³ (8 2 0 トン) は浮体用。		

ケース (1)



ケース (2)



: 脱離液／洗净液



: 燃 料



: H C L



: N A O H

: 清 水



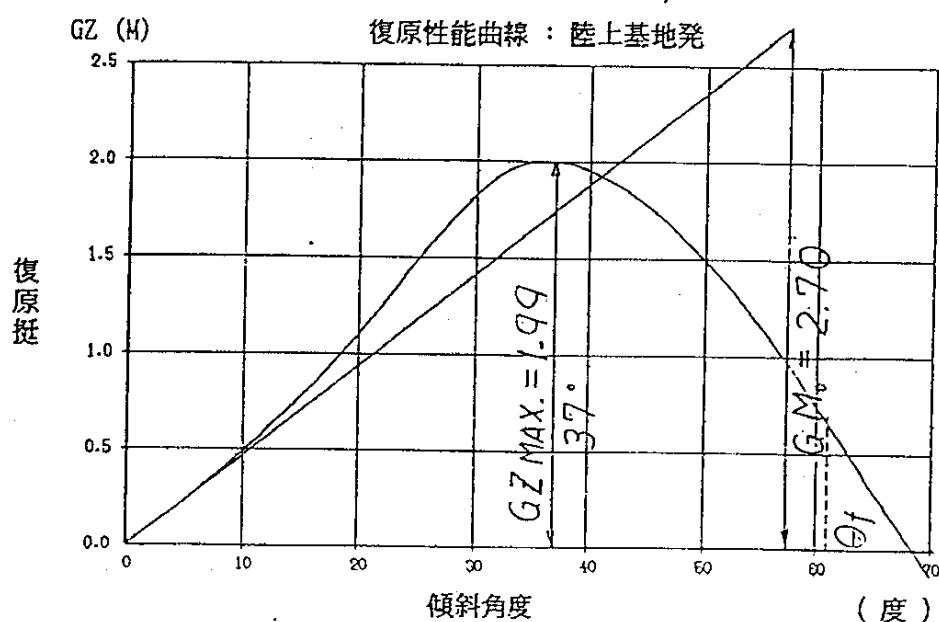
: バラスト水

3. 非損傷時の検討

3-1 IMO (A 167) 基準による検討

1) 状態：陸上基地発

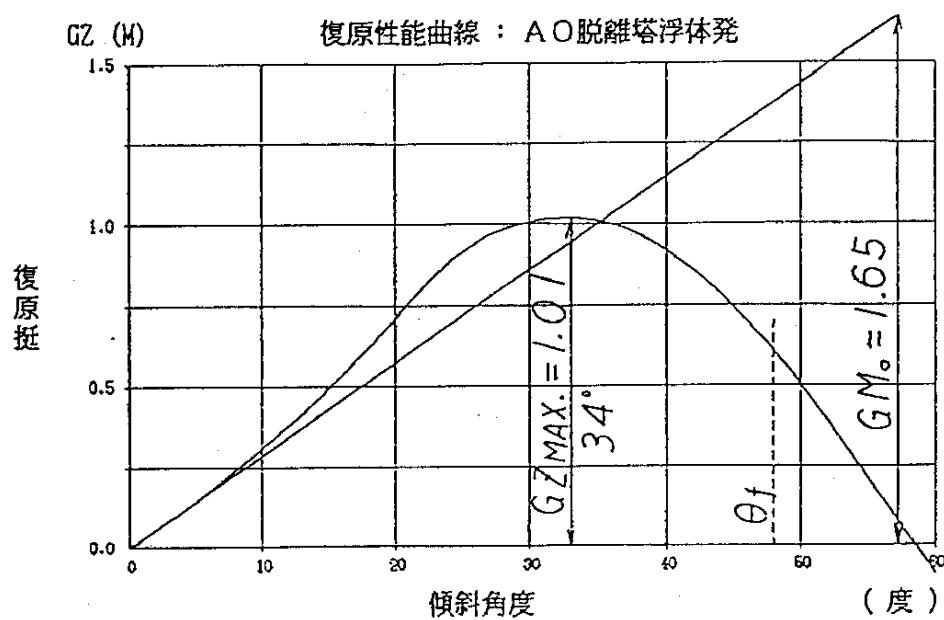
		規則要求値
a) 傾斜角 $\theta = 30^\circ$ までの面積 (M-RAD)	A1 = 0.44	≥ 0.055
b) 傾斜角 $\theta = 40^\circ$ までの面積 (M-RAD)	A1+A2 = 0.78	≤ 0.09
c) 傾斜角 30° と 40° の間の面積 (M-RAD)	A2 = 0.34	≤ 0.03
d) 最大 GZ 値 ($\theta \geq 30^\circ$ に於いて) (M)	1.99	≤ 0.20
e) 最大 GZ 位置 (度)	37.0	≤ 25
f) 初期メタセンター高さ (M)	GOM = 2.70	≥ 0.15



θ_f : 海水流入角

2) 状態 : AO 脱離塔浮体発

		規則要求値
a) 傾斜角 $\theta = 30^\circ$ までの面積 (M-RAD)	$A_1 = 0.27$	≥ 0.055
b) 傾斜角 $\theta = 40^\circ$ までの面積 (M-RAD)	$A_1+A_2 = 0.44$	≥ 0.09
c) 傾斜角 30° と 40° の間の面積 (M-RAD)	$A_2 = 0.17$	≥ 0.03
d) 最大 GZ 値 ($\theta \geq 30^\circ$ に於いて) (M)	1.01	≥ 0.20
e) 最大 GZ 位置 (度)	33.0	25
f) 初期メタセンター高さ (M)	$GOM = 1.65$	≥ 0.15



θ_f : 海水流入角

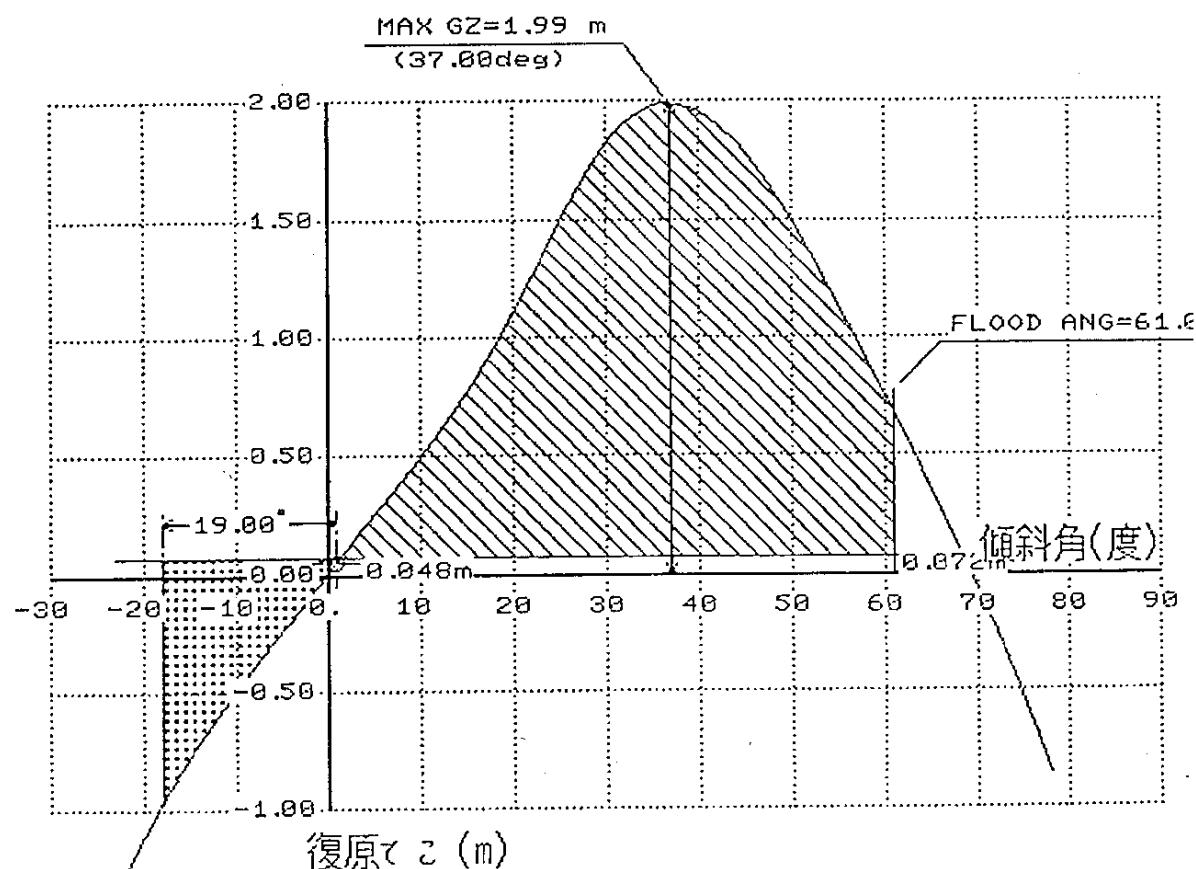
3-2 J G 復原性基準検討（第11条）

1) 状態：陸上基地発

傾斜偶力てこ

	K A H / W	=	0.048 M
1.5 K A H / W		=	0.072 M
横揺れ角	吃水	d	= 6.20 M
	O G		= 3.00 M
r = 0.73 + 0.60 G / d		=	1.020
慣動半径	k	=	0.43
G oM		=	2.70 M
動揺周期	T s	=	13.80 秒
p - q · T s		=	0.05
s		=	0.052
N		=	0.020
横揺れ角	138 r s / N	=	19. 度
海水流入角		=	61.00 度
面積	a	=	9.53 M-度
面積	b	=	69.91 M-度
C 係數		=	7.338
規則要求最大復原てこ		=	0.275 M
実際の最大復原てこ		=	1.99 M

復原てこ曲線

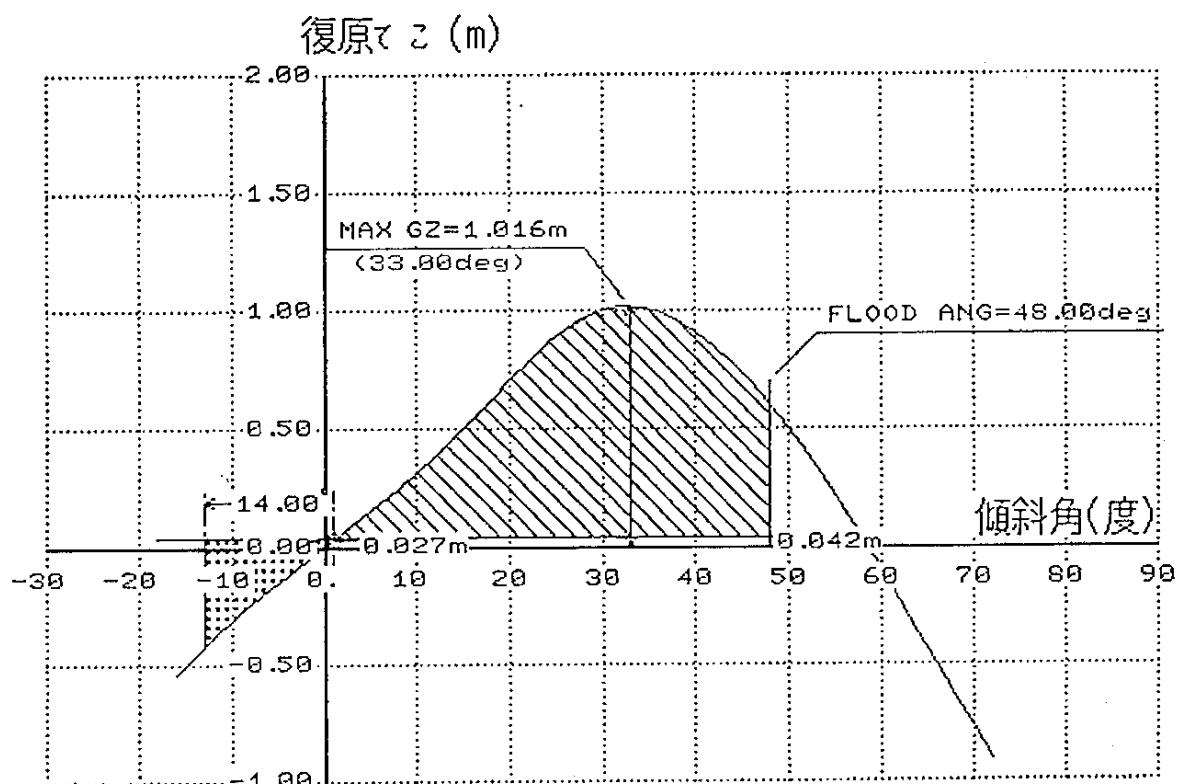


2) 状 態 : AO 脱離塔浮体発

傾斜偶力でこ

K A H / W	=	0.028 M
1 . 5 K A H / W	=	0.042 M
横 摆 れ 角	吃 水	d = 8.60 M
	O G	= 0.65 M
r = 0.73+0.60	G / d	= 0.775
慣 動 半 径	k	= 0.41
G O M		= 1.65 M
動 摆 周 期	T s	= 16.48 秒
p - q · T s	=	0.03
s	=	0.035
N	=	0.020
横 摆 れ 角	138 r s / N	= 14.00 度
海 水 流 入 角		= 48.00 度
面 積	a	= 3.15 M-度
面 積	b	= 29.33 M-度
C 係 数		= 9.305
規 則 要 求 最 大 復 原 てこ		= 0.275 M
実 際 の 最 大 復 原 てこ		= 1.01 M

復 原 てこ 曲 線

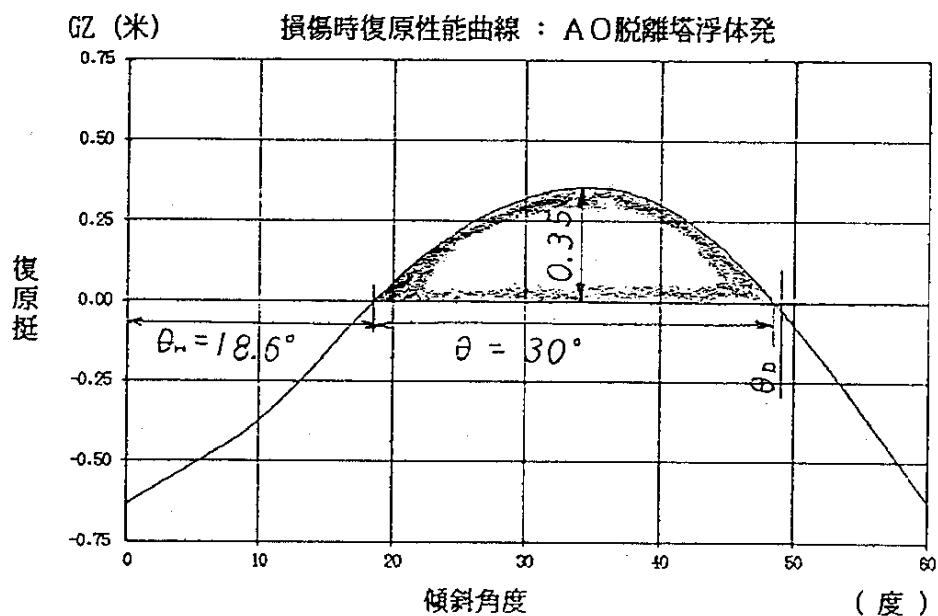


4. 損傷時の検討

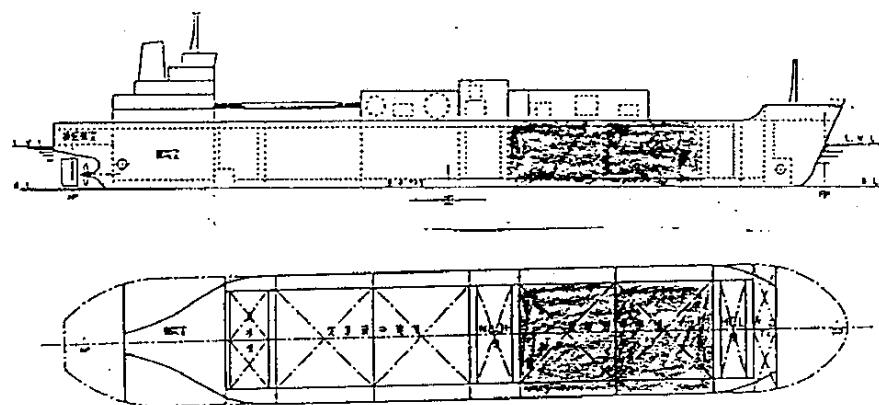
検討は、損傷時の復原性能が厳しいと考えられるケースについて行った。

1) 状 態 : A O 脱離塔浮体発 その(1)

		規則要求値
a) 平衡状態	傾斜角 (度)	18.6
	船首喫水 (M)	8.0
	船尾喫水 (M)	8.7
b) 復原性能を有する範囲 (度)		29.9
c) 最大 GZ 値 (M)	0.35 (AT 34°)	≥ 0.1
d) b) の範囲の面積 (M-RAD)	0.12	≥ 0.0175

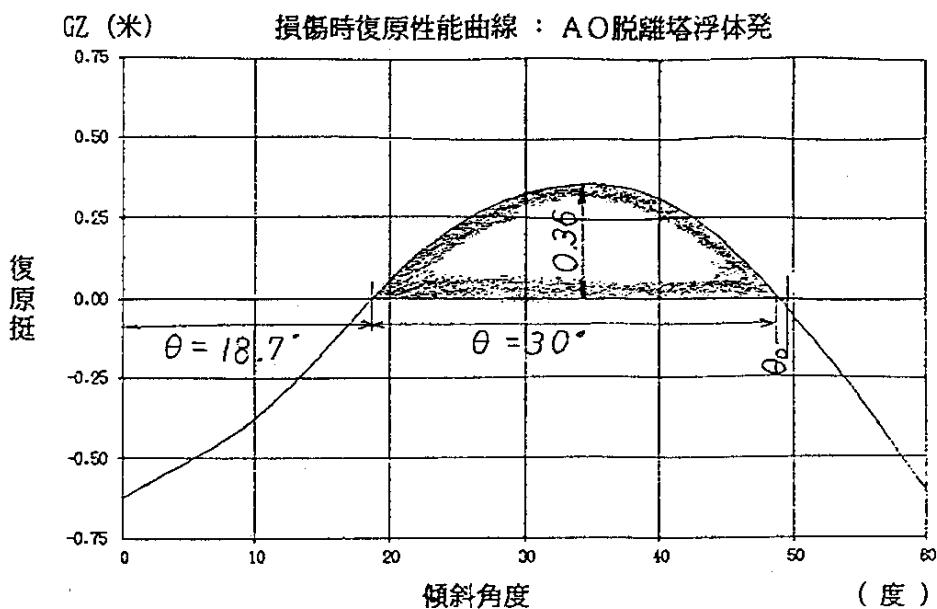


想定損傷区画

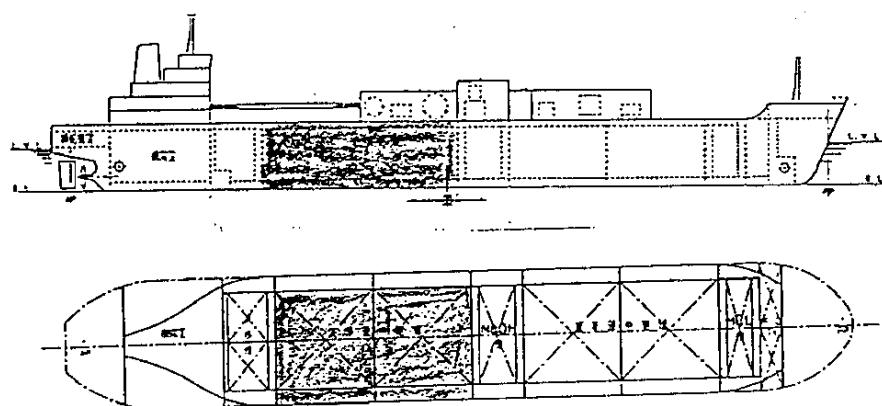


2) 状 態 : AO 脱離塔浮体発 その (2)

		規則要求値
a) 平衡状態 傾斜角 (度)	18.7	\leq 30
船首喫水 (M)	8.6	-
船尾喫水 (M)	8.1	-
b) 復原性能を有する範囲 (度)	30.1	\geq 20
c) 最大 GZ 値 (M)	0.36 (AT 34°)	\geq 0.1
d) b) の範囲の面積 (M-RAD)	0.13	\geq 0.0175



想定損傷区画



5. 検討結果

以上の検討結果より、損傷時、非損傷時とも規則で要求されている全ての復原性能要件を満足している。

従って、本船は 十分な復原性能を有していると判断される。

海水ウラン回収システム製練船
の
耐用年数・建造費・及び運用費

1. 耐用年数

本船の耐用年数は、最短15年として、材質、諸寸法等が選定、設計されるものとする。

船殻鋼構造部材の寸法等は、日本海事協会（NK）の規定に従うものとし、塗装については、中間検査、定期検査において補修、再塗装されるものとして、適切な塗料を選定する。

船上設備等については通常のメンテナンス作業が行なわれるものとして、その材質、型式、予備品等が適切に選定されるものとする。

2. 建造費（概算）

船体構造:	15億
船体舾装:	20億
機関部及び電気部:	15億
ウラン濃縮プラント:	60億
合計:	110億

3. 運用費（概算）

操船費用:	3.0億	/ 年 (燃料等を含む)
プラント操業費:	1.6億	/ 年 (薬材等を含む)
メンテナンス費用:	1.5億	/ 年 (ドック費用等を含む) (船体部) 中修、定期点検を割り振る
メンテナンス費用:	2.5億	/ 年 (プラント部)
合計:	23億	/ 年

第4編

海水ウラン回収プラント 運用システムの試設計

海水ウラン回収プラント運用システムの試設計

目 次

1. システムの構成・規模	1
1.1 吸着プラント	1
1.2 精練船	1
2. 維持管理の方策	4
2.1 維持管理の概要	4
2.2 浮体式海洋構造物・船舶のメンテナンス事例	5
(1) 香港ピクトリア港避泊ブイ	8
(2) 伊勢湾および周辺海域灯浮標	11
(3) 海底石油生産システム（CADLAO油田）	14
(4) 沖縄海洋博記念公園内アクアボリス	16
(5) 海上石油備蓄設備	20
(6) 浮体式海上空港（構想検討）	23
(7) 船舶	27
(8) 原油備蓄タンカー（日精丸）	28
2.3 海水ウラン回収プラントの維持管理の方策	32
3. 運用の方策	33
3.1 吸着プラント	33
3.2 精練船	33
4. 耐用年数	34
5. 運用経費	35

6. 吸着剤カセットの防汚対策	36
6.1 防汚塗料による防止法	36
6.2 海水電解法による防汚	37
6.3 超音波による防汚	37

1. システムの構成・規模

1.1 吸着プラント

波浪中動搖の少ないセミサブ型浮体形状の吸着プラントは、中央の小区分に分割された区割内にウラン吸着剤（AO樹脂でピンポン玉大）を保持する。

波による海水の上下動に従って、吸着剤を運動させ海水を接触させることにより、ウラン成分を吸着させる。

その吸着したウラン成分をAO脱離塔内で塩酸を使用して脱離させた後、海水で洗浄しウラン成分を含んだ溶液（脱離液、洗浄液）を定期的に訪れる精練船に搬出する。

(1) 吸着プラント主要目

浮体数 : 3基（合計で年間 1,000トンのウラン回収）

構造様式 : 半潜水式四角構造 吸着剤区画抱え型

主要寸法 : 全長 112m

全幅 79m

全高 20m

喫水 10m

(2) 吸着剤区画

区画数 21

吸着剤層高 約 17 cm

吸着剤全体積 $1,134\text{m}^3$

吸着剤比重 1 . 1

区画壁材 : グラスファイバー等の網板材で吸着剤を保持し水を透過するもの
(上、下面および井桁状に配置の各面に使用)

1.2 精練船

精練船は、浮体からAO脱離塔により脱離されたウラン溶液を浮体から搬出し、本船にてイエローケーキ（VC）作成までの濃縮作業を行う。

又、精練船は、陸上基地から吸着プラントへ、塩酸、カセイソーダ、燃料等を運搬・補給する。

浮体と本船間で授受される各種液体の貯蔵能力、および本船に搭載されるウラン濃縮

ラントの処理能力は、浮体3基に対して本船1隻で対応する。

(1) 精練船主要目

隻数 : 1隻

構造様式 : 船形、2重底、2重壁構造

主要目 : 全長 abt 164.0 m

全幅 26.0 m

全高 13.5 m

喫水 abt 8.6 m

船速 abt 8 kt

(2) 船内区画

① ウラン濃縮プラント用槽区画

脱離液中継槽 : 3,800m³ × 2

洗浄液中継槽 : 3,800m³ × 2

HCl 槽 (35%) : 900m³ × 1

NaOH槽 (24%) : 1,350m³ × 1

清水槽 : 600m³ × 2

燃料油槽 : 550m³ × 2

(内浮体用 900m³)

② 操船用区画

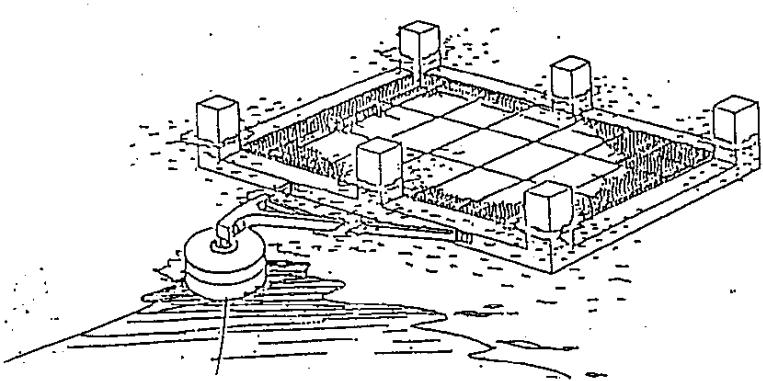
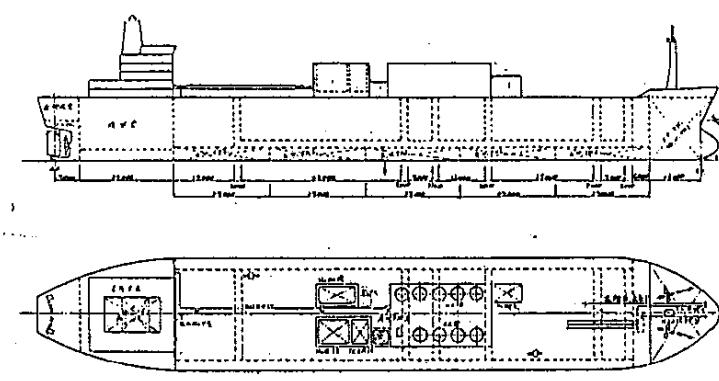
バラスト : 14,000m³

1,300m³ (船首部)

300m³ (船尾部)

燃料油槽 : 100m³ × 1

吸着プラント・精練船の構成・規模

	吸着プラント	精 鍊 船								
概 念 図	<p>吸着プラント</p> 	<p>精鍊船</p> 								
構 成	<ul style="list-style-type: none"> ウラン吸着材をセミサブ型浮体中央の区割内に保持する。 吸着したウラン成分をAO脱離塔内で脱離する。 セミサブ型浮体をヨークを介してブイに係留する。 	<ul style="list-style-type: none"> 浮体から船出したウラン溶液を濃縮し、YCを製造する。 浮体3基に本船1隻で対応し、7日で1航海する。 陸上より浮体へ塩酸、カセイソーダ、燃料を運搬・補給する。 								
規 模	<p>1. 浮体： 形式 半潜水式四角構造 吸着剤区割抱え型 寸法 L×B×D×d 112×79×15×10 (m) 基数 3基</p> <p>2. 吸着剤区割：区割数 21 吸着剤層高 約17cm 吸着剤全体積 1,134 m³</p> <p>3. 係留装置： 形式 ヨーク付一点係留装置 (SALM式) コンクリートアンカー 15×15×8 (m) 1基 水中重量 約1000t</p>	<p>1. 船本体：隻 数 1隻 主要寸 L×B×D×d 164×26×13.5×8.6 (m) 船速 8kt</p> <p>2. ウラン濃縮プラント用槽：</p> <table> <tr> <td>脱離液中継槽</td> <td>: 3,800m³ × 2</td> </tr> <tr> <td>洗浄液中継槽</td> <td>: 3,800m³ × 2</td> </tr> <tr> <td>HCL槽(35%)</td> <td>: 900m³ × 1</td> </tr> <tr> <td>NaOH槽(24%)</td> <td>: 1,350</td> </tr> </table>	脱離液中継槽	: 3,800m ³ × 2	洗浄液中継槽	: 3,800m ³ × 2	HCL槽(35%)	: 900m ³ × 1	NaOH槽(24%)	: 1,350
脱離液中継槽	: 3,800m ³ × 2									
洗浄液中継槽	: 3,800m ³ × 2									
HCL槽(35%)	: 900m ³ × 1									
NaOH槽(24%)	: 1,350									

2. 維持管理の方策

2.1 維持管理の概要

「維持管理」とは、構造物の耐用年数内において機能を維持することを目的として行う行為とし、これには構造物の更新および改良は含めないと定義する。ここで、維持管理に関する用語を整理すると表2.1に示すとおりとなる。「維持管理」は、点検・検査、評価、維持補修からなり、維持補修は維持、補修・修繕および災害復旧を含む。

災害復旧とは、異常な外力のため破損した構造物を補修又は更新させて当初の機能を回復させることと考えることができる。

この異常な外力を設計外力以上の外力とするならば、異常な外力によって生じた破損に対する手当は維持管理の範囲を越えるものである。しかし、海洋構造物は、設計外力以下の外力によって被災することもあり、また、維持管理の面からは外力が設計外力以上であるか以下であるかは特に意味はなく、変状が生ずれば原因の種類によることなく補修を施すことを考慮しなければならない。これらのことから、災害復旧についても構造物を部分的に補修するものについては維持管理の範囲として取り扱う必要があると考えられる。

表2.1 維持管理の概念

維持管理	点検・検査	定期点検、臨時点検を主体とし、これに伴う管理業務を含む。
	評価	点検結果に基づき、健全度を評価し、補修の必要性等を判断すること。
	維持	構造物の物理的老朽化の進行、あるいは機能低下を許容限界以内にとどめるために行う行為。
	維持補修	物理的機能的に老朽化した構造物を部分的に作りかえて当初の機能、構造に回復させる行為。
	災害復旧	異常な外力によって破損した構造物を部分的に補修して、当初の機能、構造を回復させる行為。
	更新・取り替え	物理的、機能的に老朽化した構造物、又は異常な外力によって破損した構造物を全面的に取り替え、当初の機能、構造を回復させる行為。
	改良	当初の計画の機能を上回る機能に強化した構造に改良する行為。

2.2 吸着プラント類似構造物の維持管理事例

吸着プラントの維持管理方策の検討の参考とするため、長期係留浮体および係留機構について既往事例の調査を行った。

長期係留浮体の参考として、海底石油生産システム、沖縄海洋博記念公園内アクアボリス、洋上石油備蓄設備、浮体式海上空港（構想）、船舶、原油備蓄タンカーを、係留機構の参考として、香港ビクトリア港避泊ブイ、伊勢湾灯浮標を調査した。

それぞれの事例について、維持管理の役割、点検・補修システム、点検・補修の方法・内容の各項目を比較し、それぞれの事例から吸着プラントへの適用事項を検討し、表2.2にとりまとめた。

本事例調査から抽出した吸着プラントへの適用の可能性のある事項は下記のとおり。

- ① 係留チェーンの定期的配置換え、定期的新品との取り替え
- ② 日常巡視、定期点検、定期整備による点検・補修システム
- ③ 外海係留浮体の点検・補修間隔
- ④ ドック入れのない洋上検査のみによる維持管理方法
- ⑤ 浮体外部の水中検査
- ⑥ ドック入れのない浮体の点検・補修
- ⑦ 精練船の点検・補修
- ⑧ 防汚塗装と2年間ドック入れなしの維持管理

表2.2 吸着プラント類似構造物の維持管理事例（1／2）

		ブ イ		洋上浮体式定置構造物		
		香港ビクトリア港避泊ブイ	伊勢湾 灯浮標	海底石油生産システム	沖縄海洋博公園内アクアポリス	洋上石油儲蓄施設
維持管理の役割		○損耗の平均化 ○異常発見	・異常事態の早期発見 ・異常原因の事前除去	・異常発見 ・機能保全	・異常事態の早期発見	・機能保全
点検・補修システム		1. 年次点検 2. 定期取り替え	1. 日常巡視 2. 定期点検 3. 定期整備	1. 日常巡視 2. 定期点検 3. 定期整備	1. 中間検査 2. 定期検査	1. 中間検査 2. 定期検査
点 検 ・ 補 修	方法	・ダイバーによる目視	1. 船上目視 2. ダイバーによる目視 3. 揚陸整備・計測	1. 入渠により点検・補修	1. ダイバーによる目視 2. 電位計測	・T V、写真による間接目視
	内 容	1. チェーン、スイベル、ブイ取付金具等1年ごと点検 2. チェーンは1年ごとに向きを換え、10年ごとに新品と取り替え	1. 日常海面巡視時異常の有無チェック 2. 定期点検時ダイバーにより目視検査 3. 2年ごと揚陸定期整備 4. 15年で新造に更新	1. 船体・ヨーク・ブイの点検 補修、5年ごと入渠（実績により 2.5→5年以上）	1. 船体外部水中検査 2. 係留チェーン水中検査 3. 電位計測（ロワーハル、コラムおよびプレース）	ドック入れしない検査における外部検査 1. 腐食・防食塗装の状況 2. 電気防食の状況 3. 損傷の有無 4. 過度の変形の有無
海水ウラン回収システムへの適用の可能性のある事項		・係留チェーンの定期的配置換え、定期的新品との取り替え	日常巡視、定期点検、定期整備による点検・補修システム	・外海係留浮体の点検・補修间隔	・ドック入れのない洋上検査のみによる維持管理	・浮体外部の水中検査

吸着プラント類似構造物の維持管理事例（2／2）

		洋上浮体式定置構造物	船 舶		
		浮体式海上空港（構想検討）	船 舶	原油備蓄タンカー	海水ウラン回収システム
維持管理の役割		・異常原因の事前除去 ・機能保全	・機能保全	・機能保全	・機能保全 ・異常発見
点検・補修システム		1. 日常点検 2. 定期点検 3. 異常時点検	1. 中間検査 2. 定期検査	1. 入渠検査 2. 中間検査 3. 定期検査	1. 日常巡視 2. 定期点検 3. 定期整備
点 検	方 法	1. 目視 2. ダミーの分析 3. 実物の性能確認	・入渠による清掃・塗装 ・ダイバーによる水中検査	1. ダイバーによる目視、写真撮影 2. ダイバーによる水中清掃 3. 入渠による清掃・塗装	1. 船上目視 2. ダイバーによる目視 3. 揚陸整備
補 修	内 容	1. 浮体の点検・補修 2. ドルフィンの点検・補修 3. 係留装置ゴムバンパの点検 4. 係留装置ユニバーサル・ジョイントの点検・補修	1. プロペラ清掃—2年ごと入渠時 2. 外板塗装——2年ごと入渠時	1. 外板の目視検査、写真撮影、3か月ごと入港時 2. プロペラ清掃—3か月ごと入港時 3. 外板塗装——2か年ごと入渠時 防汚塗料塗布	1. 日常巡視 巡視船上より、吸着剤カセット、吸着浮体、係留装置を目視点検 2. 定期点検 ダイバーが係留装置水中部を点検、1年毎 3. 揚陸整備 浮体、ヨーク、ブイを揚陸整備する5年毎 吸着剤カセットの清掃1回／月
海水ウラン回収システムへの適用事項		・浮体の点検・補修期間 ・ドック入れのない浮体の点検・補修	・精錬船の点検・補修 ・浮体の水中検査	・防汚塗装と2年間ドック入れなしの維持管理	1. 吸着剤カセット—1回／月清掃 2. 吸着浮体—無塗装、電防 3. 同係留装置—定期点検、5年ごと揚陸整備 4. 精錬船—中間、定期検査

(1) 香港ビクトリア港避泊ブイ

(a) 自然条件

風：

強風をもたらす熱帯性低気圧は、毎年5～6回香港地区を来襲し、風速20m/sからそれ以上を記録することもある。また、年に1回風速30m/sの暴風を伴う台風が来襲するといわれている。

波浪：

香港島により被覆された位置にあり、外洋の波浪を直接受けることは少なく、波高は1m内外である。

潮流：1 kt程度

海底土質：比較的軟弱な粘性土であり、錨がかりは良好。

(b) ブイの規模および構造

Aクラス：船長 183m以下の船舶を係留、36基

設置水深 - 8～10m、ブイ相互間距離 427m

Bクラス：船長 113m以下の船舶を係留、13基

設置水深 - 5～8 m、ブイ相互間距離 305m

形 式：沈錐式

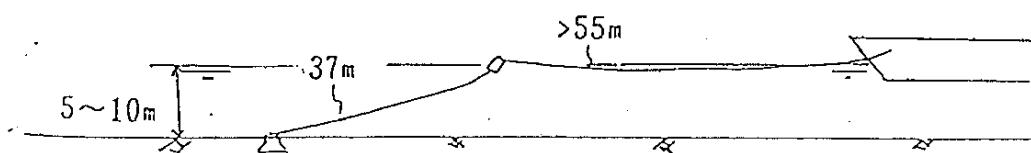
沈錐（コンクリートシンカー）：Aクラス 重量90t、Bクラス 重量40t

浮体鎖：鎖長36.6m

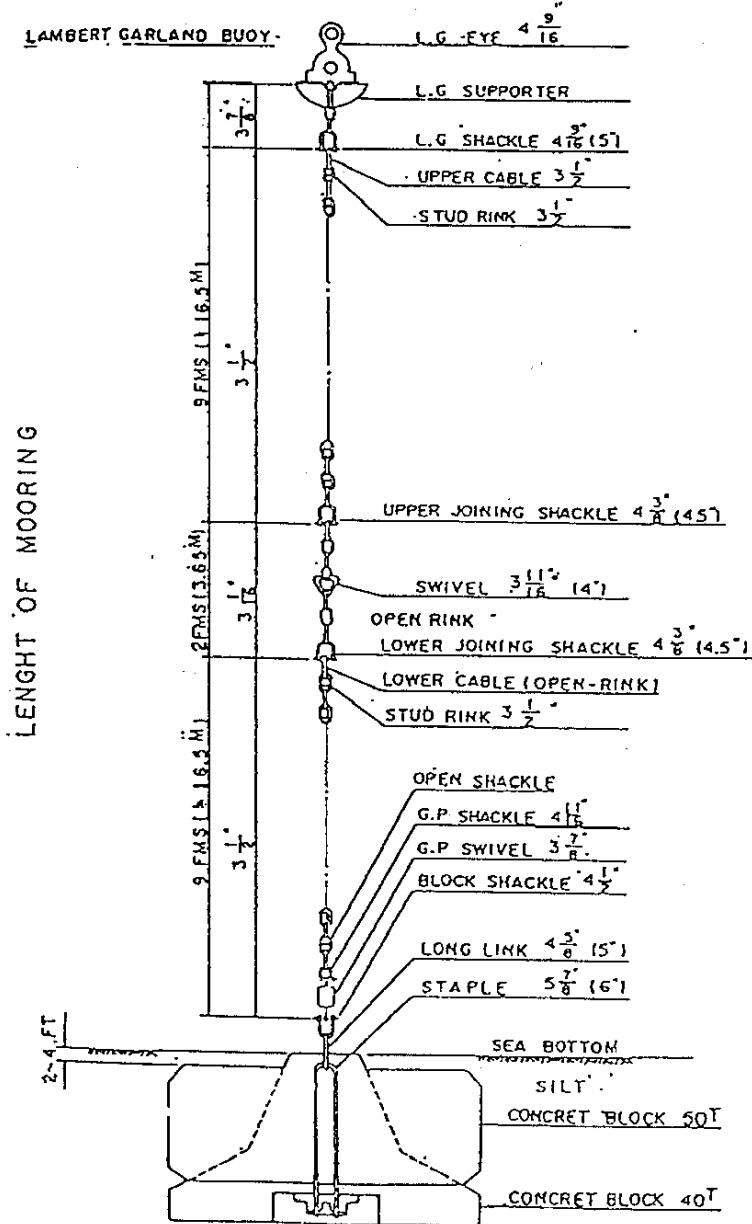
Aクラス スタッドリンク径 3.5in. テスト荷重 247t

Bクラス スタッドリンク径 3.0in. テスト荷重 204t

浮 体：鋼製 (3.6 m Dia. × 1.8mH)



MOORING BUOY の概略構造



(c) 維持・管理・運営要領

チェーンや浮体は本国（イギリス）で設計・製作され香港へ搬入設置されている。修理や取り換えのため、ガバメント・ドックヤードおよび前面の突堤上を作業基地として使用している。突堤上はコンクリートブロック、チェーン、浮体等の置場になっており、また、老朽や損傷を受けたチェーンや浮体の引揚、新規ブイの積出施設（クレーン等）が設けられている。

チェーン、スイベル、ブイ取付金具等の部材は1年ごとに点検し、チェーンは1年ごとに向きを換えている。更にこれらの部材は10年ごとに新品と取り換えている。

避泊ブイとして設置されているAクラス、Bクラスのこれらのブイといえども常時はピクトリア港のはしけ荷役のための本船係留に使用され、利用船舶は1日当りの使用料としてAクラス 700^{HK\$}、Bクラス 350^{HK\$}を管理者に支払っている。ピクトリア港はこの係船料により管理・運営されており、したがって、ブイを利用する船舶に対する管制が十分に整っている。

(2) 伊勢湾および周辺海域灯浮標

(a) 概 要

機 種	航路標識用灯浮標
保 有 者	第四管区海上保安本部
管 理 者	同本部灯台部
施設所在地	伊勢湾および周辺約 140か所、内波力発電装置付きのものを約50か所、水深10~55m、浮標直径 2.8、3.2、6 m等各種
形状および主要寸法 (1例)	全高 18.5 m (海面上約10m) 1) 浮体：直径6m×高さ 3.4m 浮体直結の下部円筒：直径 2.6m×高さ 5.15 m 2) 浮体搭載機器：灯火、レーダ、レフレクタ、支持タワー 波力発電装置、蓄電池収納区画、マンホール その他 3) 浮標係留用チェーン：70mmφ 4) 浮標碇着用鉄筋コンクリート沈錘： 250トン

(b) 灯浮標の海中部の保守・点検・検査工事の実施例

- (i) 昭和56年水深25mの伊勢湾口に設置した直径6mの第1号（波力発電装置付き）灯浮標について1年経過した翌57年、係留チェーン70mmφ×長さ40mの摩耗状況調査を実施したが、特記すべき摩耗はなく、海面下20m程度まで貝類の付着が見られた程度であった。貝類は、フジツボ、カキ、アコヤガイ、トコブシ等で、伊勢湾は時期により海水透明度が大いに異なり、その関係と思われるが、湾内浮標への貝類付着量は、湾口、湾奥の設置位置によって差異があり、湾口部の浮標の方が付着量が多い。2年経過で厚さ20~40cmに達する。
- (ii) 伊良湖水道には灯浮標を比較的多く配置しており、7基が設置済であり、これらについては設置水深50m以浅ではダイバーによる目視検査を実施することがあり、以深では実施しない。
- (iii) 灯浮標は海中のチェーン、沈錘を含めて、各2年ごとに1回引き揚げて陸上の専用整備基地で整備される。この間の異常の有無は、日常の海面巡視による目視監視によりチェックしており、異常発見の時は、その都度、工事の内容に応じて海上で保守補修工事を行うが、海中部分についてはダイバーにより目視による現状把握のための調査を行うに止め、海上での保守工事は施行しない。
- (iv) 浮体は、9mm厚鋼板を使う例が多いが、板厚は、浮体揚陸後、浮体外部から計測す

るのを通例としている。

(v) 灯浮標は一般的には、使用後15年程度で新造のものに更新する。

(c) 灯浮標の海中部分の衰耗・劣化の状況

海中部分の衰耗・劣化に関しては、対象は主にチェーンの摩耗である。チェーンの摩耗は、海底地質によって大いに左右され、特に地質が砂あるいは岩のときには、海底とチェーンとの摩擦による摩耗が、浮標の動搖によるものよりも大きい。点蝕は極く少ない。

(d) 灯浮標の海中部分の防食対策

灯浮標は、新造時に塗装仕様で定められた塗装を行い、喫水下は最終上塗り塗料として塩化ビニール樹脂系船底2号を使用する。大型の灯浮標には、流電陽極として亜鉛板を、防食塗装とともに併用する。

(e) 損傷事例と補修工事実施例

(i) 伊勢湾内に設置されている灯浮標については、年平均しておよそ10件程度、航行船舶の接触・衝突に因る損傷事故が発生し、浸水による沈没、搭載機器類の損傷を蒙る。

または、異常波浪等に因るチェーンの破断による流出、チェーン自身の絡みによる浮体の沈下（乾舷の減少）等が起こる。

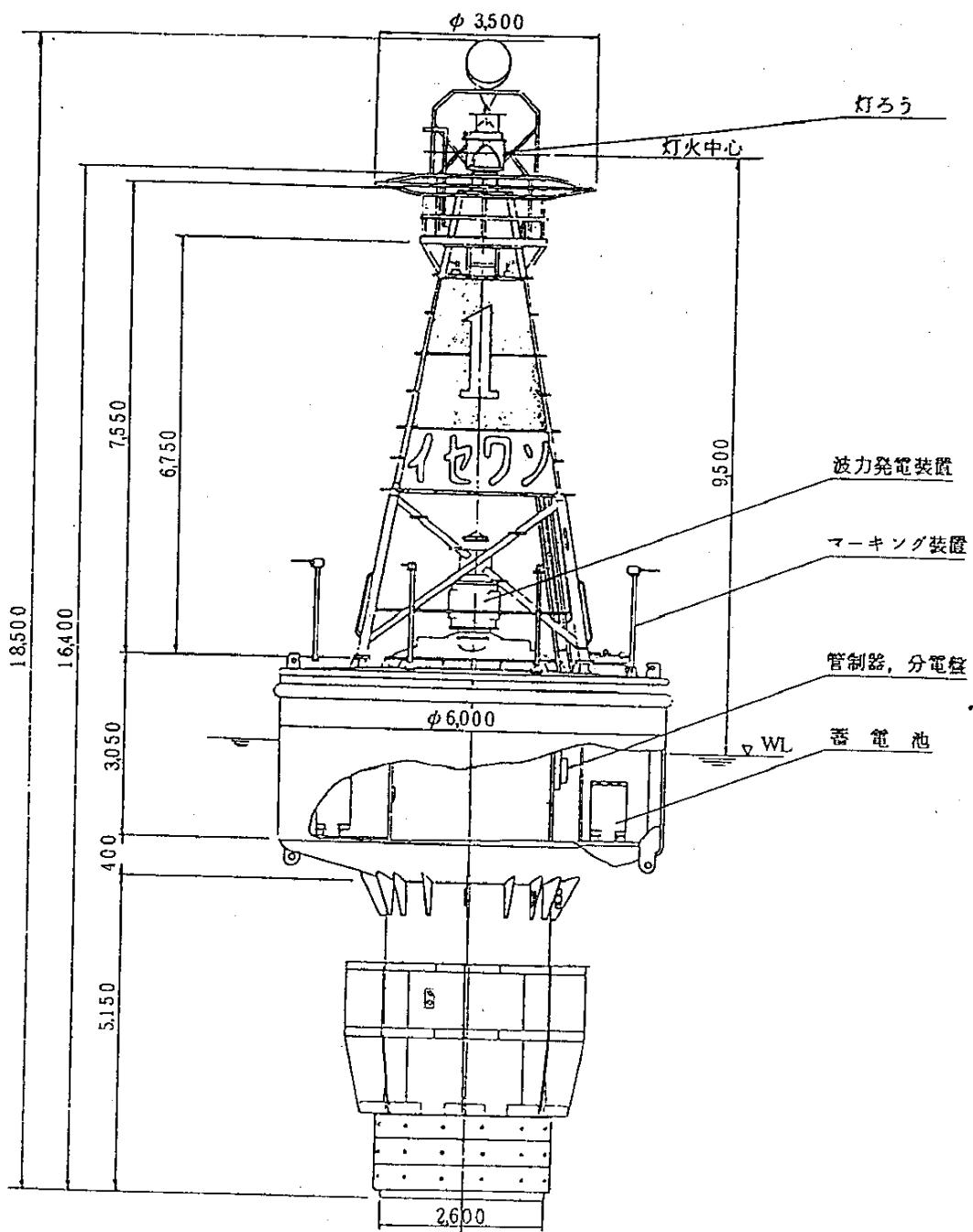
(ii) 衝突→浮体浸水→沈没した灯浮標は、ダイバーによりそれを確認する。衝突により浮体の凹損したものは、前記のとおり揚陸して補修する。

衝突により搭載機器の損傷したものは、前記の如く海上で、もしくは揚陸して補修する。

(iii) 衝突そのものを直ちに検知することはできないが、通報を受けた場合には、海中部はダイバーによって検査し、沈没の恐れがあるときには直ちに引き揚げて揚陸し補修する。

(iv) 潮流の激しい水域に設置した灯浮標はチェーンの絡みが起りやすく、ベンダント部の長さが短くなつて浮標が沈下した場合、状況により揚陸するか、ダイバーによる目視調査を行う。

(v) かつてサイドスキャンソーナーを使用して海底状況を映像モニタリングしたことがあったが、映像に対する解釈・評価の点で不明確であった。



大型波力標体標準設計図

(3) 海底石油生産システム (CADLAO油田)

(a) 油田の概要

フィリピンのバラワン島北西の沖合に位置。

本油田の生産システムは SBM Inc. が開発した Floating Production, Storage and Offloading (FPSO) システムと呼ばれる。

本システムは海底仕上げ杭井からの産出油を一点係留ブイを通じて、ブイにヨークで船尾を固定されたタンカーの船上の処理施設へ送り、ガスと水を分離した後のタンカーに貯蔵し、タンデムローディング方式でシャトルタンカーへ積み出すというものである。

(b) 設計条件

(i) 背景

水面上の部分とブイの係留装置は、SBM Inc. の子会社である Terminal Installation Inc. (TII) が所有しており、オペレータの Amoco Philippines 社は本システムをリースしている。

本方式を採用した理由は、油層の規模が初期には良くわからなかったことから、大きな投資を避け、かつ移動容易なシステムを好ましいと考えたことによる。

海底に珊瑚礁が多く存在し、バイブルайнの敷設が極めて困難なこと、またバイブルайн揚陸候補地点付近の開発が進んでいなかったことから、オフショアローディングとなった。

(ii) 自然条件

本システムの設計には以下に述べる 100 年ストームの条件が適用されている。

最大波高 : 17.1m

有義波高 : 9.1m

波周期 : 12.7s

風速 : 56 m/s (1 分間平均)

潮流 : 1.5m/s (3 ノット)

(iii) 水深 : 94.5m

(iv) 海底土質

表面から 0.6m 程まではシルトでその下はリーフタイプの石灰岩。

(v) 地震条件

本油田付近には、多少の地震活動があるが、設計上は特に考慮されていない。

(vi) 離岸距離： 40km

(c) 設計・製作会社

石油生産システム全体の設計・製作 : SBM

(d) 機器要目

(i) 一点係留ブイ : 直径19m、高さ 9 m

排水量1500 t

6点係留 CALMタイプ

(ii) 浮遊式プラットフォーム : 125,000 dwt タンカー

L × B 270×33 (m)

(e) 保留方法

6組のチェーンおよびアンカーバイルによる6点係留。

アンカーバイルは直径 1.5m、板厚5cm、長さ30m。

台風時タンカーを切り離して安全な場所へ曳航することは考えない。

ブイとワークオーバリグのアンカーラインが互いに邪魔にならないようにブイは各坑井より 1 mile 程の距離にある。

(f) 運転実績

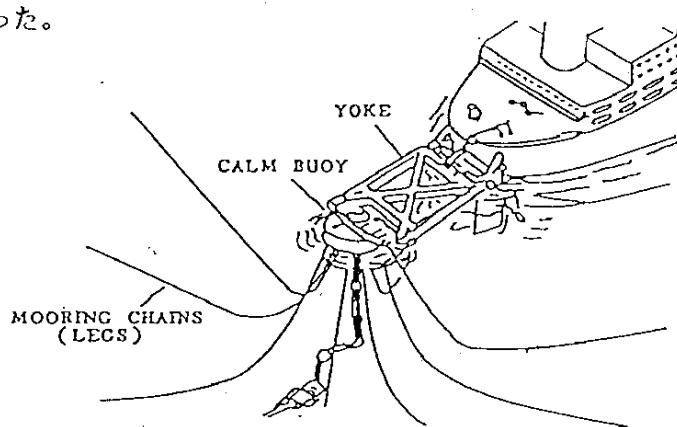
稼働率はほぼ 100%、修理又は機器のトラブルによるダウントIMEはほとんどない。

ブイは Lloyds、タンカーは ABS により認定。

当初 2.5年ごとに予定したドライドッキングはその後5年ごとに延長。

(g) 事 故

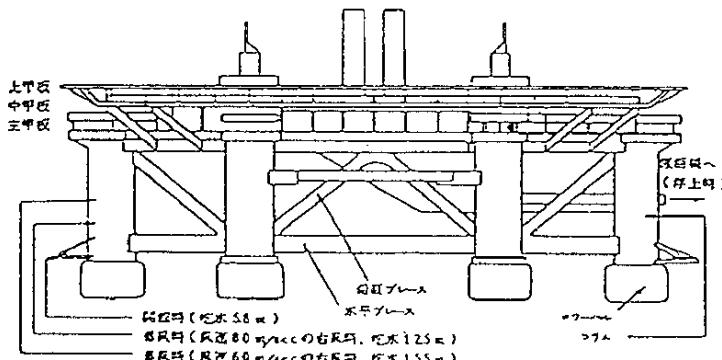
台風時に船尾のグレーティングプレートが波によってはがされ、他装置を破損する事故があった。



CADLAO油田と同型式の係留装置：ヨーク付CALM

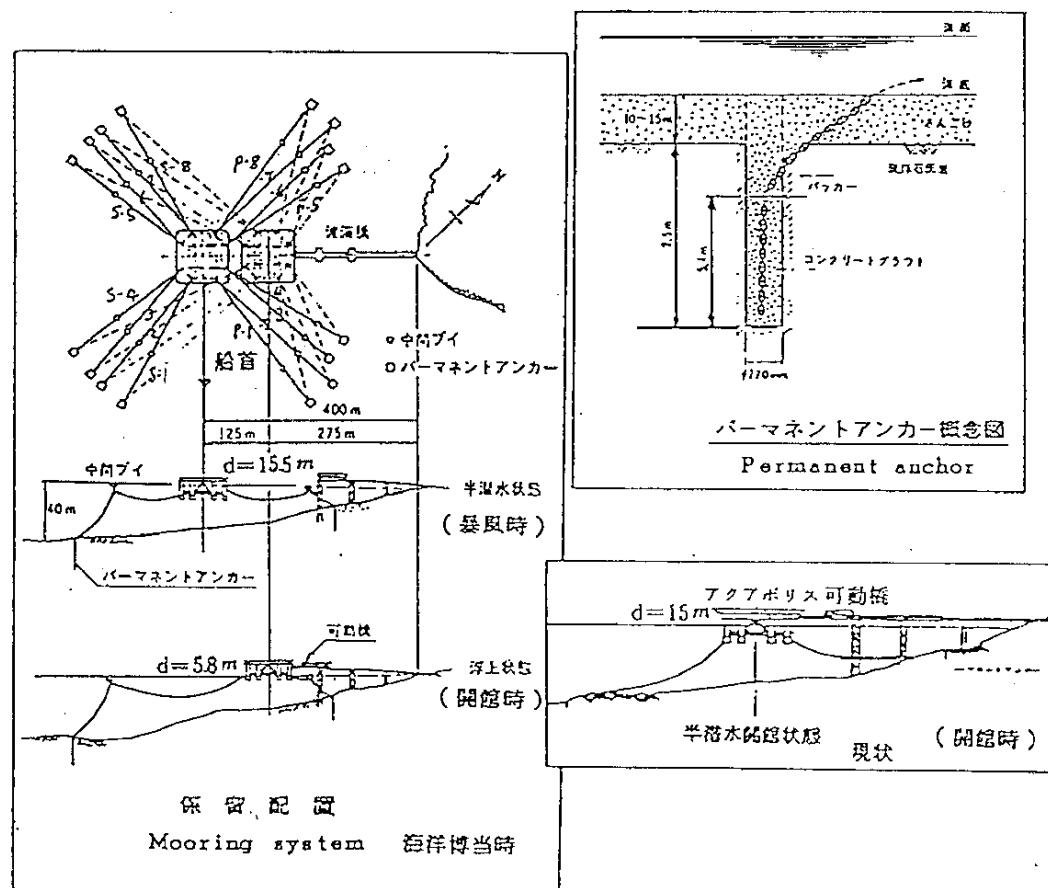
(4) 沖縄海洋博記念公園内アクアポリス

(a)概要

機種	半潜水展示船
保有者又は管理者	保有者は沖縄県。（海洋博後国より譲渡）
施設所在地	本部半島の最西端の地点近くから沖合275m海上に係留され、陸地と渡海橋によって連絡している。
経過年数	昭和50年4月現地に係留。今日に至る。
建造者	総括造船所：三菱重工業（株）広島造船所 ロワーハル：日立造船（株）、日本鋼管（株）、 石川島播磨重工業（株）
設計条件	沖縄周辺海域における過去のデータを参考にして次の条件を設定 潮流：1.5ノット 瞬間最大風速：80メートル／秒 気温：-10°C～40°C 潮流汐：3メートル 最大波高：15メートル
形状および主要寸法	<p>“4ロワーハル16コラム型半潜水式”</p> <p>主要寸法 (L×B×D): 104×100×32(m)(上甲板まで) ロワーハル (L×B×D): 104×10×6(m) … 2本 56×10×6(m) … 2本 コラム : 7.5m φ ×12本、3m φ ×4本 ブレース: 3m φ 、1.8m φ (斜めおよび水平) 噫水および排水量: 浮上開館(海洋博当時) 5.8 m 約18.650 ton 半潜水開館(実行せず) 20 m 約28.070 ton 半潜水開館(現行) 15 m 約24.640 ton (注) 海洋博終了後、管理が県の手に移ってから、稼動率を高めるため、渡海橋と接続したままの位置で(つまり沖出しをしていない。) 噫水を暴風時のみのところまで増加した状態を保っている。51年7月～</p> 

(b) 係 留

海洋博当時の資料によるとアクアポリスの外周8コラム頂部の各ウィンドラスから2本づつ、計16本のチェーンを出し、中間ブイを介して海底に固定したアンカーに連結する配置方式が実施された。しかしブイの切断流失が続いたので、中間ブイを廃止し、バーマネントアンカーに直結係留されて今日に至っている。海洋博では喫水を5.8mと浮上状態で稼動したので、渡海橋から可動橋を介してコラム中段の高さの交通路を通って出入した。暴風時は安全のため、渡海橋と切り離して岸から400mの所に係留し喫水を12.5~15.5mに増加する計画であった。これは半潜水式構造の動搖特性を生かし、荒天時でも動搖は少なく係留も安全となることを考慮したものである。チェーン径は76mm、破断強さ438ton、暴風時での安全率1.75である。



(c) 適用法令および適用基準

世界に類を見ない海上都市の建造に当たってどのような法規基準を適用すべきかについて議論された結果、政府の3機関（通商産業省、運輸省、建設省）共同で“アクアボリス技術基準”が準備された。この構造物は“船舶”に属することになり、日本海事協会の“半潜水式展示船基準”、鋼船規則、日本政府の船舶安全法、建築基準法、JIS、海上衝突防止法、公害防止諸法規等が適用された。

検査、保守に関しては、昭和51年7月付で日本海事協会より「アクアボリス検査の方法」（全9ページ）が発行された。当時としては例のない物件であり、船舶やリゲのルールを勘案して作成された。

昭和52年8月、日本海事協会の基準による中間検査が実施された。その後はこの基準を緩和した形で運輸省検査官によって検査が実施されて来た。その理由は検査結果から見て規定の緩和が可能と判断されたことによる。

上記の「検査の方法」によれば

定期検査は4年ごと、第1種中間検査は1年ごと、検査時の喫水はロワーハル上部が水面に出る程度の軽喫水とする。

水線下部分の検査は「大型船の水中検査基準」を準用。

プレース端部の溶接部は非破壊検査（抜取検査可）、ただし、12年以降は全数検査等である。

(d) 検査状況

(i) アクアボリスの検査保守は、船舶安全法により、昭和54年度と58年度に管轄官庁による定期検査を実施し、毎年簡単な中間検査（第1種検査）を実施してきている。

以下は資料による検査状況概要である。

(ii) 検査施行体制：

全体総括～琉球海運（株）……工事発注者

（合資）マリンテック海洋調査工事……工事実施者

電気防食関係～日本防蝕工業（株）、中川防蝕工業（株）

（注：機関、電気、居住、防災等については省略。）

マリンテック海洋調査工事社は、アクアボリス船体外部の水中検査並びに係留チーンの水中検査を担当している。

(iii) 日本防蝕工業（株）は、アクアボリスの建造時にロワーハルとコラムの水中部分

の電気防食を担当し、以来そのメンテナンスを続けている。

中川防蝕工業（株）は、プレースの水中部分の電気防食を担当し、メンテナンスを続けている。この両社の検査工事は基礎電極（飽和甘汞電極又は、海水塩化銀電極）と高抵抗電位差計を用い水中鋼材表面電位を測定するものである。

(iv) 防蝕基準電位は 飽和甘汞電極で -770mV

海水塩化銀電極で -780mV

・日本防蝕工業（株）の計測（53年11月9日、経過約3か年）によれば、計測個所26か所で-850～-1,000mV の2か所を除き他はすべて-1,000mV 以下であり、防食性能は十分である、と報告されている。ロワーハル側面、底面：寿命10年のアルミ陽極計 174個

ロワーハル上面、コラム（喫水20mまで）：寿命5年の同上、計 196個 喫水15～20mにある陽極は没水したことなく、飛沫、潮風により大気腐食を起こしている。

この計測の結果として、水中調査をやっていないので詳細不明だが、陽極寿命は予定より伸びていると推定されている。

・中川防蝕工業（株）の計測（55年8月18日、経過約5か年）によれば、計測個所10か所すべて-950mV 以下であり、防食性能は十分であると報告されている。プレース（水平および鉛直プレース）外面：寿命5年のアルミ陽極
プレース（開放型）内面：寿命5年のアルミ陽極 総数 208個
没水したことのない陽極について前記と同様大気腐食が若干あった。

(v) ロワーハル外面はタールエポキシ塗料（400～500 ミクロン）

・コラム、プレースは塩化ゴム塗装（200～300 ミクロン）
がそれぞれ施されている。

(5) 洋上石油備蓄設備

石油貯蔵バージおよび陸上設備の定期検査および中間検査については、日本海事協会「鋼船規則等の検査要領集（昭和60年）洋上石油貯蔵システムの船級検査に関する検査要領」が発行されている。

定期検査は4年ごと、中間検査は定期検査後12か月後に実施することになっている。

同検査要領は、定期検査および中間検査において、貯蔵バージのドック入れを水中検査に代えることを認めている。

水中検査における検査箇所は次のとおりとなっている。

- ① 前部、中央部および後部の各船体横断面に沿った外板
- ② 船首前面および船尾後面の外板
- ③ シーチェスト、バルブ等のシーコネクションおよびその他の外板開口部
- ④ その他検査員が必要と認める箇所

水中検査に際しては、検査員が水中テレビの監視および制御ができるようにし、検査員と水中のダイバーが通信できる設備を備え、かつカラー写真の撮影を行い得るよう準備しておくこととしている。

この場合の水中検査の内容は外観検査を中心としたもので、直接目視又はTVによる間接目視、要すれば清掃して近接目視程度である。

しかし、長期間経過したあとの検査ではかなりの範囲の清掃しての近接目視とNDTが必要となるであろう。

同検査要領では、進水又は前回のドック入れ終了の日から12年を経過した期日までにドック入れをすることを要求している。

ドック入れの必要性は、没水部外板の塗装、板厚計測および外部検査と考えられる。

ドック入れ検査は洋上検査とは格別に違った精度と範囲のものであるから、長期間水中検査で代用した12年後にドック入れを要求されるのは石油貯蔵バージにとっては、意義あることとも考えられる。

ドック入れ時の検査で要求されている板厚計測は、水中検査で外部から計測することができる。外観検査については、清掃し、近接目視および非破壊検査を行うならば目的とする腐食、機械的損傷、海洋生物付着、塗装および防食等の状況は十分検査できる。

水中検査使用機器：・水中テレビ監視・制御装置

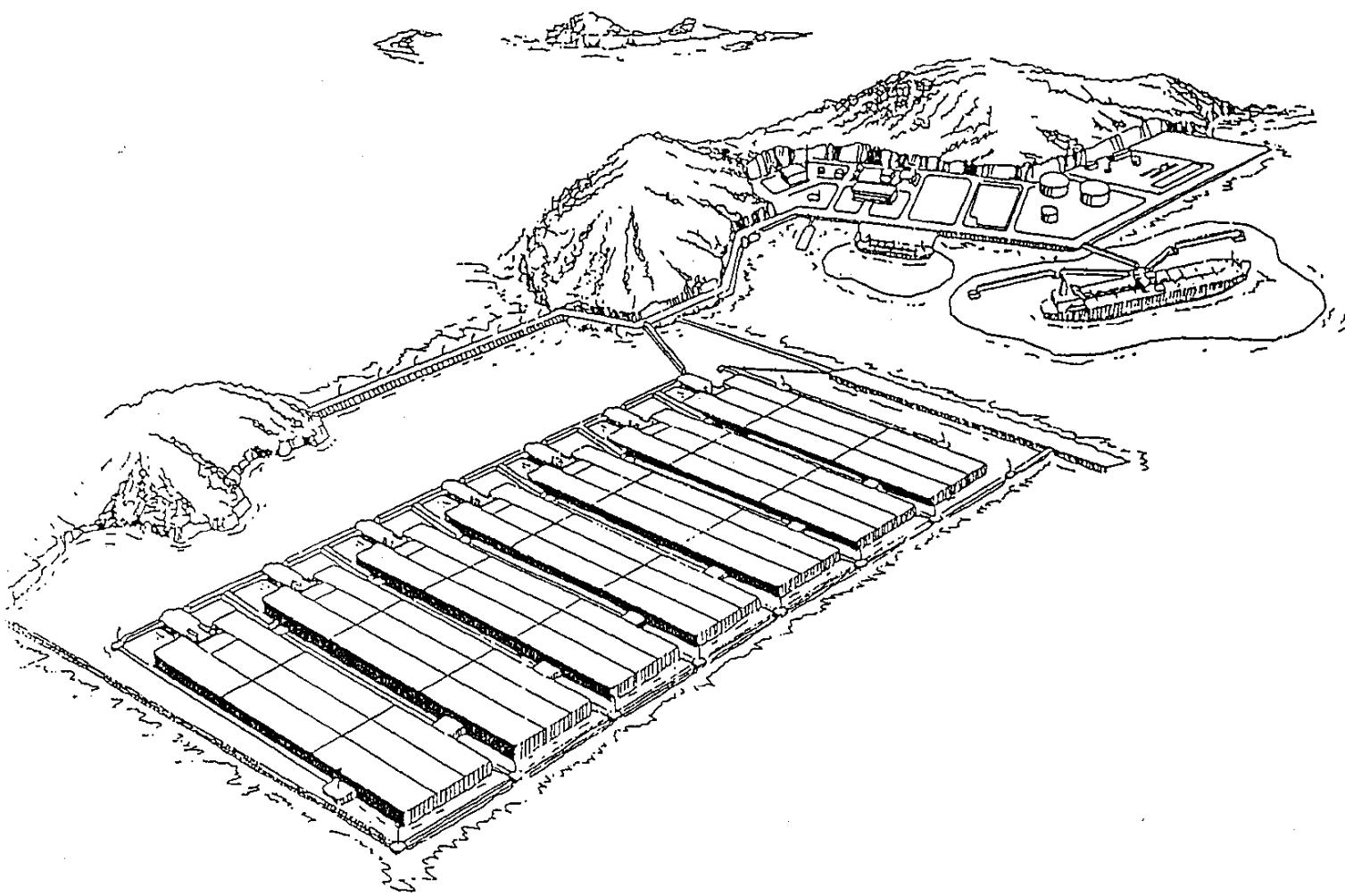
・検査員～ダイバー通信連絡設備

- ・水中テレビ
- ・水中カメラ
- ・照明機器
- ・清掃機（高圧ジェット方式）
- ・N.D.T装置
- ・電位計測装置

外部検査内容 :

	水 中 部	水 上 部
検査項目	<ul style="list-style-type: none"> ・吃水線下外板、シーチェスト、バルブ等のシーコネクションおよびその他外板開口部について下記の検査をする。 ・腐食、防食塗装の状況 ・電気防食の状況 ・損傷の有無 ・過度の変形の有無 	<ul style="list-style-type: none"> ・外板および甲板について下記の検査をする。

同 左



海上石油貯蔵設備 完成予想図

(6) 浮体式海上空港（構想検討）

浮体式海上空港の構想検討において、浮体および係留装置の維持管理方法を以下のように考えている。

- (i) 浮体空港は60年以上という長期間に亘って常に正常な空港機能を発揮することが必須条件であるため、予防保全を旨とし、定期的な点検を行って不具合箇所の早期発見につとめ、必要箇所は速やかに補修する。
- (ii) 点検は、浮体空港全般を対象として、浮体各部の構造強度上の異常の有無と防食部の防食状況を主にして行う。
- (iii) 点検補修設備としては次のようなものを容易する。

点 検 設 備	数	点 検 箇 所
モータ付ゴンドラ（2～3人乗り）	42 台	上部構造内部上面など
レール上自走作業車（2～3人乗り）	42 台	上部構造内部底面など
作業台付台船1型（4～5人乗り）	4 隻	支持浮体空中部など
作業台付台船2型	16 隻	スプラッシュゾーン・干満帶
水中スクーター（ダイバー）	一	没水部

(iv) 防食部の点検、補修の頻度は次のとおり考える。

場 所	劣 化 予 測		点 検 頻 度	点 検 期 間	補 修 期 間
	期 間	劣 化 量			
空中部外面	10 年	8 %	5年に1度	1 注)	5 年
空中部内面 (底面は除く)	20 年	5 %	10年に1度	1 年	5 年
内部底面	10 年	5 %	5年に1度	1 年	5 年
スプラッシュゾーン、 干溝帶	耐久性60年		5年に1度	1 年	5 年
没水部	耐久性60年		5年に1度	1 年	異常発生時
土中部	耐久性60年		常時電流監視	—	

注) “点検期間1年”は1年かけて全域点検、“補修期間5年”は5年かけて全域補修することを意味する。

(v) 浮体各部の構造強度上の点検は、防食部の点検と合わせて行う。

異物の衝突などにより支持浮体が破損しても、支持浮体は本体下面に溶接してあるため、簡単に切断し、代替品を再び溶接して復旧する。

(vi) 係留装置のゴムダンパーに関しては、ゴムは一般に経年変化（老化）するのでそれを見込んでダンパーの特性を考えている。しかし今まで長年月の実績が得られていないため、中間でチェックをすることとしている。チェックは、同じような環境にダミーを1個置いて調べることにし、もし老化が予想以上に進んでいる場合は、新品との交換ができるように、ダンバ交換用の工事孔を上部デッキに設ける。

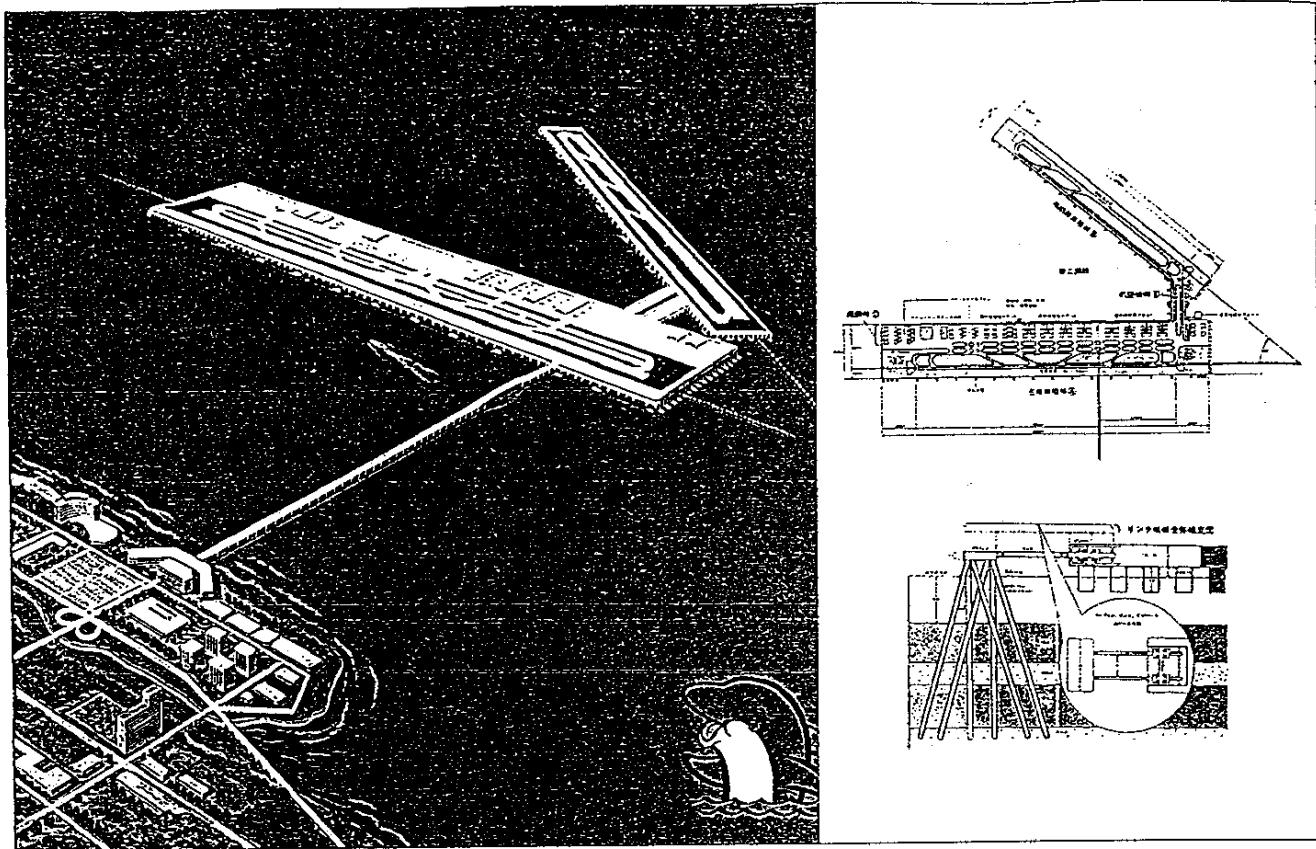
リンク機構に関しては、ユニバーサルジョイントおよびガイドローラなどの回転摺動部並びにシール部について、1年ごとに数か所の抜取り検査を行い、10年でシール、グリースなどの全数を交換できるように、維持補修を行う。

(vii) 支持浮体への貝類の付着に関しては、支持浮体は貝類が付着しやすいエポキシ塗料

で塗装されているため、貝類は付着すると考え、予め付着による重量の増加と潮流抵抗の増加を見込んで設計する。

重量の増加は、全重量の約1%で、吃水6.5mがせいぜい6cm増えるだけである。

潮流抵抗の増加は、支持浮体の表面粗度の影響として1.5倍を見込んでいる。



プロジェクト名		メイフラワープロジェクト（浮体工法による関西新国際空港）
概要	要	昭和49年航空審議会により答申された大阪湾泉州沖の新海上空港では、浮体工法を含んだ各種工法の比較を行い埋立工法が最適との結論を出しているが、(社)日本造船工業会ではセミサブ工法による浮体空港は数々の点で埋立てに優るとの立場から浮体工法による試設計を行い技術的可能性を立証した。この結果は運輸省の「関西国際空港計画に係わる浮体工法の評価のための調査」に利用された。
用途	主要目及び容量等	空港
特徴	セミサブ式浮体工法による人工地盤上に設けられた主離着陸帯及び施設帶(5,000m × 840m)と横風用補助離着陸帯(4,000m × 410m)を陸地より5km沖にV字型に配置し、陸上側に埋立工法で設けた主施設帶と連絡橋で結ぶ。浮体部分の総面積は約595ha。これらの人工地盤は日本各地で規格化されたユニットとして建造され、曳航により設置場所に集められて、海上接合により一体化される。	
設計条件	100年台風時(風速: 50m/s, 有義波高: 4.6m, 水深: 20m)	
計画の熟度	試設計	
設置予定場所	大阪湾泉州沖約5km	
完成予定期		
事業主(施主)		
計画者	(社)日本造船工業会	
出典/引用	(社)日本造船工業会発行の各種パンフレット	
備考		

引用： 海洋構造物 (社) 日本造船工業会

(7) 船 舶

鋼製船舶の検査については、鋼船規則、鋼船規則集検査要領（日本海事協会）に示されている。

吸着プラントおよび精練船の浮体部の点検に参考となる事項について以下に概要をまとめる。

(a) 船 舶

- (i) 定期検査は4年ごとに、中間検査は定期検査より24か月を経過した期日に行う。
- (ii) 定期検査又は中間検査では、船舶をドック入れ又は上架しなければならない。
- (iii) 定期検査又は中間検査では、船体外部を清掃した上、船底外板の現状、構造の不連続部、腐食の生じやすい箇所および強力甲板又は船側の開口の部分を検査する。
- (iv) 船令が12年未満で船長が 200m以上の大型船舶の中間検査を船級協会の承認を受けた上で、水中検査を変えることができる。

ただし、実施条件として、船底部の確認ができること、十分な清掃、水中カメラ、水中テレビカメラの装備等が規定されている。

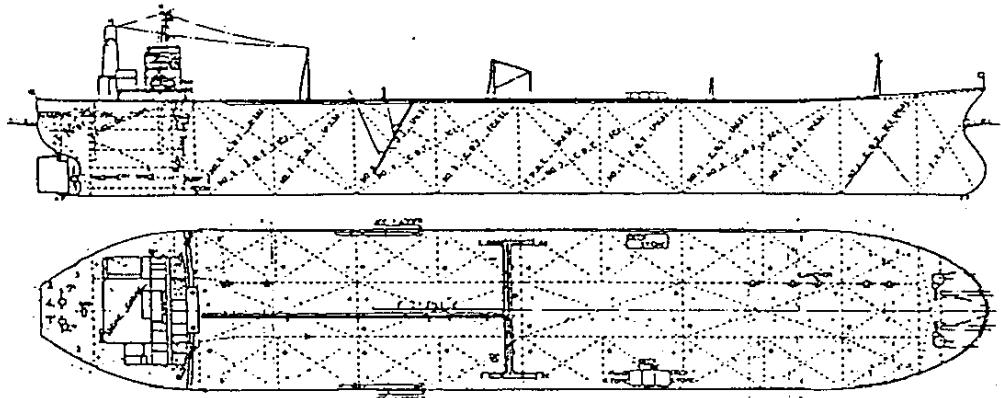
(b) 係留等により貨物を貯蔵する船舶

- (i) 定期検査および中間検査において、水中検査を行えば、1年以内の範囲で船底検査を延期できる。

(8) 原油備蓄タンカー（日精丸）

(a) 概 要

機 種	48万4千 DWT タンカー
保 有 者	船主：東京タンカー（株） 本社：東京都港区西新橋 1-3-12
建 造 者	石川島播磨重工業（株）吳造船所
漂 泊 地	東京都小笠原村硫黄島付近洋上指定区域 2年（無入渠）
入 渠 地	三菱重工業（株）長崎造船所香焼工場修繕ドック
調 査 時 期	昭和59年11月19日～20日
本 船 主 要 目	<p>Lpp 360.0 (m) Bmld 62.0 Dmld 36.0 dmld 28.2 DW 484,276.0キロトン Vs 14.3kn</p> <p>主機 IHI ノンリヒート船用タービン機関 1基 最大出力：45,000ps</p> <p>船級 区域資格：NK 遠洋</p> <p>竣工：昭和50年6月26日 航路：（備考用漂泊時以外の輸送時） 日石グループ喜入 CTS←→ペルシャ湾</p>
本 船 経 緯	本船は昭和50年6月竣工以来、ペルシャ湾より喜入 CTSまでの原油輸送に従事してきた。55年11月より硫黄島付近での漂泊備蓄用に転用され、57年11月、定検ののち、再び同備蓄に従事していた。2年後の59年11月入渠によって中検を受けるとともに、原油輸送に復帰することとなった。



同型船一般配置図

(b) 漂泊法

- (i) 硫黄島付近での漂泊は、海図上に漂泊区域が指定されていた。台風避難や漂流のためその区域を逸脱すると船速4～5ノットで復帰する。10日に1回位の割合。
- (ii) 燃油等の補給や乗組員の休養のため、3か月ごとに喜入に帰港する。乗組員は27名で、6か月乗船の規則。
- (iii) 海の状況は日本本土沿岸とはまったく異なり汚れていない。透明度もきわめて良好である。

(c) 清掃

- (i) 備蓄中は外板の清掃は行わないが、3か月ごとの喜入入港時にダイバーによる目視検査、写真撮影を行っている。備蓄用としての任務を終って輸送用に復帰のため入渠する場合は、喜入CTSで揚荷し、水中部をダイバーによる検査並びにSCAMPを用いての清掃を行う。これは入渠後の清掃作業を軽減するためである。（本船の場合は特殊な防汚塗料を塗ってあるから入渠前清掃は行われなかった。）
- (ii) 他社船では、横濱で2年備蓄したあと入渠した例では、舷側は下から上までペイントが見えないほどフジツボが付いていた。この船は防汚塗料を施工していなかった。
- (iii) プロペラに生物付着があると推進に影響があるから喜入に入港するたびに清掃される。
- (iv) 本船に塗装したセルフポリッシュ型の防汚塗料では船が走りつづけていたらほどんど生物付着はないと思われる。

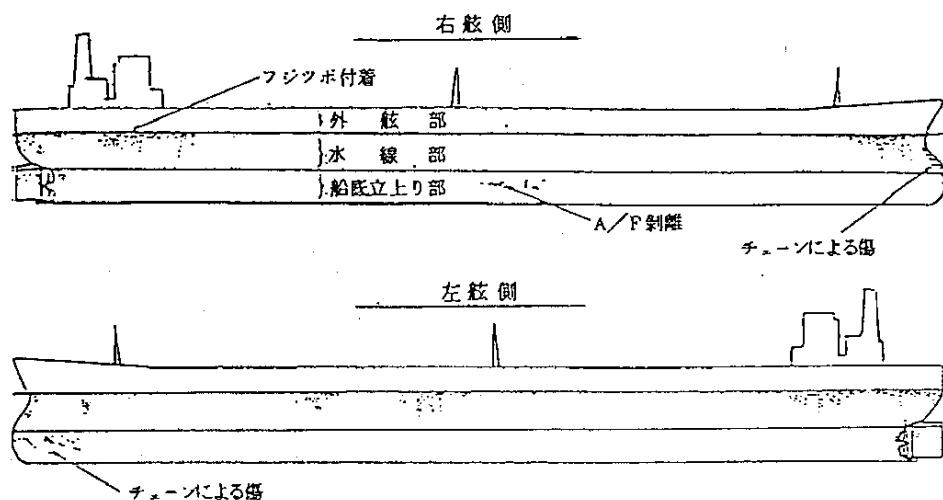
(d) 会社のメンテナンスポリシー

当船会社はメンテナンスに力を入れている。その背景には、当社は用船する側である

から手入れして長く使おうという思想がある。本船も寿命20年と考えて相応のメンテナンスをしてきている。本船を訪船して、10年近くたった船とはとても思えないという感想を抱く人が多い。

(e) 船体汚損状況

11月19日の入渠時は日没までにドックの排水が終わらず、外観検査ができたのは喫水約3mまでの船体外板面であった。下図は両舷の汚損分布の概略を示す。



(i) 全体として外板の汚損は少ない。

2年間水没していた船体としては極めて清浄であった。

(ii) 上図に見られるように、船首尾の曲り外板の水線付近に比較的多くのフジツボ付着が認められた。

(iii) A/F の剥離も少ない。右舷側バーマメントバラストタンク付近の船底立上り部に数か所、黒色のA/Cが出ているところがあった。

(f) 調査所感

船舶は水中部の生物汚損や塗膜劣化が摩擦抵抗増加、すなわち燃料消費増加を意味し、運航採算上いささかも見逃すことのできない重要なポイントであるため、塗料、塗装の効果にはきわめてシビアな評価が行われ新製品開発も真剣に行われている。本船は普通の船舶が経験しない2年間ノードッキングというケースと、塗料メーカーの新型A/F（セルフポリッシュ型）との組み合わせという事例で、今回の調査を通じて次の感想を得た。

(i) 入念かつ高級な防錆塗装をすれば長期の水没でも鋼材地肌からの発錆は防止できる。エポキシ系であれば生物の侵食も防ぎうる。係留チーンなどによる機械的損傷は極

力避けることが必要である。海洋構造物では新造時の防食費用を惜しむと保守経費は膨大となる。

- (ii) 防錆塗装の上には後日の補修がきくのなら防汚塗料を施すか、もし数年ごとに水中清掃をやるのなら下地の防錆塗膜を傷つけず剥離するような塗料（多層になっているならなおよい）を施すのがよいと思われる。
- (iii) 船舶のように摩擦抵抗を考える必要はないから塗料は船用のものにとらわれず海洋構造物用独自のものを考えてよいのではないか。

2.3 海水ウラン回収プラントの維持管理の方策

海水ウラン回収プラント（以下吸着プラントと称する）には、維持管理を必要とする構成要素として、浮体、ヨーク付ブイおよび区割壁材がある。

吸着プラント類似構造物の維持管理方法の調査結果に基づき、吸着プラントの点検・補修要領を検討し、表2.2 にとりまとめた。

吸着プラントの維持管理システムとしては、日常巡視、定期点検および定期整備に該当するものが必要と考えられる。

吸着プラントの維持管理内容は、日常巡視としては、巡視船上からの吸着剤カセット、吸着浮体、係留装置の目視点検、定期点検としては、1年ごとにダイバーが係留装置水中部を点検、揚陸設備として、5年ごとに浮体、ヨーク、ブイを揚陸整備する、1か月ごとに吸着剤カセットを清掃する等が考えられる。

3. 運用の方策

3.1 吸着プラント

- ・吸着浮体はヨーク付一点係留ブイに係留する。
- ・吸着剤カセットを吸着浮体に嵌脱自在に保持する。
- ・吸着剤は11日／サイクル（10日吸着、1日離脱）で吸着プラント上でウランを溶離する。
- ・吸着プラントは無人自動運転であり、浮体上のデータは刻々陸上の基地に送信される。陸上の基地では複数の浮体の状態を監視し、緊急の際は陸上からも浮体を無線でコントロールする。

3.2 精練船

- ・精練船の運航日数は陸上基地と浮体との往復に1日、1浮体に対する移動・係留・液体移送に2日と仮定して、計7日を1航海とする。
- ・浮体への着船作業、配管接続作業、およびウラン溶液・塩酸・カセイソーダ・燃料等の移送作業の制御を本船の制御室にて行う。
- ・本船の操船、およびウラン濃縮作業に必要な人員の居住設備、救命・避難設備を有する。
- ・浮体と連結中は推進機、スラスターにより本船の位置制御を行う。

4. 耐用年数

維持管理の問題を考えるにあたっては、構造物の耐用年数の概念を明確にしておく必要があるが、海洋構造物においてはこの概念は明確ではない。一般的には、建設又は改良された施設が、その効果を発揮できなくなるまでの年数と考えられ、その原因によって次の四つに分類される。

(1) 機能的な耐用年数

生産性の不足等のように施設の機能に不都合が生じて、その施設が使われなくなるまでの年数。

(2) 物理的な耐用年数

構造物を構成する材料が腐食、風化などの作用をうけて必要な材料強度を維持できなくなるまでの年数。

(3) 経済的な耐用年数

何か改良を施さねば、新形式の他施設との経済的な競争に負ける状態となるまでの年数。

(4) 社会計画的耐用年数

新規計画により、当初目的とした機能が不要になるか、又は別の機能を要請されるまでの年数。

吸着プラントの如き経済生産活動に従事する施設にあっては、その計画・設計にあたって耐用年数は、経済競争に耐えられる間、すなわち機能的な耐用年数および経済的な耐用年数が考慮される。

したがって、吸着プラントの耐用年数は、経済性見通し又はフィジビリティスタディから設定されるべきものである。

5. 運用経費

項目	費用(円/年)	算出根拠
1. 吸着プラント		
本体構造(含アノード)	9,400,000	$940,000,000 \times 0.01 = 9,400,000$
発電・ウラン処理・運動制御設備	28,500,000	$950,000,000 \times 0.03 = 28,500,000$
吸着剤区画壁	11,500,000	$230,000,000 \times 0.05 = 11,500,000$
その他	3,000,000	$100,000,000 \times 0.03 = 3,000,000$
2. 係留装置		
鋼製ヨークおよびブイ	15,900,000	$530,000,000 \times 0.03 = 15,900,000$
3. 精練船		
操船費	200,000,000	
プラント操業費	1,250,000,000	
計	1,518,300,000	

吸着プラント(含係留装置)は無人運転であるから、運用経費として建造費に基づき推定したメンテナンス費を計上している。

精練船は、操船費およびプラント操業費を計上している。

吸着プラント(含係留装置)および精練船とも償却費、高張力ロープおよびアンカーチェーン等係留装置又は設備機器の一部に考えられる消耗時の新品との取り替え費用は除外している。

6. 吸着剤カセットの防汚対策

吸着剤カセットの壁材は、ピンポン玉大の吸着剤の流出を防止する一方、豊富な海水の出入りがあり、海水と吸着剤との十分な接触を可能にするものでなければならない。この種材料を海水中に浸漬すると、海洋生物が付着し、網目がふさがり著しく海水の流入出人が損なわれるのが通例である。

吸着剤カセットの壁材の選定に際しては、吸着剤へのウランの吸着を損なうことなく、かつ海洋生物の付き難い材料および防汚対策を採用する必要がある。このことは、未到の技術であり、今後の系統的な開発を必要とするものであると考えるが、参考のために現状の防汚対策を以下に紹介する。

6.1 防汚塗料による防止法

防汚塗料による方法は、鋼船時代の夜明けとともに始まり約120年の歴史がしるされている。この塗料による方法は、毒物粒子を乾燥によって固化する粘液体のマトリックスの中に均等に分散させ、塗料によって一様に塗り広げたのち、溶剤の蒸発によって堅固な塗膜として得られるもので、海水中における防汚効果は、マトリックス内にある弱酸性のロジンが、弱アルカリ性の海中に溶解する機構を利用し、毒物の放出・溶解を果たし、ロジンの溶解拡散と毒物自体の汚損に対する生理阻害の相乗作用によって効果が決定するよう設計されている。この防汚に有効な毒物は、長年に亘る経験から亜酸化銅を用いたものが主流であったが、昭和20年代後半から有機化合物の合成が急速に進むに従って、多くの臨海実験が繰り返され、有機錫化合物の有効性が確認され、化合物自体の動物実験による経口・経皮・毒性試験や化合物の海中への溶解度の強弱などから、より安全性が高く、防汚効果の優れた化合物が選択されている。

防汚剤の種類

現在国内で使用が認められている防汚剤の種類は、古くから使用されている亜酸化銅のほか、数種類の有機化合物がその安全取扱基準や急性経口・経皮、毒性値の調査結果から安全性が認められ使用されている。その主なものを表6.1に示す。

表6.1 現在國內で使用可能な防汚薬剤

名 称	構 造 式	系 統	性 状	経 口 投 与 LD ₅₀ (mg/kg)
亜 酸 化 銅	Cu ₂ O	無 機	赤 色 粉 末	300
テトラメチル チウラム ジザルファイド	$\begin{array}{c} S \\ \\ \text{CH}_3 - \text{N} - \text{C} - \text{S} - \\ \\ \text{CH}_3 \\ - \text{S} - \text{C} - \text{N} - \text{CH}_3 \\ \\ \text{CH}_3 \end{array}$	有 機 硫 素 系	白 色 粉 末	(860)
ジンクジメチル ジチオ カーバメート	$\left[\begin{array}{c} \text{CH}_3 \\ \\ \text{N} - \text{C} - \text{S} - \\ \\ \text{CH}_3 \\ \\ \text{S} \end{array} \right]_2 - \text{Zn}$	有 機 硫 素 系	白 色 粉 末	(1,400)
トリプチル錫 フルオライド	$\begin{array}{c} \text{C}_4\text{H}_9 \\ \\ \text{C}_4\text{H}_9 \\ \\ \text{C}_4\text{H}_9 \end{array} \rightarrow \text{SnF}$	有 機 錫 系	白 色 粉 末	320
トリフェニル錫 ハイドロ オキサイド	$\begin{array}{c} \text{C}_6\text{H}_5 \\ \\ \text{C}_6\text{H}_5 \\ \\ \text{C}_6\text{H}_5 \end{array} \rightarrow \text{SnOH}$	有 機 錫 系	白 色 粉 末	927
トリフェニル錫 クロライド	$\begin{array}{c} \text{C}_6\text{H}_5 \\ \\ \text{C}_6\text{H}_5 \\ \\ \text{C}_6\text{H}_5 \end{array} \rightarrow \text{SnCl}$	有 機 錫 系	白 色 粉 末	439
トリプチル 錫メタクリレート 共 重 合 体	$\left[\begin{array}{c} \text{CH}_3 \\ \\ -\text{C} - \text{CH}_2 - \text{C}_4\text{H}_9 \\ \\ \text{Coo} - \text{Sn} \left(\begin{array}{c} \text{C}_4\text{H}_9 \\ \\ \text{C}_4\text{H}_9 \\ \\ \text{C}_4\text{H}_9 \end{array} \right)_n \end{array} \right]_n$	有 機 錫 含 有 樹 脂 アクリル 脂	コ・ポリマー 樹脂ワニス	> 750

6.2 海水電解法による防汚

海水電解法による生物付着防止方法の研究は、1964年頃から三菱重工長崎研究所において実施されている。実験は、電解防汚法を船体外板に応用するために、二方式の基礎実験（帯状電極方法、電解槽方式）から電解槽方式を主に実用化のために、大型テストプラントを建設し、防汚性能、電解槽の性能、ノズル作動、その他付属機器および配管の耐久性等について総合的なテストを実施、これらの結果から実船段階での電解防止装置の運航採算性の検討を行い、船舶外板防汚装置実用化の目途を得ている。

6.3 超音波による防汚

超音波法を用いた防汚の研究は、SR-97 部会において三菱重工が中心となり、音響、生物、船体振動、塗料など各専門分野の協力の下に開発が進められ、①生物付着実験、②超音波の作用機構の研究、③臨海浸漬実験による超音波強度の決定および船体などの加振方法に関する基礎研究、④振動の伝達の研究などから、実船段階における超音波駆動による汚損生物の除去の方法を確立している。又、本方法によれば、塗装による防汚が困難とされていた分野での防汚に有効としている。