

流出油回収技術の現状と課題

木原 洗*、 原 正一**、 野中晃二***、
山川賢次**、 宮崎英樹***、 山尾 崇****
坂本真二*****、 疋田賢次郎*****、 今里元信*****

Present Status and Future Problems of Oil Spill Recovery Technology by

Takeshi KIHARA, Shoichi HARA, Koji NONAKA, Kenji YAMAKAWA,
Hideki MIYAZAKI, Takashi YAMAOKA, Shinji SAKAMOTO, Kenjiro HIKIDA, Motonobu IMASATO

Abstract

The Russian oil tanker Nakhodka (13,175 gross tonnage) was shipwrecked in stormy weather and sank in the Japan Sea on January 2 1997. The Nakhodka incident resulted in the leaking and drifting of a large amount of oil spills around the coasts of the Japan Sea. Presently, there is no effective equipment for the recovery of oil in a rough sea, so that this incident caused serious damages to the surrounding environment. There is a need to improve the recovery equipment during oil spills leakage in a rough sea. The existing oil spill recovery equipment in Japan did not work effectively at the Nakhodka incident.

In this paper, the principle and type of oil recovery equipment was investigated, the oil spill recovery equipment at home and abroad, and the operating condition of oil recovery ship with regard to wave height and oil viscosity were studied, the weather condition in the Japan Sea was studied, and the assumed condition to be available for oil recovery equipment and oil recovery ship was clarified. The maneuverability, seakeeping ability, and oil storage capacity should be studied to develop the oil recovery ship. With regards to oil recovery equipment, it is necessary to develop a new type of equipment that can be used to recover high viscosity oil. Furthermore, the moonpool as a tool for reduction in waves has been the focus of investigation. The combination of moonpool type of ship and oil recovery equipment has been considered to be valid as the oil recovery ship against the high viscosity oil in a rough sea.

* 特別研究官
** 海洋開発工学部
*** 運動性能部
**** 元装備部
***** 装備部

原稿受付 平成10年7月7日
審査日 平成10年11月11日

目 次

1. はじめに	16
2. 流出油回収技術の現状	16
2.1 海洋への油流出	16
2.1.1 油の流出源	16
2.1.2 タンカー事故による油流出	16
2.2 海上における油防除	19
2.2.1 油防除の基本的考え方	19
2.2.2 主要国の海上での油防除の 基本的考え方	19
2.3 油回収装置の現状	20
2.3.1 油回収装置	20
2.3.1.1 油の収集と包囲	20
2.3.1.2 油回収装置の原理と回収方式の種類	20
2.3.2 国内外の油回収装置と油回収船	22
2.3.2.1 油回収装置	22
2.3.2.2 油回収船	23
2.3.3 外洋での油流出事故における 油回収装置の有効性	29
2.3.3.1 ナホトカ号油流出事故	29
2.3.3.2 その他の海難事故	29
2.4 現状における油回収装置の性能上の課題	29
3. 当研究所における今後の研究課題	30
3.1 油回収船の検討	30
3.1.1 油回収船の想定稼働環境	30
3.1.1.1 日本近海の波浪データ	30
3.1.1.2 荒天日及び静穏日の出現・持続時間	31
3.1.1.3 最多出現波浪	31
3.1.2 洋上想定回収性能	31
3.1.3 高波浪への対応技術の研究開発	32
3.1.3.1 船型別の動揺性能の比較	32
3.1.3.2 バージ型油回収船の主要寸法の 決定法の一例	32
3.1.3.3 ムーンプール型船型	34
3.2 高粘度油回収技術の検討	35
3.2.1 油の性状変化	37
3.2.2 ナホトカ号油流出事故における 油の性状変化	38
3.2.3 高粘度油回収技術の方式	38
4. まとめ	38
参考文献	38

1. はじめに

1997年1月2日に起こった「ナホトカ号」の油流出事故は、日本海沿岸の環境に大きな影響を及ぼした。そして、一旦海洋でタンカー事故等による油流出事故が起こった場合の油防除の対応に際し、以下の様々な問題点を改めて示した。1) 流出油の拡散・漂流予測、2) 流出油の制御（収集・包囲）、3) 海上における油の回収、4) 事故船の曳航、5) 浅海域での油の回収、6) 漂着した油により汚染された海岸の清浄化、7) 回収した油の処理等である¹⁾²⁾³⁾⁴⁾。

その中の問題のひとつに、高波浪下では既存の油回収船・油回収装置（スキマー）は、稼働できないか、あるいは大きく回収効率が落ちることがあげられる。また、C重油等の高粘度油、経時変化によりムース化した乳化油（エマルジョン）に対しても現有の油回収装置等は必ずしも有効とは言えない。

船舶技術研究所は、これまでも流出油防除のため研究を実施してきた（例えば⁵⁾⁶⁾⁷⁾）。今回は、特に高波浪下の外洋での高粘度の油回収に焦点を絞って研究を実施する。

本報告書は、上記研究を実施するに当たり既存の研究・資機材について調査し、現状の課題及び研究に当たっての問題点等をまとめたものである。

2. 流出油回収技術の現状

2.1 海洋への油流出

2.1.1 油の流出源

大型タンカーの衝突・座礁等による大規模な油流出事故の発生は、人命の安全に加えて海洋環境保護の面から重大な問題となっているが、船舶の海難事故の他にも、多量の油が工場排水等の種々の発生源から海洋へ流出しており、その量は1995年のNational Research Councilのデータによると年間約330万トンと推定されている⁸⁾。この量は石油連盟によると、東京ドームの約3個分、日本で使用される石油の約6日分に当たる⁹⁾。

海洋に流出される油量の発生源による割合を図1に示す。図2-1(a)はINTERTANKO(The International Association of Independent Tanker Owners)による調査結果¹⁰⁾、図2-1(b)はSmithsonian Institutionが出している値¹¹⁾、図2-1(c)はITOPF(The International Tanker Owners Pollution Federation)による調査結果¹²⁾である。(b)のBig Spillsは主要なタンカー事故によるものを表す。調査機関により分類も値も異なるが、最も大きいのが下水・工場排水等の陸上から排出されるもので、タンカー事故によるものは全体の5~10%程度となっている。

2.1.2 タンカー事故による油流出

船舶の海難事故において油流出はタンカー事故によ

表2-1 主要な油流出事故^{1) 3) 9) 10)}

Ship Name	Year	Spill (tonnes)	Location	Tanker Age
Atlantic Empress	1979	287,000	off Tobago, West Indies	5
ABT Summer	1991	260,000	700 naut. miles off Angola	15
Castillo de Bellver	1983	252,000	off Saldanha Bay, South Africa	
Amoco Cadiz	1978	223,000	off Brittany, France	4
Haven	1991	144,000	Genoa, Italy	18
Odyssey	1988	132,000	700 naut. miles off Nova Scotia, Canada	16
Torry Canyon	1967	119,000	Scilly Isles, UK	9
Urquiola	1976	100,000	La Coruna, Spain	3
Hawaiian Patriot	1977	95,000	300 naut. miles off Honolulu	12
Independenta	1979	95,000	Bosphorus, Turkey	1
Jakob Maersk	1975	88,000	Oporto, Portugal	
Braer	1993	85,000	Shetland Islands, UK	18..
Khark 5	1989	80,000	120 naut. miles off Atlantic coast of Morocco	15
Aegean Sea	1992	74,000	La Coruna, Spain	19
Sea Empress	1996	72,000	Milford Haven, UK	3
Katina P.	1992	72,000	off Maputo, Mozambique	26
Assimi	1983	53,000	55 naut. miles off Muscat, Oman	
Metula	1974	50,000	Magellan Straits, Chile	
Wafra	1971	40,000	off Cape Agulhas, South Africa	15
Exxon Valdez	1989	37,000	Prince William Sound, Alaska, USA	4
Nakhodka	1997	6,240(kℓ)	Sea of Japan, Japan	26

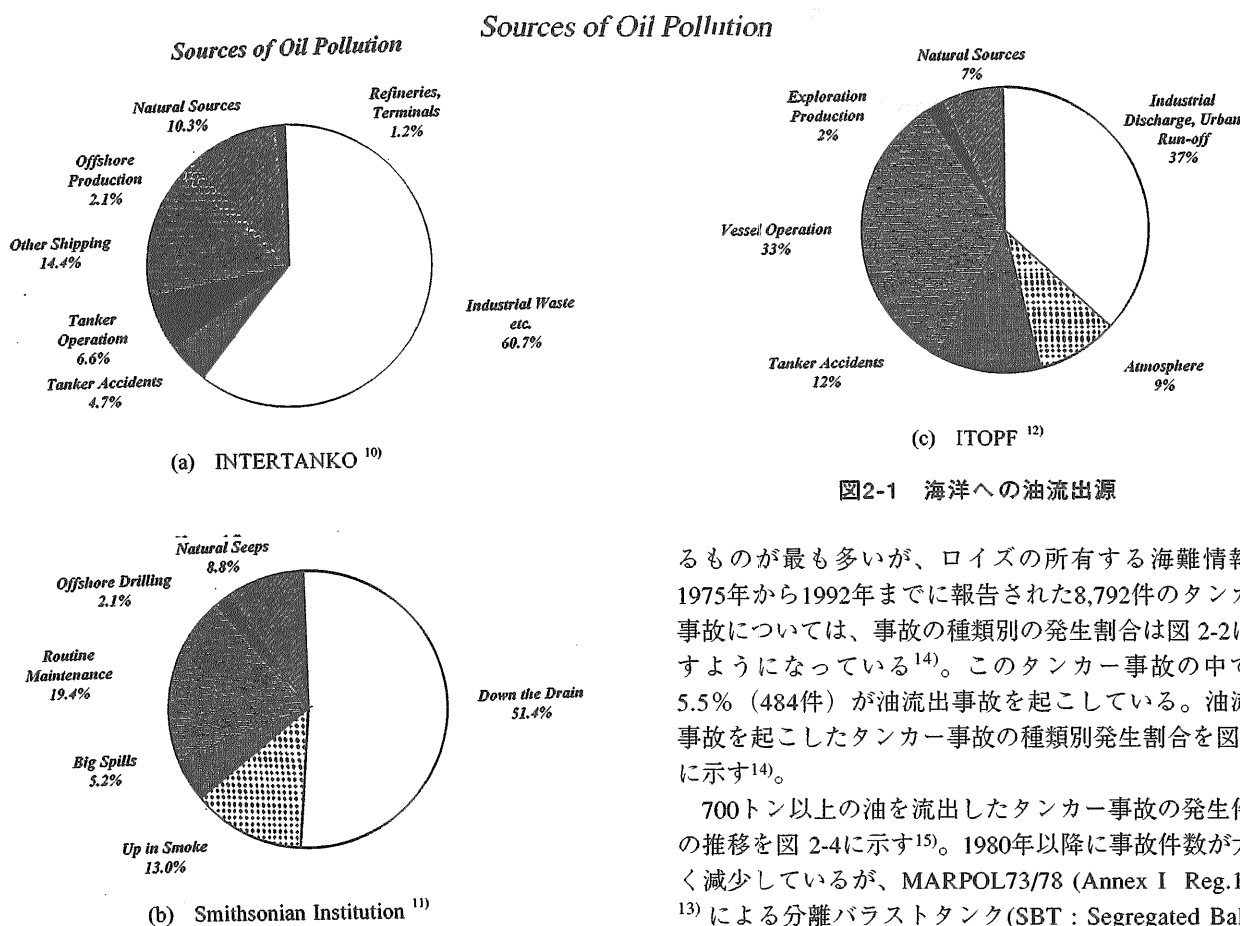


図2-1 海洋への油流出源

るものが最も多いが、ロイズの所有する海難情報で1975年から1992年までに報告された8,792件のタンカー事故については、事故の種類別の発生割合は図2-2に示すようになっている¹⁴⁾。このタンカー事故の中で約5.5% (484件) が油流出事故を起こしている。油流出事故を起こしたタンカー事故の種類別発生割合を図2-3に示す¹⁴⁾。

700トン以上の油を流出したタンカー事故の発生件数の推移を図2-4に示す¹⁵⁾。1980年以降に事故件数が大きく減少しているが、MARPOL73/78 (Annex I Reg.13E)¹³⁾による分離バラストタンク(SBT: Segregated Ballast

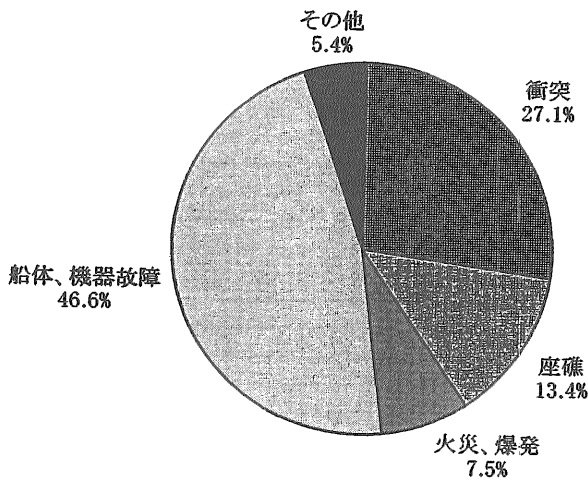


図2-2 タンカー事故の種類別発生割合 (全事故件数8792件) 14)

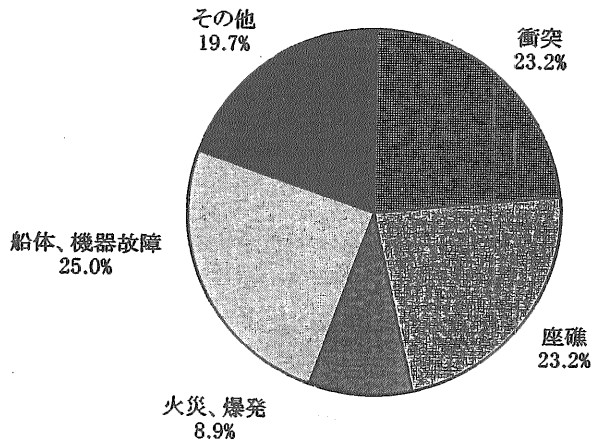


図2-3 油流出を起こしたタンカー事故の種類別発生割合 (全事故件数484件) 14)

Tank)の設置とその防護的配置が油流出事故件数減少の原因の一つと推測されている^{8) 14)}。

タンカー事故による油流出量は、大きな海難事故が発生したかどうかにより年毎に大きく変動している。図2-5に7トン以上の油流出を起こしたタンカー事故による年間油流出量を、表1に大規模油流出を起こした主なタンカー事故のリストを示す^{10) 15)}。各事故における油流出量も調査機関により若干異なっている^{10) 15) 16)}。

図2-5には25万トン以上の油流出を起こしたタンカー事故による流出量を棒グラフ上に白抜きで示しているが、大規模油流出事故を防ぐことが非常に重要であることがわかる。

タンカーの海難事故が発生した場合、衝突事故では約5%、座礁事故では約10%、火災・爆発事故では約7%、船体・機器故障事故では約3%が油流出を起こしている¹⁴⁾。衝突・座礁事故により油流出を生じたタン

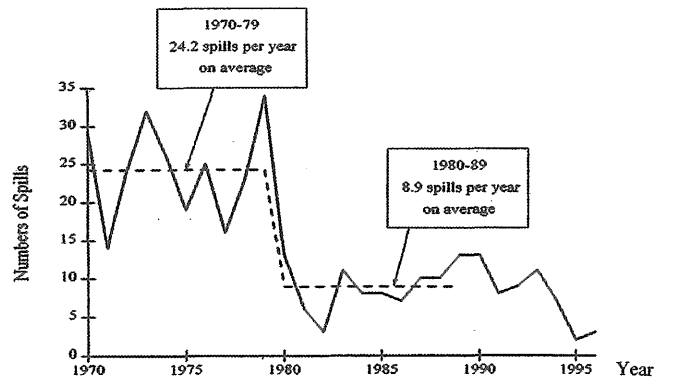


図2-4 700トン以上の油流出を起こしたタンカー事故件数¹⁵⁾

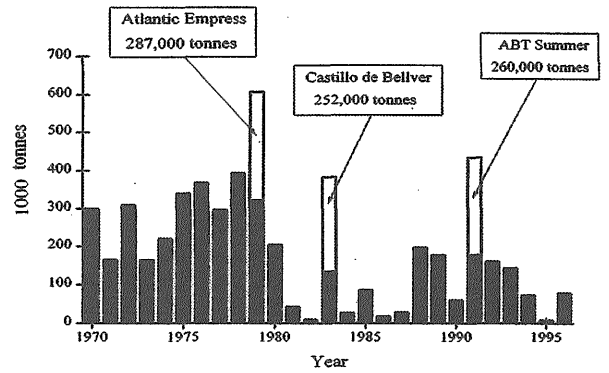


図2-5 タンカー事故による総油流出量¹⁵⁾

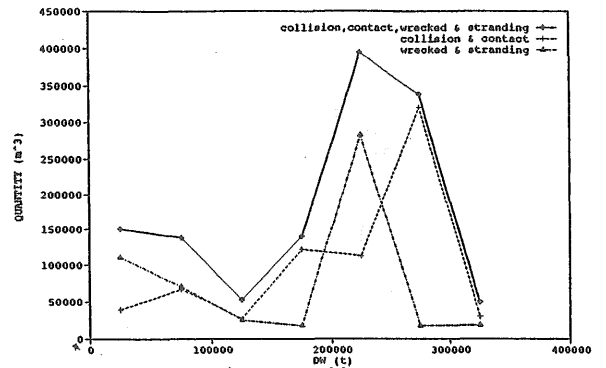


図2-6 載貨重量による衝突・座礁時の総油流出量¹⁴⁾

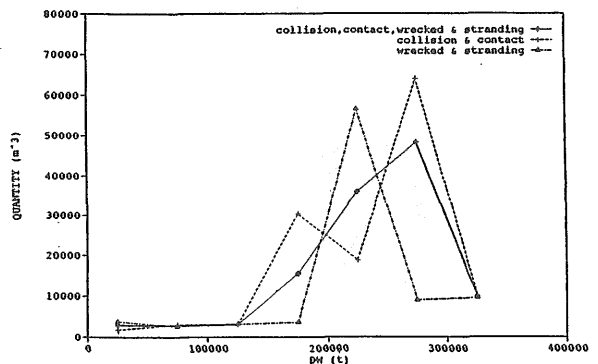


図2-7 載貨重量による衝突・座礁時の事故当たり平均油流出量¹⁴⁾

カー事故について、載貨重量と総油流出量及び事故あたりの平均油流出量を図 2-6, 2-7に示す¹⁴⁾。総油流出量は載貨重量20~30万トンクラスのものからが最も多く、さらに、事故あたりの平均油流出量もこのクラスのものからが最も多く、1事故あたり約4万m³強となっている。図 2-6, 2-7の作成に用いられたデータ149件全体については、1事故あたりの平均油流出量は約8500m³となっている¹⁴⁾。これらの値は、油流出事故対策における油回収システムの検討において回収油量の想定に利用できる。

2.2 海上における油防除

2.2.1 油防除の基本的考え方

海上における流出油の防除のためには、流出源からの流出油拡大の防止し、海面を漂う油を収集・包囲し、回収することが基本的な手法となる。

実際の防除にあたっては、流出源の状況及び流出油漂流状況の把握、監視を行うことにより、汚染海域の特定並びに汚染範囲の拡大予測を行い、流出油の性状、量、気象、海象状況等を勘案の上最適な対処方針をできる限り早期に立て、流出油が海岸に漂着する以前に対処することが重要である。

海上での流出油の回収は、基本的には油回収船、油回収装置、オイルフェンスなどの機械的回収装置により行い、油処理剤を必要に応じ併用することが多い。このため、油の回収が効果的に行われるか否かは、機械的回収装置の性能に依存する。特に気象・海象条件が厳しい外洋においては防除の成否を左右する重要な要因となる。

2.2.2 主要国の海上での油防除の基本的考え方

主要国の海上での油防除の基本的考え方を以下に示す。機械的回収を基本とする国が多いが、機械的回収は天候・海象等の影響を大きく受け、流出油の多くを回収することは極めて難しいことから、イギリスのように油処理剤が有効な初期の段階で、積極的に油処理剤を使用する国もある。

ドイツ¹⁷⁾ 機械的回収を優先し、油処理剤の使用は従属的な手段としている。
回収目標はボン協定による¹⁹⁾。

ベルギー¹⁷⁾ 油処理剤が基本、浅い海域は、機械的回収。
回収目標はボン協定による¹⁹⁾。

オランダ¹⁷⁾ 機械的回収が基本、油処理剤は禁止。
回収目標はボン協定による¹⁹⁾。

ノルウェー¹⁷⁾ 機械的回収を優先し、油処理剤の使用

を非常の場合の手段としている。

ボン協定¹⁹⁾の加盟国であるが、処理目標についてはそれを上回る独自の目標を設けている。

1日あたり8,000トンの流出油を処理できること。

回収装置は、1.5ノットの潮流及び2.5mの波高中で機能すること。

第1陣の回収装置は、24時間以内に現場に到着できること。第2陣の回収装置は、48時間以内に現場に到着できること。

イギリス¹⁷⁾ 油処理剤を優先的に考えている。油の性状が変化して油処理剤が無効になる前に、油処理剤を積極的に使用する。機械的回収は従属的手段。

ボン協定¹⁹⁾の加盟国であるが、処理目標については、上記のそれを上回る独自の目標を設けている。48時間以内に10,000トンの流出油を処理できること。地方自治体は、1週間あたり約5,000トンの流出油を処理できること。

アメリカ¹⁸⁾ 機械的回収を優先し、油処理剤の使用は従属的な手段としている。
処理目標 30,000トン。

オーストラリア¹⁷⁾ 機械的回収を優先し油処理剤の使用は従属的な手段としている。
処理目標 10,000トン。

シンガポール¹⁷⁾ 機械的回収を優先し油処理剤の使用は従属的な手段としている。

日本¹⁾ 機械的回収を優先し油処理剤を補助的手段としている。
現有処理能力は、海上保安庁各管区合計で314,000kl (処理剤含む)。

機械的回収を基本とする国が多いが、機械的回収は天候・海象等の影響を大きく受け、流出油の多くを回収する事は極めて難しいことから、イギリスのように油処理剤が有効な初期段階で、積極的に油処理剤を使用する国もある。

2.3 油回収装置の現状

2.3.1 油回収装置

2.3.1.1 油の収集・包囲

油回収装置等は、方式により異なるが、一般にある程度の油膜厚さがないと回収効率が落ちるか、油を回収することができない。そのため、オイルフェンス（オイルブーム）を使用して流出油を集め、油回収装置等に油を誘導する。また、拡散を防ぐためにオイルフェンス端を閉じ包囲する場合もある。

広い海域において広範囲に流出した油を回収する場合、油を回収した海面の面積（以下、掃海面積とする）は、

$$[\text{掃海面積}] = [\text{掃海幅}] \times [\text{掃海速度}] \times [\text{時間}]$$

で表される。掃海面積を増すためには、オイルフェンスを用いて掃海幅を拡げることが有効である。掃海速度を増すと、オイルフェンスからの漏油が起こるので掃海速度の増加には限界がある。また、油膜厚さを増すことにより回収効率を上げるためにも、オイルフェンスを用いて掃海幅を増すことは有効である。

オイルフェンスの展張例を図 2-8^{20) 21) 22) 23)}に示す。オイルフェンスの展張形態には、支持アームを延ばす1船によるもの図 2-8 (a) の他、複数の船により展張す

るものがある。その展張形態から、(b)U字型展張や(c)J字型展張と呼ばれる。油回収装置は、展張部分最後部に配置する。(d)V字型展張は油を最後部に誘導しやすくしたものである。V字型を形成するために、最後端には底面にネットを張りV字型を維持する工夫がなされている。

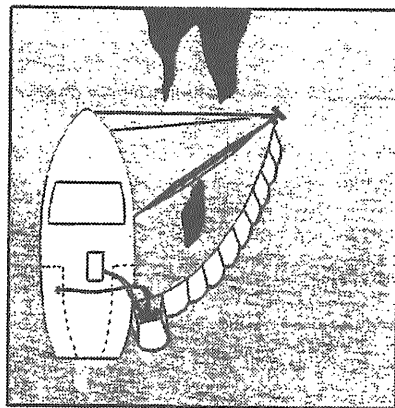
2.3.1.2 油回収装置の原理と回収方式の種類

海上に流出した油は、オイルフェンスで集められた後、油回収装置等により回収される。既存の油回収装置の原理は、1)油と水の密度差によるもの、2)油の他の物体への付着性によるもの、3)多孔質物質等の吸着性を利用するもの、4)高粘度の油の油塊が網・孔・突起等に引っかかる機械的方法によるもの、以上の4種類である。

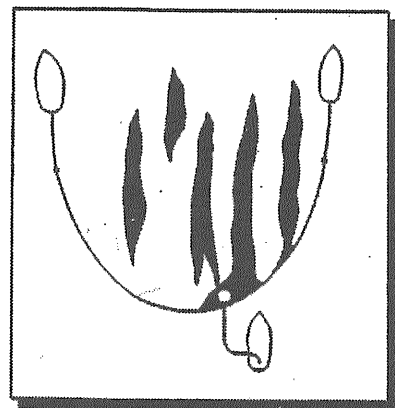
油回収装置の回収方式は、以上の何れかの原理、または複数の原理により海面から油を回収している。次に回収方式の代表的な例について示す。

(A1) 吸引式 (図 2-9²³⁾)

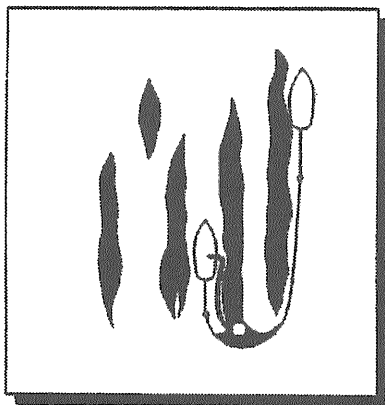
吸引式油回収装置は、海面表層に吸入口を浮かべ、



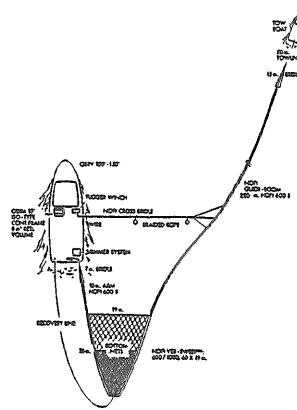
(a) 支持アームによる展張



(b) U字型展張



(a) J字型展張



(b) V字型展張

図2-8 オイルフェンスの展張形態^{20) 21) 22) 23)}

海面上に浮かぶ油をポンプの吸引力を利用し、タンク等に吸引して回収する方法である。この方式を用いて油を効果的に回収するためには、吸入口を海面の動きに追従させる必要があり、一般に、うねりのように波長の長い波に対しては追従性が良いが、風浪のように波長の短い波に対しては追従性が悪くなる。この方式により回収された油水は、一般に水を多く含むので油水分離槽や油水分離器（以下、油水分離器等とする）による後処理が必要である。

(A 2) 堰式 (図 2-10²⁴⁾)

装置内の可変式の堰の高さを油水界面に調整することにより、堰を越えて流れこむ油を回収する。この方式を用いて油を効果的に回収するためには、堰の高さを油水界面の動きに追従させる必要がある。この方式により回収された油水は、一般に水を多く含むので油水分離器等による後処理が必要である。

(A 3) 傾斜板式 (図 2-11²⁵⁾)

装置の前面に傾斜板を設け、装置を前進させることにより、油膜を傾斜板に沿って装置内に導き、密度差によって浮上した油を回収する方式で、海水はタンク底部の開口部を通じてそのまま排出される。

この方式には、装置と油水の速度差による乱流を防ぎ油の導入をスムーズにするため、傾斜板の位置に回転ベルトを設けたものや、その回転ベルトに浮遊性を持たせたり、集油タンクに負圧をかけ自由表面を無くすことにより、波浪による影響を減少させるもの等がある。

(A 4) 遠心分離式 (渦流式) (図 2-12²⁵⁾ 26)

本方式は、装置を前進させることによって生じる相対流や、回転翼を回すことにより、装置内に導いた油水に渦流を生じさせ、遠心力により油と水を分離回収するものである。遠心力により、密度の大きい水分はサイクロン室の周辺部に押し出され、回流しながら装置下部から排出され、密度の小さい油分は中心部に集

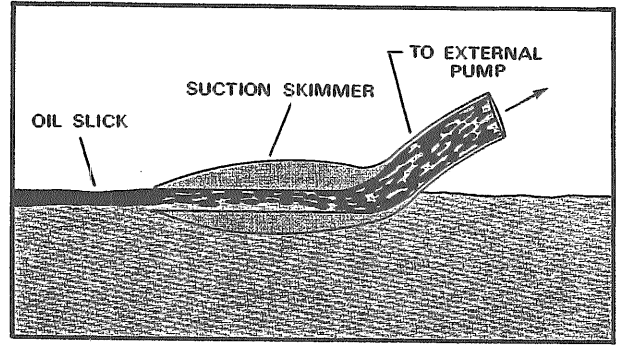


図2-9 吸引式²³⁾

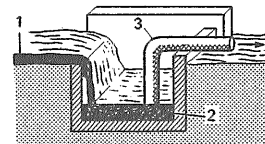


FIG.3.17 Operating principle of weir-type skimmer; (1) oil slick; (2) weir-type skimmer; (3) suction pipe.

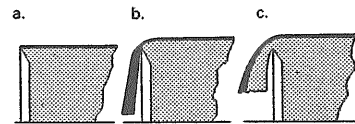


FIG.3.18 Flow of oil over the edge of the weir; (a) no flow; (b) limited flow of oil only; (c) free flow of oil and water.

図2-10 堰式²⁴⁾

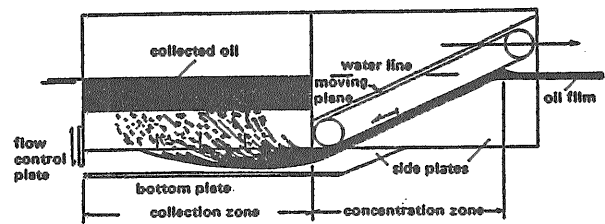


図2-11 傾斜板式²⁵⁾

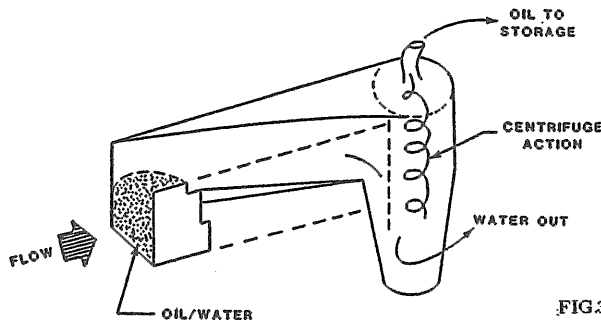


図2-12 遠心分離式 (渦流式) ²⁵⁾ 26)

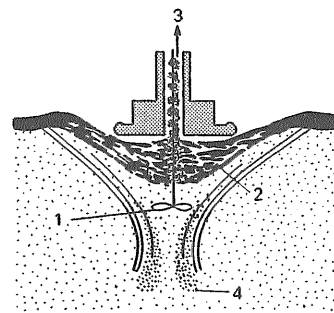


FIG.3.31 Centrifugal (vortex) skimmer; (1) water pump; (2) sinkage due to vortex; (3) oil to separator; (4) water.

められ回収タンクへ回収される。

(B 1) 円板式・(B 2) ドラム式・(B 3) コンベア式
(ベルト・ブラシ)・(B 4) ロープモップ式

これらは、油の付着性や多孔質物質の吸着性を利用して油を回収する。油を付着・吸着させる部分が円板、ドラム、ベルト、ブラシ、ロープモップ等のものである。(図 2-13²⁵⁾, 2-14²⁵⁾, 2-15²⁴⁾, 2-16²³⁾)

この方式は、原理的に回収された油水中の水の割合が少ない特徴がある。

(C 2) 回転籠式 (図 2-17²⁷⁾)

高粘度の油塊が、メッシュを通り抜けられずに溜まることにより回収する。本方式の場合、メッシュは籠状になっており、油塊を導くために断面形状に工夫がある。

既存の回収方式について原理別にまとめたものを、表 2-2 に示す。回収方式は複数の原理の要素を併せ持つものがあるが、最も重要な原理について分類した。また、付着と吸着は厳密には原理が異なるが、分類が難しい面もあるので、付着・吸着として分類した。

回収方式は、製造者毎に独自の考案等を付加し、別の方式名をつけていることが多い。また、回収方式は資料によって異なる分類をしていることがある。

2.3.2 国内外の油回収装置と油回収船

2.3.2.1 油回収装置

国内外の油回収装置の現状は、表 2-328)、及び表 2-429) に示すとおりとなっている。

国内の現有回収装置の性能は、表 2-3 によると 2 m を越える高波高に対応できるものは一種類のみである。海外の現有回収装置の性能は、表 2-4 によると既存の回収方式によるものと考えられるが、イギリス及びノルウェーの回収装置では、波高が 3.5 m で回収可能とされる性能を有するものもある。

しかし、この場合も、波高 3.5~4 m を越えるような海象条件ではほとんど回収不能となることがいわれており、その技術的理由は次のとおりである³⁰⁾。

- (1) 油が大きい粒状 (droplets) になっている場合、それらは当該海域の波高と同じ水深の海中に分布してしまっており、天候が回復するまで海面上には浮上してこないこと。
- (2) 油がさらに小さい粒状になっている場合、海水中に混じりこんでしまうこと。
- (3) 海面上の油が波浪による表面流れで非常に増速し、オイルフェンスによる捕捉が困難となること。

また、ノルウェーにおいては、波高 3 m を越えるような海象では作業員の安全のため出動しないとしている。

表 2-3, 2-4 で示す国内外の現有回収装置の性能は、カタログ、または聞き取り調査等によるものなので、必ずしも実海域で装置の有効性が確認されたとは言えな

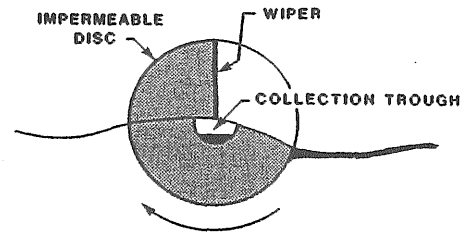


図2-13 円板式²⁵⁾

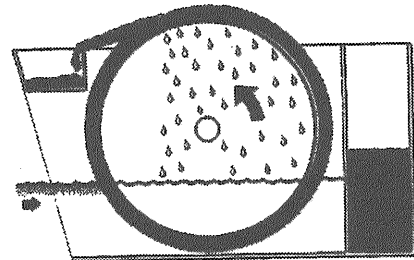


図2-14 ドラム式 (ドラムブラシ) ²⁵⁾

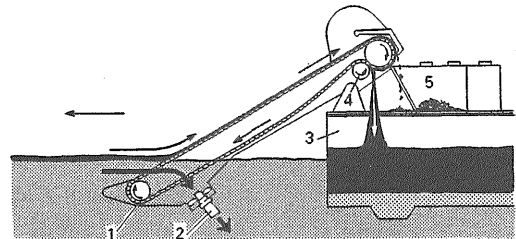


FIG.3.29 Operating principle of belt skimmer; (1) belt; (2) pump; (3) ship; (4) wringer rollers; (5) debris; (←) vessel movement.

図2-15 コンベア式 (ベルト・ブラシ) ²⁴⁾

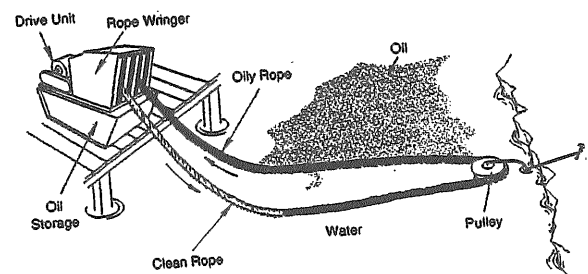


図2-16 ロープモップ式²³⁾

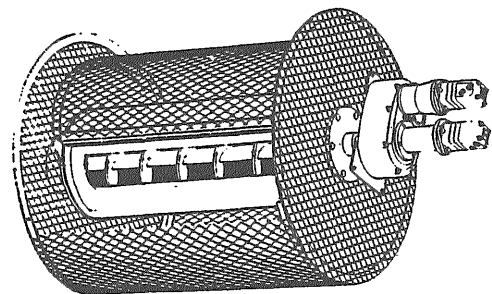


図2-17 回転籠式²⁷⁾

表2-2 原理別の油回収方式

原理	回収方式	備考
A 密度差	1 吸引式	海面上の油面をポンプにより吸引する。波により油面が上下するので、フロート等に吸引口を取り付け油面に追従するようにする。回収油水中の水の割合が大きい。
	2 堰式	海面上の油面を堰により油面だけを回収する。一般に波には弱いものが多い。回収油水中の水の割合が大きい。
	3 傾斜板式	船の前進により、海面上の油が傾斜板に沿って溜り込み、ウェルタンクに導かれる。 船体に組み込まれ油回収船として使われる例が多い。
	4 遠心分離式 (渦流式)	船の前進または、回転翼の回転等によりサイクロン等の分離室内の油水を回転させ、遠心分離する。
B 付着・吸着	1 円板式	回転円板に付着した油をスクレーパーにより掻き落とす。 含水量が少ない。
	2 ドラム式	回転ドラムに付着した油をスクレーパーにより掻き落とす。 含水量が少ない。
	3 コンベア式 (ベルト・ブラシ)	ウレタンフォーム等によるベルトやナイロン等によるブラシをコンベアにとりつけ回転させる。
	4 ロープモップ式	エンドレスのロープモップを海面上を循環、油を付着させ油を回収する。
C 機械的	1 コンベア式 (メッシュ)	金属メッシュ等によるコンベアを回転させ、メッシュを通過できない海面の油塊を回収する。
	2 回転箆式	メッシュでできた箆を回転させ、メッシュを通過できない海面の油塊を回収する。
	3 ネット式	ネット内に油水を導き、ネットを通過できない油塊を回収する。
	4 グラブ	砂利運搬船(ガット船)等のグラブにより、油塊をつかむ。

い。回収可能とされる波高下においても、波高が高くなるにしたがい回収能力が大幅に落ち、またはかろうじて稼働できる状態であることも多い。回収可能な粘度についても同様である。

2.3.2.2 油回収船

現存する世界の油回収船について船型の特徴を概観する。日本における限定沿海区域以上を航行区域とする油回収船を表2-5³¹⁾に、また欧州における油回収船を表2-6³²⁾に示す。

欧州では、油回収専用船は少なく、必要が生じたときに油回収船として使用する、いわゆる兼用船が主体である。これらの船の多くは通常浚渫船として使われている。我が国最大の油回収船(船長95m)「清龍丸」もこの分類に入り、浚渫船との兼用船には比較的大型の船が多いことがわかる。油回収専用船は北海油田に近接したノルウェー、ドイツ、英国で多く配備されている。

ここで、油流出事故が発生した場合の一般的な対応策として稼働している兼用船の特徴を述べる。浚渫船

表2-3 国内の油回収装置²⁸⁾

油回収装置							
名称	国名	会社名	方式名	高さ(m)	粘度	回収量	備考
1 散気分散式油回収装置	日本	石川島播磨重工業(株)	散気分散式	着船1	1~5000cSt		
2 ドラムフィン式油回収装置	日本	石川島播磨重工業(株)	ドラムフィン式	着船1	40~15万cSt		
3 バケツ式(回転筒式)油回収装置	日本	石川島播磨重工業(株)	バケツ式(回転筒式)	着船1	5000~150万cSt		
4 可変傾斜板式油回収装置	日本	石川島播磨重工業(株)	可変傾斜板式	着船1	40~5万cSt		
5 傾斜板方式油回収装置	日本	三菱重工(株)	傾斜板方式	着船1.25	A原油~C重油		
6 回転ドラム式(COV)油回収装置	日本	三菱造船(株)	回転ドラム式(COV)	着船2	5000cSt		
7 半浮胴型傾斜板方式(MFPOS)油回収装置	日本	三菱造船(株)	半浮胴型傾斜板方式	着船2.5~3	1万~10万cSt		船体一体型
8 油回収船過熱蒸気式油回収装置	日本	(株)新潟船工所	過熱式		軽質油~重質油	40m ³ /h	船体一体型
9 フリヂェン油回収装置	日本	フリヂェンシステム(株)	ベルト式		20000cSt	30m ³ /h	
10 DIP(回転傾斜板)油回収装置	日本	ワールドオーシャンシステム(株)	回転傾斜板式		10000cSt		船体一体型

* 表中の性能・仕様は、カタログまたは各社からの聞き取り調査による

表2-4 国外の油回収装置・オイルフェンス²⁹⁾

油回収装置							
名称	国名	会社名	方式名	高さ(m)	粘度	回収量	備考
1 STOPOL-1 SYSTEM	フランス	ELF ANTAR FRANCE	油吸着性の回転ドラム	1	低、中、高	1~16m ³ /h	
2 DYNAMIC CYCLONET 50 200	フランス	ALSTHOM-ATLANTIQUE NEYRTEC Division	サイクロン(渦流式)			10~1000 m ³ /h	
3 QT 165 (13/5)	ノルウェー	PHAROS MARINE	堰式	3	低、中、高	25~45 m ³ /h	
4 QT 165	ノルウェー	PHAROS MARINE	堰式	3	低、中、高	25~60 m ³ /h	
5 QT 260	ノルウェー	PHAROS MARINE	堰式	3	低、中、高	100 m ³ /h	
6 FDS-200	ノルウェー	FOILEX AB	堰式	2.5	0~1000000 cSt	65 m ³ /h	
7 LORS/LSC/LBC	ノルウェー	LORI	プラスチックバー(付着式)		高粘度		
8 OS-150	デンマーク	DE SMITHSKE A/S	堰式	2.5	低、中、高	25 m ³ /h	
9 OS-250	デンマーク	DE SMITHSKE A/S	堰式	2.5	低、中、高	80 m ³ /h	
10 OCEAN	デンマーク	DE SMITHSKE A/S	堰式	2.5	低、中、高	80 m ³ /h	
11 KOMARA 12K (30K)	イギリス	VIKOMA INTERNATIONAL LIMITED	円筒式(付着式)	1	低、中、高	2~12m ³ /h	回収量は、2=軽油、12=原油
12 SEASKIMMER50	イギリス	VIKOMA INTERNATIONAL LIMITED	円筒式(付着式)	3	中	50 m ³ /h	
13 SEASKIMMER100	イギリス	VIKOMA INTERNATIONAL LIMITED	円筒式(付着式)	3.5	低、中、高	100 m ³ /h	
14 SEADEVL	イギリス	VIKOMA INTERNATIONAL LIMITED	円筒式(付着式)		高粘度	100 m ³ /h	
15 TRANSREC-200	ノルウェー	FRANK MOHN AS	堰/円筒/ベルト	3	堰/円筒/ベルト 6万cSt/中/低-高	200 m ³ /h	回収部分は油の種類により堰、円筒、ベルトに交換可能
16 TRANSREC-250	ノルウェー	FRANK MOHN AS	堰/円筒/ベルト	3.5	同上	250 m ³ /h	回収部分は油の種類により堰、円筒、ベルトに交換可能
17 TRANSREC-350	ノルウェー	FRANK MOHN AS	堰/円筒/ベルト	3.5	同上	350 m ³ /h	回収部分は油の種類により堰、円筒、ベルトに交換可能
18 -	アメリカ	MARCO	フィルターベルト式		低、中、高	8~270m ³ /h	回収量はベルト巾、油粘度(高いと吸着量大)による
19 MW-82	アメリカ	CONTAINMENT SYSTEM	ロープ・モップ(付着式)	0.9	低、中、高		
20 MW-92	アメリカ	CONTAINMENT SYSTEM	ロープ・モップ(付着式)	0.9	低、中、高		

オイルフェンス

名称	国名	会社名	方式名	高さ(m)	粘度	回収量	備考
21 NOFI VEE-SWEEPS	ノルウェー	NOFI TROMSO A/S		最大4			オイルフェンスを引っ張って油を回収するもの
22 NOFI 1000-SERIES INFLATABLE OIL BOOMS	ノルウェー	NOFI TROMSO A/S		着船4			
23 RO-BOOM 1500	デンマーク	RO-CLEAN INTERNATIONAL		3			国内は住友ゴムと提携
24 RO-BOOM 2000	デンマーク	RO-CLEAN INTERNATIONAL		3.5			国内は住友ゴムと提携
25 RO-BOOM 3500	デンマーク	RO-CLEAN INTERNATIONAL		5~8			国内は住友ゴムと提携

* 表中の性能・仕様は、カタログまたは各社からの聞き取り調査による

は、浚渫土砂を短時間で捨てて油回収に出勤できる機動性を備え、浚渫土砂を蓄える大型のタンクやバラストタンクを使って大容量の回収が可能となる。沿海タンカーは浚渫船と同程度の大容量回収が可能であるが、低速時の操縦性能が悪い欠点がある。また、積荷の油をおろしてガスフリー処理等が必要となるために、準備に時間がかかる。石油掘削リグへの補給等に使用されるsupply shipは、独自のもつ救助、曳航、調査等の機能との適合性が良く、使い易い利点がある。また油回収装置の輸送と操作に便利で、広い甲板面積を有し、低速域での操船性能が良い。デンマークやスウェーデンにおいては、主な油流出事故時の油回収対応船としてsea truckがある。これは作業面積が広く、浅水域での作業が可能で操船性能が優れている。しかしながら、貯蔵容量が少量で大量流出油に対応できない欠点もある。

外洋における油回収機能を備えた油回収船は、現在のところ十分整備されていないのが実状である。回収性能については、油回収専用船の場合でも油回収装置の項で述べたのと同様、波高の影響は大きく、波高1.5mで平水中における性能の60%まで低下することであり、さらに高波高の場合は大幅に低下するものと考えられる。

なお、油回収専用船は、前述のように平時の経済性等の問題等から世界的にみても数が少なく、ほとんどが他の用途との兼用船となっている。運輸技術審議会の流出油防除体制総合検討委員会の中問答申でも油回収船の整備が謳われているが、それも兼用船が適当であるとしている。

外洋での油回収専用船は、ドイツにおいて研究が進められた時期がある。その油回収用に特別に設計され

表2-5 国内の油回収船³¹⁾

1996年4月1日現在

船名	総トン数	全長 m	航行区域	回収方式	回収方式(詳細)	回収能力	回収油タンク容量
						kl	kl
たるまえ	68		限定沿海	回転式	回転ベルト傾斜式	30	24
さくら	50		限定沿海	付着式	浮遊ベルト式	30	30
第3たかほこ丸	483		沿海	導入式	傾斜板式(MIPOS-45)	60	
						37	4
						93	300
ちかびおやしお	193		沿海		三菱傾斜板式	21	41
男鹿3号	191		沿海		BSM-II	65	100
広野丸	160		沿海		三菱傾斜板式	21	41
ちよなみ	52		限定沿海	付着式	浮遊ベルト式	64	25
蒼海	326		限定沿海	吸引式	気泡分離式	23	50
第二蒼海	453		沿海	吸引式	気泡分離式	50	60
						20	
清龍丸	3,526		近海	導入式	傾斜板式	1,000	1,450
				吸引式	渦流式	1,000	
白龍	196		沿海	付着式	ベルト式	40	40
かいおう	340		沿海			8	0
ほうおう	249		沿海			8	0
よどなみ			限定沿海	導入式	回転傾斜板式	42	50
すま丸	209		限定沿海	導入式	傾斜板式	90	60
はりま	199		沿海	導入式	傾斜板式	30	13
ひめしお		22.0	限定沿海	付着式	ドラムフィン式	53	59
紀淡丸	428		沿海	吸引式		120	210
わかしお		19.9	限定沿海	付着式	浮遊ベルト式	62	41
MIPOS-AII	14		沿海	導入式	傾斜板式	20	2
ひえん	19		限定沿海	導入式	傾斜板式	33	5
いしづち	199		沿海	導入式	傾斜板式	30	10
まつしお		17.5	限定沿海	導入式	傾斜板式	55	60
せとなみ	81		限定沿海	導入式	可変せき流式	45	45
くろしお		15.9	限定沿海	導入式	傾斜板式	40	23
しゅうなん1号	17		限定沿海	吸引式	フロートサクション式	50	12
マリンエース	19		限定沿海	吸引式	ネットコンペアー式	50	13
さちなみ	111		限定沿海	吸引式	フロートサクション式	68	34
第2ブルーオーシャン	3,407		沿海				6,400
ひえん			限定沿海	導入式	傾斜板式(MIPOS-13)	32	5
第1清海丸	497		沿海	吸引式	フロートサクション式		850
第2清海丸	1,100		沿海	吸引式	フロートサクション式		2,000
有帆	127		限定沿海	導入式	傾斜板式(MIPOS-13)	58	30
ひめしま	277		沿海	吸引式		60	60
第2清海	19		限定沿海	付着式	ウレタンフォームドライ式	3	3
ゆのしお		20.4	限定沿海	導入式	可変せき流式	45	67
仁徳	97		沿海	吸引式	モノレックス	40	45
ともしお		22.0	限定沿海	付着式	ドラムフィン式	53	59
大光丸	96		限定沿海	吸引式	フロートサクション式	30	40
からはま	22		限定沿海	吸引式	フロートサクション式	10	7
ちかびくろしお	193		沿海		三菱傾斜板式	25	131
きさん2号	31		沿海		グラビティ分離式	47	6
				導入式	可変せき流式	47	
西海丸	75		沿海		BSM-II	55	55
共備丸	197		限定沿海	付着式	ドラムフィン式	57	30
八重津	58		限定沿海	導入式	傾斜板式	52	9
あすわ	320		沿海	導入式	傾斜板式(MIPOS-40)	89	125
ミスタークリーン	32		限定沿海	吸引式	フロートサクション式	30	6
おのがら	193		沿海		浮遊ベルト式	84	131

表2-6 欧州の油回収船 (2)

No	国名	船名	LBD (総トン数)	油回収装置	貯蔵タンク / 回収能力	オイル・ブーム、スイーピング・アーム、その他
01	Norway	Troms Skarven	79.70×18.00×5.96	add Transrec	1,034/	add Ro boom, 12m3 Dispersant
02	Norway	Normand Mjolne	83.45×18.00×5.56	add Transrec	974/	add Ro boom
03	Norway	Far Fosna	74.50×18.00×5.50	add Transrec	1,200/	add Ro boom
04	Norway	Active Duke	80.74×18.00×4.95	add Transrec	1,021/	add Ro boom
05	Norway	Maersk Chieftain	76.40×17.60×() (2,887GT)	add Transrec	933/	add Ro boom, 12m3 Dispersant
06	Norway	Far Scout	75.50×16.60×5.60	add Transrec	1,045/	add Ro boom
07	Norway	Normand Jarl	75.60×16.60×5.60	add Transrec	1,081/	add Ro boom
08	Norway	Far Turbot	77.70×14.50×5.94	add Transrec	1,050/	add Ro boom
09	Norway	Viking Fighter	69.30×15.50×5.70	add Transrec	1,073/	add Ro boom
10	Norway	Far Spirit	69.08×17.50×5.02	add Transrec	1,041/	add Ro boom
11	Norway	Aalesund	63.00×11.50×7.00 (1,357GT)	Transrec 250	765/ 250m3/h	NOFI 800 Fiocs Wee(230m)
12	Norway	VIMA	59.87×12.00×6.50 (1,479GT)			
13	Norway	Tromso	70.00×12.60×4.96 (1,350GT)	Transrec 250, VAB 4-9	826/ 250, 30m3/h	NIOFI 800 Fiocs Boom(260m)
14	Norway	Lance	60.80×12.63×5.50 (1,162GT)	VAB 4-9	200/ 30m3/h	EXPANDI 4300(304m)
15	Norway	Staalbas	58.76×9.41×6.50 (855GT)	Foilex TDS200, VAB 8-14	200/ 65, 80m3/h	NOFI 800S(300m)
16	Norway	Nordsjobas	52.04×10.01×6.55 (1,115GT)	Transrec 250	800/ 250m3/h	NOFI 800 Fiocs Wee(230m)
17	Norway	Stril Safety	58.76×9.00×6.35 (834GT)			
18	Norway	Lafjord	55.40×9.80×6.18 (1,219GT)	Foilex TDS200, VAB 8-14	800/ 65,80m3/h	NOFI 800S(300m)
19	Norway	Strilvard	63.51×9.00×5.48 (843GT)			
20	Norway	Strilhav	56.60×9.00×4.03 (750GT)			
21	Norway	OV01		Foxtail Skimmer VAB 4-9	90/ 30m3/h	EXPANDI 4300(304m), 1 Grabb
22	Norway	OV02		Foxtail Skimmer VAB 4-9	90/ 30m3/h	EXPANDI 4300(304m), 1 Grabb
23	Norway	OV03		Foxtail Skimmer VAB 4-9	90/ 30m3/h	EXPANDI 4300(304m), 1 Grabb
24	Norway	OV04		Foxtail Skimmer VAB 4-9	90/ 30m3/h	EXPANDI 4300(304m), 1 Grabb
25	Norway	Vernoy		Foxtail Skimmer VAB	50/ 30m3/h	Sea Serp. 2000(200m), 1 Grabb
26	Norway	Villa		Foxtail Skimmer VAB 4-9	25/ 30m3/h	EXPANDI 4300(304m), 1 Grabb
01	Netherlands	Geopotes 14	124.00×20.00×7.60		6,600/	
02	Netherlands	Rijndelta	113.00×18.00×9.00		3,548/	2 Sweeping Arms(13.5m)
03	Netherlands	Cosmos	113.00×20.00×7.30 (6,164GT)		6,300/	2 Sweeping Arms(20m)
04	Netherlands	Cornelia	112.50×19.60×7.46		6,400/	2 Sweeping Arms(20m?, 15m?)
05	Netherlands	Hein	78.70×13.50×5.00		2,867/350m3/h×2	2 Sweeping Arms(13m)
06	Netherlands	Lesse	70.90×13.30×4.70		1,537/	1 Sweeping Arm
07	Netherlands	Mitra	56.00×11.50×3.50		142/	NOFI(500m), 1 Sweeping Arm(13m)
08	Netherlands	Small agt	54.50×9.50×3.30	1 Framo Skimmer	408/	2 Fixed Sweeping Arms(13m)
09	Netherlands	Volans	48.00×10.00×3.00	Sweeping Arm	300/	Oceanography
01	Sweden	KBV005	45.50×10.50×3.30			
02	Sweden	KBV010	46.10×8.59×3.90			
03	Sweden	KBV050	37.97×8.50×3.60			
04	Sweden	KBV004	35.50×8.00×3.00			
05	Sweden	KBV201	49.20×8.20×2.10			Sweeping Width 24m
06	Sweden	KBV003	40.00×6.60×()			
07	Sweden	KBV045	36.02×7.28×3.05			
01	Portugal	Mar limpo	15.50×5.50×0.80		28/ 50m3/h	
02	Portugal	Tarambola	10.00×3.80×0.95	Seamop 3040	5/ 10m3/h	Troilboom GP750(150m)

No	国名	船名	LBD (総トン数)	油回収装置	貯蔵タック / 回収能力	オイル・ブーム, スイッチング・ブーム, その他
01	Germany	Nordsee/DBEM	131.75 × 23.00 × 6.70		5,400 / 700m ³ /h × 2	2 Sweeping Arms(22m), 61m Sweep width
02	Germany	Mellum/DBPG	71.50 × 15.11 × 5.76 (1,703GT)	2 ACW400 Framo, add 1 Walosep W3 Skimmer	910/ 400, 90, 640m ³ /h	600m High-sea boom, add 1 High-sea Oilboom, 2 Sweeping Arms(15m), 41m Sweep Width
03	Germany	Westensee/DFSE	46.08 × 27.00 × 4.44	Mobil Oil Dike Sobinger System	1,960/	15m Sweep width
04	Germany	Marcus/DHUM	79.50 × 11.50 × 3.92	1 GT 185, 1 Walosep W1	1,600/ 720m ³ /h	Skimming Width 6m
05	Germany	Scharhorn/DGOQ	56.12 × 14.23 × 4.20	add 1 Walosep W3 Skimmer	430/ 320m ³ /h × 2	add 1 High-sea Oilboom(600m), 2 Sweeping Arms(13m), 36m Sweep Width
06	Germany	Motch II	57.87 × 10.90 × 3.84		320/ 100m ³ /h × 2	2 Sweeping Arms(15m), 19.5m Sweep Width
07	Germany	Eversand/DROJ	48.70 × 12.00 × 3.50	Integrated weir and separation system	790/ 160m ³ /h × 2	45m Sweep Width, JW-Separator(240m ³ /h)
08	Germany	Bottsand/Drnr	46.30 × 12.00 × 3.10	Integrated weir and separation system	790/	Sweep Width 42m
09	Germany	Kiel/DLQO	48.00 × 9.20 × 3.00	2 Gustav Terling GT260, 2 Framo ACW400?	350/ 100m ³ /h × 2	Sweep Width 25m, Separator(320)
10	Germany	Knechsand	38.50 × 13.20 × 2.40	Skimmer, Hand Skimmer	400/ 800m ³ /h	add 200m oilbooms, Skimming Eidth 10m
11	Germany	BAWAI	43.34 × 8.11 × 3.10	1 Vikoma Skimmer	320/ 50m ³ /h	180m Oilboom, 100m Absorbenbooms
12	Germany	MPOSS/DBCZ	34.20 × 12.00 × 1.86 (221GT)	Integral skimmer	300/ 600m ³ /h	50m Oilboom, Skimming width 8m, KSR System(RFA)
13	Germany	Thor/DLIC	34.65 × 8.20 × 2.50	Integral weir skimmer	225/ 100m ³ /h	Sweep Width 31m
14	Germany	Transporter 11/DDBE	37.70 × 7.70 × 1.90		360/	
15	Germany	Norderhever/DB6234	40.23 × 9.00 × 1.50	2 GT185, Walosep W1	150/ 45m ³ /h × 2	
16	Germany	Kopersand	33.00 × 7.00 × 1.56	2 Gustav Terling GT185, 1 Walosep W1 Skimmer	84/ 45m ³ /h × 2	
17	Germany	Oland	26.00 × 7.20 × 1.80			
18	Germany	OSK 1	25.00 × 8.10 × 1.64	Convey or Belt, Mop Skimmer, Handskimmer	18/ 40m ³ /h	150m Oilboom, Sweep Width 8m
19	Germany	Janssand/DBJQ	30.00 × 7.00 × 1.51	2 Gustav Terling GT185, 1 Walosep W1 Skimmer	63/ 45m ³ /h × 2	
20	Germany	Foline/DICQ	26.50 × 5.30 × 1.75	1 Walosep W1	74/ 30m ³ /h	100m coastal boom
21	Germany	Marline/DKRT	25.00 × 4.50 × 1.75		56/	100m coastal boom
22	Germany	Asche	22.90 × 6.40 × 1.15			
23	Germany	OS01	17.80 × 4.60 × 1.82	Weir with selfpriming Function	19/ 20m ³ /h	Flotsam sweeping basket
01	UK	Clwyd Supporter	85.00 × 16.00 × 4.90 (2,762GT)	1 Oleophilic disc skimmer	500/	Comprises of 500m floating sweep booms
02	UK	Forth Explorer	75.94 × 13.00 × 4.00 (1,321GT)	Vikoma Sea Skimmers 50, 100	1,578/	450m Vikoma seapack, 250m Coastal Pack, 34.2t Dispersant
03	UK	Seflon Supporter	85.00 × 12.25 × 3.30 (1,219GT)		1,200/	500m offshore inflatable floaying booms, 2 rigid(floating)sweep arms
04	UK	Grampian Supporter	65.00 × () × 4.90	Oleophilic disc skimmer	500/	Comprises of 500m floating sweep booms
05	UK	Sespring	59.56 × 11.43 × 3.66 (774GT)	1 Vikoma SS100 Skimmer	591/	500m Ocean boom, 250m coastal boom(Troilboom), Spring Sweep
06	UK	Clean Seas	39.00 × 8.00 × 3.50		200/	Sprig Sweep(Troilboom)
07	UK	Scapa Lass	18.50 × 6.00 × 0.80		48/	
08	UK	Good Wytch	15.50 × 5.50 × 0.80		28/ 50m ³ /h	
01	Denmark	Gunnar Seidenfaden	55.60 × 12.30 × 3.85 (868GT)	ACW400 Framo(Desmi, Komara?)	315/	Sweeping Boom, 250m coastal oilboom, 45m ³ Dispersant
02	Denmark	Marie Miljoe	29.75 × 8.00 × 1.60	1 Endless band skimmer	64/	Boom stowed on board, 11m ³ Dispersant
03	Denmark	Aurica	19.40 × 5.40 × 1.70 (48GT)	Endless band		Coastal oil boom, 7.2t Dispersant
01	Finland	Halli	61.00 × () × ()	Burash-conveyor-skimmer	/ 108m ³ /h	
02	Finland	Hylje	50.00 × 12.50 × 3.00	Separator	860/	Direct Flow into Hull
01	Belgium	Salvage Chief	50.65 × 12.78 × 2.50	Lori-oil recovery system	150/	
02	Belgium	DN31	32.63 × 11.86 × ()		518/	2 Sweeping Arms(13m)
01	Greece	?	10.00 × 3.80 × 0.95	Seamop 3040	5/ 10m ³ /h	150m Troilboom GP750

たドイツの油回収専用船について、その特徴を記す³³⁾。
これらの船は、船長50m以下の比較的小型の船である。

(1) MOD (Mobile Oil Dike) (図2-18³⁴⁾)

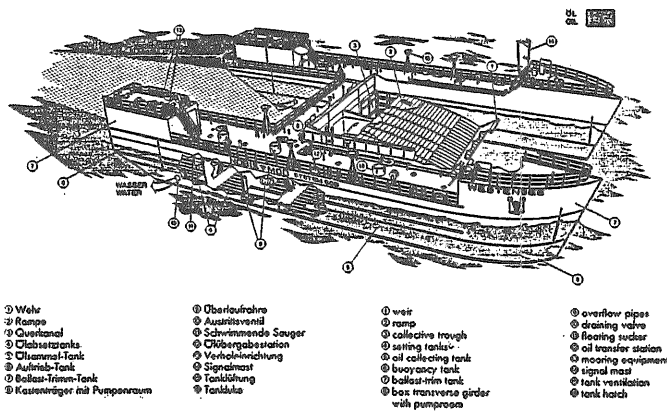
ツインハルの内部に生ずる大きな渦が油回収の障害となる。そのため、船首の斜面板の前部に格子パイプを設置し、渦を消す工夫をしている。

波浪中と平水中の油回収効率の比較

- 1) 波高1.0m 80%
- 2) 波高1.5m 60% (但し、追波の場合は70%)

(2) 船体分離型油回収船 (SCISSOR) (図 2-19³⁴⁾)

比較的高速の移動が可能で、現地へ迅速に直行できる。追波中では、シールドデバイスとなる。欠点は、



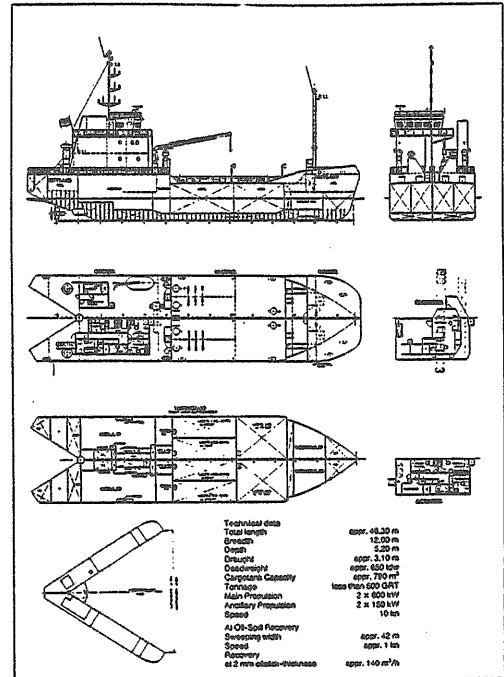
- ① Wehr
- ② Rampa
- ③ Querschal
- ④ Ölabsatzrampa
- ⑤ Ölwanne-Tank
- ⑥ Auftrieb-Tank
- ⑦ Ballast-Trimm-Tank
- ⑧ Kastenträger mit Pumpenraum
- ⑨ Oberlaufrolle
- ⑩ Austrittsventil
- ⑪ Schwimmende Sauger
- ⑫ Ölbergabestation
- ⑬ Verteilungsröhre
- ⑭ Signalmast
- ⑮ Tanklüftung
- ⑯ Tankdüse
- ⑰ Wehr
- ⑱ ramp
- ⑲ collective trough
- ⑳ settling tank
- ㉑ oil collecting tank
- ㉒ buoyancy tank
- ㉓ ballast-trim tank
- ㉔ box transverse girder with pumproom
- ㉕ overflow pipes
- ㉖ draining valve
- ㉗ floating scum
- ㉘ oil transfer station
- ㉙ mooring equipment
- ㉚ signal mast
- ㉛ tank ventilation
- ㉜ tank hatch

図2-18 MOD (Mobile Oil Dike : 可変式油堰) ³⁴⁾

適当な流れがないと回収効率が悪くなることである。

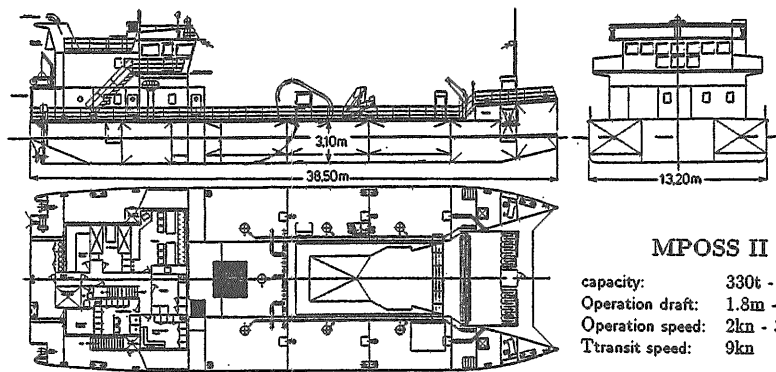
(3) MPOSS (Multi Purpose Oil Skimming System) (図 2-20³⁴⁾)

浮体付きの堰が波に追従するため、比較的波浪に強い。また、船首部ツインハルの垂直壁による波の反射

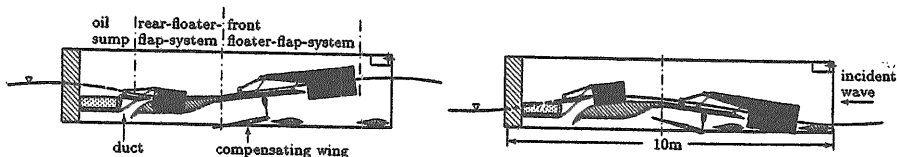


C. LOHRING Schiffswerft GmbH & Co. KG
2209 Brunsbüttel/Unterweser - P.O. Box 1259 - Telefon (0449) 79 61 - Telex 82317

図2-19 船体分離型油回収船 (SCISSOR) ³⁴⁾



Knechtsand (MPOSS II)



Oil Skimmer behavior in waves (MPOSS)

図2-20 MPOSS (Multi Purpose Oil Skimming System : 多目的油回収装置) ³⁴⁾

が、油回収の効率低下をきたすので、多列の穴あき板を船体壁にならべて波浪低減を図っている。

(4) 波浪低減技術

ドイツで開発された3種類の油回収専用船の運用より本技術が得られた。これは、油取入れ部の側壁垂直パイプを種々の間隔で配置することにより、入射した波の減衰をねらったものである。また、ピーチ部分のすぐ上部にパイプを水平に設置し渦を消滅する事により消波する工夫をしている。

波浪低減技術としては、このようなパッシブな波浪制御が現実的であるが、これを最適設計する技術は未だ確立されていない状況である。

2.3.3 外洋での油流出事故における油回収装置の有効性

2.3.3.1 ナホトカ号油流出事故

(1) 概要

ナホトカ号から流出した積み荷のC重油の総量は約6,240klと推定¹⁾され、波浪により一部は分断されたが、多くは日本海沿岸域の広い範囲に漂着している。油が極めて高粘度(約123万cSt)であり、荒天が続いたことから、作業は荒天の間を縫って比較的気象・海象が平穏な僅かの時期に集中して実施され、回収油量は、日本(清龍丸等)が推定約1000kl、シンガポール(RO-SKIM)は回収不能、ロシアは派遣船全体で推定約200klであり、非常に回収効率が悪かったことが報告²⁾されている。

ナホトカ号油流出事故での高粘度油の回収は、従来型の油回収資機材によって天候回復時のみの作業に限定して行われ、多くの教訓が得られている。油回収装置に関しては、気象・海象の厳しい外洋に対応できるものがなかったこと、及び超高粘度油の回収に適したものがなかったことの2点が強調されている。

また、日本周辺は浮遊するゴミが比較的が多い海域であり、流出した油がゴミを取り込みやすく、このため油回収装置の回収口やホース等の目詰まりなどが発生し、回収効率の低下を引き起こす原因となった。

(2) 油回収専用船の油回収状況等

ナホトカ号油流出事故による流出油の回収の実際を知るため、回収作業に従事した、むつ小川原石油備蓄株式会社所属の第3たかほこ丸について、船型、回収装置、回収状況等について調査を行った。なお、本船は荒天時においては、港にて待機しているので、回収状況は活動可能な比較的low波高のときの状況である。

船型、回収装置

第3たかほこ丸は、双胴船首、単胴船尾型の三井傾斜板式油回収装置並びにコンベア式ゴミ回収装置を装備している。

回収状況

- 1) 本船の油だまりへの油の導入は概ねうまくいったが、時間の経過とともに導入したはずの

油が見あたらなくなることが度々生じた。浮流油が水分を多く含み、海水の密度との差が少なくなったことによると思われる。

- 2) 本船備え付けの回収ポンプは低粘度油を想定しており、高粘度油に対応できないため、スウェーデン製のアルキメデス・スクリュウ型ポンプを新たに取付け、回収にあたった。油は、ドラム缶で約200本/回を回収できた。
- 3) 作業海域は、浮遊ゴミが非常に多かったが、結局、油とゴミを区別することなくポンプで回収した。ポンプには少なからずダメージがあったと考えられるため、浮遊ゴミ対策も重要な検討課題である。
- 4) 回収作業は、本船備え付けの波高計で2.5m程度でも可能であった。
- 5) 本船は、船型上の特性から、向かい波では操船が困難であった。
- 6) 3~5ノットの低速での長時間航行は想定しておらず、主機関の潤滑、冷却を度々行う必要が生じ、作業に影響があった。

評価としては、高粘度油の回収には特別な機器を必要とするものの、低波高下では有効であることが明らかとなった。

(3) 運輸技術審議会総合部会中間答申中の油防除技術関係

運輸技術審議会総合部会中間答申中に述べられている外洋における油防除技術に関する基本的な考え方は、次のとおりである。当所における研究開発も答申の趣旨を考慮して実施する必要がある。

- ・冬季日本海の家象を考慮した、高波浪下での回収技術
- ・ムース化したような超高粘度油の回収技術
- ・油回収船は、経済性などを考慮して多用兼用船

2.3.3.2 その他の海難事故

洋上での機械的回収法の効率は、一般に最大でも10%程度とされている。

使用された回収装置毎のデータは示されていないが、Exxon Valdez号のケースで約8%、Sea Empress号では強風下でもあり約1.5~2.5%であった。また、Braer号の場合は荒天のため洋上での油回収はできなかった。

2.4 現状における油回収装置の性能上の課題

以上の調査から、現在の油回収装置の主たる問題点は、

- (1) 高波浪下での性能の大幅な低下
- (2) 高粘度油の回収が困難

にあることが判る。これらの技術的ウィークポイントが、そのまま今回のナホトカ号油流出事故において被害拡大を招く大きな要因となっており、その対応が必要である。

3. 当研究所における今後の研究課題

前章では、現有の油回収船や油回収装置の性能等に関する調査結果について述べてきた。その結果、高波浪下では油回収船が稼働できない場合や、油の回収効率が悪くなるなどの問題点が明らかとなった。また、流出油は波浪によりムース化した高粘度油になり、回収が困難になるといった問題点もある。

そこで高波浪下において、油を効率よく回収するために、静穏水域を創出するための船型と、高粘度油にも対処できる油回収装置に関する研究開発を行い、これらの技術を油回収船として組み合わせて総合的に対処する方法が有力な方策として考えられる。

ここでは、油回収船の現状及びナホトカ号油流出事故での経験等を踏まえ、当所において実施すべき油回収船と油回収装置に関する研究課題について検討を行った。

3.1 油回収船の検討

3.1.1 油回収船の想定稼働環境

当所では、外洋における油回収船の回収作業について検討を行うものとする。そこで、外洋で効率よく油回収作業をするためには、油回収船の稼働環境を把握する必要があり、また流出油がどのような波浪状況に曝されるかも把握しておかねばならない。本節では、油回収船の想定稼働環境を調べるために、日本近海の波浪データを調査した。

3.1.1.1 日本近海の波浪データ

日本近海において波浪観測を実施し、観測資料を発行している機関として、気象庁や港湾技術研究所などがあり、それぞれの観測地点を図3-1に示す。観測結果は、以下の資料として発行されている。

1) 気象庁³⁵⁾

① 波浪図：気象庁では、北太平洋と日本沿岸域について、毎日午前9時（日本時間）の波浪の実況解析を行い、沿岸域については沿岸波浪実況図として、北太平洋については外洋波浪実況図としてそれぞれ第一気象無線模写通報(JMH)により放送している。

② 気象庁波浪資料：1982年～1995年の“気象庁外洋波浪図”と1976年～1995年の“気象庁波浪観測資料”を統合、沿岸波浪図を加えて、1996年分から“気象庁波浪資料 第1号（1997年3月）”が発行されている。この資料は、1996年の毎日（日本時間午前9時）の沿岸・外洋波浪実況図を掲載し、さらに観測地点に設置された気象庁沿岸波浪計で1996年に観測されたデータの統計資料を各地点毎に掲載したものである。以下に資料項目を挙げる。

- ・ 沿岸波浪実況図
- ・ 外洋波浪実況図

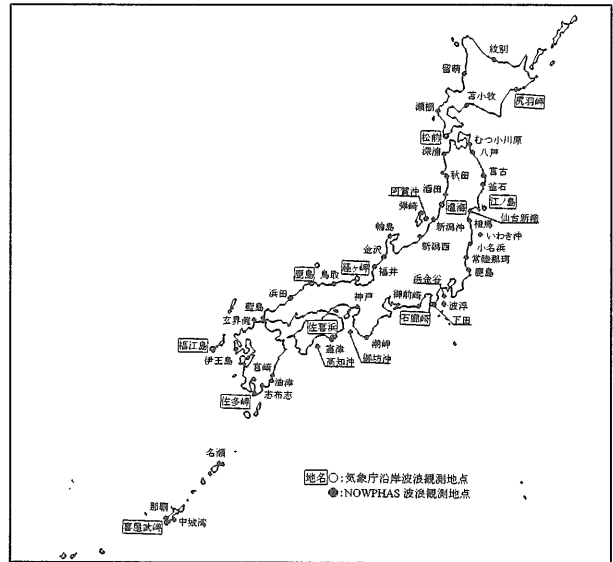


図3-1 沿岸波浪観測地点³⁵⁾

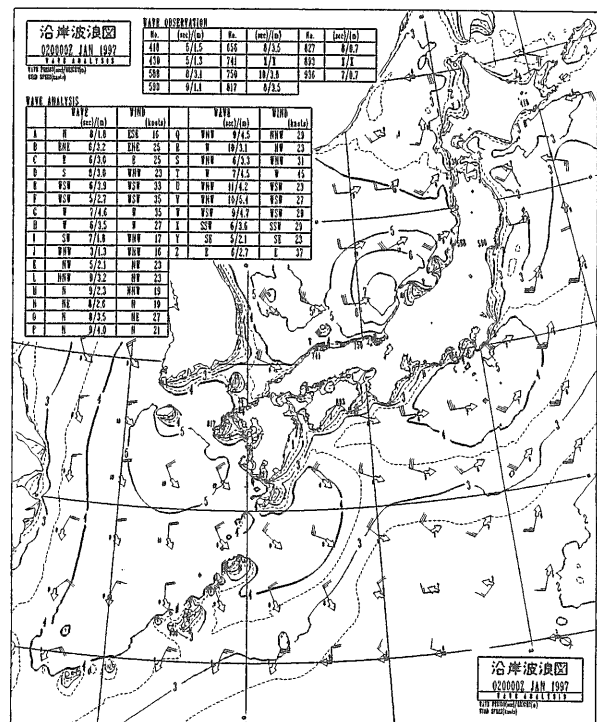


図3-2 沿岸波浪図（1997年1月2日午前9時）³⁵⁾

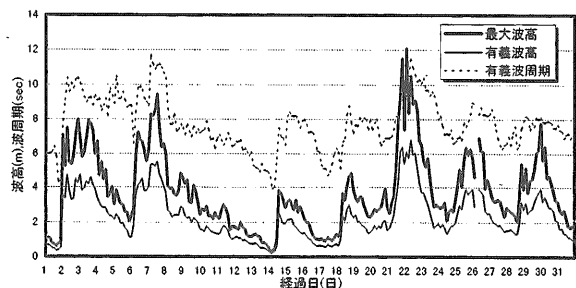


図3-3 時系列図（1997年1月、経ヶ岬）³⁵⁾

- ・時系列図(有義波高、最大波高、有義波周期)
- ・波浪観測年表(平均値、最大値、波高の階級別出現率、高波出現順位)
- ・波浪観測累年表(平均値、最大値、波高の階級別出現率、高波出現順位、波高・周期階級別出現率)一例として、1997年1月2日午前9時現在の沿岸波浪実況図(図3-2)、1997年1月の時系列図(経ヶ岬)(図3-3)を挙げる。

2) 港湾技術研究所³⁶⁾

1970年以来、港湾局では全国港湾海洋波浪情報網(NOWPHAS: Nationwide Ocean Wave information network for Ports and HarborS)を構築し、日本全国の沿岸海域(43地点)における波浪観測を実施している(図3-1参照)。港湾技術研究所では取得された観測記録の処理及び統計解析を分担し、その成果をこれまで波浪観測年報として毎年港湾技研資料として報告している。本資料における主な波浪統計項目は、次のとおりである。

- ・月/年間平均及び最大有義波
- ・最大有義波
- ・代表的気象じょう乱時の沿岸波浪分布
- ・波高・周期別出現分布
- ・波高・波向別出現分布(波向観測地点に限る)
- ・出現波高一覧

3.1.1.2 荒天日及び静穏日の出現・持続時間

北海道西岸・留萌、山形県・酒田、佐渡島北端・弾崎、能登・輪島、福井県・福井、島根県・浜田の観測地点について、有義波高 $H_{1/3}=3m$ に対する総継続日数及び出現頻度³⁷⁾より、季節ごとの平均持続時間及び平均出現周期を求めた。その結果を表3-1に示す。

$H_{1/3}=3m$ 以上の海象は、年平均50回程度、北海道西岸では30回程度である。年平均持続時間は、北陸～東北では14時間程度、北海道西岸及び中国地方北岸では10時間程度である。最も厳しい冬季には、北陸沿岸で有義波高3m以上の海象が2～3日周期で出現し、15時間程度持続する。東北地方沿岸～北海道西岸及び中国地方沿岸の出現周期は、6日間程度である。夏季には全く出現しない。

また、海域ごとの波浪の特徴は、次のようである。中国地方の沿岸は、主として日本海低気圧の通過、冬型気圧配置によって高波がもたらされる。更に、九州～四国の経路をたどる台風によって6m前後の高波が出現することがある。北陸～東北地方沿岸は、主として冬型気圧配置によって高波がもたらされる。また、列島を縦断する台風によって、能登半島以東の沿岸で7mを超える高波が出現することがある。北海道西岸は、主として日本海低気圧の通過によって高波がもたらされる。表3-2に日本海沿岸各地の $H_{1/3}=1m$ に対する未超過継続時間³⁷⁾を示す。これより、冬季においては、1m未満の波高の平均継続時間が1日以下であることがわかり、油回収船にとっては非常に厳しい稼働環境である

ことがうかがえる。

3.1.1.3 最多出現波浪

3.1.1.2節の日本海沿岸観測地点(酒田の代わりに阿賀沖とした)について、波高・周期度数分布表³⁸⁾より最多出現有義波高・周期及び出現率を求めた。その結果を表3-3に示す。

最も厳しい冬季の最多出現有義波高及び有義波周期は、北陸～東北地方沿岸では $H_{1/3}=2.5\sim 3m$ 、 $T_{H1/3}=7\sim 8$ 秒である。北海道西岸及び中国地方沿岸では、 $H_{1/3}=2\sim 2.5m$ 、 $T_{H1/3}=6\sim 7$ 秒である。油回収船の設計波浪として、周期が6～8秒を考慮すればよいことがわかる。また、設定波高により油回収船の稼働率が決定される。

3.1.2 洋上想定回収性能

想定流出油量については、国としての確たる値は示されていないが、石油連盟の関連事項に係る調査研究では約12,000klの流出を想定した例がある¹⁷⁾。諸外国においては、概ね大型タンカーの貨物タンク2個分に相当する10,000～15,000kl程度とし、これを2～3日で回収することを基本としている。ただし、回収時の気象・海象条件まで規定されているか否かは明らかでな

表3-1 $H_{1/3}=3m$ に対する超過継続時間³⁷⁾

季節	項目	留萌	酒田	弾崎	輪島	福井	浜田
冬季	総継続日数	6.5	17.0	25.0	22.5	17.0	12.5
	平均出現頻度(回)	15.0	33.0	39.0	35.0	27.0	18.0
	平均持続時間	10.4	12.4	15.4	15.4	15.1	16.7
	平均出現周期(日)	6.0	7.3	2.3	2.6	3.3	5.0
秋季	総継続日数	5.0	6.0	10.0	5.0	6.5	3.0
	平均出現頻度(回)	10.0	10.0	19.0	10.0	12.0	10.0
	平均持続時間	12.0	14.4	12.6	12.0	13.0	7.2
	平均出現周期(日)	9.0	9.0	4.7	9.0	7.5	9.0
夏季	総継続日数	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	平均出現頻度(回)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	平均持続時間	—	—	—	—	—	—
	平均出現周期(日)	—	—	—	—	—	—
春季	総継続日数	2.3	4.8	5.0	3.5	2.5	1.5
	平均出現頻度(回)	5.0	7.0	5.0	6.0	5.0	7.5
	平均持続時間	11.0	16.5	24.0	14.0	12.0	4.8
	平均出現周期(日)	18.0	12.8	18.0	15.0	18.0	12.0
年間	総継続日数	13.8	27.8	40.0	31.0	26.0	17.0
	平均出現頻度(回)	30	50	63	51	44	36
	平均持続時間	11.1	14.4	17.3	13.8	13.4	9.6
	平均出現周期(日)	—	—	—	—	—	—

表3-2 $H_{1/3}=3m$ に対する未超過継続時間³⁷⁾

季節	項目	留萌	酒田	弾崎	輪島	福井	浜田
冬季	総出現日数(日)	37.5	24.0	14.3	14.3	23.2	21.4
	平均継続時間(日)	1.0	0.7	0.5	0.5	0.8	1.0
秋季	総出現日数(日)	25.0	53.6	71.4	48.2	53.6	50.0
	平均継続時間(日)	1.3	1.6	1.3	1.4	1.6	1.5
夏季	総出現日数(日)	75.0	71.4	76.8	75.0	73.2	73.2
	平均継続時間(日)	3.5	4.5	3.2	4.4	4.3	2.8
春季	総出現日数(日)	75.0	58.9	53.6	58.9	64.3	60.7
	平均継続時間(日)	1.7	2.0	1.6	1.9	2.0	1.7

表3-3 最多出現有義波高・周期³⁸⁾

季節	項目	留萌	阿賀沖	弾崎	輪島	福井	浜田
冬季	有義波高(m)	2.0-2.5	2.5-3	2-2.5	2-2.5	2.5-3	2-2.5
	有義波周期(sec)	6-7	6-7	7-8	7-8	7-8	6-7
	出現率(%)	6.9	5.7	7.0	7.5	4.9	5.6
秋季	有義波高(m)	0.5-0.75	0.25-0.5	1-1.25	0.25-0.5	0.5-0.75	0.25-0.5
	有義波周期(sec)	5-6	3-4	5-6	4-5	5-6	4-5
	出現率(%)	6.1	9.0	5.2	7.8	6.5	7.9
夏季	有義波高(m)	0.25-0.5	0.25-0.5	0.5-0.75	0.25-0.5	静穏	0.25-0.5
	有義波周期(sec)	4-5	3-4	3-4	4-5	3-4	4-5
	出現率(%)	9.5	17.7	14.4	17.7	17.9	17.7
春季	有義波高(m)	0.5-0.75	0.25-0.5	0.25-0.5	0.25-0.5	0.25-0.5	0.25-0.5
	有義波周期(sec)	4-5	3-4	静穏	4-5	4-5	4-5
	出現率(%)	6.9	11.2	15.7	9.8	11.9	11.0

い（ノルウェーは、波高9フィート未満としている）が、回収装置の現状から事実上平穏な海域での作業を想定するものとなっていると考えられる。

また、ナホトカ号からの流出量は約6,300kl、ジュリアナ号海難事故（昭和46年）で流出量は約7,200klであった。したがって、洋上流出油の想定量として約12,000kl程度は概ね妥当と考えられる。

想定流出油量についての現状の想定値を特段変更すべき必然性はないことから、回収船が備えるべき単位時間あたりの回収油量についても、現在配備されている回収装置の値の範囲内として想定すれば足りる。研究の最終的な目標は、油回収船の回収油量の向上であるが、現在は困難な高波浪下での回収を可能とするための基礎技術の蓄積により、その目的を達成することが可能となる。回収油量の向上に伴い、油回収船に搭載する回収油の貯蔵タンクを大きくする必要性が生じるので、油回収船の貯蔵量についても考慮しなければならないと考えられる。

現段階では、想定回収油量の想定にあたっては、国内外の現有回収装置の性能程度とする。国外の大型回収装置の当該値は、油水回収能力として200~300m³/h、国内の油回収専用船では約90m³/hとなっており、これらの値に留意することとなる。

3.1.3 高波浪への対応技術の研究開発

本節では、3.5~4mの高波浪下で必要な油回収技術として、次の2つの技術要素をとりあげる。まず第一の要素として、油回収船の主要寸法を決定するために必要な荒天下での動揺特性について調査する。第二の要素は、船内に取り込んだ油を効率良く回収するために必要な静穏化水面の創生技術である。

以下においては、船型別の一般的な動揺性能について述べ、油回収船の船型として通常は他の目的に使用される作業船で、甲板に広い作業面積と油回収タンク面積を確保できるバージ型を想定する。このバージ型船型を例にとり、その動揺性能について考察し、船舶技術研究所において実施された模型実験結果を紹介してその一般的な特徴を示す。また、取り込んだ油の回収技術に焦点を絞り、船内に設けられた静穏海域、いわゆるムーンプールについて解説する。

3.1.3.1 船型別の動揺性能の比較

船型別の動揺性能の比較をするために、対象とする単胴船、双胴船及び小水線面積船(SWATH)の主要寸法を表3-4に示す。油回収船として稼働することを想定すると、低速時の動揺性能に着目しなければならない。図3-4に横波中の動揺応答の比較を波スペクトラムとともに示す。単胴船と小水線面積船は、応答のピークが極端に相違することがわかる。すなわち、単胴船と比較して双胴船の場合は波長が短い領域にそのピークが

存在し、単胴船ほど大きくない。荒天下においては波長が一般的に長くなることから、双胴船は動揺応答の観点から有利であるといえる。また図3-5に縦揺の動揺応答の比較を示す。船速が0ktの停止している場合については、一般的に単胴船の方が双胴船よりも応答が大きく、縦揺についても双胴船が有利である。また図3-6に船速に対する上下変位の比較を示す。これより、微速域では小水線面積船と単胴船ではそれほど大きな違いはなく、小水線面積船の優位性は高速域において顕著になることがわかる。

油回収船は波浪中において低速で浮遊する油を回収するために、低速時の良好な動揺性能を有することが重要であるが、操船性能についても想定される要求性能をある程度満足することが必要条件となる。とりわけ荒天下において、高粘度化した油は一箇所に集中せず処々に散逸しており、機動性を重視すれば操船性能も重要となる。すなわち、微速域の操船性能については、外力として風、波漂流力が重要な要素となるが、DPS(Dynamic Positioning System)などの操船制御を対象とする研究により、良好な性能を満足できると考えられる。

3.1.3.2 バージ型油回収船の主要寸法の決定法の一例

ここでは、3.5~4mの高波浪下において、静穏な油回収作業水面を創出するための船型、設備を有する油回収船について検討する。油回収船を考える場合、油回収機器据え付け、機材の収納・保守、回収した油の貯蔵などの十分な空間が必要である。また、低速域での良好な動揺特性とある要求性能を満足する操縦性能が必要である。このような観点から、バージ型油回収船

表3-4 単胴船・双胴船・小水線面積船(SWATH)の主要寸法³⁹⁾

	SWATH SHIP	CONVENTIONAL CATAMARAN (AGOR 18)	CONVENTIONAL MONOHULL (DESTROYER)	
			EQUIV. LENGTH	EQUIV. DISPL.
LENGTH IN FEET*	220	220	220	380
DISPLACEMENT IN TONS	3200	3200	700	3200
BEAM (EACH HULL) IN FEET	8	24	23	40
HULL SPACING IN FEET**	100	54	-	-
DRAFT IN FEET	32	18.5	8	13
SPEED IN KNOTS***	20	14	20	20
FROUDE NUMBER	0.40	0.28	0.40	0.30

*LENGTH IS DEFINED AS THE OVERALL LENGTH OF THE SUBMERGED HULL.
 **HULL SPACING IS DEFINED AS THE DISTANCE BETWEEN THE CENTERLINES OF EACH INDIVIDUAL HULL.
 ***NORMAL OPERATING SPEED IN A SEAWAY.

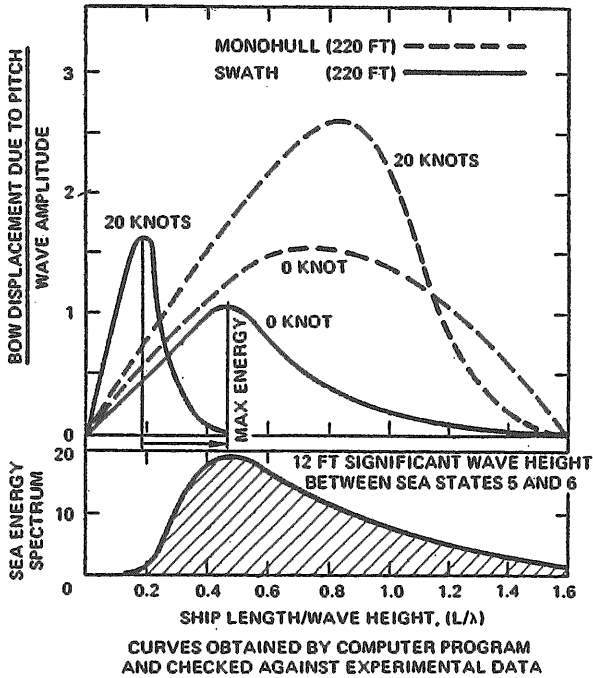
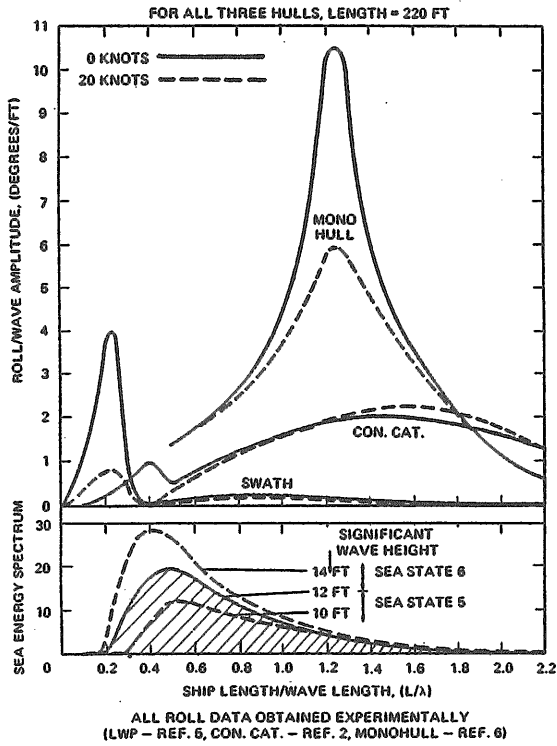


図3-5 縦揺の動揺応答³⁹⁾

の初期設計について考えることにする。

船舶技術研究所で実施した模型実験⁴⁰⁾において、使用したバージ型の模型船を図3-7に示す。これは、船体抵抗を軽減するための船首尾にカットアップのついた典型的なバージ船型である。今回の研究開発目的にあわせると、想定する海象条件として、冬期の日本海を

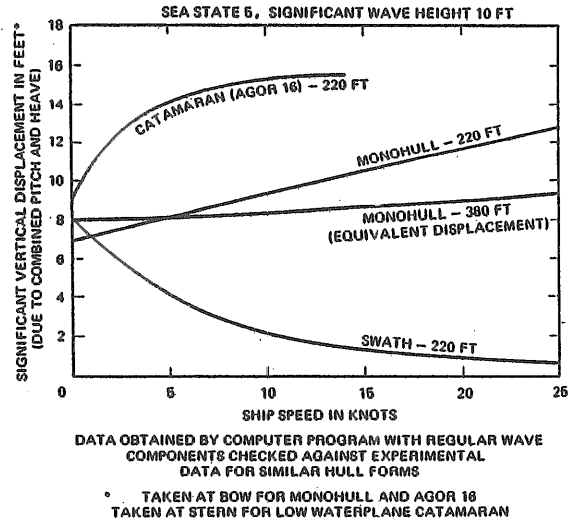


図3-6 船速に対する上下変位³⁹⁾

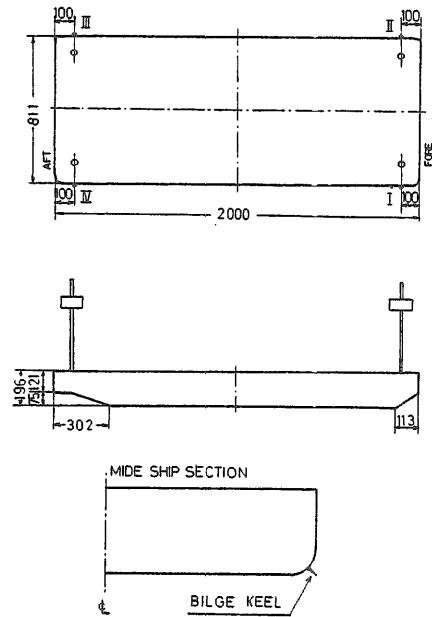


図3-7 供試模型⁴⁰⁾

第一義的に考慮するのが妥当である。先に述べたように表3-3から冬季の日本海の最多波周期は6~8秒、波長は56~100m、中間の波周期7秒に対して波長76mである。一方、本船の横波中と縦波中の動揺の応答関数を図3-8に示す。この図より、波浪条件が $\lambda/L=1.5$ (λ :波長、L:船長) 以下の場合、その動揺応答は縦波中、横波中ともに良好である。

したがって、バージ型船舶の主要寸法を決定する際、船長は約70m以上で、経済性等を考慮すると70~90mの範囲が妥当である。実船を模型実験の供試模型と相似形と仮定すると、幅28mで型深さは7mと大きく、海面

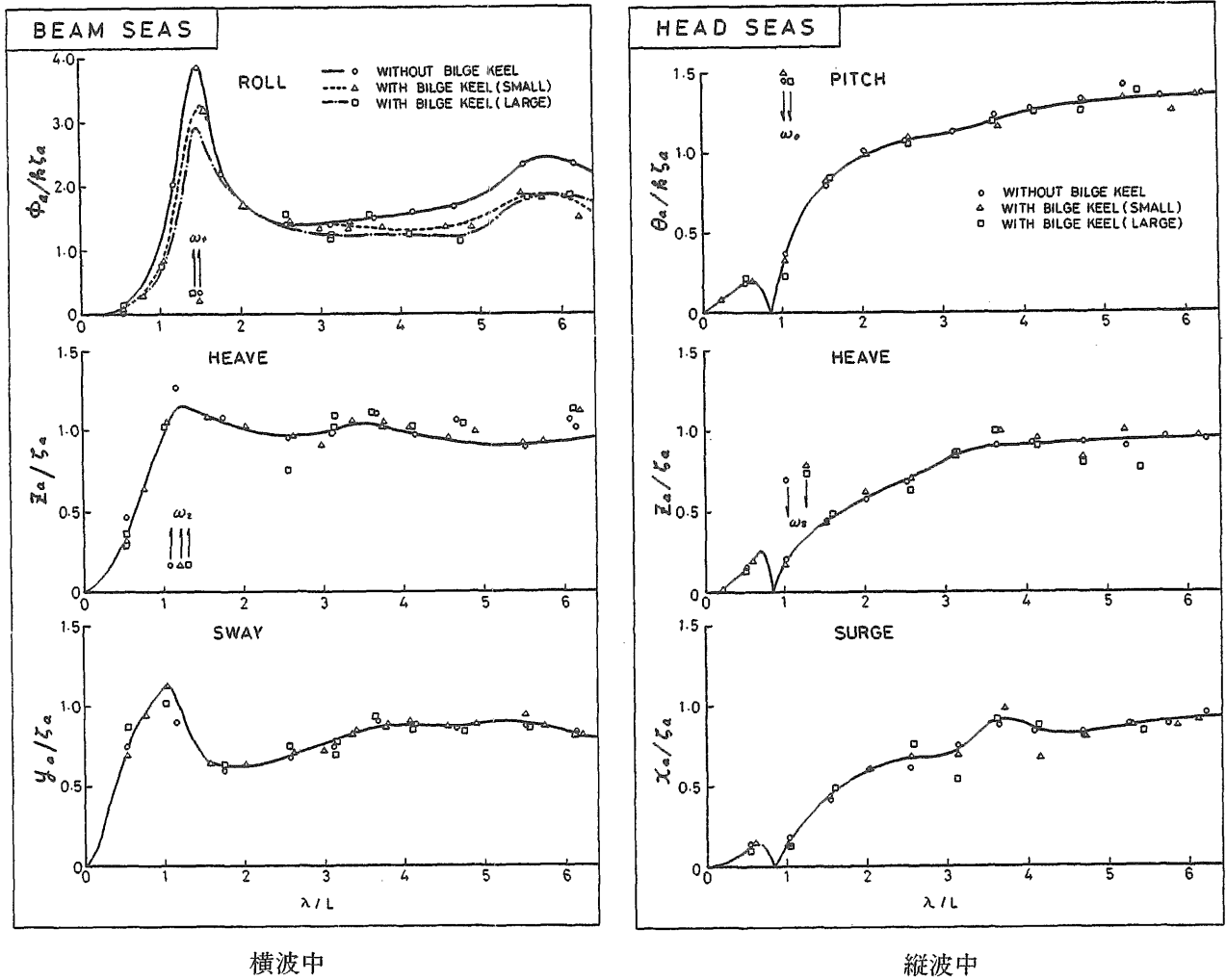


図3-8 動揺の応答関数⁴⁰⁾

からデッキまでの距離が大きすぎる。また、安易に型深さを小さくすると船体の曲げ剛性が小さくなるので検討を要する。

3.1.3.3 ムーンプール型船型

高波浪下においても静穏な船内油回収作業水面を創出するための有力な船型としてムーンプール型船型が考えられる。ムーンプールは、海洋関連産業における応用分野で意外に幅広く利用されており、その研究としてはムーンプールの開口部の水面の応答の推定法が主であった。最近では、浮体式石油生産システム (FPSO : Floating Production Storage and Offloading System) における係留施設 (Turret Mooring) のために船体に開口部を有するものが多くみられる。ムーンプールは、ROV(Remote Operating Vehicle)などの海中作業用の機器の揚げ下ろしに狭い領域でも静穏な海水面が必要であることからその有用性がある。潮流や風の影響を受け難く、波の上下方向の作用については一種の

低周波フィルターのような働きをするものである。また、ムーンプールを船体中央に配置すれば、縦揺れや横揺れの影響を少なくできる。しかしながら、ムーンプールの設計如何によっては、ムーンプール内の相対水位変動が共振を引き起こす可能性も有していることも忘れてはならない。ここで想定するムーンプール船型は、従来のムーンプールが外海と遮断されているのに対し、外海とムーンプールがつながっている点に特徴がある。ムーンプールの水面の相対水位の最適設計をするためには、まず開口部水面に対する強制力のメカニズムを解明することが重要であり、以下に従来の研究⁴¹⁾を概観する。

(1) ムーンプール開口部水面の応答

(a) 同調周波数

ムーンプールを有することによって船体の応答がどのように変化するかは大きな問題ではなく、開口部水面の相対水位変動について考察する。まず、開口部水

面を動揺させる外部からの強制力のメカニズムにふれると、船体まわりの圧力変動分布などの要素によってムーンプールの開口部水面は影響を受ける。同調周波数は、船の喫水に依存し、通常は波の周波数よりも高

者の位相差が 180° となると、船体とムーンプールに関する連成成分が強くなる。同調周波数を越えた高周波数領域でこのような現象が起り、ムーンプール水面の相対水位変動が極度に大きくなる。

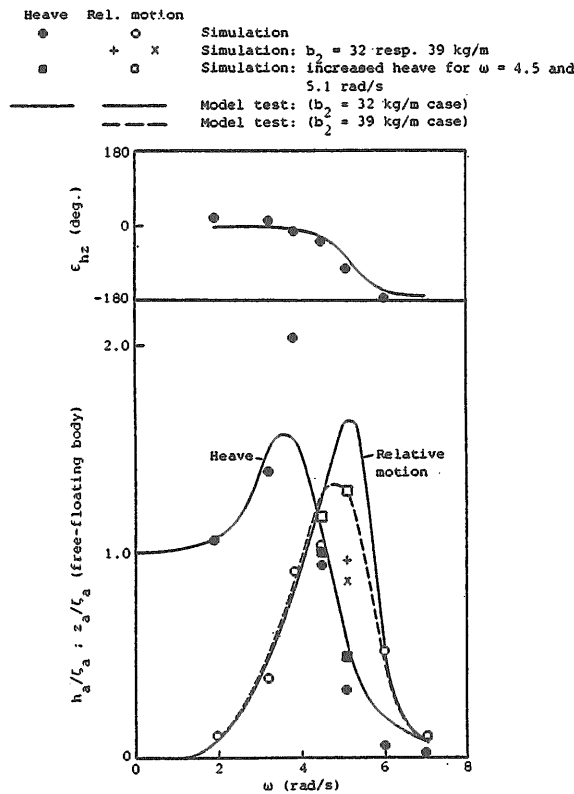


図3-9 向波中における船体内のムーンプールのシミュレーション計算と模型実験との比較⁴¹⁾

いことが知られている。図3-9に示すように、上下動揺の同調周波数と比較すると開口部水面の相対運動の同調周波数は高くなる。

(b) ダンピングのメカニズム

ムーンプールの開口部水面の相対水位に関する減衰力については、開口部底面から生ずる渦によって発生する粘性圧力減衰が大きい。これは、相対水位の速度の2乗に比例する項であり、摩擦などの他の要因による影響は粘性減衰と比較して小さい。しかしながら、これは通常計算では求めることはできない。

(2) 位相差の影響

船体運動特に上下運動とムーンプールの水面の相対水位は密接に関係し、その位相差は重要である。図3-9に示すように低周波数領域では、波浪強制力と上下運動は同位相である。これは、ムーンプールの相対水位の強制力と波浪強制力が相殺するからである。逆に両

(3) ダンピングプレート

開口部の水面の上下動を低減するために、開口部の内壁にフランジ(ダンピングプレート)を設ける方法がある。深さ方向のどの位置に設置すれば有効に水面変動を押さえることができるかを調査した実験的研究⁴²⁾がある。それによると、開口部の下部付近に設置した場合、sharp edgeからの渦が非常に大きくダンピングプレートの効果が少なく、開口部の底から若干上部に設置した場合、2次の減衰成分の寄与が大きいといえる。

図3-10に示すように、ダンピングプレートが存在すると動揺ピーク周波数での応答が大きく低下することがわかる。また図3-11で示すとおり、この効果は動揺基本周波数よりも高次の周波数、特に2次周波数成分の低減に大きく寄与している。図3-12に波とムーンプール内の相対運動の時系列を示す。この図から、入射波に対してムーンプール内の相対水位が小さくなっていることがわかる。

さらに、ムーンプールを有する船型において、より系統的に油回収効率を増大させる工夫として以下のようなものが考えられる。

(4) ムーンプール型船型の波浪静穏化技術

(a) ムーンプールへ入射する波浪の低減技術⁴³⁾⁴⁴⁾

波浪制御装置を水面上に設置すると反射波が問題となるため、水面下に制御系を置くのが妥当である。例えば、没水平板型消波装置及び可動板型Radiation Wave Generatorによる波浪制御等がそれである。

(b) ムーンプール内部の水面の静穏化技術⁴⁵⁾⁴⁶⁾⁴⁷⁾⁴⁸⁾

ムーンプールの水面周囲に波浪エネルギー吸収装置を設置する。しかしながら、エネルギー吸収装置が動揺するので、装置自体の動揺を考慮に入れた最適制御が必要となり、複雑な問題となる。波浪エネルギー吸収に必要なパワーを考慮すると、経済的観点から実現は非常に難しいと考えられる。

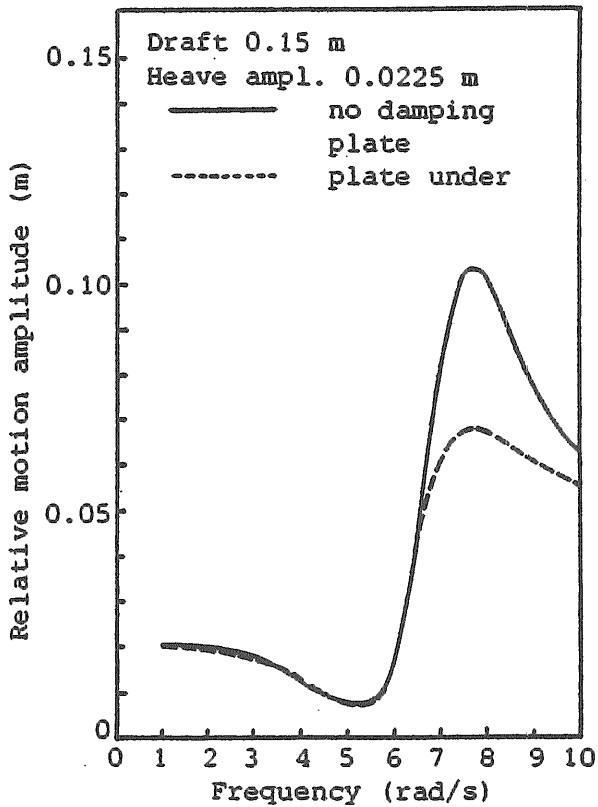


図3-10 ムーンプール内の相対運動に対するダンピングプレートの効果⁴²⁾

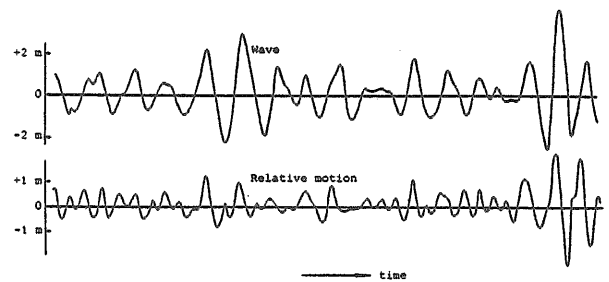


図3-12 波とムーンプール内の相対運動との時系列⁴²⁾

3.2 高粘度油回収技術の検討

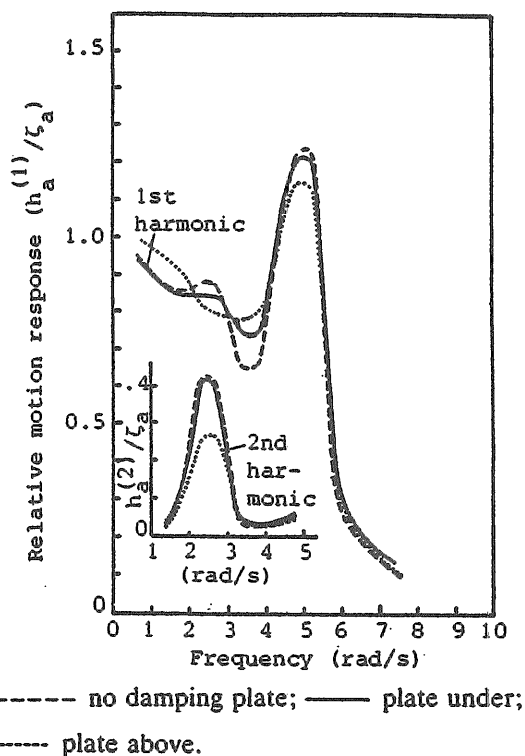
油回収装置の現状については、第2章においてその有効性について調査した。

また、船舶技術研究所では、これまでも油タンクの洗浄、油水分離器、流出油の探索、流出油の漂流・拡散、流出油の拡散防止、流出油の回収等、海洋の油汚染防止のための研究を行ってきた。ここでは高粘度油回収技術検討のために、流出油拡散防止と機械的流出油回収に関する比較的最近の研究を振り返る。

流出油拡散防止のための研究では、二次元模型実験によりオイルフェンスの滞油性能について調べ、流れに対する滞油性能は油層フルード数と無次元油層長さで表現できることを明らかにした。さらに、オイルフェンスの漏油防止のために格子状の網を付加することにより、流速にして50%以上の性能向上が図れることを確認した^{6) 52)}。また、水中より気泡を噴出し、気泡が水面に達して向きを変え表面流を作るという特徴を利用して、流出油の封じ込めに利用できるかどうかを実験によって確認した。模擬油を利用した実験により漏油を阻止できる限界流速を明らかにし、この方式の適用すべき方向性について見通しを得た⁴⁹⁾。流出油回収技術では、付着を原理とするものについて研究を行い、油の付着にベルトや回転円板などの油を付着させる材質の影響は少ないことを実験により明らかにした。また、回収量が最大となるベルトの速度や円板の回転角速度を解析的に求めた^{7) 50)}。

さらに、寒冷海域における油流出対応のための研究も現在行われているところである^{53)~57)}。

当所でのこれまでの研究は、比較的静穏水面での技術であり、必ずしも高波浪下において風化・乳化した高粘度油を回収するためにおこなわれたものではなかったため、新たな検討を加える必要がある。そこで、以上の結果を考慮した上で、3.1項で検討した高波浪下でも稼働可能な船型の油回収船に搭載する油回収装置について、高粘度油にも対応可能で回収効率が良いと考えられる回収方式を本項で検討することにする。



----- no damping plate; ——— plate under;
----- plate above.

図3-11 波浪中の拘束浮体に対するダンピングプレートの効果⁴²⁾

3.2.1 油の性状変化

油の性状によって最適な回収方法が異なることから、油回収装置の開発研究にあたっては、油の性質や特性などを把握する必要がある。これまでに石油を中心とした油の流出後の性状変化に関する研究報告が多くなされている。例えば、北大⁵⁸⁾、シップ&オーシャン財団⁵⁹⁾及び石油連盟⁶⁰⁾等が波浪中も含めた油の性状変化について研究している。その研究結果について、以下に箇条書きに整理して列挙する。

(1) 蒸発率

- ・蒸発量が面積に比例するため、波により蒸発面積が増えることから波浪中では平水中よりも若干高くなる⁵⁹⁾。
- ・油膜厚さが薄いほど、速く蒸発する。実際の海域では、実験室よりも拡散が大きく蒸発量も大きい⁵⁹⁾。
- ・波浪中では平水中よりも少し高くなるが、3日経過したあたりからの差は1~2%程度まで縮まる⁶⁰⁾。
- ・海水温度が高いほど蒸発率は大きくなる⁶⁰⁾。

(2) 含水率

- ・水の量が増えると水中油滴型から油中水滴型に転相するため、水の体積割合は0.75程度まで達する⁵⁸⁾。
- ・エマルジョンは安定しており自然の油水分離は起きない⁵⁸⁾。
- ・平水中ではほとんど乳化が進行しないのに対して、波浪中では蒸発率がある程度の大きさを超えると急激に乳化が進行する⁵⁹⁾。
- ・油の蒸発と乳化には密接な関係がある⁵⁹⁾。
- * 含水率の増加は、油水界面に外部からエネルギーが加わって動揺・攪乱が生じ、油中の成分で界面活性剤的な役割を果たすといわれるアスファルテン等と水が結びつく化学的な結合と、蒸発により粘性が高くなった油の中に水滴がとりこまれて重力による分離が不可能となる物理的な混合とが相互に作用してもたらされると考えられる。
- ・30分を経過したあたりから急激に乳化が進行する。平水中より波浪中での乳化の進行は大きい⁶⁰⁾。
- ・油の蒸発と乳化には密接な関係がある⁶⁰⁾。
- ・1日経過した含水率がピークとなる。海水温度による差は顕著ではない⁶⁰⁾。

(3) 粘度

油は温度が低いと粘度が高くなるが、油の種類により粘性変化が異なっている。温度と油との粘性変化の関係を図3-13⁵⁷⁾に示す。

- ・純水、食塩水、海水を用いたC重油のエマルジョンの粘度にはほとんど差が無い⁵⁸⁾。
- ・波浪中では、平水中と比較して粘度が時間とともに急激に増加する⁶⁰⁾。波浪中では水が多く取り込まれるので粘度は油水混合物としての値となる。粘

度の変化には、蒸発率と含水率が密接に関係し、特に含水率の影響が大きい⁵⁹⁾。

- ・海水温度が低い場合、2時間経過したところから既に1万(cP)をこえるようになる⁶⁰⁾。

(4) 密度

- ・波浪中では、蒸発率が21.5%まではその2次曲線近似ができ、それを超えると直線的に増加する⁵⁹⁾。
- ・波浪の有無、海水温度の高低による顕著な影響はみられない⁵⁹⁾。

上記のような油の性状変化から、波浪中ではごく短

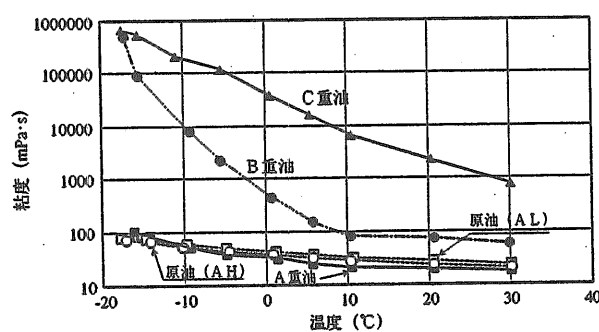


図3-13 油の粘度の温度依存性⁵⁷⁾

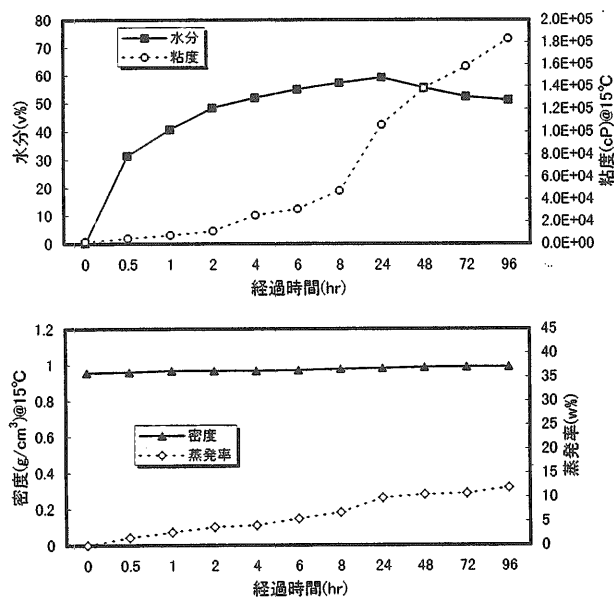


図3-14 流出油の性状変化 (C重油)⁶⁰⁾

時間の間にムース化状態の高粘度油になる傾向があると考えられる。また、一例としてC重油の経時変化を図3-14⁶⁰⁾に示す。

3.2.2 ナホトカ号油流出事故における油の性状変化

1997年1月2日、島根県隠岐島北北東110km付近で、荒天のため破断難破したナホトカ号から約6,240kℓ（推定）の重油が流出した⁶¹⁾。この事故は、沿岸から100km以上離れた海上で船体が破断難破したため、油は沖合いの風や波に曝されて、結局長く伸びた沿岸線に油濁の脅威をもたらした。船が破損したときに流出した重油は自然に分散し、直径1～10m程の大きさの乳化が著しく進んだ重油の層状物になり、沿岸に向けて漂流した。流出した油は中粘度で、海の波の作用による物理的な減損にも耐え得る安定性で、持続性の高い油中水滴型エマルジョンを形成した。そのエマルジョンの水分含有量が80%を超えたために、4～5倍に汚染物質の量が増加した。乳化油の持続性が高まったため、その状態のまま長い距離を漂流することができたために、汚染の被害が広域に及んだ⁶²⁾。

搭載していた油の動粘度は50℃で137.46cSt（10℃換算約6,000cSt）、流動点が-17℃であったが、事故発生3日後に採取した漂流油の粘度は、12℃で約1,232,000cStに達していた⁶³⁾。これは前に述べた油の経時変化から見ると、油の粘度の特性を表しているように思われる。このように流出油の絶対量に加えて乳化油の粘度が高くなったため、ポンプやパイプの目詰まりを度々生じさせ、回収された廃棄物の取扱い、汲み出し、運搬、処分に問題が生じた⁶²⁾。

3.2.3 高粘度油回収技術の方式

ムーンプール内に収集した高粘度油を回収するのに有効であると考えられる方式として、以下の3つが挙げられる。

(a) バケツ方式（底は水抜きのためメッシュスクリーン）

長所：機構が簡単で、取扱いが容易である。水分が少ないので油水分離が必要ない。

短所：ムーンプールの面積に対しバケツが小さいと、効率が悪くなる。バケツを大きくすると大規模設備になり、波浪中の作業は危険である。

(b) 吸引（投げ込み）式ポンプ

長所：比較的小型で取り扱いが容易である。配管をストレージタンクまで導入することにより、周辺機械が必要ない。

短所：高粘度油を吸い出すためにはパワーが必要であり、ゴミによって配管系統が詰まるおそれがある。また、ムーンプール内海面上でのポンプの

挙動制御装置が必要である。

(c) オーバーフロー堰式回収

長所：堰には表面部分が集まりやすいので、水より比重の小さい油の収集が容易である。ゴミは堰から流出後に除去できるので、ゴミ対策が比較的容易である。

短所：海水を多く含むので油水分離が必要である。また、ムーンプール内の海面と船の運動が同期するとは限らず、堰に対する制御が必要である。

上記の3つの方式が考えられ、それぞれの方式の長所、短所を吟味、検討した上で、高粘度油回収の技術開発に向けて、研究を進めていくことが必要である。

4. まとめ

本報告書では流出油回収技術の現状について調査し、当研究所における今後の研究課題について検討した。

その結果、現有の油回収船・油回収装置では、高波浪下または高粘度の油に対しては回収不可能であるか、または大きく回収効率が低下する現状が明らかになった。したがって、高波浪下または高粘度の油に対する油回収技術の向上が望まれる。

そこで、油回収装置が稼働できる静穏水域を創り出すため、ムーンプールが有効であると考え、従来のムーンプール型船型について検討した。外海とムーンプールがリンクした船型について、高波浪下でも静穏水域を創り出すことができるかの検討は今後の課題である。また、現有の油回収装置を高粘度油に対して使用した場合の回収能力について検討し、油回収装置に関しては、高粘度に対応できるように改良や開発などの余地があることがわかった。

油回収船としては、ムーンプール型船型と高粘度油に対応した油回収装置の組み合わせが有効であると考え、今後このような油回収船の基礎的研究を進めていく予定である。

最後に本報告書をまとめるにあたり、参考資料やデータをご提供頂いた関係機関・団体の関係者の方々に厚くお礼申し上げます。

参考文献

- 1) 運輸技術審議会 総合部会 流出油防除体制総合検討委員会：中間答申 流出油防除体制の強化について、1997.12
- 2) 海上災害防止センター：海上防災, No.93-95, 海上防災事業者協会, 1997
- 3) 石油連盟：油流出に関する国際シンポジウム - ナホトカ号事故対応の教訓を生かすために -, 1997.7

- 4) (財)シップ・アンド・オーシャン財団 : International Symposium on Marine Oil Spill Response (海洋における油流出事故に関する国際専門家会議 講演予稿集), 1997.7
- 5) 瀬尾、稲見、渡辺、加藤、松島 : 流出油対策実験について, 昭和45年度春季(第15回)船舶技術研究所研究発表会講演集, 1970.5, pp.64-67
- 6) 上田浩一、植田靖夫、山之内博、渡辺和夫 : オイルフェンスの漏油防止, 船舶技術研究所報告第22巻第5号, 1985.9, pp.33-44
- 7) 上田浩一、山之内博、植田靖夫 : 付着による流出油の回収, 船舶技術研究所報告第24巻第5号, 1987.9, pp.1-13
- 8) 大坪英臣 : (3)衝突・座礁事故と船体強度, 「船の強度と災害防止」シンポジウム, 日本造船学会, 1995
- 9) 石油連盟 : 石油あれこれ, <http://www.paj.or.jp/>, 1998.6
- 10) INTERTANKO : Sources of Oil Pollution, <http://www.intertanko.com/public/sources.htm>
- 11) Smithsonian Institution's OCEAN PLANET : Oil Pollution, http://seawifs.gsfo.gov:80/OCEAN_PLANET/HTML/peril_oil_pollution.html
- 12) ITOPF: Sources of Oil Pollution, <http://www.soton.ac.uk/~engenvir/environment/water/oil.sources.html>
- 13) IMO : MARPOL 73/78, Annex I Reg.13E, Consolidated Edition, 1991
- 14) 造船業基盤整備事業協会 : 船舶の衝突・座礁事故データベース構築等に関する調査報告書 (平成4年度), 1993
- 15) ITOPF : Statistics, <http://www.itopf.com/stats.html>, 1998.6
- 16) Oil Spill Intelligence Report : Oil Spill Involving More Than 10 Million Gallons, <http://www.cutter.com/osir/biglist.htm>, 1998.6
- 17) 石油公団、海上災害防止センター : 国家石油備蓄基地海上防災体制に関する報告書 (平成7年度), 1996
- 18) D.A.Toenshoff Jr., U.S.A. : MSRC-a Company of Change to Meet the Needs of its Customers
- 19) ボン協定(Bonn Agreement), 油による北海汚染対策の協力に関する協定, 処理目標は15,000トンの油を3日間で回収(15,000トンは油タンカーのタンク2個分と想定したもの), バルト海においては10,000トンを10日間で回収
- 20) ITOPF : 海洋油流出対応, 石油連盟翻訳, 1997.6
- 21) 海上災害防止センター : 油濁防除マニュアル [その4], 海上防災, No.63, 1989, 海上防災事業者協会, p.16
- 22) 海上災害防止センター : 外洋型大型油回収装置トランスレックシステム, 海上防災, No.97, 1998, 海上防災事業者協会, p.46
- 23) Environment Canada : The Basics of Oil Spill Clean Up, Supply and Services Canada, 1979, pp.72-86
- 24) J. W. Doerffer : Oil Spill Response in the Marine Environment, Pergamon Press, 1992, pp.159-222
- 25) Robert Schulze Environmental Consultant Inc. : World Catalog of Oil Spill Response Products, Fourth Edition, 1993, pp. 2-1 - 2-31
- 26) Marshall Sitting : Petroleum Transportation and Production Oil Spill and Waste Treatment, Noyes Data Corporation, 1978, pp.257-302
- 27) Robert Schulze Environmental Consultant Inc. : World Catalog of Oil Spill Response Products, Fourth Edition, 1993, p. 2-149
- 28) 運輸省海上技術安全局技術課 : 国内の油回収装置, 技術課技術資料, 1997
- 29) 運輸省海上技術安全局技術課 : 国外の油回収装置・オイルフェンス, 技術課技術資料, 1997
- 30) Jon O. Rodal : Offshore Oil Spill Contingency in NORWAY, International Symposium on Marine Oil Spill Response, (財)シップ・アンド・オーシャン財団, 1997.7, pp.111-117, pp.257-264
- 31) 海上災害防止センター : 海上防災ハンドブック, 海上防災, No.90-91, 1996.9, 海上防災事業者協会,
- 32) JETRO : 欧州における油回収船リスト, JETRO(London) 技術資料, 1997
- 33) G.F. Clauss, W.L. Kuhnlein : Hydrodynamic Problems of Offshore Oil Skimming Systems, Technical University of Berlin, 1986
- 34) O. Krause, G. Clauss, D. Ey : Oil Skimming Systems - Concepts and Practical Experiences, International Shipping & Marine Technology Market with Congress(SMM '90), HANSA, 127.Jahrgang 1990 Nr.22, pp.1516-1522
- 35) 気象庁 : 気象庁波浪資料第1号, 1997.3
- 36) 永井紀彦ほか : 全国港湾海洋波浪観測年報(NOWPHAS 1995), 港湾技研資料No.859, 1997
- 37) 高橋智晴ほか : 沿岸波浪の統計的性質, 第29回海岸工学講演会論文集, 1982, pp.11-15
- 38) 菅原一晃ほか : 沿岸波浪観測15ヶ年統計(昭和45年~昭和59年), 港湾技研資料No.554, 1986
- 39) Nils Salvesen : Seakeeping Characteristics of Small-Waterplane-Area-Twin-Hull Ships, Journal of Hydronautics, Vol.7, No.1, 1973
- 40) 安藤定雄、山川賢次 : 作業船の動揺試験, 昭和46年度秋季(第18回)船舶技術研究所研究発表会講演集, 1971.11, pp.53-56
- 41) Aalbers, A. B. : The Water Motions in a Moonpool, Ocean Engineering, Vol.11, No.6, 1984, pp.557-579

- 42) 福田和廣：船体を貫通する垂直方向の開口部における流体の挙動とその影響, 日本造船学会論文集, 第141号, 1977, pp.107-122
- 43) Shih, Su-Liek and Fang, Hui-Ming: Wave Energy Dissipation Due to the Submerged Elastic Structure, Proceedings of the Sixth International Offshore and Polar Engineering conference, 1996, pp.577-580
- 44) Takaki, Mikio, et. Al.: Ocean Wave Control and Renewal of Seawater by Means of Submerged Horizontal Plates, OMAE 1992, pp.9-16
- 45) 経塚雄策: 吸収式造波装置の研究, 西部造船会会報第70号, 1985, pp.77-88
- 46) 木下 健, 高岩千人: 反射波吸収型造波装置の動作原理と性能, 第2回波浪エネルギー利用シンポジウム, 1987, pp.171-180
- 47) 中村彰一, 内藤 林: 不規則波のエネルギー吸収について, 第1回波浪エネルギー利用シンポジウム, 1984, pp.275-284
- 48) 内藤 林, 黄 俊, 森 淳彦, 中村彰一: 新しい消波装置の特性, 第2回波浪エネルギー利用シンポジウム, 1987, pp.181-189
- 49) 原 正一, 伊飼通明, 波江貞弘: 水中気泡群によって誘起される二次元噴流-気泡噴流型油拡散防止装置の基礎的研究-, 船舶技術研究所報告第22巻第3号, 1985, pp.107-131
- 50) 植田靖夫, 渡辺和夫, 上田浩一, 山之内博: ベクトルによる油回収について, 昭和52年度春季(第29回)船舶技術研究所研究発表会講演集, 1977.5, pp.135-138
- 51) 上田浩一: 汚染質の拡散, 昭和57年度春季(第39回)船舶技術研究所研究発表会講演集, 1982.5, pp.69-72
- 52) 上田浩一, 渡辺和夫: 流出油拡散防止の研究, 昭和59年度春季(第43回)船舶技術研究所研究発表会講演集, 1984.5, pp.152-155
- 53) 泉山 耕, 成田秀明, 吉田三雄, 金田成雄, 宇都正太郎, 田村兼吉, 下田春人: 氷板下への油流出に関する基礎的実験結果について, 平成8年度秋季(第68回)船舶技術研究所研究発表会講演集, 1996.12, pp.48-51
- 54) 成田秀明, 山口真裕, 上田浩一, 在田正義: 寒冷海域での油汚染に関する研究計画, 平成9年度秋季(第70回)船舶技術研究所研究発表会講演集, 1997.12, pp.184-189
- 55) 上田浩一, 前田利雄, 高島逸男, 山之内博, 桜井昭男: 既存の油回収・処理技術の寒冷海域適応性の評価-第1報 油層流れの堰止め-平成9年度秋季(第70回)船舶技術研究所研究発表会講演集, 1997.12, pp.190-193
- 56) 泉山 耕, 成田秀明, 金田成雄, 若生大輔: 氷板下における油流出の拡散について, 平成9年度秋季(第70回)船舶技術研究所研究発表会講演集, 1997.12, pp.194-199
- 57) 前田利雄, 上田浩一, 高島逸男, 桜井昭男: 寒冷海域における流出油の性状変化, 平成9年度秋季(第70回)船舶技術研究所研究発表会講演集, 1997.12, pp.200-203
- 58) 朝倉國臣, 池田朋介, 中島 巖: 流出重油の粘度増加と油面拡張, 資源・素材'97C資料, 1997, pp.63-66
- 59) シップ&オーシャン財団: 海上流出原油の風化について, シップ&オーシャン財団報告書, 1995.8
- 60) 石油連盟: 流出油の経時変化に関する実験調査報告書, 1993.3
- 61) 海上災害防止センター: 「ナホトカ号」大規模流出油事故の概要, 海上防災, No.93, 1997, 海上防災事業者協会
- 62) T.H.Moller: テクニカル・アドバイザーの立場から見たナホトカ号石油流出事故の対応と問題点, 油流出に関する国際シンポジウム, 1997.7
- 63) Suzuki, Y: ナホトカ号重油流出事故における油回収処理と使用資機材, Proceedings of International Symposium on Marine Oil Spill Response, 1997, pp.173-180
- 64) Bianchi, Ralph A.: The Impact of Regulations on the Development of Oil Spill Recovery Vessels, Oil Spill Conference 1993, pp.667-674
- 65) Brown, H. M. and R. H. Goodman: The Recovery of Spilled Heavy Oil with Fish Netting, Oil Spill Conference 1989, pp.123-126
- 66) Chung, Jin S.: Added Mass and Damping on an Oscillating Surface-Piercing Column with a Horizontal Cylinder: Square Cross Sections, International Journal of Offshore and Polar Engineering, Vol. 5, No.3, 1995, pp.595-602
- 67) Clauss, G. F. and W. L. Kuhnlein: Efficiency of Selected Oil Skimming Systems in Irregular Seas, Oil Spill Conference 1991, pp.115-124
- 68) Clauss, G.: Hydrodynamic Problems of Offshore Oil Skimming Systems, OMAE 1986, pp.540-546
- 69) Day, A. H., Lee, B. S., and Kuo, C.: The Prediction of Moonpool Response —Water Column Oscillation and Hydrodynamic Forces—, The Royal Institution of Naval Architects, 1988, pp.317-329
- 70) Day, A. H.: The Design of Moonpools for Subsea Operations, Marine Technology, Vol.27, No.3, 1990, pp.167-179
- 71) English, J. W.: A Means of Reducing the Oscillations in Drillwells Caused by Vessels' Forward Speed, The Naval Architect, 1976, pp.88-90
- 72) Farlow, J. S., and J. M. Cunningham: Oil Spill Research and Development Needs for the 1990s, Oil

- Spill Conference 1989, pp.261-263
- 73) Frank, W.: Oscillation of Cylinders in or below the Free Surface of Deep Fluids, Hydromechanics Laboratory Research and Development Report, 1967
- 74) Fung, D. P. K.: Added Mass and Damping of Circular Moonpools, Proceedings of the Sixth International Offshore and Polar Engineering conference, 1996, pp.247-254
- 75) 福井県立大学海洋生物資源学科重油流出事故研究班: ナホトカ号重油流出事故について(第1報~第3報), <http://www.fpu.ac.jp/index-j.html>, 1997
- 76) Kerambrun, L. and G. Peigne: Analysis of Oil Recovery Vessels Used Worldwide, Oil Spill Conference 1991, pp.125-130
- 77) Kowalski, Tadeusz: Oil Spill Cleanup in Severe Weather and Open Ocean Conditions, Oil Spill Conference 1993, pp.787-859
- 78) 清川哲志, 三俣正和, 田中正博, 大山 巧: 可動板型 Radiation Wave Generatorによる波浪制御, 第34回海岸工学講演会論文集, 1987, pp.472-476
- 79) Lee, B. S., Day, A. H.: The Water Column Oscillation in a Duct Between Two Half Ship Section Barriers, Journal of Ship Research, Vol. 30, No. 2, 1986, pp.127-133
- 80) Lunel, T.: Response to the Pollution Caused by the SEA EMPRESS Incident and the Shoreline Restoration Process, Proceedings of International Symposium on Marine Oil Spill Response, 1997, pp.141-145
- 81) Milgram, Jerome H.: Active Water-Wave Absorbers, Journal of Fluid Mechanics, Vol. 43, part 4, 1970, pp.845-859
- 82) 牧 秀明, 佐々木哲也: 原油の分析手法と流出油の特性, 水環境学会誌, Vol.20, No.10, 1997, pp.9-13
- 83) Newman, J. N.: Interaction of Water Waves with Two Closely Spaced Vertical Obstacles, Journal of Fluid Mechanics, Vol. 66, part 1, 1974, pp.97-106
- 84) 長塚誠治: 日本海沿岸のタンカーの石油流出や座礁船放置などの外国船海難について, 海運, 1997年3月号, pp.44-50
- 85) 緒方正名, 藤澤邦康: 石油汚染の海洋生物への影響評価, 水環境学会誌, Vol.20, No.10, 1997, pp.14-18
- 86) 岡田光豊: PSCの現状と課題—その1—東京MOUの仕組みと活動, 海運, 1997年5月号, pp.50-54
- 87) 岡市友利: 石油流出事故による海洋汚染の機構, 水環境学会誌, Vol.20, No.10, 1997, pp.2-8
- 88) 岡本博之: 流出油回収の現状と問題点, 資源・素材'97C資料, 1997, pp.75-77
- 89) 大西章敬: 大型曳航救助船「航洋丸」の代替船建造に着手, 海運, 1996年11月号, pp.30-34
- 90) Qiu, Dahon and Wang Lisheng: Numerical and Experimental Research for Wave Damping Over a Submerged Porous Breakwater, Proceedings of the Sixth International Offshore and Polar Engineering conference, 1996, pp.572-576
- 91) Rørdal, J. O.: Offshore Oil Spill Contingency in Norway, Proceedings of International Symposium on Marine Oil Spill Response, 1997, pp.131-137
- 92) Schroh, K.: Oil Spill Strategy in the Federal Republic of Germany, New Technical Developments in Mechanical Spill Response, Oil Spill Conference 1989, pp.261-271
- 93) 鈴木 勲, 三木憲次郎, 矢木孝宣: 油回収船まわりの油層の流れ, 日本造船学会論文集, 第167号, 1990, pp.55-68
- 94) 運輸省第五港湾建設局海域整備課: ロシアタンカー流出油事故における「清龍丸」の油回収緊急出動, 作業船第232号, 1997, pp.26-31
- 95) Walker, Michael, et. Al.: Comparison of Observed and Predicted Changes to Oil after Spills, Oil Spill Conference 1993, pp.389-393
- 96) 渡辺正孝: 流出油の回収技術および汚染修復技術, 水環境学会誌, Vol.20, No.10, 1997, pp.19-22
- 97) Yip, T. L. and Chwang, T.: A Pitching Plate as an Active Water-Wave Controller, Proceedings of the Sixth International Offshore and Polar Engineering conference, 1996, pp.408-413
- 98) 山本 孝: ナホトカ号事故と船舶安全確保の新たな仕組み, 海運, 1997年6月号, p.11
- 99) 「95年の漏油事故は過去最小を記録」, 海運, 1996年10月号, pp.74-77
- 100) 「ナホトカ号事故原因調査結果発表」, 海運, 1997年9月号, pp.58-60
- 101) 「日本海におけるタンカーの重油流出事故」, 海運, 1997年3月号, p.43
- 102) Suzuki, Yoshio: Recovery of Oil Spilled from the Nakhodka and Materials and Equipment used, International Symposium on Marine Oil Spill Response 1997
- 103) Lunel, T.: Response to the Pollution Caused by the Sea Empress, Incident and the Shoreline Restoration Process, International Symposium on Marine Oil Spill Response 1997
- 104) 海上災害防止センター油防除式材性能評価調査研究委員会第2回物理的処理部会部内資料
- 105) Toenshoff Jr., D. A.: MSRC-a Company of Change to Meet the Needs of its Customers
- 106) 石油公団、海上災害防止センター: 国家石油備蓄基地海上防災体制整備に関する報告書(平成7年度), 1996
- 107) Evans, D. V. and Linton C. M.: Submerged Floating

Breakwaters, pp.279-285

- 108) むつ小川原石油備蓄株式会社: 油回収船第三たかほこ丸パンフレット
- 109) Spangeberg, Sfren and Jacobson, Kofoed: Reduction of the Water Motion in the Moonpool, Proceedings of Marine Technology, 1983, pp.1-12