

本研究は、モーターボート競走公益  
資金による（財）日本船舶振興会の  
補助金を受けて実施したものである。

部会外秘

研究資料No.384

## 第198研究部会

### 放射性物質等の海上輸送における 事故処理技術に関する調査研究

報 告 書

昭和60年3月

社 団 法 人  
日 本 造 船 研 究 協 会

## はしがき

本報告書は、日本船舶振興会昭和59年度補助事業として、日本造船研究協会第198研究部会において実施した「放射性物質等の海上輸送における事故処理技術に関する調査研究」の昭和59年度研究成果をとりまとめたものである。

### 第198研究部会委員会名簿

(敬称略 順不同)

部会長	青木成文(東京工業大学名誉教授)	
	布施卓嘉(船舶技術研究所)	城子立夫(日本海事協会)
	平野始幸(エヌ・ティー・エス)	細野昭(日本海運)
	糸山直之(三菱重工業)	井上康(三菱重工業)
	菅野和雄(三井造船)	森本弘正(石川島播磨重工業)
	山田三郎(東京電力)	杉原精二(関西電力)
	井上守(日本原子力発電)	新井義男(原電事業)
	満木泰郎(電力中央研究所)	斎藤茂(深田サルベージ)
	玉村忠雄(神戸製鋼所)	
関係官庁	守佑一(運輸省海上技術安全局技術課原子力船技術調査官)	
	関元貫至(運輸省海上技術安全局技術課原子力船調査係長)	

### 第198研究部会ワーキング・グループ委員会名簿

(敬称略 順不同)

主査	布施卓嘉(船舶技術研究所)	
	青木元也(船舶技術研究所)	植木絃太郎(船舶技術研究所)
	平野始幸(エヌ・ティー・エス)	細野昭(日本海運)
	糸山直之(三菱重工業)	井上康(三菱重工業)
	菅野和雄(三井造船)	斎藤大樹(石川島播磨重工業)
	杉原精二(関西電力)	中園隆一(日本原子力発電)
	中川憲一(原電事業)	満木泰郎(電力中央研究所)
	清水信夫(深田サルベージ)	玉村忠雄(神戸製鋼所)
関係官庁	守佑一(運輸省海上技術安全局技術課原子力船技術調査官)	
	関元貫至(運輸省海上技術安全局技術課原子力船調査係長)	

## 目 次

1. 緒 言 .....	1
1.1 調査研究の目的 .....	1
1.2 調査研究の概要 .....	1
2. 輸送の実態調査 .....	2
2.1 現行の輸送及び事故対策 .....	2
2.1.1 現行の輸送の概要 .....	2
2.1.2 現行の事故対策の概要 .....	3
2.2 法規制に関する調査 .....	22
2.2.1 通常輸送に係る法規制の概要 .....	22
2.2.2 危険時の措置に関する法規制の概要 .....	23
2.3 過去の研究のまとめ .....	29
2.3.1 まえがき .....	29
2.3.2 調査研究の概要 .....	29
1) 輸送に関する調査研究 .....	29
2) 海上輸送に関する調査研究 .....	29
3) 海外文献 .....	33
2.3.3 安全評価 .....	35
1) 船舶関係 .....	35
2) 公衆被ばく線量評価 .....	36
2.3.4 今後の課題 .....	38
3. 事故処理技術に関する検討 .....	45
3.1 前提条件の設定 .....	45
3.1.1 対象船舶 .....	45
3.1.2 対象キャスク .....	45
3.1.3 事故の想定の考え方及び検討項目 .....	45
3.1.4 各検討項目に対する条件及び検討事項 .....	45
1) キャスクの回収に関する検討 .....	45
2) 転覆船を正立させる方法の検討 .....	46
3) 沈船探査技術の検討 .....	46
4) 沈船引き揚げ技術の検討 .....	46

3.2 キャスクの回収方法 .....	48
3.2.1 キャスクの回収作業方法 .....	48
3.2.2 船体除染方法 .....	49
3.3 転覆船の正立方法 .....	55
3.3.1 転覆時の正立方法 .....	55
3.3.2 起重機船による吊運搬作業 .....	56
3.4 沈船探査技術の検討 .....	65
3.4.1 設定条件 .....	65
3.4.2 沈没海域の確認 .....	65
3.4.3 沈没地点の推定 .....	65
3.4.4 沈没海域への接近 .....	65
3.4.5 沈没地点の確認 .....	66
3.4.6 沈船への接近及び確認 .....	67
3.4.7 沈船探査母船 .....	69
3.4.8 新しい装置 .....	71
3.4.9 考察 .....	71
3.5 沈船引き揚げ技術に関する検討 .....	72
3.5.1 はじめに .....	72
3.5.2 沈船引揚の概要 .....	73
3.5.3 深度別による沈船引揚の検討 .....	76
1) 水深 200 mからの引揚の検討 .....	76
2) 水深 2000 mからの引揚の検討 .....	87
3.5.4 あとがき .....	100
4. 結言 .....	140

# 1. 緒 言

## 1.1 調査研究の目的

近年の原子力発電の増大に伴い、放射性物質等の輸送対策は核燃料サイクルの確立の観点から重要な問題になっており、從来からその安全性については、技術、規制、体制等種々検討が行われ、現段階においては十分安全であると考えられる。しかしながら、このような安全対策の充実にもかかわらず、万一事故が起こった場合にも対処できるよう、技術、体制等における整備をしておくことも必要であるという認識から、各方面において緊急時対策等について検討が始まられている。

また、昭和59年8月には、六フッ化ウランを積載した貨物船「モンルイ号」が衝突により、放射線災害には至らなかつたものの、社会的に多大な影響を及ぼしたことも記憶に新しく、無視できない事実である。

以上のような情勢に鑑み、本研究部会においては、放射性物質の海上輸送に関する安全性のより一層の向上を図り、社会的理解を深めるため、使用済核燃料の海上輸送中の事故を対象として、放射線の影響を防護しつつ輸送物を回収し、速やかに事故を終結するための事故処理技術について、技術的観点から検討を行うものである。

## 1.2 調査研究の概要

本研究部会は作業部会を設け、次の調査研究を行った。

### 1.2.1 基礎調査

事故処理技術の検討を行うに際し、必要なデータ、資料等を整備するため、以下の調査を行った。

#### (1) 輸送の実態調査及び事故時対策実態調査

輸送量、運搬船、輸送物、航路、緊急時の対策、緊急時対応器材等について調査を行った。

#### (2) 法規制に関する調査

通常輸送に関する規制及び危険時の措置に関する規制について調査を行った。

#### (3) 過去の研究のまとめ

使用済核燃料の海上輸送に関する過去の研究について各種文献調査を行った。

### 1.2.2 事故処理技術の検討

基礎調査の結果を踏まえ、事故の前提条件を設定し、以下の項目の検討を行った。

#### (1) キャスクの回収方法の検討

#### (2) 正立方法の検討

#### (3) 沈船探査技術の検討

#### (4) 引き揚げ技術の検討

## 2. 輸送の実態調査

### 2.1 現行の輸送及び事故対策

#### 2.1.1 現行の輸送の概要

使用済核燃料の茨城県東海村動力炉・核燃料開発事業団向けの国内海上輸送及び英仏との再処理契約に基づく海外向け海上輸送の実績、専用運搬船の仕様、輸送物の性状、運航経路等を以下に示す。

##### (1) 使用済核燃料の国内海上輸送量の推移

昭和52年度より昭和59年度に至る国内輸送の実績は、総合計229.1MTUである。

##### (2) 使用済核燃料の英仏海外向け輸送量の推移

昭和44年度より昭和59年度に至る海外向け輸送量は使用済ガス炉燃料において、835MTU、使用済軽水炉燃料では、1452MTUである。

##### (3) 使用済核燃料運搬船の仕様

各船共に、その構造、設備において昭和49年10月18日付舶查第610号（次章の付録2.2.-1参照）に示された要件を満足している。国内輸送の専用運搬船“日の浦丸”と英仏向け海外輸送のPNTL船舶の主な仕様及び比較を表2.2.1に示し、各船舶の船艙内におけるキャスクの積付け状況及び積載個数は表2.1.2の通りである。

##### (4) 輸送物の性状

原子力発電所から搬出される国内動燃向け及び英仏向け輸送物の仕様諸元を表2.1.3に示す。

但し、国内輸送において使用される容器はHZ-75T及びNH-25のみである。

##### (5) 運航経路及び水深賦存度

“日の浦丸”については、目下のところ、次の六ヶ所の原子力発電所から茨城県東海村の動燃再処理工場向けに使用済核燃料の海上輸送を実施している。

東京電力	福島第一発電所
関西電力	美浜発電所
中部電力	浜岡発電所
中国電力	島根発電所
四国電力	伊方発電所
九州電力	玄海発電所

その航路別、水深別航程を図2.1.1に示す。

航路全域の水深区分と日本一周水深賦存度は、下記の通りである。

水深区分	全航路上の水深賦存度
0～200米	53.6%
200～300	
300～400	21.6
400～600	
600～1000	14.8
1000～2000	9.0
2000以上	1.0

PNTL船については、“日の浦丸”が寄港する原子力発電所以外に下記の発電所からの使用済核燃料の海上輸

送を含むがその航路は概ね“日の浦丸”と同様である。

日本原子力発電	東海発電所
——〃——	敦賀発電所
関西電力	高浜発電所
——〃——	大飯発電所

## 2.1.2 現行の事故対策の概要

使用済核燃料運搬船の運航に当っては船主は危険物取扱規程を作成し、災害発生時の措置等を明記している。

(1) 災害発生時の措置の一例として「日の浦丸」危険物取扱規程第5章災害処理を付録2.1.1に掲げる。

(2) 緊急時対応機器材

法令等に基づくもの及び任意に次に記載する機器材を船上又は陸上に常備している。

(1) ピンガーライド装置(海中超音波発信装置)

万一、使用済核燃料運搬船が海没した場合、本船上に設置したピンガーライド装置が超音波を発信して、沈没位置の探査を容易ならしめる。

一例として“日の浦丸”的ピンガーライド装置は次の通りである。

名 称：ヘレ ピンガーライド(米国製)

モ デ ル：2240

レ ン ジ：8キロメーター

作動深度：3,050メーターまで

バッテリー有効期間：30日

ピンガーライド受信器及び受信用アンテナは陸上に保管。

(2) 使用済核燃料運搬船に積載している放射線管理機材

いづれの船舶にも放射線管理用機材を常備しているがその一例として“日の浦丸”に積載してある放射線測定器、放射線管理及び防護資材を表2.1.4に示す。

(1) 陸上に常備しているキャスク修理、補修用の交換部品と取扱工具

表2.1.5に国内輸送用HZキャスクの交換部品、取扱工具を示し表2.1.6では海外向けエクセロックス・マグノックスフラスコ用機材及びTNフラスコ用機材を示す。

(2) エマージェンシーキット(緊急用機器材)

使用済核燃料運搬船に原子力災害が発生した場合、陸上より応援者の派遣の必要性が予測されるが、かかる場合に備えて応援者に携行せしめる緊急用機器材を常備している。

表2.1.7は国内輸送に対して、表2.1.8は海外向け輸送に対してそれぞれ備えられている機器材を示す。

(3) 教育訓練

使用済核燃料運搬船の乗組員に対しては、原子力全般に関する基礎教育、放射性物質輸送に関する教育及び保安設備等の取扱いに関する教育、訓練を実施しており、陸上の支援組織に対しても同様の措置を講じている。

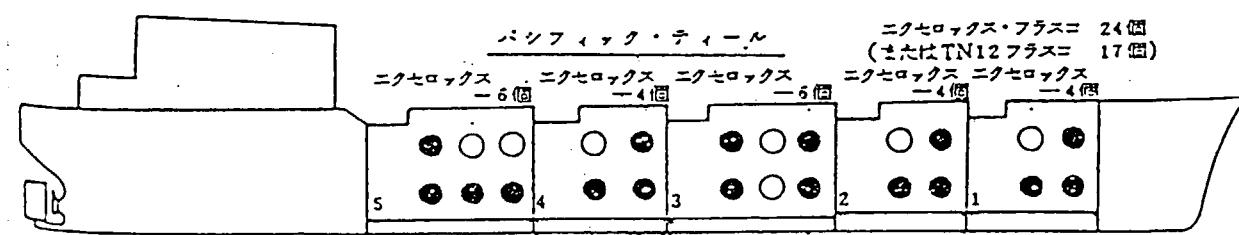
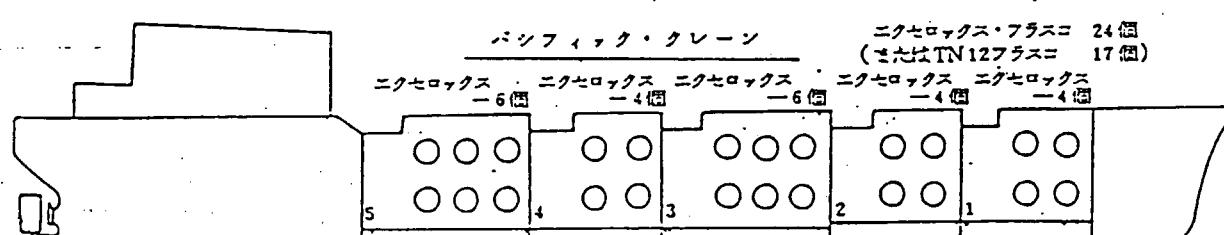
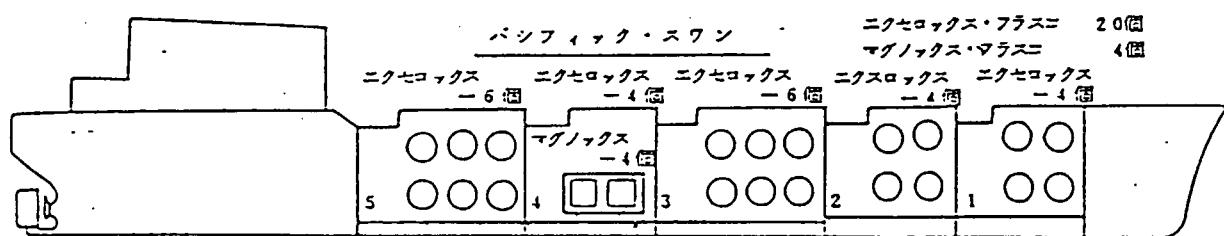
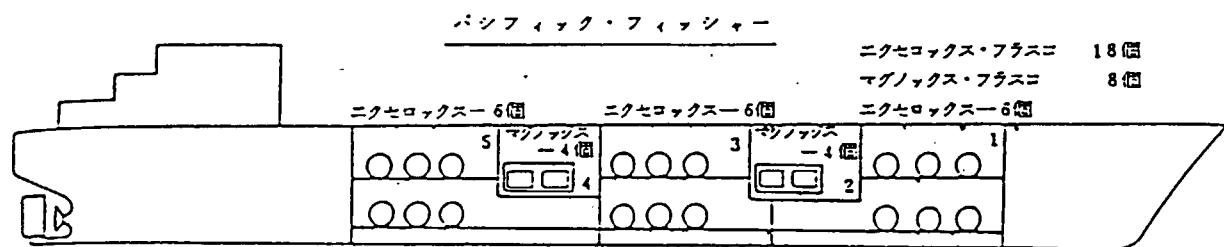
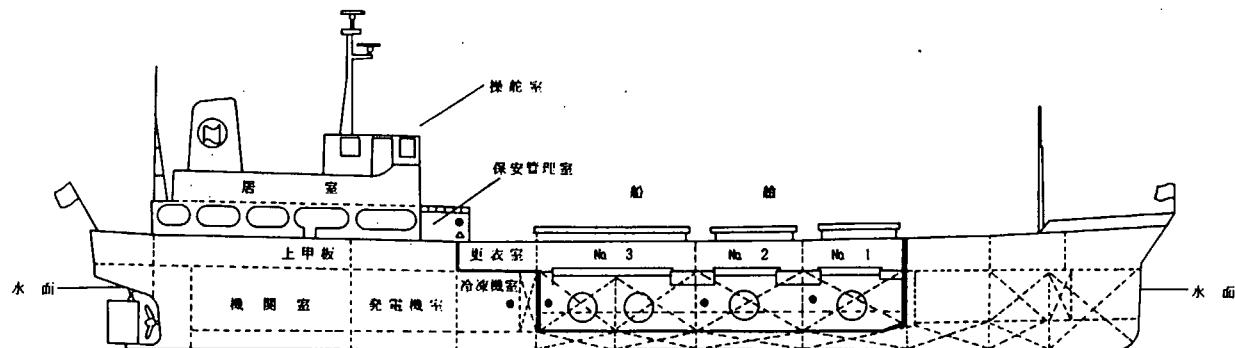
(1) 教育の一例として“日の浦丸”乗組員に対する教育カリキュラムを表2.1.9に示す。

(2) 訓練の一例として“日の浦丸”放射線防護訓練の訓練項目を表2.1.10に示す。

表2.1.1 使用済燃料運搬船の主な仕様の比較

項目	船名	日 の 浦 丸	パシフィック・フィッシャー	パシフィック・スワン	パシフィック・クレーン	パシフィック・ティール
竣工又は改造成年月 船 舶 所 有 者	1977年6月改造 日本海運㈱	1978年7月改造 James Fisher and Sons Limited	1979年1月竣工 Pacific Nuclear Transport Limited	1980年8月竣工 同 左	1982年9月竣工予定 同 左	
主 要 尺 法						
全 垂 線 間 長 (m)	77.6	102.9	103.9	103.9	99.0	99.0
型 幅 (m)	72.0	94.4	14.6	16.0	16.0	16.0
型深〔上甲板〕(m)	12.2	5.8	7.2	9.5	9.5	10.0
計画満載吃水 (m)	4.20	5.80	7	6.016	6.016	
総 ト ン 数 (トン)	約1,300	約3,600	約4,500	約4,600	約4,600	
総 貨 重 量 (トン)	約1,240	約2,820	約2,950	約3,000	約3,000	
放 射 線 遮 蔽 構 造	■ J A B R O C の遮蔽材を フ ラ ス コ 積載船の四周及 び天井に遮蔽タンクと蓋を 設備、遮蔽材はポリエチレ ンシート約52t、清水約 235t	第5船倉と後部発電機室の 隔壁に64mm鋼板及び38.1 mm J A B R O C の遮蔽材を 施す。	第5船倉と機関室間に遮蔽 タンク(板厚64mm)を設置 し、海水を張水する。 第5船倉ハッチコーミング 後端から遮蔽タンク前部隔 壁までの甲板上及び第5船 倉ハッチコーミング後端に 75mmのコンクリート遮蔽	第5船倉の後部に遮蔽タン クを配置し、海水を張水し ている。遮蔽タンク前後隔 壁の厚さは64mm、遮蔽水厚 さは750mmである。	第4船倉のハッチカバーの 前端から、遮蔽タンク後部 隔壁に至る上甲板上、ハッ チカバー裏、第4船倉及び 第5船倉ハッチコーミング に、巾6m、厚さ4cm～ 135cmのコンクリートの遮 蔽を施している。	エクセロックス24基 (又はTN12、17基) マグノックス4基
フ ラ ス コ 横 載 能 力	HZ 75 (又はエクセロックス4基)	エクセロックス 18基 マグノックス 8基	エクセロックス 20基 (又はTN12、14基)	エクセロックス 24基 (又はTN12、17基)	エクセロックス24基 (又はTN12、17基)	

表2.1.2 各船舶のキャスク積付け状況及び積載個数



(注) ○はTN12 フラスコを17個積載した場合の状況

表 2.1.3 使用済核燃料輸送物の性状

% 項目	容器名 Excellox-3	Excellox-3B/3	Excellox-4	TN-17	TN-12A	TN-12B	HZ-75T	NH-25	TK/HK H
1 輸送物の型名	B (M)型	B (M)型	B (M)型	B (M)型	B (M)型	B (M)型	B (M)型	B (M)型	B (M)型
2 輸送物の最大総重量 (Ton)	約7.4	約8.0	約9.6 (約7.7)	約7.7	約9.9	約10.2	約10.4	約8.2	約2.9 約4.9
3 輸送容器の概略 外径×全長m ショックアブ ソーバを含む	2.1×5.9	2.1×6.0	2.4×6.3	2.0×6.2	2.5×5.9	2.5×6.2	2.5×6.2	2.3×5.9	1.5×5.8 2.6×2.2×2.2
4 輸送容器の重量 (Ton)	約6.8	約7.4	約8.8	約7.2	約9.1	約9.4	約9.5	約7.4	約2.8 約4.5
5 燃料収納数量(体)	1.4以下	1.4以下	1.4以下 (7以下)	1.7以下	(1.2以下)	3.2以下	1.7以下	2以下 (1)	2.60本以下 (ガス炉用燃料)

注 ( ) 内はPWR

表2.1.4 日の浦丸放射線管理用機材一覧表

## (1) 放射線測定器等

器 器 名	要 目	数 量	置 値 場 所
アコニアモニタ	Aloka 電離箱式	3	No.1 治癒 No.2 No.3 チニシングルーム 冷凍室 保安管理室
シンチレーション式	NaI(Tl) 2φ×2	3	No.3 治癒上甲板
ガスマニメータ	富士電機ガスサンプラ (NAG-21101)	1	チニシングルーム
表面汚染モニタ	Aloka GM管式 (TRM-102)	1	アラームメータ
放射能測定装置	Aloka ユニバーサルスケーラ (TDC-501) ナシブルチニシジョン (SC-702) ベースラインスキャナ (ABS-101) レコード (NW-JGM-1) GM管プローブ(GP-14V) GM管 ミニマルシンデ(NDW-351)	1六	保安管理室
TLD測定装置	公下電器 デジタルプリンタ (UD-502B) 熱処理炉 (UD-602) TLD顯示 (UD-200S) (20±)	1六	
GM式サーベイメータ	Aloka (TGS-113)	2	
シンチレーション式	Aloka (TCS-1210)	2	

器 器 名	要 目	数 量	配 備 場 所
電離箱式サーベイメータ	(低レンジ用)	2	保安管理室
電離箱式サーベイメータ	(高レンジ用)	2	
α線用サーベイメータ	Aloka (TCS-212)	2	
中性子サーベイメータ	STUDSVIK (2202D)	2	
ボケット線量計	STEPHEN (2200A-02)	2	
アラームメータ	吉士電機 (NRM-1) 日本精器 (SUMIRAD)	5	
ダストサンプラー	STAPLEX	1	
表面温湿度計	JOHN FLUKE MFG (2175A)	2	

## (2) 放射線管理および防護資材

名 称	改 量	名 称	改 量
ペーパータオル タオル	200枚以上 30枚以上	ゴム手袋 チオラクス手袋	7双 120枚以上
バスタオル	5枚以上	実験室用作業靴	1足
液体石鹼	1.8L	オーバーシューズ 作業服	120足以上 20足
固体石鹼	5個以上	手袋	120双以上
カートンボックス カートン用ビニール袋	60枚以上 200枚以上	手袋 車手袋	36双
瓜ブラシ ハンドブラシ	12個以上 2個以上	ネオブレン手袋 医療用	5双 20足
液体処理用ドリッパー 液体容器(液体用)	2個(20L)	下着 吸収缶	20足 40個
液体容器(固体用)	1個	ライザム ライゼム予濾ボンベ	2式 2個
マスクシングルテープ	20巻	スミヤ汚染 ライファン袋	3.0kg 50kg以上
ポリエチレン手袋	1巻	ラブボンブ ラブボン	1個
スミヤ汚染 ライファン袋 バット	200枚以上 1巻 2個	除染刷 除染用ドラム缶	1缶 5個
メスリングダ ボリビン ボリベック	2個(1L) 10個(1L) 2個(10L)	ストリッパブルヘイント セルボンテープ	1缶 30巻以上
ダニトサンプロ用戸紙 チャコールフィルター	100枚以上 75枚以上	表示テープ	15巻
漏斗 エンドラム 漏手袋	2個 1個(2相) 1個(3相) 120枚以上	ホクリー リムーバー 塗装用ハケ 除染刷	10缶(500g) 1缶(18L) 9個 1缶(5kg)

名 称	改 量	名 称	改 量	名 称	改 量	改 量
スニッヂライト デフキブラー	7双	50個	5個	ビニル保護具 ビニルシート	20箱	20枚
ボリロープ トランシーバー	1足	1巻(200m)	4個	ベースマスク用送風伝 ベースマスク	1個	1個
ガスマスク	20個	20個	反清除受寄托		2式	

表2.1.5 HZキヤスク交換部品・取扱工具一覧表

品目	品名	構造形式・寸法	材質	寸法	規格記入	工具	規格記入	寸法	規格記入	寸法	規格記入
2.2 (内歯水抜入口用)	六角六角ナット	M1	SUS304 B-14-2 09	7-2 3.2	1.26	3.2	六角ボルト 2U2 (	113 (TENUTA) 2U2 (	S CN3 B-5-1 (Q) B-5-0 (Q)	4	6 0
2.7 (中央ナット用) ボルト用	ヘリコート 1/2-LINE	SUS304 B-14-2 09	SUS304 B-14-2 09	7-2 2.4	9.6	0	ナット 2U5 (	114 (ナットナット用) 2U5 (	S S 4 B-5-1 (Q) B-5-0 (Q)	5.2 5.2	0
3.3 (内歯水抜手金具 及び万能用)	「O」リング	ETDNK B-14-2 09	ETDNK B-14-2 09	7-2 6	6.4	1.6	ナット 2U5 (	115 (ナットナット用) 2U5 (	SUS304 B-5-1 (Q) B-5-0 (Q)	1.6	1.0 0
4.3 (上部尺板 用) (II)	内歯ナット	M1	SUS304 B-14-2 09	7-2 6	2.1	0	ナット 2U5 (	116 (ナットナット用) 2U5 (	S S 4 B-5-1 (Q) B-5-0 (Q)	4	6 0
4.4 (上部尺板 用) (III)	「O」リング	M1	SUS304 B-14-2 09	7-2 1.2	4.2	0	ナット 2U5 (	117 (ナットナット用) 2U5 (	S CN3 B-5-1 (Q) B-5-0 (Q)	2.0M 1.8M	1.6 0
4.5 (上部尺板 用) (IV)	内歯ナット	M1	SUS304 B-14-2 09	7-2 6	1.0	0	ナット 2U5 (	118 (ナットナット用) 2U5 (	S 45C		
4.6 (上部尺板用) 「O」リング	小内歯ナット	○	SUS304 B-14-2 09 6.4φ/13φ/20φ (M4.5M)	7-2 6.2			ナット 2U5 (	119 (ナットナット用) 2U5 (	S 4CM		0 5
1.11 (上部尺板用) 2.00 (	六角ナットナット	M1	ナット S CN3 ナット: B-5-1 (Q) S 45C	7-2 1.2	1.46	0	ナット 2U5 (	120 (ナットナット用) 2U5 (	S 4CM		0
1.12 (中央ナット用) 2.01 (	六角ナット	1/2-LINE	A-191-B7 (地ガCr ナット)	7-2 B-5-1 (Q) B-5-0 (Q)	1.6	1.0	ナット 2U5 (	121 (ナットナット用) 2U5 (	SUS304 B-5-1 (Q) B-5-0 (Q)	7-2 4.0	1.6 0

表 2.1.6

(1) エクセロックス・マグノックスフラスコ用機材	(機 材 名)	(数 量)
1. フラスコ水位/ベント弁用プラスチックホース		20 m
2. 沢素除去フィルター(高圧ホース及び接手金具付)		1
3. フラスコ水位/ベント弁取付型圧力計		
• 3/8" BSP ネジ付圧力計(0~10 バール)		1
• 3/8" BSP メスネジ / 1/2" BSP オスネジ		1
4. ジュビリークリップ(ホース、電線結束用クリップ)		12
5. 防水灯		3
6. 防水灯用電池		19
7. ナイフ		1
8. ネジドライバー		1
9. 弁(フラスコ蓋及び底部ドレン/ベント弁用)及び引出工具		1
10. フラスコ水位調整弁用接手		1
11. 回転防止ラチェット付トルク増倍器(25倍)		1
12. 3/4インチ角逆転可能型トルクレンチ(70~470 Nm間トルク自動調整型)		1
13. アダプター		1
• 3/4インチ角棒(メス)		
• 1インチ角棒(オス)		
14. 1インチ角棒×16インチ長		1
15. 1インチ角棒×8インチ長		1
16. 1インチ角棒 摺動Tバー		1
17. 1インチ角棒 80mm対辺長さソケット		1
18. 1インチ角棒 13/4インチB SW薄肉ソケット		1
19. 1インチ角棒 13/8インチB SW薄肉ソケット		1
20. 1インチ角棒 11/8インチB SW薄肉ソケット		1
21. 3/4インチ角棒 30mm対辺長さ六角棒(オス)		1
22. 1/2インチ角棒 トルクレンチ 5~80 lbf ft		1
23. 1/2インチ角棒 逆転可能型ラチェット		1
24. 1/2インチ角棒×10インチ長		1
25. 1/2インチ角棒×5インチ長		1
26. アダプター		
• 3/4インチ角棒(メス)		
• 1/2インチ角棒(オス)		
27. アダプター		
• 1/2インチ角棒(メス)		

• 3 / 4 インチ角棒(オス)	
28. 1 / 2 インチ角棒; 1 / 4 インチ B SW薄肉ソケット	1
29. 1 / 2 インチ角棒; 5 / 16 インチ B SW薄肉ソケット	1
30. 1 / 2 インチ角棒; 7 / 16 インチ B SW薄肉ソケット	1
31. 1 / 2 インチ角棒; 13 mm対辺長さ六角薄肉ソケット	1
32. 1 / 2 インチ角棒; 9 / 16 インチ対辺長さ六角棒(オス)	1
33. 1 / 2 インチ角棒; 1 / 2 インチ対辺長さ六角棒(オス)	1
34. 1 / 2 インチ角棒; 10 mm対辺長さ六角棒(オス)	1
35. 1 / 2 インチ角棒; 7 / 32 インチ対辺長さ六角棒(オス)	1
36. 1 / 2 インチ角棒; 3 / 16 インチ対辺長さ六角棒(オス)	1
37. ベント/水位調整弁カバーアイボルト(1 / 2 インチ B SWネジ)	1
38. 2 1 / 4 インチ BW六角ボルト用スパナー(3.15 インチ対辺長さ)	1
39. 2 1 / 4 インチ B SWプラグタップ	1
40. 2 インチ B SWプラグタップ	1
41. 1 1 / 4 インチ B SWプラグタップ	1
42. 1 / 2 インチ B SWプラグタップ	1
43. 1 / 4 インチ B SWプラグタップ	1
44. タップレンチ(39. 40 項目)	1
45. タップレンチ(41 項用)	1
46. タップレンチ(42 項用)	1
47. タップレンチ(43 項用)	1
48. ベルゾナ密封剤	2 Kg
49. 鉛板および鉛材	1 式

(2) TN フラスコ用機材	
1. 3 / 4 インチ角棒; 32 mm対辺長さ六角棒(オス)	2
2. 3 / 4 インチ角棒; 30 mm対辺長さ六角棒(オス)	1
3. 1 / 2 インチ角棒; 12 mm対辺長さ六角棒(オス)	1
4. 1 / 2 インチ角棒; 10 mm対辺長さ六角棒(オス)	1
5. トルクレンチ(5~80 Nm間トルク自動調整型、3 / 8 インチ角棒付)	1
6. トルクレンチ(50~350 Nm間トルク自動調整型、1 / 2 インチ角棒付)	1
7. トルク増倍器(1 / 2 インチ入力、3 / 4 インチ出力)	1
8. 逆転可能ラチェット付 1 / 2 インチ角棒	1
9. 逆転可能ラチェット付 3 / 4 インチ角棒	1
10. 3 / 4 インチ角棒×180 mm長	1
11. 3 / 4 インチ角棒×375 mm長	1
12. アダプター	1
• 3 / 4 インチ(オス)	

• 1 / 2 インチ(メス)	
13. アダプター	1
• 1 / 2 インチ(オス)	
• 3 / 4 インチ(メス)	
14. アダプター	1
• 1 / 2 インチ(オス)	
• 3 / 8 インチ(メス)	
15. 3 / 4 インチ角棒; 70 mm対辺長さ六角棒	1
16. ステンレス鋼クイック接手テストカバー	1
17. オリフィスインサート用ソケット	1
18. 1 / 2 インチ角棒; 20 mmソケット	1
19. 1 / 2 インチ角棒; 24 mmソケット	1
20. 1 / 2 インチ角棒; 36 mmソケット	1
21. 1 / 2 インチ角棒; 19 mmソケット	1
22. 3 / 4 インチ角棒; 摺動Tバー	1
23. 1 / 2 インチ角棒; 摺動Tバー	1
24. 3 / 4 インチ角棒; トルクレンチ(400~1000 Nm間トルク自動調整型)	1
25. クイック接手テストカバー用ガスケット(5.33 mm × 5.34 mm内径)	1

表2.1.7 エマージェンシーキット一覧表

(緊急用機器材)

品 名	要 目	数 量	備 考
1 電離箱式サーベイメータ	応用技研 AE-133H	1台	
2 GMサーベイメータ	アロカ TGS-113	1台	
3 エアサンプラ	ゼロアンドミッセル L-S-10RB	1台	
4 エアサンプラ用 チャコールフィルタホルダー		1個	
5 エアサンプラ用 チャコールフィルタ	C H C - 5 0	1包	10個入
6 放射能防護服		3着	
7 ダストマスク	A D - 1 1	3組	スピーカーL フィルタ CA-17-USC
8 個人用警報線量計	P A D - 2 0 1	3台	
9 キャップライト		3個	
10 皮膚除染キット		1式	
11 下 着 類		3名分	
12 純 手 袋		1打	
13 軍 手		1打	
14 皮 手 袋		3組	
15 チオックス手袋		1打	

16 ヘルメット		3 個	
17 半 長 靴		9 足	3足はトランクに収納、6足は本社に常備
18 ポリビン	キューピーティーナ	1 個	
19 スミア濾紙	スプーン形	2 箱	
20 ポリエチレン袋(大)	500×1,100×0.5	100 枚	
21 ノ (小)	304×500×0.4	100 枚	
22 地図帳(国内版)		1 冊	
23 ファーストエイドキット	BWH-Q	1 式	
24 ロープ		20 m	
25 安全帯	L S A 9.0	1 式	
26 キット収納トランク		5 個	
27 中性子サーベイメータ	富士電機NSM-41301	1 台	
28 トランシーバー		2 台	
29 TLD素子		20 本	
30 フィルムバッジ	広域用A型	3 個	
31 双眼鏡		1 個	
32 濃塩酸		1 本	20 cc

表2.1.8 緊急時機材センターの緊急機材

(1) 放射線測定関係機器

(機器名)	(数量)
1. 高線量率サーベイメータ	2台
2. 中線量率サーベイメータ	2〃
3. 低線量率サーベイメータ	2〃
4. 中性子線量率サーベイメータ	2〃
5. $\beta$ ・ $\gamma$ 汚染サーベイメータ	2〃
6. $\alpha$ シンチレーションサーベイメータ	2〃
7. 線量率アラームメーター	5〃
8. エアサンプラー	2〃
9. 風向風速計	2〃
10. 表面温度計	2〃
11. エンジン発電機	1〃
12. 電工ドラム	2〃
13. 時計	2〃
14. 照明灯(キャップライト型)	10〃

注) 数量は緊急時機材管理センター1カ所分の数量

## (2) 放射線管理器材

( 器材名 )	( 数量 )
1. ポケット線量計	40本
	• X・γ線 200m rem用 × 20
	• X・γ線 1 rem 用 × 10
	• 中性子用 × 10
2. フィルムパッジケース	20個
	• 高エネルギー広範囲用 × 10
	• 中性子用 × 10
3. PD充電器	4台
	• X・γ用 × 2
	• 中性子用 × 2
4. 全面ダストマスク	10
5. ダストサンプラー用フィルタ	2箱
	• ろ紙
	• HE-40Tろ紙 × 1
	• 活性炭含浸ろ紙 × 1
6. スミヤろ紙	1枚
7. スミヤろ布	1枚
8. スミヤろ紙回収袋	25枚
9. 試料回収袋	10束
	• 120mm × 230mm × 5
	• 230mm × 340mm × 5
10. ポリ袋	100枚
11. ロープ	2本
12. サーモクリーンシート	2巻
13. 棚、バリア台	1式
14. 標識	5枚
15. テープ	1箱
16. ペーパータオル	1箱
17. バッジフィルム	20枚
	• X・γ線用 × 10
	• 中性子用 × 10
19. ライファン紙	1束
20. 汚染管理用被服類	
	• 軍手
	• PVAスーツ(上・下)
	• オーバーシューズ
	• 安全ゴム長靴
	• オーバーオール
	• 靴下
	• 下着(上・下)
	• 帽子
	• ヘルメット
	• 薄綿手袋
	• 薄ゴム手袋
	• ブリーフ
21. ウエス	1束
22. ポリビン	1箱
	• 水サンプリング用(500ml)

注) 数量は緊急時機材管理センター1カ所分の数量

表 2.1.9 日の浦丸乗組員講習会日程表

実施期日 昭和60年1月9日(水)～11日(金)

於：三菱重工業(神戸造船所 和田クラブ会議室

月 日	1月9日 (水)		1月10日 (木)		1月11日 (金)	
時間割	課 目	講 師	課 目	講 師	課 目	講 師
09:30	開講 あいさつ	専務取締役 荒尾 正	法令・キャスク 放射性廃棄物輸送について	N・T・S 技術調査部 讃井 敏光	日の浦丸の運航について	特輸部長 井上 重幸
10:00	—10:10—				—10:10—	
	放射線の影響と防護について	神戸商船大学教授 理博 道嶋正美			海難防止について	船舶部 課長 有馬誠彦
11:00			自己啓発と海技免状について	常務取締役 大阪支店長 黒澤 義雄	—11:10—	
12:00					安全運航マニュアルの運用について	運航管理者 細野 昭
13:00	健康づくりについて	大阪府立東淀川高校教諭 小桜 孝司	海洋気象について	日本気象協会 解説予報部 主任技師 理博 宮澤清治	衛星航法について	日本無線
14:00	—14:30—				—14:30—	
	—14:40—				—14:40—	
15:00	放射能個人被ばく測定器	N・T・S 技術調査部 課長 内野克彦	—15:00— 航行安全対策について	日本海難防止協会海上安全研究部長 塩原 礼次郎	来年度の輸送見通し、その他	N・T・S 取締役技術調査部長 平野始幸
16:00					—15:40— 閉講 あいさつ	船員部長 豊島 繁三
17:00					—16:10—	
					17:00～18:00 懇親会	

表 2.1.10 “日の浦丸”放射線防護部署操練

## 1. 想定事故

キャスク充填水の漏洩

## 2. 訓練項目

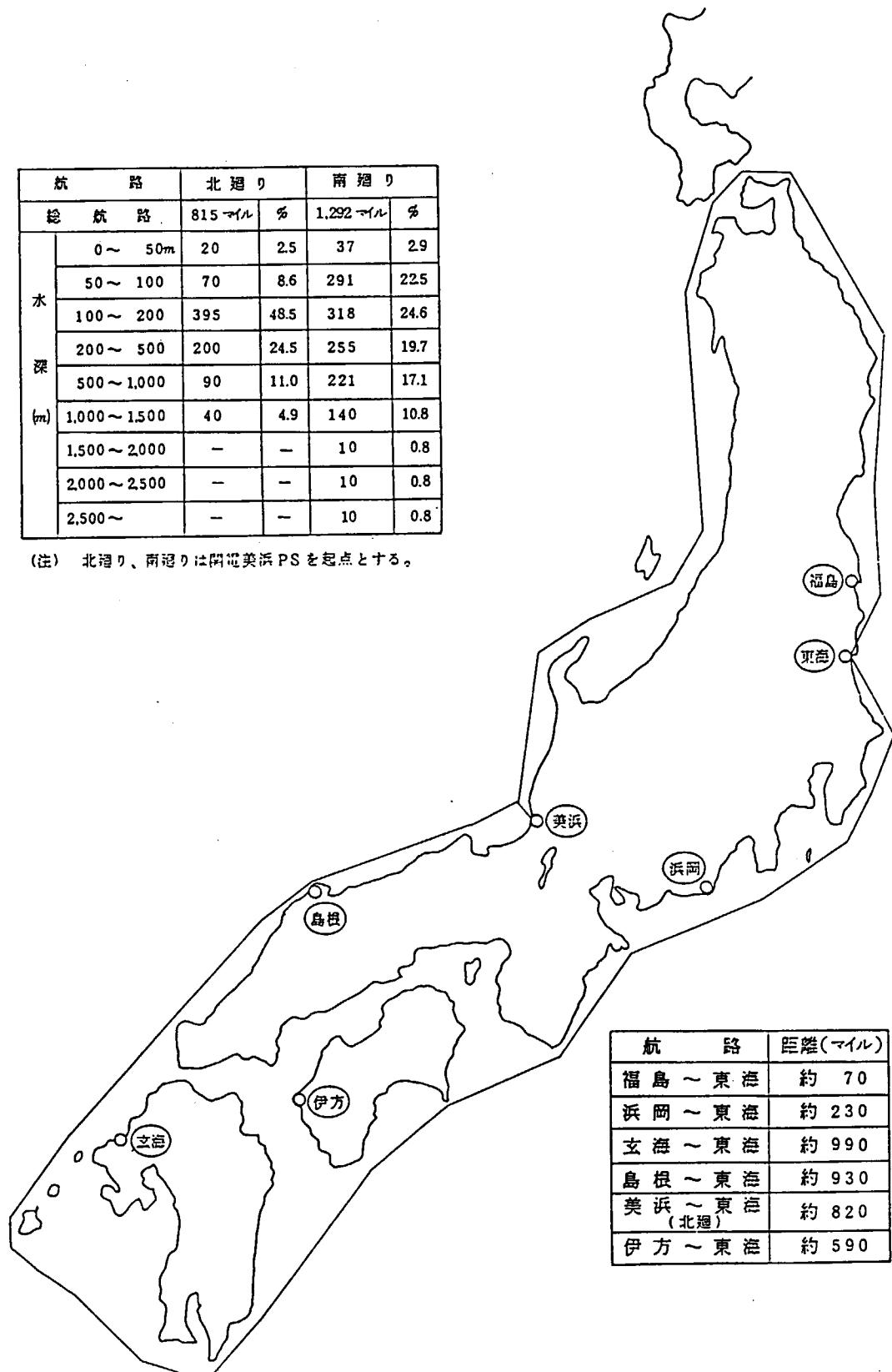
- ① 部署の確認
  - ② 各種アラームの作動確認(温度、放射線)
  - ③ 船倉内サーベイ(現場確認)
  - ④ 船内連絡
  - ⑤ 放射能防護装備の着装(防護服、ライフゼム)
  - ⑥ 初期災害拡大防止活動
    - キャスク充填水の拡散防止
    - 汚染範囲の推定
  - ⑦ 除染作業
  - ⑧ 使用資材の保管
  - ⑨ 汚染検査
  - ⑩ 局所排風機の作動(高性能フィルター)
  - ⑪ 船倉の密閉
  - ⑫ 作業員の除染(シャワー、除染キット)
  - ⑬ 新たな立入制限区域の設定
  - ⑭ 外部関係先への連絡
- 非常張水テストは独立で実施

## 3. 日 程

午前： 操練方案打合せおよび操練準備

午後： 操練実施、および反省会

図 2.1.1 航路別・水深別・航程



## 第5章 災害処理

### (災害の範囲)

第27条 この規程において、災害とは次のとおり第1種より第4種までのものをいう。

#### (1) 第1種災害

輸送物の気密性の劣化、輸送容器の損傷又は遮蔽材漏洩等により輸送物からの放射線量率の増加及び放射能汚染が発生するおそれがあり、又は発生した事故。

#### (2) 第2種災害

第1種災害を伴わないが火災、衝突、座礁、浸水、推進装置故障等で本船が航行不能となる事故。

#### (3) 第3種災害

浮流物等の接触による外板凹損、もしくは推進器翼齿損等、又はハッチカバー漏水等の第2種災害にいたらない程度の船体構造、又は設備の損傷事故。

#### (4) 第4種災害

第1種より第3種までの災害以外の事故

- イ. 乗組員、又は便乗者の人身事故及び行方不明。
- ロ. その他不法行為等による運航阻害。

### (災害処理の原則)

第28条 災害処理にあたっては、最寄りの海上保安官署の長の指示に従い、迅速確實に行わなければならぬ。この場合、船長及び関係者は人命の安全確保を最優先とし、さらに輸送物、船体の保全を目的として、災害の種別毎に次の諸原則に従ってすべての業務に優先して災害処理を行うものとする。

#### (1) 第1種災害の場合

- イ. 放射能漏洩の阻止、ないしはその未然防止を最重点とし、極力災害原因の除去に努める。
- ロ. 放射線被ばく災害の軽減、ないしはその防止のため、非常浸水装置等の緊急時対応手段を適時適切に発動せしめる。

#### (2) 第2種災害の場合

修理港まで本船を曳航するに先立ち、輸送物を安全確実に陸揚げする。

#### (3) 第3種災害の場合

本船の特殊性に鑑み状況に応じて入渠させ、船体を点検し、必要な措置を講ずる。

#### (4) 第4種災害の場合

人命の安全確保を最優先として対処する。

### (船長のとるべき措置)

第29条 船長は、本船に災害が発生するおそれがあり、又は発生した場合は、その状況及び対応措置をすみやかに運航管理者に連絡しなければならない。

2. 船長は、緊急通信により、その異常事態の内容、その他必要事項を最寄りの海上保安官署へ連絡し、当該海上保安官署の長の指示に従わなければならない。
3. 船長は、第1項の場合においては、人命の安全のため万全の措置、災害の拡大防止のための措置、その他災害処理に必要な適切な措置を講じなければならない。
4. 船長は、第1種災害の場合においては、保安管理者の協力により必要な措置を講じなければならない。  
(保安管理者のとるべき措置)

第30条 保安管理者は、第1種災害の場合は船長に協力し、次の措置を講じなければならない。

- (1) 適切な放射線測定器により放射線量率を測定し、放射線事故が発生したか否かを判定する。
- (2) 放射線事故が発生したと判定した場合は、所定の防護服等を着用し、キャスクの気密性、放射線遮蔽能力の低減程度を調査する。
- (3) その調査結果から事故規模、進展拡大性の推定を行い、船長に意見具申をする。
- (4) 事故の程度、内容に応じ、次の措置をとる。
  - イ. 立入禁止区域を設定する。
  - ロ. 可能な限り災害原因の除去及び災害拡大防止の措置を講ずる。
  - ハ. 空気中の放射性物質濃度に異常があれば局所許可装置等を用いて拡大を防止する。
- 二. 輸送物の冷却材が漏洩した場合には、専用のポンプ及び配管により専用ビルジタンクに収容する。
- ホ. 輸送物の放射線量率が異常に高くなった場合は、非常用浸水装置の作動について船長に意見具申する。
- ヘ. その他放射線災害対策に必要な措置をとる。

(汎航管理者のとるべき措置)

第31条 潟航管理者は、船長から連絡等によって災害の発生、又は発生するおそれのあることを知ったときは、すみやかに災害の実態を第32条の連絡体制にそって必要関係先に連絡し、指示をうけるとともに適切な措置を講じなければならない。この場合において、災害別に特に講すべき措置は、次のとおりである。

(1) 第1種災害の場合

(1) 第1種災害の場合

- イ. 災害及び応急処置の状況を運輸省海上技術安全局、及び科学技術庁原子力安全局に連絡すること。
- ロ. 人身被ばく事故の発生においては、運輸省近畿運輸局船員部に連絡すること。

(2) 第2種災害の場合

輸送物の緊急陸揚港の決定にあたり、関係先と協議すること。

(3) 第3種災害の場合

本船の災害程度の調査及び保全措置について、すみやかに運輸省海上技術安全局と協議し指示をうけること。

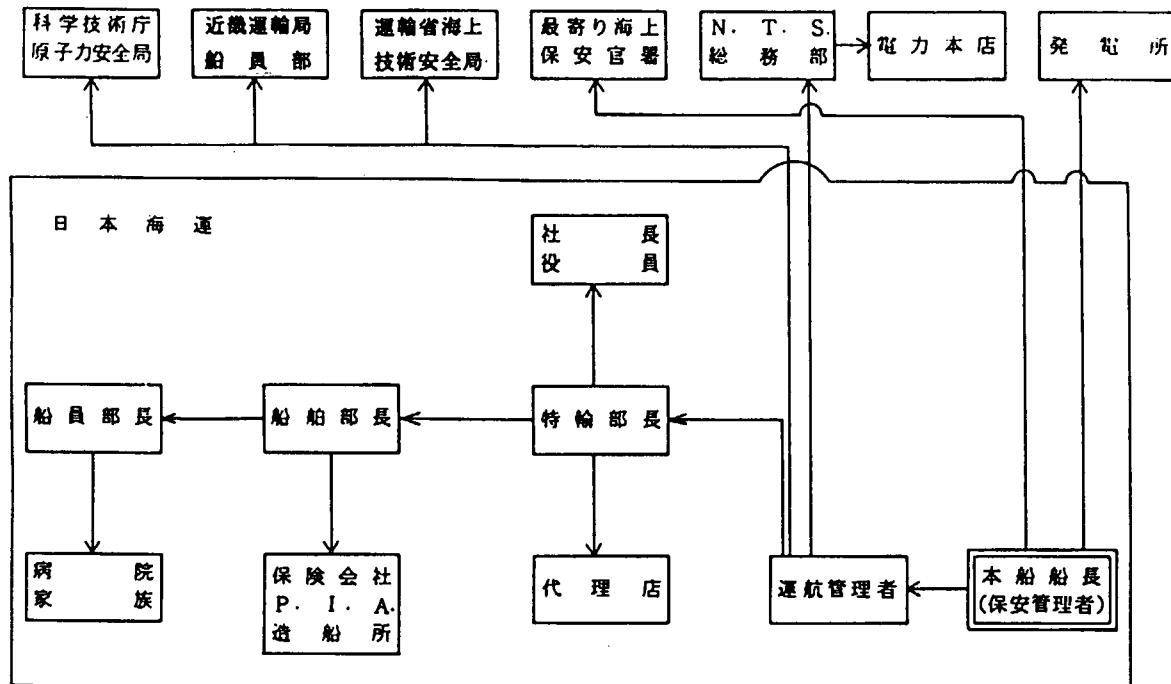
(4) 第4種災害の場合

関係各所へ連絡するとともに、あわせて運輸省海上技術安全局にも状況報告すること。

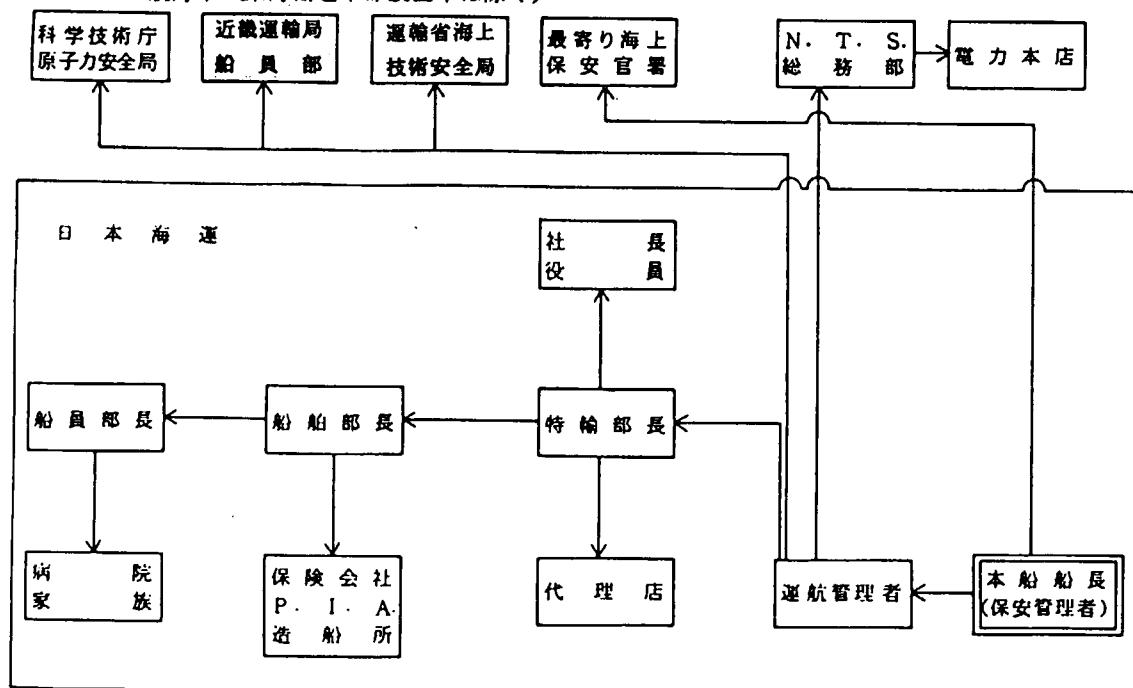
(非常連絡体制)

第 32 条 非常連絡体制は、下図のとおりとする。なお詳細連絡先は別途作成する。

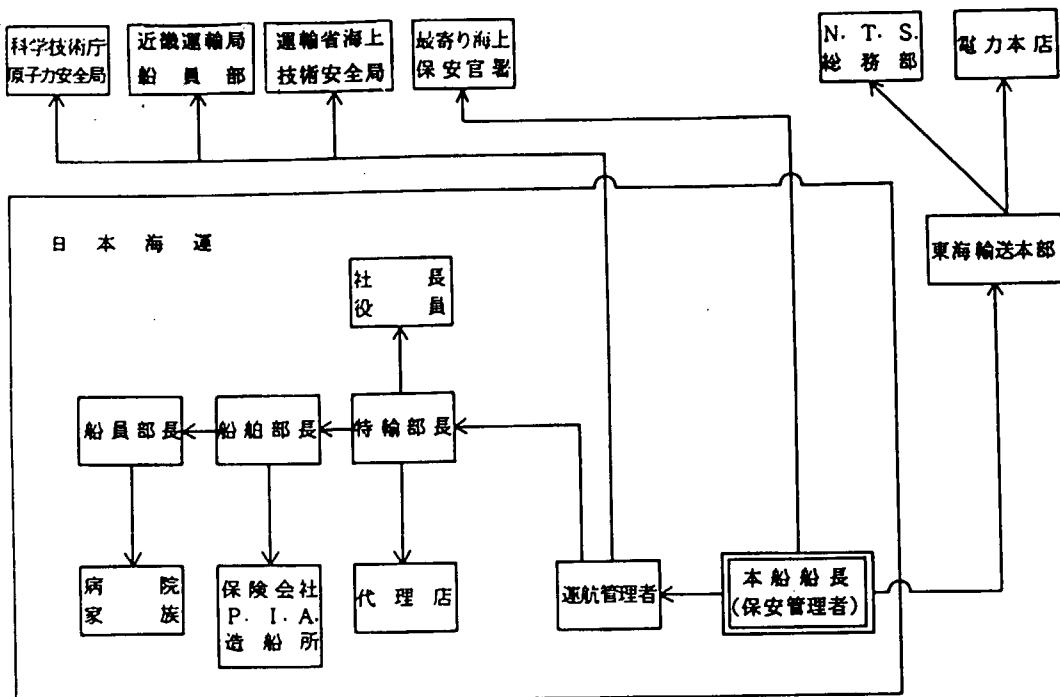
(1) サイト側停泊及び荷役中



(2) 航海中 (東海輸送本部設置中は除く)



(3) 東海輸送本部設置中



(非常部署配置表)

第 33 条 船長は、次の船内非常部署配置表を作成し、船内に掲示しておかなければならぬ。

- (1) 防火部署配置表
- (2) 防水部署配置表
- (3) 救命筏部署配置表
- (4) 放射線防護部署配置表

(非常漲水)

第 34 条 船長は、船艙に火災等重大な事故が発生した時、又は輸送物の冷却が不能になり、人命、或は船体に重大な危険が発生するおそれがある場合、保安管理者と協議の上、非常漲水装置により船艙内に漲水しなければならない。この場合、船長は、できるかぎり事前に運航管理者、ヌエヌ・ティー・エス、最寄りの海上保安官署と緊密な連絡をとり指示を受けるものとする。

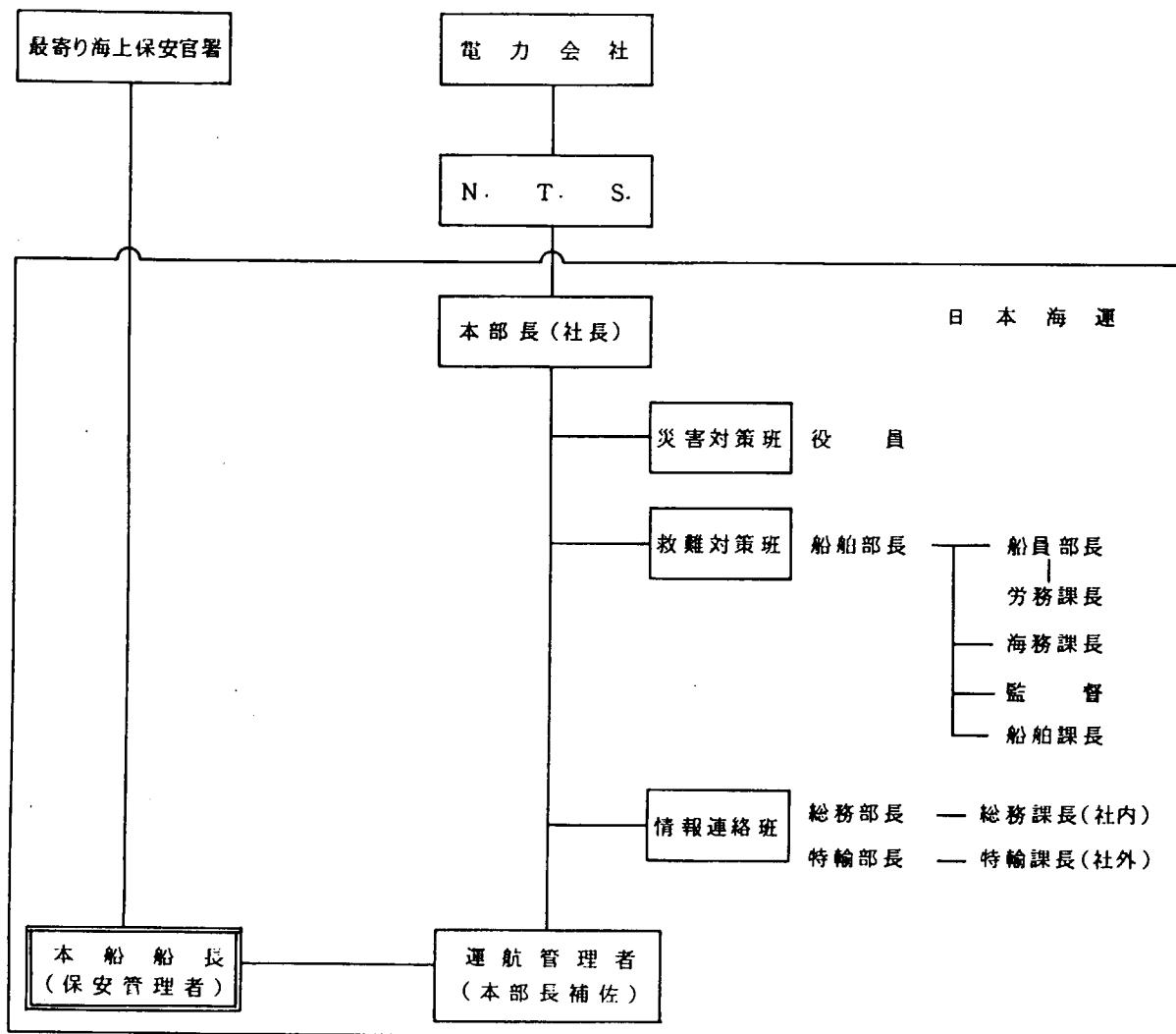
2. 船長は、毎月 1 回、非常漲水装置の作動確認を励行しなければならない。

(非常対策本部)

第 35 条 社長は、災害の規模が大きいため、全社的体制でこれを処理する必要があると認めるときは、あらかじめ定める非常対策本部を発動し、これを指揮するものとする。

2. 前項の場合、㈱エヌ・ティー・エス及び荷主と緊密な連繋を保ち協力を得るものとする。
3. 第1項の非常対策本部の組織は下図のとおりとする。

非 常 対 策 本 部 組 織



(災害報告)

- 第36条 船長は、災害が船員法第19条に該当する場合は、到着地最寄りの運輸局等の事務所、又は、指定市長村長に報告しなければならない。
2. 放射線災害については、すみやかに、本社より近畿運輸局長に報告するものとする。

## 2.2 法規制に関する調査

### 2.2.1 通常輸送に係る法規制の概要

本項においては船舶安全法に基づく省令、通達のうち、使用済核燃料の海上輸送に関係する部分について概説する。

#### 1) 使用済核燃料の船舶輸送に係る法手続

危険物船舶輸送及び貯蔵規則（以下「危規則」という。）に基づき、放射性輸送物作成者は放射性輸送物の安全性について運輸大臣の確認を受けることを義務づけられている（危規則第91条の9）。また、船長は運送の方法の安全性について運輸大臣の確認を受け、かつ、管区海上保安部の長に放射性物質運送届を提出するとともに、積載方法その他積付けについて運輸局長又は運輸大臣の認定した公益法人の検査を受けなければならないこととなっている（危規則第91条の15、第91条の21、第129条）。

#### 2) 輸送物としての技術基準（表2.2.1～3）

使用済核燃料は危規則上、B M型輸送物又はB U型輸送物であり、かつ核分裂性輸送物とされており、これらの技術基準及び試験基準については危規則及び告示に詳細に定められている（危規則87条、第91条、第91条の1～第91条の8）。

#### 3) 船舶輸送に係る輸送方法等の基準

危規則により、標札の基準（危規則第91条の12）、積載方法の基準（危規則第91条の13）、積載限度の基準（危規則第91条の14）、立入制限の基準（危規則第91条の17）、被ばく管理の基準（危規則第91条の18）、被ばく管理の特例（危規則第91条の19）、荷役後の汚染の検査（危規則第91条の20）等が定められている。

#### 4) 特別措置

運輸大臣の承認を受けた場合は、一部危規則の規定によらないことができる（危規則第91条の22）。

#### 5) 使用済核燃料運搬船に係る技術基準（付録2.2.1）

##### (1) 船体構造等

必要な区画可浸性及び損傷時復原性を満足し、船倉部は耐衝突構造の二重船側構造とし、必要な高さの二重底を設けることを要求している。

##### (2) 設備

以下の設備を備えることを要求している。

キャスク冷却設備

キャスクの固縛装置

放射線測定器具等

常時ベント式キャスクの場合は船倉に排気設備を設け、船上の適当な場所に排気できること等

機関室には固定式消火装置

沿海第四種船で最終浸水横傾斜角が15度を超えるものは、各舷に最大搭載人員を収容するため十分な救命艇、端艇又は救命筏

非常用張水装置

機関室以外の場所に非常用電源

レーダー（2台）、エコーランサー（1台）、航跡自画装置

## 2.2.2 危険時の措置に関する規制の概要

危険時の措置に関する規制については核原料物質、核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律（以下「炉規制法」という。）及びこれに基づく省令に定められており、本項においてはこれらについて概説する。

### 1) 炉規制法

炉規制法第64条においては危険時の措置として以下の規制をしている。

- (1) 主務省令で定めるところにより応急の措置を講ずること。
- (2) 警察官又は海上保安官に通報すること。
- (3) 主務大臣は必要な措置を講ずることを命ずることができること。

### 2) 核燃料物質の事業所外運搬に係る危険時における措置に関する規則

炉規制法第64条第1項に基づき以下の規制をしている。

- (1) 火災等の場合には消火等に努めるとともに消防吏員又は海上保安官に通報すること。
- (2) 必要に応じ核燃料物質を安全な場所に移し、なわ張り等により立入を禁止すること。
- (3) 必要に応じ避難するよう警告すること。
- (4) 汚染の広がりの防止及び汚染の除去を行うこと。
- (5) 放射線障害を受けたものがいるときは、速やかにその者を救出し、避難させる等緊急の措置を講ずること等。

表 2.2.1 B型輸送物の基準

基 準	B M型	B U型
1. どの辺の大きさも 10 cm 以上	○	○
2. 取扱いが容易かつ安全	○	○
3. 運搬中に亀裂、破損のおそれがない	○	○
4. シールの貼付け等の封印	○	○
5. 表面汚染が許容濃度以下	○	○
6. 漏洩放射線量率が基準値以下		
(1) 表面 (mrem/h)	200	200
(2) 表面から 1 m (mrem/h)	10	10
7. 不必要な物品の収納不可	○	○
8. 一般の試験条件下で (注)		
(1) 表面の許容最大放射線量率 (mrem/h)	200	200
(2) 放射性物質の許容漏出量 (1 h)	$A_2 \times 10^{-6}$	$A_2 \times 10^{-6}$
(3) 表面の温度が 50°C 以下 (専用積載 で運送中人が容易に近づくことができる 表面において 82°C 以下)	○	○
(4) 表面汚染が許容濃度以下	○	○
9. 特別の試験条件下で (注)		
(1) 表面から 1 m での許容最大放射線 量率 (mrem/h)	1,000	1,000
(2) 放射性物質の許容漏出量 (1 w)	$A_2$	$A_2 \times 10^{-3}$
(3) -40°C 試験	-	○
10. フィルター、機械的冷却装置の使用不可	-	○
11. 内部圧力が 7 kg/cm² (G) 以下	-	○

表 2.2.2 核分裂性輸送物の基準  
以下の条件で臨界に達しないこと。

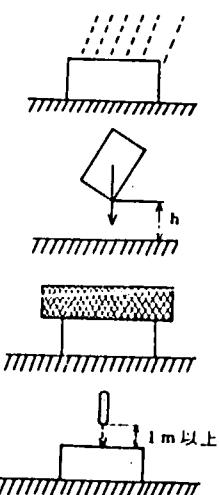
核分裂性輸送物の種類	核分裂性輸送物の置かれた試験条件	配列方法	個 数	付加要件
第一種核分裂性輸送物	一般的試験条件	任 意	任 意	-
	特別の試験条件	任 意	任 意	-
第二種核分裂性輸送物	一般的試験条件	任 意	輸送制限個数 の 5 倍の個数	-
	特別の試験条件	任 意	輸送制限個数 の 2 倍の個数	-
第三種核分裂性輸送物	一般的試験条件	特 定	輸送制限個数	集積を 2 組 近接させる
	特別の試験条件	任 意	輸送制限個数	-

注) 一般的試験条件とは、表 2.2.3 中 B型輸送物の一般的試験条件のその 1 をいう。  
特別の試験条件とは、表 2.2.3 中 B型輸送物の特別の試験条件のその 1 をいう。

表2.2.3 B型輸送物の試験条件

(1) B型輸送物の一般的試験条件

その1



水の吹きつけ試験

輸送中の雨(どしゃ降り) 50mm/h の雨量

自由落下試験

取扱い中の落下、輸送中の耐衝撃性

例) 5トン以下は  $h = 1.2\text{ m}$

圧縮試験

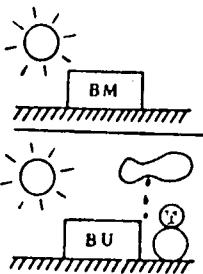
積み重ねた場合の耐圧縮性

例) 自重の5倍で24時間

貫通試験

鋼管のような物(重量6kg, 直径3.2cm)による耐貫通性

その2



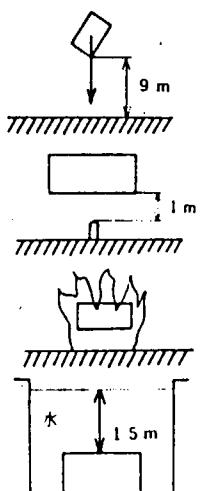
環境試験

BM型 輸送物は 38°C の環境に 1週間放置

BU型 輸送物は 38~40°C の環境に 1週間放置

(2) B型輸送物の特別的試験条件

その1



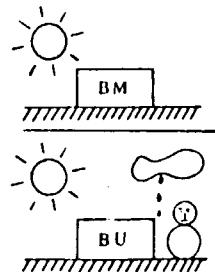
落下試験I (9mの高さから最大の衝撃を受けるように落下)

落下試験II (直径1.5cmの撞上への落下)

耐火試験 (800°C, 30分)

浸漬試験

その2



環境試験

BM型 輸送物は 38°C の環境に 1週間放置

BU型 輸送物は 38~40°C の環境に 1週間放置

船査第 610 号  
昭和 49 年 10 月 18 日

各 海 運 局 長 殿

船 舶 局 長

#### 使用済核燃料運搬船の取扱いについて

使用済核燃料の海上輸送については、従来危険物船舶運送及び貯蔵規則第 91 条の 2 にもとづき輸送容器の強度、収納方法、荷役方法等について運輸大臣の指示によりその安全性を確保してきたところであるが、近時わが国の原子力発電の本格化及び国内再処理工場の建設に伴い、使用済核燃料を専用に輸送する船舶の建造の動きがあるため、今後この種船舶の検査の実施にあたっては、下記により取り扱うこととしたので遺漏のないよう措置されたい。

#### 記

1. 国内各港間の輸送に従事する使用済核燃料運搬船の構造、設備については別紙によること。ただし、現に使用済核燃料の輸送に従事している船舶にあっては、当分の間なお従前の例によることができる。
2. 設計検査にあたっては、必要な図面及び資料に貴局の意見を添えて、首席船舶検査官に伺い出ること。

#### 使用済核燃料運搬船の構造設備要件

##### 1. 船体構造等

(1) 区画可浸性及び損傷時復原性については次の要件を満足すること。すなわち、残存能力としては、船の長さ方向のどの部分に次の i ) に規定する衝突損傷又は ii ) に規定する座礁損傷をうけてもその損傷に耐え、iii ) に規定する残存条件を満たす能力を有すること。なお、浸水率は、機関室にあっては 0.85、その他の区画にあっては、貨物、燃料、バラストの積載状態に従って決定すること。

###### (i) 衝突による損傷範囲

(i) 長さ方向 :  $\frac{1}{3} L^{\frac{2}{3}}$  又は 14.5 m のうち小さいもの、ただし、二重船殻の内殻の損傷長さについては、当該損傷範囲において、前記数値の  $\frac{1}{2}$  の長さとする。

(ii) 横 方 向 : (満載吃水線の位置で船側から内側へ向って船体中心線に直角方向にはかったもの。)  $B/5$  又は 11.5 m のうち小さいもの、ただし、船側から  $B/5$  以上に配置された船倉又はその他の場所内への同時浸水も考慮すること。

(iii) 垂直方向 ; 基線上方全部

###### (ii) 座礁による損傷範囲

船の前部垂線から	他 の 部 分
0.3 L の範囲	

(i) 長さ方向 :  $L/10$  又は 5 m のうち  
小さいもの

(ii) 横 方 向 :  $B/6$  又は 10 m のうち小さいもの 5 m

(iii) 垂直方向 :  $B/15$  又は 6 m のうち小さいもの

(iii) 残存能力

(1) 最終浸水状態における復原性：

復原挺曲線における残余復原範囲  $20^\circ$  以上

残余復原挺  $100\text{mm}$  以上

(2) 最終浸水状態における横傾斜角度

$15^\circ$  以内又は  $17^\circ$  以内（甲板が水没しない場合）ただし、長さ  $150\text{m}$  未満の船舶については  $25^\circ$  までとする。

なお、非対象の浸水による大角度の横傾斜を修正するために、クロスフラッティング設備を備え付けてよい。

(2) 船艤部は、二重船殻構造とし、縦通隔壁は船側から  $B/5$  以上離すこと。また、キャスク積載船艤の前端隔壁の長さ方向の位置は、次によること。

(i) 船艤の最前端の隔壁の位置は、前部垂線から  $0.15L$  の位置より後方とすること。

(ii) この隔壁は、衝突隔壁と兼用しないこと。

(3) 船艤部を保護するために、耐衝突構造をそなえること。この場合において、耐衝突構造を決定するときの条件は、次によること。

(i) 衝突船： T-2タンカー（排水量： $\Delta 23,400$ トン、航海速力：15ノット）

(ii) 衝突船の船首突： 被衝突船の吃水線上において、船側から  $B/5$  以上はなれた縦通隔壁まで入量

(iii) 衝突吸収エネルギーの計算式：

最低衝突吸収エネルギー（KE）は、次の算式で求められる値以上であること。

$$KE = \frac{\Delta B}{2 + 1.43 \Delta B / \Delta A} VB^2 (ton - Knot^2)$$

ただし、 $\Delta A$ ：被衝突船の排水量（ton）

$\Delta B$ ：衝突船の排水量（ton）

VB：衝突船の船速（Knot）

また、衝突船、被衝突船によって吸収されるエネルギーは、次の二式で求められた値のうち小さい方とする。

$$F = 278.4 \cdot RT (ton - Knot^2)$$

$$F = 178.7 RT + 124,000 (ton - Knot)$$

RT：ミノルスキーの計算方法による。

(4) 二重底の高さは、次によること。ただし、船底構造の補強は必要としない。

二重底高さ： $468 + 4.1L$  (mm) 又は  $b/8$  (mm) のうちいずれか大なる値以上  
(b : キャスク積載船艤の巾)

## 2. 設備

(1) 次の要件を満足するキャスク冷却設備を備えること。

(i) 次の周囲環境条件のもとでキャスクの周辺温度を  $38^\circ\text{C}$  以下に、キャスクの表面温度を  $82^\circ\text{C}$  以下に保つことができるものであること。

(i) 計画大気温度： $38^\circ\text{C}$

(ii) 計画海水温度：遠洋区域を航行する船舶  $32^\circ\text{C}$

その他の区域を " "  $30^\circ\text{C}$

(ii) ポンプ、プロワー等の可動部分は二重に整備されていること。

(iii) 船艤のいかなる場所の温度も人の出入を妨げるものであってはならないこと。

- (2) キャスクの移動、転倒を防止するための適当な固縛設備を備えること。この場合において、想定外力は次によること。
- (i) 附加加速度 1g (任意方向)
  - (ii) 横傾斜 45°、縦傾斜 10°
- ((i)と(ii)は別に加わるものとする。)
- (3) 本船の適当な場所に次に掲げる放射線測定器具等を備えること。
- (i) フィルムバッジ
  - (ii) ポケットドジメーター
  - (iii) アラームメーター
  - (iv) 線量測定用サーベイメーター
  - (v) 保護衣類
  - (vi) 除染装置(除染用シャワー)
- (4) キャスクが常時ベントする型式のものである場合には、当該キャスクを積載する船艤には排気設備を設け、船上の適当な場所に排気できるようにしておくこと。船艤の排水等については、異常が認められた場合には、船内の適当な場所に貯蔵できる様にしておくこと。なお、前記の排気、排水設備は他の用途のものは別系統にすること。
- (5) 機関室には、船舶消防設備規則第60条第1項第1号の固定式消火装置を備えること。
- (6) 沿海区域を航行区域とする第4種船であつて、前記1のⅢ(ロ)の最終浸水状態の横傾斜角が15°をこえるものにあっては、船舶救命設備規則第69条にかかわらず各舷に最大とう載人員を収容するため十分な救命艇、端艇又は救命いかだを備えること。
- (7) キャスク積載船艤には、火災等の非常時に船艤内に張水できる装置(非常時張水装置)であつて、次の要件を満足するものを備えること。
- (i) 船橋等の安全な場所から操作出来るものであること。
  - (ii) 張水することにより船の安全性をそこなうものでないこと。
- (8) 船舶設備規程第299条第1項各号のいづれかを満足する非常電源を機関室以外の適当な場所に設置すること。
- この場合において、この非常電源は、少くとも次に掲げる電気設備に対して36時間以上給電可能なもでなければならない。
- (i) 航海灯
  - (ii) 主電源からの給電により作動する信号灯
  - (iii) 前記(i)のキャスク冷却設備に用いられるポンプ、ブロワー等の駆動源が電動機である場合には当該電動機
  - (iv) 前記(6)の非常時張水装置に電気設備を使用している場合には当該電気設備
  - (v) 通信設備
- (9) その他次に掲げる設備を備えること。
- (i) レーダー (2台)
  - (ii) エコーランサー (1台)
  - (iii) 航跡自画装置

## 2.3 過去の研究のまとめ

### 2.3.1 まえがき

わが国における使用済核燃料の輸送は今後増大してゆく見通しであるが、地理的条件から大巾に海上輸送に頼らざるを得ない現状にある。

使用済核燃料の海上輸送時における起り得る事故に関連して、過去に調査研究された報告等を以下にまとめてみる。

( ) °ここで言う「海上輸送時」とは、岸壁における運搬船への積荷から海上輸送を経て運搬船から岸壁までの陸揚げ完了時までを言う。)

### 2.3.2 調査・研究の概要

#### 1) 輸送に関する調査研究

使用済核燃料の輸送に関する調査研究は古く昭和41年から始められ、以降毎年各所であらゆる角度からの調査研究が進められてきた。

それらを表2.3.1に示す。

#### 2) 海上輸送に関する調査研究

表2.3.1の中から「海上輸送時」及び海上輸送に関する研究、調査を抽出し、その内容を要約すると次の通りである。

##### (1) "使用済核燃料輸送容器の海中落下時の安全性に関する試験研究" (三井造船株式会社受託)

昭和50年度から52年度の3年間にわたって実施された。海上輸送時、キャスクが万一深海へ落下した場合を想定し、容器本体の1/4縮尺モデルに高圧水槽中で最大500kgf(5,000mの水深に相当)を加圧し圧壊状況を調べ、さらに蓋・シール部の水密性に関する挙動と容器の圧壊を防止するための圧力平衡弁の研究開発を行うとともに、蓋・シール部および弁類の海水浸漬による腐食試験が実施された。

##### (2) "使用済核燃料輸送の安全評価に関する調査" ((財)電力中央研究所受託)

昭和51～54年度に実施し、専用船による国内の海上輸送を対象としたもので、一般の船舶の事故を調査し海没事故時の放射能の挙動分析、環境への影響評価等が実施された。さらに海難事故統計、サルベージ技術の現状等を調査し、海没発生確率、キャスク破損の限界水深、キャスク密封部と燃料被ふく管の耐蝕年数及び公衆の被ばく線量の推算が実施された。

##### (3) "使用済核燃料の安全輸送に関する調査研究" ((社)日本造船研究協会)

海上輸送を対象として使用済核燃料運搬船における積載方法、荷役等輸送方法の安全性を確保し、要員の安全を図るために昭和51～54年度にかけて行った研究である。

これらの調査研究の内容の主体は次の5項目に分けられる。

- 想定される事故およびその対策を想定被害状況に応じて検討し、事故形態別のフローチャートを作成した。
- 船舶積付検査時の点検事項を挙げ、チェックリストを策定した。
- キャスクの海上輸送時の事故時の損傷等を想定した。
- 船内放射線防護に関して緊急事故対策要領を作成した。
- 運搬船が海面火災につつまれた場合の伝熱計算を行った。

なお、これらの詳細は次の通りである。

##### (i) 使用済核燃料の海上輸送時に想定される事故

使用済核燃料の海上輸送時に想定される事故として、その原因を便宜的に、①衝突及び坐礁、②火災、③船

内事故及び④荷役時の4つに分け、夫々の原因毎に発生が想定される被害部、被害現象及び被害対策をフローチャートにまとめ作成された。

この検討は専用船と一般船の両方を対象に行われた。

これらフローチャートの中、専用船に対する次の3図を例示する。

(図2.3.1) 衝突座礁事故及び対策(専用船)

(図2.3.2) 使用済核燃料専用運搬船の火災と対策

(図2.3.3) 荷役事故フロー(専用船)

#### (ii) 放射性物質等の船舶運送における点検事項

“使用済核燃料の安全輸送に関する調査研究報告書”(昭和52～55年、(社)日本造船研究協会)においては、核燃料物質の船舶への積載方法等について、船舶における核物質の積付検査の指針とするため、核燃料物質船舶積付検査施行基準を策定し、本基準による積付検査の施検を完全にするため、施検現場における利用の便を考慮して点検事項を列举し、チェックリスト(放射性物質等運送点検表、表2.3.2)を作成している。

#### (iii) キャスク海上輸送時の事故時の損傷等の想定

キャスクは後述のキャスクの安全基準に示す試験により健全性が確認されているが、“使用済核燃料の安全輸送に関する調査研究報告書”(昭和52～55年、(社)日本造船研究協会)では、万一の事故を考慮した場合のキャスクの損傷程度を次のように想定している。

##### (1) 衝突及び座礁

キャスクが損傷を受けたとしても、キャスクは9m落下衝撃に耐えうることからキャスクとして重大な損傷にはなりえないと考えられる。

予想される損傷の程度

- フィン、ショックアブソーバ等の損傷
- 固縛装置の損傷
- 船倉冷却装置の損傷

##### (2) 荷役作業時の落下

キャスクは剛体上への9m落下に耐えられるが、岸壁、船底は剛性度が低く、荷役も極力9m内に収めるよう実施しているので、万一落下した場合でも重大な損傷にはなりえないと考えられる。

予想される損傷の程度

- フィン、ショックアブソーバ等の損傷
- 冷却材の漏洩
- 放射能汚染

##### (3) 火災

キャスクは特別試験条件で800°Cの環境に30分間耐えることとなっており、試験後の適合条件は、

- キャスク表面から1mの線量率 < 1,000ミリレム/時
- 放射性物質の漏洩量 < A<sub>2</sub> 値

極めて特殊なケースとしてタンカーとの衝突により油の流入と火災が同時に発生した場合に、キャスク船倉内火災というケースが考えられるが、非常張水装置が作動することとなっている。ただし万一作動しない場合等には800°C 30分間という試験条件を超過することも考えられる。

船倉内火災の場合は非常張水装置の作動、不作動に係らず、次の損傷を想定し点検する。

- キャスク表面の放射線線量率の増加
- 冷却材の漏洩
- 放射能汚染

以上のように損傷程度を想定しているが、一方キャスクの安全基準は次に示す通りで、さらにこれを実証するための試験が実施されている。

#### 〔キャスクの安全基準〕

国際原子力機関（IAEA）では1961年に初めて放射性物質安全輸送規則を発行し、その後改訂を重ね、現在1985年版が作成されているが、各国に同規則の採用を勧告している。我が国もこれを受け昭和49年に原子力委員会・放射性物質安全輸送専門部会は「放射性物質等の輸送に関する安全基準」を作成し、これに基いて関係諸法令の整備が行われた。

輸送物としての技術基準は「危険物船舶運送及び貯蔵規則」（危規則）の上でBM型又はBU型とされている。ここでBM型とは多国間認可（Multilateral）を要するもの、BU型とは1ヶ国認可（Unilateral）を要するものである。

我が国で実際に使用されているBM型については、危規則第91条において一般の試験条件、特別の試験条件が規定されており、キャスクはその条件に適合することとなっており、その概要は次の通りである。

#### 〔BM型輸送物に関する試験基準〕

##### 1. 試験条件

###### (1) 一般試験条件

- ① 每時50ミリに相当する水を一時間吹きつけること。
- ② 1.5トンを越えるものは0.3mの高さから最大の破損を生ずるよう落下させること。
- ③ 重量6Kg、3.2cmØの棒を1mの高さから落下させること。
- ④ 前号条件後38℃の環境に1週間放置すること。

###### (2) 特別試験条件

- ① 9mの高さから落下させること。
- ② 垂直に固定した1.5cmØ、20cm長さの軟鋼丸棒を1m高さから落下させること。
- ③ 800℃の環境に30分間置くこと。
- ④ 1.5m深さの水中に8時間浸漬。
- ⑤ 38℃の環境に1週間放置すること。

##### 2. 試験後の適合条件

###### (1) 一般試験の適合条件

- ① 表面の線量率 < 200ミリレム／時かつ表面から1mの位置の線量率 < 10ミリレム／時
- ② 放射性物質の漏洩量／時 < A<sub>2</sub> 値 × 10<sup>-6</sup> \*1
- ③ 表面の放射能面密度 < 許容表面密度

\*1 A<sub>2</sub> 値は核種が2種類以上で種類の一部が明らかであって種類別の数量の全部が明らかでない場合  
 $A_2 : 4 \times 10^{-1} \text{ ci} \rightarrow A_2 \text{ 値} \times 10^{-6} = 4 \times 10^{-7} \text{ ci}$

## (2) 特別試験の適合条件

① 表面から 1 m の線量率 < 1000 ミリレム／時

② 放射性物質の漏洩量／週 < A<sub>2</sub> 値<sup>\*2</sup>

上記試験条件及び試験後の適合条件の実物による確認を得るため、昭和 52 年以降、財電力中央研究所にて「使用済燃料輸送容器信頼性実証試験」が継続して実施されている。

この中、50 トン級キャスクについては、既に落下衝撃試験、環境伝熱試験、密封試験、遮へい試験、耐火試験ならびに耐圧試験を終り、各試験ともに上記の条件を満足することが確認されており、更に 100 トンキャスクについて目下同種試験が実施されつつある。

## (iv) 船内放射線防護

「使用済核燃料の安全輸送に関する調査研究報告書」（昭和 52～55 年、（社）日本造船研究協会）においては放射線管理の問題点の調査を行い、運搬専用船が放射性物質を輸送中に緊急事故が発生した場合を想定し、事故に対する一般対策と放射線事故の際の対策が述べられ、関係者のとるべき措置に言及している。

従来この種の緊急事故が発生した事例はないが、更に安全性を高めるために事故のケース・スタディを行っている。

## (v) 使用済核燃料運搬専用船の火災事故時における伝熱計算

海上輸送時における船舶の事故としては、衝突座礁、火災などが考えられるが、使用済燃料運搬専用船は、衝突座礁に対しては、耐衝突、耐座礁構造が施され、火災に対しては非常張水装置などによって事故時の安全性を確保できるようになっている。

ここでは運搬専用船がタンカーと衝突し、タンカーより流出した油による海面火災の中に長期間さらされ、かつ非常張水装置も作動しないような最悪の事態を想定し、この苛酷な火災条件における運搬専用船およびキャスクの安全性を評価することを目的とし、次のように伝熱計算が行われた。

すなわち、「使用済核燃料の安全輸送に関する調査研究報告書」（昭和 52～55 年、（社）日本造船研究協会）の中で次のように報告されている。

「使用済核燃料の海上輸送中における火災事故時の安全性の評価を行うため、火災条件として、1) IAEA (国際原子力機関) 規則およびわが国の輸送規則に規定されている 800°C の火災に 30 分間さらされた場合、2) 苛酷な長時間火災として 800°C 及び 1000°C の火災に 24 時間さらされた場合を仮定し、二重船殻構造を有する使用済核燃料運搬専用船に 1 キャスク（円筒型鉛キャスク）を積載した場合および 2 キャスク（フィン付鉛キャスク）を積載した場合の 2 種類の状態を想定した。

伝熱計算は、運搬専用船およびキャスクを簡略化した 2 次元中央断面モデルについて、伝熱計算コード「TRUMP」を用いて、それぞれ数値計算を行い、運搬専用船とキャスクの各部の定常および非定常温度分布が求められた。

これらの計算結果を要約すると以下の通りである。

(1) 運搬専用船の船艤内に 1 キャスクを積載した場合の通常時における船体構造各部、キャスクなどの定常温度分布が得られた。これらの結果より専用船の船艤内壁の表面温度は 55°C であり、キャスク外表面温度は約 78°C となり、現在の輸送基準を満足することがわかった。

\*2 A<sub>2</sub> 値 = 4 × 10<sup>-1</sup> ci

(2) 計算の結果、800°C、30分の火災事故に対して運搬専用船に16.1、16.2キャスクをそれぞれ積載した場合の非定常温度分布が得られた。この解析結果より、800°C、30分の火災事故による熱的安全性は確保できることがわかった。

(3) 800°C、24時間の長時間火災事故の仮定に対して、運搬専用船に16.1キャスクを積載した場合、キャスク内の放射線遮へい用鉛の温度は、船艤内壁に接した水タンク（ノード番号61）に水が入っていると24時間後に、約250°C、水タンク内が空の場合は24時間後に約300°Cに上昇する。これは鉛の融点327°C以下であり、キャスクの健全性は保持される。

また、運搬専用船に16.2キャスクを積載した場合、船艤内壁に接した水タンクに水が入っていると、キャスク内の鉛温度は、24時間後に約283°Cとなり、溶融しないが、水タンク内が空のときは、22時間後にキャスク内の鉛温度は322°Cまで上昇する。したがって、この場合は、これ以上火災が継続すると、キャスクの破損などが予想される。

(4) 1000°C、30分の火災事故に対して、運搬専用船に16.2キャスクを積載した場合は、800°C、30分の火災事故と同様に、火災事故時の熱的安全性は確保されるものと思われる。

(5) 最も苛酷な火災事故条件として仮定した1000°C、24時間の長時間火災事故に対して、運搬専用船に16.2キャスクを積載した場合、キャスク内の鉛温度は船艤内壁に接した水タンクに水が入っていると、19時間後に約326°Cに、水タンクが空のときは14時間後に約320°Cに上昇することがわかった。したがって、これ以上1000°Cの火災が継続するとキャスクの熱的健全性が失われる恐れがある。

以上が、計算結果よりのまとめであるが、今回の計算はまえがきにも述べたように<sup>\*</sup>、より苛酷な火災事故条件を仮定したものであり、現実の海上輸送における火災事故に対しては、火災発生後、より短時間に消火等、何らかの防護手段が適用されること。さらに運搬専用船としては、特に火災事故に対して非常張水装置等の安全対策が施されていることも考慮する必要がある。』

#### (4) "核燃料輸送緊急時対策技術調査" ((財)原子力安全研究協会)

輸送（海陸を含む）及びキャスクに関する過去の研究内容を要約し、緊急時対策として将来の課題についても検討されている。

本調査で報告されている海上輸送に関する調査事項は全て前3項に報告されたものである。

#### 3) 海外文献

表2.3.1に記載のとおり、放射性物質の輸送に関し、国際間の情報交換の場として、

- International Symposium on Packaging and Transportation of Radioactive Materials (Patram)
- 国際原子力機関の国際セミナー (IAEA)

が開催されている。

これらの国際会議では数多くの文献が発表されているが、キャスクの海上輸送に関するものは次の通りである。

- Proceedings of the 5th International Symposium on Packaging and Transportation of Radioactive Materials Patram '78, 1978

\*運搬専用船がタンカーと衝突し、タンカーより流出した油による海面火災の中に長時間さらされ、かつ非常張水装置も作動しないような最悪の事態を想定した。

- (1) S.Aoki(RLNR), K.Ikeda(STA)(Japan) ;  
Licensing Experiences, Risk Assessment, Demonstration Test on  
Nuclear Fuel Packages and Design Criteria for Sea Going Vessel  
Carrying Spent Fuel in Japan.
- (2) R.E.Rhoads(PNL), S.W.Heaberlin(PNL), W.A.Brobst(DOE) ;  
Considerations in the Transportation of Spent Fuel and Other  
Radioactive Materials by Sea.
- (3) T.Nagakura, Y.Maki, N.Tanaka, (CRIEPI, Japan) ;  
Safety Evaluation on Transport of Fuel at Sea and Test Program on  
Full Scale Cask in Japan.
- (4) Y.Mori(NTSC, Japan) ;  
"Motor Vessel HINOURA MARU" - A Specialized Carrier for Spent  
Fuel.
- (5) O.Terada, M.Kumada, T.Hayakawa, S.Mochizuki, K.Ohrui, (MESC, Japan) ;  
Strength and Water-Tightness of the Closure Head and Valves of a  
Model Cask Under High External Pressure.
- (6) R.B.Chitwood(DOE) ;  
U.S.Perspective on Transporting Radioactive Materials by Sea.

- o Proceedings of the 6th International Symposium on Packaging and Transportation  
of Radioactive Materials Patram '80, 1980
- (1) H.W.Curtis ;  
Experience of European LWR Irradiated Fuel Transport.
- (2) S.Aoki, S.Fukuda, M.Nomura, A.Yuki, T.Takeda ;  
Current Status of Nuclear Materials Transportation in Japan.
- (3) G.Armbrust, T.Staake ;  
Experience in the International Shipment of Irradiated MTR Fuel  
Elements by Truck, Ship and Aircraft.
- (4) G.Baier ;  
Transportation of Nuclear Material by Sea and Inland Vessels  
Considered Under Security Aspects.
- (5) K.Kage, K.Kuwashima, H.Kajishima ;  
On the Domestic Transportation by "HINOURA MARU" the Ship for  
the Exclusive Use of Spent Nuclear Fuel.
- (6) B.Gustafsson, T.Milchert ;  
Sea Transport of Spent Fuel.

◦ Proceedings of the 7th International Symposium on Packaging and Transportation of Radioactive Materials Patram '83, 1983.

(1) S.Fukuda ;

The Technical Outlook on Meeting the Challenge of the Future  
— A Japanese View.

(2) H.E.Spink ;

Notes on the Design of Ships Used in the International Transport  
of Irradiated Nuclear Fuel.

(3) B.Gustafsson, B.Lenail ;

The Realization of a Sea Transport System for Radioactive Material.

◦ Proceeding of a Seminar on Transport Packaging for Radioactive Materials.

The International Atomic Energy Agency, IAEA, 1976.

(1) O.Terada, H.Akiyama, T.Iwaki ;

Collapse Test of a Model Shipping Cask under High External Pressure.  
(IAEA-SR-10/31)

(2) S.W.Heaberlin, D.A.Baker, C.E. Beyer, S.Mandel, P.L.Peterson ;

Evaluation of the Consequences of LWR Spent Fuel and Plutonium  
Shipping Package Loss at Sea. (IAEA-SR-10/14)

### 2.3.3 安全評価

#### 1) 船舶関係

##### (1) 使用済燃料運搬専用船の構造・設備

大量に使用済燃料を専用に輸送する船舶の構造・設備に関しては、昭和49年2月、運輸省内に「使用済燃料運搬船検討会」が設置され、構造・設備の基準の作成に着手し、同年10月、船舶局長通達(2.2項付録2.2-1参照)が出された。

この基準が一般船よりより安全性を高めるため、相違する要点は構造上では、船体を二重船殻構造及び耐衝突・座礁構造とし、かつ隔壁をはさむいすれの二区画に同時に浸水しても十分な浮揚性と復原性が確保されるような船体構造配置となっている。

また設備上では、船倉内非常張水装置が設けられることになっているほか、予備のレーダー、エコーサウンダー、航跡自動装置を設けると共に、非常電源装置を設けて安全設備の電源の二重化を図ることになっている。

##### (2) 海難事故調査と沈没確率

“使用済核燃料輸送の安全評価に関する調査”(昭和51～54年、(財)電力中央研究所受託)で調査された海難事故調査とは、日本周辺沿岸海域を対象として、距岸5～10浬を変針点とする直線の航路を想定し、その航路上における船舶の交通量および沖合方向の船舶分布などを船舶統計により調査し、さらに衝突事故を種類、トン数別に海難統計資料に基づいて整理が行われたものである。

上記の調査を基に、若狭湾地区から東海地区までを例に航行距離が長く、かつ船舶の行会い回数の多い南廻りを使用済燃料運搬専用船と船体主要寸法がほぼ同一の一般船舶が年間10航海すると仮定した場合の沈没確率を

求めたものであるが、この沈没確率については、昭和53年9月「核燃料安全専門審査会」が報告した「我が国における使用済燃料の海上輸送に係る安全性について」の報告書で次のとおり報告されている。

『この種の船舶の沈没確率は、たかだか  $7.6 \times 10^{-7}$  回／年である。したがって耐衝突防護構造をもち、かつ全ての船倉及び機関室に対し二区画可浸性を満足している運搬専用船についての沈没確率は、これよりも十分小さくなるものと推定できる。』

### (3) サルベージ技術

サルベージ技術については、「使用済核燃料輸送の安全評価に関する調査」((財)電力中央研究所受託)にて検討、調査が行われ、「我が国における使用済燃料の海上輸送に係る安全性について」(昭和53年9月、核燃料安全専門審査会)の報告に次のとおり報告されている。

『現在の国内のサルベージ技術では、水深200m程度までは我が国が現有している作業船、機材によってサルベージ作業が可能であるが、200m以上の水深になると、作業船、ウインチ、ワイヤー等の機材を特別に製作する必要があるとの調査結果が得られている。』

## 2) 公衆被ばく線量評価

### (1) キャスク、燃料体の海没時の影響

キャスクが万が一海没した場合、キャスク及び燃料体が水圧により如何なる影響を受けるかについては、「使用済核燃料輸送容器の海中落下時の安全性に関する試験研究(三井造船<sup>株</sup>受託)で検討され、その結果は、「我が国における使用済燃料の海上輸送に係る安全性について」(昭和53年9月、核燃料安全専門審査会報告)の中に、

『キャスクの変形は約2,300mから顕著となるが、約3,000mまでは、燃料体に影響を及ぼすキャスクの変形ではなく、直ちに放射性物質の漏洩は起こらない。また水圧による燃料体の変形について理論解析を行った結果、燃料体は5,000m程度の水深に耐えることが明らかになった。』

と報告され、さらに『国内海上輸送においては、運搬専用船の航路の水深は、最大2,700mであるので、万が一キャスクが海没しても、キャスク及び燃料体から瞬時に放射性物質が漏洩することはない。』と報告されている。また海水による腐蝕の点については、「使用済核燃料輸送の安全評価に関する調査」((財)電力中央研究所受託)にて調査された結果は、キャスク、燃料体共金属部分は十分の耐食性をもっているが、『隙間腐蝕が生ずることが実験結果より明らかとなっており、腐蝕率より推定すれば、20数年で密封性が失われる可能性がある』と述べられている。

### (2) キャスク、海没時放射性物質の漏洩と公衆被ばく線量

キャスクが海没した後の放射能の挙動分析、環境への影響評価、さらに公衆被ばく線量の推算については、「使用済核燃料輸送の安全評価に関する調査」((財)電力中央研究所受託)にて調査研究された。

その大要は次のとおりである。

想定される海没水深は、日本周辺の使用済燃料輸送航路の大部分が2,000m以下であるので、キャスクが万が一海没したとしても変形による放射性物質の漏洩ではなく、部分腐蝕によりキャスクの密封性が破れて放射性物質の漏洩が徐々に進行するものと推定される。然し乍ら、海没水深が200m以浅の場合は、キャスクの部分腐蝕による放射性物質の漏洩が始まる前にサルベージが可能である。そこで海没水深を200mと2,000mの2つのケースに分け、公衆被ばく線量を推算するため、放射性物質の漏洩モデルを夫々のケースにつき

\* 運搬専用船と船体主要寸法がほぼ同一で、かつ、二区画可浸性についても機関室を除き同等の条件にある一般船舶。

次のとおり設定した。

#### ケース 1. 水深 200 m

実際には徐々に起ると考えられる放射性物質の漏洩をキャスクもなく、燃料被覆管もないものとした状態を想定し、放射性物質の閉じ込めの効果を無視し、全燃料ペレットから滲出（リーチング）により放射性物質が海水中へ漏洩するものとした。

#### ケース 2. 水深 2,000 m

厳しい条件設定として、水深 2,000 m では放射性物質が瞬時にキャスクから海水中に漏洩するものとした。

#### 公衆被ばく線量の評価

放射性物質が海水中に漏洩した場合の公衆被ばく線量を推算するに当っては、前述の 2 ケースについて夫々次の計算条件及び適用数値の条件のもとに推算した。

- 条件 (i) キャスク 1 体に収納される使用済燃料は、軽水型原子炉で約 3 ~ 4 年間燃焼した燃焼度約 33,000 MWD/MTU、ウラン量約 3.2 トンとし、運搬専用船にはキャスク 4 体が積載されているものとする。
- (ii) 放射能濃度とその時間的推移の予測については、水深 200 m 及び 2,000 m を評価する深度とし、海水の流動特性を考慮した 3 次元海洋拡散モデルを設定して計算する。
- (iii) 予測した放射能濃度のうち最も高くなる時点を含む 1 年間の放射能濃度の平均値を用い、海産物摂取に起因する内部被ばく線量について算定するとともに、砂浜への放射性物質の蓄積に起因する外部被ばく線量も評価すること。
- (iv) 内部被ばく線量については、海産物の摂取量、濃縮係数等は、「発電用軽水型原子炉施設周辺の線量目標値に対する評価指針（昭和 51 年 9 月、原子力委員会）」に示されている数値を用いて算出する。
- 以上の条件にて前述の 2 ケースについて算出した結果は、『我が国における使用済燃料の海上輸送に係る安全性について』（昭和 53 年 9 月、核燃料安全専門審査会）の報告に下記のごとく報告されている。
- 『ケース 1 の場合個人被ばく線量は、全身に対して 9 m rem/y、骨に対して 90 m rem/y であり、ケース 2 の場合、全身に対して 4 m rem/y、骨に対して 40 m rem/y である。
- 外部被ばく線量については、砂浜における海浜作業、汐干狩等の実態調査データに基づいて算出した。その結果、ケース 1 の場合 3 m rem/y であり、ケース 2 の場合 2 m rem/y である。』

#### (3) 評価結果

前述の評価をまとめて、『我が国における使用済燃料の海上輸送に係る安全性について』（昭和 53 年 9 月、核燃料安全専門審査会）の報告の中で評価結果として、

『我が国における使用済燃料運搬専用船の航路における船舶の海難統計調査結果に基づく検討結果によると、運搬専用船の沈没確率は小さい。さらに運搬専用船の航路における水路調査、サルベージ技術、キャスク及び燃料体への水圧及び腐食の影響等を総合的に検討した結果、万が一キャスクが海没しても放射性物質が瞬時に海水中へ漏洩することはない。

放射性物質漏洩モデルをキャスクが水深 200 m 及び 2,000 m に海没した場合の 2 ケースについて設定し、公衆被ばく線量を評価した結果、個人被ばく線量は全身で 200 m の場合 12 m rem/y、2,000 m の場合 6 m rem/y であり、国際放射線防護委員会（ICRP）の平常時の公衆に対する許容被ばく線量に比べて、いずれも十分低い値である。』

と結んでいる。

### 2.3.4 今後の課題

以上報告された使用済燃料の海上輸送時の安全性確保のための研究調査の過程において、今後の課題とされた点を挙げると次のようなものがある。

#### 1) 運搬船火災時の三次元熱解析

従来は二次元解析を行っていたが、三次元解析を検討 (造研調査報告 S 55年3月 P.65)

#### 2) 運搬船の非常張水装置

張水装置を使用した場合のキャスク等に及ぼす影響の検討 (原安協調査報告 S 59年3月 P.4)

#### 3) 圧力平衡弁

キャスクが水深 3,000 m 以深に水没すると想定した場合、圧力平衡弁の装着の得失

(燃安審報告 S 53年9月 P.16)

#### 4) 荷役時のロールオン・ロールオフ (RO/RO) システム

RO/RO システムの可能性及びリフトオン・リフトオフ (LO/LO) システムとの兼用の可能性を検討

安全性、作業員の被ばく、経済性及び法規面からの調査

(原安協調査報告 S 59年3月 P.4)

#### 5) サルベージ技術

200 m 以深の場合のサルベージのための特別機材の製作 (燃安審報告 S 53年9月 P.7)

表 2.3.1

昭和	西暦	委託、試験、信頼性試験	安全評価・調査報告	国際会議
37	1962			第一回PATRAM (ALBUQUERQUE)
38	1963			
39	1964			
40	1965		原産 検討会設置	
41	1966		使用済核燃料輸送容器調査 研究分科会 (日本機械学会)	
42	1967	使用済核燃料輸送容器の熱 除去に関する試験研究 (日本機械学会受託)		
43	1968	使用済核燃料輸送容器の落 下衝撃に関する試験研究 (日本機械学会受託)		第二回PATRAM (CATLINGBURG)
44	1969	同上 (日本機械学会受託)	「我が国における使用済燃 料の輸送」 日本原子力産業会議、使用 済燃料輸送問題専門委員会	
45	1970	同上 (日本機械学会受託)	「欧米における使用済燃料 輸送の現状」 原産使用済核燃料輸送専門 調査団	

4 6	1 9 7 1	使用済核燃料輸送容器の落下時の貫通強度に関する試験研究 (日立造船株式会社受託)		IAEAセミナー「容器試験」 (WIEN) 第三回PATRAM (RICHLAND)
4 7	1 9 7 2	使用済核燃料輸送容器の緩衝機構の性能評価に関する試験研究 (日立造船株式会社受託)		
4 8	1 9 7 3	使用済核燃料輸送容器の耐火性に関する試験研究 (日本機械学会受託)		
4 9	1 9 7 4	同上(日本機械学会受託)		第四回PATRAM(MIAMI)
5 0	1 9 7 5	使用済核燃料輸送容器の海中落下時の安全性に関する試験研究 (三井造船株式会社受託)		
5 1	1 9 7 6	同上(三井造船株受託) 使用済核燃料輸送容器の伝熱特性評価コードの作成に関する試験研究 (日本機械学会受託)	使用済核燃料輸送の安全評価に関する調査 (電力中央研究所) 核燃料施設等の安全基準に関する調査 (原安協) 使用済核燃料の安全輸送に関する調査研究 (造研)	IAEAセミナー(輸送容器) (WIEN)
5 2	1 9 7 7	使用済核燃料輸送容器の海中落下時の安全性に関する試験研究 (三井造船株式会社受託) 動燃委託「高速実験炉使用済燃料輸送容器の設計評価 (日本機械学会受託) 核燃料物質輸送容器積載車の衝突実験 (動燃団) 使用済燃料輸送容器信頼性実証試験 (電中研受託)	核燃料物質陸上輸送に関する実態及び事故確立の調査 (三菱総研) 核燃料施設等の安全基準に関する調査 (原安協) 使用済核燃料の安全輸送に関する調査研究 (造研)	ザルツブルグ国際会議「原子動力とその燃料サイクル」
5 3	1 9 7 8	使用済燃料輸送容器信頼性実証試験 (電中研受託)	核燃料物質陸上輸送の安全評価に関する調査 (電中研) 米国における使用済燃料輸送容器実証試験の調査報告 (電中研) 使用済核燃料の安全輸送に関する調査研究 (造研)	第五回PATRAM (LAS VEGAS)
5 4	1 9 7 9	同上(電中研受託) 車輌に積載された核燃料輸送容器の衝撃性能評価に関する試験研究 (三菱金属株式会社)	核燃料物質陸上輸送の安全評価に関する調査 (電中研) 我が国における使用済燃料の海上輸送に係る安全性について (核燃料安全専門審査会) 使用済核燃料の安全輸送に関する調査研究 (造研)	

5 5	1 9 8 0	同上(電中研受託)	核燃料物質の輸送に係る緊急時対策に関する調査 (原安協受託)	第六回 PATRAM ( BERLIN )
5 6	1 9 8 1	同上(電中研受託)	同上(原安協受託) 放射性物質の輸送に関する緊急時対策調査 (運輸省委託三菱総研受託)	
5 7	1 9 8 2	同上(電中研受託)		
5 8	1 9 8 3	同上(電中研受託)	核燃料輸送緊急時対策技術調査 (原安協)	第七回 PATRAM ( NEW ORLEANS )

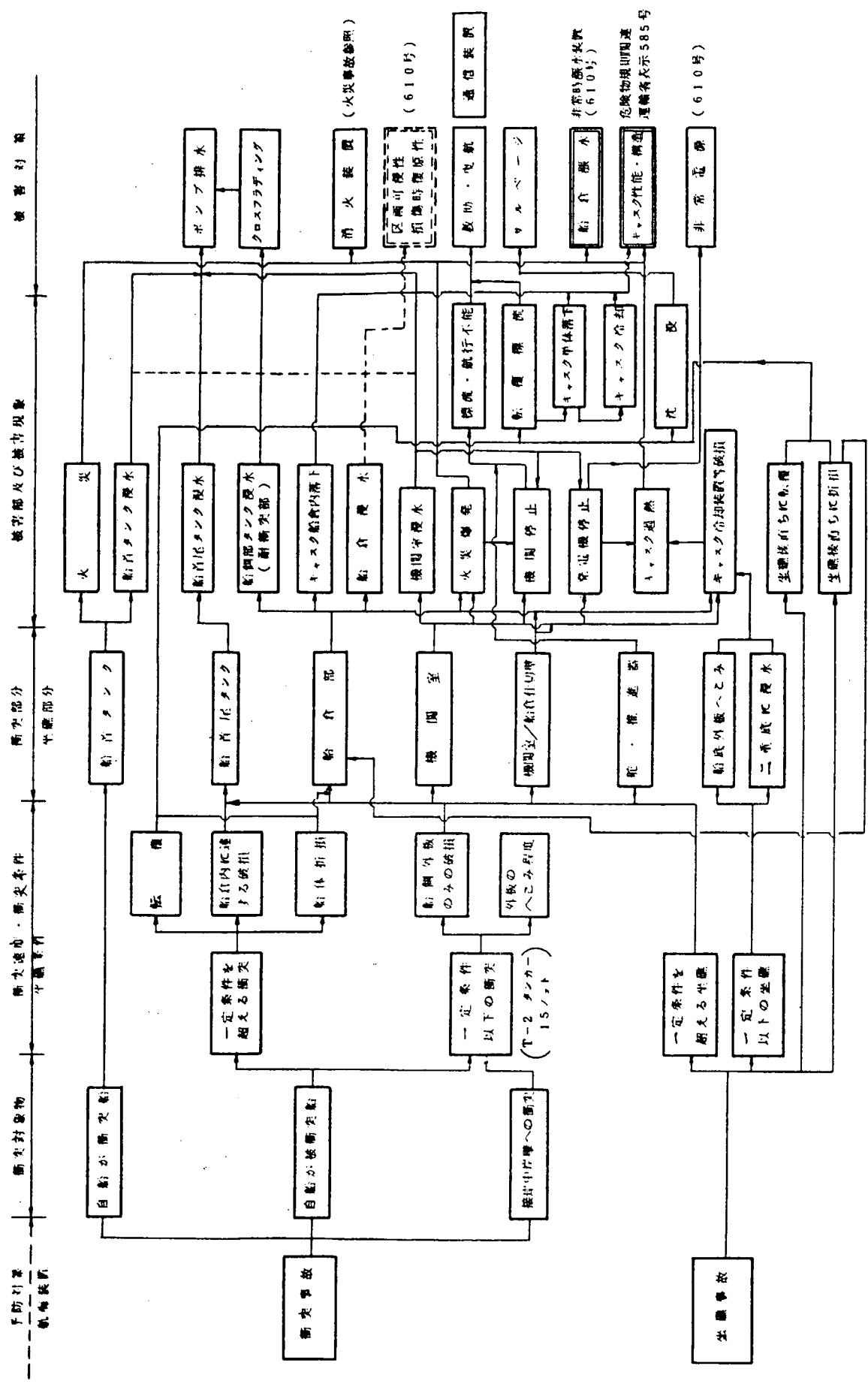


図2.3.1 衝突・坐礁事故及び対策（専用船）

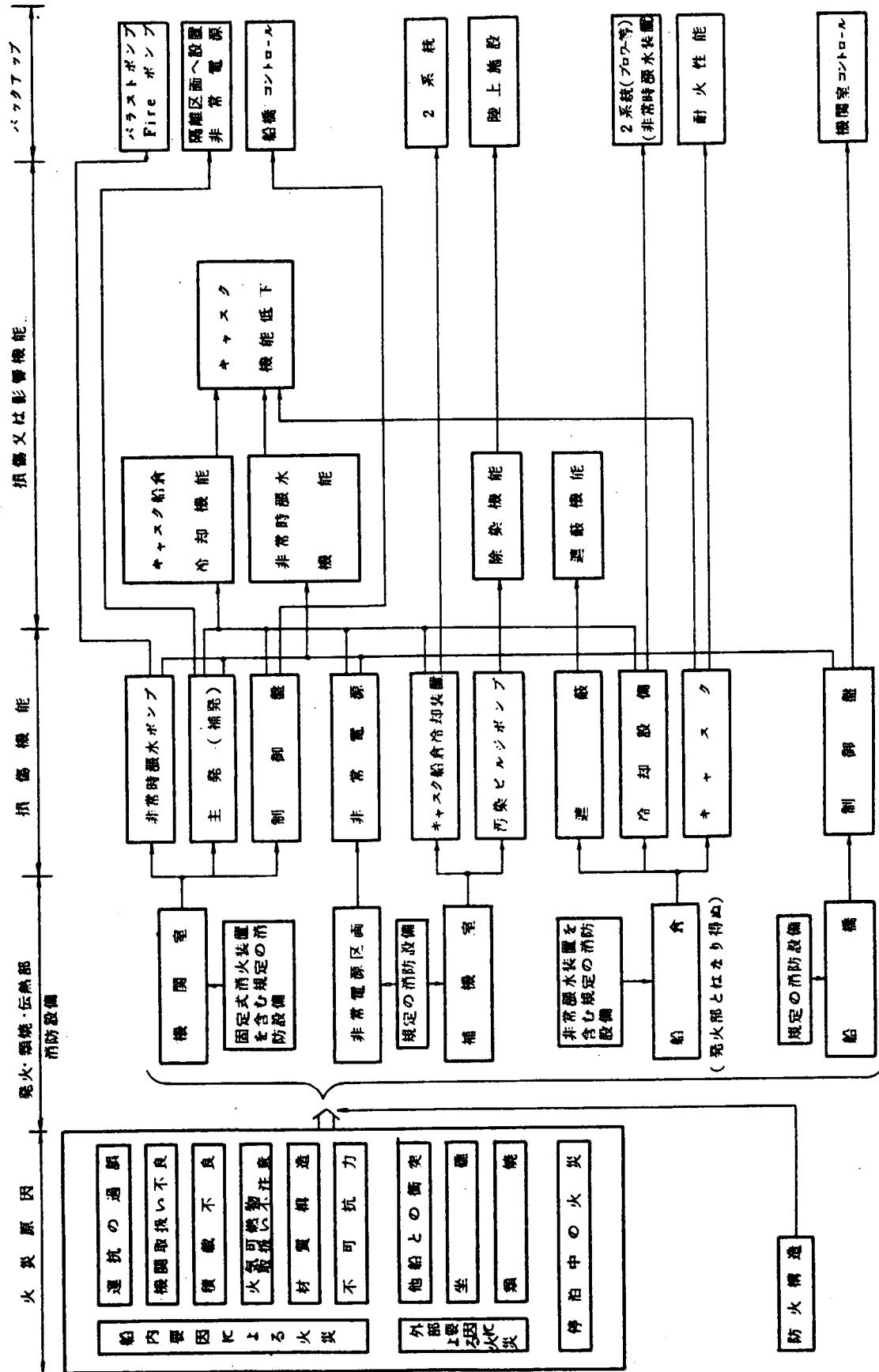


図2.3.2 使用済核燃料運搬専用船の火災と対策

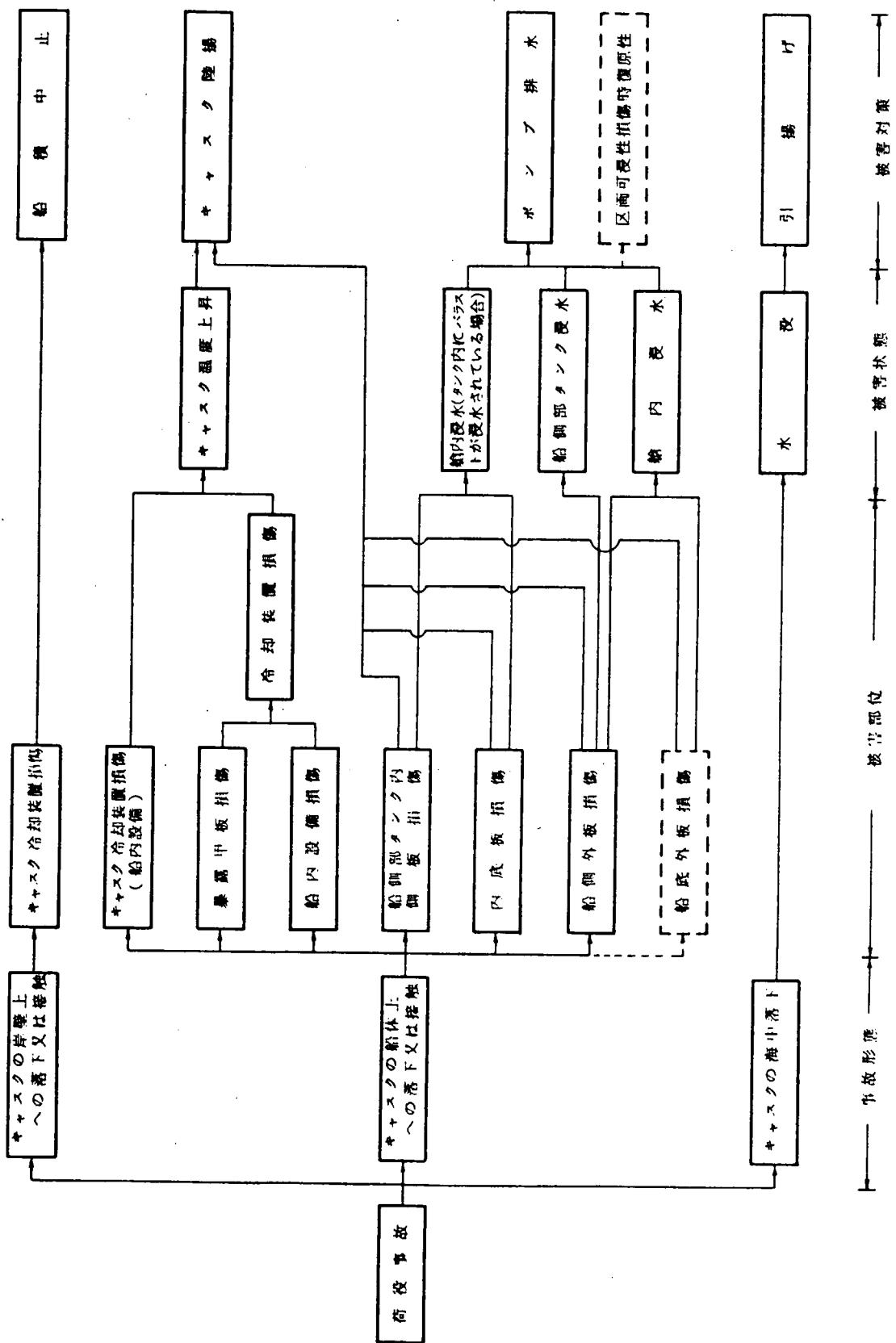


図 2.3.3 荷役事故フロー（専用船）

表2.3.2 放射性物質等運送点検表

点検年月日： 年 月 日

運送船名：

点検項目		点検内容							
輸送物等	放射性核種			A <sub>1</sub>	C <sub>i</sub>	A <sub>2</sub>	C <sub>i</sub>		
	特別形	特別形	非特別形	放射能量			C <sub>i</sub>		
	放射性輸送物等の種類	L	A	BM	BU	空容器	汚染物	ウラン鉱	
	核分裂性輸送物の種類	第一種	第二種	第三種	輸送制限個数		個		
	最大放射線量率	表面			m rem/h	表面から1m	m rem/h		
	輸送指數			放射能面密度				$\mu\text{Ci/cm}^2$	
	標札	一白	二黄	三黄	表示	放射性 A型	B型	三葉マーク	総重量
	輸送物の寸法及び重量	m ×	m ×	m	Kg net		Kg gross		
	外観その他	良	不良						
輸送物の安全確認	確認書番号 船査第 号 ( 年 月 日付 )								
コンテナ	コンテナ番号				コンテナの種類	非開放型	開放型		
	最大放射線量率	表面	m rem/h		表面から1m	m rem/h			
	輸送指數			放射能面密度				$\mu\text{Ci/cm}^2$	
	標札及び標識	一白	二黄	三黄	標識	表示	品名	コンテナ番号	
	外観その他	良	不良						
運送の方 法等	荷役機器類の点検	良 不良	横載方法	甲板上 甲板間 倉内			良 不良		
	専用積載	専用 一 載	他の危険物との隔離			良 不良			
	輸送指數による積載制限	良 不良	輸送物等の移動放止			良 不良			
	積付検査	要 不良	収納検査			要 不要			
	放射性物質等運送届	年 月 日届出							
	運送の安全確認	確認書番号 船査第 号 ( 年 月 日付 )							
被ばく管理	居住区域等の最大放射線量率	m rem/h		被ばく線量の管理	良 不良				
	立入制限区域の設定	要 不要	立入制限区域の標識			良 不良			
	立入禁止措置	良 不良	荷役後の汚染検査			良 不良			
その他	危険物取扱規定の供与	良 不良	事故時の措置の周知			良 不良			
	連絡体制	良 不良							
備									

(注) 1. 該当する事項を記載するか又は○印を附すこと。

2. 該当しない欄は、斜線をすること。

### 3. 事故処理技術に関する検討

#### 3.1 前提条件の設定

本項においては、事故処理技術を検討していくに際し、対象となる事故、対象船舶、事故想定の考え方等について述べることとする。

##### 3.1.1 対象船舶

- |             |                |
|-------------|----------------|
| (1) L・B・D   | 約 100m・16m・10m |
| (2) 総トン数    | 約 4700トン       |
| (3) 満載排水量   | 約 7000トン       |
| (4) キャスク搭載数 | 100トン型キャスク 20基 |
| (5) 一般配置図   | (図 3.1.1)      |

##### 3.1.2 対象キャスク

- |         |         |
|---------|---------|
| (1) 尺 法 | 約 6m・3m |
| (2) 重 量 | 約 100トン |

##### 3.1.3 事故の想定の考え方及び検討項目

使用済核燃料の海上輸送に係る安全性については、「使用済核燃料運搬船の構造設備要件（船査610号）」及び「危険物船舶運送及び貯蔵規則」等により十分確保されており、放射線災害に至るような事故を想定することは非常に困難である。したがって、ここで想定する事故については、現時点においてその発生原因を想定できないものであることを基本とする。

以上の考え方従い事故処理技術の検討を行うという点に着目して、船体の状態、キャスクの状態等を勘案して図3.1.2のフローを作成した。使用済核燃料運搬船及びキャスクは、事故発生後、各種安全設計、安全設備等により、緊急事態の一応の終結が見られるので、その後の措置に関し、航行可能である場合と航行不能である場合に大別した。航行可能である場合には自力帰港し、岸壁でキャスクを回収することになるが、この場合、キャスクに異状がないときには通常の荷役方法を取ることになる。万一、キャスクに異状がある場合には特別の措置が取られることになる。一方、航行不能の場合には、漂流、転覆、沈没に分類したが、漂流の場合は曳航により帰港すれば航行可能の場合と同様であり、転覆又は沈没の場合には、それぞれ、正立又は引き揚げ後正立させれば航行可能の場合と同様である。したがって、これまでの調査の結果から、本章で行うべき検討項目として回収方法の検討、正立方法の検討、沈船探査技術の検討及び沈船引き揚げ技術の検討を取り上げる。

##### 3.1.4 各検討項目に対する条件及び検討事項

###### 1) キャスクの回収に関する検討

###### (1) 検討に当たっての条件

運搬船の一艤内にあるキャスク4個が損傷をうけ、船は正立状態で係留されているものとする。キャスクの表面線量率は 500 mrem/h、表面から 1 m における線量率は 200 mrem/h とし、艤内の放射能汚染の程度は、底板、隔壁等の船体構造部材及びキャスク表面の放射能面密度が一様に許容表面密度を超えているものとする。

(2) 検討事項

① 回収作業方法

必要な機材、工具、防護服等の検討

作業マニュアルの作成、作業人員、作業時間、被ばく線量の検討

② 船体除染方法

除染方法、機材、作業時間等の検討

2) 転覆船を正立させる方法の検討

(1) 検討に当たっての条件

① 放射線の影響はないものとすること。

② 自然条件は次の通りとすること。

風…………無風 波高……………1 m未満 潮流……………1.5 ノット以内

底質…………泥または砂

③ 転覆船の状態については、つぎのとおりとすること。

船内には人が残っていないものとすること。

船体の損傷は無いが、各ホールドに海水が浸水しているものとすること。

(2) 検討事項

必要な機材、人員、作業時間、作業マニュアルの作成等

3) 沈船探査技術の検討

(1) 検討に当たっての条件

① 沈没深度…………2 0 0 0 m以下

② 沈船の装備

「使用済核燃料運搬船の構造設備要件（昭和49年船査610号）」を満足するとともに、ピンガー(2440/1113)を装備しているものとする。また、沈没直前まで地上と通信可能であることとする。

③ 潮流は1.5 ノット以内とし、海底は平坦な砂地とする。

(2) 検討事項

① ピンガーの利用による探査方法

ピンガーの到達範囲への接近方法

ピンガーの到達範囲内での沈船の発見方法

捜索開始から発見までに要する期間

② ピンガー以外の新しい装置による方法

4) 沈船引き揚げ技術の検討

(1) 検討に当たっての条件

① 放射線の影響はないものとすること。

② 自然条件は2) (1) ②と同様とすること。

③ 沈没深度は2 0 0 m以上2 0 0 0 m以下を対象とする。<sup>\*</sup>

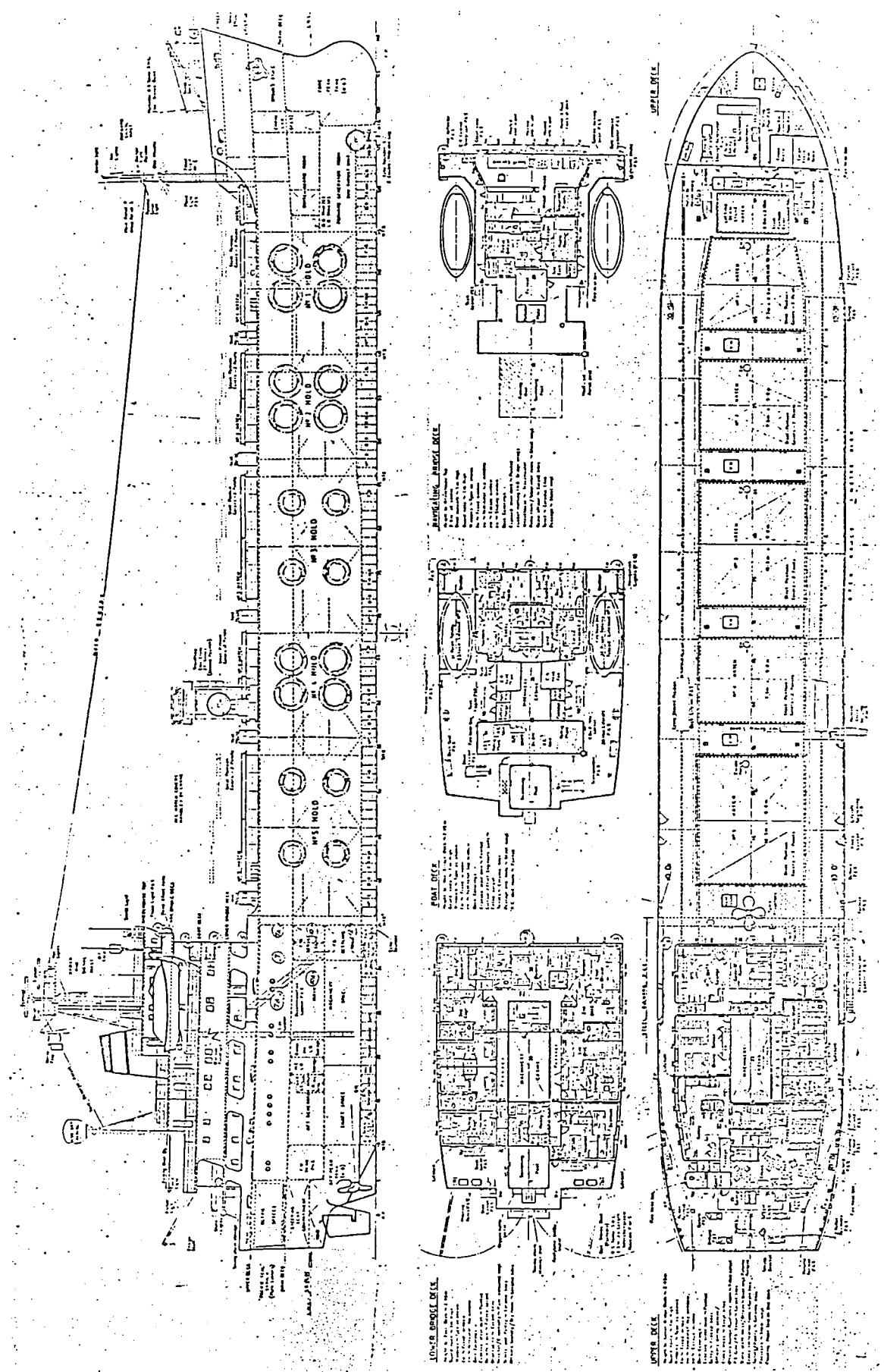
(2) 検討事項

① 2 0 0 mからの引き揚げ技術については、現存する設備、機材での作業マニュアルの作成、作業人員、作業期間等の検討。

② 2 0 0 m以深については、必要な設備、機材、作業方法等について検討。

\* 水深2 0 0 mからの引き揚げについては、これまでに実績はないものであるが、技術的には可能であるといわれている。

图 3.1.1 一般配置图



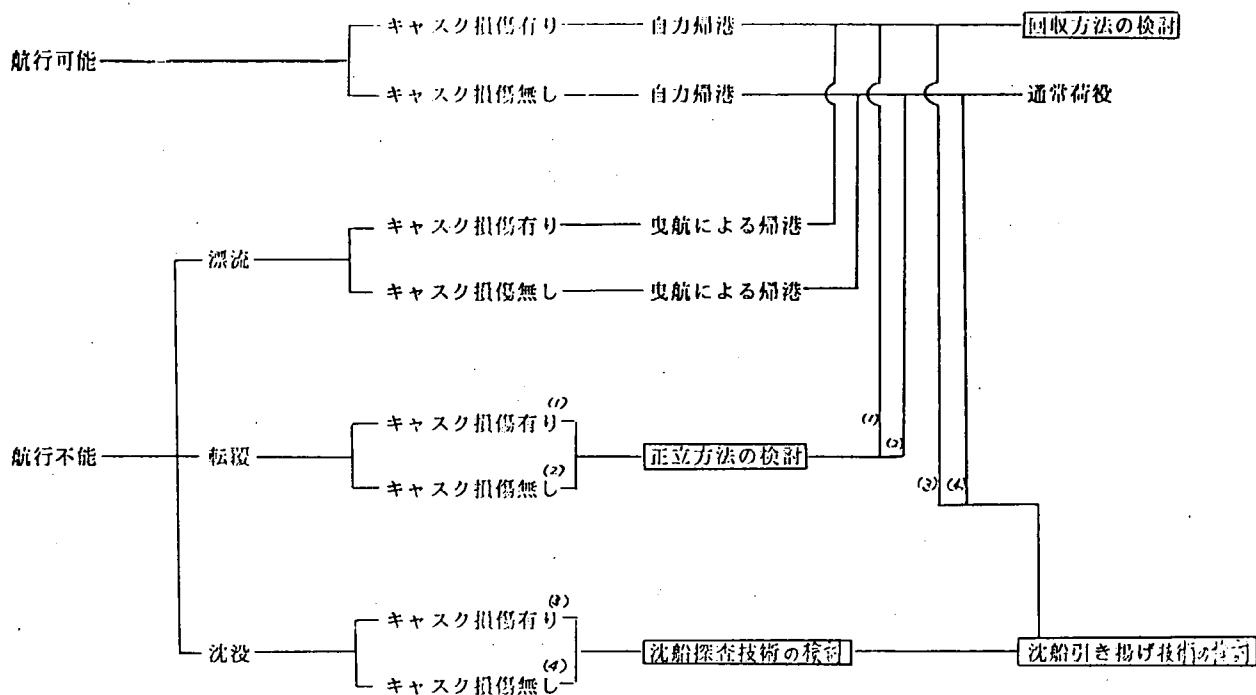


図 3.1.2 事故処理技術の検討 フロー

### 3.2 キャスクの回収方法

ここでは前節の事故の想定に従って、損傷キャスクを積載した運搬船が、自力または曳航により帰港して正立状態で係留されていると想定した場合の船艤からのキャスクの回収に関して、「キャスク回収作業方法」及びキャスク回収後の船艤内除染を主体とした「船体除染方法」を検討した。

検討を行なうに当たり前提条件を次の通り設定した。

- (1) 運搬船の一艤内にあるキャスク4個が損傷を受け、船は正立状態で係留されているものとする。
- (2) キャスクの表面線量率は  $500 \text{ mR/H}$ 、表面から  $1 \text{ m}$ における線量率は  $200 \text{ mR/H}$  とする。
- (3) 船艤内の放射能汚染の程度は、底板、隔壁等の船体構造部材及びキャスク表面の放射能面密度が一様に許容表面密度を超えているものとする。

#### 3.2.1 キャスク回収作業方法

キャスク回収作業の範囲は、運搬船の船艤内にある4個の損傷キャスクを荷揚げし、専用トレーラーで再処理施設へ移送する迄とし、必要機材、工具、防護具等及び作業人員、作業時間、被曝線量について検討した。健全なキャスクを取り扱う通常荷役に対し、損傷キャスクの回収で考慮すべき事項を抽出し、これを反映した「作業手順書」をまとめ、更にこれに従い作業人員、作業量、被曝線量を評価した。損傷キャスクの回収で考慮すべき事項の検討結果は以下の通りである。

- (1) 準備作業として通常荷役に必要な作業区域の設定、使用工具類の確認・整備等の他に、船艤内及び甲板上の放射線検査（放射線量率、表面汚染密度、空気中放射性物質濃度）を実施し、その結果に基づき必要であれば船艤内の空気浄化と排気、船艤内面及びキャスクのポリシート養生を実施する。
- (2) キャスク破損事故時には、キャスクからの漏洩による空気汚染の拡大を防止するため、排気系を止め、船艤内を密閉する方法が一般に採られるため、帰港後(1)項の放射線検査を行ない、その結果必要あれば高性能フィルターユ

ネットを装備した仮設の排気系による空調を行なう。

- (3) 破損キャスクを岸壁から再処理施設へトレーラーで移送する場合、現状では放射線レベルが輸送規則に定める特別基準を満足しない。事故時の特別措置が採られると考えるが、ここではできるだけ被曝を低く抑え、汚染拡大防止を図るために下記の対応を探る。

○キャスクの表面汚染は、船艤内で簡単な除染を行ない、ルーズな汚染を落してから荷揚げするのが理想であるが、ここでは除染作業に要する被曝が大きい事と、船内での廃棄物の発生を最少限に抑えるため、キャスクをポリシートかまたは特製スカートで覆う事により取扱作業中、移送中の汚染拡大防止を図る。

○キャスクの表面線量については、鉛毛マットを胴部にまく等、仮設の遮蔽を施す事により、できるだけ線量を下げる努力をする。特にトレーラーの運転席には、準備段階で充分な仮設遮蔽を施し、運転者の被曝防止に努める。

- (4) キャスクの破損箇所は、入港前に漏洩防止の処置が採られており、荷揚げ作業中及び移送中の内容物の漏洩は生じないものとする。またここでは、キャスクの破損状態等については言及しないため、破損箇所の修理方法及び修理に要する被曝線量等の検討は行なわない。

- (5) キャスクは損傷を受けてはいるが、固定ボルト14本全てが損傷する事は考えられず、従ってキャスクは正位置にあるものとする。万一キャスクが横転あるいは反転している場合でも、特別な工具、装置を必要とせず、通常荷役の揚荷設備を用いて正位置にもどす事は可能であるが、ここではその手順及びそれに要する被曝線量については検討しない。

- (6) 表面汚染源は、キャスク内冷却水の漏洩であり、汚染レベルは $10^{-2}\mu\text{Ci}/\text{cm}^2$ 程度と考えられる。また汚染核種には $\alpha$ 線核種が存在しない事を確認する必要がある。

以上の検討結果を反映し、通常荷役の作業手順をベースに「キャスク回収作業手順書」をまとめ、表3.2.1に示す。基本的にはキャスク表面線量率が高い事と、汚染拡大防止の対応を除き、通常荷役の作業手順を大巾に変えるものではない。またこの「作業手順書」に従い、作業人員、作業量、被曝線量について検討し、表3.2.2にまとめた。被曝線量は非常に大まかな評価であるが、総被曝線量9人・レムを得た。以上の事から、ここで設定した仮定条件では損傷キャスクの回収作業は、現在軽水炉プラントで実施されている定期検査期間中の放射線作業等に比べ特に困難なものではない。

### 3.2.2 船体除染方法

船艤内の破損キャスク4個を荷揚げした後、漏洩したキャスク水による船艤内の汚染を除去して通常状態に復旧するための除染方法、必要機材、作業時間等について検討した。除染方法等を決定していく上で重要な要素は、汚染レベル、汚染の状態、対象核種、廃棄物処理等であるが、これ等について検討した結果は次の通りである。

- (1) 汚染源は前述の通り、破損キャスクからの冷却水で放射能濃度は $10^{-2}\mu\text{Ci}/\text{cm}^2$ 程度と考える。放射線検査では汚染レベルを確認すると同時に核種分析により対象核種を決定しておく必要がある。特に $\alpha$ 線核種の有無の確認が重要である。
- (2) 船艤床面及び壁面の材質は、鋼板にエポキシ系塗装で仕上げ状態は良好で除染し易い状態と考えられる。但し、傷などのために鋼板が錆びている場合には、グラインダー等により削り取る方法が必要である。
- (3) 運搬船は船内に廃水貯蔵タンク（容量は100トン程度）を有し、床面への漏洩水は専用ポンプでこの貯蔵タンクへ送られる。貯蔵廃水は帰港時岸壁にてタンクローリーに移され、再処理施設の廃液処理設備に送られる。廃液処理の観点からは、除染方法としての洗剤の使用は最終手段とする事が望ましい。

#### (4) 漏洩水の処理について

○キャスク水は2.2トン／キャスクであり、万一4個のキャスク水全てが漏洩したと仮定すると約9トンになる。

○床面にたまつた漏洩キャスク水は原則的には専用ポンプで廃液貯蔵タンクへ送られる。床面の窪み等の残存漏洩水は放射性汚水除去装置（水専用クリーナー）で吸引除去する。この他に廃液の発生量を少なくする方法としてイオン交換樹脂ライナーに漏洩水を通し放射性核種を除去する方法もある。ライナーはそのまま保管容器に入れ、廃棄物保管庫に貯蔵される。

○漏洩水の処理はキャスク回収作業の前に実施し、船艤内はポリシート養生する。

除染作業の計画では、早期に汚染レベルを下げる事、廃水及び廃棄物の発生を極力抑える事、経済性が基本事項であり、これに基づき、上記の検討結果を反映してまとめると具体的な除染作業としては次の様になる。

① 作業中の汚染拡大防止のため、除染開始前に船艤ハッチ蓋を閉じ、作業中の船艤内は高性能フィルターを装備した仮設排気ユニットで換気する。

② 船艤床面及び壁面のポリシート養生を取り外した後、汚染レベル測定を行ない、汚染の分布状況を確認する。

③ 早期に汚染レベルを下げる事が重要であり、まず第一に床面及び壁面を濡れウエスで拭き取る。汚染物はポリ袋に入れ、焼却施設へ送る。

④ 汚染レベルが下った段階でブラシで水洗い（可能であれば温水又はスチームが良い）する。汚染レベルをチェックしながら基準値に下る迄何回かくり返す（床面には電動ボリッシャー、壁面用には電動ハンドボリッシャーを用いる）。

⑤ 除染後の廃水は、前述した通り廃水貯蔵タンクに送られる。また窪み等への残存水も同様、水専用クリーナーで吸引除去する。

この除染作業に要する時間は、1回の除染で落ちる程度によるが、作業者6人／組で3組交替とし8時間、作業量として約50人・Hとなる。尚、汚染は時間の経過と共に除染されにくくなり、従って1回の除染で落ちる程度は汚染してからの経過時間に依存する。

この除染作業で必要な除染機材及び保護具について下記にまとめた。以上の検討の結果から、除染作業は現存軽水炉プラント等で経験しているものと比べて、汚染レベル及び汚染状態の面で特に対応が困難なものではなく、従って技術面、放射線防護面のいずれも既存の技術で実施できると考える。

#### 〔除染機材〕

- ポリッシャー、ハンドボリッシャー
- ピニールホース、ノズル
- 電気温水器 or スチームクリーナー
- 放射性汚水除去装置
- ウエス、ポリ袋
- グラインダー

#### 〔保護具〕

- ピニールアノラック、タイベック
- 呼吸用保護具〔エアーラインマスク（全面）、全面マスク、半面マスク〕
- エアーコンプレッサー、オイルトラップ、ホース等
- 編手袋、ゴム手袋、ウデカバー
- 長靴、綿靴下

表 3.2.1 キャスク回収作業手順書

作業項目	作業手順	放射線管理、保護具、測定器	使用工具、器材	備考（注意事項等）
(岸壁)	1-1 作業区域設定		○スタンド、ロープ、立入禁止標識 水平吊具	
	1-2 水平吊具等使用工具類の整備 点検 クレーン荷重テスト		○荷台、架台、スプリングワイヤー	○水平吊具は汚染防止のためボリシードで養生する。
	1-3			
	1-4 トレーラーの整備・点検	○放射線量率測定 ・サーベイメータ( r ) ・レム・カウンタ( n )		○トレーラー周辺だけでなくキャスク移動範囲を広く範囲に養生する。 ○線量率測定は運搬船入港後速やかに実施する。
	1-5 トレーラー架台、荷台及びトレーラー周辺の汚染防止養生	○ボリシート、ガムテープ		
	1-6 岸壁の放射線測定			
	1-7 船内及び甲板上の放射線検査	船艤内及び甲板上の放射線量率、船艤内表面汚染密度及び空気中放射性物質濃度 ・サーベイメータ( r ) ・レム・カウンタ( n ) ・ガス・ダストサンプラー ・ミニ汎用紙	○仮設排気ユニット ( 排気ファン、ホース、高能力フィルターユニット )	○キャスク損傷箇所は、入港前に漏洩防止の処置が採られており、作業中の内容物の漏洩はないものとする。応急処置等の場合には、再度回収作業に耐える程度の補修が必要。
	1-8 船艤内空気浄化、排気	空気中放射性物質濃度測定 ( ガス・ダストサンプラー )	○ボリシート、ガムテープ	○1-7 放射線検査の結果、必要あれば船艤内の換気を行なう。
	1-9 船艤壁面及び床面の養生とキャスクの汚染拡大防止養生	作業中の放射線管理業務 ・エアラインスーシ〔エアラインスマスク(全面) + アノラックスーシ〕 ・綿手、ゴム手、オーバーシューズ ・エアーフィルタ一式 ・個別モニタ( FB、アラームメータ )		○船艤内面は、キャスク荷降し後除染するが、水切作業中ダストの発生防止と汚染拡大防止のためボリシートで養生する。(床面に汚染水が残っている場合の処理については、除染の項で述べる) ○キャスクは、輸送中の汚染拡大防止のため、ボリシートで養生する。
(建屋内)	1-10 垂直吊具等使用工具類の整備・点検			

2. 水切作業	2-1 クレーンフックに水平吊具を取付ける。	○揚荷設備 ( 120 t / 27 m クラス )	
	2-2 ハッチ蓋開放	○空気中放射性物質濃度測定 ( ガス・ダストサンプラー )	ハッチ蓋開放前に空気中濃度が基準値以下である事を確認する。
	2-3 水平吊具を艤員へ吊下す。	○作業中の放射線管理 ・空気中放射性物質濃度測定 ・作業被曝管理	○空気中放射性物質濃度測定は、連続モニタリングが望ましい。
	2-4 キャスクトランニオンに水平吊具を取り付ける。	○キャスク保護カバー	
	2-5 ガイドロープを取り付け、キャスク固定ボルトを取外す。	○スッキッド用ガイドボルト ( 車両用 )	
	2-6 キャスクを約 1 m 吊上げ停止し、キャスクの下部ボリシート養生を行なう。	○スッキッド用アタッチメント、スパンナ	
	2-7 キャスクを吊上げトレーラー上へ移動する。	○ハンマー、シャックル、合付ワイヤー、枕木、道板	
	2-8 キャスクをトレーラーのスッキッドヘボルトで固定する。	○船内用工具( サポートピーム、プラットホーム等用工具 )	
	2-9 キャスクに仮設の鉛遮蔽を取り付ける。	〔 チェーンブロック、スパンナ、モンキーハーバール、ガイドドロープ等 〕	運転席は、運転者の被曝を許容線量以下にするため、特に充分な遮蔽を施す。 ( 準備作業として実施 )
	2-10 水平吊具を取り外し仮置きする。	○仮設始遮蔽( 鉛毛マット )	
3. 運搬及び建屋内搬入作業	3-1 トレーラー上のキャスクの放射線検査及び車両の放射線検査をする。	○放射線量率測定 ( キャスク表面 at 1 m ) ・サーベイメータ ( r ) ・レム・カウンター ( n ) ○キャスク表面( ポリシート )汚染測定	輸送道路は事前に整備しておくとともに、輸送時には交通整理員を置く。
	3-2 運搬標識を取付ける。	・スマヤ汎紙	
	3-3 トレーラー出発。再処理施設まで運搬する。	○トレーラー出発後作業範囲の汚染密度測定 ・サーベイメータ ・スマヤ汎紙	

		3 - 4 建屋入口シャッターを開放し、トレーラーをトラックアクセスエリアに導入する。 3 - 5 シャッターを閉じ、トレーラーに歯止めを（油圧ジャッキ）		○緩衝体用トルクレンチ、ワイヤー、ショックル、チーンロック	○緩衝体はポリシートで養生し、汚染の拡大を防ぐ。
4.	キャスク仮置き作業	4 - 1 仮設の鉛遮蔽を取り外す。 4 - 2 上部緩衝体を取り外す。 4 - 3 作業中の放射線管理 緩衝体の汚染チェック	4 - 3 クレーンフックに垂直吊具を取り付け、キャスク上まで移動する。 4 - 4 垂直吊具をキャストラニオンに取付ける。 4 - 5 キャスクの固縛装置を取り外し、キャスクを立起す。 4 - 6 キャスクを吊上げキャスク置き場まで移動、垂直吊具の付いた状態で下部緩衝体を取り外す。 4 - 7 汚染拡大防止用ポリシートを取り外し、キャスク転倒防止装置を取付けて固定する。 4 - 8 トレーラーの放射線検査をした後、建屋から出し、岸壁へ回送する。	○固縛金具用スパナ、モンキーパン ○垂直吊具及び架台 ○転倒防止装置ラグ用スパナ ○ワイヤー、ショックル ○ラチェットハンドル ○延長形ヘキサゴンソケット 及び取付用スパナ 表面汚染密度測定 ・汚染サーベイメータ ・ミヤシタ紙	○サポートチームは汚染拡大防止のためボリシート養生し、仮置きする。 ○キャスク回収後、船艤内除染時に一緒に除染する。
			○2 - 1 ~ 4 - 8 を繰り返す。 ○船艤上段2キャスクを回収した後、サポートチームを取り外し、下段の2キャスクを回収する。（サポートチームは1キャスク1個）		

表 3.2.2 キャスク回収作業被曝線量概略評価

作業項目	作業内容	作業量(人・日)	被曝線量率(ミリレム/H)	被曝線量(ミリレム)
1 準備作業	(1) 船艤内及び甲板上の放射線検査	3人 0.34 0.16	300 50	102 8
	(2) 船艤壁面及び床面の養生とキャスクの養生	8人 1.3 1.0	300 200	390 200
2 水切作業	(1) ハッチ蓋開放、サポートチーム、プラットホーム他取外し	10人 1.3 1.7	300 50	390 85
	(2) 船艤内よりキャスクを吊上げトレーラー上に移動する。	20人 5.3 2.7 8.0	300 200 50	2,650 540 400
3 運搬及び建屋内搬入作業	(3) トレーラーへスキッドを固縛し、仮設遮蔽を取り付ける。	8人 6.8	200	1,360
	(1) キャスク及び車両の放射線検査	2人 2.0	100	200
4 キャスク仮置き作業	(2) 運搬標識の取付け	2人 0.7	50	35
	(1) 緩衝体取外し、仮設鉛遮蔽取外し	1人 6.7 4.0	200 50	1,340 200
	(2) トレーラーよりキャスクを吊上げ、キャスク置場へ移動し固定する。	20人 4.0 2.0 4.0	200 100 50	800 200 200
		52.0		9,010

### 3.3 転覆船の正立方法

#### 3.3.1 転覆時の正立方法

検討対象船舶（以下本船といいう）が転覆し、船首の船底の一部を海面上に露出し漂流状態にあるものと想定し、サルベージ作業により本船を正立し正常な状態に戻すまでの過程について検討した。

##### 1) 設定条件

###### (1) 転覆状況

- ① 転覆位置 : 湾口附近
- ② 水深 : 500 m
- ③ 転覆原因 : 不明
- ④ 船体の損傷 : 無傷
- ⑤ 汚染の有無 : 無し
- ⑥ 積荷の状況 : 搭載時と同じ

###### (2) サルベージ作業時の気象・海象

- ① 風速 : 無風
- ② 波高 : 1 m未満
- ③ 潮流 : 0.5 ノット（最大）
- ④ 気温 : 25 °C
- ⑤ 水温 : 20 °C
- ⑥ 水中視界 : 5 m以上

##### 2) 転覆船の特性と救助方法の概要

転覆船は沈没船と異なり捜索作業が現在では航空機を利用出来るので発見は容易である。しかし、その状況は極めて不安定であり、常に沈没の危険性を有しているので、救助船の迅速な出動による応急処置が必要である。即ち転覆漂流の方向、周辺海域の水深ならびに浮沈の傾向等を把握すると共に、浮力保持のために、船内送気を行い、沈没及び冲合への漂流を防止する。起重機船が到着するまでの間に吊揚索を転覆船にかけておく。起重機船は転覆船をそのままの状態にて現場にて、適当な高さ（1～2 m）まで吊りあげ、最寄港内の転覆船の一部が着底する水深まで、吊運搬した後、転覆船を正立させ、浮揚排水する。

##### 3) 転覆時の船体浮力の検討

転覆前にホールドや機関室等空気にて満されている所は転覆後、その空気がそれらの区画に滞留し浮力となり、転覆漂流状態にする。本船の各区画を転覆前に空気で満されている部分を調べると表 3.3.1 のようになる。

また、転覆後は、それら各空所は水圧の影響を受けて圧縮され、空間容積は減少する。本船は、深さが約 10 m なので転覆前の空間区画内の空気は  $\frac{1}{2}$  に圧縮され、浮力は  $\frac{1}{2}$  になる。従って転覆漂流状態を維持するには、沈没時の重量 4,000 トンの倍の 8,000 m<sup>3</sup> の空所が必要であり、かつ、それらの空所の空気は転覆時に洩気しないものと仮定し、その時の浮力を表 3.3.1 の右欄に転覆後の容積として記載した。

本表から、転覆時の状況は若干船尾が海面上に出るような前後の傾きを有するものと推察される。

##### 4) 送気箇所の検討

本船の転覆漂流状態を維持する浮力の約 26% (1,055 トン) は居住区内の空気に依存している。居住区はホールド等の区画と異なり、窓、通路、ドア等、船内滞留空気の逃げやすい構造となっているため、すみやかに船内へ浮力附加のために送気する必要がある。送気場所としては、確実に大量の空気を滞留保持出来るホールドが最も適

している。

ホールドの全区画容積は  $3,096\text{m}^3$  であり、ここにはすでにその半分の  $1,547\text{m}^3$  の空気があるが、更に同量の空気を図 3.3.1 の要領にて送気し、ホールドの浮力を約 1,500 トン附加すれば、居住区の空気が全て抜けた ( $-1,055$  トン) としても、あと 500 トン程度の浮力が沈船重量をオーバーするので沈没の危険はひとまず回避される。

その後、ウイング・タンクの注排水ラインを利用して、両舷のウイング・タンク内にも送気すれば、全ウイング・タンクで約 2,000 トン (タンク容積  $2,264\text{m}^3$ ) の浮力が得られ、更に沈没の危険性は減少する。

#### 送気量の算出

$$\text{使用コンプレッサー 吐出量 } 5\text{ m}^3/\text{分} \times 2 \text{ 台} / \text{隻} \times 2 \text{ 隻} = 20\text{ m}^3/\text{組} \cdot \text{分}$$

$$\text{所要時間 } 1,500(\text{m}^3) \div 20(\text{m}^3/\text{分}) = 75 \text{ 分}$$

#### 5) 転覆時の各部の区画配置および浮力

転覆時の船首部、船尾部および居住区の各区画の配置及び浮力の有無をそれぞれ図 3.3.2～4、表 3.3.2～4 に示す。

### 3.3.2 起重機船による吊運搬作業

転覆船への浮力を確保された段階で、起重機船による吊運搬を行う。

#### 1) 起重機船の選定

転覆船が浮力を完全に失った場合は、その水中重量は 4,000 トンとなるので、吊運搬中に浮力を失う可能性が高い場合は、転覆船に対して吊能力が 4,000 トンとなるよう起重機船を用意する。今日、我国では、吊能力 4,000 トン以上の起重機は皆無なので、この場合は 2 隻による相吊りになる。2 隻による相吊りは、相互の位置保持が容易でないので、今回のように漂流中の転覆船に対しては、吊作業の所要時間をいたずらに長くし、不安定な転覆漂流船に対しては適していない。

こゝでは、転覆船の浮力を保持しつつ、1 隻の 3,000 トン吊り起重機にて吊運搬を行うものとする。

#### 2) 吊 点

吊索は、作業が最も容易でかつ、浮力保持が容易なホールド部に 4 点掛けとする。その要領を図 3.3.5 に示す。

#### 3) 吊運搬

起重機船上に設置したコンプレッサー 5 台にて、各ホールド内部の浮力を保持しつつ、起重機船を曳船にて曳航する。

#### 4) 据船及び引起し (正立)

吊運搬にて湾内に引込んだ後、本船の一部が海底に接触する水深約 18 m の海底に本船を仮置し、転覆状態より正立状態にするための準備作業を行う (図 3.3.7 および図 3.3.8 参照)。

#### 5) 正立の方法

据船後は引起し (正立) の準備作業として、引起しのための偶力を得るために、引起し索を船体に図 3.3.9 の要領にて取付ける。準備後、正立させる手順は図 3.3.8 に示す通り、転覆状況から横転状況へ、横転状況から正立状態へと 2 段階の過程を経て、最終的に 3 段目にて海底に正立状態にて正座させる。

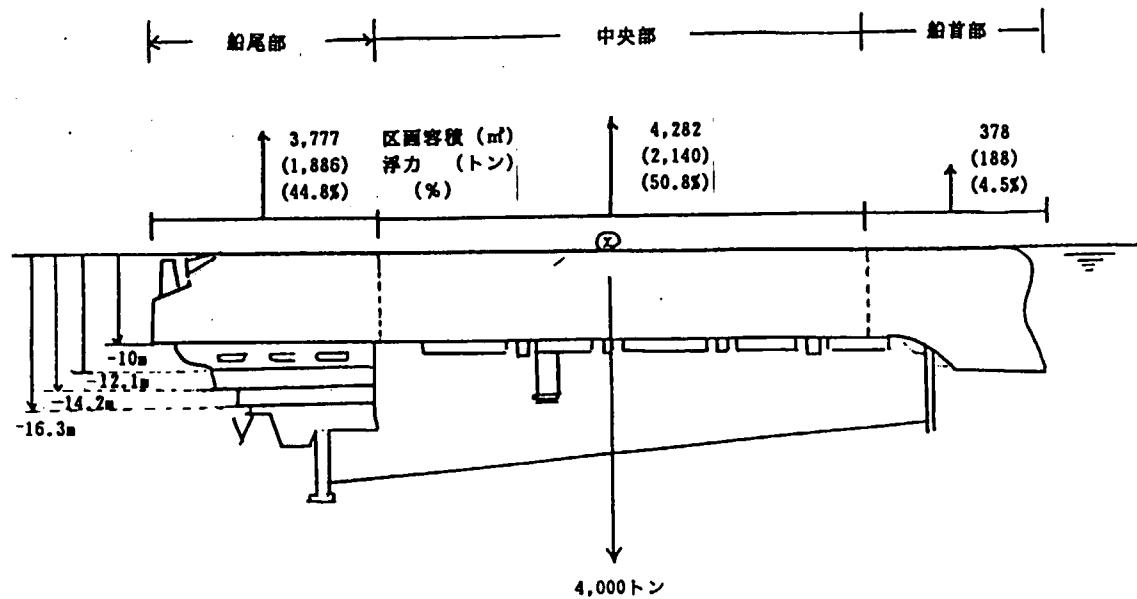
#### 6) 浮揚及び排水 (図 3.3.10 参照)

海底に正立させた後は海面上に吊揚げ、排水ポンプを使用し、船内浸水部の海水を排水し、自力にて浮揚させる。海面までの吊揚げは、本船の水中重量が 4,000 トンなので起重機船は 3,000 トン吊り用と 1,600 トン吊り用の 2 隻による相吊りにて行う。排水作業は排水作業用台船を用意し、浮揚後の本船に横付けし、水中ポンプをホールド内

に入れてホールド内の海水を船外に排水し、本船に浮力を附加させて浮揚する。

表3.3.1 転覆前後の空所容積

区画名	容積		※
	転覆前	転覆後	
M.1 ホールド	561	280	
M.2 ホールド	595	297	
M.3 ホールド	662	331	
M.4 ホールド	508	254	
M.5 ホールド	770	385	
(小計)	(3,096)	(1,547)	
ボイドスペース	660	330	
PASS-WAY	526	263	
船首部			
(A)の部分	70	35	
(B)の部分	114	57	
SWICH BOAD ROOM	81	40	
FORE GENERATOR ROOM	113	56	
船尾部			
(A)の部分	243	121	
(B)の部分	302	151	
CASING (C)	264	132	
(D)の部分	157	78	
SHAFT SPACE	139	69	
AFT GENERATOR ROOM	172	86	
MACHINARY	144	72	
(E)の部分	132	66	
STEARING GEAR COMPARTMENT	57	28	
REFRIG SPACES	57	28	
(小計)	(3,231)	(1,612)	
居住区			
UPPER DECK	470	235	
LOWER BRIDGE DECK	980	490	
BOAT DECK	660	330	
(小計)	(2,110)	(1,055)	
合計	8,437	4,214	



(注) 転覆漂流時の本船の姿勢は若干船尾が海面上に出た状態が予測される。

表 3.3.2 船首部各区画の浮力

空所名	容積(m³)	浮力(トン)	
FORE PEAK TANK	107	0	バラスト
(A) の部分	70	3.5	
(B) の部分	114	5.7	
SWICH BOAD ROOM	81	4.0	
FORE GENERATOR ROOM	113	5.6	
合計	485	18.8	

表3.3.3 船尾部各区画の浮力

区 画 名	容 積	浮 力
(A) の部分	243	121
(B) の部分	302	151
CASING	264	132
(D) の部分	157	78
SHAFT SPACE	139	69
AFT GENERATOR ROOM	172	86
MACHINERY	144	72
F.W TANK	93	0
AFT PEAK TANK	76	0
(E) の部分	132	66
STEARING GEAR COMPARTMENT	57	28
REFRIG SPACES	57	28
合 計	1,836	831

表3.3.4 居住区各区画の浮力

区 画 名	容 積	浮 力
UPPER DK	470	235
LOWER BRIDGE DK	980	490
BOAT DK	660	330
合 計	2,110	1,055

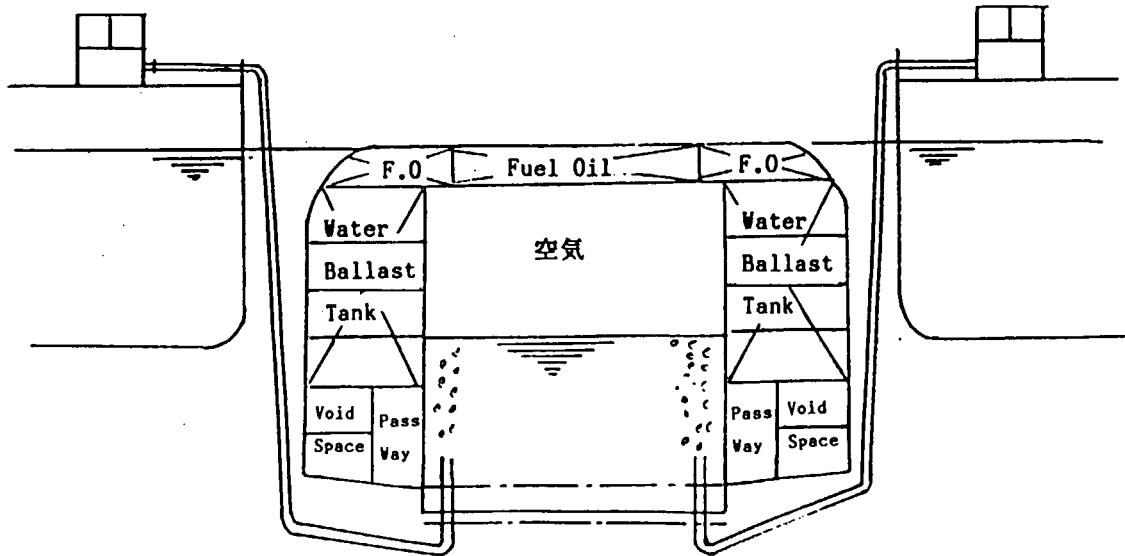


図 3.3.1 ホールド内送気要領

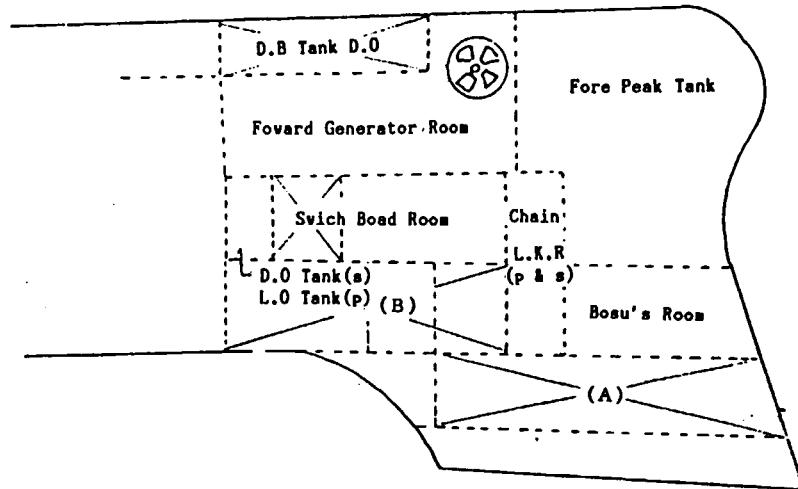


図 3.3.2 船首部区画配置

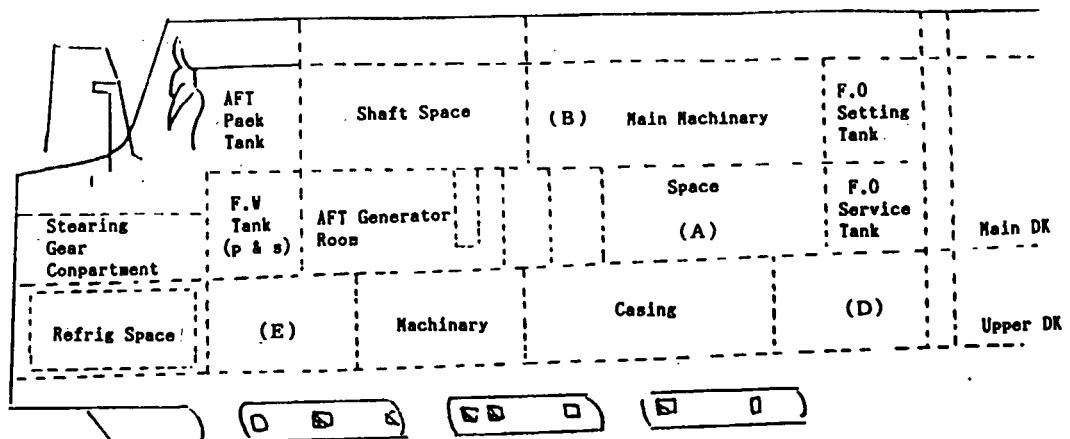


図 3.3.3 船尾部区画配置

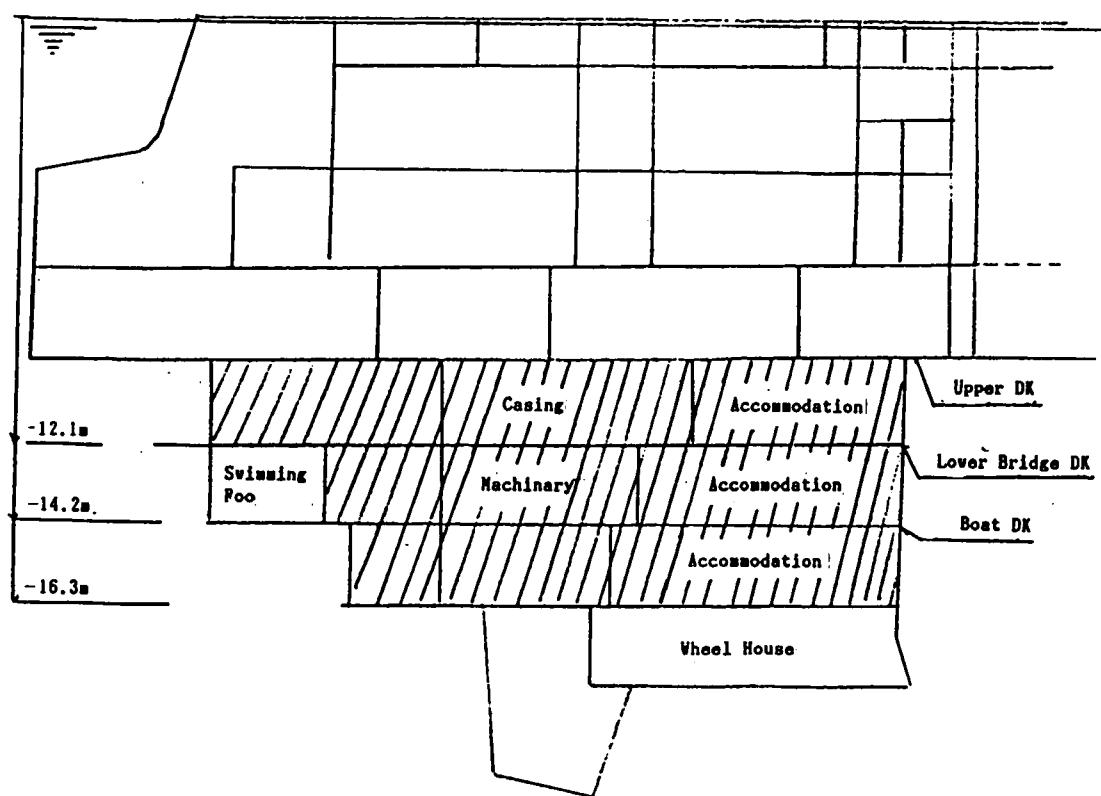


図 3.3.4 居住区区画配置

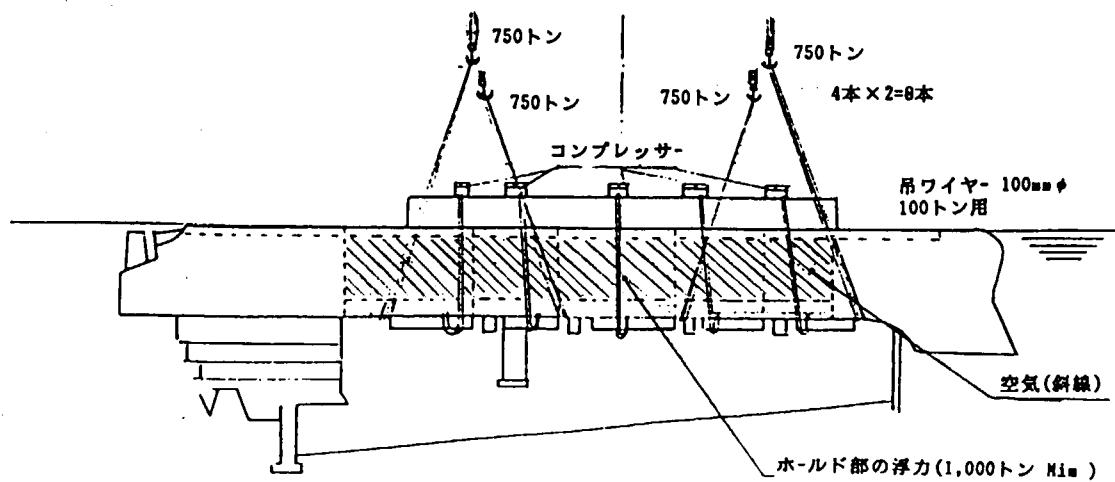


図 3.3.5 3,000トン吊起重機船吊運搬要領図

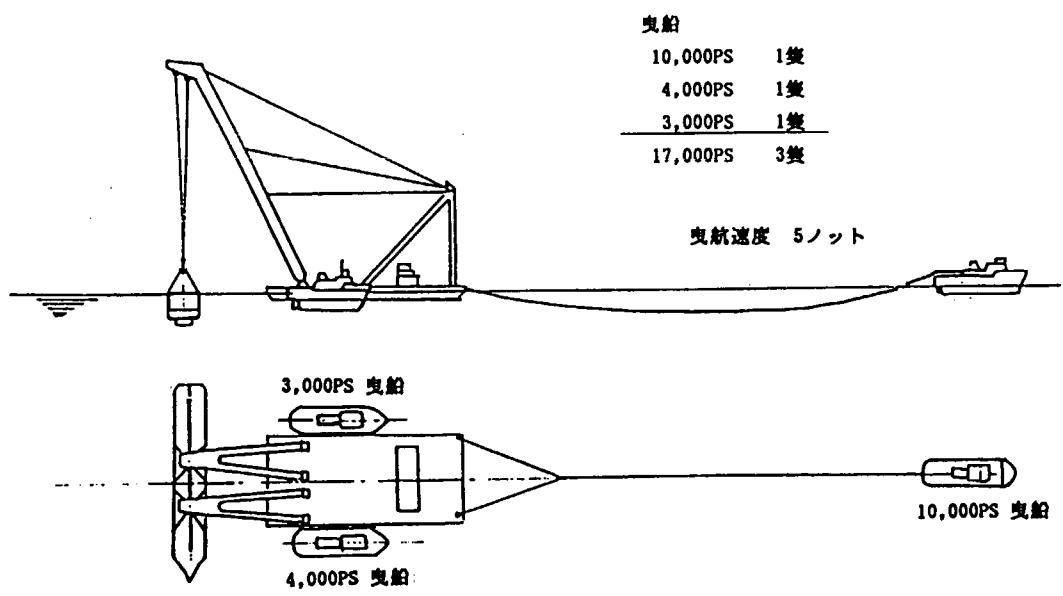


図 3.3.6

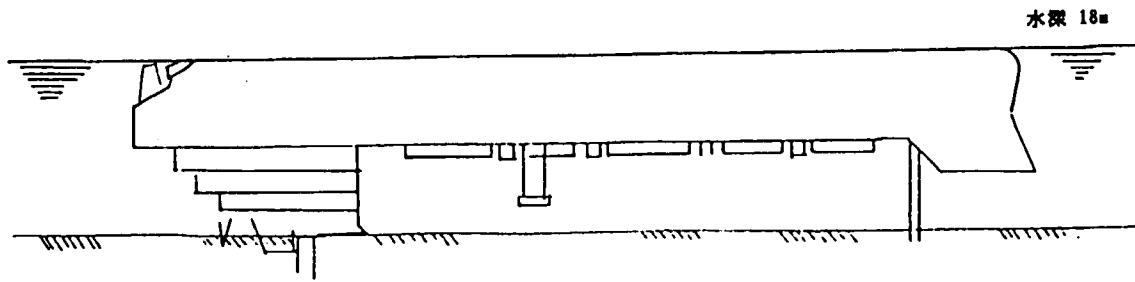


図 3.3.7 据船後の状況

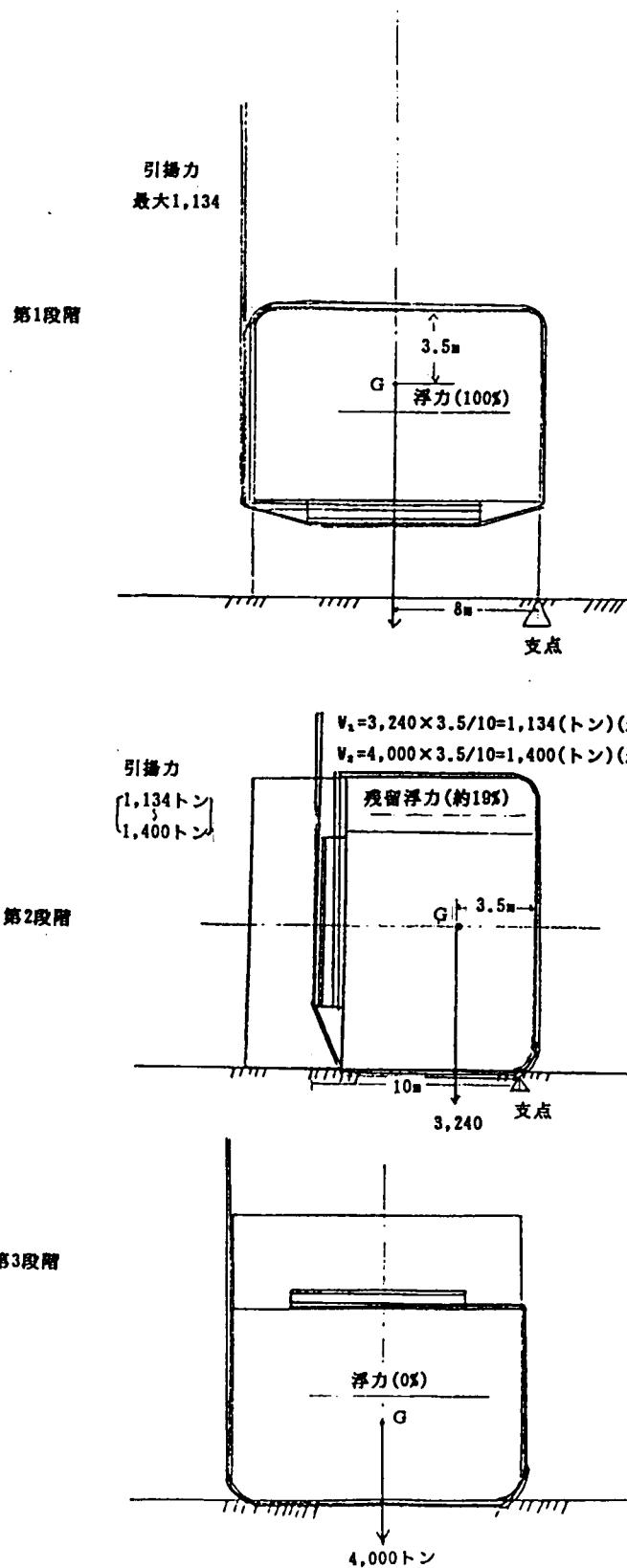


図3.3.8 正立の手順

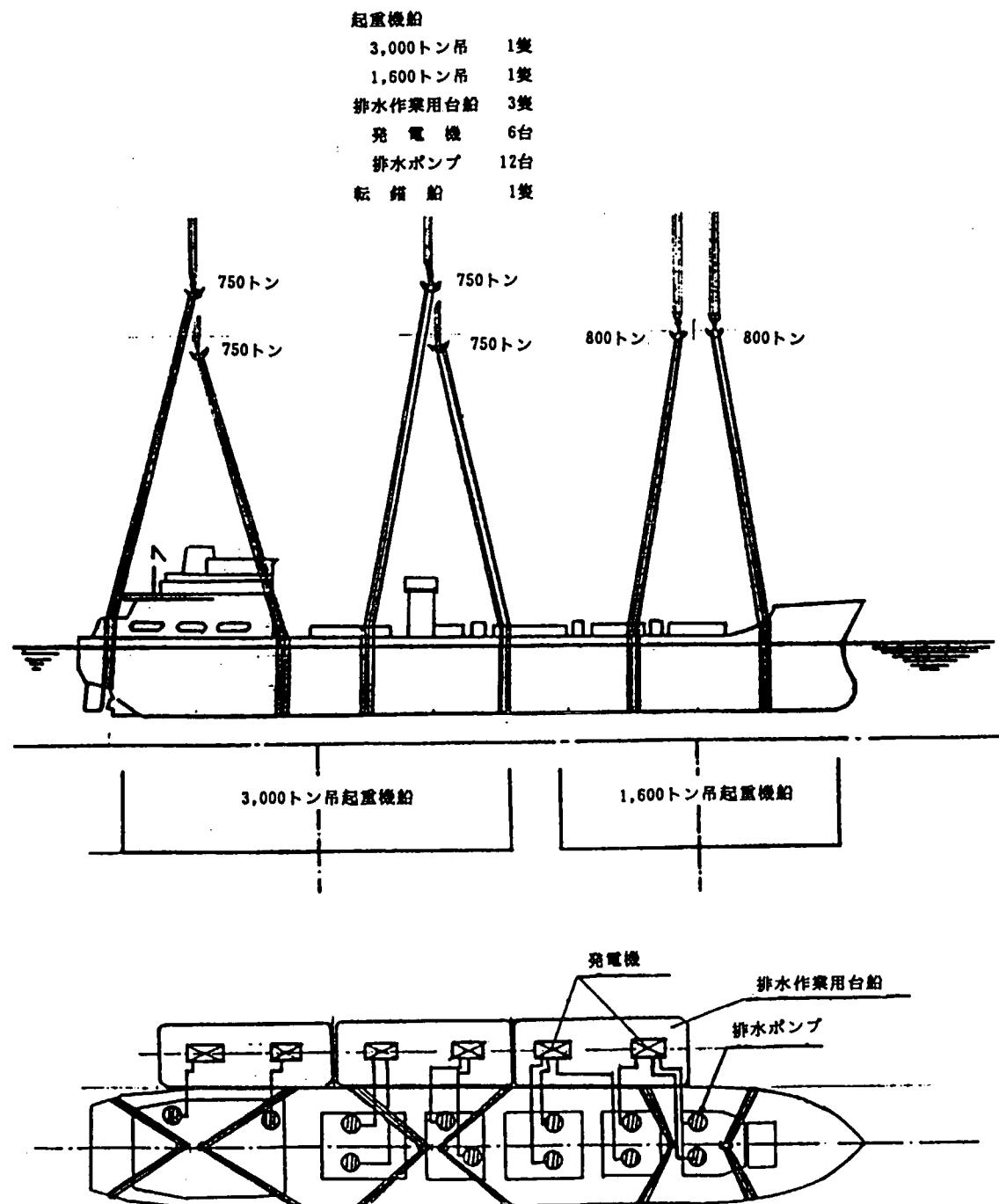


図3.3.10 浮揚及び排水要領

### 3.4 沈船探査技術の検討

#### 3.4.1 検討に当たっての条件

1) 沈没深度

2000m以下

2) 沈船の装備

(1) 「使用済核燃料運搬船の構造設備要件（昭和49年船査610号）」を満足する。

(2) ピンガー（2440/1113）を装備している。

(3) 沈没直前まで地上と通信可能である。

3) 潮流は1.5ノット以内とし、海底は平坦な砂地とする。

#### 3.4.2 沈没海域の確認

1) 使用済核燃料運搬船は、航海中、NNS、デッカ、ロランC等の電波航法システムその他により、自船の位置を測定し、陸上へ伝送する。

陸上では、測位データ及びその他の交信データを基にして、使用済核燃料運搬船の航跡が記録、管制されている。

2) 沈没直前まで上記の地上との通信は行われており、通信不能に陥った時点での位置は陸上では確認されている。

#### 3.4.3 沈没地点の推定

沈没地点の推定は概ね次の如き情報を基にして、総合的な判断がなされる。

1) 最終交信のあった日、時、地点及び予定航路。

2) 他船に移乗した本船乗組員の証言。

3) SOSブイ等の漂流物の発見日時、場所より、沈没当時の海象、気象による影響の推算。

等である。然し乍ら

4) 各種測位方法の誤差。

5) 最終交信地点と沈没開始に始まり、水深2000mの海底着底までの時間による変位。

等があり、沈没地点と沈船地点との差位は免れられない。

潮流による影響は、1.5ノットとして、1時間当たり

$$1.5 \text{ノット} \times 1.8 \text{時間} = 2.8 \text{km}$$

以上を総合的に判断して、沈船位置を推定するが、その誤差は最大10km以内の範囲と考えられる。

#### 3.4.4 沈没海域への接近

1) 異常事態発生の情報入手と同時に、ピンガー受信装置の持出し輸送を準備する。（東京に保管されているものとする）

2) 沈没海域に最寄りの港（漁港を含む）にて捜索に当る船を手配する。

3) ピンガー受信装置を捜索船の港に陸送し、捜索船に届ける。

4) 沈没海域が東京から遠隔地の場合、東京からの空輸も考えられる。

捜索船はピンガー受信装置搭載後、直ちに沈没海域に向け出航する。

5) 捜索船は前3)項の情報及び浮上発信しているSOSブイの発信を頼りに沈没推定地点に到達する。

本項に要する所要期間は、沈没海域を限定しない限り推算は出来ない。

然し乍ら、日本の周辺で沿岸20浬以内を目標とした航路内と仮定すれば、

1) ~ 3)	に要する期間	0.5 ~ 2日
4) ~ 5)	"	0.5 ~ 1日
計		1 ~ 3日

即ち、3日以内には到達出来るものと推測される。但し、天候等は船舶の航行に支障のないものとする。

### 3.4.5 沈没地点の確認

#### 1) ピンガーによる搜索

ピンガー(2440/1113)の発信音到達距離は8Kmとされている。

水深2000mの海底にピンガーが在る場合、海面上に於ける水平到達距離は右図の如く、7.75Kmとなる。

沈没海域に到着した搜索船は、ピンガー受信装置の受信器を海中に降し、搜索を開始する。

受信器を中心にして半径7.75Kmの円形内にあるピンガーの発信源の方位を感知出来るので、搜索船を沈没推定地点を中心とした半径7.5Km程度の円弧状(又は方形状)に航走し続けると、沈没推定地点を中心とした半径1.5Kmの円内に在るピンガー発信源の存在を感知し得るので、沈没推定地点と沈船位置の誤差は1.5Km以内ならば充分沈船位置が確認出来る。

その所要時間は搜索船の速力を4ノットとすると、

$$\frac{7.5 \text{ Km} \times 2 \times \pi}{4 \text{ ノット} \times 1.85 \text{ Km}} = 6.4 \text{ 時間}$$

約6時間内に沈船位置は確認される。

#### 2) ピンガー以外による搜索(ピンガーが発信不能等障害のある場合)

##### (1) 音響測深機による方法

一般の船舶が装備している測深機にて海底の突出物を検出する方法があるが、分解能が良くても水深の3%程度であって、水深2000mの場合船の幅は16mとすると0.8%に相当し、本方法では海底の突出物か測深誤差かの判定が難しい。

又搜索が装備線の直下線状に限られるため、広範囲の海域では、平行線又は網目状の搜索を要する。

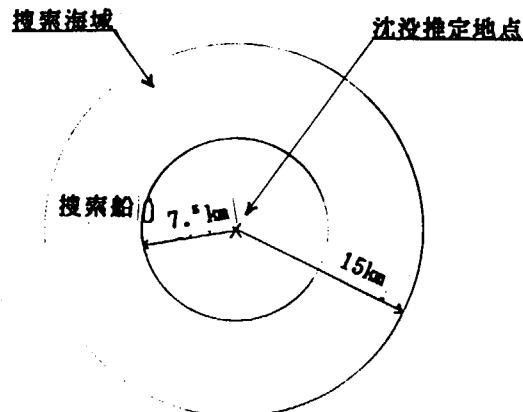
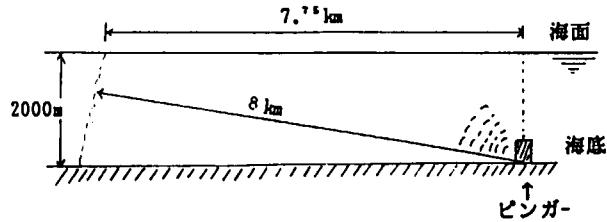
##### (2) 地磁気の変位による方法

海底面の地磁気の位相が沈船(鋼体)による磁場の乱れを起す現象を計測し乍ら沈船を搜索する。特殊搜索機の水中曳航を要す。

##### (3) 金属探知機(水中型)による方法

電磁波を海底面に当て金属を探知する。

方法その他は地磁気の場合と同じ。



#### (4) マルチナロービームソナーによる方法

海底地形調査用に開発された本装置は、発信器より発信した超音波ビームの海底からの反射波をコンピュータにより解析して海底地形図の作成機能を有しており、水深の約80%に相当する幅の測深が可能と云われており、搜索船の航行により帶状の海域の探索が可能である。

本装置を装備する船舶には、我が国では海上保安庁の“拓洋丸”、海洋科学技術センターの“かいよう”がある。

10km四方の海域を1km間隔の帶状の探索に要する時間は、船速10～12ノットとして最大約6時間である。

### 3.4.6 沈船への接近及び確認

前項までの搜索の結果。ピンガー音（又はソナー画像）を基にして、探査母船を沈船の直上又は近くまで接近させる。

- 1) そこでビーコン発信源（ピンガー又はトランスポンダー）を投下して沈船の近辺に着底させ、以下の作業の位置確認の指標とするもので、夫々次の特徴を有する。

ピンガー：常時発信しているので発信期間に限度がある。2440/1113型は30日となっている。

トランスポンダ：コマンダ音を受信した時のみ反射発信するので、使用頻度により相当長期間使用出来る。

- 2) 定点保持

探査母船は、上記ビーコンを中心にして定点保持する。水深2000mの地点ではアンカーによる係留は不可能であり、ビーコン、NNS等による測位をし乍らの船体操縦も甚だ困難な状況である。これをコンピュータで自動操縦するシステムDPS（Dynamic Positioning System—自動位置保持装置）が我が国でも開発され、既に防衛庁潜水艦救難母艦“ちよだ”、海洋科学技術センター“かいよう”に装備されている。

安定した定点保持状態に入る迄にDPSを用いて最大約0.5時間である。

- 3) 定点に保持された母船を基地に、沈船に接近する方法として、(1)無人潜水機(ROV)と(2)有人潜水船による方法がある。

#### (1) 無人潜水機(ROV: Remotely Operated Vehicle)による方法

自航式無人潜水機(ROV)を母船からの遠隔操作によって海底に接近させる。

母船上で音響測位装置によって、母船とROV及び沈船の相対位置を監視しながら接近させ、さらにROVに装備された各種ソナー等によって沈船を確認する。

沈船船体をTV画像で発見確認すれば、可能な限りの沈船状況をTVカメラ又はスチールカメラで捉え、その画像を母船上にて観察、記録する。

水深2000mを探査可能なROVとしては我が国では、海洋科学技術センターが“DOLPHIN 3K”を建造中（昭和61年度完成予定）である。これは、有索式(tethered)である。

要目は次のとおり。

#### DOLPHIN 3K 主要目

##### 1. 無人探査機

- ① 尺寸法 約3(長さ)×2(巾)×2(高さ) (m)
- ② 重量 空中／水中 約3.3トン／-10キログラム
- ③ 使用水深 3,300m
- ④ ベイロード 最大150キログラム

- ⑤ 速 度 前進 3 ノット、後進 2 ノット、左／右 1.5 ノット、上／下 1 ノット
- ⑥ 推進装置 電動油圧方式、前／後スラスター × 2、上／下スラスター × 2、左／右スラスター × 2
- ⑦ 観測、調査用装置 カラーテレビカメラ、白黒低照度ステレオテレビカメラ、テレビ用照明、  
35mmスチルカメラ、CTDV、流速計、バイラテラルマニピュレータ（7自由度）、グラバ／カッタ（5自由度）
- ⑧ 航海用装置 前方障害物探査ソナー、方位探知ソナー、高度ソナー、深度計、  
ジャイロコンパス、傾斜計、レートセンサー

## 2. 船上装置

① 船上コントロール装置

② 着水、揚収装置（光ファイバ電力複合ケーブル、直径 30mm、長さ約 5,000m）

③ 音響航法装置

### (2) 有人潜水船による方法

自航可能な有人潜水船を沈船地点まで運び、そこから母船の支援を受けながら、沈船のピンガーチューン（又は投入されたビーコン発信源）を基点にした沈船と自船との相対位置を確認しつゝ沈船に接近する。

沈船船体を目視により発見確認すれば、沈船状況を観察し、TVカメラ、スチールカメラによる記録をする。  
この方法は我が国では海洋科学技術センターの“しんかい 7,000”により水深 2,000mまでは可能とされている。

“しんかい”的主要目は次のとおり。

“しんかい”主要目

主 要 尺 法	長さ	.....	9.3 m		
	高さ（着底脚下面から）	.....	2.9 m		
	船体最大幅	.....	3.0 m		
	水上吃水（着底脚下面から）	.....	2.5 m		
空 中 重 量	.....	.....	23.2 トン		
最 大 潜 航 深 度	.....	.....	2,000m		
乘 員	.....	.....	3 名		
ペイロード	空中重量	.....	100kg		
ライフサポート	最大	.....	80時間		
水 中 速 力	最大	.....	3 ノット		
耐 圧 艛	超高張力鋼	.....	板厚 30mm × 内径 2,200mmØ		
	観測窓	.....	メタクリル樹脂 内径 120mmØ × 2 内径 80mmØ × 1		
外 殻 構 造	外皮	F R P	骨組	.....	チタン及びチタン合金
主 蓄 電 池	油漬酸化銀－亜鉛電池	285AH × 108V × 2群			
推 進 装 置	主推進	油漬交流モーター	.....	4 kW × 1	
	補助推進	油漬交流モーター	.....	1.5 kW × 2	
重 量 ト リ ム 制 御	補助タンク容量	.....	350kg		
	ショットバラスト（上昇、下降用）	.....	600kg		
	トリム調整	.....	± 10°		

	バラストタンク容量	.....	2.8トン
油 壓	均圧型	.....	140Kgf/cm <sup>2</sup> × 4.5ℓ/分
航 海 通 信	位置測定	トランスポンダー、高度・深度ソーナー、前方障害物探知ソーナー、音響方位探知機、ジャイロコンパス等	
	通 信	水中通話機、無線機	
調 査 観 測		マニピュレータ、観測窓、S.T.D.等	
救 難 安 全	緊急離脱	投棄水中量	925kg
	その 他	応急蓄電池、応急呼吸具、応急水中通話機、ピンガー、救難ブイ等	

以上2方法共、潜航開始より2000mの海底にまで到達するには約2時間を要する。

### 3.4.7 探査母船

前述の通り、水深2000mの海底探査には、無人、有人何れの潜水機(船)による方法でも、母船による指揮、管制、支援を必要とする。

この母船の具備すべき要件として、

- 1) 沈没地点(外洋)まで航行出来る船舶である
- 2) NNSS等により、正確な位置観測が可能な設備を持つこと
- 3) 測深機、ソナー等を有すること
- 4) 海流、潮流、海水温度等の観測装置を備えること

等の一般的な要件の他に、下記の様な装備を必要とする。

(1) 無人潜水船(ROV)方法では

- (i) ROVの発着、揚収装置
- (ii) ROVの監制盤
- (iii) ROVのケーブルワインチ
- (iv) ROVへの電力、油圧供給能力

(2) 有人潜水船方法では

- (i) 潜水船と母船との通信装置
- (ii) 潜水船事故時に備えた対策装置
- (iii) 潜水船への補給物資、要具の収納
- (iv) 出来れば潜水船の揚降し、収納装置

更に定点保持機能(DPS)を持つことが望ましい。

我が国では、この母船としての機能を持つ船として、海洋科学技術センターが有人潜水船“しんかい2000”的母船である“なつしま”を有しており、更に“かいよう”を建造中である。

尚“かいよう”は自動船位保持装置(DPS)が装備されている。

“なつしま”および“かいよう”的主要目等を以下に示す。

“なつしま”主要目

全 長	6.7.0 m	計画満載吃水	3.7.5 m	航続距離	8400マイル
型 巾	1.3.0 m	総 ト ン 数	1553.03トン	乗 員 数	最大55名
型 深	6.3 m	航 海 速 力	12ノット		

“かいよう”主要目等

● 主要目

長さ(垂線間) .....	5 3.0 m
幅(型) .....	2 8.0 m
深さ(型) .....	1 0.6 m
最大吃水 .....	6.3 m
航行区域 .....	遠洋国際
総屯数 .....	約 2,800 トン
主推進装置	
主発電機 .....	1,250 kW × 1,200 rpm × 4
同上原動機 .....	1,850 ps × 1,200 rpm × 4
主推進電動機 .....	4 台
定格出力 .....	860 kW
常用出力 .....	760 kW
満載航海速力 .....	12 ノット
乗員数	
乗組員 .....	29 名
研究員等 .....	40 名
最大搭載人員 .....	69 名
(但し、国際航海の場合は 50 名)	

● 搭載特殊機器

• 水中エレベーター ( SDC : Submersible Decompression Chamber )

円筒型 SDC (水深 300 m 鮑和潜水用) ..... × 1 基

球型 SDC (水深 300 m 鮑和潜水用及び水深 500 m 大気圧潜水観測用) ..... × 1 基

船上減圧室 ( DDC : Deck Decompression Chamber )

複室 チャンバー ..... × 2 基

潜水準備室 ..... × 1 基

• 自動船位保持装置 ( DPS : Dynamic Positioning System )

推 力 装 置 : 低速運転主推進器、船首尾サイドスラスター

位置検出装置 : 精密測位装置による位置信号

制 御 機 能 : 手動、半自動、自動、深海自動

• 精密船位測定装置

電波航法装置 : 衛星航法システム、ロラン C システム、デッカンシステムを結合したハイブリッド航法機能

マイクロ波測位装置 : 主局・従局間のレンジ測定

音響測位装置 : 海底設置の音響トランスポンダを基準としたスーパーショートベースライン方式およびロングベースライン方式による船位測定機能

• マルチナロービーム音響測深装置

音響ビームにより水深の約 80 % 幅の正横方向深度分布の測定

• 2 軸対水速度計

2 成分による対水速度測定

• 気象観測装置

• その他海洋観測関係機器

### 3.4.8 新しい装置

#### 1) GPS (Global Positionning System)

人工衛星を利用して、船舶および航空機などの現在位置を、地上基地にて常時三次元で測位できるシステムで米国が軍用に開発したものである。このシステムは数年後には民間にも開放されることである。本システムが利用出来れば、その精度は 100 mとも云われているので、沈船地点の確認は沈没推定地点にてピンガー受信装置の作動のみにて確認出来るであろう。

#### 2) 信号ブイ

現用の SOS ブイは本船船橋（又はライフボート）に設置され、沈没直前に乗員が海面に投入するもので、発信中は海面上で自由浮遊している。

従って、沈没地点から同ブイの発見の日時まで時間の経過と共に、現場の海流、風向等により大きく離れるのが通常である。

この SOS ブイを本船にワイヤ等で固縛した装置、即ち、本船の沈没と同時に繫留ワイヤが延び、ブイは海面上に浮上して発信信号を発する装置が在れば、沈船の位置確認には有効且つ確実なものとなる。

然し、この様な装置は、相当大掛りなものとなることが予想されるので、実用には可成りの検討を要しよう。

### 3.4.9 考 察

水深 2000 m の海域における沈船探査は、以上の報告に示したように、NNSS、デッカ、ロランC 等の電波航法装置で得た沈没船からの位置情報を陸上で受信したデータを基に捜索船で沈没海域に近づき、沈船が備えているピンガーからの発信音を受信し、沈船の位置を海上で確認する。

次に、その近傍をマルチナロービーム等で探査して沈船の映像を確認し、その地点に ROV 又は有人潜水船で沈船状態を観測するという方法でもってすれば、現在の技術で可能である。

### 3.5 沈船引揚げに関する検討

#### 3.5.1 はじめに

船舶が海難事故により、船舶本来の機能を低下又は停止した場合、それを復旧するために行う一連の海上・海中作業を海難救助又はサルベージと云う。しかし、救助過程に於いて船体の救助が不可能となり、救助の対象が船舶に搭載されている貨物を主体とする場合もサルベージと呼ばれる。従って一般的には、サルベージとは海難船舶及び貨物の救助作業と云える。

海難事故を生じ、救助対象となった船舶は遭難船と呼ばれる。遭難船を形態的に類別すると「漂流船」「座礁船」「転覆船」「沈没船」に大別される。

「漂流船」とは、機関部又は操舵、推進器等の故障により航行の自由を失った状態の船舶を指し、救助方法は大型の馬力を有する曳船を使用し修理を行うべき造船所まで曳航する方法が採用されている。

「座礁船」とは船底の一部を海底に乗りあげ航行不能になった状態の船舶であり、救助方法としては、大型曳船にて遭難船を引張り、離礁させる方法が一般的な手法である。

「転覆船」とは、船舶が横転し、船体の一部を海面上に露出させ、漂流している状態の船舶を指し、救助方法としては、沈没にいたらぬよう浮力を保持させつつ転覆状態のまゝ最寄の港内又は浅瀬に引き入れ、起重機船等を使用して正立、浮揚させる。その詳細は「3.3 転覆船の正立方法」に記した通りである。

「沈没船」とは、船体を海面下に全没させ海底に着底させた状態の船舶を指し、その救助方法は、ダイバーによる水中作業にて沈没船に浮力を与え海面上まで浮揚させた後、「転覆船」の場合と同様の手順にて正立させる。本項については更に詳述する。

これらの遭難船の救助の難易性については、遭難船の大小、種類をはじめ、救助現場の気象、海象条件、立地条件等の救助に関する諸条件により救助方法が異なるため一口にて判別することは出来ないが、仮にこれらの救助条件が同一であると考え、更に、救助の目的が船体より搭載貨物を主体とすると仮定したならば「沈没船」の救助の場合が最も困難な技術的要因を有している。その中で最も大きな要因は「沈没船」の救助が潜水技術を主体に進められるという点にあると思われる。

今日の潜水技術の現状は、欧米の海洋石油開発に伴う支援作業や軍事技術の一環として研究開発されたものであり、深度的には研究段階で600m、実用段階で300mと云われている。我国では研究段階で300mに最近着手したばかりであり、実用レベルに達するには、あと数年はかかるものと思われる。実用深度としては200m前後が今日の我国の潜水技術の現状と思われる。

なお、今日のサルベージ作業では、救助対象深度は40～60mであり、それ以上の深度は特別の理由、例えば原油を満載した船舶が沈没した場合に生じる広範囲な海域にわたる海洋汚染が予測され、それを防止するような場合以外には、経済的な理由にて行なわれていない。

経済的な理由の要因としては、引揚作業及び引揚後の修理に多大の費用がかかり、船体及び貨物に付保されている保険金額を越えるためである。

また、沈船の大きさが総トン数で5,000～6,000トン以上になると、沈船を浮揚させるに必要な浮力の附加方法が今日の起重機船や浮力タンク等の能力をはるかに越え、引揚作業に多大の日数を必要とするため、船体の救助は実施された例は見あたらない。このような大型船の沈没の場合は、解体撤去という船体救助とは別の目的で作業が行われている。

本項で行う沈船引揚の検討は、使用済み核燃料物質の安全輸送の一環として行うものであるので、沈船引揚は塔載貨物の一括完全回収の手段であるとの観点より、検討したものであり、本来の船体救助のための引揚とは目的が異なる。このような意味を含めて、具体的検討課題として、現状のサルベージ技術で可能と思われる水深 200m からの沈船の引揚の検討を行うと共に、今日の技術では不可能であるが、それを可能ならしめる技術的要件を抽出するための課題として、水深 200m からの引揚について検討を行った。

### 3.5.2 沈船引揚の概要

沈船引揚が他のサルベージ作業と大きく異なる点は、先に「まえがき」に触れたように、作業の主体が潜水作業にある点である。沈船が引揚げられた後の作業は「転覆船」の場合とは同様の手順となる。

こゝでは現行のサルベージにて行なわれている沈船引揚の手順と作業内容についてその概要を紹介する。

#### 1) 手順

サルベージ会社が、遭難船の船主、荷主、保険会社等より救助依頼を受けた場合、サルベージ会社は概ね表 3.5-1 「サルベージの作業手順」に示す手順で行なわれる。

#### 2) 作業の概要

作業手順に従い各作業について概説する。

##### (1) 救助作業の受託

一般に海難事故の発生に関する情報は、遭難船の船長や船主、又は運航会社から、サルベージ会社が直接通知、連絡を受けるよりも、各海域ごとに設置されている海上保安本部と密接に連絡を取ることにより、海難の発生情報を得る場合が多い。

海上保安本部は東京の本庁を中心に、北の第 1 海区海上保安本部（小樽市）から南の第 11 海区海上保安本部（那覇）まで全国的に配置され、更に各海区の保安本部の組織の下に出先機関として保安部が主要港湾所在地に設置されている。本庁を含めるとその総数は 72 個所であり、我国沿岸の全てを網羅している。

これらの組織、機関より入手した情報を元にして、遭難船の船名から、船主、保険会社及び船長等と連絡を取り、事故の内容、保険金額、作業の難易性、作業船、資機材、要員の現況等を考慮し、救助費用の積算を行うと共に、造船所からの修理費の積算金額も検討し、サルベージに着手するか否かを即刻判断する。

サルベージに関する契約は「No Care No Pay」(不成功無報酬) が原則であり、現在、世界的にロイド社の定めた契約内容が標準となっている。(LLOYD'S OPEN Form 80)

##### (2) 捜索計画の作成と実施及び漏油処理

沈船の捜索は、沈没海域と沈没水深により、発見に到るまでの所要日数が大巾に異なる。港内、湾内等比較的航行船舶や漁船の多い所では、水深が浅いことや目撃者が多いこと更に、目印となる陸上物標があること等の理由にて捜索計画の立案に到る前に沈没位置が判明する場合が多い。沈船からの漏油が出ている場合は、更に発見は容易である。主要港湾内及び瀬戸内海では沈没事故発生後数時間にて沈船の発見はもとより引揚準備作業が開始されている。

しかし、外洋や水深の深い所では目撃者が皆無の場合が多い上、陸岸の物標が容易に利用出来ない場合が多く、更に水深が深い場合は、ダイバーによる捜索や確認が容易でないので、その発見には綿密な捜索活動が必要とな

る。乗組員ともども行方不明となった場合は先の海上保安庁が航空機や巡視船を使用し、立体的な捜索を行うが遭難推定海域が数1,000mの深度でかつ、沿海区域を越えたような場所では、事故発生から捜索開始までに時間がかかり応々にして発見不能になる場合がある。

捜索方法は海面上に浮遊している沈船所属の物品の漂流位置や、漏油の分布状況を一つの目印にし、推定沈没位置と思われる海域に捜索の起点としての目標ブイを設置し、これを中心にして、精密測深機やソーナー（サイドルッキング・ソーナー）を使用して、海底からの突起物を見つけ、その長さ、形状を判断して、海底の凸凹部と区別し、潜水可能な水深であれば、最終的にダイバーにて確認させる。

容易に潜水出来ない深度であれば、水中TVを吊降し目標物の撮影により沈船と岩盤との識別を行う。

一般的には、単に船体救助の目的のための捜索では、ダイバーが通常の設備にて潜水不可能な水深70~80m以上の水深では当初より捜索は計画されない場合が多い。

捜索は、常に自船の精確な位置を出して行うことが基本となるので、外洋でも陸岸より50~60km以内の海域であれば、自船の位置は電波測位機を利用して求める。

沈船が確認された場合は、沈船の船首及び船尾位置にブイを設置すると共に、その海域の沈船を中心とする一定区域の水深、海潮流を観測、調査し、今後行う引揚作業の資料とする。

外洋では一般的に内湾の如く透明度が悪かったり、潮流が早いような潜水作業上の阻害要因は少ないが、反面、海上の風浪うねり、風力と云った海上気象が引揚作業を進める上で大きな障害因子となるので、最寄りの気象台や地元の漁業関係者から現場海域の海上気象特性を調べる。

漏油処理とは沈船が保有していた燃油を主体とする各種油類が海面に漏油し拡散した場合に行う海面上の中和作業や回収作業及び沈船側に対して行う漏油防止（油止め）作業を云う。中和作業は油を乳化分散させる界面活性剤と油を溶解させる溶剤よりなっており、乳化作用が強い他に二次公害の恐れのないものを選定すると共に散布後は油面と良く攪拌することが望ましい。回収作業は油吸着マットや油回収船等を利用して行っている。漏油防止作業はダイバーにより漏油の源となっている沈船のエアーパイプの開口部の閉鎖や燃油その他のオイル系統のバルブの開閉作業を指す。

### (3) 沈没状況調査

沈没状況の正確な把握は、以後の引揚作業の効率は無論のこと強いては引揚の可否にかかわる重要な作業であり、その調査を行うものは、サルベージ作業に経験の深いダイバーとサルベージ技師が担当する。

主要な潜水調査項目は以下の通りである。

#### ① 沈没状況

- イ. 船首方位
- ロ. 船体傾斜
- ハ. 着底状況（海底との間隙、埋没量）

#### ② 船体、積荷の状況

- イ. 損傷の状況
- ロ. 浸水の程度
- ハ. 艤口、艤内及び積荷の状況
- ニ. 漏油の状況

#### ホ. その他の異常（錨、錨鎖の状況等）

調査方法は、ダイバーによる潜水作業が一般的に用いられている方法であるが、水深が深い場合は、潜水球や潜水艇を利用する。また無人自走式リモコン・テレビ (Remote Control Vechicles) が最近開発され欧米では海洋石油開発関連の潜水作業に用いられているがサルベージにも応用されつつある。

#### (4) 救助計画の作成

潜水調査結果と本船の一般配置図をはじめ線図及び船体寸法表、排水量等曲線図、鋼材構造図等各種の図面をもとにして、引揚の方法について基本計画を作成する。その主要項目は概ね次の通りである。

- ① 沈船の水中重量及び重心の算出
- ② 浮力の附加方法
- ③ 潜水方法

#### (5) 海上足場の設置及び残油処理

海上足場とは、沈船の引揚に必要な各種作業船及びそれらを沈船の直上に固定するための係留設備を云う。主要な作業船は、潜水作業をサポートする潜水母船、沈船を引揚げるための起重機船、係留用ブイ及びそのアンカーを敷設、移動、回収するための転錨船、及びアンカー、ブイ、ワイヤー等を搭載する台船等であり、またこれらとの作業船を曳航する曳船、交通艇、小型作業艇がある。

作業船係留用のブイの設置の最大水深は、我国では 200 m の例があるが理論的には 500 m 以上でも可能である。深海投錨が困難なのは、投錨時のアンカーの損壊であるので、シーカンカーの如きパラシュートを取り付け、アンカーの降下速度を制御する必要がある。

残油処理とは、沈船内に残留している燃油その他のオイルを沈船より強制的に除去することで、通常は沈船の燃油タンク部の外板を上下に 2ヶ所開口して、上部の開口部は残油抜取り用のホースを船上まで連結取付けて、船上側で吸引し、下部から入る海水と置換することにより残油量の有無を確認しつつ行う。

#### (6) 引揚索取付

沈船を引揚げるために、直接沈船に取付けるワイヤーであり通称台付ワイヤーと呼ばれ、ワイヤーを台付ワイヤーと云う。

台付ワイヤーの数が少なければそれだけ作業量が少なくなるが使用するワイヤーの太さが太くなり、取付に手間がかゝる。逆に細ければ、本数が多くなるが取扱が容易となる。従って、沈船の吊揚げに使用する起重機船の能力に合せ通常使用する台付ワイヤーの太さを選定するが、今日、使用されている台付ワイヤーの最大径は 100 mm φ ~ 120 mm φ であり、単位重量は 1 mあたり 40 ~ 60 kg である。台付索の船体への取付方法は船体に大廻しにワイヤーをかける方法が用いられる。台付索の取付は潜水作業にて行うが、直接太いワイヤーを潜水士によって沈船にかけることは不可能なので、潜水士が扱うのはリーピングワイヤーと呼ばれる扱いやすい細いワイヤーであり、このワイヤーが船体にかけられた後に、順次、太い台付ワイヤーに交換してゆく。リーピング・ワイヤーを船体に取付けるには、沈船と海底の間隙の無い場合は、トンネルを掘らねばならないのでこの作業が沈船引揚の際の潜水作業の最も労力と時間の要する作業となっている。台付索の取付位置は、次に行う引揚の際に、沈船が水平になるよう沈船の重心位置を中心に均等に引揚力が負荷されるよう定める。

#### (7) 引揚

引揚索が船体と結ばれた後は、海上の起重機船等のウインチにて台付索を巻揚げ、沈船を海底から吊揚げる。

水深が浅い場合は1回の吊揚げによって、海面附近まで沈船を引揚げるが、水深の深い場合は、1回の吊揚げで吊揚げられる最大深度まで沈船を海面より吊りあげた後、起重機を吊揚げ深度まで移動し、一度沈船を着底させて、台付索を短縮させた後、再び沈船を吊揚げる。この方法を数回くり返し、最終的に海面まで沈船を吊揚げる。

我が国の大型起重機船の場合を例にとると、吊り能力が3,000トンの場合は、1回の吊揚げ高さは、海底から約100mである。また吊り能力が1,600トンの場合の吊揚げ高さは約80mである。

#### (8) 引起し作業

沈船が海底にて正立した状態であれば、海面上に吊揚げた後は直ちに船内の排水を行い、浮力を復元し航行できる状態になるが、沈没時の状態が横転や転覆状態である場合は、海面まで引揚げた後に、正立させる必要がある。この作業を引起し作業と云う。引起し作業は、沈船がほぼ全没する浅い水深に仮置きし起重機船を使用して、沈船を回転させるに必要な偶力を与えることにより行う。即ち、横転状態の場合は正立状態まで約90度の回転を、転覆状態の場合は約180度回転させることになる。

#### (9) 防水及び排水

沈船が海面上に正立した状態で浮揚した後に、船内の各所に浸水した海水を水中ポンプを使用し排除し、浮力を回復させ自力で浮揚させる。このとき、船体に損傷があり浸水箇所が発見されれば、その箇所に防水処置を行う。この場合の防水処置は応急処置程度であり、事後行う修理するための造船所までへの曳航に耐える程度のものである。

#### (10) 曳航作業

排水後正立浮揚した遭難船を修理するために運搬する作業であり、遭難船側には緊急時にそなえて排水ポンプ、溶接機器等の防水排水用資材を搭載しておく。またこれに作業要員も乗船させ、曳船との連絡、防水処置部分の見張り等を行わせる。沈没になった船舶は、発電機その他の機械、機具類は全て作業不可能の状態があるので、特に、被曳船側に必要な灯火（舷灯、マスト灯）を用意する。

#### (11) 引渡し

遭難船を完全に復旧させるために造船所側に引渡すことであり、これでサルベージ作業としては完了する。

### 3.5.3 深度別による沈船引揚の検討

本項では、現行のサルベージ技術で可能と思われる水深200mからの引揚げ作業を、気象、海象条件及び沈船の主要諸元及び沈没状況等について前提条件を設けた上で検討する。

また、水深2,000mからの引揚げについては今日サルベージ技術では不可能であるが、これを可能ならしめるための技術的要件の抽出を目的として引揚方案を紹介しつつ検討を行う。

#### 1) 水深200mからの引揚の検討

水深200mからの引揚は、現有の沈船引揚の手法と必要設備が利用可能であり、これらを利用して引揚についての検討を行う。

なお、先に述べた如く、通常の船体救助を目的とする沈船引揚は、総トン数が1,000トン以下の船舶でその救助深度は40～60m程度であり、例外的に総トン数1,000トン型のタンカーを水深80mから引揚げた事例が記録されている。この場合は積荷の原油の回収を目的として計画実施された。

(1) 前提条件の設定

① 引揚対象船舶

イ. 全長	： 100 m
ロ. 船巾	： 16 m
ハ. 深さ	： 10 m
ニ. 総トン数	： 4,700 トン
ホ. 満載排水量	： 7,000 トン
ヘ. 載荷重量トン	： 3,700 トン
ト. 純トン数	： 2,200 トン
チ. 船型	：船尾船接型貨物船

② 積載貨物

イ. 品名	：キャスク
ロ. 数量	： 20 ケ
ハ. 形状	：円筒形
ニ. 寸法	： 3 m φ × 6 m
ホ. 重量	： 100 トン／ケ

③ 沈没状況

イ. 水深	： 200 m
ロ. 位置	： 湾口部
ハ. 沈没原因	： 不明
ニ. 船体損傷	： 無傷
ホ. 船首方向	： ほく真西
ヘ. 船体傾斜	： 左舷側に 90 度（横転）
ト. 着底状況	： 全面にわたり約 30 cm 埋没
チ. 浸水の程度	： 全区画浸水
リ. 舱口及び艤内	： 損傷及び異常なし
ヌ. 積荷の状況	： 異常なし
ル. 漏油の状況	： 舟首 D.O タンクより若干の漏油あり
ヲ. その他	： 鎆、錨鎖とも異常なし

④ 作業海域の気象及び海象条件

イ. 風	： ほく無風
ロ. 波高	： 1 m 未満
ハ. 潮流	： 1.5 ノット（最大）
ニ. 海底質	： 砂泥
ホ. 水中視程	： 5 m ~ 7 m

- ヘ. 水温 : 15°C前後  
 ベ. 気温 : 25°C前後  
 チ. 洋上視程 : 10km以上

## ② 引揚計画

救助作業を受託し捜索作業及び沈没状況の調査の結果、先の前提条件に挙げた事項が判定したものと想定し、引揚計画を作成する。引揚計画の基本的課題は、沈船重量及び重心の算定、引揚に必要な浮力又は引揚方法の検討及び潜水作業方法等である。

## ② 沈船重量及び重心の算定

前提条件より本船の満載排水量トンは7,000トン、載荷重量トンは3,700トンであるので本船の重量は軽荷排水量トンであるから次式により求まる

$$\begin{aligned} (\text{軽荷排水量トン}) &= (\text{満載排水量トン}) - (\text{載荷重量トン}) \\ &= 7,000 \text{ (トン)} - 3,700 \text{ (トン)} \\ &= 3,300 \text{ トン} \end{aligned}$$

また本船の沈没前に搭載されていた消耗品食糧、その他の倉庫品、乗員所持品等のその他の搭載品の重量を50トンと仮定すると、

$$\begin{aligned} \text{本船の全重量(空中)} &= 3,300 \text{ (トン)} + 50 \text{ (トン)} \\ &\text{となる。} \end{aligned}$$

鋼鉄の比重は7.85、海水の比重を1.03とすると、単位重量の鋼鉄の水中重量は $(7.85-1.03)/7.85 = 0.87$ 倍となるが、軽荷重量の中には木材その他鋼鉄以外のものを含むので一般商船では0.83倍程度であるので本値を採用すると、沈船の水中重量は次のようになる。

$$\begin{aligned} \text{本船の水中重量} &= 3,350 \text{ (トン)} \times 0.83 \\ &= 2,780.5 \text{ (トン)} \\ &\div 2,800 \text{ (トン)} \end{aligned}$$

搭載貨物であるキャスクの水中重量は、空中重量、排水量より求まる。

$$\begin{aligned} \text{キャスクの全重量} &= 100 \text{ (トン/ケ)} \times 20 \text{ ケ} \\ &= 2,000 \text{ トン} \\ \text{キャスクの排水量} &= \{ 3.14 \times (3/2)^2 \times 6 \} \times 20 \times 1.03 \\ &= 873.2 \text{ (トン)} \\ \text{キャスクの水中重量} &= 2,000 \text{ (トン)} - 873.2 \text{ (トン)} \\ &= 1,126.8 \text{ (トン)} \\ &\div 1,200 \text{ (トン)} \end{aligned}$$

従って沈船の全水中重量は次の如くなる。

$$(\text{沈船の全水中重量}) = (\text{沈船本体の水中重量}) + (\text{キャスクの水中重量})$$

$$= 2.800 \text{ (トン)} + 1.200 \text{ (トン)} \\ = 4.000 \text{ (トン)}$$

## ② 引揚方法の検討

沈船を引揚げる方法は概ね次の4方法がある。即ち

- イ. 沈船の一定区画に気密処置をほどこした後にエアープローして浮力を得る方法
- ロ. 沈船外部に浮力タンクを取付け浮力を得る方法
- ハ. 起重機船にて吊りあげる方法
- ニ. 上記の各方法を組合せる方法

このうち、上記イのエアープローによる方法は気密処置が難しい上に、浮上に伴う気体の膨脹対策も必要であるため、今日では浅い水深でしか用いられていない。

上記ロの浮力タンクを利用する方法は、起重機船が今日のように発達していなかった時代に於ける起重機船の補助浮力を得るために使用されていた方法であり、今日では、ほとんど利用されていない。

上記ハの方法は起重機船の吊能力の大巾な向上により、沈船の引揚げの主流になっているが、外洋のうねり、波高による作業の制約が厳しいのが問題の一つとなっている。

上記ニの方法は、地域的な条件のため適當な吊能力の起重機が得られない場合には、浮力タンクや、エアープロー等と組合せて引揚のための浮力を得る方法である。

今回の場合は、水深 200m から 4000 トンの沈船を引揚げることから考えると、大型起重機船 2隻による相吊り方法が気象、海象条件から検討しても可能であり、かつ、潜水作業も比較的単純となるので、本方法を用いるものとする。

### i 起重機船の選定

起重機船は、吊能力が極力大きいこと、また、吊揚高さ（揚程）が出来るだけ高いこと等の条件を基にして表 3.5.2 の二隻を使用するものとした。

### ii 吊点の位置と個数

沈船に吊揚力を集中的にかけると船体が折れたり、外板が切れたりするので、吊揚力は出来る限り分散した方が望ましい。今回は二隻の相吊り方式なので、フックの合計は 6 ケであるから、吊点は、沈船の船体中央部の重心を基点にして、全長を六等分した位置に引揚索を取付けることにする。従って各点にかかる荷重は

$$4.000 \text{ (トン)} \div 6 \text{ (ヶ所)} = 670 \text{ (トン) } / \text{ (ヶ所)}$$

となる。この値は表中の各起重機船のフックの負荷能力以内にあるので起重機船の能力を越えることは無い。

### iii 引揚用ワイヤー（台付ワイヤー）

先に紹介した大型起重機船が使用している現有のワイヤーの直径は 80mmφ ~ 120mmφ である。ここでは 100mmφ ワイヤーを使用することにする。この概略仕様は表 3.5.3 の通りである。

## VI 浮力の附加

先に検討した結果、起重機船でも計算上は、引揚げ可能であるが沈船重量と引揚力の差が少なく、余裕がない。即ち3,000トン吊起重機船では各フックの許容負荷重量は、750トンに対して、引揚必要負荷重量は、670トンであり、フックの吊能力の余裕は $(750 - 670) / 750 \times 100 = 10.7\%$ である。

一方、1,600トン型起重機船では $(800 - 670) / 800 \times 100 = 16.3\%$ である。沈船に他の予測しえぬ負荷（搭載荷物や海底土砂の船内流入等）が加わった場合に対処して、引揚前に行うダブルボトムタンク内の燃油の抜取り後に、このタンク内に空気を貯めし、浮力を加えることとする。F.Oタンクの合計容積は、 $1,100 m^3$ であり、100%空気を貯めれば、沈船はこの時点で1,100トン軽くなる。

しかし、実際は、漏気もあるので実質有効貯氣率として0.6を採用して、沈船への浮力附加量を $1,100 (トン) \times 0.6 = 660 (トン) \neq 600 (トン)$ とする。従って沈船の引揚時の水中重量は以下の如くなる。

$$\begin{aligned} \text{沈船の水中重量} &= 4,000 (\text{トン}) - 600 (\text{トン}) \\ &= 3,400 (\text{トン}) \end{aligned}$$

従って、起重機船の6ヶの各フックに負荷される吊揚荷重は、

$$\begin{aligned} \text{フック1ヶにかかる引揚荷重} &= 3,400 (\text{トン}) \div 6 (\text{ヶ}) \\ &= 566.6 \\ &= 570 \text{トン} \end{aligned}$$

3,000トン吊起重船のフックの許容吊能力は750トンであるので、この場合は $(750 - 570) / 750 \times 100 = 24\%$ の余裕があり、この範囲の沈船重量の増加に対しては対処可能である。また、1,600トン型起重機船のフックの場合は800トンであるので、 $(800 - 570) / 800 \times 100 = 28\%$ の余裕が生じる。

### ③ 潜水作業方法

#### 1. 潜水方式

深海サルベージの技術上の課題の一つは潜水技術である。今日、一般的に用いられている潜水法は圧縮空気を使用したいわゆる空気潜水方式であり、潜水器としてはヘルメット式潜水器、フーカー潜水器、マスク式潜水器、スクーバ潜水器がある。この空気潜水方式では、水深の増加と共に潜水士が呼吸する圧縮空気の圧力も増加する。空気の成分は酸素が約21%、窒素が約79%であるため、呼吸ガスの圧力増加と共に酸素分圧も窒素分圧も空気の酸素、窒素の構成比に従って増加する。

人間の体内の各組織は肺を介して呼吸ガスの交換をしており、酸素は炭酸ガスと置換され血液を通じて各組織に運ばれる。と同時に不活性ガスである窒素も各組織に運ばれ各組織に蓄積される。高分圧の酸素及び窒素は人体に生理学的影響を与えることが知られている。即ち、高分圧の酸素を吸収した場合は「酸素過多症」として酸素中毒を発生させる。その発生限界値は概ね $2 \text{ kg/cm}^2 \text{ G}$ である。一方高分圧の窒素を呼吸した場合は「窒素麻酔」の症状が表われ、あたかもアルコールに酔った症状となり、大気圧下で有していた判断力

が失われる。その発生深度は水深30～40mであり、深度と共にその症状は重くなり90m～100mでは意識を失うと云われている。しかし、酸素、窒素とも、慣れによる耐性（抵抗力）も出来るので、一般的には空気潜水方式の作業の深度的限界は50～60mとされている。それ以上の深度を潜水するには、窒素の代りにヘリウムガスを使用したヘリウムと酸素の混合ガスによる混合ガス潜水方式を用いる。ヘリウムガスは窒素ガスと異なり高分圧となっても生理的影響はほとんど生じないばかりでなく密度が小さいので高圧力となっても呼吸抵抗が少なく楽に呼吸が出来るという利点があり、今日では、50～60m以上の深海潜水に広く使用されている。

#### ロ. 短時間潜水と飽和潜水

潜水中に体内の各組織に蓄積された不活性ガスは、減圧手段により大気圧に復帰するまでに体内の組織内で過飽和状態による気泡の発生をもたらさないようにしながら減少させる。体内への不活性ガスの蓄積は潜水深度と滞底時間（潜水時間）に比例し増大するので、減圧に要する時間（減圧時間）も増大する。潜水開始から減圧終了までの全所要時間と潜水時間（減圧時間を含まない）の割合を潜水効率と呼ばれ、ある潜水深度までの潜水作業の効率を検討する場合の一指標となっている。短時間潜水とは、1回の潜水が概ね、24時間以内に減圧を含めて終了する潜水を指すが、短時間潜水で大水深の潜水を行った場合は潜水効率が飛躍的に減少し、作業能率が悪くなる。以下に水深30m、50mの空気潜水方式と水深150mの混合ガス潜水方式による潜水効率の値を求めたので表3.5.4に示した。

従って短時間潜水による大水深の潜水作業は調査、救難、実験、訓練といった分野に作業が限定されるのが現状である。

飽和潜水とは潜水深度に相当した高圧環境下に24時間以上にわたる長時間潜水士を暴露させ、その深度で潜水士が吸収する不活性ガスが体内に飽和するような潜水方法を云う。体内組織が不活性ガスで飽和した場合はその深度での滞在時間に関係なく減圧時間は一定となる。

飽和潜水を行うには、潜水士を高圧下で居住させるための居住用タンク（LIVING CHAMBER）と高圧を保持したまま潜水士を海底の作業現場に移動させる、水中エレベータ（PERSONAL TRANSFER CHAMBER）及びこれらをコントロールする装置で構成されている。水深200mの潜水作業を対象とした飽和潜水時の加圧・減圧及び作業時間等の様子を図3.5.1「飽和潜水要領図」に示した。

今、この図に基づき潜水効率を算出すると表3.5.5のようになる。

飽和潜水は大水深の潜水の場合には潜水効率が極めて良いので、今日潜水作業量の多い場合は、水深80m程度の深度でも行われている。

しかし、設備的には、短時間潜水と比較して大巾に大型化、精密化しつつその運用は常時24時間体制で実施するので潜水士以外の支援要員数も多くかつ専門分化しており、コスト的には高いものであるが、大水深での作業性の高能率の面に於いてそれらに勝る点の方が多い。

従って、本引揚計画では、飽和潜水方式を用いるべく計画する。また沈船の沈没状況の調査、潜水作業の確認には潜水艇を使用することとする。

### ③ 使用船舶・資機材

本計画を立案する上で使用した我国現有の船舶・資機材は表3.5.6の通りである。

図3.5.5に200m飽和支援母船、混合ガス潜水システムを図3.5.6、飽和潜水機器構成図を図3.5.7に示す。

また、潜水艇「はくよう」および潜水母船の主要目は次のとおりである。

「潜水艇「はくよう」主要目」

主要目

全長	.....	6.4 m
幅	.....	1.6 m
深さ（電池槽下面からハッチ頂部まで）	.....	2.7 m
排水量	.....	6.6 トン
耐圧殻直径	.....	1.4 m
乗員 {	通常（乗組員）	2名
	最大（乗組員及び観察員）	3名

性 能

最大水深	.....	300 m
速力 {	通常速力	1ノット
	最大速力	3.5 ノット
航続時間	1ノットにて	約5時間
空気清浄能力	3名にて	48時間
水中通話器	最大通達距離	700 m
トランスポンダー	最大応答距離	2.000 m

主要機器

主推進モーター (10 PS)	.....	1個
水平スラスター (0.5 PS)	.....	2個
垂直スラスター (0.5 PS)	.....	1個
主推進器旋回装置	.....	1式
負浮力、補助タンク注排水装置	.....	1式
トリム調整装置	.....	1式
観窓（内径150m/m）	.....	14個
油圧装置	.....	1式
1点吊り上げ装置	.....	1式
主電池 (120V)	.....	1式
補助電池 (24V)	.....	1式
水中投光器	.....	4個
ジャイロコンパス	.....	1式
トランスポンダー	.....	1式
音響測深器（高度ソーナー）	.....	1式
水中通話器	.....	1式
音響探信器（前方ソーナー）	.....	1式
無線機（海上連絡用）	.....	1式
点滅灯	.....	1式
マニピュレーター（油圧式）	.....	1式
電池槽離脱装置	.....	1式

電線切離装置	1式
救難装置	1式
ビデオカラーTV	1式
スチール写真用水中ストロボ装置	1式
ピンガー受信装置	1式
水中工具（油圧、電気、駆動）	1式

#### 「潜水艇母船主要目」

総 倉 数	: 4 8 3 <sup>T</sup> 2 3
純 倉 数	: 1 4 1 <sup>T</sup> 6 7
全 長	: 4 8 <sup>M</sup> 4 6
幅	: 9 <sup>M</sup> 5 0
深 さ	: 4 <sup>M</sup> 1 0
ド ラ フ ト	: 3 . 7 3 5
船 級	: NK
航 行 区 域	: 近海区域(国際航海)
船 舶 番 号	: 第 1 1 9 7 6 6 号
信 号 符 号	: J J B E
航 続 距 離	: 6,6 0 0 マイル
最 高 速 力	: 1 3 ノット
巡 航 速 力	: 1 1 ノット
燃料タンク容量	: 3 1 8 . 0 4 m <sup>3</sup>
清水タンク容量	: 7 2 . 4 6 m <sup>3</sup>
主 機 関	: 1,3 0 0 <sup>HP</sup> × 2
定 員	: 2 4 名

#### (3) 海上足場の設置と残油処理

##### ① 海上足場用係留ブイの設置

潜水作業母船及び起重機船を沈船の直上に係留し作業足場とするが、その係留ブイの構成及び係留要領は図

3.5.8 の通りである。

##### ② 残油処理

###### イ. 残油量の推定とタンク位置

沈船の燃料油はダブルボトム(二重底)内に船首より船尾にかけて5区画に配置されている。また、後部機関室下の二重底は潤滑油、その他の油タンクになっている。それらの各タンクの残油量の沈没後の正確な数量値は本船の補油、航行による消費等の明細が不明なのでこゝでは、計画満載時の値を用い、その内訳は表 3.5.7 の通りとする。

残油タンクの配置を図 3.5.10 に示す。

以上の結果、残油処理（残油の海中での抜取り）は、F.Oタンクを中心に行い、その他のタンク内残油については、漏油状況を調査してから行うものとする。従って

残油処理対象タンク数	全15ヶ所
推定回収量	約1,100m <sup>3</sup>

#### ロ. 残油の回収方法

図3.5.1-1のようにホースを取付け、海上に用意した廃油回収船内に、海水と残油の混合液体として貯水（油）し、ホース内から出る液体が完全に海水に置換した時点で、該当タンクの残油処理を終了し、次のタンクの作業にかかる。但し、燃油がC重油の場合は、低温になると（10°C以下）液化状からゲル状又は固体状になるため、通常冬期間の作業は避けて行っている。今回では、水温を15°Cと設定し、通常の液体と想定する。

開口作業に必要な潜水作業は図3.5.1-2にその要領図を示した。また油抜きとりのために船底部に開口する位置は図3.5.1-3に示した。開口作業の所要日数を表3.5.8に示す。

#### (4) 引揚索の取付

##### ① 取付位置

引揚索の船体への取付は図3.5.1-4の如く、船体に大廻しに取付ける。

取付位置は、図の如く、船尾の居住区の両端と、船尾より約40m附近、同じく58m附近、78m附近、93m付近の合計6ヶ所である。

使用する台付ワイヤーは使用荷重が100トンのものを使用し、1ヶ所当たり片舷側に4本が往復することになり起重機船のコック1ヶには8本のワイヤーをかける。

##### ② 取付方法

台付ワイヤーを船体に大廻しに取付けるために、海底面に着底している右舷舷側の下にトンネルを堀る。この作業は図3.5.1-5の如く潜水作業にて行う。潜水士は水圧ジェットとエアーリフト式堀削装置を使用して船底下を堀り進む。海底質が硬ければ、堀削断面はU字型となるが、砂泥質の場合は周囲がくずれてV型の断面になる。堀削土量は図の如く堀るものと仮定すると、1ヶ所当たり約30m<sup>3</sup>となる。

従って6ヶ所では、6ヶ所×30m<sup>3</sup>/ヶ所=180m<sup>3</sup>となる。堀削は両側から進めてゆき、両ダイバーが会合した時点で20mmφ程度の導索（リーピングワイヤー）を通し海上の作業船にあづける。作業船は導索の一端に使用予定の台付ワイヤーの一端を連結した後、他端をワインチのワーピングローラにて巻取ると同時に他端の台付ワイヤー側をゆるめてゆき、最終的に台付ワイヤーが、導索ワイヤーと入れ替った時点で1本の台付ワイヤーの取付が完了する。同様の手順にて1ヶ所当たり4本の台付ワイヤーを6ヶ所合計24本取付けることにより引揚索の取付が完了する。作業船にて台付ワイヤーが全て取付けられた時点で、起重機船のフックが沈船の直上に位置するよう係留し、台付ワイヤーをフックにかける。

##### ③ 浮力の附加

台付索が二隻の起重機船のフックにかけられた時点で残油抜取り後のF.Oタンクにエアープローして沈船に浮力を附加する。

しかし、F.Oタンクに浮力を附加した場合、沈船は横転状態から転覆状態にその沈没姿勢を変化させることが考えられるのでその場合について検討した。図3.5.1-6に於いて

$$\text{沈船の偶力} = 3,905.3 \times 4.25 = 16,597.5 (\text{TON}\cdot\text{m})$$

浮力による回転力

- 1) 浮力 1,100トンの場合 (max)

$$\text{回転力} = 1,100 \times (4.25 + 5.95 - 1.5 / 2) = 10,395 (\text{TON}\cdot\text{m}) \cdots (\text{回転しない})$$

- 2) 浮力 660トンの場合

$$\text{回転力} = 660 \times 9.45 = 6,237 (\text{TON}\cdot\text{m})$$

- 3) 重心位置が高い場合 (甲板側) の臨界距離

- 1) 浮力が1,100トンの場合

$$10,395 \div 3,905.3 = 2.66 \text{m} (\text{G1の位置})$$

- 2) 浮力が660トンの場合

$$6,237 \div 3,905.3 = 1.59 (\text{G2の位置})$$

従って、こゝではGの位置を中央に仮定したが、海底に着底する間に船艙内のキャスクが移動して、沈没後のGの位置が甲板側にずれている場合も考えられる。

よって、F.Oタンク内への貯氣による浮力の附加は、台付ワイヤーを全て取付けた後に行うこととした。

#### (5) 引揚作業

##### ① 起重機船の配置

台付索を起重機船のフックにかけ、沈船と起重機船の相対位置を図3.5.1-8の如く調整し、フックの巻揚を開始する。このとき各フックの荷重が等しくなるよう張力計を監視しつつ行う。

##### ② 海面まで引揚げるまでの手順

第1回目の吊り揚げ高さは、1,600トン吊起重機船のフックの揚程である81mまでである。従って沈船は海底より81m浅い水深119mまで吊揚げられる。このときの状況を図3.5.1-8及び図3.5.1-9で示した。

1回目の吊揚げが終了した時点で、各起重機船の係留索を解除し、各起重機船同志の相対位置を保持しつつ、水深119mの海底まで起重機船を曳航し、あらかじめ用意した係留索に各起重機船を係留する。

係留後、各フックを降ろし沈船を海底に仮置きすると共に更にフックを降ろし最下端にもってくる。この後、台付ワイヤーを81m短縮させ再び、吊揚げ作業を行い、第1回目と同様に81m海底面より吊り揚げる。

以後1回目と同じ手順で起重機船を119m-81m=38mの水深まで移動し、再び沈船を海底に仮置する。

図3.5.2-0は第1回目の吊り揚げから38mの水深までの過程を表わしたものである。

#### (6) 引起し作業

水深38mに仮置きした後、本船を横転状態から正立状態に引起す。

##### ① 沈船の慣性モーメント

沈船の重心位置を船底から5.95m離れた船体中央部に位置するものとする。また沈船の重量(W)は燃料タンクの浮力を零とした場合には4,000(トン)であるので、その慣性モーメントは次のようになる。

$$\begin{aligned} \text{沈船の慣性モーメント} &= 4,000 \times 5,95 \\ &= 23,800 \text{ (トン・m)} \end{aligned}$$

従って、引起しに必要な外力は図3.5.2-2のように引起すものと仮定した場合には

$$\text{外力} = \frac{23,800}{10.2} = 2,333.3$$

$$\approx 2,400 \text{ (トン)}$$

となる。

## ② 引起し方法

外力を与える起重機船として3,000トン吊起重機船を使用する。また荷重をかける場所は、2番及び5番のハッチコーミングを用いて図3.5.2-2の如く外力を加える。

## (7) 浮揚・排水作業

転覆船の正立方法と同様の手順・要領となるので本項では略とする。

## (8) 傾航

沈船のサルベージ作業は、保険補填の範囲では、浮揚させた船体を最寄の安全港まで曳航して、船主に引渡すこと終る。しかし、実際には船主の委託により、修理造船所まで曳航する場合が多い。

### ① 傾航馬力の算出

被曳船の航行中に受ける抵抗は一般に

$$R_T = R_f + R_w + R_s$$

ここで

$R_T$  : 被曳船の全抵抗

$R_f$  : 摩擦抵抗

$R_w$  : 造波抵抗及び造渦抵抗

$R_s$  : 推進器抵抗

各々の値について算出すると

$$R_f = 0.3048 \cdot f \cdot S \cdot V^{1.825} \quad (\text{フルード式})$$

ここで

$R_f$  : 摩擦抵抗 ( $\text{kg}$ )

$S$  : 浸水面積 ( $\text{m}^2$ )

$V$  : 速力 ( $\text{kt}$ )  $6 \text{ kt}$  とする。

$f$  : 摩擦抵抗係数  $f = 0.1392 + \frac{0.258}{2.68 + L}$

$L$  : 水線長 ( $\text{m}$ )  $100 \text{ m}$  とする。

今、曳航速(V)を6(kt)、浸水面積(S)を2280m<sup>2</sup>、水線長を100mとすると

$$R_f = 0.3048 \cdot (0.1392 + \frac{0.258}{2.68 + 100}) \cdot 2,280 \cdot 6^{1.8} 25 (\text{kg}) \\ = 2,591.0 (\text{kg})$$

また、 $R_w = 0.35 R_f$  とすると

$$R_w = 0.35 \times 2,591.0 \\ = 906.8$$

$$\begin{aligned} \text{また, } R_s &= 1.3 \times (R_f + R_w) \\ &= 1.3 \times (2.591 + 906.8) \\ &= 4547.1 \end{aligned}$$

従って、

$$\begin{aligned} R_T &= 2.591.0 + 906.8 + 4547.1 \\ &= 7,147.78 \\ &\approx 8 (\text{トン}) \end{aligned}$$

馬力と抵抗の関係は、概略 100 馬力で 1 トンの曳航力を有するので 8 トンの抵抗のある被曳船を引くには、800 馬力を必要とする。

## ② 曳索の取付位置

図 3.5.2.3 の如く、曳索の索端から 2 本のプライドルを出し、これを船首のボラードに捲き、その端を船体に溶接したアイピースにシャックルを介して連結固定する。

## ③ 準備作業及び曳航

曳索の取付と並行して、曳航準備して、曳航準備して、灯火、形象物の揚場、諸開口部の閉鎖、可動物の固縛、応急防水、排水準備、上乗員の居住区仮設等の準備を終了した後、曳航を開始する。

## (9) 作業工程表

沈船調査より引揚・曳航までの基本工程日数を表 3.5.9 に示した。

また、本作業で使用する主要船舶資材も同表に記載した。同表により沈船を 200 m から引揚げるまでの所要日数は約 3 ヶ月半程度必要とする。

## 2) 水深 2,000 m からの引揚に関する検討

先に紹介した如く、現状の沈船引揚技術は、ダイバーによる沈船への引揚索の取付作業を主体としている。このため、潜水深度が深くなったり、潮流が速い海域や水中視程の不良な海域、並びに水温の極端に低い海域での潜水作業は非常な困難をともなう。

また、引揚対象船舶の水中重量が4,000トンともなると、国内外を通じて単独で引揚げ能力を有する起重機船等の作業船は現時点では無く、また建造も予定されていない。従って仮に沈船に引揚索が取付けられたとしても、起重機船を使用する場合は、2隻以上の相吊り方式となる。周知の通り起重機船は大型になればなるほど吊揚の揚程が高くなるので海上の波高、うねり等の影響を受けやすく、外洋での使用条件は海象条件により大変に制約される。まして2隻の大型起重機船による相吊り方式ともなるとなお一層の困難が予想される。更にこれらの大型起重機船で使用する引揚索であるワイヤーやシャックル等の結着金具等も大型になりダイバーが単独で自由に扱いきる重量をはるかに越えるので引揚索の取付には多数のダイバーが必要となり、作業上の危険性も増加する。

特に、ダイバーの潜水可能深度については、人体の高圧に対する適応には未解決の生理学的问题があり、この点から潜水可能深度に限度がある。また潜水可能深度内でもダイバーを主体とした作業では大水深になればなる程、人命への危険性も高くなる。

従って、大水深から超重量物(4,000トン)の引揚作業には少なくともダイバーを主体としない引揚作業技術の開発が基本の方策と考えられる。

本項では大水深に沈没した船舶を引揚げるための方法の主要課題として、沈船への浮力の附加方法と沈船への引揚索の取付方法を検討対象とし、それぞれ二、三の具体案を例示すると共にそれらの問題点を抽出し、大水深からの引揚を可能にする技術的要件としてまとめ今後の課題とした。

#### (1) 前提条件

水深2,000mからの沈船の引揚げを検討するために設定した前提条件は次の通りである。

##### ① 沈船の主要諸元

- イ. 長さ : 100m
- ロ. 巾 : 16m
- ハ. 深さ : 40m
- ニ. 水中重量 : 4,000トン
- ホ. 船型 : 船尾船楼型貨物船

##### ② 沈没状況

- イ. 沈没水深 : 2,000m
- ロ. 船体傾斜 : 左舷90度(横転)

##### ③ 気象・海象条件:特に設定しない

##### ④ その他 : 既存の作業船、設備、装置、機具等並びに経済性については特に留意しない。

#### (2) 引揚を容易にするための設備

船舶の本来的な機能は云うまでもなく、海上貨物輸送である。船舶の建造技術、運航技術は今日、我国をして世界の一流レベルにあるが、人間が運用しているかぎり人為的ミスは避けられず、現実に海難事故は発生している。

特に遭難船が沈没した場合は沈没深度の増加に従い、救助費用はもとより、救助後に行う修理費用も増加し、サルベージ作業に関する経済的根拠が無くなり、今日まで数多くの海難船舶が海底に放置されて来たのが現状である。

一方、輸送対象貨物の内容は経済・科学の進展と共に量の増加とその質の多様化も著しく各種の特殊貨物の専用船が開発・実用化されて来ている。その中には、遭難沈没した場合に従来の経済的理由だけで沈船引揚げが行なわれず海底に放置しておくことは、環境保全や公害防止の観点より社会的に許されない場合も考えられる。

サルベージ技術は、海上貨物輸送を主目的にして建造された船舶。貨物の経済的な救助を根底に確立されて来たが、今日の船舶搭載貨物が海難時にもたらす社会的影響の大なることを考えると、従来の船舶の安全性に対する考え方を拡大し、サルベージ作業時にも適応可能な構造、機構を船舶建造時にあらかじめ安全設備の一部として具備しておくことも時代の要請であると思われる。

本項はこの意味に於いて沈船引揚作業を容易ならしめる設備を提案、検討するものである。

#### ① 沈船の引揚が困難な理由

現状の沈船引揚作業に於いて、引揚作業が難行する主要因の一つは、ダイバー作業による引揚索の取付である。今日、用いられている方法は200mからの引揚にて紹介した如く、引揚索は船体を大廻しにして掛け取付ける。この方法では、船体と海底間の隙間を必要とするため、船底を貫通するトンネルを堀る作業が必要となる。この作業は全て、ダイバーによる潜水作業である。このため、水中視界や海底土質の硬軟潮流等の潜水作業条件に加えて、潜水深度による制約も加わり、作業可能深度内では、引揚所要日数及び危険性増大の主要因であり、また、200m以上のダイバー以外の潜水方法、例えば潜水艇の如き水中作業用機器・船舶の応用を考える際に予想される最大の技術課題となるものである。

これを解決する方法として考えられるのは、船体建造時にあらかじめ沈没時を想定して、引揚索を取付けるべき治具を船体側に用意することが考えられる。以下その基本案について紹介する。

#### ② 沈船の引揚を容易にするための船舶設備案

イ. 引揚対象となる船舶の水中重量(4,000トン)を負荷可能な引揚索取付専用金具をあらかじめ船体各部に用意しておく事

ロ. 取付位置は、予想沈没姿勢を想定して最も取付が容易な位置とする。

ハ. 取付専用金具の個数は、極力数量が少ない事が望ましいが使用する引揚索のワイヤーの操作の容易な事も考えて、1ヶ所当たり100トン程度とし、合計40ヶ前後とする。

沈没後の海底姿勢を次の通り想定する。

- i. 沈船が正立している場合
- ii. 沈船が横転している場合
- iii. 沈船が転覆している場合

上記の引揚用専用金具は、通常運航時の航行、着岸、入渠等の場合に支障とならないよう配置に留意すること。

上記の一例として、沈船が正立している場合を図3.5.2.4「正立して沈没している場合の引揚」に例示した。

### (3) 現状船舶を対象とした検討

前項では、引揚を前提として引揚を容易にするための設備を例示し検討した。しかし一般船舶ではそのような設備を設けていることは無い。

本項では現状船舶を対象として水深 2,000m からの引揚について、その基本的手法について検討したものである。

水深 2,000m から水中重量 4,000 トンの沈船を引揚げる方法として、前節で紹介した水深 200m から引揚げる手法の延長として考えた場合次のような問題が生じる。

- ① 水深 2,000m ではダイバーによる潜水作業は行えない。
- ② 水深 2,000m での起重機船の係留は実質上不可能に近い。
- ③ 起重機船で吊り揚げ得たとしても、1回の吊揚高さが約 80m 前後であり、海面まで吊揚げるには約 25 回の吊揚、仮置を必要とするが、その場合の仮置きする、海底状況を把握したり、位置を正確に出すことは極めて困難である。

以上の理由により、2,000m からの引揚は 200m の場合とは異なる方法を用いる必要がある。その方法として、本項では沈船内の空所に浮力球を充填して沈船自体に浮力を附加する方法を検討対象課題とする。また他の方法として引揚力を得る方法として起重機船の代りに水中にて送気することにより、海水と空気とを置換可能な装置を有する浮力バージを沈船に取つけ引揚を行う方法について検討する。この場合は、引揚索の取り付け方法が問題となるので、この点についても検討を行うこととする。

#### ① 浮力球による浮力附加方法について

本方法は沈船の各区画内の空所に中空のガラス球を充填し、沈船自体に浮力を附加し、浮上させる方法である。従って外部からの引揚力を必要としない点が大きな特徴である。

浮力球は現在、深海底、調査用各種機器の海底への設置及び回収用もしくは、球内部にカメラや計器、センサー等を収める耐圧容器として米国にて開発され、広く深海探査用支援機材として利用されている。その耐圧性能は 6,000m を越えるものが多い。また我国では、深海トロール漁業用の漁具の一部である底曳用浮子として今日、水深 1,500m までのものが開発利用されている。両者とも形状は真球形状であり、大きさは、直径は最大で、40cm 前後である。材質は前者がガラスであり、後者は樹脂である。本項では耐圧水深の大きいガラス球を用いるものとして検討する。

##### 1. 浮力球の選定

現在利用されているガラス球の種類について調べた結果を表 3.5.10 「浮力球の諸元」としてまとめた。

沈船の区画に充填する場合には、浮力附加効率の高いことが望ましい。

即ち、単位体積当りの浮力値の大きいものが効率的である。各モデル  $N_a$  についてその値を比較すると、モデル  $N_a$  、 2040-10V が、 $0.655 (\text{TON}/\text{m}^3)$  で、他の種類に比較し最も大きいので、本モデル  $N_a$  のものを用いることにする。

##### 2. 引揚浮力と浮力球の概算数量

沈船の水中重量は 4,000 トンであるので、これに相当する浮力を得るには浮力球の数量は次の通りになる。

$$\text{引揚浮力球の個数} = \frac{4,000}{0.0045} (\text{トン}) / (\text{トン/個}) = 888.8888 (\text{個})$$

即ち、沈船を浮上させるに必要な浮力球の最低値は約 888.8888 個である。

#### ハ. 浮力球を充填する必要空所容積

浮力球は真球状であり、一方、沈船内の空所は立方体に近似される形状となっている。浮力球を沈船の区画に充填した場合、隣接する球と球の間隙となる部分が出来るので、沈船内の空所に 100% 浮力球を充填しても、沈船の空所の容積に相当する浮力は、球同志の間隙のため得られない。

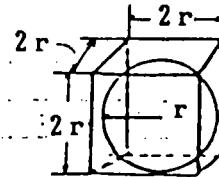
この間隙となる空間を考慮し、浮力 4,000 トンを得るに必要な浮力球の収容容積を求めるに以下の通りになる。

沈船の各空所を立方体に近似し、浮力球に外接する立方体と球の体積との関係は次の通りである。

$$\text{浮力球の体積} (V_0) = 4/3 \cdot \pi r^3 = 4,186 r^3$$

$$\text{外接立方体の体積} (V) = (2R)^3 = 8.0 r^3$$

但し  $r$  は浮力球の半径、 $\pi = 3.14$  とする。



球に外接する立方体

$$\text{従って、} V_0/V = 4,186/8 = 0.523 (52.3\%)$$

よって、浮力球を使用する場合は、浮力球を充填した容積の 52.3% が浮力球自体の占める浮力対象容積となり、他の ( $100 - 52.3 =$ ) 47.7% は間隙容積となり、浮力の対象容積とならない。よって、本沈船に 4,000 トン ( $4,000 m^3$ ) の浮力を、浮力球によって与えるには  $4,000 (m^3) \div 0.523 = 7,610 (m^3)$  の容積が必要となる。

#### ニ. 浮力球の充填空所の想定

浮力球を充填しうる沈船の各区画とその容積を想定し、浮力球によって得られる浮力と浮力球の数量を算出し、表 3.5.11 「浮力球の充填区画と浮力及び個数」にまとめた。

#### ホ. 浮力球の送球方法

##### i. 送球圧力

浮力球を沈船の所定区画内に送るに際して必要な圧力について検討する。

図 3.5.25 に於いて押し球に  $P$  気圧の水圧を海面から海底に向けて矢印の方向から加える。また、このときの浮力球の最下端の水深を  $d$  ( $m$ ) とし、この最下端と押し球の上端との距離を  $L$  ( $m$ ) とする。

このときの圧力  $P$  (気圧) と浮力球の浮力、及び水深との関係は次式になる。

$$P = (\text{浮力球による圧力}) + (\text{水深 } d \text{ (m)} \text{ での圧力})$$

ここで

浮力球 1 ケの浮力を  $K$ 、浮力球の個数を  $N$ 、浮力球全体の浮力を  $B$ 、浮力球の浮力による圧力を  $P_B$ 、押し球の断面積を  $S$  とすると、

$$N = \frac{L}{2r}$$

$$B = N \times K$$

$$S = \pi r^2 \quad \text{従って}$$

$$P_B = \frac{B}{S} = \frac{N \times K}{S} = \frac{L \cdot K}{2r \cdot S} \quad \text{また}$$

$$P_d = \frac{d}{10} \quad \text{従って}$$

$$P = P_B + P_d = \frac{L \cdot K'}{2r \cdot S} + \frac{d}{10} \quad \text{となる。}$$

今、 $L = 100$  (m)、 $K = 4.5$  (kg/個)、 $r = \frac{0.236}{2}$  (m)、 $d = 2000$  (m) とすると、

$$N = \frac{100}{0.236} \approx 423 \text{ (個)} \text{となり。}$$

$$P = \frac{100 \times 4.5}{0.236 \times 3.14 \times (23.6/2)^2} + \frac{2000}{10}$$

$$= \frac{450}{103.1} + 200 \approx 4.4 + 200 = 204.4 \text{ (kg/cm²)}$$

即ち、1回に423個の浮力球を送球する場合には、その直列長さは100mとなり、2,000mに送球するに必要な圧力は204.4 (kg/cm²) となる。従って、浮力球圧送用の水圧又は空圧のコンプレッサーの能力としては、計算必要圧の3割増として仮定すると  $204.4 \times 1.3 = 265.2 \approx 260$  気圧程度のものがあれば、送球可能であり、この程度の能力のコンプレッサーは今日、一般的に使用されている。

## ii 押し球の形状

押し球は長距離 (2,000m) を走るので、送球管との摩擦に耐え得るものが必要である。また、船上より圧力ポンプによって生じた圧力を逃がさないようなものでなければ機能しない。この二つの関係は内燃機関のピストンと同じであり、一般的には、押し球というよりピストン形状のものが用いられる。しかし、その形状が長くなると圧力的な効率は良くなるが、送球管の曲率の点で制約をうける。

## iii 送球管

送球管内は、押し球が水深的に深くなるにつれて、船上例の部分には高圧力がかかるが、沈船例は外圧の水深相当圧とバランスして圧力差は小さくなる。沈船上では、浮力球による浮力により生じた圧力しかかからなくなる。また、送球管は2,000mと長くなるので自重による強度の低下を防止するために、適当な水深位置ごとに浮力を与え、自重とバランスさせる必要がある。図3.5.27は送球管の形状と送球の状況を概念的に示したものである。

## ヘ 送球管の取付位置

沈船の各区画内に浮力球を圧送するために、沈船の外板を開口する。  
また、沈船は横転しているものと仮定しているので、所定の区画へ圧送するためには、区画壁の壁数によりその開口回数も異なる。従って送球管の沈船内への慣入深さも異なる。以下これらについて検討する。

### i. 開口位置と開口回数

開口位置はUpper deck の全区画と一部の居住区であり、それらの各区画へ送球管を慣入させるために区

画壁を開口する回数は図 3.5.2.8 の「浮力球用開口位置図」の通りである。

## II. 慣入深さ

沈船内部へ送球管を慣入させる深さは図 3.5.3.1 の「開口位置測面図」として表わした。最大慣入深さは 1.2 ~ 1.3 m となる。

## III 開口部の大きさ

送球管の内径を浮力球の外径の 30 %増とすると送球管の内径は

$$\text{浮力球の直径} (= 25.4 \text{ cm}) \times 1.3 = 33 (\text{cm})$$

となる。またその外径は、肉厚を 20 mm と想定すると

$$33 (\text{cm}) + (20 \times 2 \times \frac{1}{10}) = 37 (\text{cm})$$

となる。この送球管を船内に差し込むために開口する開口部は送球管の外径の 30 %増と仮定すると

$$\text{開口部の直径} = 37 (\text{cm}) \times 1.3 \div 4.8 (\text{cm})$$

となる。従って、浮力球と送球管及び開口部の大きさを図示すると図 3.5.2.9 のようになる。

## ホ. 送球管の設置作業

送球管を沈船の所定の位置に取付け、浮力球を所定区画内に圧送充填する作業の手順は概ね次の通りである。

### 作業手順

#### I 準備作業

- ① 浮力球の調達 (900,000ヶ)
- ② 送球管の製作・組立
- ③ 作業母船の機装

#### II 係留ブイの設置

作業船を沈船の直上に係留するためのブイ設置作業

#### III 開口作業

- IV 送球管の組立、誘導、差し込み
- V 浮力球の圧送、沈船区画内への充填

#### VI 他の開口部への移動

これらの作業のうち、開口作業装置、送球管の誘導、移動等の水中作業については、特別に別途、専用機器を検討する必要がある。また開口位置の決定についても潜水艇その他の設備を必要とする。

今回の浮力球による沈船の引揚の検討については、これらの水中作業機器については今後の課題とした。

なを、これらの水中作業を検討する上での一資料として図 3.5.3.1 に沈船の大きさと水深との関係を示す「相対位置図」を示した。

## ヘ 結論

今回検討した浮力球を用いて沈船に浮力を与え引揚げる方法は、

- 1) 浮力球を収めるための開口部が多い（114ヶ所）
- 2) 開口深さが深い。（横転の場合、最上層外板から約12m）
- 3) 開口位置の精度が高い（間隔が約1.5m前後）
- 4) 浮力球の個数が多い（900000個）
- 5) 船上に高圧送球装置（230kg/cm<sup>2</sup>）を必要とする。
- 6) 浮力球の送球状況、船内への格納状況を把握するための遠隔監視装置を必要とする。
- 7) 送球管の沈船側での上下、左右に対する位置移動制御及び監視装置を必要とする。
- 8) 開口作業は別途に専用の深海用開口装置を必要とする。
- 9) 開口位置を誤るとキャスク本体を損傷させる危険性がある。

等の検討課題があり、今後更にこれらの課題について検討を重ねる必要がある。

## ② 浮力バージによる方法

本方法は、沈船に大型の浮力タンクを取付け、沈船に浮力を与え引揚げる方法である。通常用いられている浮力タンクは引揚水深に相当する圧力に対抗しうる耐圧性を有するが、本項で用いる浮力タンクは底開きとして、浮力タンクの水深が沈船の引揚げと共に浅くなりタンク内部の気体（圧縮空気）が膨脹しても、下部よりオーバーフローさせる構造であり、またその形状が円筒型より箱型に近いため、従来の浮力タンクと区別するため、浮力バージと呼ぶことにした。

### 1. 引揚方法の概要

本方法により沈船を引揚げる手順は以下の通りである。

- I 浮力バージを沈船の直上まで吊り降す。
- II 浮力バージに取付けてある引揚索を沈船に取付ける。
- III 浮力バージに送気して浮力を与える。
- IV 沈船が海底を離れ、浮力タンクと沈船が重量的に中立状態になったら、浮力バージを作業母船上より除々に吊りあげる。
- V 浮力バージが海面に浮上したら、沈船を吊ったまゝ最寄りの湾内に浮力バージを曳船により引込む。
- VI 湾内では、浮力バージの一部の区画の空気を抜き、沈船を浅い海底に着底させる。
- VII 浮力バージと沈船とを切離し、浮力バージの代りに起重船船を使用し、沈船を捲起し浮揚、排水させ、浮上させる。

上記の内容を図3.5.3-2「浮力バージによる沈船の引揚要領図」に示した。

## ロ. 浮力バージ

浮力バージは沈船を浮揚させるべき浮力を与えるもので、従来の起重機船に相当するものである。

### I 主要寸法・形状

水中浮力4,000トン、沈船の大きさを長さ100m、巾16m、深さ10mとし、沈船は横転（90度）と想定して、浮力バージの主要寸法・形状について検討する。

#### ① 長さと巾

長さ及び巾は沈船のそれと同じ100m、16mとする。その面積（S）は、 $S = 100\text{m} \times 16\text{m} = 1600\text{m}^2$ となる。

② 深さ (D)

水中浮力 4,000 トンを得るために深さ (D) は、次式より求まる。

$$D = 4000 \div S (= 1600 m^2) = 2.5 m$$

③ 鋼材重量に対する調整

浮力バージに 4,000 トンの荷重を負荷させるための強度増加方法として浮力バージ内部に図 3.5.3.3 の如く、補強材を入れる。長さ方向を 9 分割、巾方向を 5 分割にする。このときの使用鋼材の総面積 (S<sub>1</sub>) は、次の通りになる。

$$S_1 = 3.500 m^2$$

従って、使用鋼材の厚さを 20 mm、比重を 7.85 とすると鋼材の体積 (V<sub>1</sub>) 及び重量 (W<sub>1</sub>) は、次の通りである。

$$V_1 = 3.500 \times 20 \times \frac{1}{1,000} = 70 m^3$$

$$W_1 = 70 m^3 \times 7.85 = 549.5 \text{ TON}$$

水中での鋼材の浮力を差し引くと、鋼材の水中重量 (W<sub>2</sub>) は

$$W_2 = 549.5 - 70 = 479.5 \text{ TON}$$

このときの浮力バージの空間 (浮力) は 4,000 トンであるので、鋼材の重量を考慮すると引揚浮力は正味

$4,000 - 479.5 = 3,520.5$  トンとなり、479.5 トン不足する。この分を補充するため深さを大きくする。

深さを 1 m 増加させると鋼材の水中重量は 104.1 トン増加し、また浮力は 1,600 トン ( $100 m \times 16 m \times 1 m$ ) 増加する。従って浮力の正味の増加量は  $1,600$  (トン) -  $104.1$  (トン) =  $1495.9$  (トン) となる。

従って、479.5 トンの浮力を補充するためには

$$479.5 \text{ (TON)} \div 1495.9 \text{ (TON)} = 0.32 \text{ (m)} \text{ となる。}$$

故に、浮力バージの深さは、 $2.5 \text{ (m)} + 0.32 \text{ (m)} = 2.82 \text{ m}$  となる。

従って浮力バージの形状・寸法は図 3.5.3.5 の如くなる。

ハ. 所要設備

本浮力バージを使用して沈船を引揚げるためには概ね次の設備を必要とする。

i. 注排水装置

浮力バージを沈船位置に吊り降すときは、区画内の空気を排出し、注水させるための装置である。

ii. 送気装置

沈船に浮力バージが取付けられた後に、浮力を附加させるための送気装置である。水深  $2,000 m$  の場合は最低  $200 \text{ kg/cm}^2$  の送気圧を必要とする。

iii. 沈船との引揚索取付装置

沈船と浮力バージを連結する引揚索の取付装置

IV トリム調整装置

浮力バージの吊降し、浮力附加、吊揚時の注排水によるトリム調整装置

V 浮力監視装置

浮力バージの各区画の浮力を監視する装置

VI 位置検知装置

浮力バージの水深及び沈船との相対位置を求める装置

VII 墓航装置

浮上した浮力バージを曳航するためのボラード等のバージ側の装置

③ 引揚索の取付方法

浮力バージと沈船の連結は引揚索を用いて行うが、引揚索の沈船側への取付け方には、沈船側の適当な位置にアイピースを溶接する方法があるが、現状の技術で1ヶ所当たり最低50トン以上の強度を有するアイピースを船体側に取りつけるには溶接強度と船体側の強度の点で問題がある。また、現状の船体構造では直接引揚索の取りつけに利用出来る所は見あたらない。従って引揚索の取付方法については必ずも既存の方法にとらわれず、可能性のある方法例として i) 沈船の船体構造の一部を利用する方法及び ii) 電磁石を利用する方法を取りあげ検討することとした。

i. 沈船の船体構造の一部を利用して引揚策を取付ける方法

i) 沈船側のアイプレート作成場所

本船は図3.5.3.5 「MID SECTION」に示すように、ホールドを狭んで両舷に「WING TANK」及び「VOID SPACE」を有し、かつ「WING TANK」は「WATER BALLAST TANK」として4区画に仕切られている。また「VOID SPACE」も2区画に仕切られ、それらの仕切板は船首尾方向に平行に配置されている。「UPPER DECK」から「TANK TOP」までの間にある6枚の仕切板をアイピースとして利用して浮力バージとの結着を行うよう計画する。

ii) アイプレートの個数

アイプレートの個数が少ない程作業効率は向上するが、反面使用するワイヤー及び使用金具が大型化になり、それらの操作が困難になると共に、利用する仕切板の厚さが定っているので、負荷にも制限がある。これらを勘案して、沈船の仕切板の厚さ及びこれを利用したアイピースにかける荷重（浮力）を次の通りに想定する。

1. 仕切板の厚さ ..... 20 (mm)

2. アイプレート1ヶ所にかける荷重 ..... 50 (トン)

従ってアイプレート及び引揚索の個数及び本数は、次の如くなる。

$$\text{沈船の水中重量 (4,000トン)} \div 50 (\text{トン/個}) = 80 (\text{個})$$

また、予備として10個用意し合計90個とする。浮力バージ側に用意する引揚索は同様に90本となる。

iii) アイプレートの配置

上記の90ヶのアイプレートを図3.5.3.7 「引揚索取付位置図」の如く等間隔に配置する。なお、フ

レームの骨材と重複する箇所は切断作業が難行することが予想されるので、そのような場所は避けるものとする。

#### IV アイプレートと引揚索との結着方法

通常用いられる結着方法は、図3.5.3-6の如くシャックル本体をアイピース上部から差し込み、ピンをシャックルに通し、ピンの他端をナットで固定し、ナットが逆転しないようピンに割りピンを差し込むことにより取付は完了する。

このようなシャックルの取付を潜水士が潜水不可能な深度で行う方法としては、潜水艇があるが、現在のマニュピュレータの能力では不充分であり、今後、大巾に改良すべき点が残されている。

こゝでは、シャックルの代用として図3.5.3-8のような専用結着金具を使用するものとして作業を計画する。

本金具は、アイプレート上から差し込む動作だけで結着が完了する事に主眼を置いて起案するものであり、他に同機能により操作が簡単でかつ作動が確実なものがあればそれに代るものとする。

#### V 浮力バージと結着金具との連結

結着金具と浮力バージとの連結及び結着金具同志の間隔保持は図3.5.3-9の如く行う。

結着金具は、必要に応じて、海中での操作が容易になるよう浮力装置を取付ける。

#### VI 結着金具と仕切板の強度の推算

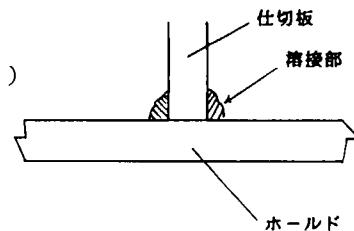
##### ① 仕切板と船体ホールドとの溶着強度について

仕切板はNo.1ホールドからNo.5ホールドまでの間、船首尾方向に図3.5.4-0のような構造となっている。この仕切板に結着金具を取り付け、海面側に浮力バージにて引揚げた場合、仕切板がNo.1ホールドと分離することも考えられるのでこの点について推算した。

仕切板の厚さを20mmとし、ホールド側とは「Tすみ肉溶接」にて溶接されているものとする。

(図3.5.4-1参照)また、仕切板は軟鋼とし、溶接による引張強度を800kg/cm<sup>2</sup>とすると仕切板全体では、ホールド部分と

$$2\text{cm} \times 1,000\text{kg} \times 5.2 \times 100\text{cm} = 10,400\text{ (トン)}$$



安全率を3倍としても、その強度は

$$10,400\text{トン} \div 3 = 3,466\text{ (トン)}$$

図3.5.4-1 「仕切板の溶接部」

となる。

実際に、結着金具で仕切板にかける力は、仕切板が全体で6枚あり、また、必要浮力は4,000トンであるので、1枚の仕切枚にかかる荷重は

$$4,000 \div 6 = 667\text{トン}$$

従って、仕切板は引揚浮力に充分耐えられる強度を有する。

#### ④ 仕切板と結着金具との関係

仕切板に結着金具を取付けた場合、仕切板が破れることも考えられるので、この点について以下の如く検討した。

結着金具を介して、仕切板に浮力 50 トンを負荷すると、仕切板の開口部と結着金具の接触面の長さ ( $\ell \text{ cm}$ ) は仕切板の厚さは 20 mm と一定であるので、仕切板の面圧許容応力を 2 トン/ $\text{cm}^2$  とすると、次式より

$$50 \text{ (トン)} = 2.0 \text{ (トン}/\text{cm}^2) \times 2 \text{ (cm)} \times \ell \text{ (cm)}$$
$$\ell = 12.5 \text{ (cm)}$$

即ち開口部と結着金具の接触面を 12.5 cm 以上にとれば 50 トンの浮力をかけても、仕切板は変形を生じない。

また、開口部の上端と仕切板の上端との距離は、開口長さの 1.5 倍以上にとれば、開口部にかかる応力は仕切板に吸収され、仕切板に変形は生じない。更に、接触する開口部は 3.4 m 離れているので、開口部同志の応力の影響もほとんど無いものと思われる。従って、仕切板の開口寸法は図 3.5.4.2 の如くなる。

#### VII 吊金物（シャックルとアイプレート、ワイヤー）

浮力バージ側に使用する 50 トン用シャックルとアイプレートの形状及び寸法は図 3.5.4.3 「浮力バージ側の吊金物」に示した。

#### VIII 結論

船体の一部を切断、加工し、引揚索を、沈船に取付ける方法について検討したがなお残された課題としては以下の事項がある。

##### ① 沈船の外板の切断方法

現状では板厚 20 mm の鋼板を連続的に切断する機具が無いので、口径の大きいドリルで切断予定ラインに沿って、連続的に穴を開け、隣接部のみをカッターにて切落してゆく。それらの動力は油圧が主体となるものと思われる。

##### ② 引揚索の取付方法

沈船との引揚索の結着は差し込み式の金具を用いる方式を考えたがその本数が多い（90 本）ことと、取付間隔が短い（約 1.5 m）ため同時に全てを差し込むことは不可能であり、引揚索 1 本ごとにリモコン方式にて上下の動作が可能なようにする必要がある。また、差し込み位置への誘導及びその確認は、潜水作業艇等を別途考える必要がある。

##### ③ 浮力バージの誘導

沈船の直上に浮力バージを誘導させるため、その水平、垂直的位置を正確に把握する必要がある。また、その制御方法も必要である。

##### ④ 引揚索へかかる荷重の均等化

引揚索は揚荷重 4,000 トンを 80~90 に分割した本数であり、これらに荷重が均等にかかるよう考慮する必要がある。

今後、更にこれらの課題について検討を重ねる必要がある。

#### 四、電磁石使用による沈船引揚の検討

水深 2,000 m から沈没船を引揚げる一手法として電磁石を使用する方法にて正立している沈船を対象

にして、その引揚について検討した。

### i) 沈船の引揚方法の概要

- i) 図 3.5.4.4 に示すように引揚に必要な浮力は、先の浮力バージを二基に分割し、沈船の左舷側及び右舷側より取付ける
- ii) 各浮力バージからは船側及び上甲板吸着用電磁石を吊り下げる。船側用電磁石は一つの枠に一列全数を固定して使用する。甲板用電磁石は個々の磁石が自由になるようにチェン等で連結する。
- iii) 浮力バージを吊降索、サイドスラスターを使用することにより移動させ、位置決めを行なったのち吊り下し、電流を流し、電磁石を吸着させる。
- iv) 上記作業は、浮力バージ底部に設置した ITV 又は小型潜水艇により監視される。
- v) 電磁石が確実に吸着したことを確認したのち、浮力バージにエアを注入して船体に浮力を与え、引揚げる。

### ii) 電磁石の必要数

#### i) 電磁石の仕様

- |                |            |                              |
|----------------|------------|------------------------------|
| (i) 形 式        | 鋼板吊上用角型電磁石 | (図 3.5.4.5)                  |
| (ii) 尺 法       | 吸着面        | $1.5 \times 0.6 \text{ m}$   |
| (iii) 吊上能力(目安) | 船側吸着       | $5 \text{ t} / 1 \text{ ケ}$  |
|                | 上甲板吸着      | $10 \text{ t} / 1 \text{ ケ}$ |

#### ii) 上甲板用電磁石

- |                       |  |
|-----------------------|--|
| (i) 有効上甲板面積           | $360 \text{ m}^2$                                  |
| (ii) 強度上上甲板に配置できる電磁石数 | $4 \text{ m}^2 \text{ 当り } 1 \text{ ケ}$            |
| (iii) 上甲板用電磁石数        | 90 ケ   |
| (iv) 全吊上力             | $90 \text{ ケ} \times 10 \text{ t} = 900 \text{ t}$ |

#### iii) 船側用電磁石

- |                   |         |
|-------------------|---------|
| (i) 沈没船の水中重量      | 4,000 t |
| (ii) 船側用電磁石の分担吊上力 | 3,100 t |
| (iii) 必要電磁石数      | 620 ケ   |
| (iv) 全必要電磁石数      | 710 ケ   |

### iii) 結論

本方法の実現には、以下に示す如き課題があり、更に検討を必要とする。

- 1) 多数の電磁石を所定の位置に正確に設置する方法
  - 2) 個々の電磁石を船体に確実に吸着させること
  - 3) 沈没船と浮力タンク間のワイヤー張力均一化
  - 4) 電磁石等電気関係の水密、及び給電方法
- (4) 引揚を可能にする技術的要件

これまで、種々の方法について検討を行って来たが、直ちに実現可能な方法は見あたらない。我が国においては、水深  $2,000 \text{ m}$  は昨今ようやく調査用の潜水艇が開発されたばかりであり、その作業性については、主に海底の視認調査や高々数 kg の海底生物・鉱物のサンプル採取の範囲内であり、これまで検討を行って来た自重 4,000 トンの沈船を引揚げるに必要な作業に直接役立つ機能は、現時点では未知数である。

本項では、これまでの検討をふりかえり、水深 2000m から 4,000 トンの沈船を引揚げるに必要な基本的な技術要件について抽出し、今後の課題とするものである。

#### ① 深海作業用有人式潜水装置の開発

沈船の沈没状況は予測出来ないので、海中作業は人間の判断力にて行うことが基本方針と思われる。

##### 要求性能

###### イ. 沈船上の任意の位置に移動可能のこと

マニピュレータにより、20mm鋼板の連続切断、また最低 500mm 程度の削孔機能を有すること。

ロ. グラブ機能として最低 1,000kg 程度の重量物を保持・移動させることができること。

ハ. 長期間（最低 20 日）海中作業用潜水艇等にて連続生活が維持できること。

マニピュレータの操作半径は最低 5m 以上あること。

#### ② 支援母船等

作業用潜水装置の作業中及び緊急時に対処しうる全ての支援が可能な事。特に定点保持機能は必須条件となる。

これらの概念として図 3.5.4.6 にシステム概念図を、図 3.5.4.7 に作業用有人カプセルの概念図を示した。

### 3.5.4 あとがき

サルベージ作業とは遭難船舶の救助である。この意味に於いて、沈船の引揚は、今日の段階では、水深の点で 50m 前後を作業の限界としている。その理由は 50m を越える水深に沈没した船舶は、損傷が激しい上、引揚作業のコストが大巾に高くなり、船体に附保された保険金額内での救助が不可能となるためである。しかし、タンカーの如き積載荷物が海洋に及ぼす影響が著しい場合は、船体救助とは別の目的、即ち公害防止の意味で水深 50m を越える水深から引揚げが行なわれる場合もある。これらを含めて今までに行なわれた沈船引揚の実績は、水深 80m、船体総トン数約 1,000 トンのケースが一例あるだけで、それ以外は海底へ放置されている。従って、大水深から大型船を引揚げるに必要な技術開発はサルベージ的見地からは着手されていない。またサルベージが船舶の突発的事故（アクシデント）に対処するリスクの大きい産業である点も、採算性を重視する民間企業の先行投資による技術開発を困難にしている一つの大きな要因である。

今回、水深 200m 及び 2,000m からの沈船の引揚を検討したが、このうち水深 200m からの引揚は一般に可能であると云われて来たが、その技術的裏付けを行ったのは今回が初めてであり、その意味では成果の一つとして挙げられる。しかしその手法は現在の水深 50m で行なわれている手法の延長であり、また引揚作業の基本技術である深海潜水作業技術は欧米の海洋石油開発に附帯する支援技術として開発されたものを応用するものであり、現実に実施するには、その準備・段取りにかなりの時間が必要であり、今後に残された課題の一つと思われる。

水深 2,000m からの引揚げについては、沈船内部に浮力球を充填し沈船自体に浮力を与え浮上させる方法、及び浮沈式浮力バージを沈船に取付け浮上させる方法等について検討し、それらを実現するまでの課題をまとめ各方法の結論とした。いずれの方法においても、水深 2,000m に於いて引揚に必要な海中作業を如何にして行うかが最も大きな課題であり、かつ 2,000m からの引揚を可能にする技術的要件でもある。今回はそれにアプローチする一例として深海作業用有人式潜水装置を概念的に紹介したにすぎず、技術的な検討には到っていないので、今後とも検討を重ねてゆく必要がある。

水深 2,000m から重量 4,000 トンの沈船を引揚げるという課題は国の内外を問わず本検討が初めてであり、それだけに残された課題は質的にも量的にも多いが、使用済核燃料の海上輸送の安全性を究極的に確保する意味に於いて、意義のある課題と云える。

表 3.5.1 「サルベージ作業手順」

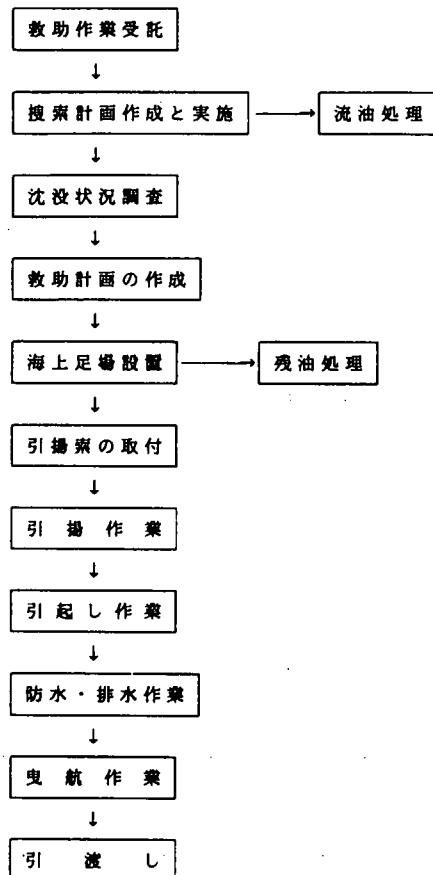


表 3.5.2 「起重機船の能力」

船名	吊能力	フック1ヶ当たりの負荷荷重	フックの数量	揚程
武蔵	3,000トン	750トン	4ヶ	100m
金剛	1,600トン	800トン	2ヶ	81m

表 3.5.3 「引揚ワイヤーの仕様」

用途	使用荷重	切断荷重	規格	仕立	種類	単位重量
台付ワイヤー	100(トン)	576(トン)	準JIS 6号	6×37	B種	35.9(kg/m)

使用本数	1本の長さ	1本の重量	台付ワイヤーの全重量
20(本)	420(m)	15(トン)	302(トン)

表 3.5.4 「短時間潜水による潜水効率の比較」

潜水方式	潜水深度	潜水時間	減圧時間	総潜水時間	潜水効率
空気潜水	30(m)	30(分)	4(分)	34(分)	88.2(%)
空気潜水	50(m)	30(分)	55(分)	85(分)	35.2(%)
混合ガス潜水	150(m)	30(分)	500(分)	530(分)	5.6(%)

表 3.5.5 「飽和潜水時の潜水効率」

潜水方法	潜水深度 (飽和)	潜水時間	減圧時間	総潜水時間	潜水効率
飽和潜水	180m	20(日)	8(日)	28(日)	71.4(%)

表 3.5.6 「引揚作業用主要資機材」

船名	用途	能力	備考	L × B × D (m)
3,000トン吊起重機船	起重機船	3,000トン吊	吊りフック750トン/ヶ×4	107×49×8
1,600トン吊起重機船	起重機船	1,600トン吊	吊りフック800トン/ヶ×2	85×38×6
大型台船	潜水母船	3596総トン	外航型台船	89×22×6
S.D.C-150	短時間潜水用	最大150m	最大収容人員 3名	
D.D.S-1	飽和潜水用	最大300m	最大収容人員 4名	
はくよう	潜水調査用	最大300m	最大収容人員 3名	3名乗り

表 3.5.7 「F.O タンク容量内訳」

単位  $m^3$ 

タンク名称	左舷タンク	右舷タンク	センタータンク	位置 FRAME No.
No.1 D.Bタンク	1) 8.9	2) 8.9	—	100-115
No.2 "	3) 4.6	4) 4.6	5) 1.15	86-100
No.3 "	6) 6.0	7) 6.0	8) 1.29	68-86
No.4	9) 4.6	10) 4.6	11) 9.7	54-68
No.5	12) 5.3	13) 5.3	14) 1.25	36-54
船首 D.Bタンク	—	—	15) 4.6	115-123
	29.4	29.4	51.2	1,100

## その他のタンク（油関係）

- i. D.O SETTLING TANK
- ii. MAIN F.O SETTLING TANK(2ヶ所,
- iii. D.O DRAIN TANK
- iv. F.O DRAIN TANK
- v. BILGE STORAGE TANK

vi. STERN TUBE L.O DRAINTANK

vii. D.O OVER FLOW TANK

表 3.5.8 「所要日数」

ダイバー数	4名
作業時間	8時間
作業効率	2日／ヶ所
所要日数	$30 \div 2 = 15$ 日
予備日	3日
合計所要日数	18日

(但し準備期間は除く)

表 3.5.9 作業工程表

作業項目	所要日数 (日)	15	30	45	60	75	90	105
1 沈船調査	(15)							
2 費材調達	(20)							
3 作業船の繕装	(20)							
4 海上足場の設置	(20)							
5 残油処理			(18)					
6 引揚索の取付					(30)			
7 引揚作業						(15)		
8 引起し作業							(6)	
9 浮揚・排水作業								(3)
10 収航作業								(3)
主要船舶資材								
1) 3,000トン吊起重機船(1)								
2) 1,600トン吊起重機船(1)								
3) 潜水作業母船 (1)								
4) 転鋪船 (1)								
5) 作業台船 (2)								
6) 大型曳船 (3)								
7) 雷 汎 船 (3)								
8) 交 通 船 (2)								
9) 作業艇 (4)								
10) 潜水艇 (1)								

表 3.5.10 「浮力球の諸元」

モデル No.	外径(cm)	内径(cm)	空中重量(kg)	水中浮力(Ton)	体積(m³)	浮力/体積
2040-10V	25.4	23.6	4.1	0.0045	0.00687	0.655
2040-13V	33.0	30.7	7.7	0.0113	0.0188	0.601
2040-17V	43.2	40.4	17.7	0.0173	0.0345	0.501

\* 本数値は米国ベントス社のカタログを参考にした  
耐圧はいずれも 6,700m以上

表 3.5.11 「浮力球の充填区画と浮力及び個数

	船内区画名	想定容積( $m^3$ )	浮力(トン)	浮力球個数(ヶ)
ホールド	No 1 ホールド	618	323	71,778
	No 2 ホールド	643	336	74,666
	No 3 ホールド	848	443	98,444
	No 4 ホールド	576	301	66,888
	No 5 ホールド	864	451	100,222
ウイング・タンク	No 1 (P)	84	43	9,555
	No 2 (P)	131	68	15,111
	No 3 (P)	142	74	16,444
	No 4 (P)	146	76	16,888
	No 5 (P)	151	78	17,333
	No 6 (P)	181	94	20,888
	No 7 (P)	150	78	17,333
	No 8 (P)	147	76	16,888
船首部	COFFERDAM	57	29	6,444
	VOID SPACE	330	172	38,222
	PASS-WAY	263	137	30,444
船尾部	FORE PEAK TANK	107	55	12,222
	EMERG'Y GENERATOR & BOSUN'S STORE	140	73	16,222
		114	59	13,111
	SWICH BOAD ROOM	81	42	9,333
	FOREWARD GENERATOR ROOM	113	59	13,111
居住区	MAIN MACHINARY SPACE (A)	243	127	28,222
	〃 (B)	302	157	34,888
	CASING	264	138	30,666
		157	82	18,222
	SHAFT SPACE	139	72	16,000
	AFT GENERATOR ROOM	172	89	19,777
	MACHINERY	144	75	16,666
		132	69	15,333
	AFT PEAK TANK	76	39	8,666
	STEARING GEAR COMPARTMENT	57	29	6,444
客室	REFRIG SPACES	57	29	6,444
	OFFRS LOUNG	40	20	4,444
	DINING SALOON	48	25	5,555
	合 計	7,810	4,066	903,540

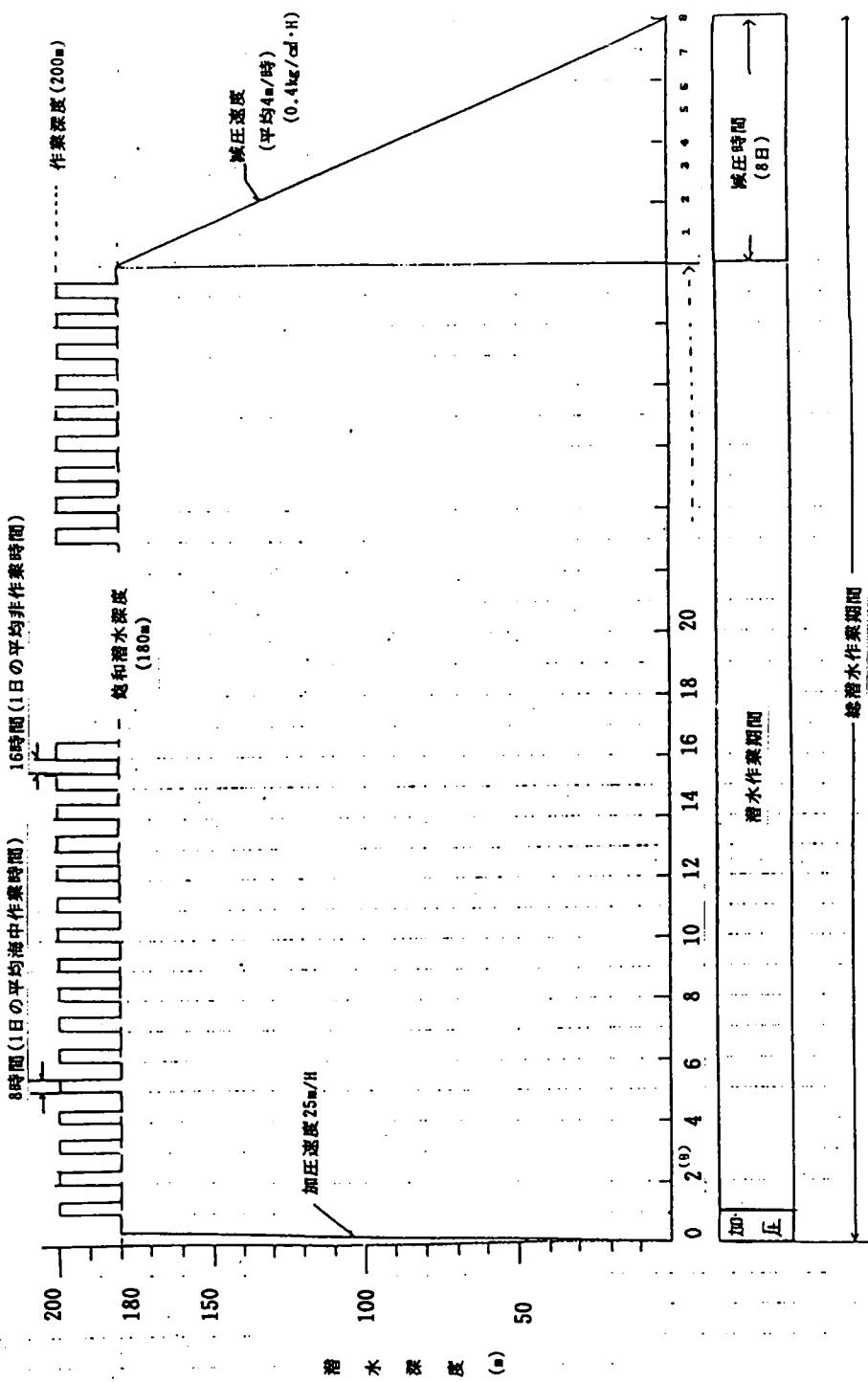


図 3.5.1 鮑和潜水加減圧要領図

ウインチの力量及び数

主 機 用	42t 2(複胴)×4台
起 伏 用	47t 8(複胴)×2台
一 本 帆 用	15t × 8台
呼 达 用	10t × 4台
操 船 用	24t × 8台
錨 用	45t × 4台
デリック用	5t × 2台
ウインドラス	60t × 1台

船 体	長 さ	107m00					
	幅	49m00					
	深 さ	8m00					
機 器 能 力	ジブ傾斜角度	63.5°	55°	45°	35°	25°	
	定格荷重	3000t	1800t	1000t	400t	0	
	一ジブ定格荷重	1500t	900t	500t	200t	0	
	揚 保	No 1.3 フック	100m0	91m0	79m0	64m0	38m0
		No 2.4 フック	106m0	96m0	82m0	66m0	39m0
	張 出	No 1.3 フック	30m8	47m6	64m3	78m5	92m8
距 離	No 2.4 フック	38m5	55m8	72m7	87m0	100m7	
捲 上 速 度	1.25m/min						

註) 極限は定格負荷時、張出距離は無負荷時を示す。

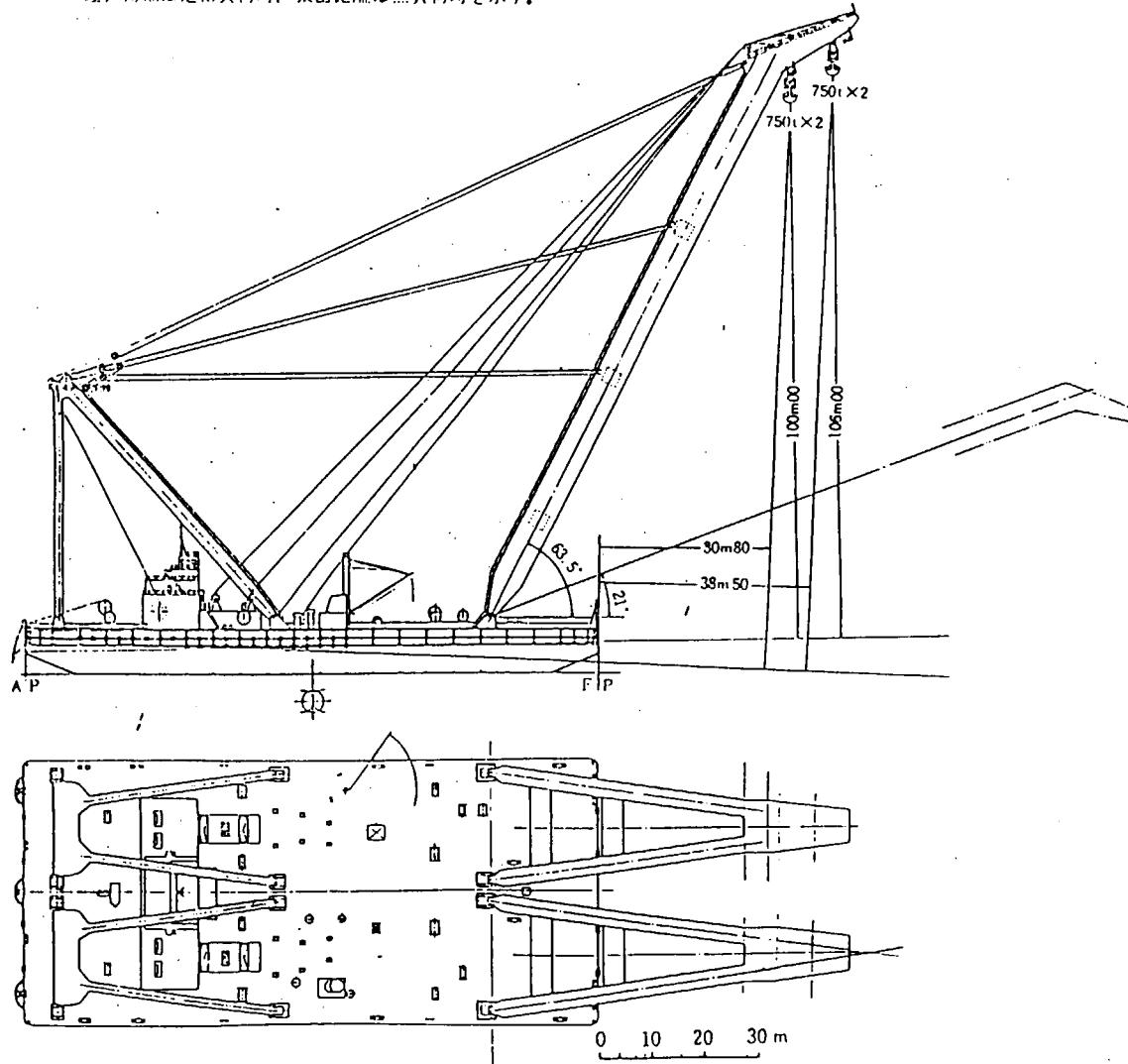


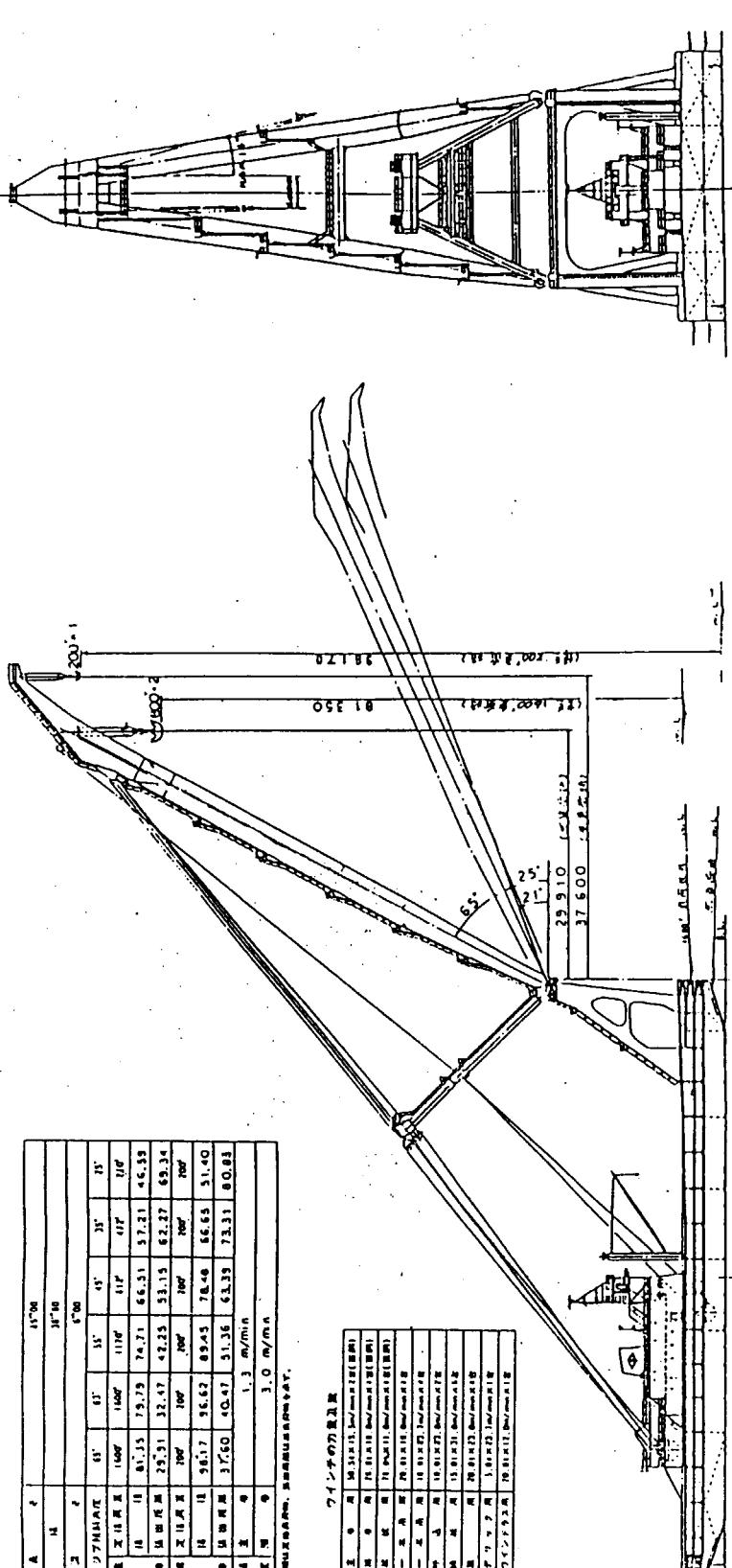
図 3.5.2 「3,000トン吊起重機船」

主要目次

M	A	2	15'00
M	A	4	34'10
M	2	4	6'00
フクダハイテク	45'	63'	55'
スズキ	1,600t	1,600t	1,110t
スズキ	81.33	79.79	74.71
スズキ	29.31	32.43	42.25
スズキ	18	18	18
スズキ	56.17	56.62	89.45
スズキ	31'60	40.67	51.36
スズキ	0	0	1.3 m/min
スズキ	0	0	3.0 m/min

(1) 船内構造図、船外構造図、機器構造図等。

ワインチの力量表	
1	2
2	3
3	4
4	5
5	6
6	7
7	8
8	9
9	10
10	11
11	12
12	13
13	14
14	15
15	16
16	17
17	18
18	19
19	20
20	21
21	22
22	23
23	24
24	25
25	26
26	27
27	28
28	29
29	30
30	31
31	32
32	33
33	34
34	35
35	36
36	37
37	38
38	39
39	40
40	41
41	42
42	43
43	44
44	45
45	46
46	47
47	48
48	49
49	50
50	51
51	52
52	53
53	54
54	55
55	56
56	57
57	58
58	59
59	60
60	61
61	62
62	63
63	64
64	65
65	66
66	67
67	68
68	69
69	70
70	71
71	72
72	73
73	74
74	75
75	76
76	77
77	78
78	79
79	80
80	81
81	82
82	83
83	84
84	85
85	86
86	87
87	88
88	89
89	90
90	91
91	92
92	93
93	94
94	95
95	96
96	97
97	98
98	99
99	100
100	101
101	102
102	103
103	104
104	105
105	106
106	107
107	108
108	109
109	110
110	111
111	112
112	113
113	114
114	115
115	116
116	117
117	118
118	119
119	120
120	121
121	122
122	123
123	124
124	125
125	126
126	127
127	128
128	129
129	130
130	131
131	132
132	133
133	134
134	135
135	136
136	137
137	138
138	139
139	140
140	141
141	142
142	143
143	144
144	145
145	146
146	147
147	148
148	149
149	150
150	151
151	152
152	153
153	154
154	155
155	156
156	157
157	158
158	159
159	160
160	161
161	162
162	163
163	164
164	165
165	166
166	167
167	168
168	169
169	170
170	171
171	172
172	173
173	174
174	175
175	176
176	177
177	178
178	179
179	180
180	181
181	182
182	183
183	184
184	185
185	186
186	187
187	188
188	189
189	190
190	191
191	192
192	193
193	194
194	195
195	196
196	197
197	198
198	199
199	200
200	201
201	202
202	203
203	204
204	205
205	206
206	207
207	208
208	209
209	210
210	211
211	212
212	213
213	214
214	215
215	216
216	217
217	218
218	219
219	220
220	221
221	222
222	223
223	224
224	225
225	226
226	227
227	228
228	229
229	230
230	231
231	232
232	233
233	234
234	235
235	236
236	237
237	238
238	239
239	240
240	241
241	242
242	243
243	244
244	245
245	246
246	247
247	248
248	249
249	250
250	251
251	252
252	253
253	254
254	255
255	256
256	257
257	258
258	259
259	260
260	261
261	262
262	263
263	264
264	265
265	266
266	267
267	268
268	269
269	270
270	271
271	272
272	273
273	274
274	275
275	276
276	277
277	278
278	279
279	280
280	281
281	282
282	283
283	284
284	285
285	286
286	287
287	288
288	289
289	290
290	291
291	292
292	293
293	294
294	295
295	296
296	297
297	298
298	299
299	300
300	301
301	302
302	303
303	304
304	305
305	306
306	307
307	308
308	309
309	310
310	311
311	312
312	313
313	314
314	315
315	316
316	317
317	318
318	319
319	320
320	321
321	322
322	323
323	324
324	325
325	326
326	327
327	328
328	329
329	330
330	331
331	332
332	333
333	334
334	335
335	336
336	337
337	338
338	339
339	340
340	341
341	342
342	343
343	344
344	345
345	346
346	347
347	348
348	349
349	350



航 行 区 域	遠洋(国際航海)
船 級	N K
長 さ (全長)	89m71
幅 (型)	22m00
深 さ (型)	6m00
滿 載 吃 水	4m536
載 荷 重 量	7000t
總 ト ン 数	3596T52
純 ト ン 数	3582T64

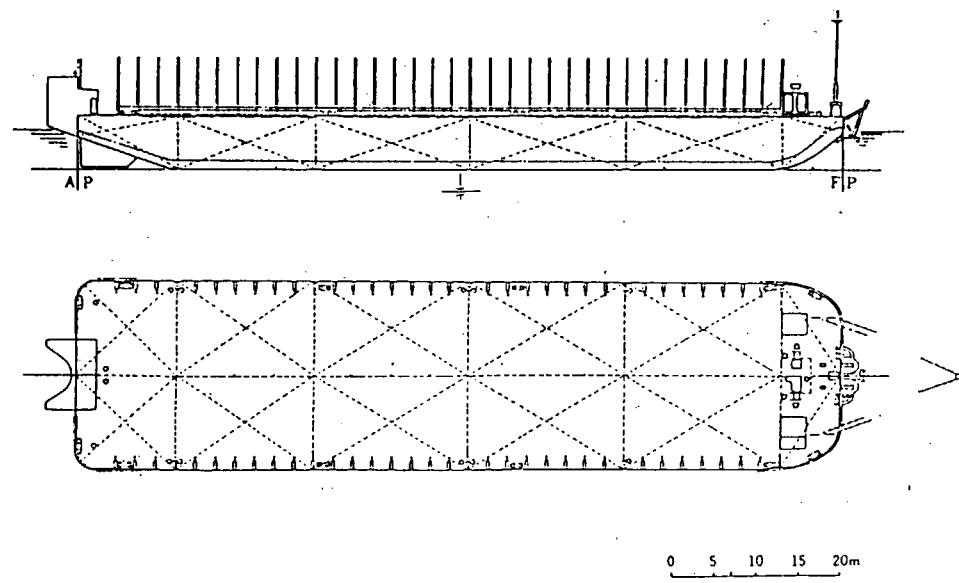


図3.5.4 「大型作業用台船」

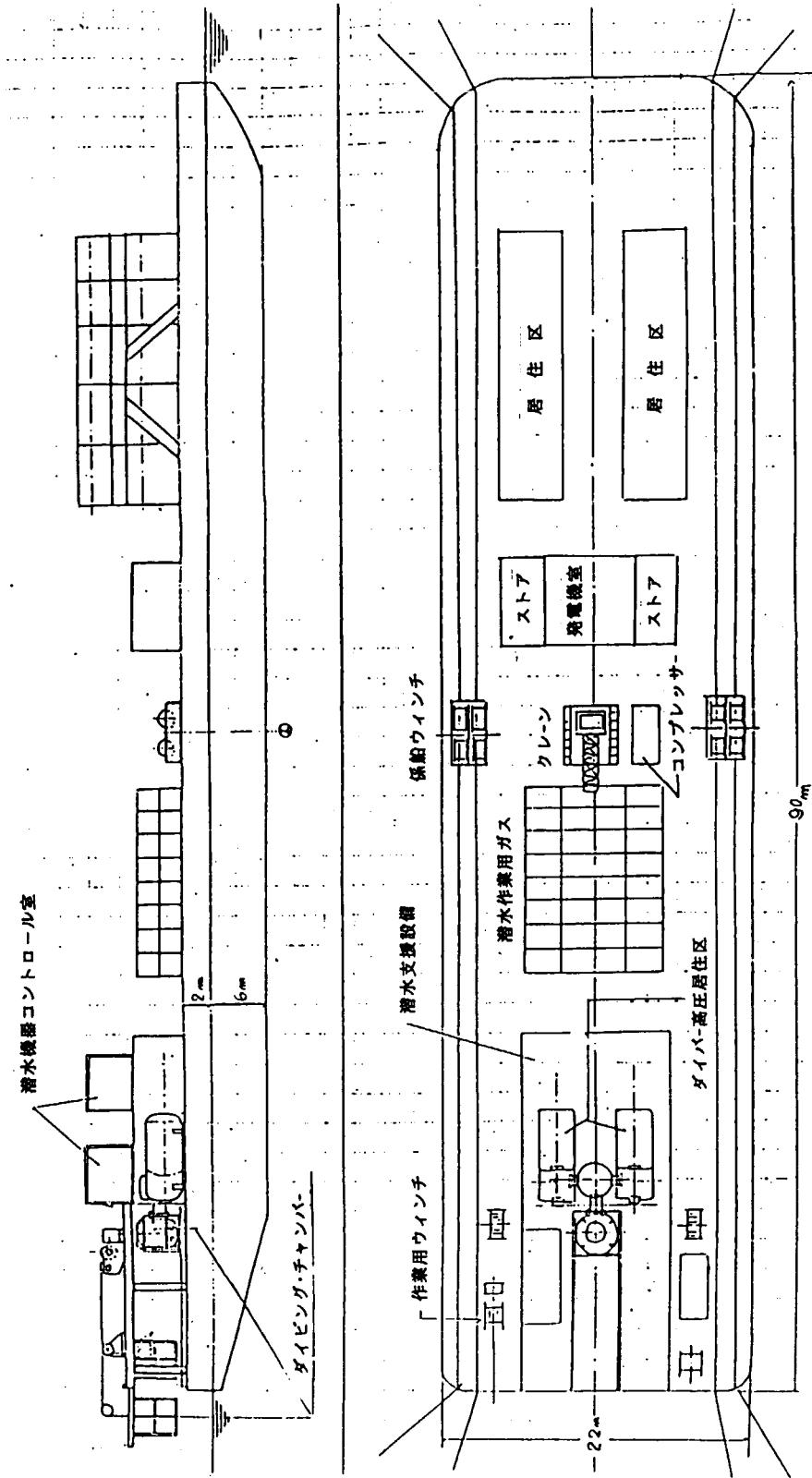


図 3.5.5 「200m飽和潜水支援母船」

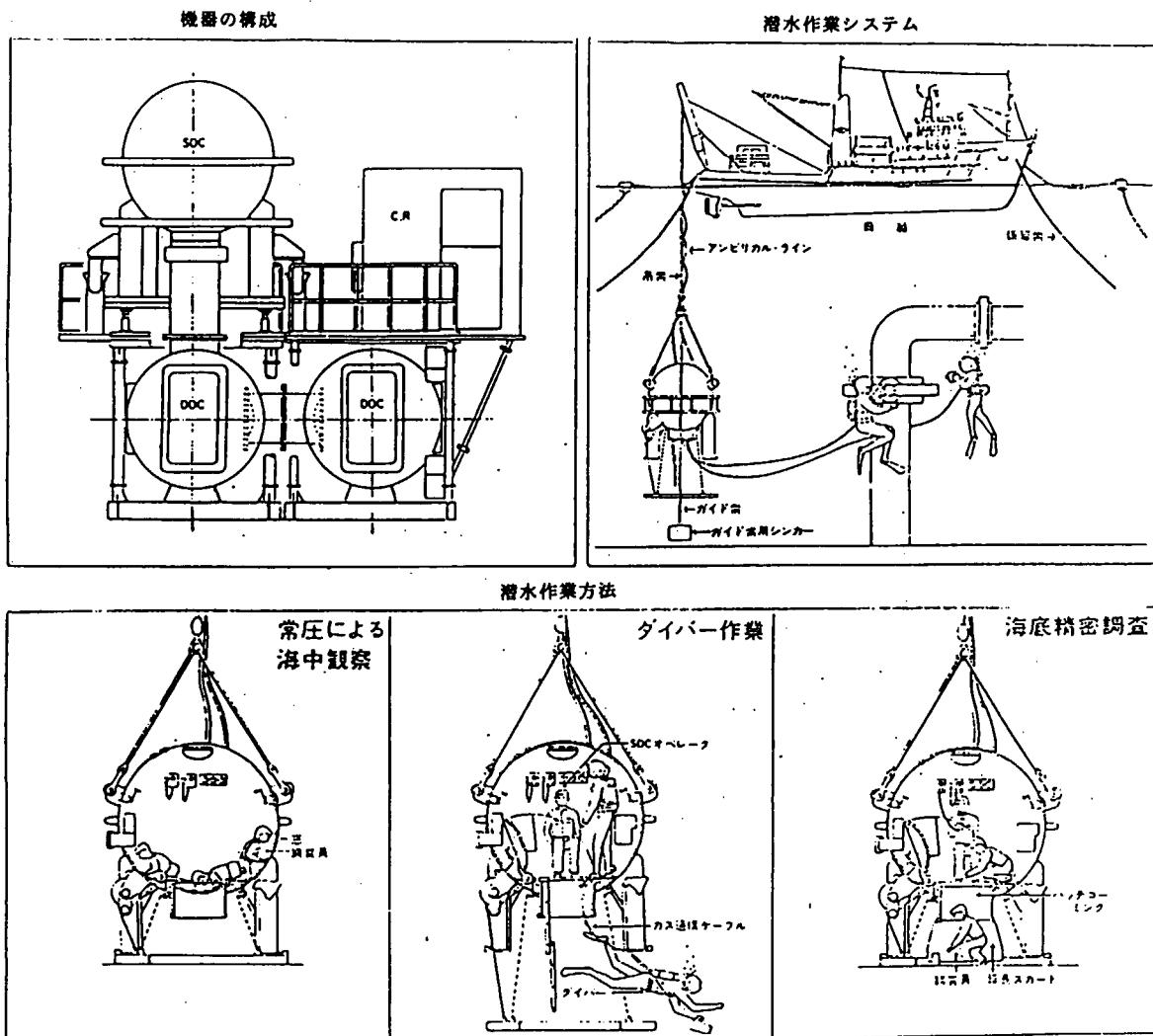


図3.5.6 「混合ガス潜水システム」

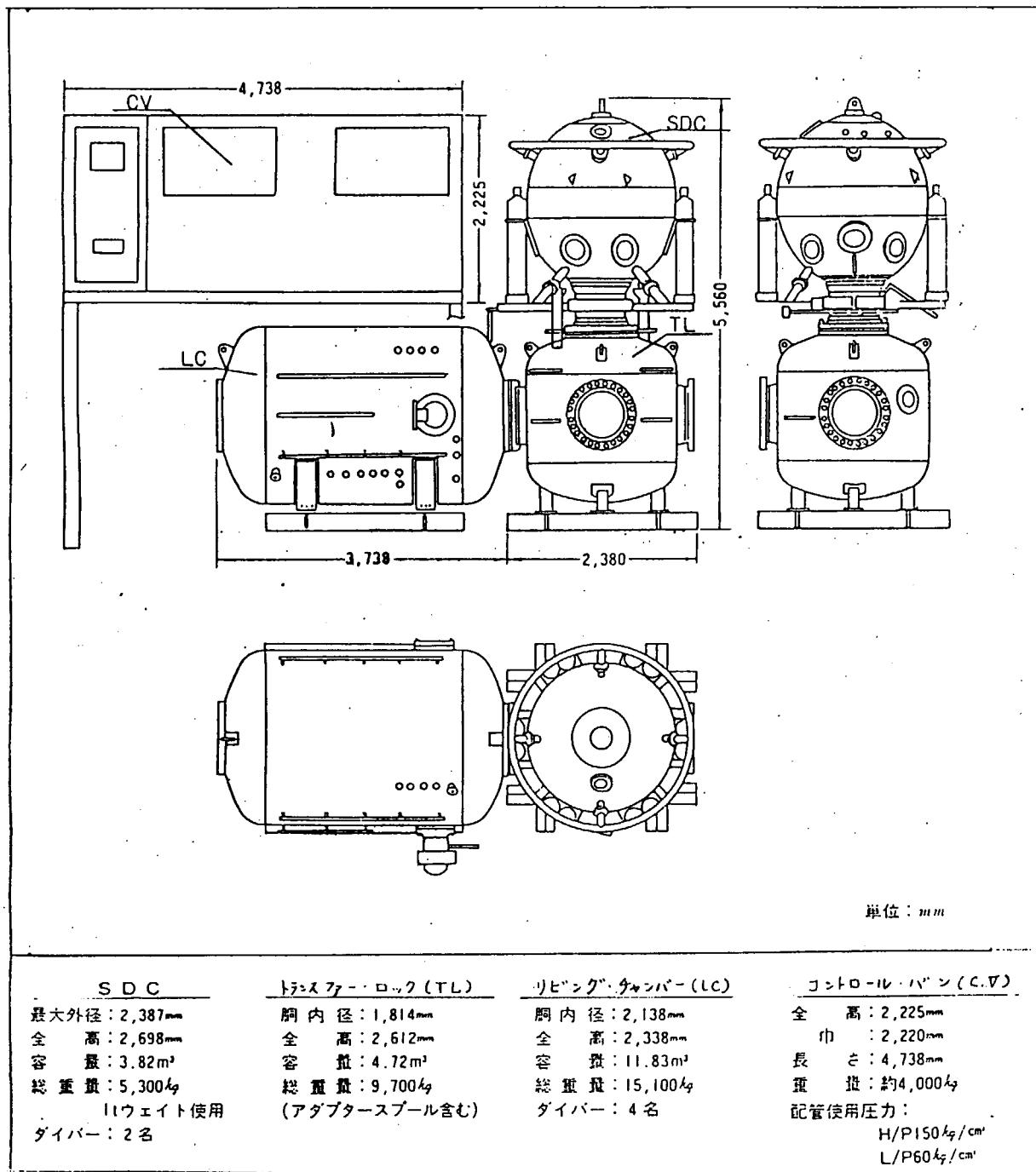


図 3.5.7 「飽和潜水機器構成図」

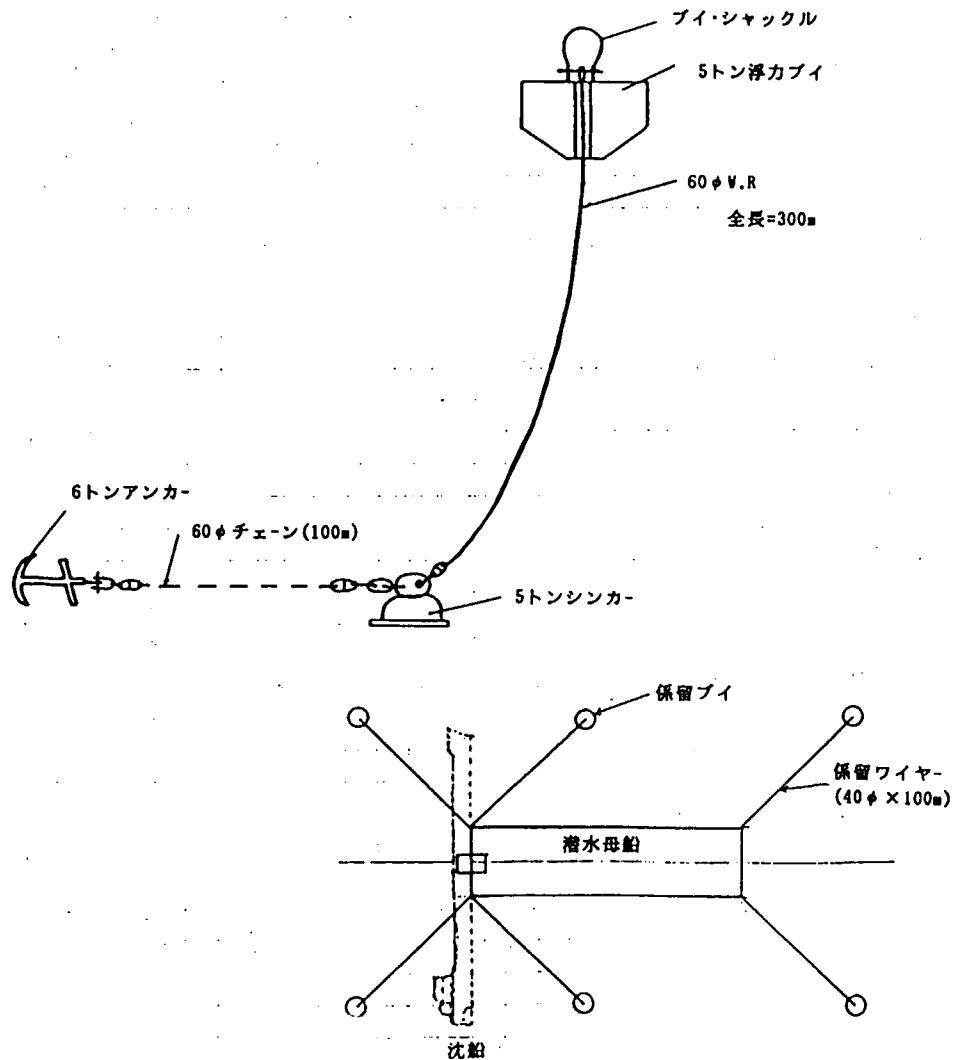


図3.5.8 「係留要領図」

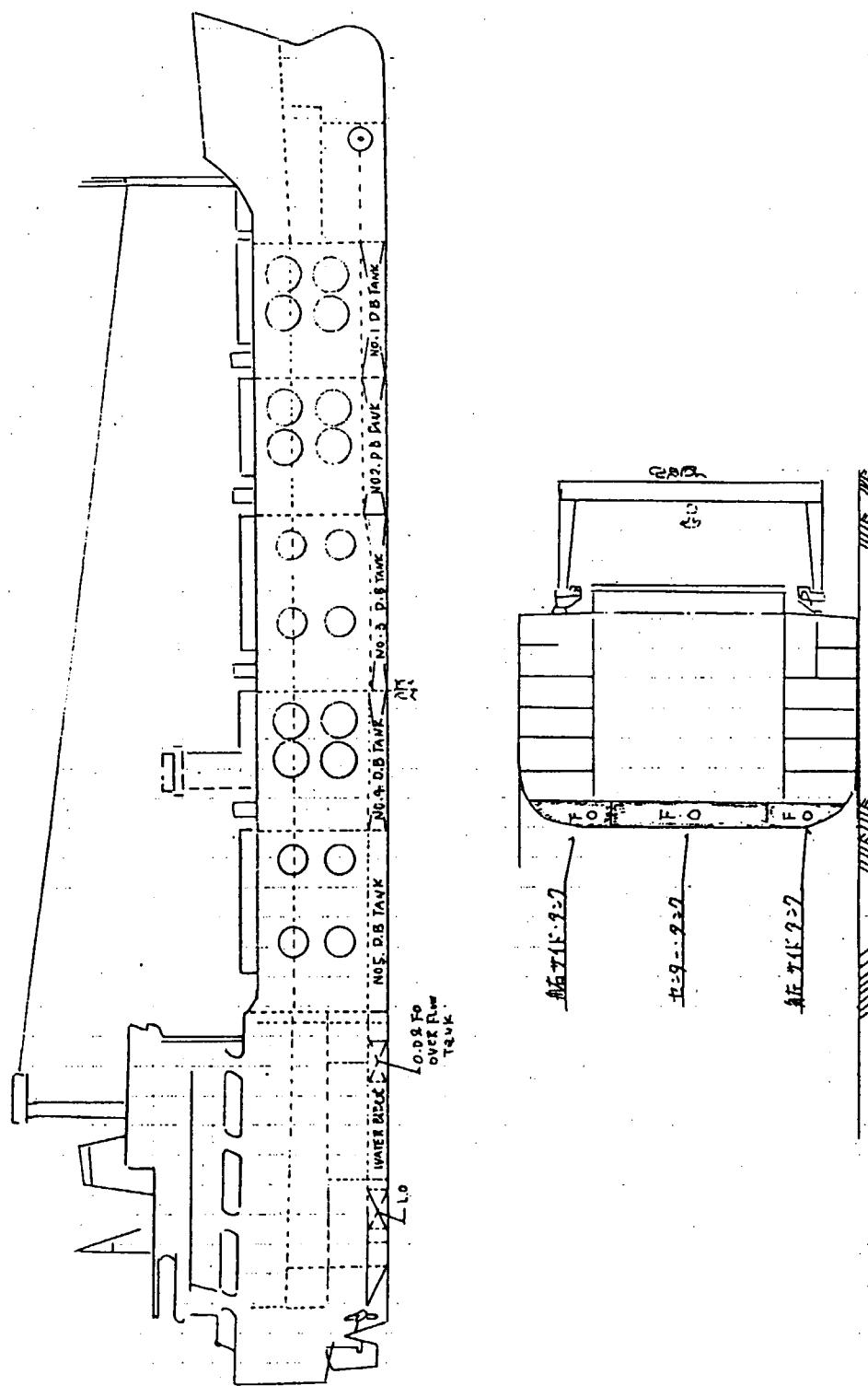


図 3.5.10 「残油タンク配置図」

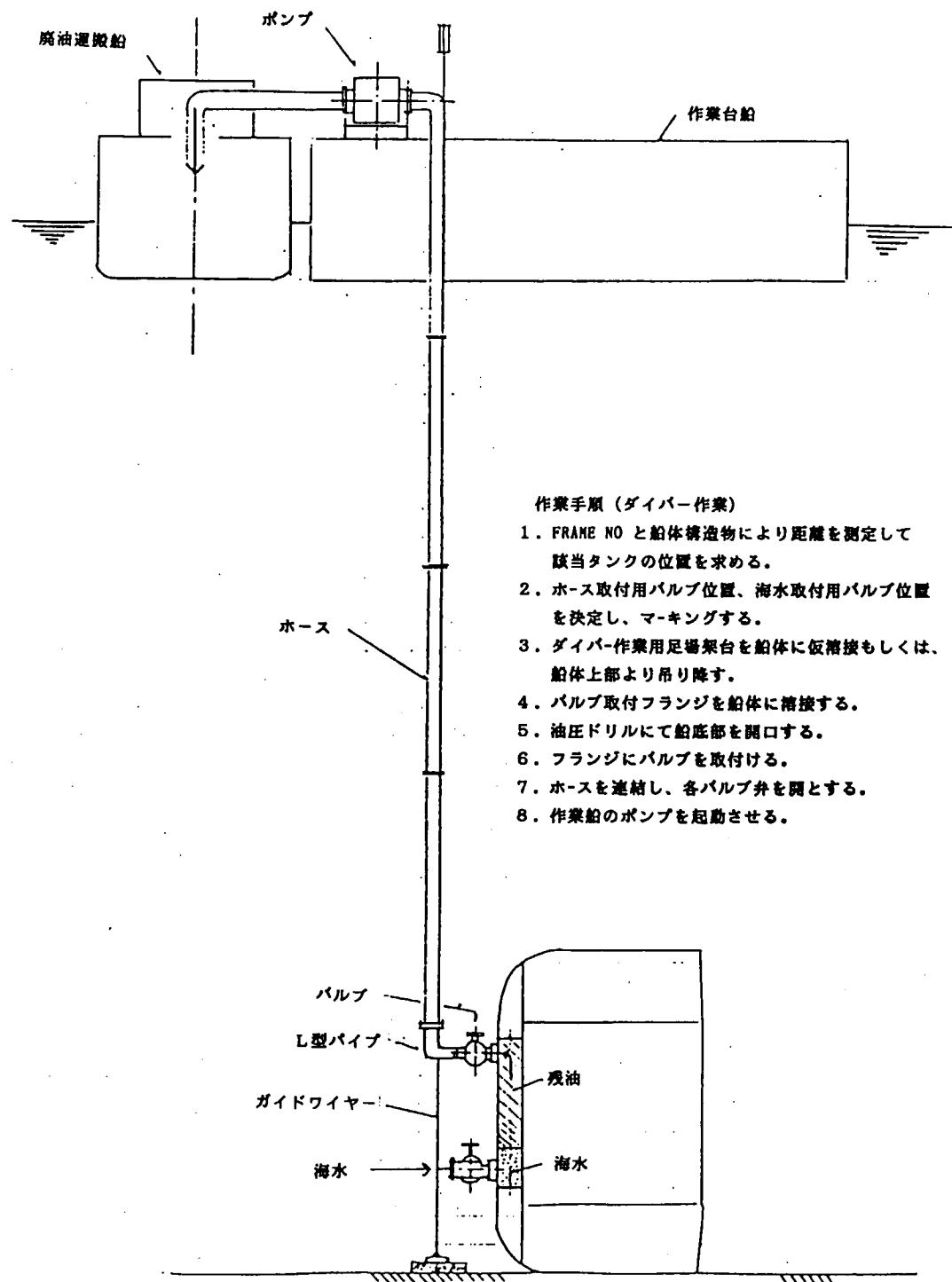


図 3.5.11 「残油処理要領図」

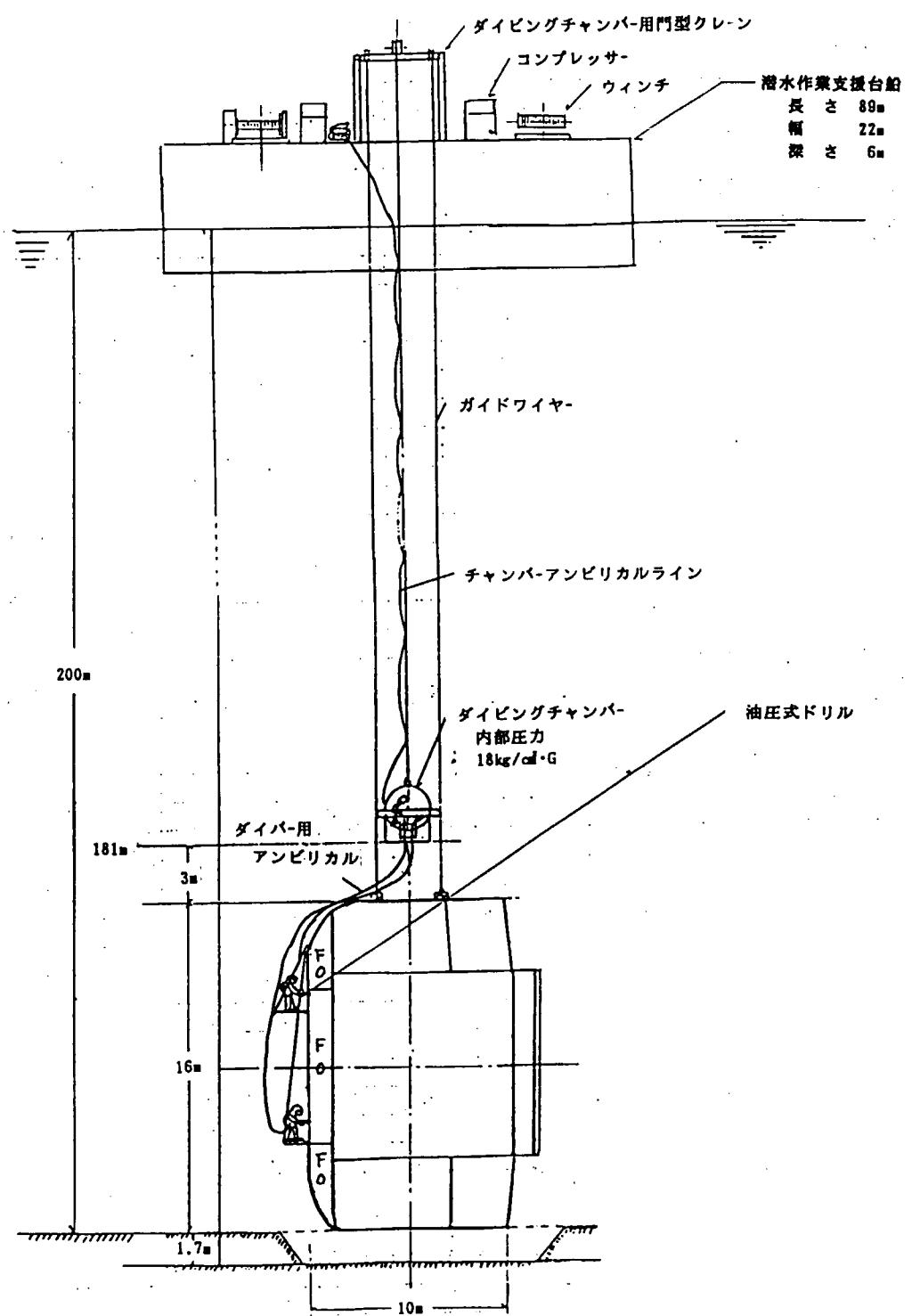


図 3.5.12 「残油処理用開口潜水作業要領」

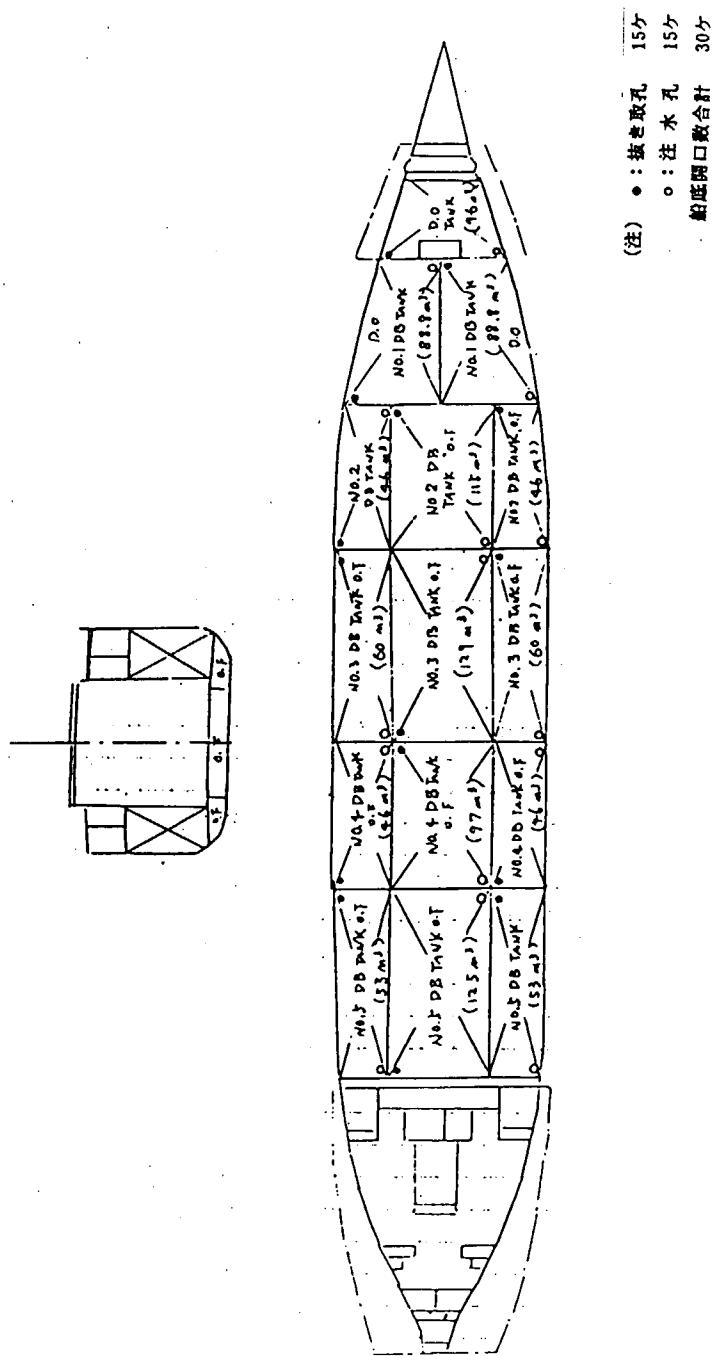


図3.5.13 「二重底タンク配置と開口位置」

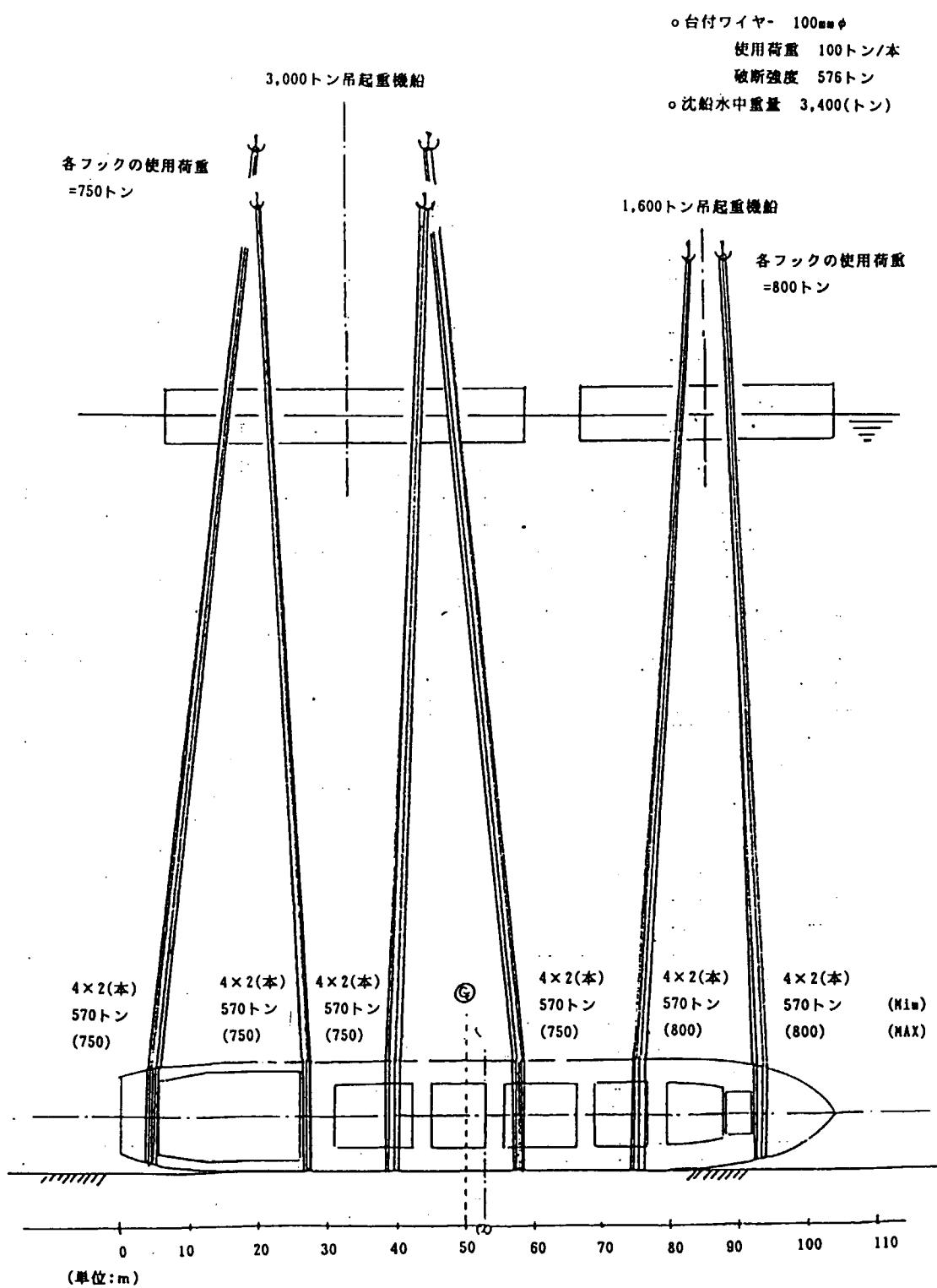


図 3.5.14 「引揚索取付要領図」

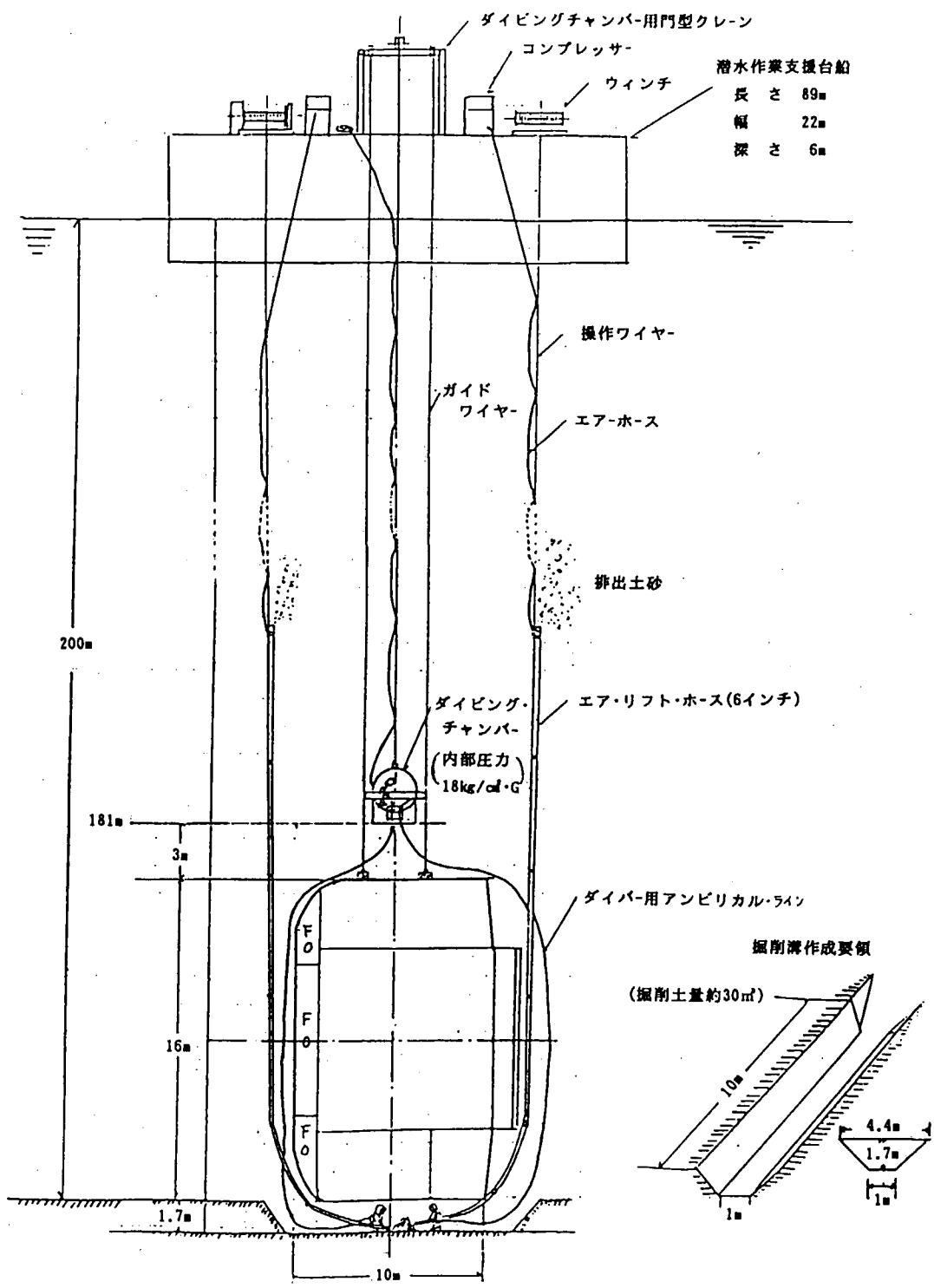


図3.5.15 「引揚索取付用海底掘削」

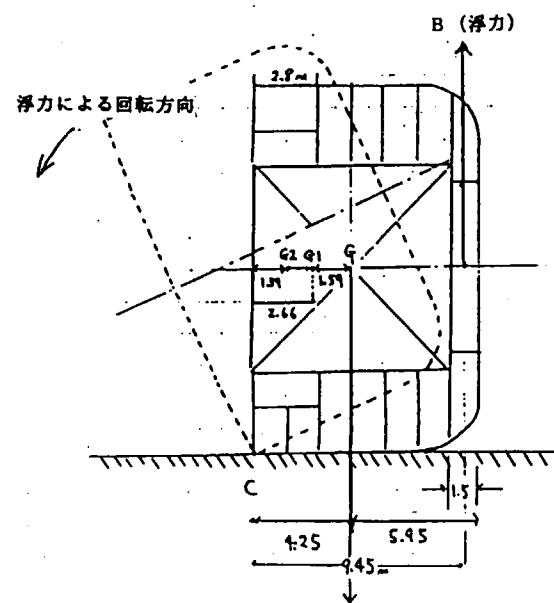


図3.5.16 「浮力による回転」

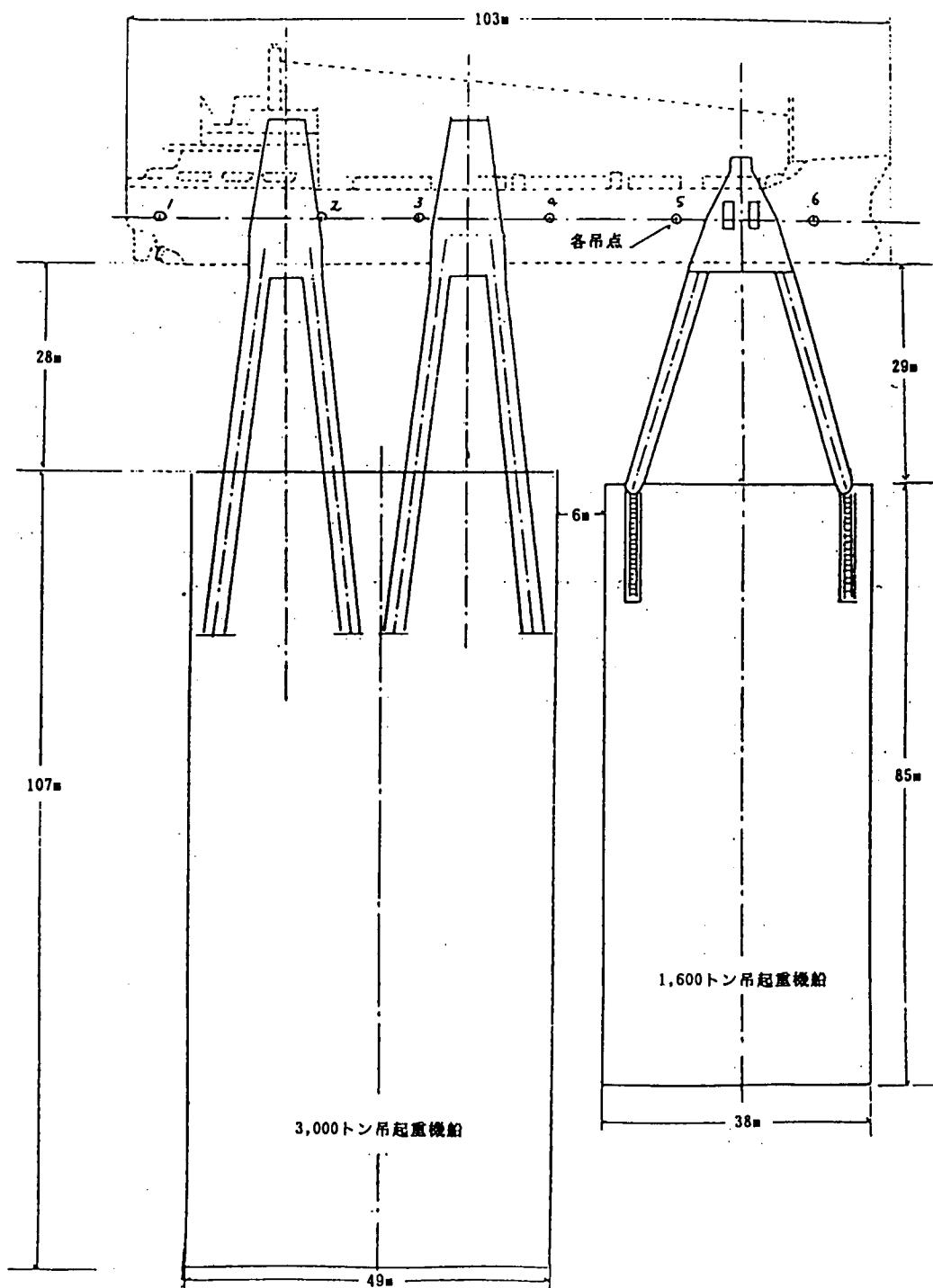


図3.5.17 「起重機船配置図」

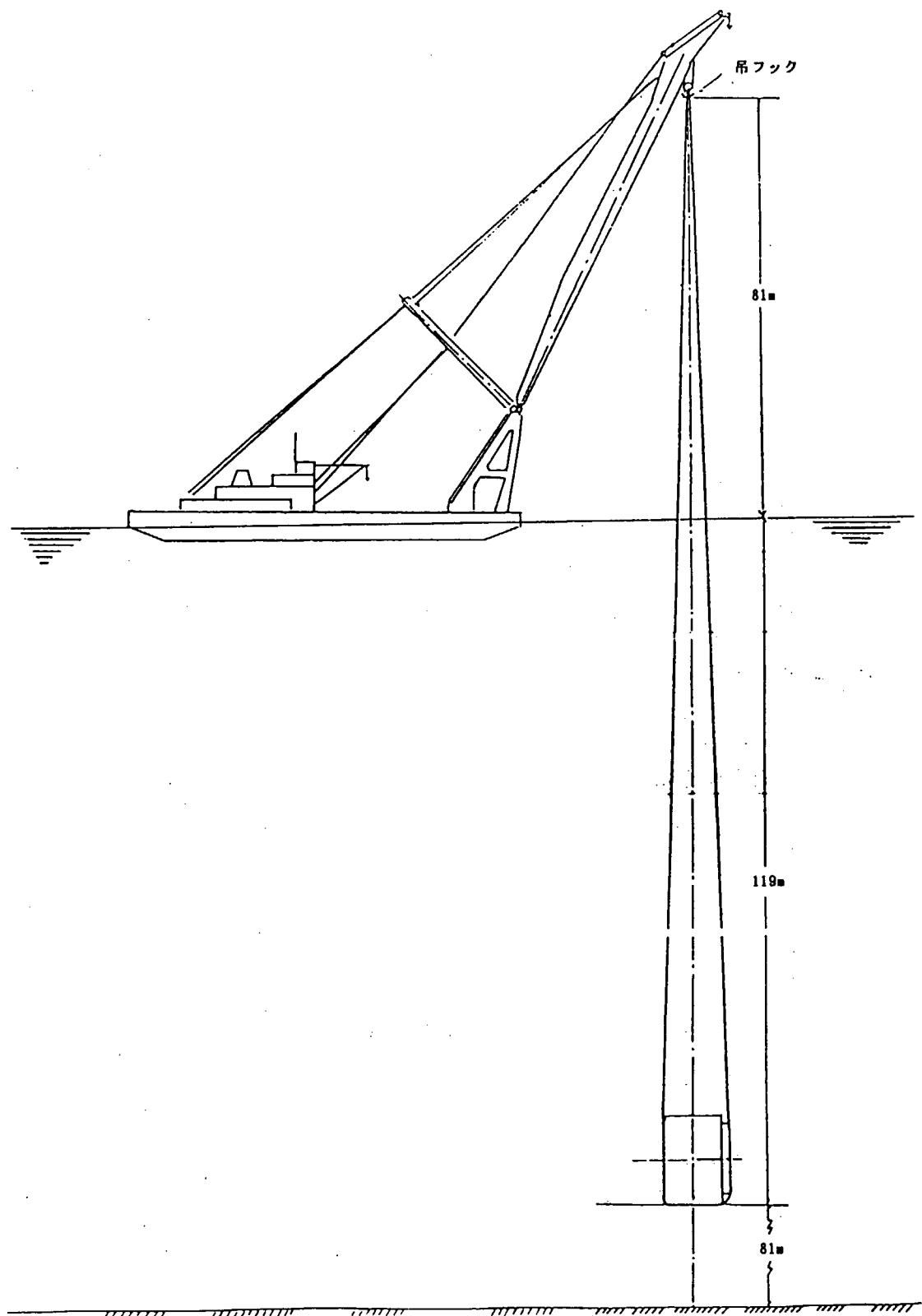


図 3.5.18 「1,600トン吊起重機船の第1回吊揚後の状況」  
(3,000トン吊起重機船も同じ、共同作業)

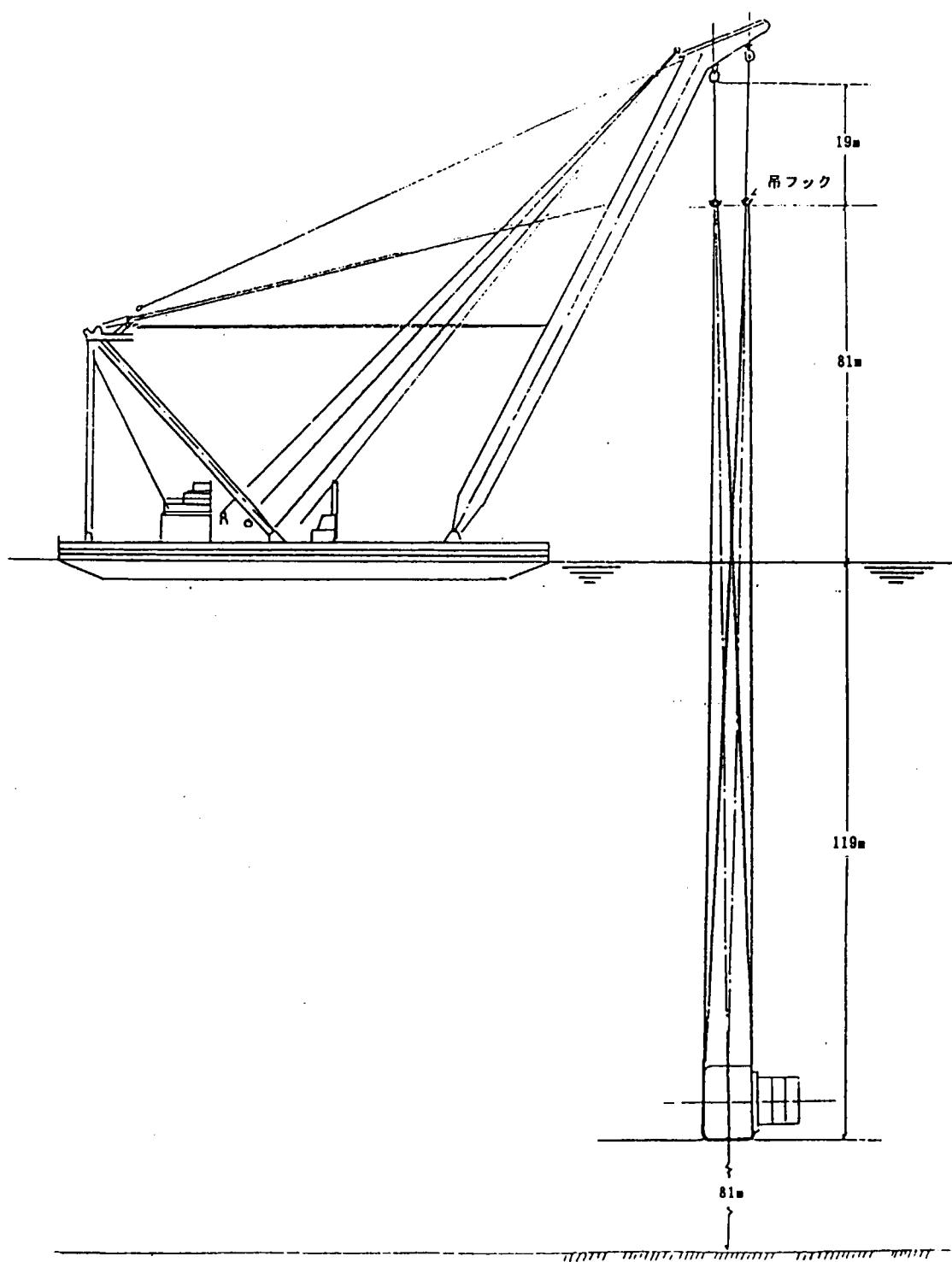


図 3.5.19 「3,000トン吊起重機船の第1回吊揚後の状況」

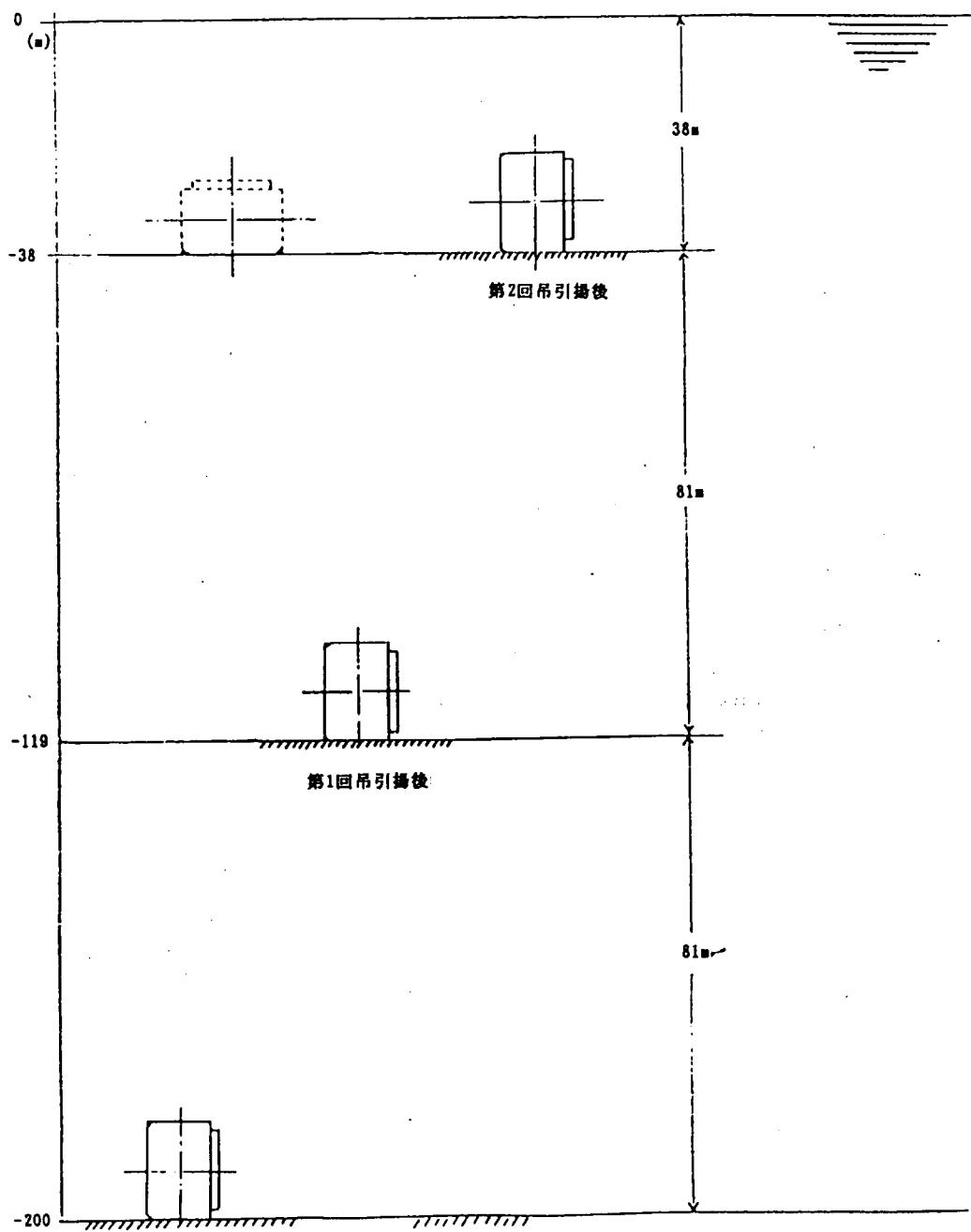


図 3.5.20 「引揚の手順要領図」

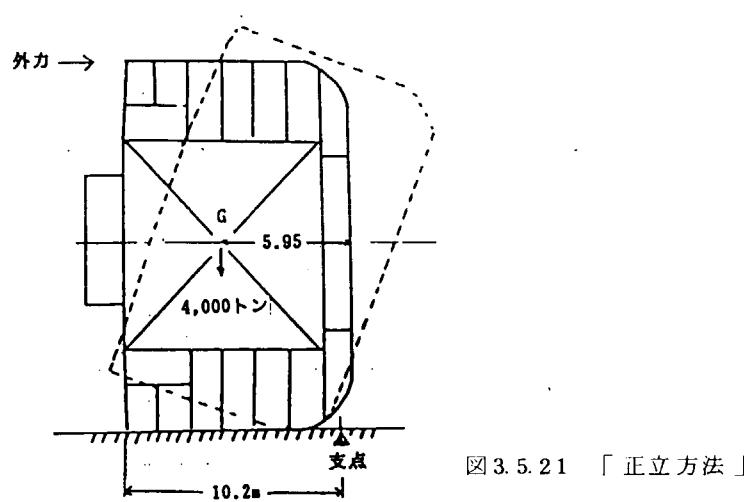


図 3.5.21 「正立方法」

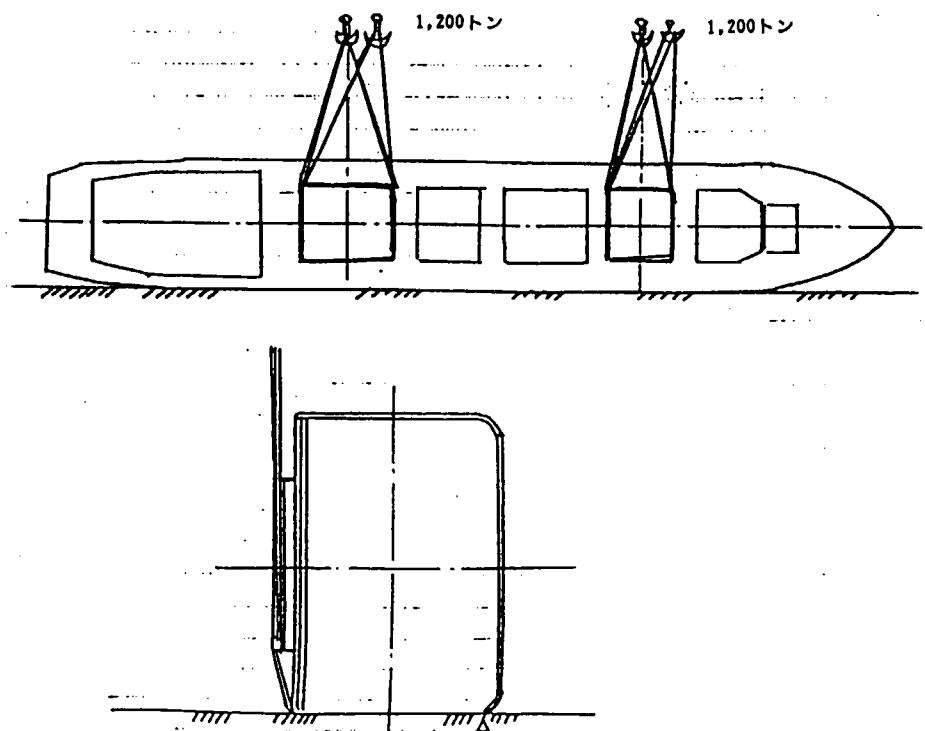


図 3.5.22 「引起し索の取付要領」

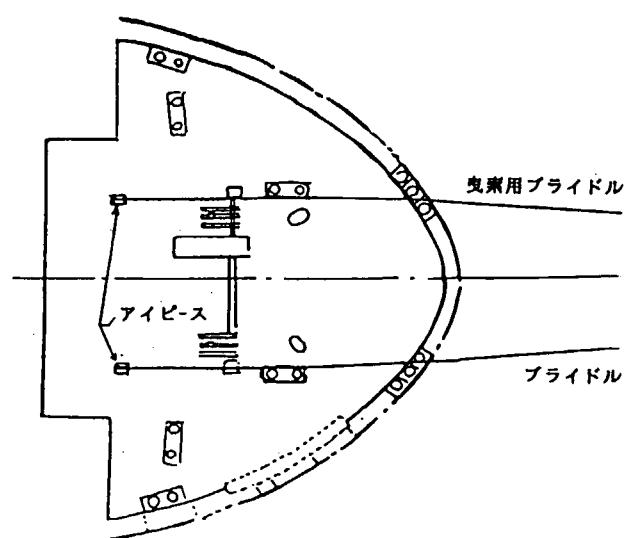
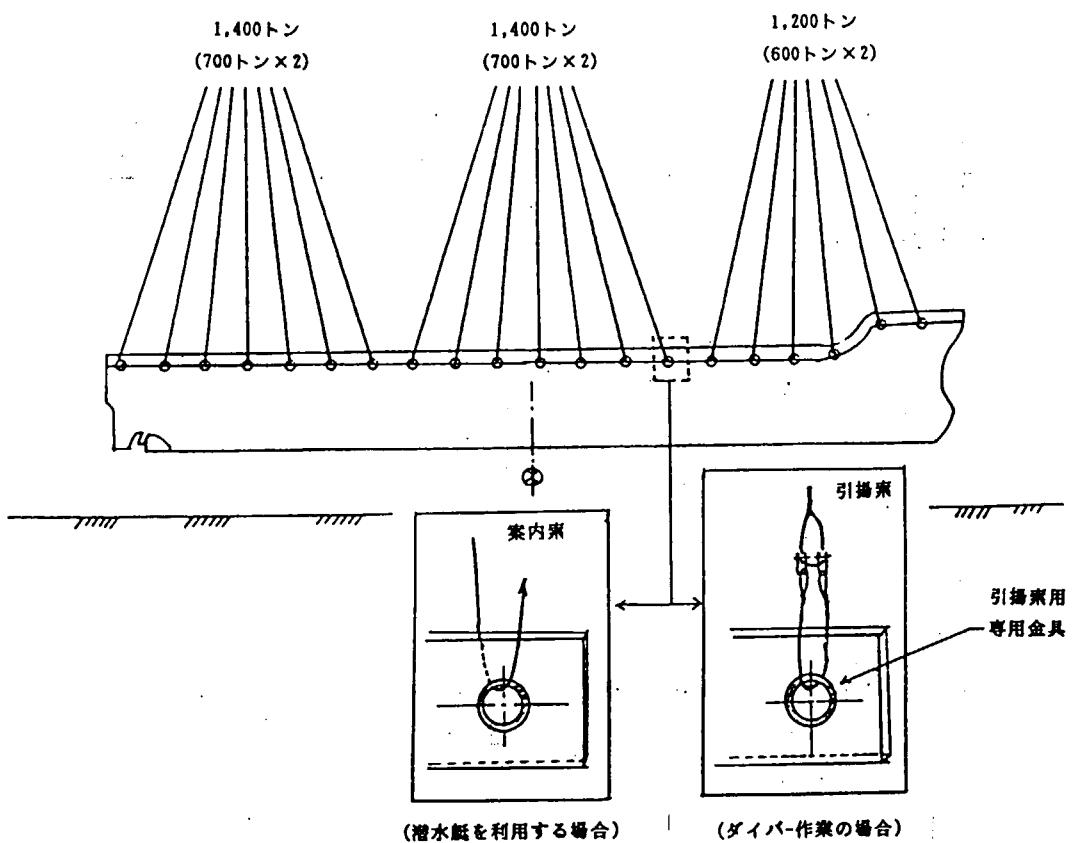


図 3.5.23 「曳航索の取付」



取付位置は舷側外板の延長位置とし、ブルワーグ(波よけ)を利用する

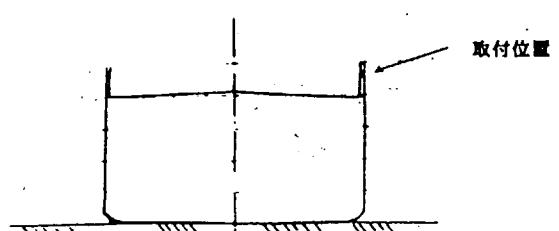


図 3.5.24 「正立して沈没している場合の引揚」

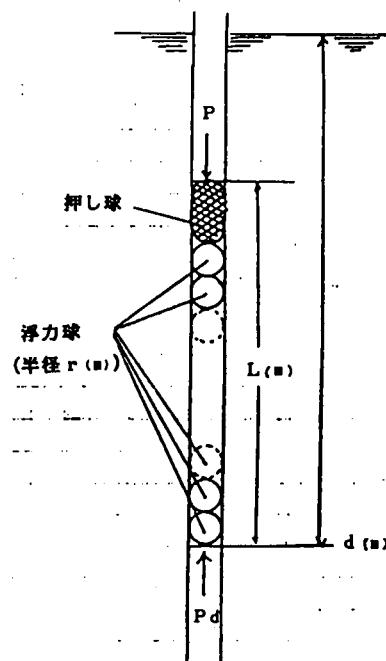


図 3.5.25 「浮力球の受ける圧力」

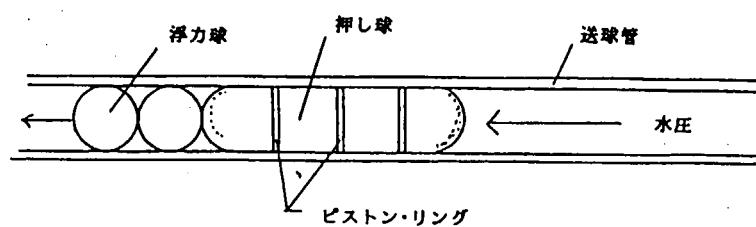


図 3.5.26 「押し球の模式図」

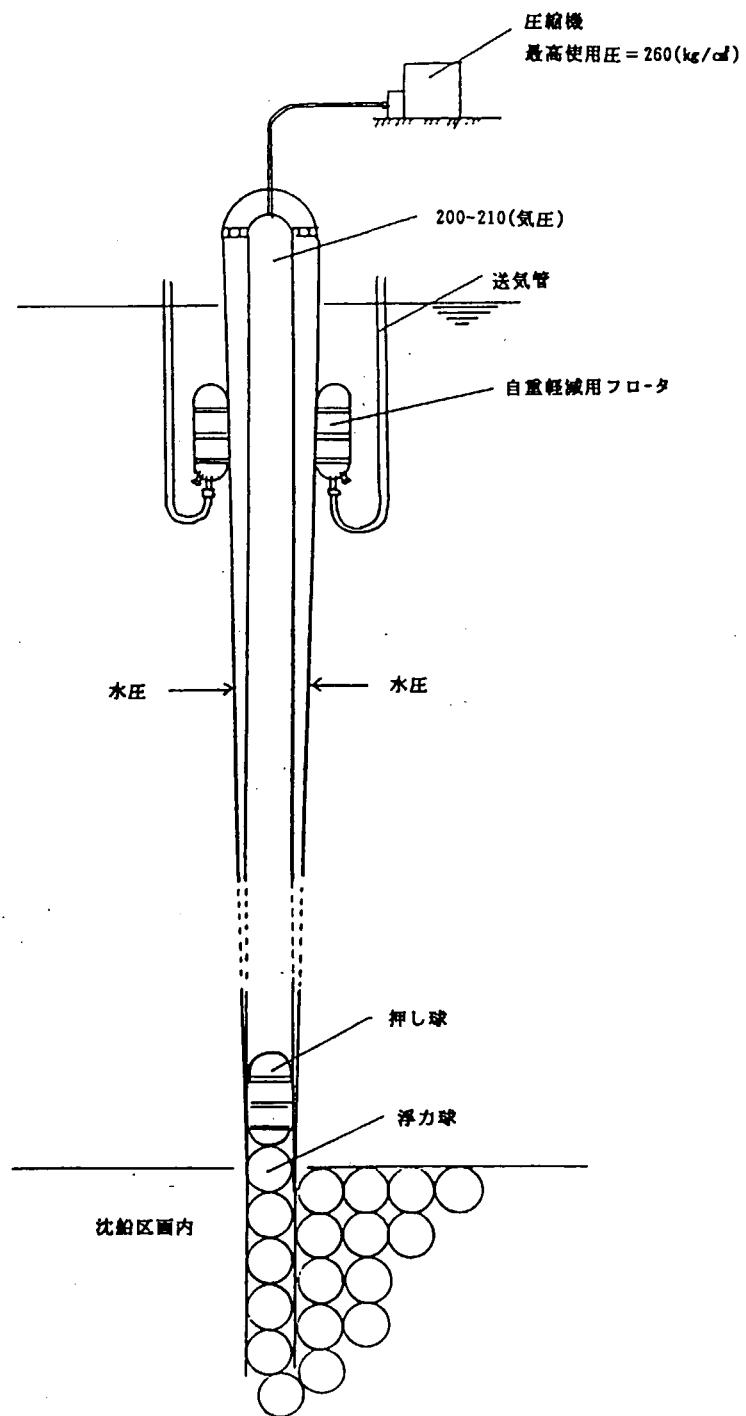


図 3.5.27 「送球管と送球要領図」

(注) ●印: 一段開口 62ヶ所 62回  
 ○印: 二段開口 14ヶ所 28回  
 ▲印: 三段開口 8ヶ所 24回  
 開口回数の合計 114回

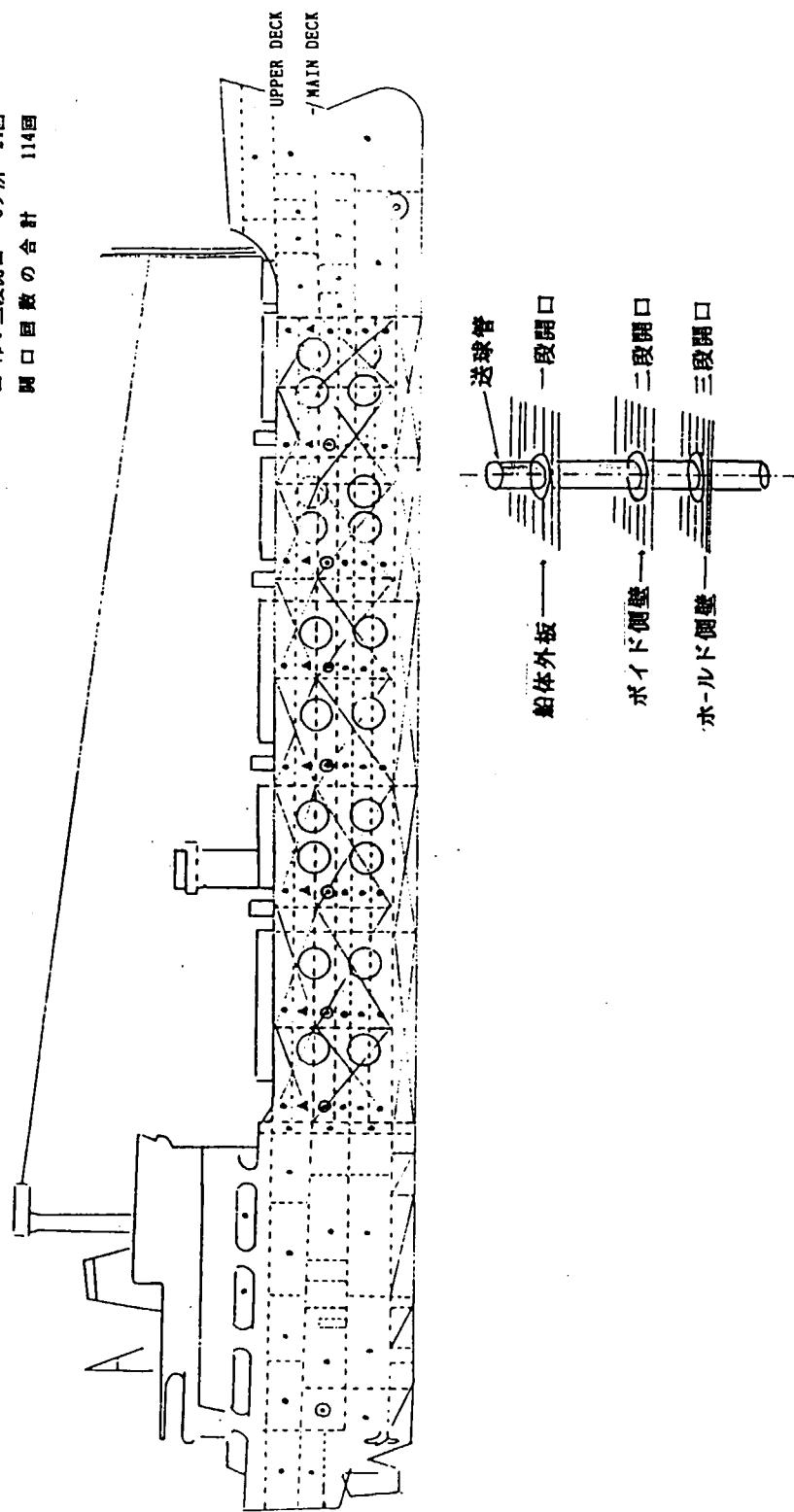


図 3.5.28 「浮力球用開口位置図」

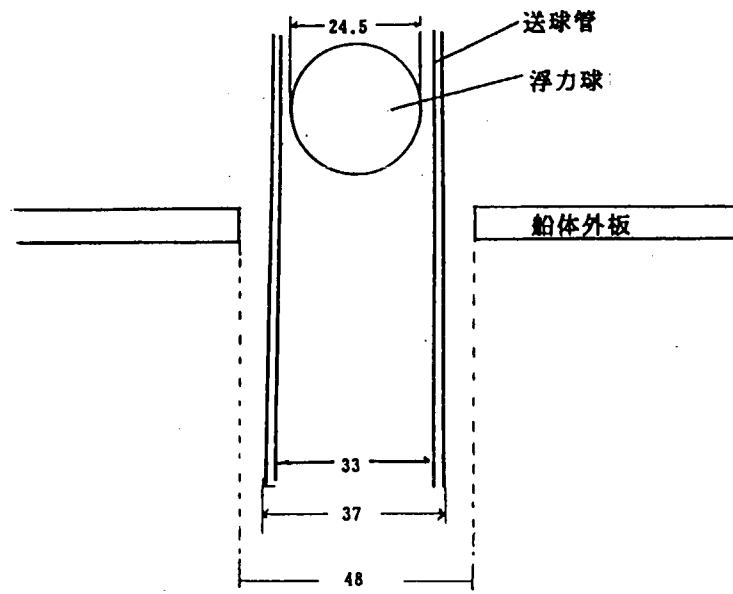


図 3.5.29 「船体開口の大きさ」

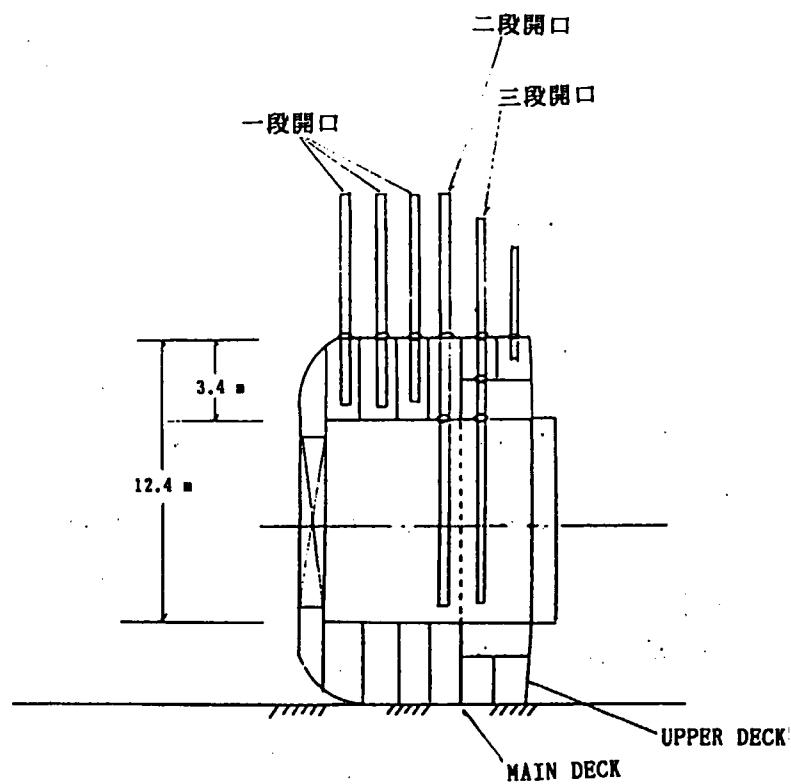


図 3.5.30 「開口位置側面図」

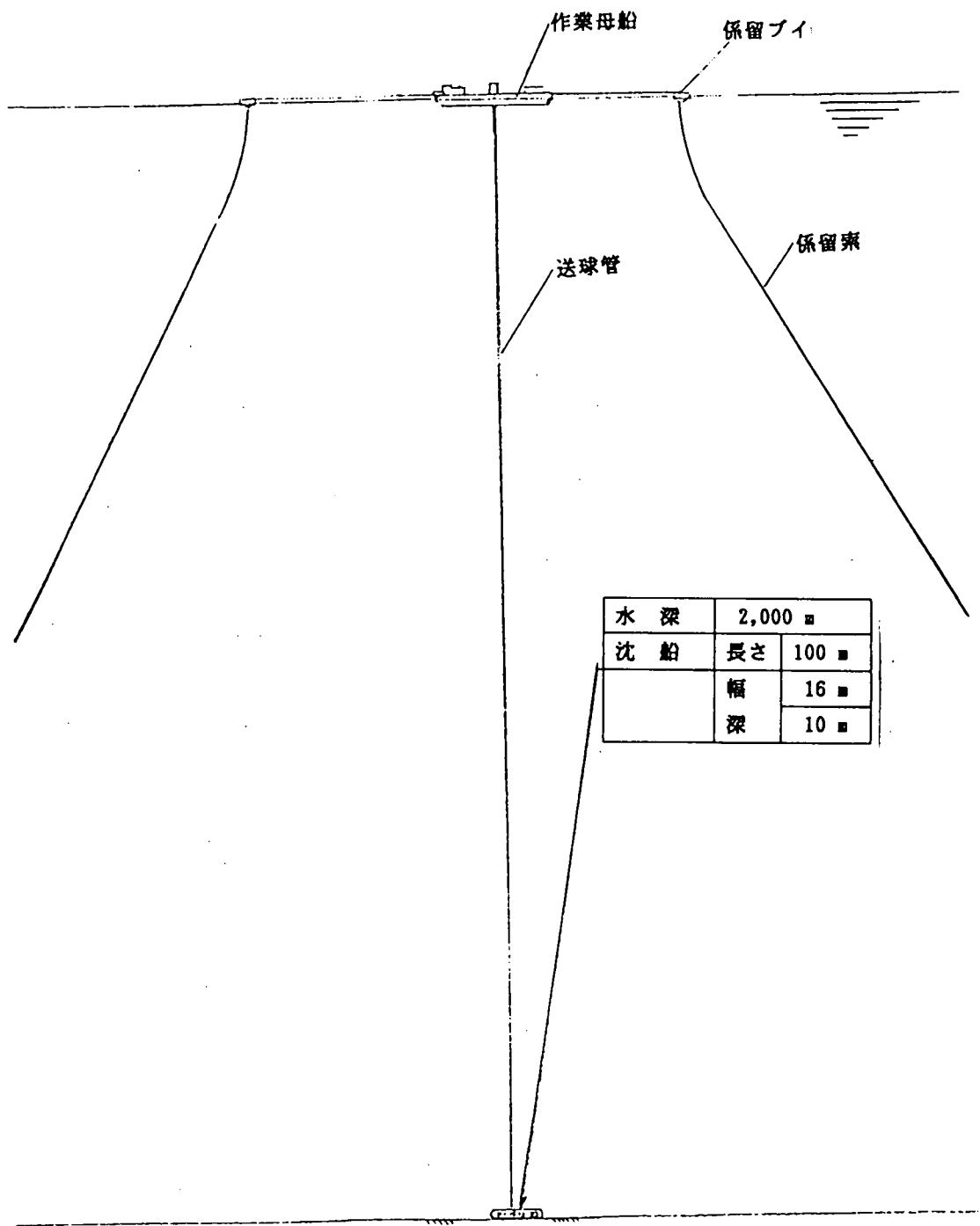
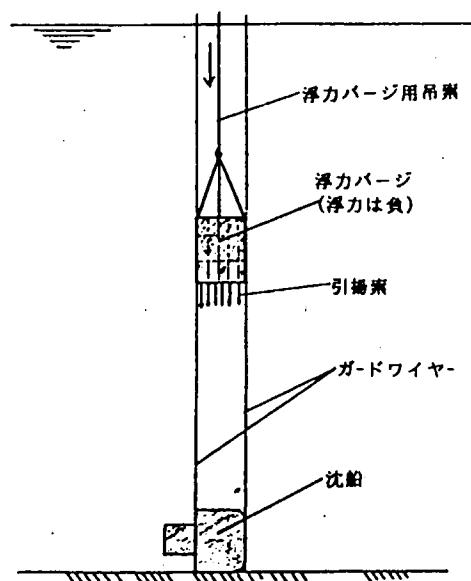
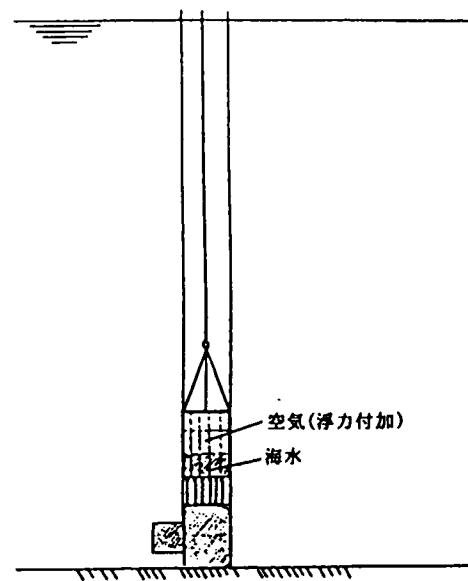


図 3.5.3.1 「相対位置図」

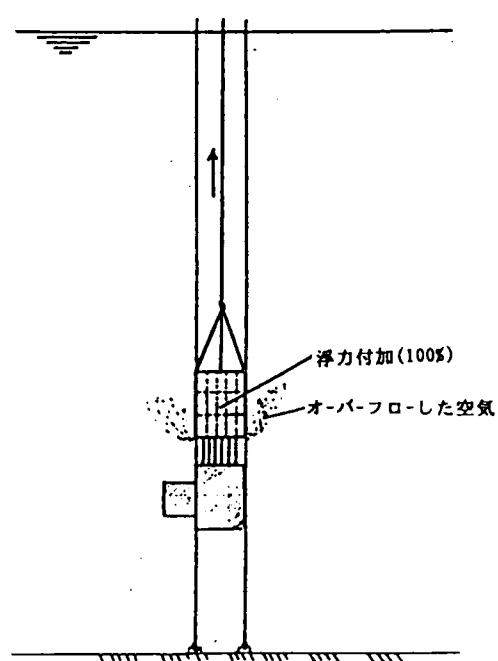
1) 浮力バージの吊降し



2) 引揚索の取付と浮力の付加



3) 沈船の引揚



4) 沈船の曳航

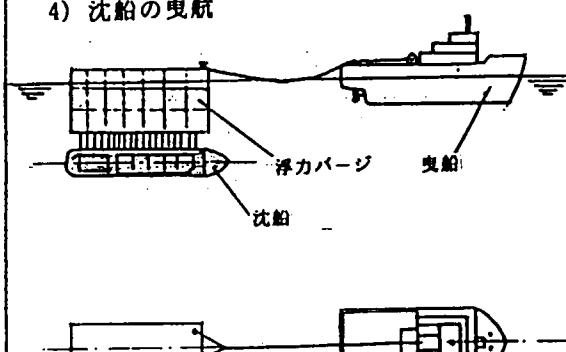


図 3.5.32 「浮力バージによる沈船の引揚要領図」

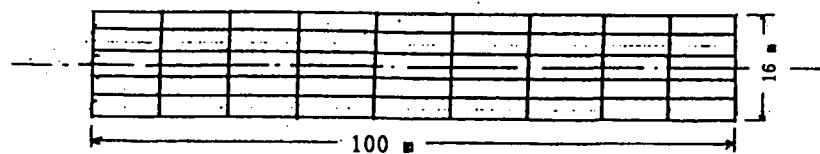


図 3.5.33 「浮力バージの平面」

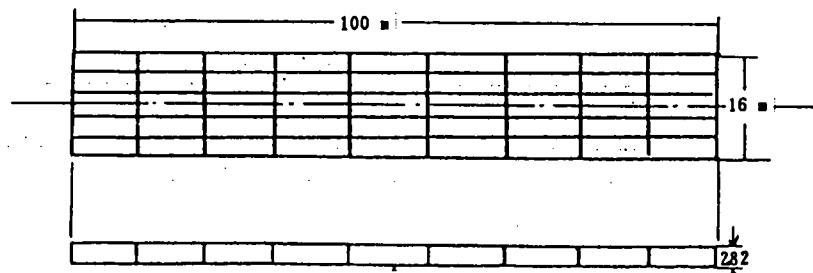


図 3.5.34 「浮力バージの概形図」

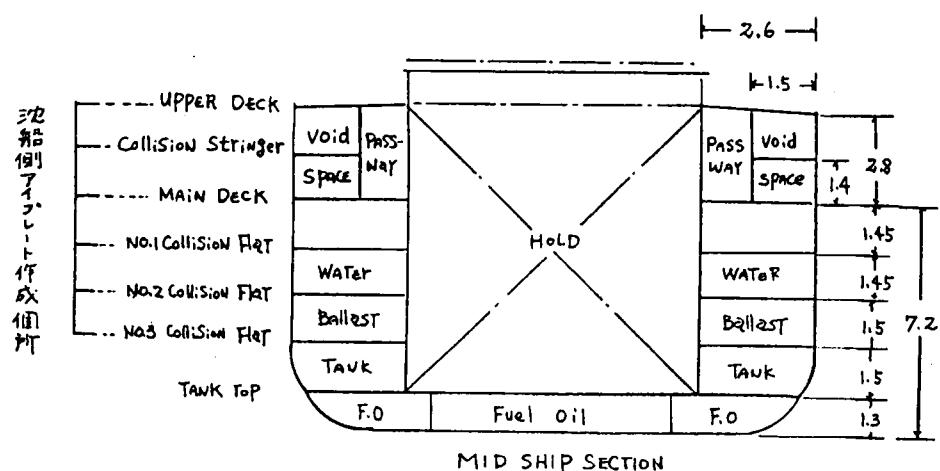
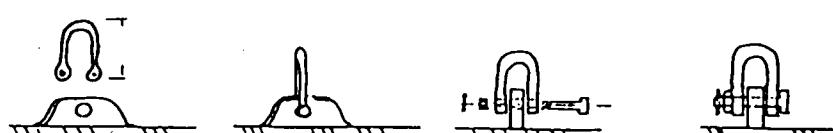


図 3.5.35 「MID SHIP SECTION」



使用荷重 50t用のシャックル長さ 36cm 重量 132kg  
(ピンの直径 11 cm):

図 3.5.36 「シャックルの取付要領図」

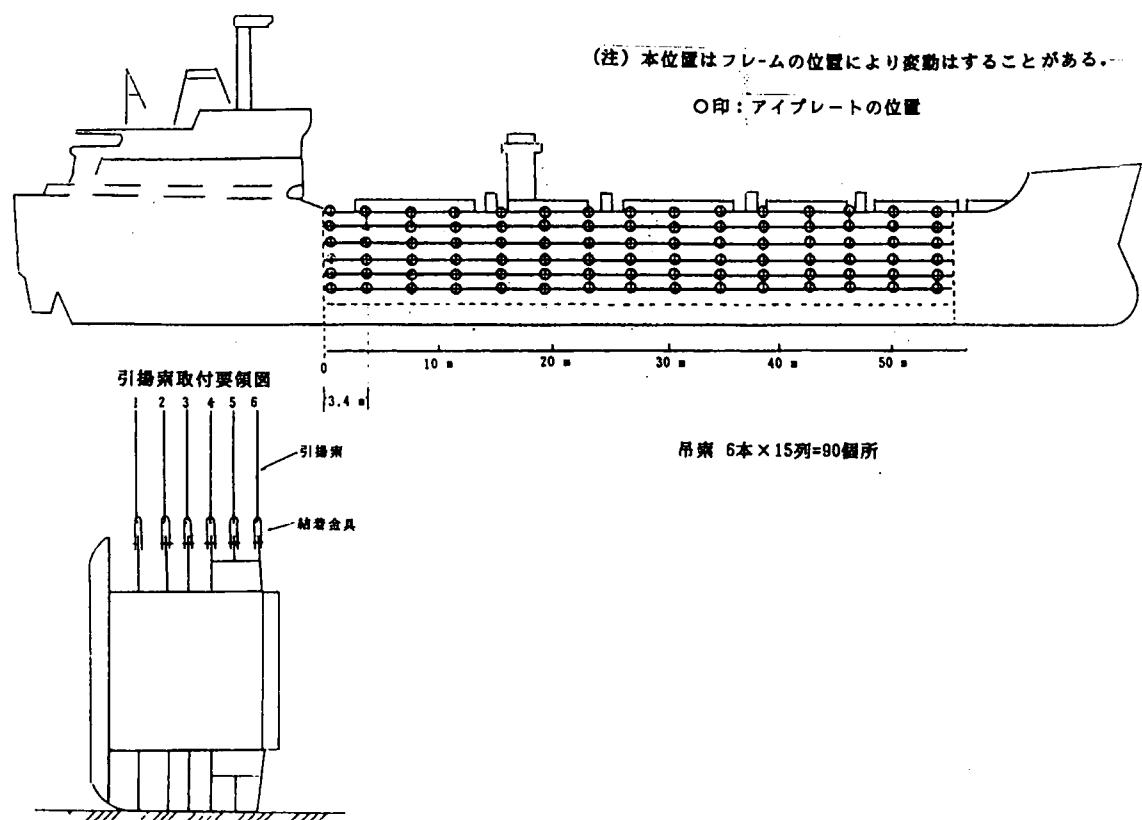


図 3.5.37 「引揚索の取付位置図」

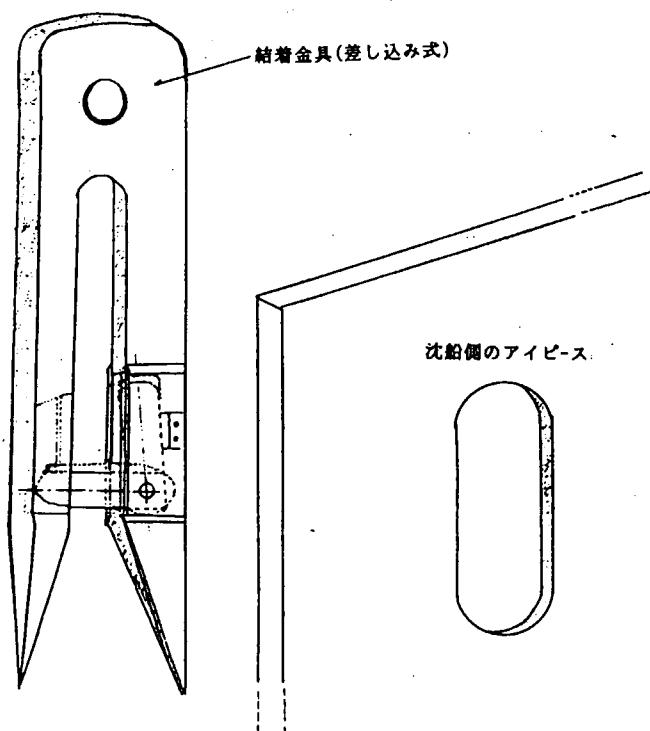


図 3.5.38 「専用金具（差込み式）とアイビース

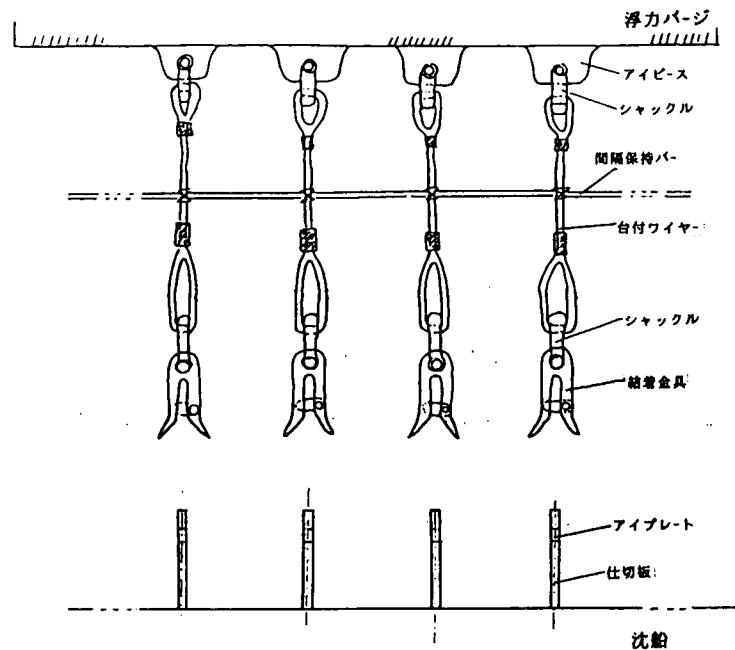


図 3.5.39 「結着金具と浮力バージとの連結」

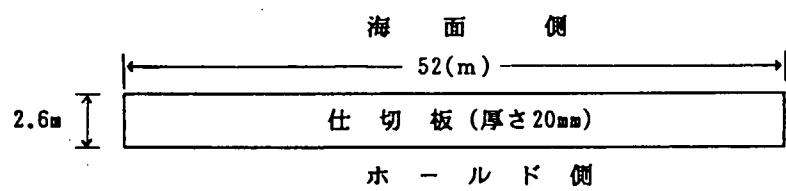


図 3.5.40 「仕切板の構造」

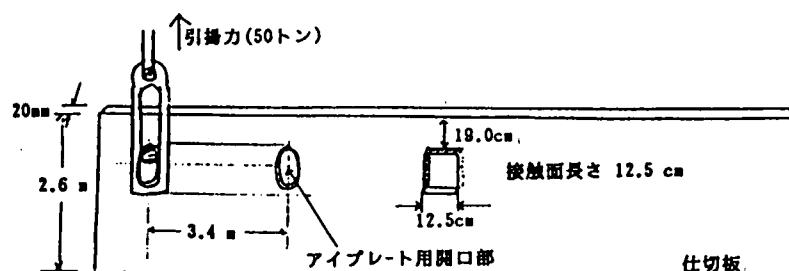
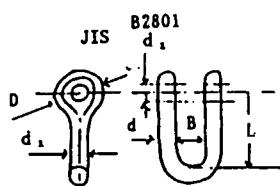


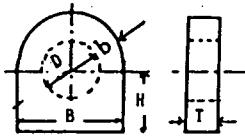
図 3.5.42 「仕切板の開口寸法図」

① シャックル



呼び径	90(d)
d <sub>1</sub>	131.7 (mm)
B	135 (mm)
D	232 (mm)
L	360 (mm)
使用荷重	50(トン)

② アイプレート



T	150 (mm)
b	80 (mm)
D	160 (mm)
B	320 (mm)

③ ワイヤー



D	60 (mm)
切断荷重	252(トン)
使用荷重	50(トン)
単位重量	15.7(kg/m)

図 3.5.4.3 「浮力バージ側の吊金物」

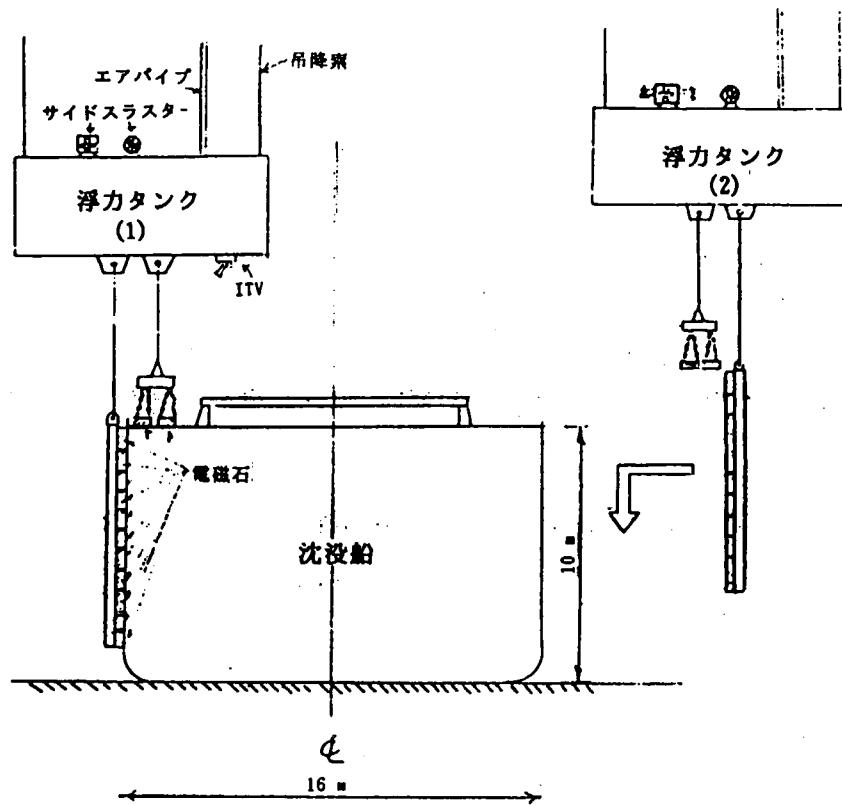
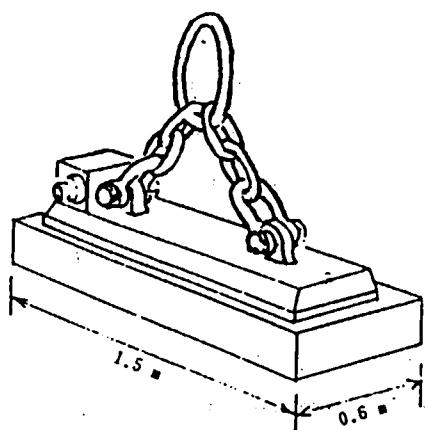


図 3.5.44 「電磁石による引揚索の取付要領図」



電磁石

図 3.5.45 「鋼板吊上用角型電磁石」

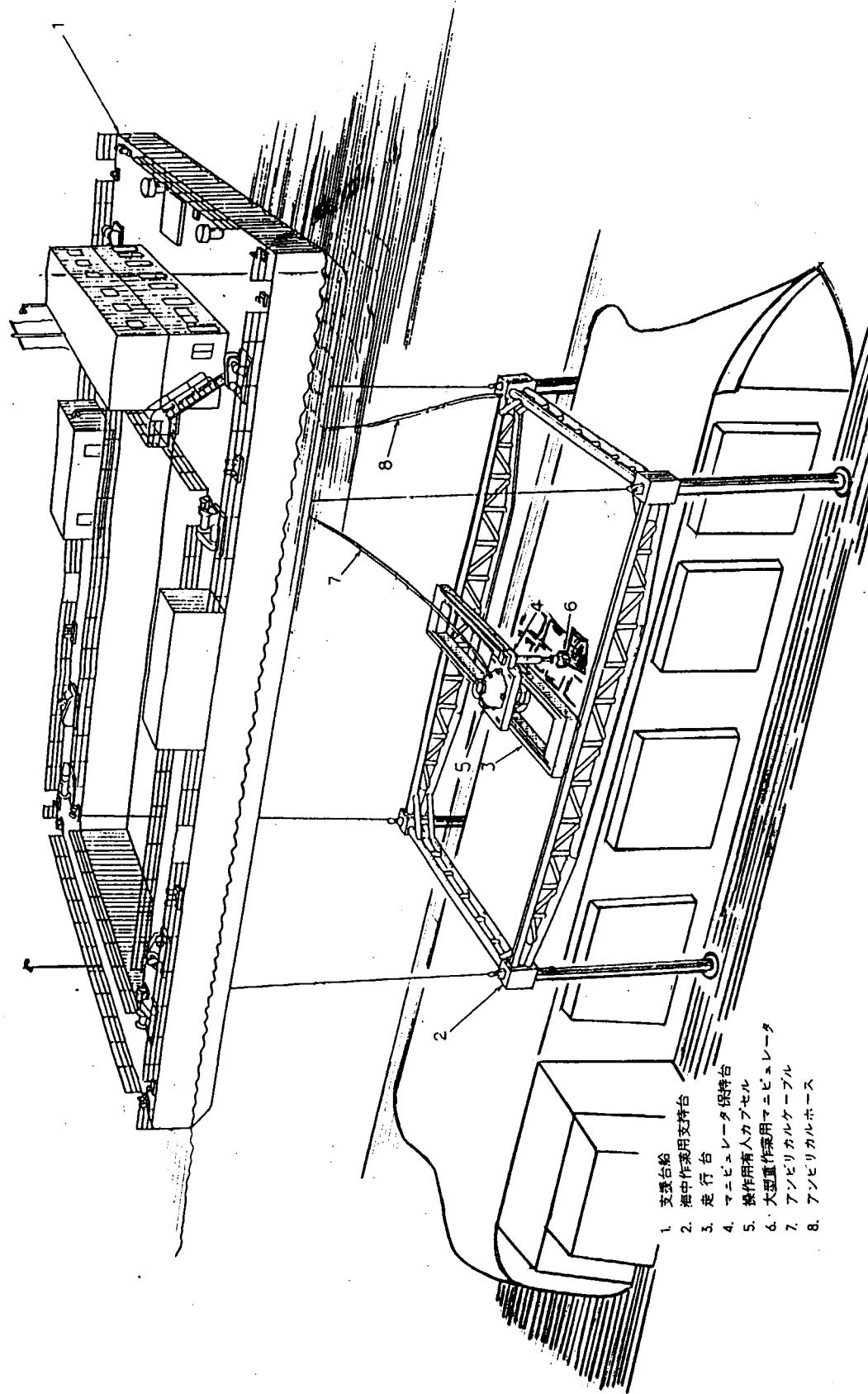


図 3.5.4.6 「システム概念図」

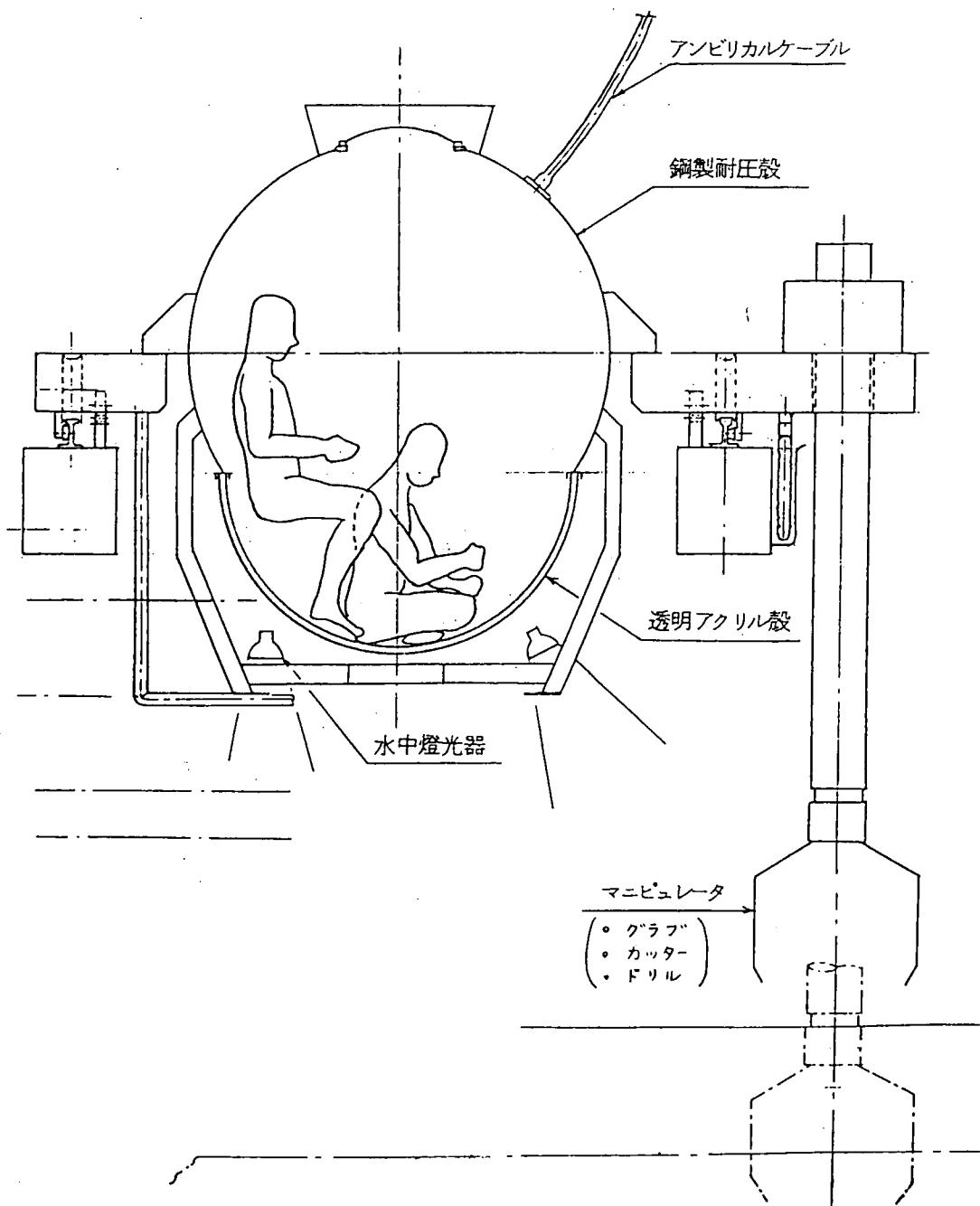


図 3.5.47 「作業用有人カプセル」

## 4. 結 言

本年度は2年間の本調査研究の初年度にあたり、基礎調査を行うとともに、これを踏まえて本研究部会で検討すべき項目を抽出し、調査研究全体の方向づけを行った。

また、各検討項目については、一定条件のもとに審議検討を進めた結果、以下のとおりの結論を得た。

### (1) キャスクの回収方法の検討

通常荷役方法に加えて、現状で設備し得る機器等を使用すれば、陸上の原子力発電所等における放射線作業に比べて困難なものはなく、技術的な問題はない。

### (2) 正立方法の検討

対象とした船舶程度のものを転覆状態から正立させた実績はないが現状の技術、設備等で正立させることが可能であることを確認した。

### (3) 沈船探査技術の検討

今回の検討の対象とした水深200mまでの範囲であれば、沈船を発見することは現状の技術、設備等で可能である。

### (4) 沈船引き揚げ技術の検討

水深200mまでは現状技術の延長として沈船の引き揚げが可能であるといわれていたが、それを確認した。水深200mを超える場合には、現状技術では引き揚げは困難となり、潜水作業ロボット等特殊な設備が必要となるが、今後の技術開発により、これらの設備が現実のものとなってくれれば、水深200mを超える水深からの引き揚げについても実現性のあるものとなる。

以上の結論から各検討項目については、ほぼ現状技術での処理が可能であるが、200mを超える水深からの沈船の引き揚げについては、今後の技術開発を必要としている。しかしながら、一般船舶であっても、沈没確率が $10^{-7}$ 回／年のオーダーであり、専用船の場合はさらに低い沈没確率であること及びキャスクの耐圧性等を考慮すれば、今後、着実に技術開発を進めることにより、十分安全性が確保されていると考えられる。