

港湾空港技術研究所 資料

TECHNICAL NOTE
OF
THE PORT AND AIRPORT RESEARCH INSTITUTE

No. 1185 December 2008

工事用作業船を転用した油回収システムの開発

吉江 宗生

藤田 勇

竹崎 健二

独立行政法人 港湾空港技術研究所
Independent Administrative Institution,
Port and Airport Research Institute, Japan

目 次

要 旨	3
1. はじめに	4
2. 転用するための油回収システムのコンセプト	5
2.1 油回収作業への転用条件	5
2.2 油回収作業の転用に適した工事用作業船の全国分布状況	5
2.3 対象とする作業船が回収作業に従事できる海象条件	5
2.4 作業船の作業員に期待できるスキル	5
2.5 対象とする流出油の条件	6
2.6 参考事例（米国沿岸警備隊のVOSS）	6
2.7 油回収システムのコンセプト	7
3. 油回収機の開発	7
3.1 油回収機の開発（2004年度）	7
3.2 水槽実験（2004年度）	8
3.3 実験結果（2004年度）	10
3.4 油回収機の改良（2005年度）	11
3.5 実験結果（2005年度）	14
3.6 油回収機のプロトタイプ製作（2006年度）	16
3.7 実験結果（2006年度）	17
4. 集油装置の開発	21
4.1 自動展張式オイルブームのコンセプト	21
4.2 模型による水槽実験（2004年度）	24
4.3 問題点の抽出	26
4.4 自動展張式オイルブームの自動展張ブイの形式の変更（2005年度）	26
4.5 水槽実験（2005年度）	27
4.6 自動展張式オイルブームの課題とプロトタイプモデルの製作（2006年度）	31
4.7 改良した自動展張式オイルブームの水槽実験（2006年度）	33
5. 海上での運用試験（2006年度）	35
5.1 現地の選定と準備	35
5.2 試験方法	35
5.3 試験の実施	36
5.4 データ解析結果と考察	41
6. まとめ	42
7. あとがき	43
謝辞	43
参考文献	43
付録A 2005年度及び2006年度水槽試験手順	44

Research and Development of an Improvised Heavy Oil Recovery System for Work Vessels

Muneo YOSHIE*

Isamu FUJITA**

Kenji TAKEZAKI***

Synopsis

Development of economic activity in Far East increases the number of vessels going around Japan. So oil spill in wrecking at sea is highly probable. Early oil recovery reduces the damages. It is important to respond immediately to the oil spill for saving economical and social activity in coastal zone and cities in Japan.

This article reports about development of an oil spill response system package that can be transported on 2 trucks (if it is in categorized 4 ton class) in an emergency. The system is capable to be transported by a crane barges with the purpose of oil recovery operation in an emergency. There are about 900 crane barges which can be used for oil spill recovery in Japan. As a main system of the package, we developed "Bucket Oil Skimmer with Raking Device" and "Boom Extension Buoy System". They were tested in our large tank (STORMS) using real oil with waves and their performances have been estimated. In 2006, the prototype models of the both systems were made in small scale and they were tested at Sakai Port in order to study their operational factor.

As a result of tank tests under the condition of 2cm oil slick thickness, the oil recovery rate in the real size model of "Bucket Oil Skimmer with Raking Device" is estimated at 5.9 t/h, oil recovery efficiency estimated at 70%. These figures are superior to the recovery rate derived from the test data for a grab bucket model. In case of operation by the grab bucket, the oil recovery rate is 5.7 t/h and the oil recovery efficiency 34%. In the prototype operation test, the system were appreciated that the operation and assembling at the site were enough easy to carry out the oil recovery operation.

The following result is derived from the test in "Boom Extension Buoy System"; the stability of the extension shape of the boom can be preserved when current speed becomes more than 0.5 knt (25cm/s) in the tests employing. However, at the prototype field test in the sea, we found that the boom was affected by ship waves due to other vessels and consideration about wave direction in necessary for the system stability. And it was revealed that the structure of the buoy should be improved for assembling at the site on the deck of the crane barge.

Key Words: oil spill response, oil skimmer, oil boom, work vessel, oil recovery, recovery efficiency

* Head, Applied Information Technology Grope, Construction and Control systems Division

**Head, Oil Spill Response Grope, Construction and Control systems Division

***Researcher, Oil Spill Response Grope, Construction and Control systems Division

3-1-1 Nagase, Yokosuka, 239-0826 Japan

Phone : +81-46-8445064 Fax : +81-46-8440575 e-mail:yoshie@pari.go.jp

工事用作業船を転用した油回収システムの開発

吉江 宗生*・藤田 勇**・竹崎 健二***

要 旨

極東地域における経済活動の躍進もあって、わが国の周辺海域では以前に比べて非常に多くの船舶が通航するようになっている。このため、船舶の海難事故による油濁被害の蓋然性は高くなっている。わが国の沿岸では多くの経済・社会活動が営まれており、油濁被害を最小限に防止するためには早期の油回収などの復旧作業が必要である。

本研究は、全国に 900 隻余りあるクレーン台船を緊急時に油回収作業に転用するため、緊急時に 4 トントラック 2 台程度に積載して陸送できる油回収システムの開発を目的としている。本システムは、「かき寄せバケット式スキマー」と「自動展張式オイルブーム」をパッケージとしている。実油による大型水槽実験によって性能の確認を行い、また、その縮小プロトタイプモデルを製作し、鳥取県境港での実海域での運用試験を行った。

その結果、かき寄せバケット式スキマーについては、水槽実験により、油膜厚さ 2 cm 程度の条件で、1 時間に約 5.9 トンの油分が回収でき、(Oil Recovery Rate 5.9 t/h) このときの油水中の余水は 30% に抑えられる (Oil Recovery Efficiency 70%) ことが推算 (実機サイズ換算) できた。これは同時に実験したグラブバケット方式の 5.7 t/h (Oil Recovery Rate) および余水分 66% (Oil Recovery Efficiency 34%) を上回る性能であった。また、実海域における運用試験においても本回収機の組立やオペレーション上の問題は特になかった。

一方、自動展張式オイルブームについては、流速 0.5knt (約 25 cm/s) 以上において、その目的である集油ブームとして必要な間口を確保し、安定的にオイルブームを展張しつつ上げられることが水槽試験で確認できた。しかしながら、海上での運用試験においては、航跡波による横波の影響を受けやすかった事実から、波向きに配慮する必要があることがわかった。また、若干の構造上の改良で現地組立が簡単になることがわかった。

キーワード：作業船，油回収機，集油，オイルブーム，転用，バケット式，クレーン

* 施工・制御技術部情報化技術研究チームリーダー

** 施工・制御技術部油濁対策研究チームリーダー

*** 施工・制御技術部油濁対策研究チーム研究員

〒239-0826 横須賀市長瀬3-1-1 独立行政法人港湾空港技術研究所
電話：0468-44-5064 Fax：0468-44-0575 e-mail:yoshie@pari.go.jp

1. はじめに

わが国の油濁防除体制において、海上での油回収作業現場での国土交通省地方整備局が果たす役割は非常に大きい。大型の浚渫兼油回収船を3隻運航し、また、ほかにも海面清掃兼油回収船を運航しており、海上での油回収作業のための機動力を持っている。これらの船は、常時はそれぞれ航路浚渫および内海の海面清掃に従事しており、経済的な側面からも油回収船を単独で所有し、維持・運用するのに比べて合理的であると言われている。

一方で、極東アジア経済の飛躍的な発展に伴う近年の海上輸送の増加や、サハリンIIプロジェクトなどの石油掘削事業などの進展で油濁事故がわが国の沿岸域で起きる蓋然性は非常に高くなってきているものと推察される。加えてわが国の沿岸の海流や季節風の特徴を踏まえれば、事故により流出した油が漂着して大きな被害をうけやすい条件にあることは想像に難くない。近年は貨物船の衝突事故による燃料油の流出事故の報告も多く、燃料タンクの規模から、流出規模は数百トン程度と予想できるが、漂着地点によっては経済あるいは自然環境への大きな被害をもたらす可能性がある。

しかし、現状では油回収船の全国での分布状況は一部の地域と他地域とで大きな差がある(図-1)。わが国は長い海岸線上のほとんどの地域で社会・経済活動が活発に行われており、全国すべての沿岸域で等価な災害対策が望まれるといえよう。

こうした背景から、機動力をもって油回収作業を早期に行うためには、現状の油回収船の配備体制に加えてより多くの機動力を持つ工夫がより高い安心・安全の保証に役立つものと考え、本研究を行った。

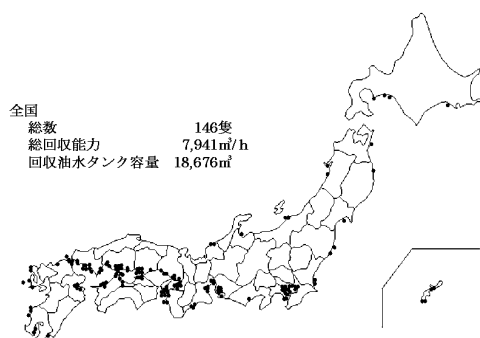


図-1 油回収船の全国分布

※出典等：海上防災センター、海上防災事業者協会：「海上防災ハンドブック1996」のデータを白山、海翔丸、清龍丸の新データで修正し白地図に黒点で描画したもの。

わが国は全国に港湾を持ち、その建設や維持管理などのために多くの工事用作業船が在船している。これらの作業船を活用して油回収作業を行なうことができれば、油回収船の配備が少ない地域での対応能力が増加する。また、工事用作業船は常時は建設作業に従事していることから、新規に油回収船を建造する場合に生じる常時の維持管理コストと体制の問題が合理的に解決できるとみられる。

このため、本研究では、全国の港湾に在船する工事用作業船のなかから緊急時に油回収作業に転用可能なものを抽出して、事故時に簡単にこれらに装備できる油回収システムを開発・提案することを目標とした。なお、本論文では開発を行った油回収機と集油ブームおよび周辺資機材をひとまとめにしたものを油回収システムと呼ぶ。本研究は2004年度から2006年度にかけて行った。

2004年度においては、工事用作業船の中から活用する対象となる船種として一定の能力以上のクレーン付台船等を抽出し、これが全国に900隻以上在船することがわかった。このため、クレーン台船を対象とした油回収機および集油ブームおよびその全体のコンセプトを考察した。油回収機はグラブパケットの操作に類似した機構と、余水の発生を抑える手法を独自に考案した模型を製作し、水槽実験を行なった。また、比較対象としてグラブパケットの模型を製作し、水槽実験を行なった。集油ブームは潮流を利用して自動的にブームの展張ができるように、ブームを曳航するブイを考案し、模型を製作して水槽実験を行なった。2005年度は2004年度の実験結果を反映した改良を考案し、それぞれの模型を新たに製作し、水槽実験を行なった。2006年度についてはそれぞれの模型の改良を加えて実機に対して縮小プロトタイプを製作し、油回収機については大型水槽試験により実機の性能を推定した。また、集油ブームについては安定性の確認を行なった。

特に2006年度においては、以下の点を踏まえて研究を行い、成果をまとめたのでここに報告するものである。

(1) 油回収機および集油ブームのプロトタイプ製作

2004～2005年度に製作した油回収システム模型の問題点について解決策を講じ、油回収機の時間当たりの回収能力を高めることで、全体の回収能力を向上させるための改良を施した模型をプロトタイプモデルとして最終的に製作した。集油ブームも2004～2005年度の水槽実験結果を踏まえて、低流速時のオイルブーム曳航の安定化のための改良を施し、実海域用のプロトタイプモデルを製作した。

(2)水槽実験

油回収機および集油ブームについて「油回収実海域再現水槽：STORMS」にて波、流れなどの現地の環境を再現して重油エマルジョン（重油と海水の混合物でムースのようになったもの）等を用いた実験を行い、実機の回収能力を推計するためのデータ取得をした。

(3)海上実験

実際の工事用作業船の転用にかかる運用を検討するため、油回収システムをトラックに積み込んで陸送し、作業船だまりのクレーン付き台船に搭載、設置し、海上でデモ実験、撤去までの作業の実験を行う。実験実施場所は海上デモを鳥取県境港、積み出し地を三井造船鉄構工事㈱の玉野事業所(岡山県)として行なった。

2. 転用するための油回収システムのコンセプト

2.1 油回収作業への転用条件

工事用作業船は「作業船一覧2003年版」(社団法人 日本作業船協会発行)によれば40種類程度に分類できる。この中で油回収作業に転用する条件を以下の通り設定した。

(1) 現地での作業性の考慮

現地の作業性を考慮して、クレーンが搭載されていることを必須条件とした。

(2) 想定する資機材のサイズ

開発の目標となる油回収システムは、1回につき最大で、いわゆる4トントラック2台分程度(20フィートコンテナ2個口程度)の資機材を目安とするのが適当と考えられる。その理由は、小さな港湾においても転用できる作業船が在船している場合があり、作業船だまりまでの道路の幅員等を考慮すれば、4トントラック程度を対象とするのが妥当なためである。また、貯油タンクは組み立て式の市販品で10kℓ(ドラム缶50本分)貯蔵できるもの(後述)などがあり、トラックの荷台スペースと得られる容量から効率がよいこれらを選定する。

(3) 甲板の面積等

甲板の形状は油回収機器等の配置を容易なものとし、作業がしやすいように平型の作業船船種であることとする。面積については油回収資機材の配置が可能となるように以下のように設定する。

a) 油回収機器据付必要寸法

20フィートコンテナ2基分(6m×2m×2個)のデッキ面積を有すること。

b) 油回収タンク据え付け必要面積

可搬組み立て式タンク(FAST TANNK2000)を1基以

上使用すると仮定すれば、口径φ3.2m(貯蔵容量10m³)の設置面積が必要である。

c) 必要甲板面積の合計

以上2条件より配置の形状から以下の2通りが考えられる。

長さ10m×幅4m以上または長さ8m×幅6m以上

2.2 油回収作業の転用に適した工事用作業船の全国分布状況

2.1の条件により「作業船一覧2003年版」(前出)から対象となる工事用作業船を抽出した結果、全国で海のある各都道府県すべてに在船していることがわかった(図-2)。総数は927隻にのぼる。ただし、自航船は少なく、基本的には非自航船を対象に油回収システムを検討する必要があることがわかった。

このため、油回収作業への転用のための資機材を現場近傍の港に向けて急送することでわが国の長い海岸線の多くをカバーできることが明らかとなった。



図-2 クレーン付き台船等の全国分布

2.3 対象とする作業船が回収作業に従事できる海象条件

対象となる作業船は、港湾工事に用いられるものであることから、作業限界波高は一般的に1m程度である。対応する周期を4sとすると、このときの波長は約25mとなる。船舶の移動速度は回収時にはオイルブームの一般的な滞油性能の限界が1ノットなので、最大1ノットを仮定する。

この他、水温は冬季とすれば10℃前後で、作業員は水中には立ち入らないこととする。

2.4 作業船の作業員に期待できるスキル

作業員は常時は海洋での土木工事を行っているものとする、以下についてのスキルが期待できる。

- ・クレーンオペレータが確保できる。

- ・玉がけ作業ができる。
- ・簡単な電気工事（配線）ができる。
- ・簡単な配管作業ができる。

これに対して、以下のスキルは期待できないものとする。

- ・流出油の粘度を推定する。
- ・粘度に応じた排送システムを組み立てる。
- ・粘度や油膜厚さから油回収機の調整、または適当な回収機を選択する。

2.5 対象とする流出油の条件

対象とする流出油は大型貨物船の燃料油であるC重油及びそのエマルジョンとする。軽油や原油の場合は、初期にはガス分が気化するため、防爆が不十分な船舶の転用は火災の危険があると同時に専門知識がないまま作業にあたることは安全上大いに問題がある。また、軽質分は結果的にはほとんどが気化して空中に分散してしまうため、回収がほぼ不可能である。

流出油は船舶等の事故後漏れ出し、海岸に向かって浮流しているものとする。外洋に向かって浮流しているものは、油回収船の到着を待つ時間的な余裕ができる。また、通常の工事用作業船では航行区域の制限があり、外洋までは出動できない可能性が高い。

また、事故直後の回収が望ましいとはいえ、その状況把握のための時間および準備時間、現地到着時間を考えると12時間以上経過した状態での作業となる。この場合、C重油はエマルジョン化しており、海水温が低い場合（10℃前後）は粘度が数千～数万mPa・s程度になると考えられる。

2.6 参考事例（米国沿岸警備隊のVOSS）

米国沿岸警備隊（USCG）においては、VOSS (VESSEL OF OPPORTUNITY SKIMMING SYSTEM) と名づけた油回収システムのパッケージを開発しており、全長が60フィート～400フィート（約18.5m～122m）の船を油回収船に転用するとしている。内容は以下のとおりである。

- ・コンテナ
- ・堰式スキマー及びポンプ（デスミ製DS-250）
- ・制御盤およびコンプレッサー
- ・油圧ユニット（Deutz製）
- ・集油ブーム用アウトリガー
- ・ダビッド
- ・水中ポンプ
- ・高速集油ブーム

- ・浮き式燃料油タンク
- ・曳航式回収油貯蔵タンク（膨らませて使用するタイプ）

以上を2セット、48フィートの低床トレーラーで搬送するか（写真-1）、軍の輸送機で空輸する。ここで Vessel of opportunity とは、緊急時に供出された船を指している。また、甲板上に300～550平方フィート（約28m²～51m²）のスペースがシステムを展開するために必要である。搭載される油回収システムは最大1分間で190ガロン（約722ℓ）の油水をくみ上げる能力を持っている。また、集油ブームは1～1.5ノットの速度で曳航することができるとしている。

上述の集油ブーム用アウトリガーはUSCGが開発したトラス構造の部材で、簡単にすばやく様々な船舶の舷に取り付けられるユニバーサルジョイントを持つことを特徴としている。本体はアルミ製で軽量であり、また、トラス部分は船の大きさにあわせて連結する数を変えて長さを調整できる。トラス部分の長さは1部材で14フィート（426cm）、幅1.5フィート（45.6cm）重さが60ポンド（約27.2kg）である。船の長さが60～90フィートの場合、これを2つ連結して片側で28フィート（約8.5m）の掃海幅を確保できる。90フィート以上の船の場合は3個連結して、片側で42フィート（約12.9m）の掃海幅を確保できている。このVOSSを船の両舷に取り付けて使用することとしているが、現場では実際には片舷で使用されることが多いというコメントがあった。ただしこれを用いるためには、船に集油ブームのアウトリガーを取り付けられる丈夫な舷とスキマーを吊り下げるダビッドを取り付ける3フィート（約90cm程度）の高さの舷が必要である。したがって、本研究で対象としているクレーン付台船等では使用が困難である。

写真-2は米国沿岸警備隊インターネットホームページから引用したVOSSの訓練状況である。



写真-1 米国沿岸警備隊のVOSS



写真-2 VOSS による集油ブームの展張

2.7 油回収システムのコンセプト（まとめ）

工事用作業船を転用する油回収システムは、トラックによる陸送で現場へ持ち込むことにより少ない配備数で広域をカバーできるようにコンパクトなものとする。米国沿岸警備隊ではコンテナ化することにより航空機で輸送することも前提としているが、わが国ではトラックによる輸送が現実的である。

このため、搬送時の重量及び体積はトラックの輸送力に左右されるとともに、各港湾の作業船だまりへのアクセス路等による制限を考慮する必要がある。

したがって、システムを構成する部材はおよそ最大幅2m、長さ6m、高さ2.5m、重量4トン以内とする。

システムに含むべき機材の構成は以下のとおりである。

(1) 動力関係

油回収システム全体の動力源となる資機材を準備する。対象とする油種はC重油及びそのエマルジョンなので揮発性が少なく作業船と同様に防爆仕様ではなく、通常の工事現場で使用している資機材から選択し、トラブル時に速やかに対処できるように配慮する。したがって、動力源はディーゼル発電機およびコンプレッサー等とする。

(2) 貯油タンク

ドラム缶は搬送しやすく便利だが、油回収システムの能力が高いと頻繁に交換しなければならない。また、たとえば4トン車で空ドラム缶を搬送する場合、外径が60cmとすると30本程度で荷台が一杯になってしまう。容量が1本約200ℓなので6kℓ分で4トン車が1台必要になる。

一方で組み立て式の貯油タンクが市販されており、こちらは搬送時には、たとえばFAST ENGINEERING社のFASTANK 2000では長さ1.6m×幅0.5m×高さ0.5mにたたまれており、組み立て時には貯油量が10kℓとなるなど、スペース効率が高く、オープンタイプなので回収作業時に

内部に揮発ガスがたまることもなく適性が高い。

この他にも曳航式のオープンタイプの貯油タンクがある。曳航式は必ずしも取扱が簡単とはいえないことから、組み立て式のオープンタイプの貯油タンクを対象とするのが適切である。

(3) 油回収機

油回収機の要件は以下のとおりである。

- ・油回収効率（Oil Recovery Efficiency：回収油水中の油分の割合）が高いこと。

- ・使用方法がすぐに理解できること。

- ・メンテナンス性がよいこと。

(4) 集油ブーム

集油ブームは滞油性を高くとるためには大型のC型以上の規格品が望ましいが、展張作業などは若干の訓練が必要とされている。特に長い距離を展張する場合や2船で曳航して集油する場合などは非常に難しいとされている。海洋工事においては自船からの油濁防止のためのオイルブームを作業船が準備していることが多いが、航行しながら集油作業を行うことはまずない。しかしながらこうした作業は油回収を行ううえでは必須となることから、以下のような集油ブームを準備する。

- ・集油時の航行および展張がしやすいようにブーム延長を短くする。

- ・集油時のオイルブーム形状を適正に保つことが容易である。

- ・展張したオイルブームにかかる抗力によって作業船が受ける影響を少なくする。

(5) ポンプ

貯油タンクへの油水の排送は、油の粘度が高くなるにつれて排送管の詰まりやポンプの故障が心配される。また、海岸近くでの回収作業はゴミの混入を避けられないことから、十分な配慮が必要となる。このため基本的にポンプはダイヤフラムポンプとする。このポンプは駆動源がエアや油圧、で本体には駆動源を持たないため非常に軽量でコンパクトである。また容積式ポンプであり、呼び水が不要で空運転が可能であるため取扱が簡単である。さらにコンプレッサー等の空気圧または油圧で出力の調整が可能のため、インバーター等の制御盤が不要である。ゴミに対しては渦巻きポンプより若干許容性がある。

3. 油回収機の開発

3.1 油回収機の開発（2004年度）

2.7の油回収システムのコンセプトから、油回収機の開

発目標と構造を以下のように提案する。

(1) 開発の目標

既実績のあるグラブバケットによる油回収作業を参考に、以下のように設定した。

- ・グラブバケットと同程度以上の油回収率（Oil Recovery Rate：1時間あたりの油回収量）を確保する。グラブバケットの容量は、クレーン台船で使用されることが多い4m³のものを対象とする。
- ・グラブバケットに比較して油回収効率（Oil Recovery Efficiency：回収油水中の油分の比率）が高く、貯油タンクの容量を確保しやすい。
- ・管路の詰まりを生じないように工夫する。
- ・操作がわかりやすいこと。

(2) 油回収機の構造とオペレーション

油回収機は、かき寄せ機構を設けて、水面の油膜を本体のバケットに引き寄せ、タンク前面の斜板を越流させ、できるだけ表面の油のみを回収する。かき寄せ機構は2000年度の環境省公害防止等試験研究費により研究開発した高粘度油専用のネットコンベア式油回収システム²⁾で初めて採用されたものである。その目的は、油回収機に特有の本体からの反射波等により油膜が回収口から遠ざかってしまう現象を、強制的に解消するものである。

本体のバケットに入った油は重力分離により下面に余水が溜まるので、これをダイヤフラムポンプで排出する。排水に油が混じったら、ポンプを停止し、油回収機を引き上げ、台船上の貯油タンク内に排出する。排出は油回収機本体を水平から傾けて行う。このため手法としては堰式スキマーとなるが、油の移送をポンプ等の管路によらないため、詰まりが起きない。

本論文では、開発した油回収機を「かき寄せバケット式スキマー」と呼称する。

(3) かき寄せバケット式スキマー模型（2004年度版）

2004年度版の模型は、現場で多く使われる4m³のグラブバケットの掃海幅2mに対して4分の1の掃海幅0.5mとした。これにともなって、本体各部の寸法も実機のほぼ4分の1程度にした。図-3に示すように、上面が開放された本体のバケットの前方に斜板を取り付け、かき寄せ機構が本体に向かって油水をかき寄せる仕組みである。

本体の底部に口径1インチの排水管を設け、これをダイヤフラムポンプに接続して、底部に溜まる余水を排出する。バケット内の油水の排出は、貯油タンク上でバケットを前方に傾けることによって行う。傾ける作業の軽減のため、バケット前面は斜めにカットした形状となっている。

本体の水面に対する高さは、写真-3のように側面に浮力材を取り付けて調整した。また、駆動はエアシリンダによ

るものとし、コンプレッサーからのエアホース、信号線、1インチの排水管が接続された状態で作動する。

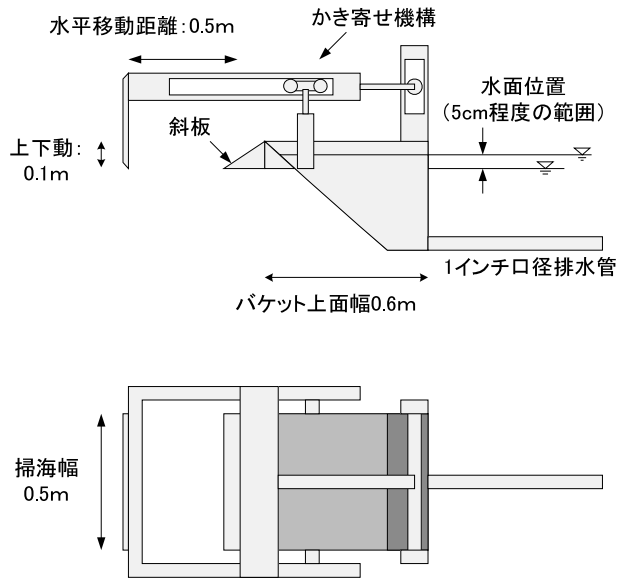


図-3 かき寄せバケットスキマー模型（2004年度版）
概要図

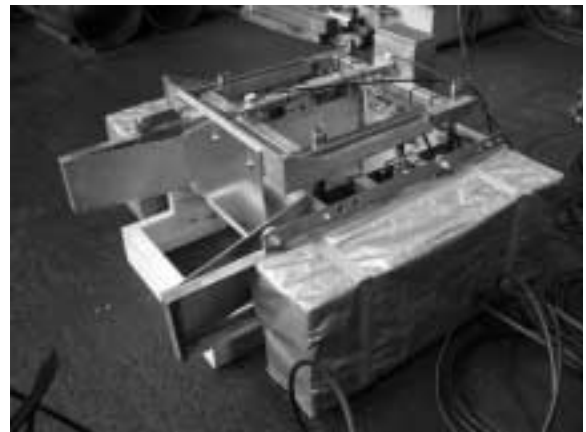


写真-3 かき寄せバケットスキマー模型（2004年度版）
側面の直方体形状のものが浮力材

3.2 水槽実験（2004年度）

(1) 対象とする油および波の条件

流出後24時間以上経過してエマルジョン化したC重油の想定として、含水率約60%に調整したエマルジョン化油、比較的早期の回収作業の想定として、C重油の2種類について実験した。粘度は含水率60%、水温10℃で約100,000～110,000mPa・s程度である。またC重油の粘度は水温約10℃で約7700mPa・sであった。

波の条件は、水深があまり大きくない沿岸域を想定し、作業船の作業限界である波高1m及びこの波高での波長25m、また通常想定される波高0.5m、波長約13mとした。

かき寄せバケットスキマー模型が長さで実機の4分の1なので、水槽では作業限界の4分の1の波高25cm、波長約6mを最大とし、通常時の波ありは波高12.5cm、波長3.5mとした。また、浮流油をオイルブームで保持するため、水槽では約7cm/sの微速で水流を与えた。

実験は供試油約100リットルを水面に散布しこれをオイルブームで保持しておき、静穏な場合と波のある場合での各種データの比較を行った。

表-1に実験の条件を示す。

表-1 実験の条件

供試油	C重油(粘度7700mPa・s)
	C重油エマルジョン(含水率60%, 粘度100,000~110,000mPa・s)
波の条件	波高25cm, 波長約6m(作業限界)
	波高12.5cm, 波長約3.5m(常時)

(2) グラブバケットの模型による水槽実験

作業船を転用する場合に使用され、実績をあげているグラブバケットによる油回収能力を同時に実験により評価する。このため、標準的なグラブバケットの4分の1模型を製作し、水槽実験を行った(写真-4)。なお、模型の都合上グラブの開閉はエアシリンダによるものとした。今回の実験では、現場と同じタイプのクレーン(ジブクレーン)が使用できないため、門型クレーンによる回収作業とした。

グラブバケット模型による実験状況を写真-5に、かき寄せバケット式スキマー模型による実験状況を写真-6に示す。



写真-4 製作したグラブバケット4分の1模型



写真-5(a) 油水をつかむ



写真-5(b) 油水を掬い上げる



写真-5(c) 貯油タンク上でグラブを開く



写真-5(d) 油水を貯油タンクに回収
写真-5 グラブバケットの実験状況

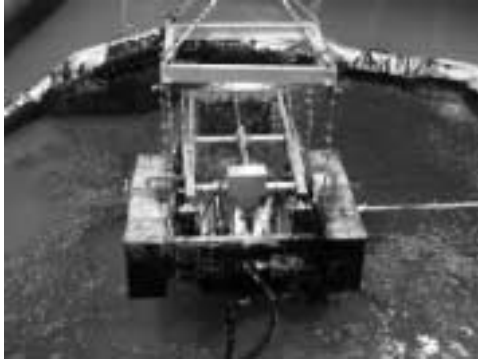


写真-6(a) 油水を狙ってかき寄せ機構を伸ばす



写真-6(b) かき寄せ機構によりかき寄せる



写真-6(c) 油水がバケット内にとりこまれる



写真-6(d) 本体を傾け、貯油タンクに油水を回収
写真-6 かき寄せバケット式スキマー模型実験

(3) 回収油の計測方法

実験は、貯油タンクの容量がほぼ満たされた状態になるまで油回収作業を行ない、それまでの時間を計測した。また、油水の回収量の内訳は、貯油タンクの水面高さを先に計測し、回収した油水の総量を計算した。次に重力分離が行われる十分な時間貯油タンクを静置し、底の余水を排水して、残った油分面の高さを計測して油分の回収量を計算した。

3.3 実験結果(2004年度)

実験の結果は表-2, 3に示す。本論文では油回収効率(Oil Recovery Efficiency)を(1)式、油回収率(Oil Recovery Rate)を(2)式で定義する。

$$ORE = ROP / RF \times 100 (\%) \quad \dots \dots \dots (1)$$

$$ORR = ROP / time \quad \dots \dots \dots (2)$$

ここで、

ORE : Oil Recovery Efficiency, 油回収効率 (%)

ROP : Recovered Oily Phase, 回収した油分 (エマルジョンに含まれる水分を含む)

RF : Recovery Fluid, 回収油水の量

ORR : Oil Recovery Rate, 油回収率

time : 回収作業時間

表-2, 3から、グラブバケットの模型の方が2004年度の実験では油回収率が大きく、波なしのエマルジョン化油の場合ではグラブバケットの約267ℓ/hに対してかき寄せ式バケット式スキマー模型では約68ℓ/hであった。しかしながらC重油で波なしの場合はグラブバケットが約128ℓ/hに対してかき寄せ式バケット式スキマーでは約67ℓ/hとその差は小さくなる。油回収率はグラブバケットが最高で約21%であったのに対してかき寄せ式バケット式スキマーでは最低でも約19%、最高では56%となっており、余水排出機構の効果が出ている。

波による回収作業への悪影響については、今回の実験では制御側の船にあたる計測台車等は波による揺れを際限できないため実海域とは異なるが、やはり双方の方式で認められる。かき寄せバケット式スキマーでは、波が直接バケット内に入り込むため、波高25cm時の実験を中止した。

対象油の粘度の影響は、グラブバケットの方に明らかに認められるが、かき寄せ式バケット式スキマーの方は今回のデータからははっきりした判断が下せない。

表-2 グラブバケット模型水槽実験結果

グラブバケット模型					
供試油		エマルジョン	エマルジョン	C重油	C重油
	含水率(%)	62	62	0	0
	粘度(mPa・s)	100,000	100,000		
波	波高(cm)	25	0	12.5	0
	周期(秒)	2	-	1.5	-
	波長(m)	6	-	3.5	-
水温(°C)	開始	10.7	10.6	10.1	10.2
	終了	10.7	10.7	10.2	10.4
作業時間	秒	1,015	895	1,083	1,123
貯油タンク排出数	回	5	8	10	10
油回収効率	%	16	21	14	14
回収油水量	リットル	252	318	245	278
回収油量	リットル	40	66	33	40
余水量	リットル	212	252	212	239
油回収率	リットル/h	141	267	110	128
時間当たりの回収油水総量	リットル/h	894	1280	815	893

表-3 かき寄せバケット式スキマー模型(2004年度版)水槽実験結果

かき寄せバケット式スキマー模型						
供試油		エマルジョン	エマルジョン	エマルジョン	C重油	C重油
	含水率(%)	68	64	64	0	0
	粘度(mPa・s)	110,000	110,000	110,000	7,700	7,700
波	波高(cm)	0	0	12.5	12.5	0
	周期(秒)	-	-	1.5	1.5	-
水温(°C)	開始	10.7	9.8	9.9	10.1	10.4
	終了	10.8	9.9	10.5	10.1	10.5
作業時間	秒	3,277	3,525	3,837	3,279	2,368
貯油タンク排出数	回	3	3	4	5	4
かき寄せ回数	回	86	114	109	89	76
油回収効率	%	56	56	39	19	35
回収油水量	リットル	106	119	152	159	126
回収油量	リットル	60	66	60	30	44
余水量	リットル	46	53	93	129	82
油回収率	リットル/h	66	68	56	33	67
時間当たり回収油水量	リットル/h	117	122	143	175	192

3.4 油回収機の改良 (2005年度)

(1) 2004年度版の油回収機の課題点

2004年度版のかき寄せバケット式スキマー模型は、波による越流を防止するためにバケットの油水取り入れ口を水面よりも高い位置に設定する必要があった。また、越流させるためにはかき寄せ機構の動作速度を速く設定する必要があった。このため、十分なかき寄せ流量の確保が難しかった。

波に対しては、上部が開放してあるため、内部の様子が見える利点はあったが、波高が大きい場合、回収動作に入る前からどんどん越流してバケットが満水となり、

これを回復する手段がなかった。

また、油水を貯油タンクへ排出する作業の簡単さとバケット内部の底水と油の分離の促進のために、バケット形状を楔形としたが、油水取り入れ口直後に斜面形状の壁面ができたため、油塊の先端が壁面に付着し、バケット内への流入の障害となった。

底水の排出に関しては、ポンプの吸引による吸引口近傍の乱れが大きく、油水の分離に大きな影響を与えてしまった。このため、十分な底水の排水ができなかった。

そのほか、バケットの浮体幅が大きく、水面での姿勢の安定性を浮体により確保するためには全幅を油水取り

入れ口の幅（掃海幅）に対して2倍以上の幅を取る必要があった。このため、当該油回収機の4倍の掃海幅を想定している実機では、全幅が5mを超えるものとなり、これを陸送する場合、分解搬送及び現地組み立て方式を検討する必要があった。

また、バケットからの排出方式を、バケット傾け方式としたことで、バケットを架台上におろしてクレーン操作により傾ける作業となったが、この場合、クレーン操作で慎重な取り扱いが必要となることや、傾け時にクレーン操作を誤るとバケット内の油水が勢いよく流出し、受け側の貯蔵タンクから外へ飛び出してしまう可能性があった。

(2) 油回収手法の変更

2004年度版のかき寄せバケット式スキマー模型では十分な油水のかき寄せ量が期待できないため、2005年度版ではこの点を根本的に見直した。ただし油水をかき寄せ機構で強制的に回収容器内に導流するコンセプトは同様である。

まず、かき寄せ板を枠構造に変更した。従来、数万 $\text{mPa}\cdot\text{s}$ 以上の高粘度油を対象としたかき寄せ機構はレーキ状として水面の浮流油のみをかき寄せるものであった。これは高粘度油の場合、浮流油は油塊となって容易に拡散せず、かたまりのまま取り扱うことができたことから、水の抵抗の軽減を図るため、レーキ状としたものである。

本研究では数千 $\text{mPa}\cdot\text{s}$ 程度の通常のC重油も対象としたことから、従来のレーキの構造から単純な板に変更して、流動性のある浮流油をかき寄せられるようにしたものである。しかしながら油水取り入れ口下部の回収機本体から反射する流れおよび油水そのものの慣性による影響でかき寄せ板の進行方向に直行する方向に浮流油が逃げしまい、効率が悪くなってしまった。2005年度版は枠構造とすることで、浮流油は枠外へ逃げにくくすると考えられる。

2004年度版は従来からある堰式スキマーの喫水を常時水面上に置くことで余分な海水の流入を防止し、かき寄せによる堰の越流を利用するものであった。これに対して2005年度版は通常の堰式スキマーと同様に油水取り入れ口は常時水面下として油水の流量を容器内外の水位差で主に決め、これにかき寄せ機構による効果を付加したものとなった。これによりかき寄せ油水量は十分な量を期待できる。ただし、かき寄せ動作時にのみ開口する蓋を設けて、余分な海水の流入を防止した（図-4の側面から見た概念図）。動力はエアシリンダによるものである。

通常の堰式スキマーは、スキマー容器内に油水を取り入れるために容器内の水位をポンプによって下げて吸引

する構造となっている。このため、浮流油が十分に厚く集油され、連続的な回収が望まれるような場合には、適切な堰の喫水を制御できるならば有効である。しかしながらわずかな波浪でも回収機との相対的な水位が油層厚を超えてしまうような状況では適切な喫水を制御することが困難となるため、余水が多くなってしまう。またスキマーに吸引される向きに理想的な流れができなければ、浮流油が連続的に回収されない。

本方式では、浮流油がある場合のみかき寄せ動作によって油水取り入れ口が開く仕組みとなっているため、上記のような通常の堰式スキマーにまつわる問題点は解消される。クレーンで常時吊り下げられているため、浮流油が理想的に連続的な流れを形成できなくても、浮流油のある箇所容易に回収機を移動できる。

(3) バケット形状の変更

2004年度版のかき寄せバケットスキマー模型のようにバケットに斜面がある場合、その斜面に油が付着しやすいことから、バケット内部の斜板を廃止して、すべて水面に対して垂直な部材とした。また、底水の吸引によるバケット内部の乱れを防止するため、吸引管の取り付け箇所とバケット容器の間に板を設けて直接的な影響を遮断するとともに、バケット容器内底面に設けた吸引口を大型にして吸引流速を緩和するとともに吸引管取り付け口までの流路を長く取って乱れの影響を緩和した（図-4の上面から見た概念図及び側面から見た概念図）。

バケット上面には蓋を設け、波の進入を防止した。また、蓋を閉じた状態で底水の吸引ができるように空気抜き穴を設けている。

2004年度版はバケット本体は浮力材により水面に浮く設計として、適切な喫水を浮力材及び錘により調整するものであった。しかしながら、適切な喫水は集油した浮流油の油層厚さによって決められるものであるため、現場では状況により刻々と変化するものである。堰式スキマーではこれを油分の比重を利用して自動的に喫水調整するものや超音波式油膜厚センサにより堰の高さを自動的に上下させる仕組みなどが用いられているが、いずれも油層厚さがある程度以上薄くなると制御が難しくなる。

2005年度版ではバケットを水に浮かないものとした。このため浮力材を廃止した。これにより本体の外形サイズの小型化が図られた。ただし、クレーンのオペレーションは状況に応じて吊り下げ高さを調整することとなり、グラブバケットで浮流油を回収する作業時の高さ調整と同様の運用となった。ただし、上記の喫水調整により油膜厚に合わせるといった緻密な作業は要求せず、余水の低減はもっぱら底水の排水によるものとした。こうした

作業について、オペレーターの疲労を考慮すれば改善すべきではあるが、吊り下げ高さの精度を管理することはクレーン作業の基本動作であることから、通常の上海上工事の作業としてみれば問題はない。写真-7に装置の概観を示す。

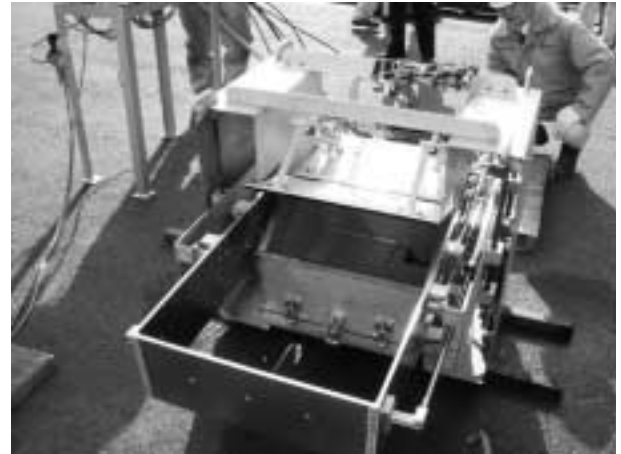
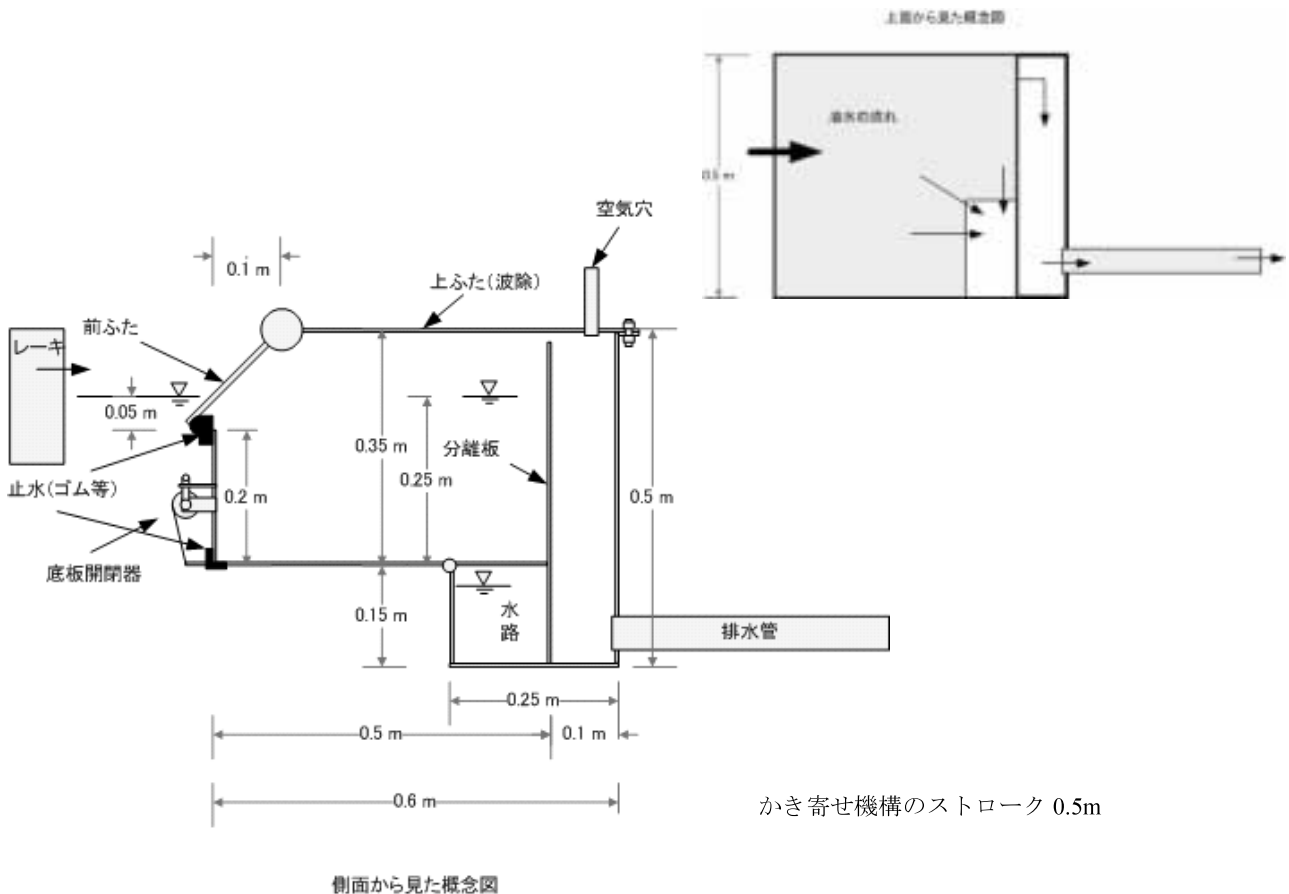


写真-7 改良したかき寄せバケット式スキマー



側面から見た概念図

かき寄せ機構のストローク 0.5m

図-4 かき寄せバケット式スキマー（2005年度版）概要図

(4) 油水の排出方法及びオペレーションの変更

バケット内の油水は2005年度版と同様に管路を經由せず、バケットから貯蔵タンクへ直接排出する方式である。ただし、バケットの底を開閉するようにしてクレーン作業及び貯蔵タンク周辺で待ち受ける作業員の作業を簡単にした。バケット底の開閉は模型では手動にしたが、本

来は自動開閉式が望ましい。これらの一連の動作に関しては、Grabバケットと同等の取り扱い性の良さを取り入れたいと考えたものである。

底水の排出についてはダイヤフラムポンプにより行なうが、バケット容量が約40ℓに対して、排水ポンプの流量も約40ℓ/minとなったのでポンプを1分間作動させるとバ

ケットが空になる。底水は油回収のためのかき寄せを行なうにつれて減少していくため、バケットの様子を見ながら排水に明らかな油分が混じったらバケットを引き上げて貯蔵タンクに油水を排出するという手順とした。この底水の排出に関する判断はあいまいな部分を多く残してしまっていたが、2005年度当初の計画では次のように仮定していた。

かき寄せ動作による油水の導流量は、当初の実測により3回でバケット内が満水となったことから、1回で約13ℓの油水が導流されると仮定できる。この油水の余水を90%と仮定すると、1回について12ℓの余水を排出すれば最も理想的に余水の排出ができる。そのためには約18秒ポンプを作動させればよいことになる。ところが実際にはかき寄せ動作ごとの油水の導流量は一定でなく、オペレーターが浮流油をうまく取り入れようと微妙な喫水調整を行ったり、これを失敗したりするたびに変化することや、浮流油との遭遇機会を逃さないようにするためには底水排水を待ちきれないなどの問題があった。これらを総合的に人間が判断して排出調整をすることが作業上支障になったため、かき寄せ時の油水の導流状況をみてバケット内の水位から適宜かき寄せ動作の間隔を調整する代わりに、底水の排水は基本的に油分が排水に確認されるまで連続で行なうこととした。

3.5 実験結果 (2005年度)

(1) 回収能力の評価

2005年度の実験では、回収油水および油分の計測をより確実にするため、ドラム缶1本分程度の油水を回収したらその重量を計測し、静置後、底の余水を排出して油分の重量を計測した。

また、実験ケースを増やして、波高の影響と周期(波長)の影響についてより詳細にデータを取った。比較対象のグラブバケット模型についても同様に実験を行った。

供試油の粘度は、C重油が約1,300mPa・s(ずり速度10(1/s))程度、エマルジョン化油は同様に約40,000mPa・s(ずり速度10(1/s))であった。なお、ずり速度10(1/s)での粘度計測は国際的に一般化する傾向があるため、2005年度から採用した。

実験の結果を表-4, 5に示す。波なしのデータである波高0mmについてみると、かき寄せバケット式ではC重油の場合に平均で油回収効率が約81%, 油回収率が約304kg/h, エマルジョン化油の場合に油回収効率が64%, 油回収率が224kg/hであった。これに対してグラブバケットではC重油の場合に油回収効率が約37%, 油回収率が約321kg/h, エマルジョン化油の場合に油回収効率が約55%, 油回

収率が約291kg/hであった。

実海域の波高と波長をおよそ4分の1に合わせたデータである波高125mmのときのデータでは、かき寄せバケット式ではC重油の場合に平均で油回収効率が約56%, 油回収率が約147kg/h, エマルジョン化油の場合に油回収効率が65%, 油回収率が192kg/hであった。これに対してグラブバケットではC重油の場合に平均で油回収効率が約22%, 油回収率が約390kg/h, エマルジョン化油の場合に油回収効率が約38%, 油回収率が約290kg/hであった。

こうした比較からは、波のある通常の作業環境ではグラブバケットに比べてかき寄せバケット式は回収効率が非常に高いが、油回収率がグラブバケットの38~67%程度と十分高いとはいえない。しかしながらグラブバケットの場合は膨大な余水が発生することとなるため、回収油水を一時的に受け入れる貯蔵タンクの容量が小さい場合や、このタンクから余水を排出するポンプ流量が小さい場合などでは途中で作業を中断する必要がある。

(2) プロトタイプへ反映すべき観察結果等

2006年度に製作するプロトタイプを実機サイズとする場合、かき寄せバケット式スキマーでは2005年度版の構造をとる場合に、かき寄せ機構を駆動するエアシリンダがバケット側面に張り出しており、全幅に占める割合が比較的大きい。水槽実験の結果、エアシリンダの容量が比較的小さく、動作が緩慢になったことが回収作業に悪影響を与えていると考えられる。

底開式の油水排出方式は2004年度版のバケット傾け式の油水排出方式に比べて作業上の安全性と安定性が確保されたが、底蓋は油水吸引口のあるバケット内の水路を含めて全開とすべきであったこと、および油水が排出される方向を一方向に絞るガイドとなる側板が必要である。

また、かき寄せる長さがグラブバケットは1.25m, かき寄せバケット式スキマーが0.5mで、掃海幅が同じでも掃海面積が一動作あたりグラブバケットの5分の2となっていることから、掃海速度が小さくなってしまう。プロトタイプ及び実機においては、この点を考慮して設計することが必要である。

表-4 かき寄せバケット式(2005年度版)実験結果

供試油	波高 (mm)	周期 (s)	時間 (min)	回収油水 重量 (kg)	油重量 (kg)	油回収効 率(%)	油回収率 (kg/h)	時間当たり 回収油水量 (kg/h)
C重油	0		20	119	92	77	276	357
	0		19	125	105	84	332	395
	125	1.5	30	120	67	56	134	240
	125	1.5	29	138	77	56	159	286
	200	1.8	46	28	17	61	22	37
	200	1.8	37	77	23	30	37	125
	200	2.6	27	128	88	69	196	284
	200	3.5	24	140	77	55	193	350
	200	3.5	30	175	100	57	200	350
エマルジョン 化油	0		19	111	71	64	224	351
	125	1.5	27	140	88	63	196	311
	125	1.5	29	136	91	67	188	281
	200	1.8	24	82	38	46	95	205
	200	1.8	30	154	58	38	116	308
	200	2.6	20	67	45	67	135	201
	200	2.6	29	118	65	55	134	244
	200	3.5	20	86	70	81	210	258
	200	3.5	23	134	90	67	235	350
	200	4.4	20	124	97	78	291	372

表-5 グラブバケット模型実験結果

供試油	波高 (mm)	周期 (s)	時間 (min)	回収油水 重量 (kg)	油重量 (kg)	油回収効 率(%)	油回収率 (kg/h)	時間当たり 回収油水量 (kg/h)
C重油	0		7	144	41	28	351	1234
	0		12	128	58	45	290	640
	125	1.5	5	144	35	24	420	1728
	125	1.5	4	126	24	19	360	1890
	200	1.8	9	144	72	50	480	960
	200	1.8	10	165	79	48	474	990
	200	2.6	8	197	63	32	473	1478
	200	2.6	7	141	50	35	429	1209
	200	3.5	7	137	43	31	369	1174
	200	3.5	16	127	88	69	330	476
	300	2.6	4	160	58	36	870	2400
	300	2.6	11	166	50	30	273	905
エマルジョン 化油	0		16	142	80	56	300	533
	0		16	140	75	54	281	525
	125	1.5	10	124	44	35	264	744
	125	1.5	12	155	63	41	315	775
	200	1.8	6	140	29	21	290	1400
	200	1.8	5	151	23	15	276	1812
	200	2.6	10	198	50	25	300	1188
	200	2.6	5	162	32	20	384	1944
	200	3.5	11	175	64	37	349	955
	200	3.5	9	136	60	44	400	907

3.6 油回収機のプロトタイプ製作（2006年度）

(1) 課題のまとめ

2005年度に提案したかき寄せバケット式油回収機の課題は、以下のようであった。

- ・かき寄せ機構を駆動するエアシリンダの張り出しが大きく、掃海幅の割に全幅が大きい。
- ・側面の駆動機構取り付け構造材が板状のため、波により不都合な流れが生じる。
- ・エアシリンダの容量が小さく、動作が緩慢になり、回収作業に悪影響を与えている。
- ・底開式の油水排出で底蓋の構造により油水が飛散し、作業性が悪い。
- ・グラブバケットに対して一動作あたりの掃海面積が小さいため回収能力が低い。

このため、2006年度版はこれらの点を鑑みつつ、回収能力を高めるための改良を施した。

(2) 実機の大きさの想定とプロトタイプの縮小率

油回収機の改良点は上記を踏まえて以下のとおりである。プロトタイプは実機の大きさが理想であるが、水槽実験における制約およびコスト縮減のため、縮小モデルとしている。なお、縮小率に関しては4分の1としているが、油膜厚さなどに関しては粘度の相似を撮る事が難しいため、模型実験においても実際と同時状況であり、このためかき寄せ機構の設計上、実機は幾何学的相似形にならない。このため表-6は実寸法の想定との参考的な比較とする。なお、表-6の本体寸法の長さはバケットの長さである。想定する実機は、掃海幅2m、かき寄せストローク4mとして、プロトモデルは実質的に4分の1の縮尺と考える。

表-6 かき寄せバケット式スキマー本体寸法

およその外形寸法(m)	掃海幅	高さ	長さ	容量(ℓ)
想定実機	2.0	2.0	2.4	4,000
2005年度模型	0.5	0.5	0.6	63
2006年度プロトモデル	0.5	0.5	1.2	125

(3) 機構上の改良点

機構の改良は以下の点について行った。

・エアシリンダ及びスライダーを取り付ける構造材は油回収作業の邪魔にならないように小型化するとともに、不要な部分は肉抜きをして伴流の発生を防ぐ（写真-8(a), (b)に見える側面の部材）。

・駆動用エアシリンダの容量を大きくし、動作が緩慢になることを防ぐ。

・かき寄せレーキのストロークを2005年度版の2倍の1.0mとする

・底蓋はポンプ吸引口を取り付ける槽底部も含めて開く構造とし、油水の排水方向を1方向のみに導く導流板を取り付ける。動力による開閉動作とする（写真-8(c)）。

これらの改良を施した縮小プロトタイプモデルを写真-8に示す。



写真-8(a) かき寄せ機構収納状態



写真-8(b) かき寄せ機構を伸ばした状態

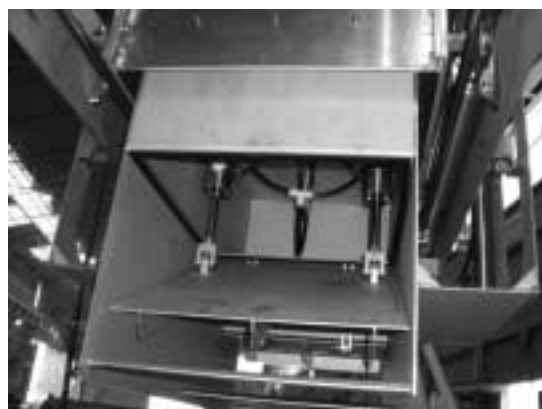


写真-8(c) 底蓋開放の状況



写真-8(d) 上蓋開放動作状況

写真-8 かき寄せバケット式スキマー模型

(2006年度版：縮小プロトタイプモデル)

3.7 実験結果 (2006年度)

(1) 実験条件

実験は2005年度と同条件として、手順も同様とし、行った(付録A参照)。ただし、グラブバケット模型の実験は行わず、2005年度のデータと比較した。

油回収機の実験は、クレーン操作に1名、油回収機の制御盤の実験に1名、排水ポンプ1名の3名で行った。油の散布量は160ℓから180ℓ程度で、水槽内の流速が約0.2ノットと2005年度と同様なので、油膜厚さも同条件である。油の分布状況から見て、拡散面積は8m²程度とみられることから、油膜厚さは2cm程度と推定される。散布した供試油は、C重油とC重油に約同量の水をエマルジョン化させたエマルジョン化油である。

実験ケースは表-7のとおりで、2005年度の実験を踏まえ、比較のために必要な数に絞っている。なお、2006年度版の縮小プロトタイプモデルについては、性能を推算する場合の縮尺と水槽実験における相似比は異なっており、波に対する条件の波高については、縮小プロトタイプモデルの高さの寸法が実機の4分の1であることから4分の1、波長については縮小プロトタイプモデルのバケットの長さの寸法が実機の2分の1なので2分の1としている。

水槽水の水温は実験期間中ほぼ10℃～11℃に保たれていた。使用した供試油は10℃の粘度を計測すると、C重油はすり速度10(1/s)において約3800mPa・sであった。C重油は実験中に波により若干エマルジョン化し、試験終了時には約9000mPa・sまで粘度が高くなっていた。エマルジョン化油は同様に10℃、すり速度10(1/s)において約40000mPa・sであった。エマルジョン化油の粘度は実験終了時にもすり速度10(1/s)において同様であった。ただ

し、すり速度1(1/s)の場合で比較すると、当初約145000mPa・sだったものが実験終了時に約41000mPa・sに下がっていた。

なお、2005年度の実験では、C重油の粘度は約1300mPa・s(すり速度10(1/s))程度で2006年度よりも低かった。また、エマルジョン化油は同様に約40000mPa・s(すり速度10(1/s))で行われた。したがって2006年度はC重油の粘度が2005年度の実験に比べ高粘度であった。

なお、実験の状況を写真-9～12に示す。

(2) データ解析結果と考察

かき寄せバケット式スキマー縮小プロトタイプモデルによる水槽実験結果を表-8に示す。また、表-9に2005年度に行ったグラブバケット模型によるデータを抜粋し再掲する。

a) 油回収率、油回収効率・時間当たり回収油水量の比較

表-8,9の比較から、かき寄せバケット式スキマーは比較的粘度の低いC重油、非常に粘度の高いエマルジョン化油の双方ともに、ほぼ同じ大きさのグラブバケット模型と油回収率は同等で、かつ、油回収効率が良いことがわかる。平均で比較すると、時間当たり換算した油回収率は同等の366 kg/h、油回収効率は約2倍の70%となっており、総合的に見て、グラブバケットよりも成績が良い。

b) 波浪下の比較

図-5～7に波高ごとの比較を示す。

図-5を見ると、波高によるばらつきはグラブバケットの方が小さい。また、グラブバケットはエマルジョン化油よりもC重油の方が各波高において油回収効率が高い傾向が見えるが、かき寄せバケット式スキマーは明確ではない。

図-6を見ると、各波高においてかき寄せバケット式スキマーの油回収効率がグラブバケットより優れていることが明かである。図-7を見ると、波がある場合の時間当たり回収油水量がかき寄せバケット式スキマーに対してグラブバケットが顕著に多いことがわかる。

c) 実機の性能の推算

実機では掃海面積が双方とも16倍となり、油膜厚さは相似比を取らないので、水槽実験と同じと仮定すると、動作速度のファクターを無視すれば、性能は模型実験の16倍と考えられ、表-10のように推算できる。ただし、表-10の値は波高の影響を無視して平均している。

本推算によれば、かき寄せバケット式スキマーの油回収率は約5.9 t/h、油回収効率は約70%である。グラブバケットの油回収率は約5.7 t/h、油回収効率は約34%であ

る。これらの数値を比較すれば、かき寄せバケット式スキマーならば1日6時間の稼働で約35 t（ドラム缶約176本分）の油が回収でき、準備すべき貯油タンク容量は約50 t（ドラム缶約251本分）である。これに対してグラブバケットの場合、1日6時間の稼働で約34 t（ドラム缶約171本分）の油が回収できるが、準備すべき貯油タンクは約

99 t（ドラム缶約497本分）もの容量になる。

これらから、開発したかき寄せバケット式スキマーはグラブバケットと同等の油回収率で、かつ、余水が半分の量に抑えられる高い油回収効率を持ったものとなり、当初の開発目標の能力を達成した。また、油の粘度の影響も少ないといえる。

表-7 実験ケース

実験水槽			実海域換算	
波高(m)	波長(m)	周期(s)	波高(m)	波長(m)
0	—	—	—	—
0.125	3.5	1.5	0.5	7
0.2	10	2.6	0.8	20

表-8 かき寄せバケット式スキマー縮小プロトモデルによる水槽実験結果

供試油	波高(mm)	周期(s)	時間(min)	回収油水重量(kg)	油重量(kg)	油回収効率(%)	油回収率(kg/h)	時間当たり回収油水量(kg/h)
C重油	0		14	151	101	66	432	647
	0		17	170	156	91	550	600
	125	1.5	22	131	68	51	185	357
	125	1.5	20	195	111	56	333	585
	200	2.6	13	114	85	74	392	526
	200	2.6	11	121	86	71	469	660
エマルジョン化油	0		25	166	125	75	300	398
	125	1.5	18	122	96	78	320	406
	125	1.5	13	99	80	80	369	456
	200	2.6	14	123	72	58	308	527

表-9 グラブバケット模型による水槽実験結果 (2005年度実施から抜粋)

供試油	波高 (mm)	周期 (s)	時間 (min)	回収油 水重量 (kg)	油重量 (kg)	油回収効 率(%)	油回収率 (kg/h)	時間当たり回 収油水量 (kg/h)
C重油	0		7	144	41	28	351	1234
	0		12	128	58	45	290	640
	125	1.5	5	144	35	24	420	1728
	125	1.5	4	126	24	19	360	1890
	200	1.8	9	144	72	50	480	960
	200	1.8	10	165	79	48	474	990
	200	2.6	8	197	63	32	473	1478
	200	2.6	7	141	50	35	429	1209
エマルジョン 化油	0		16	142	80	56	300	533
	0		16	140	75	54	281	525
	125	1.5	10	124	44	35	264	744
	125	1.5	12	155	63	41	315	775
	200	1.8	6	140	29	21	290	1400
	200	1.8	5	151	23	15	276	1812
	200	2.6	10	198	50	25	300	1188
	200	2.6	5	162	32	20	384	1944



写真-9 供試油の散布



写真-11 油回収作業 (かき寄せレーキでかきよせ、上蓋が開いて油水を取込む)



写真-10 かき寄せバケット式スキマーの投入



写真-12 供試油 (エマルジョン化油)

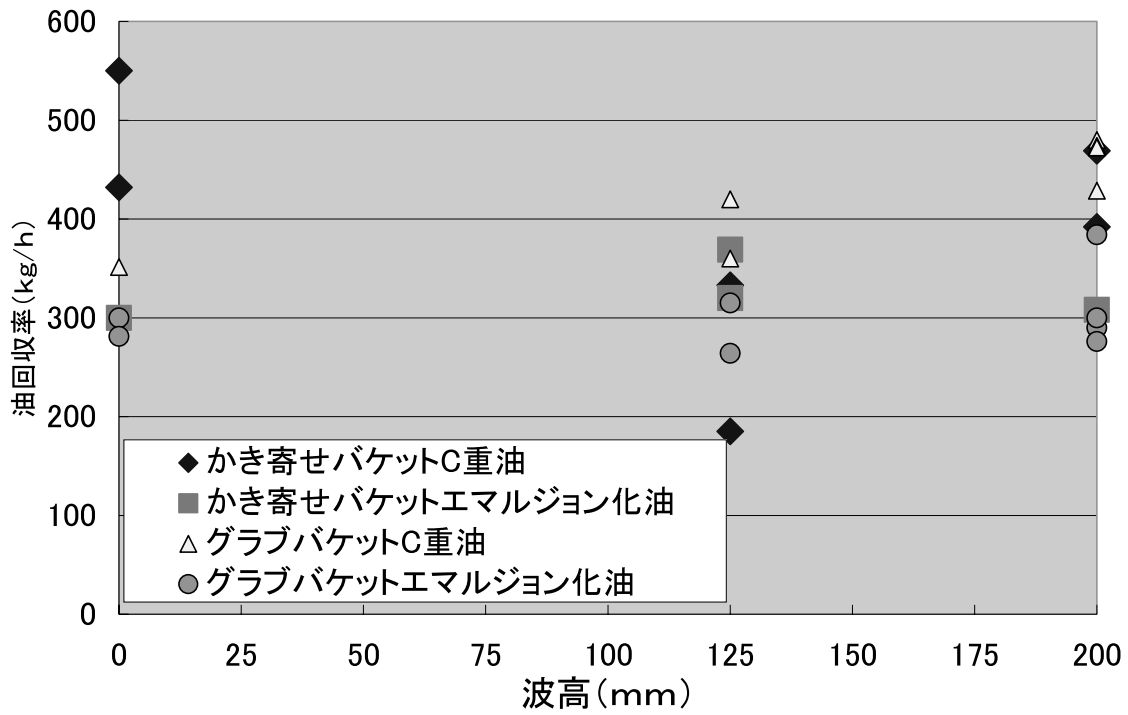


図-5 波高と油回収率

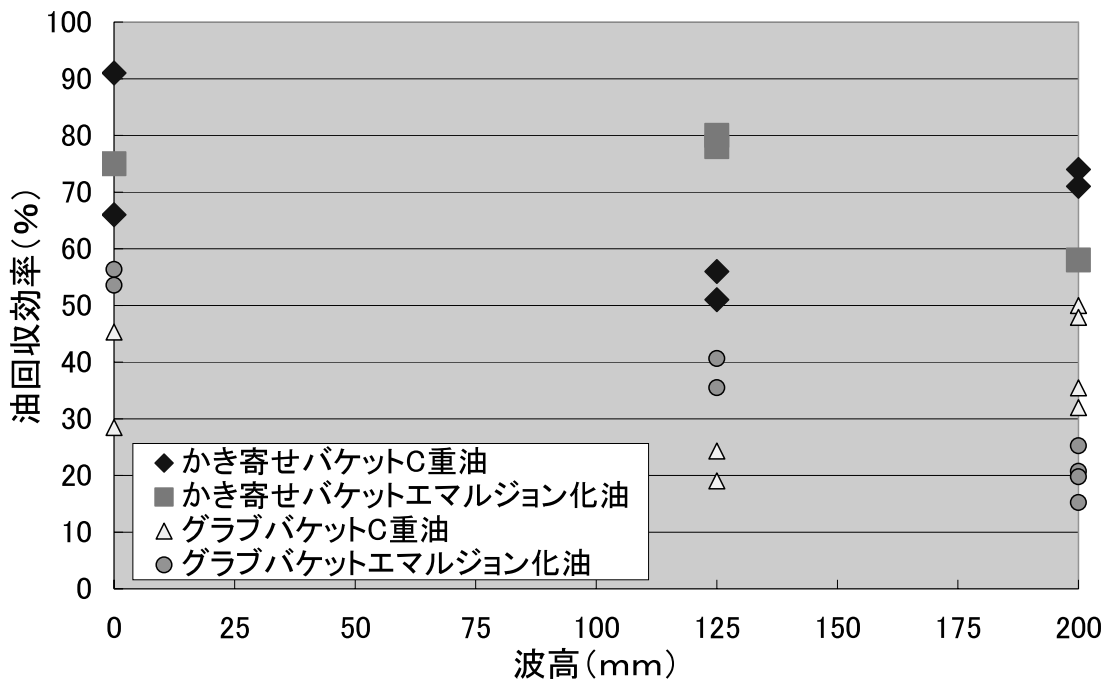


図-6 波高と油回収効率

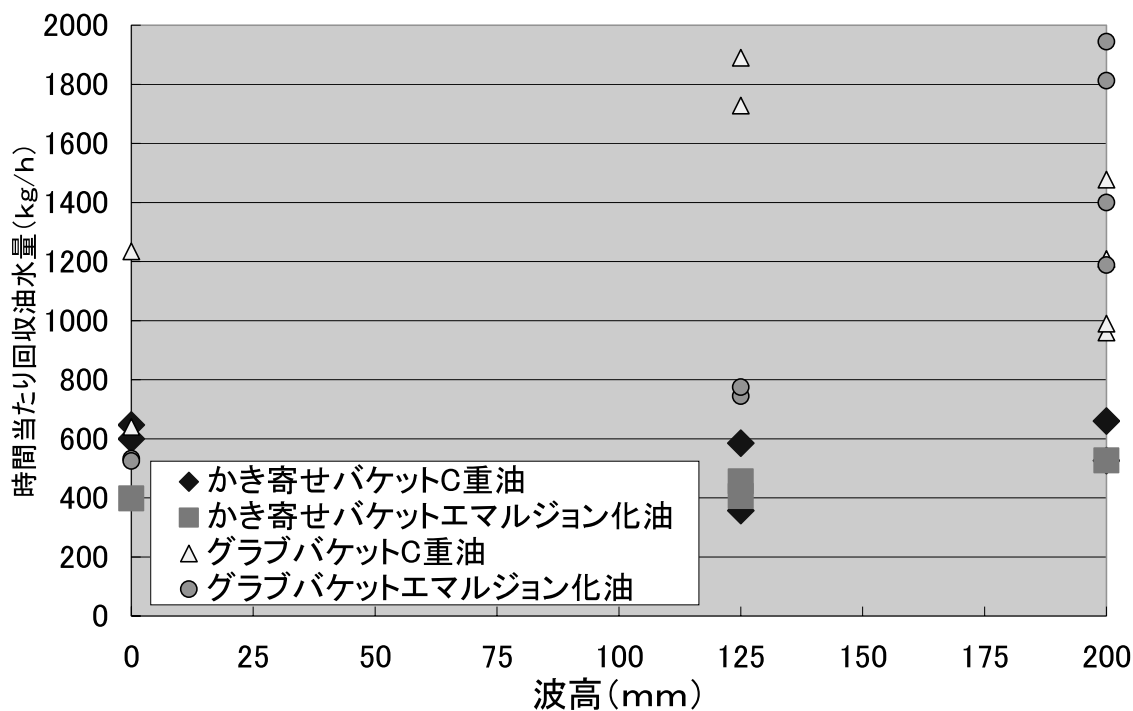


図-7 波高と時間当たり回収油水量

表-10 油回収能力の推算

スキマー形式	項目 対象油	4分の1プロトモデル			実機換算		
		油水回収率	油回収率	油回収効率	油水回収率	油回収率	油回収効率
		Fluid Recovery Rate	Oil Recovery Rate	Oil Recovery Efficiency	Fluid Recovery Rate	Oil Recovery Rate	Recovery Efficiency
		kg/h	kg/h	%	kg/h	kg/h	%
かき寄せバケツ式スキマー	C重油	577	394	68	9236	6296	68
	エマルジョン化油	446	324	73	7131	5188	73
	総平均	523	366	70	8361	5853	70
グラブバケツ	C重油	1160	410	35	18560	6553	35
	エマルジョン化油	903	301	33	14444	4821	33
	総平均	1035	355	34	16560	5687	34

4. 集油装置の開発

4.1 自動展張式オイルブームのコンセプト

(1) 台船に簡単に取り付けられる集油ブーム

海洋工事においては若干のオイルブームを準備することが多いが、これは作業船等からの油漏れを防ぐためのコンテインメントブームである。これに対して、油回収作業においては、他方から侵入する油を防御し、浮流油を集め回収しやすくするオイルブームが必要となる。

USCGが準備しているアウトリガータイプの集油装置（写真-13、USCGインターネットホームページより引用）に対して本研究開発においては曳航ブイ式を基本としたシステムを開発する。アウトリガータイプは取り付けられる船舶の形状に若干の制限があるが、本方式の場合はワイヤロープを取り付けるだけであるためこの制限がより少ないと考えられる。また、ジェット水による浮流油の導流延長効果により実際のオイルブーム長さ比べて集油範囲を広く取れる。



写真-13 USCGのアウトリガータイプの集油装置

(2) 基本的な構成

本体は自動展張ブイ、オイルブーム、ジェット水噴射装置、展張用ワイヤロープで構成されている。自動展張ブイを先頭にしてオイルブームが連結されている。その末尾は船舶に取り付けられる。自動展張ブイ上にジェット水噴射装置が取り付けられ、自動展張ブイ前方に向かってジェット水を噴射し、浮流油を導流する。自動展張ブイは斜め前方と真横にワイヤロープが張られ、主に斜め前方のワイヤロープにより位置の制御を行う(図-8)。

(3) 各部の役割

(a) 自動展張ブイ

自動展張ブイは推進動力を持たないで、その場の潮流あるいは船速による相対流速で流されるものである。固定舵をブイ下面に備え、これにより船舶から遠ざかる向きに流れる。このため、船の前方から後方に流されることを防止するワイヤを張る。舷側から離れる向きに常に流れることによって連結されたオイルブームが展張される。

(b) オイルブーム

流油を集め、回収しやすいように油膜厚さを大きくする効果を持つ。

(c) ジェット水噴射装置

ジェット水を曳航ブイ上から前方海面上に噴射し、浮流油をオイルブーム内に導流する。これにより実効上のオイルブーム長さは最大でジェット水の着水面まで延長される。

(4) 模型の製作

模型は、連結するオイルブームをA型とし、実機ではC型以上とする。A型とC型の実際の寸法差は水面下のスカート部でA型が30cm以上に対してC型は70cmで、寸法の縮尺は3/7である。オイルブームの展張形状はブーム材の弾性等に影響されると考えられるが、水流から受ける力はスカート部の挙動を支配すると考えられるので、これを代表値とした。実機のオイルブームの開口部を約8m、オイルブーム全長を約20m、GAP RATIO 0.4程度とすると、C型のオイルブームでは相対流速が1ノットで、図-9から発生する引っ張り力は350ポンド、160kgf程度である。模型ではこれらを約7分の3に縮小し、開口幅約3.5m~4m、オイルブーム全長約10m（完全に水没しない部分を含む）とした。引っ張り力は両端合計で1ノットでは約50~80kgfになる。自動展張ブイの役目はこのオイルブームを船舶から遠ざかる向きに引っ張ることとジェット水噴射装置を搭載することである。オイルブームを船舶側に引き戻す力は自動展張ブイを斜めに引っ張るワイヤロープの分力として発生するのでこれに釣合うような力を発生できるように自動展張ブイおよび舵を大概設計した。

これらから、模型の各部の主な仕様は次の通りである。

- ・オイルブーム：A型、全長10m
 - ・自動展張ブイ：固定舵の中心線に対する最大角度を30度として、これに1ノット（0.5m/s）の流速が作用すると、 $0.5\text{m/s} \times 0.4\text{m} \times 1.0\text{m} \times \sin 30^\circ \times \cos 30^\circ \times 1\text{t/m}^3 = 0.087\text{t/s} > 80\text{kg/s}$ である。
 - ・ジェット水噴射装置：ノズル5連式、高圧水ポンプ
- 図-10にその概要を示す。

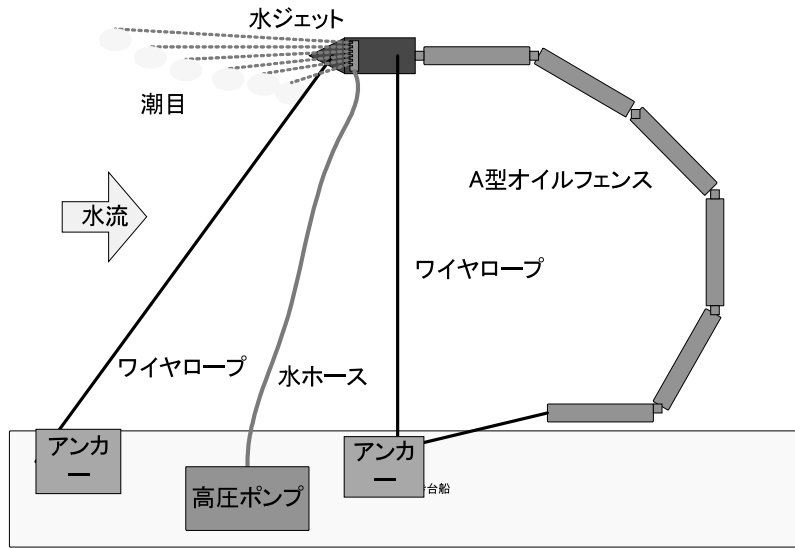


図-8 自動展張式オイルブーム概念図

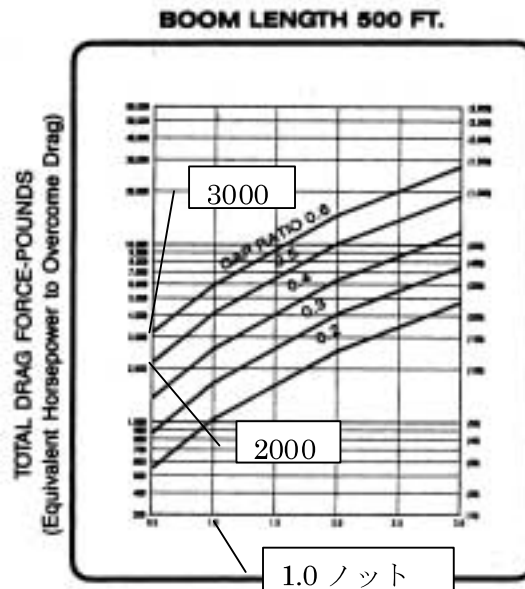


図-9 オイルブームにかかる張力

出典：World Catalog of Oil Spill Response Products sixth edition BOOMS 1-13 DRAG FORCE ON OPEN WATERBOOMS
 ※横軸は相対流速（ノット），縦軸は張力（ポンド）。張力はオイルブーム長さに比例し，500 フィート，1.0 ノット，GAP RATIO 0.4 での張力は約 2700 ポンドと読み取れる。

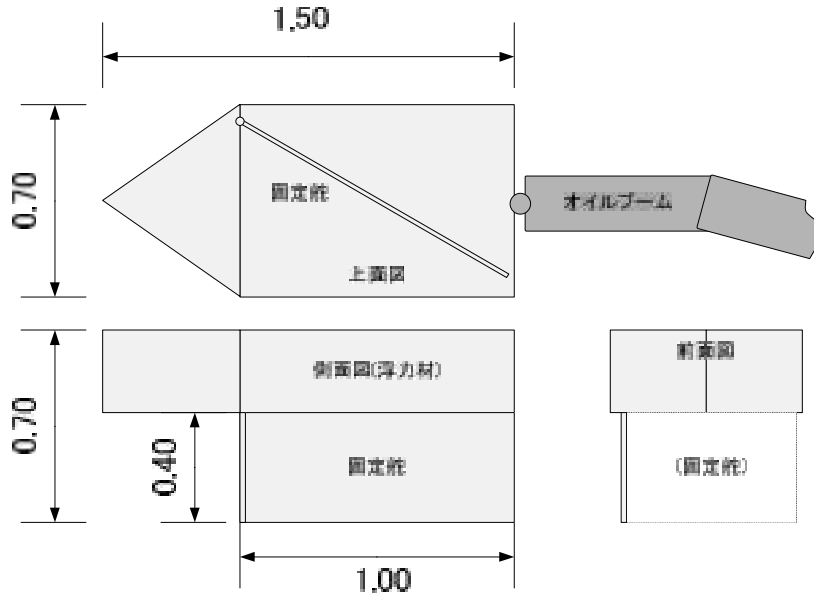


図-10 自動展張ブイ概要 (2004 年度版)

4.2 模型による水槽実験 (2004 年度)

(1) 実験条件の設定

水槽実験は、当所の油回収実海域再現水槽 (STORMS) で C 重油を用いて行った。回収作業時の現地状況を再現するために、以下の条件を設定した。

現地の回収条件は以下のとおり。

- ・最大波高：作業限界 $H=1\text{m}$
- ・通常時波高：0.1~0.5m (波長は波高 0.5m で 13m 程度)
- ・船速 (相対流速)：

回収時最大：2 ノット (1m/s)

通常回収時最低流速 0.5 ノット (0.25m/s)

- ・対象油：大型船の燃料油である C 重油及びエマルジョン

実験ケースとしては、模型の縮尺が 3/7 程度になることから、ブイの安定性に影響する波高は 2 分の 1 とし、造波機的能力から以下の条件とした。

- ・最大波高：0.5m, 周期 2 秒 (造波機的能力限界から)
- ・通常時波高：0.25m, 波長 6m, 周期 2 秒
- ・流速：0.5~2.0 ノット (0.25m/s~1.0m/s)
- ・計測項目：曳航体前方張力 F , 側方張力 S , オイルブーム末端張力 R (図-11 参照) および挙動を動画で記録

(2) 水槽実験

実験の目的は、自動展張ブイが安定的にオイルブームを船側から遠ざかる方向へ曳航すること、自動展張ブイ本体の安定性、ジェット水の浮流油導流効果を観察することにある。このため、若干の試行錯誤の後、安定な状況でこれらの集油機構を支持するロープの張力を計測した (図-11)。

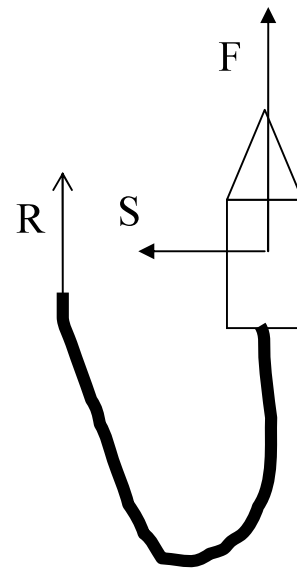


図-11 張力の測定

自動展張ブイは流速が低い状態ではオイルブームの影響を受けて不安定であるが、ある程度の流速が与えられると安定する。しかしながら、舵角度が大きいと流速が上がるとつれて船舶側に傾き転覆の恐れが出た。このため、流速が早い状況では舵角度を浅めにとってワイヤロープ張力の計測を行った。なお、波に対しては自動展張ブイの安定性が損なわれることはなかった。ワイヤロープの張力は波の影響が大きく、最大時に 2004 年度実験の測定器の限界 50kgf を越えた。

(3) 実験結果

実験結果は表-11 に示す。曳航体がオイルブームを曳航

する挙動(写真-14)に関しては、流速が0.5ノットでは舵(写真-15)を20度にした状態でも横方向の張力が1~1.5kgf程度であり、あまり強力な曳航力が得られていない。波のある状況では若干張力が増加するがこれは波による周期的なものであり、計測は最大値を読み取っているため曳航に対する安定性には寄与していない。

流速が1ノットを越えると横方向の張力は大きくなり、舵の角度20度では曳航体のローリングが大きくなる。1.5ノット時と1ノット時の横方向の張力が同じ程度で、1.5ノットではローリングが大きくなりすぎ、転覆の心配が出たため、舵角度を1.5ノットでは10度に設定しなおした。

流速1.5ノットにおいては舵を10度に設定したのを見ると横方向張力が15kgfほど生じており、1ノット時の挙動から見ると舵角度はもう少し小さくても曳航能力の問題は生じない。



写真-14 オイルブームを外側に曳航

計からも符合している。

ジェット水の効果に関しては、浮流油の導流効果を観察したところ、波高0.25mにおいてもその効果が十分に認められた(写真-16)。ジェット水の向きは導流したいオイルブーム入り口方向ではなく、曳航体中心線の延長上前方3m程度の間を5本のノズルにて噴射している。曳航体の動きによりこの向きはかなり変化するが、効果は持続した。この現象について詳細な分析は行われていないが、着水点の水表面に大きな乱れを発生させており、こうした不連続面が水表面に形成されることと、着水点から外へ向かう表面の流れができるといったことが浮流油の流れる方向に影響を与え、導流の効果が表れていると推測される。

なお、2004年度に使用したA型のオイルブームでは、流速1ノットからはほとんど浮流油を保持することができなくなり、後方へ抜け出てしまった。



写真-16 ジェット水による導流効果



写真-15 曳航体の舵

2ノットの実験は本模型のほぼ限界の挙動を示している。舵を5度として曳航体のローリングを抑えているが不十分で、舵面積の縮小等の対策が必要である。

波の影響を見ると、曳航体を後方に引っ張る張力に大きく表れている。曳航体の受ける波力は大きく、これが張力の最大値を高くしている。波高25cmの影響は力で6~7kgf程度とみられるが、これは試算値と2ノット時の張力の合

表-11 自動展張式オイルブーム模型実験(2004年度版)

流速	knt m/s	0.5 0.25	1 0.5	1.5 0.75	2 1
舵20度	F	2.8	16.7	25.3	
	S	1.5	10.5	10.5	
	R	2.1	6.2	12.5	
	F+R	4.9	22.9	37.8	
舵20度 波高25cm, 周期2秒	F	20.4	32.5		
	S	3.5	16.5		
	R	8	6.8		
	F+R	28.4	39.3		
舵20度 ジェット水30KHZ	F	6.5	16		
	S	1	9.2		
	R	3	4.5		
	F+R	9.5	20.5		
舵20度 ジェット水60KHZ	F	11	18		
	S	1	7.5		
	R	3	9		
	F+R	14	27		
舵10度	F			26	
	S			15.5	
	R			13	
	F+R			39	
舵10度 波高25cm, 周期2秒	F			33	
	S			22.5	
	R			15	
	F+R			48	
舵10度 波高25cm, 周期2秒	F			35	
	S			25.5	
	R			15	
	F+R			50	
舵10度 波高25cm, 周期2秒 ジェット水30KHz	F			28	
	S			20	
	R			15.5	
	F+R			43.5	
舵10度 波高25cm, 周期2秒 ジェット水60KHz	F			32.5	
	S			21.5	
	R			16.5	
	F+R			49	
舵5度 波高25cm, 周期2秒 ジェット水30KHz	F			45	
	S			15	
	R			20.5	
	F+R			65.5	
舵5度 波高50cm, 周期2秒 ジェット水30KHz	F			50	
	S			21	
	R			35	
	F+R			85	

4.3 問題点の抽出

(1) 自動展張ブイ

自動展張ブイの持つオイルブームの展張能力(オイルブームを船舶から遠ざける方向に曳航する力)は舵角と流速で調整可能であることがわかったが、流速が遅いと展張能力が不足気味であり、また、流速が早いと、舵角を小さくしても自動展張ブイの安定性に問題が起きる。このため、舵角だけでは自動展張ブイの安定性を十分に制御できない。また、流速が変化する場合、舵角を固定した状態で安定性を得ることは難しい。

自動展張ブイは波力の影響をかなり受けることもわかった。このため、曳航索にかかる張力は波力の影響を考慮したもので設計する必要がある。また、自動展張ブイの向

きによって曳航方向に影響が出ることから、本体が流れに対して常に平行になるような工夫が必要である。

(2) ジェット水噴射装置

ジェット水噴射装置については2004年度の実験ではその効果を確認するにとどまったが、適正な仕様を決めるためには、流量と流速について効果の現れる限界値を知る必要がある。また、噴射する水の流速と流量のどちらがより大きな効果を担っているか検証する必要がある。その他、給水ホースの取りまわしは実機においては工夫が必要である。

2004年度は拡散性の高いC重油を用いたが、水表面の乱れが導流効果を生んでいると仮定すると、慣性力が大きな油の塊を作りやすい高粘度油に対する効果の確認も必要である。

(3) 曳航するオイルブームの滞油性

2004年度に使用したA型のオイルブームは1ノット程度の流速で滞油性能をほぼ失ってしまった。通常のオイルブームでは1ノット程度が滞油性の限界であるといわれており、実際の現場ではこの点が最も問題となりやすい。水中のスカート部の水深を深くし、アンカーチェーンの重量を増すことによって改善すると見られるが、その分浮体も大型化する。なお、滞油性能に関する流速はスカート部に対して直角方向の成分であり、今回提案する方式ではGAP RATIOを0.4程度としているため、問題となるのはオイルブーム最深部の個所である。

4.4 自動展張式オイルブームの自動展張ブイの形式の変更(2005年度)

2005年度版は主に船体のローリングを抑え、十分な展張力を確保するために、船体の形式を変更することとした。ローリングを抑える手法としては、舵の効きすぎの抑制をアクティブに行うか、復元力を大きくしてロール角を抑え込んでしまうかの2通りがあると考えた。

アクティブ制御を行うにあたっては、設定を失敗すると共振で共振する可能性もあり、また、各種センサの搭載、駆動力の付加が必要になる可能性もある。このため、単純な手法として船体形状の変更による復元力の増大を図ることとした。

2005年度版は船体を双胴型とするとともに、船体幅を2004年度版の0.7mから1.2mに拡大した。舵は中央の浮力材のない箇所位置に置いた。双胴部は実機では中央にスライドさせれば十分搬送できる大きさまで縮小できるので取り扱い性がよい。また、舵(フラップ)面積の増大によりより大きな曳航力を得られるようにした(図-12)。

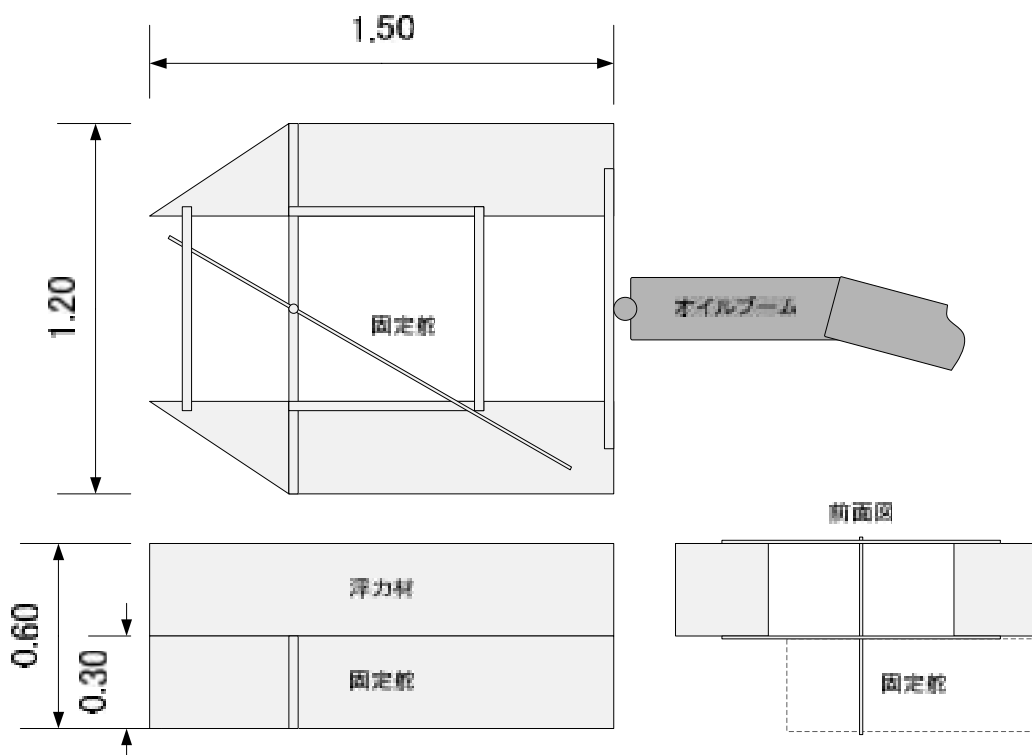


図-12 自動展張ブイ概要図 (2005 年度版)

4.5 水槽実験 (2005 年度)

(1) 実験ケース

2004 年度の実験から、固定舵（フラップ）角度をある程度大きくしなければ流速が小さい場合に十分な曳航力が得られないため、角度を 2004 年度の実験の最大値の 20 度に設定し、この状況で流速が速い場合の曳航体の安定性等について計測した。

また、波の影響を見るために、波高を最大 50cm まで設定して実験した。ただし造波機の性能の限界から、周期は 2 秒（波長約 6m）に固定し、波による振動モードの影響はみなかった。

これらから実験ケースは表-12 のように設定した。

表-12 実験ケース

流速	0.25m/s (0.5knt)				
波高(cm) (周期2s)	0	15	25	40	-
流速	0.5m/s (1.0knt)				
波高(cm) (周期2s)	0	15	25	40	-
流速	0.75m/s (1.5knt)				
波高(cm) (周期2s)	0	15	25	40	-
流速	1.0m/s (2.0knt)				
波高(cm) (周期2s)	0	15	25	40	50

(2) 計測項目

計測項目は以下のとおりである。

- ① 曳航体の水面上の位置座標
- ② 曳航体の支持ロープおよびオイルブームの支持ロープの張力
- ③ 曳航体のピッチおよびロール角度

①については、画像センサにより自動計測した。画像センサは曳航体を色と形状により認識し、自動的にその座標を解析、記録するもので、KEYENCE 製高速デジタル画像センサ C V-3500 による。座標値は画像センサにより撮影された画面内に設定される相対的な数値である（写真-17）。なお、画像センサに取り込むデータ取得用カメラは水面を真上から撮影できるように水槽上面天井部に取り付けた。ただし、画像センサは解析速度が遅く、1 秒間に 2 回（2Hz）のデータ取得である。

②については、支持ロープに直接張力計を取りつけ、計測した。

③については傾斜計によるデータ計測を行った。データの取得周期を 10Hz とし、210 秒間計測して比較した。これらの配置を図-13 に示す。

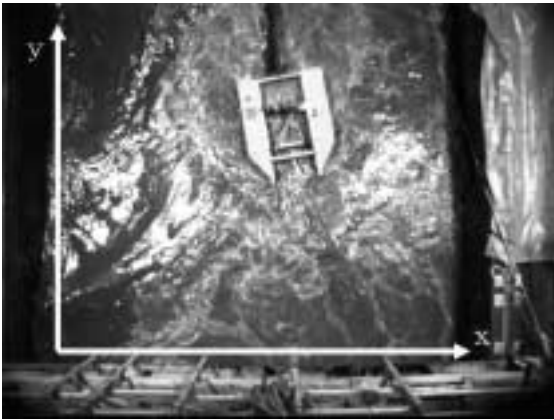


写真-17 画像センサ CV-3500 に取り込まれた
画像データの例
(座標軸は理解のために記入したもの)

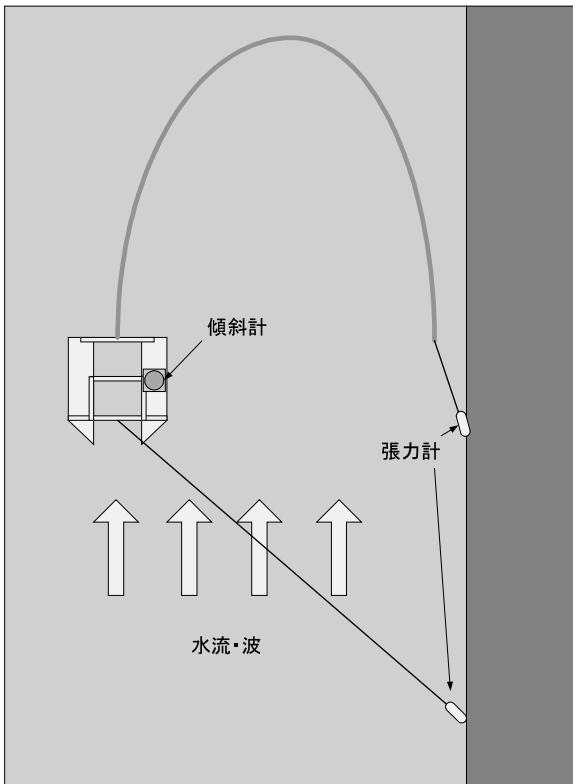


図-13 各種データ取得センサの配置

(3) 実験の結果

実験の結果、図-14のとおり自動展張ブイの安定性は十分確保されていることが分かった。波高0cm、流速1.5kntでは、図-14(a),(b)のとおりピッチングもローリングも低い値に抑えられている。図-14(c),(d)の波高25cm、流速1.5kntではピッチングへの影響がローリングへの影響よりも多く出ているが、値は低く抑えられており、転覆等の可能性はない。

図-14(e),(f)の波高40cm、流速2.0kntでは、ピッチングが

傾斜計の計測測定限界を越えたデータもあるが、すぐに復帰しており、これも転覆等の心配はない。ローリングは低い値に抑えられており、たいへんに安定している。

次に、自動展張ブイがオイルブームを安定して展張できるかどうかについて、画像センサによる位置データを図-15、16に示す。流速が0.75m/sのときが最も安定して位置を保っている。しかしながら流速0.25m/sおよび0.5m/sのときは明らかに周期的に台船（船体）側へ戻ってくるような動きをしており、これを抑制する必要がある。波の影響を受けている波高0.25mのほう安定している。また、流速1.0m/sでは不安定な動きが現れるが、台船（船体）側から離れた位置を維持し続けており、流速から十分な曳航力を引き出せていることがわかる。

実験の観察からは、自動展張ブイの先端部が台船（船体）側に向く現象がときおり観察されており、この影響で台船（船体）側に向かって自動展張ブイが移動を始める。波があると先端部が再び外側に向きなおすため、台船（船体）側へ向かう動きが解消される。自動展張ブイの先端の向きが台船（船体）側へ向く動きを抑制するためには、曳航ワイヤの取り付け位置の変更などの改良が必要である。また、図-15、16からも明らかな通り、流速が低い場合の展張力をもう少し強く設定する必要がある。

そのほかに、水槽に自動展張ブイを設置あるいは撤去する際の玉がけと玉はずしに実験作業員が苦勞をしたことから、これを簡単にできる方法（治具等）を検討することが望ましい。

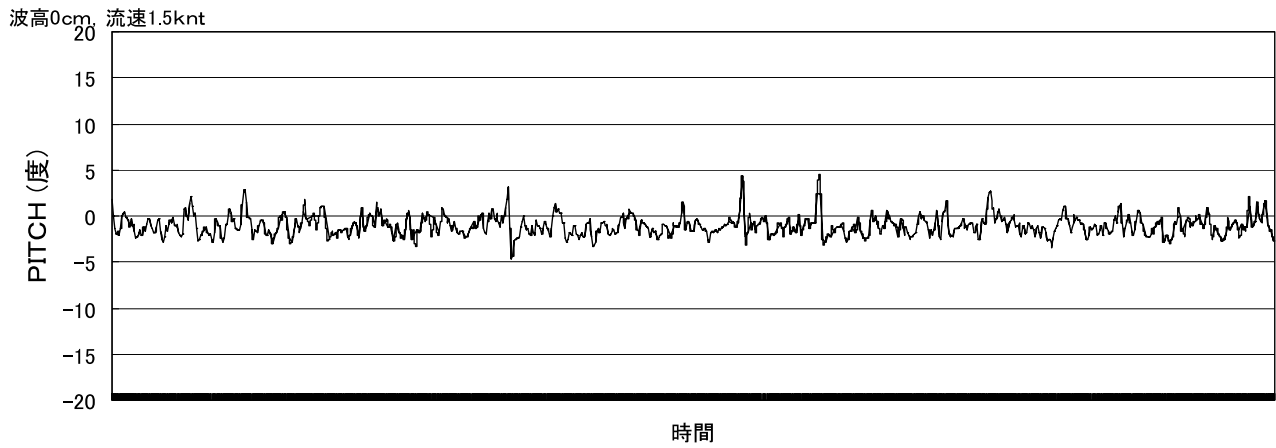


図-14(a) 自動展張ブイのピッチング挙動 (波高0cm, 流速1.5knt)

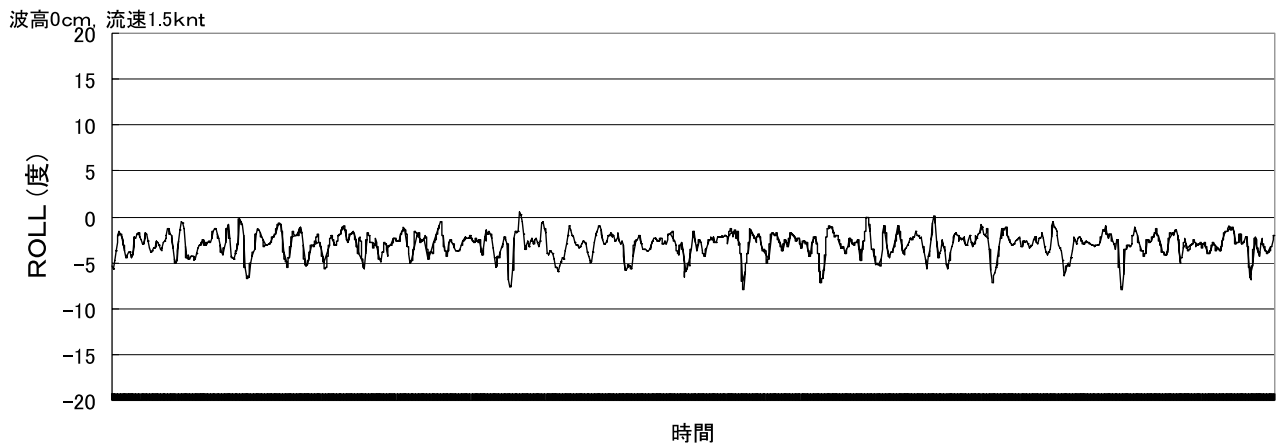


図-14(b) 自動展張ブイのローリング挙動 (波高0cm, 流速1.5knt)

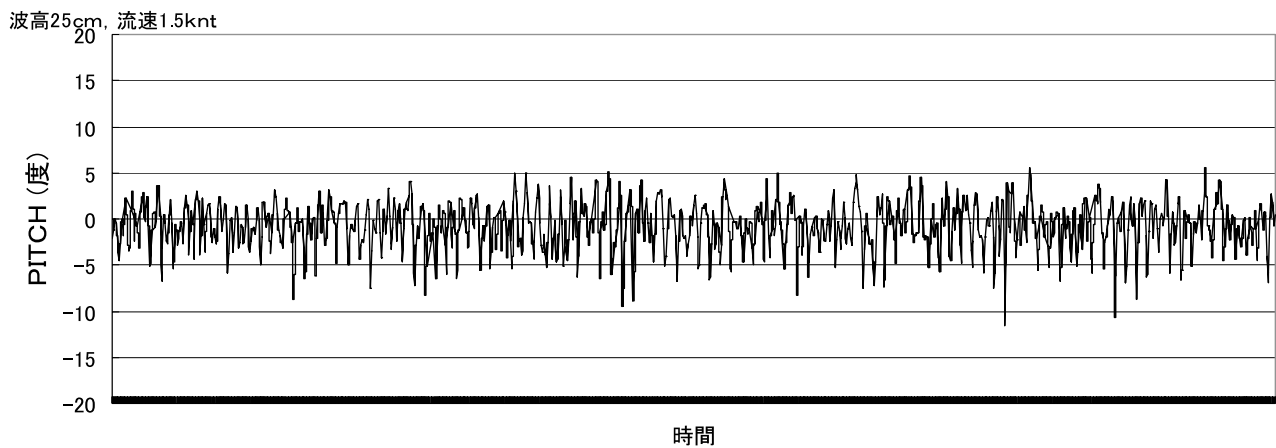


図-14(c) 自動展張ブイのピッチング挙動 (波高25cm, 流速1.5knt)

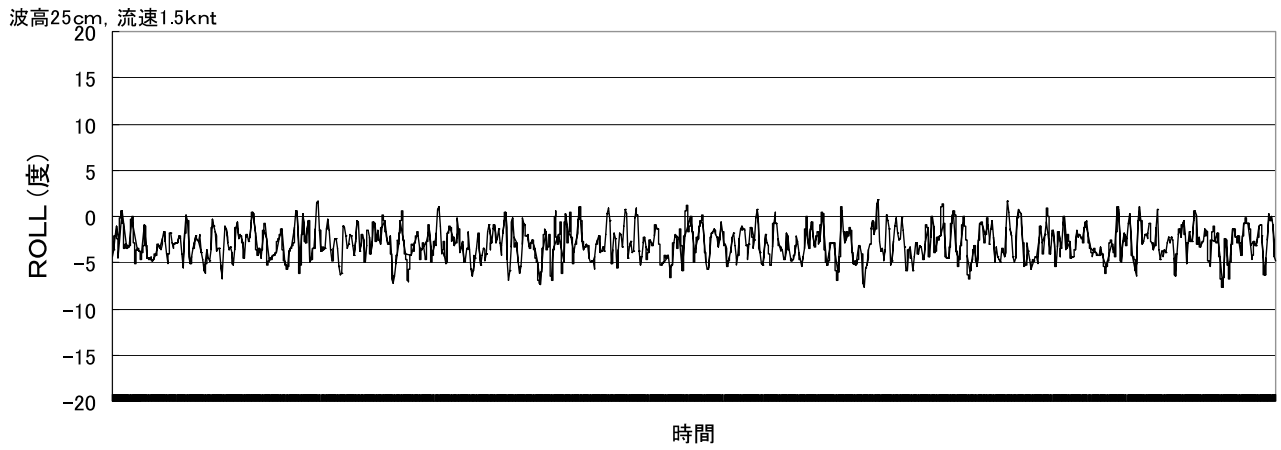


図-14(d) 自動展張ブイのローリング挙動 (波高25cm, 流速1.5knt)

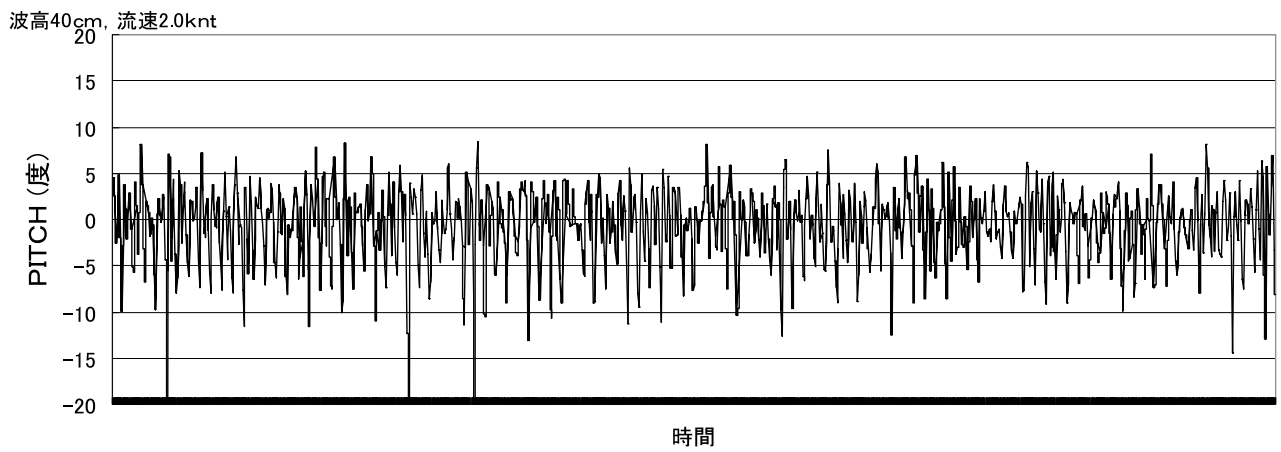


図-14(e) 自動展張ブイのピッチング挙動 (波高40cm, 流速2.0knt)

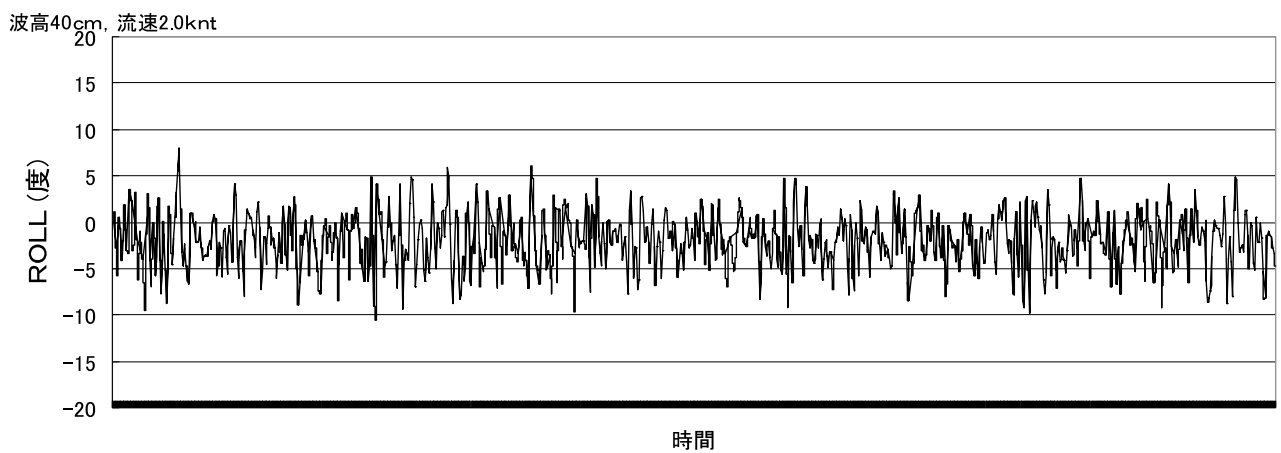


図-14(f) 自動展張ブイのローリング挙動 (波高40cm, 流速2.0knt)

図-14 自動展張ブイの安定性

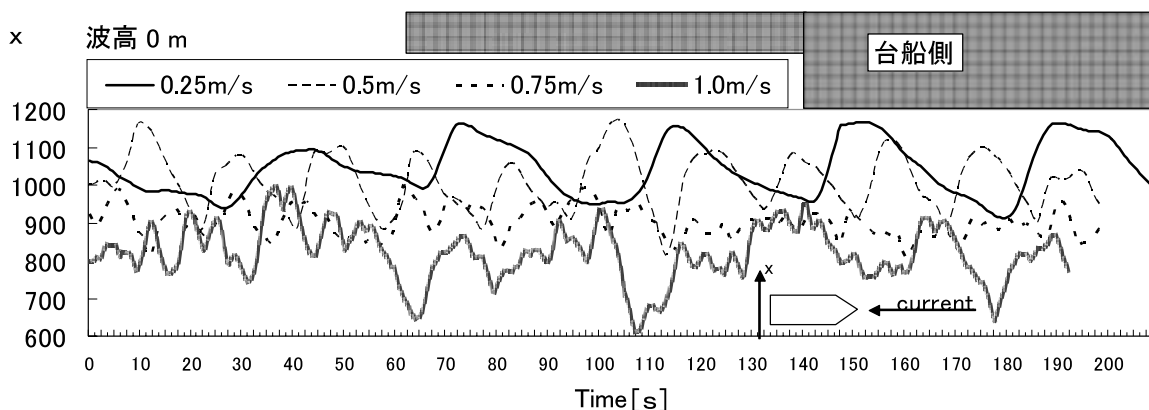


図-15 自動展張ブイの台船側からの位置（波高0m）

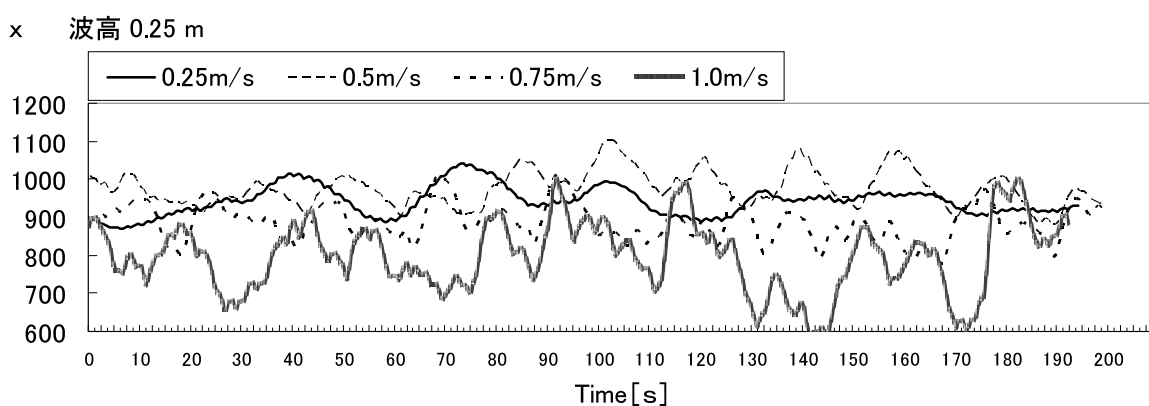


図-16 自動展張ブイの台船からの位置（波高25cm）

4.6 自動展張式オイルブームとプロトタイプモデルの製作（2006年度）

(1) 課題

2005年度に提案した自動展張式オイルブームの課題は、以下のようであった。

- ・船体側へ戻ってくるような動きを抑制する工夫が必要である。
- ・流速が低い場合の展張力をもう少し強く設定する必要がある。
- ・プロトタイプモデルとして、クレーンにより水面に設置あるいは撤去する際の玉がけに関して便利な手法を検討する必要がある。
- ・プロトタイプモデルとして、台船への衝突時のショックを吸収する部材を追加すべきである。

(2) 改良

2006年度版では、プロトタイプモデルとして海上での使用を想定した仕様としている。ただし、予算上、模型製作コストを縮減する必要があり、2005年度版の仕様であるA型オイルブームより大きなB型オイルブームを曳航できる大きさとどめた。

また、曳航するオイルブームの取り付け点をブイの中心軸から偏らせることで、船側に寄ってくるような不安定な動きを防止することとした。

自動展張ブイの本体の形状については、2004年度版の問題点をほぼ解消できた2005年度版の双胴船形を踏襲し、本体の大きさと翼の面積の算定を行った。特に翼の面積が重要であり、以下にその算定方法を示す。

2005年度版ではA型オイルブームなので、スカート深さ0.3m、水槽実験様なのでオイルブーム長さを10mとした。実海域では20m程度は必要であると考えられ、2006年度版ではB型オイルブームを使用し、スカート深さ0.4m、オイルブーム長さ20mとしている。これらを元に翼寸法を算出している。

オイルブームに発生する力 F_0 をある定数 K を用いて表すこととすると、オイルブームが発生する力 F はオイルブーム長さとスカート深さに比例するので、

$$2005年度版本体にかかる力：F_{0_5} = 0.3 \times 10 \times K = 3K$$

$$\text{このときの翼面積} A_{0_5}：0.3 \times 1.5 = 0.45 \text{ (m}^2\text{)}$$

2006年度版は

$$2006年度版本体にかかる力：F_{0_6} = 0.4 \times 20K = 8K$$

ここで、翼面積は $8K/3K=8/3$ 倍以上あればよい。

したがって、

2006年度版模型の翼面積 A_{06} としては、 $0.45 \times 8/3 = 1.2 \text{ m}^2$ を確保すればよい。そこで、2006年度版では翼高さ0.6m、長さ2.2mとした。

$$A_{06} = 0.6 \times 2.2 = 1.32 \text{ (m}^2\text{)} > 1.2 \text{ (m}^2\text{)}$$

また、実機の場合の翼面積を同様に算定すると、実機ではC型オイルブームを曳航するので、スカート深さは0.7m、オイルブーム長さを20mとすると、

$$\text{実機にかかる力} : F_r = 0.7 \times 20K = 14K$$

よって、翼の面積は、

$$A_r = 0.45 \times (14/3) = 2.1 \text{ (m}^2\text{)}$$

から、 2.1 m^2 以上必要となる。

その他の部分の大きさについてはこの翼の寸法から設定した。また、想定する実機はさらに大型になるため、トラックの荷台寸法を鑑みて、設定するものである。表-13にこれらの外形寸法を示す。

その他、海上投入と撤収に玉掛けが便利な吊金具を採用し、取り付けた。また、台船への衝突時の衝撃吸収のため浮きを側面に取り付けた。写真-18, 19にその全体を示す。

表-13 自動展張式オイルブーム本体寸法

およその外形寸法(m)	浮体幅	浮体高さ	浮体長さ	翼高さ	翼長さ	曳航するフェンス
2004年度版模型	0.70	0.30	1.50	0.40	1.00	A型、長さ10m
2005年度版模型	1.20	0.30	1.50	0.30	1.50	A型、長さ10m
2006年度プロトタイプモデル	1.90	0.45	2.20	0.60	2.20	B型、長さ20m
想定する実機	1.90	0.60	2.80	0.80	2.80	C型、長さ20m

※A型オイルブームのスカート深さ0.3m、B型0.4m、C型0.7mと想定している。



写真-18 自動展張ブイプロトタイプ（全体像およびジェット水ノズル取付け）



写真-19 自動展張ブイプロトタイプ（後面および大型の翼板）

4.7 改良した自動展張式オイルブームの水槽実験(2006年度)

(1) 実験方法及び実験ケース

2006年度の自動展張ブイの水槽実験は、2005年度の実験で問題になった、ブイが台船(船体)側に向かって戻ってくる周期的な運動を抑止することを目的としたオイルブーム取付け点の変更による効果を確認することである。したがって、計測は画像センサによる位置の測定のみである。また、実験ケースは表-14のとおりである。なお、水槽の大きさの制約から、2005年度版を小改良して実験を行った。

表-14 自動展張式オイルブーム実験ケース

流速 (knt)	流速			
	0.5	1.0	1.5	2.0
0	○	○	○	○
15	○	/		
25	○			
35	○			

写真-20～23に実験の状況を示す。オイルブームの取り付け位置は写真-20のように船側から見て沖側の浮体に変更した。2005年度の実験と同様に画像センサは水槽真上に取り付け(写真-21)、写真-22のようにパターンマッチングによりブイの重心位置を認識して位置座標を計測する。写真-23は実験中の自動展張ブイの状況である。

(2) データ解析結果と考察

図-17～19に画像センサによる挙動の計測結果を示す。図の縦軸の値は2005年度と2006年度とでは画像センサの取り付け位置によって原点がずれるために、相対値である。ただし、絶対量は同等である。

ブイの中心線上にオイルブームを取り付けていた2005年度版のデータでは、流速が0.5kntと1.0kntにおいて大きな位置の移動が周期的に見られ、安定的なオイルブームの曳航に問題があった。2006年度版では、図-17に示すように、周期的な位置の移動が抑制されていることが明らかである。実験中の挙動観察においても同様に安定性が増したことが確認されている。

図-18は流速が低い0.25m/sで波高と安定性の状況を見たものである。2005年度版のデータでは、波高が0mの場合、周期的に船側に近づいてくる挙動が大きい。波が大きくなると挙動が変化し、最も波高が大きい(H=40cm)時が最も安定していた。これに対して、図-19に示すオイルブームの取り付け位置を変更した2006年度版のデータでは、どの波高においても挙動が安定している。

これらから、オイルブームの取り付け位置の変更により、2005年度に問題となった自動展張ブイの不安定な挙動が解

消されたといえる。



写真-20 オイルブーム取付け位置の変更



写真-21 画像センサ取り付け位置から見た水槽実験状況



写真-22 画像センサがブイを認識したことを示すモニタ



写真-23 実験状況

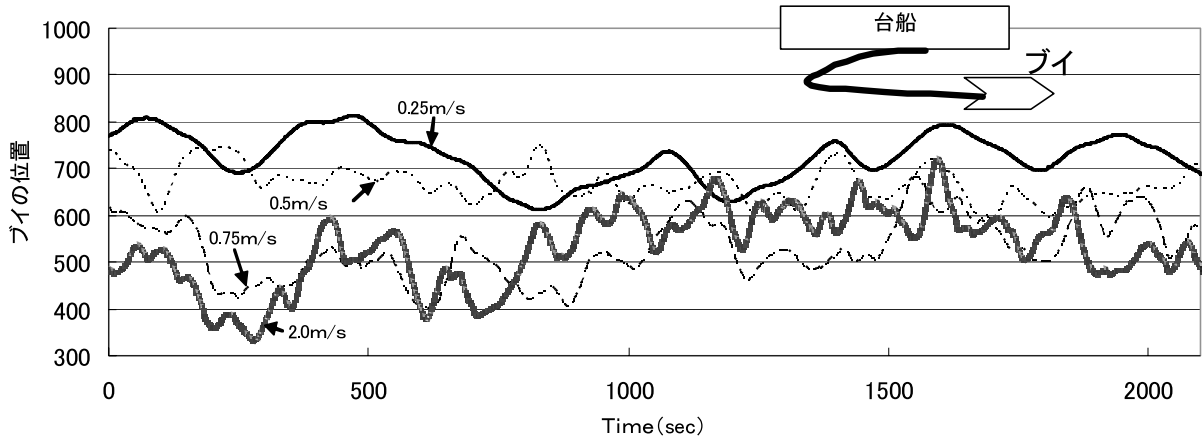


図-17 オイルブーム取り付け位置を変更した2006年度版の自動展張ブイの安定性 (波高0m)

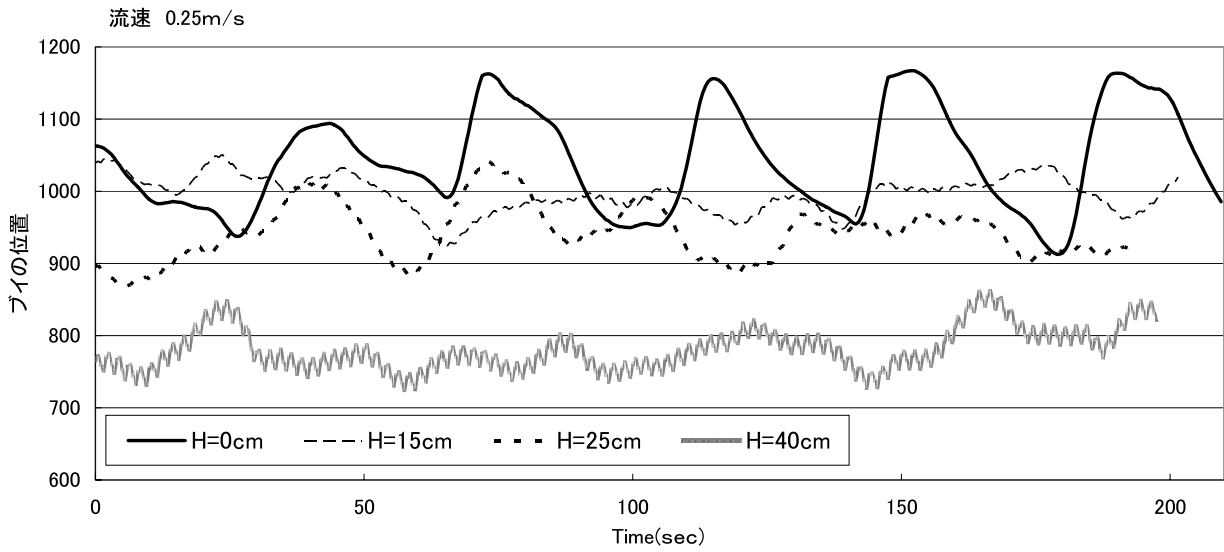


図-18 自動展張ブイ (2005 年度版) の波高と安定性の関係 (流速 0.25m/s)

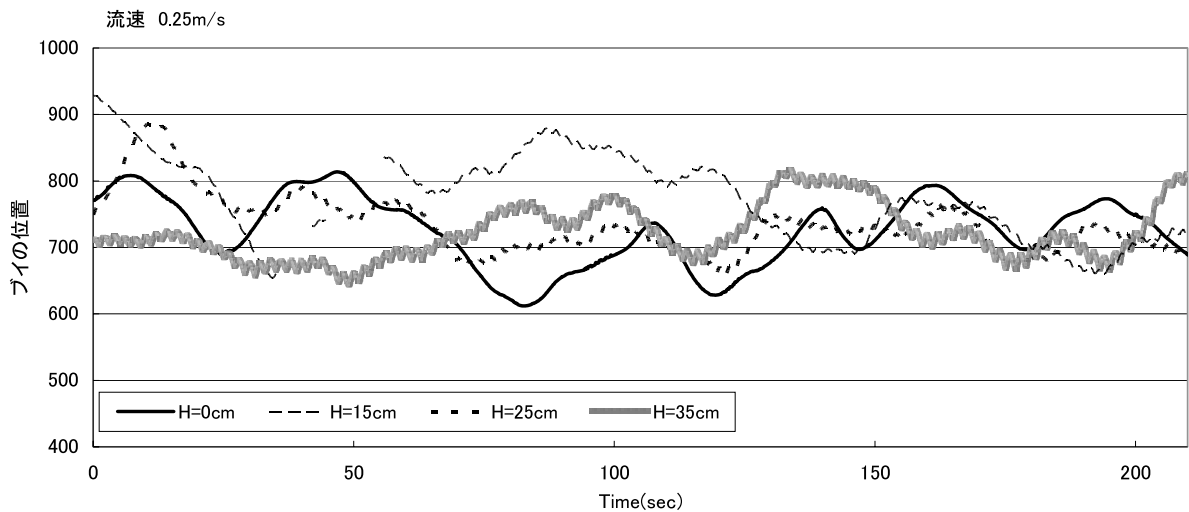


図-19 オイルブーム取付け位置変更後(2006年度版)の自動展張ブイの波高と安定性の関係(流速0.25m/)

5. 海上での運用試験(2006年度)

5.1 現地の選定と準備

本研究の油回収システムは、全国のクレーン付台船等を緊急時に油回収船として活用するパッケージとなるものである。システム一式を拠点に配備しておき、ある時間以内にクレーン付台船が待ち受ける岸壁までトラック輸送でき、かつ、海洋工事会社の作業員が簡単な説明書でそのオペレーションを理解し、実施できるものをコンセプトとしている。このため、搬送と機器類の組立・撤去、及びそのオペレーションを含んだ運用試験を行うにあたって、現地の選定についてはシステムを配備している拠点と事故が起きてこれを使用することになったクレーン付台船の接岸している港の2箇所を設定する必要がある。

本研究においては、トラックによる陸送から実験を開始することとした。実海域試験なので、使用する油回収システムは水槽試験を行う前の油が付着していない状態で行ったことから、かき寄せバケット式スキマーの縮小プロトタイプを製作した企業の工場を配備拠点に見立て、被災地をその近傍の港湾に設定した。日程も製作した縮小プロトタイプの発送日にあわせ、運送費を節約した。この結果、配備拠点は、岡山

県玉野市、現地実験(被災地)として、ナホトカ号重油流出事故の被災地近傍の鳥取県境港を選定した(図-20)。

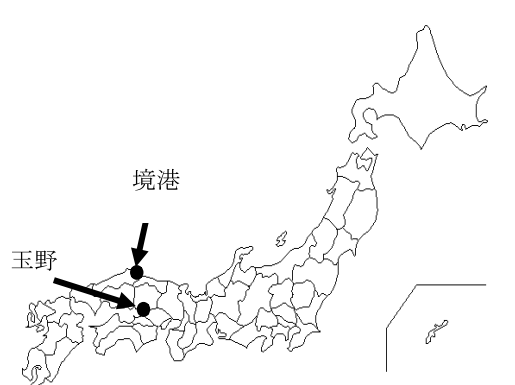


図-20 現地試験の位置図

5.2 試験方法

試験は、境港においてクレーン付台船が待ち受けており、接岸岸壁まで前日に発送した油回収システム(4トン車2台)が到着したところから各作業にかかる時間の計測を始め、海上作業を終えて帰港した時点で終了する。ただし、実際の油回収作業では、資機材が油により汚れているため、洗浄作業に多くの時間がかか

ると考えられることに注意しなければならない。

作業を開始する前に、作業を請け負った工事会社の作業担当者全員(7名)に対して簡単な説明を行い、その他組立等の説明はプロトタイプ製作メーカーの組立説明書をみながら適宜行ってもらうようにして、初めての作業でも機材の運用ができることを実証した。また、実験終了後に作業場の問題点について聴取した。

5.3 試験の実施

(1) 資機材の積み込み及び運送

玉野にて前日の夕刻に油回収資機材の一式をトラックに積み込み、境港へ向けて発送した。資機材の量は目標どおり4トン車2台分を下回り、実験では11トン車1台に全ての資機材を積み込むことができた。このため、受け入れ先のアクセス路が狭隘な場合は、4トン車2台に分けることで運送できる(写真-24)。積み込んだ資機材のリストは表-15のとおりである。



写真-24 11トン車の荷台に積み込んだ
油回収システム

なお、今回の実験においては、リストにある発電機は積み込んでいない。これは事前にクレーン船(ガットバージ船;第26高神,写真-25)が有している発電機の容量が十分であることがわかったためである。また、貯油タンクは本来は大容量の組立式タンクなどが好ましいが、高価で準備できなかった。このため、折りたたみずかさばるが、樹脂製の容量約1,200ℓ(ドラム缶6本分)のタンクとしている。

(2) 資機材のクレーン付台船への積み込み

資機材のクレーン付台船(運用試験においては、諸事情により、ガットバージ船側に台船を固定した)への積み込みは、クレーン等のないトラックを使用した。予定通り船のクレーンで行うことができ、当初の狙い通り、荷物の積み下ろし用のクレーンを別に準備す

る必要がなかった。境港の岸壁に到着したトラックからの積み込み状況を写真-26に示す。



写真-25 第26高神



写真-26 トラックから台船上への積み込み作業

(3) 資機材の組立と設置

資機材の組立は、離岸前に行った。これは当方が指示したものではなく、安全上の問題と岸壁の広いスペースが必要な状況を想定したためである。航行しながらの組立を現地の作業員が行わない可能性があることを示しており、装置類の組立時間は極力少ないようにしないと出港が遅れることがわかった。

組立については、模型製作メーカーが作成した説明書を見て行った。組立工具はメーカーが同梱したもののほかは作業を請け負った工事会社所有のものを用いた。油回収機は結線、ホース類の連結のみの作業で、作業量が少なかったが、自動展張式オイルブームは水ジェットホースをオイルブームに取り付ける作業量が多かった。組立の状況を写真-27~30に示す。

組立作業が終了後、離岸し、海上試験を行う現場海域へ向けタグにより曳航して移動した。現場海域に到着後、自動展張ブイを繋ぐウインチを台船甲板上の適当な位置に固定した(写真-31~33)。



写真-27 自動展張ブイをうま上に設置



写真-31 試験海上へむけ出航



写真-28 翼（固定舵）の取り付け



写真-32 試験現場海上へ到着



写真-29 ジェット水用ホースの
オイルブームへの取り付け



写真-33 ウインチ（自動展張ブイを繋ぐ）の
甲板上固定作業



写真-30 油回収機制御盤の結線作業等

(4)油回収システムのオペレーション

自動展張式オイルブームの投入（写真-34, 35）に当たって、当初は玉はずしと撤収の際の玉がけの作業に難航すると考え、専用の玉はずし及び玉がけの治具を用意して資機材に同梱しておいたが、実際の現場では作業員が治具に気づかず、船に備え付けの道具等で行ってしまった。現場では取扱説明書を全て読んでから作業するわけではなく、わからなくなった時点で拾い読みする傾向が見受けられ、同梱の治具についても、これを使用せずに問題なく設置できたためと考えられる。

自動展張ブイは翼（固定舵）の設置向きを正しく行わなければならないが、特に問題なく取り付けられた。ジェット水の噴射についても問題なく行うことができた（写真-36）。

当日の天候は曇りで、波がほとんどない状況で、流速測定（表-16、図-21、写真-37）の結果からも潮の流れが全く見られないような穏やかな状況であった。流速は水槽実験での最小の流速25cm/sを下回っており、自動展張式オイルブームの自動展張はうまく行かなかった。流れがある場合の展張状況を確認するために途中からタグのスラストによる水流をかけた。タグのスラスト付近で約108cm/sの流速をかけた1回目で十分な展張が行えた。

かき寄せバケット式スキマーのオペレーションについては、実海域では油は用いることができないので単純に海水を掬う作業にとどめた。しかしながら、機器の動作にかかる操作については数回の試行で理解でき

たとえられる。作業状況を写真-38～39に示す。

(5) 撤収作業

撤収作業は実際には油を回収していないので、汚れがなく、非常に簡単にできた。自動展張式オイルブームは解体においても長くかさばるオイルブームの折りたたみやジェット水のホースの取り外しに若干手間がかかった。油回収機は結線やホース類の取り外しとまとめ作業だけであり、たいへん簡単であった。撤収時に手配したトラックは4トン車2台で、問題なく全部の資機材が積み込めた。写真-40～42は撤収時の状況を示す。

表-15 油回収システム資機材一覧表

(a) かき寄せバケット式スキマー

名称	形状等	数量	説明
本体	250 k g	1	エア駆動
制御盤		1	電動, 100V, 100W
コンプレッサー	容量 5m ³ /h, 875 k g	1	エンジン式
エアホース 1	コンプレッサー→制御盤	1	
エアホース 2	制御盤→本体	6	
エアホース 3	コンプレッサー→ダイヤフラムポンプ	1	
電線	発電機→制御盤	1	
信号線	制御盤→本体	4	
本体吊ワイヤ		4	
排水ポンプ	ダイヤフラムポンプ	1	エア駆動
本体ホースジョイント	スイベル, ワンタッチカップラ	1	
排出ホース出口バルブ		1	
吸引ホース	30m	1	
排出ホース	5m	1	
エアホース	ポンプ用	1	
エアコネクター	ポンプ用	1	
ポンプフランジ		1 式	

(b) 自動展張式オイルブーム

名称	形状等	数量	説明
ブイ	340 k g	1	
うま		4	ブイをおろすときの台
オイルブーム	B型 20m	1	
ウインチ		1	ブイ先端ロープを繋ぐ. 台船上に溶接
ロープ	クレモナロープ φ10×30m	1	耐荷重 1 トン. ウインチに使用
水中高圧ポンプ		1	3 相 200V, 2.2 k w
ロープ	クレモナロープ φ6×10m	1	ポンプ吊り下げ用
ポンプフランジ		1	
水ジェットノズル		5	
ノズル取付け金具		5	
分岐管		1	ポンプからの水を 5 本に分岐
水ホース 1	水中高圧ポンプ→分岐管	1	10m
水ホース 2	分岐管→水ジェットノズル	5	30m. オイルブームに取り付け.
ホースバンド	大 2, 小 10	1 式	
制御盤	インバータ	1	3 相 200V
電線 1	インバータ→水中ポンプ	1	
電線 2	発電機→インバータ	1	
発電機	3 相 200 V	1	作業船装備品

(c) その他

名称	形状等	数量	説明
貯油タンク	樹脂製. Φ150cm×h 90 c m	1	回収水用
ブルーシート	3.6×3.6m	5	養生用
クレモナロープ	φ6 m m×20m	1	
クレモナロープ	φ12mm×10m	1	

表-16 実験現場海域の流速測定結果

測定位置	オイルフェンス展張付近 #1	スラスト付近 #2		
		計測回	強制流 (1回目)	強制流 (2回目)
流速V _x (cm/s)	8	40	120	10
流速V _y (cm/s)	20	100	100	10
流速V _{xy} (cm/s)	22	108	156	14

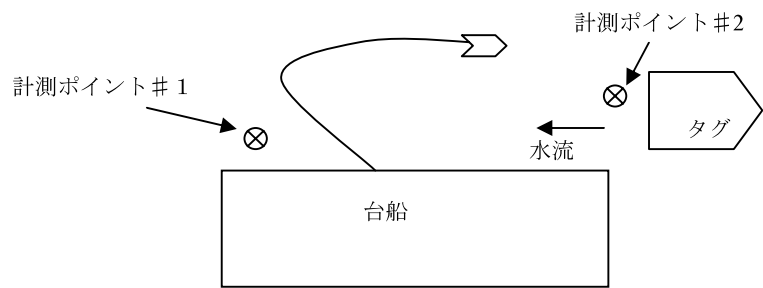


図-21 流速の計測ポイント



写真-34 自動展張式オイルブームの設置



写真-37 流速の測定（タグのスラスト付近）



写真-35 自動展張式オイルブームの展張



写真-38 かき寄せバケット式スキマーのオペレーション



写真-36 ジェット水の噴射



写真-39 海水をかきとって貯油タンクへ排出。
手前が制御盤とオペレータ



写真-40 自動展張式オイルブームの撤収



写真-41 帰港, 接岸



写真-42 トラックへの積み込み

5.4 データ解析結果と考察

(1) 作業単位と作業時間

表-17に作業単位ごとに計測した作業時間を示す。

トラックから台船上への荷卸は、船のクレーンを用いて行ったが、作業時間は30分を切り、全く問題がない。自動展張式オイルブームの組立は1時間18分を要しており、翼(固定舵)取り付けの順番を理解する時間、部品や部材の同定に要する時間、オイルブームにジェット水用ホースを固定する時間など、多少手間取る様子が観察された。油回収機の組立は構造的な組立が全くなく、電気配線とホース類の結束のみで、わずか24分で終わった。資機材の設置は台船を岸壁に接岸したまま行い、トータルで約2時間を要した。

表-17 作業単位ごとの作業時間計測値

資機材の設置						
作業内容	開始	終了	作業時間			
岸壁にてトラックから台船上へ荷おろし	9:20	9:48	0:28			
自動展張式オイルブーム組み立て	9:50	11:08	1:18			
油回収機組み立て	11:08	11:32	0:24			
現地海上(出発～投錨)	13:00	13:28				
オペレーション						
	1日目			2日目		
	開始	終了	作業時間	開始	終了	作業時間
ウインチの取り付け	13:36	13:45	0:09	-	-	
自動展張式オイルブームの設置	13:50	14:00	0:10	9:36	9:45	0:09
油回収機の試運転	11:35	11:50	0:15	-	-	
油回収機運用1回目	14:45	14:48	0:03	9:44	9:51	0:07
油回収機運用2回目	14:48	14:51	0:03	9:51	9:57	0:06
油回収機運用3回目	14:51	14:54	0:03	9:57	10:03	0:06
自動展張式オイルブーム水揚げ	14:55	15:03	0:08	10:26	10:30	0:04
資機材の撤去						
	開始	終了	作業時間			
自動展張式オイルブーム分解	11:10	12:10	1:00			
油回収機分解	11:10	12:10	1:00			
トラックへの積み込み	13:00	-				

次にオペレーションについては、まず、自動展張ブイを台船と繋ぐためのウインチを固定する作業から始まったが、台船上にウインチの台座を簡単に溶接することで、わずか10分足らずで終了した。工船用台船を用いる利点の一つであると考えられる。

自動展張式オイルブーム全体を海上に浮遊させる作業についても10分程度で終了している。油回収機の試運転については、その動作と制御盤のスイッチの関係等を飲み込むために15分ほどかかっている。油回収機のオペレーションについては実際に油を回収するわけではないことから実感はなく、簡単に海水を掬っただけで終わっている。このため作業時間はたいへん短いこととなった。オペレーション上、油回収機の高さ調整はクレーン船のジブの上げ下げで行っていたが、実際の油回収作業としては大まか過ぎるくらいがあった。実際に油回収作業を行なうと、かき寄せバケット式スキマーは回収状況が見え易い方式であるため、ワイヤの巻き上げ巻き下げで行ったほうがよいことにオペレーターが気づく可能性はある。1日目と2日目について得に大きな違いはなかった。2日目で油回収機のオペレーション時間が多少長くなっているのは、海面上の油回収機の位置を3箇所移動させることを指示したためである。

資機材の撤去に関しては、自動展張式オイルブーム及び油回収機の仕舞いを同時並行で行っているため、各々の時

間計測が困難だったが、結果的には1時間で終了している。もし、実際に油を回収していたら、この時間に資機材の洗浄や回収油水の排送のための時間が加えられると理解しなければならない。

(2) 現場作業担当者の意見

全行程の終了後、作業担当者から意見を聴取した。その結果以下のような意見が抽出された。

a) 自動展張式オイルブームについて

- ・翼(固定舵)の取り付け方法がブイ浮体の下からなので、たいへん取り付けにくい。
- ・オイルブームにホースを結びつける作業は面倒なので、インシュロックを使うなど工夫して欲しい。
- ・翼(固定舵)の角度調整を行うために緩めるねじなどは浮体上面側でできるようにして欲しい。
- ・玉がけや玉はずしについては、たいていの作業船に備えてあるレッコ環を使えば十分できるので、特殊な吊治具は不要。特に今回のシャックルがねじれやすい構造は要改善である。

b) その他

- ・説明書は濡れても大丈夫な材質にして欲しい。(当日は途中から雨が降った)

これらの意見はおおむね的を射ていることが作業状況の観察からも明らかであった。なお、水ジェットのホースについては、高压ポンプを自動展張ブイ浮体に内蔵することが改造によって可能であるので、より細い電気配線のみで改善できることから、より簡単な取り付け方法を考案できるものと考えている。

(3) 運用の評価

今回の海上実験において、運用上の評価ができなかった項目としては波の影響がある。当日は非常に穏やかな天候で、波がほとんどなかった。このため、定常的な波の中の作業性についてはほとんど評価できない。ただし、航跡波がたびたびあり、この際には自動展張ブイは横波を受ける形となり、船側に押し寄せられる挙動が出た。したがって、波向きが船に向かう方向で、潮流と異なっているような場合には注意が必要である。

現地にトラックが着いて船上での組立が終わるまで2時間弱、その後出航して現地海上へ到着すれば、ほとんど時間をおかずに作業に入れることはたいへん評価できると考える。現地海上での作業は、今回の実験では台船を投錨して完全に固定した上で行ったが、この投錨作業は10分弱で行われており、問題ない。このため、トラックの到着から海上での作業までの時間は2時間強に海上までの移動時間を加えればよい。

海上でのオペレーションについては、特に問題はないと

考えるが、自動展張式オイルブームについては潮流がないような場合に使用できない状況である。ただし、オイルブーム自体が全く広がらないほどの潮流だったので、実際の事故現場では漂流油に向かって船が微速で近づいて補足するような運用が必要である。

油回収機に関しては、実際に油を回収する作業上の理解・無理解については油を流さない実海域実験では把握不能であった。ただし、水槽実験においては最初の簡単な説明後は、作業員がよく理解して実験を行えている事実があるため、海上実験で油回収機各部の操作に関しては簡単に習得できていることから、問題ないと考える。

なお、本研究においては実機のサイズによる運用試験ができなかった。想定する実機は、十分に今回の陸送用トラックに収まる大きさである。4.5の表-6のように、かき寄せバケット式スキマーについて想定する実機本体の外形寸法は2.0×2.0×2.4mであり、4トン積みトラック荷台の半分弱を占める大きさである。また、自動展張ブイについては、5.5の表-13のように想定する実機の外形寸法は1.9×0.6×2.8mとなっており、これも4トントラック荷台の半分強を占める大きさである。したがって、4トン車2台で実機サイズにしても問題なく陸送できるコンパクトさを維持できる。

実機の製作に当たっては、自動展張式ブイについては、ジェット水ポンプの内蔵化と組み立てやすい翼(固定舵)取り付け構造とする必要がある。かき寄せバケット式スキマーについては、縮小プロトタイプでは予算上製作した模型のサイズに対して効率がいよエア駆動とした。実機では重量が増えることと外形サイズの拡大を抑制するため、重量に適正な駆動力であり、相対的に駆動用シリンダ径をおさえて小型化ができる油圧を採用する必要がある。また、タンク容量の拡大に伴って、余水を排水するポンプ能力を4倍に増強する必要がある。

6. まとめ

本研究により開発した油回収システムの成果をまとめると以下のとおりである。

(1)かき寄せバケット式スキマー

かき寄せバケット式スキマーについては、水槽実験により、油膜厚さ2cm程度の条件で、実機サイズでは1時間に約5.9トンの油分が回収でき、(Oil Recovery Rate 5.9 t/h)このときの油水中の余水は30%に抑えられる(Oil Recovery Efficiency 70%)ことが推算できた。これは同様にグラブバケット模型実験からの推算値であるそれぞれ5.7 t/h (Oil Recovery Rate)および余水分66%(Oil Recovery Efficiency 34%)を上回る成績を示している。また、運用試験におい

でも組立やオペレーション上の問題は特になかった。

かき寄せバケット式スキマーの今後の実機による実用化にあたっての課題として、タンク容量の拡大に伴って、余水を排水するポンプ能力を増強する必要がある。また、かき寄せレーキのストロークや重量の増大に伴って、駆動系も実験用のエア駆動から油圧式に変更する必要がある。これにより外形サイズの拡大の抑制も図られる。

(2) 自動展張式オイルブーム

自動展張式オイルブームについては、流速0.5knt（約25 cm/s）以上において、その目的である集油ブームとして必要な間口を確保し、安定的にオイルブームを展開しつづけることが水槽試験で確認できた。しかしながら、海上での運用試験においては、航跡波による横波の影響を受けやすかった事実から、横方向の波に対する対策の必要があることがわかった。また、若干の構造上の改良で現地組立が簡単になることがわかった。

自動展張式オイルブームの今後の実機による実用化にあたっての課題として、ジェット水ポンプの内蔵化によるジェット水ホースの取り回しの改善と、組み立てやすい翼（固定舵）取り付け構造とする必要がある。また、横波に対する安定性の向上が必要である。外形サイズについてはブイの効率を高め、小型化することが望ましい。

(3) 運用面

本研究においては実機サイズのプロトタイプによる運用試験ができなかった。しかしながら、実機では油回収システム全体の重量が増加することは必然であるが、クレーンの能力には十分な余裕がある。また、想定する実機の大きさは、縮小プロトタイプの設計からみて十分に4トントラックに収まる大きさでできる。このため、運用面の問題はおおむね生じないと考えられる。

7. あとがき

本研究において2004年度の研究開発当初から一貫したコンセプトは、全国に900隻余りあるクレーン台船を有効活用するために、4トントラック2台程度に積載して陸送できる油回収システムのパッケージを開発することである。本研究は最終的に縮小プロトタイプの製作とこれを用いた運用試験を行ったところでまとめた。

油回収システムを配備する拠点としては、海岸線上の適切な港湾等に置き、その港湾から陸上輸送の時間距離を設定することにより多数の港湾についてカバーする方法が考えられる。また、高速道路が整備されている場合は時間距離が非常に短いことから、港湾よりも高速道路のI.C.付近に配備するほうが良い場合もある。たとえば、横浜横須賀

道路の佐原I.C.付近に配備しておけば、東北・八戸青森・釜石の青森東I.C.まで約10時間30分で輸送することが可能であり、全国の配備拠点の箇所数を少なくできる。

逆に、配備計画は輸送時間よりもトラックの手配時間の方が長くかかることも予想され、常駐のトラックが確保できなければ、できるだけ全国の随所に配備する必要性が生じ、トラックを常駐あるいは極めて短い時間で確保できれば、高速道路網上の港湾については疎に、主要幹線道路上の港湾については比較的密に配備することとなる。いずれにせよ、配備計画等の体制のあり方については今後の研究課題である。

今後は油回収システムの実機の製作と実証試験等を行って、より完成度を高めていきたい。また、配備および貸し出しを行う体制や仕組みについて行政的な検討が必要である。また、転用の対象となる作業船の検索と依頼を行なうしくみについて研究開発すればさらに緊急時の対応に資するものと考えられる。

(2008年8月22日受付)

謝辞

本研究は、2004～2006年度の環境省地球環境保全等試験研究費（一括計上）により多くの費用を得て行ったものである。

実海域での運用試験に際しては、国土交通省中国地方整備局境港湾・空港整備事務所のご指導とご協力をいただいた。実海域試験の作業および油回収実海域再現水槽での実験作業では、東洋建設株式会社、株式会社三井造船昭島研究所等にお手伝いいただいた。

油回収作業に転用する工事用作業船の抽出作業に関しては、(社)日本作業船協会の協力を得た。模型製作は、三井造船鉄構工事株式会社および株式会社海洋開発技術研究所が行った。

その他、研究所の皆様にご指導とご協力をいただいたことを感謝いたします。

参考文献

- 1) 海上災害防止センター・海上防災事業者協会(1996)：「海上防災ハンドブック」, pp118-125
- 2) 吉江宗生・佐藤栄治・白井一洋(2003)：「沿岸域の高粘度油高濃度回収システムの研究開発」, 港湾空港技術研究所報告第42巻第1号, pp123-124, pp127-128

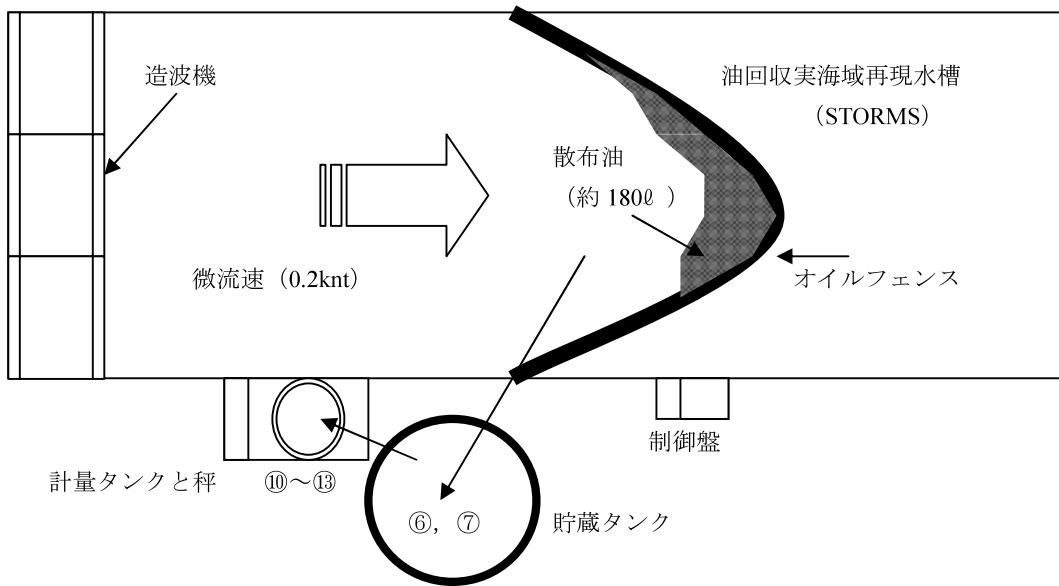


図 A.1 水槽試験概要図

- ① 供試油の散布
- ② 微流速（約0.2ノット）によりオイルブーム内に供試油が安定的に分布したことを確認
- ③ 合図により回収作業開始
- ④ かき寄せ動作2～3回終了後底水排水ポンプ始動
- ⑤ 排水に油分の混入が目視確認できた状況でかき寄せ中止
- ⑥ 貯蔵タンクへ油水の排出
- ⑦ 簡易清掃
- ⑧ ③へ
- ⑨ 約180リットル程度（ドラム缶1本程度）の油水が回収できたら回収作業中止
- ⑩ 貯蔵タンクから計量缶へ油水の移し替え
- ⑪ 計量缶重量測定
- ⑫ 計量缶底の余水の排出
- ⑬ 計量缶重量測定

港湾空港技術研究所資料 No. 1185

2008. 12

編集兼発行人 独立行政法人港湾空港技術研究所

発行所 独立行政法人港湾空港技術研究所
横須賀市長瀬3丁目1番1号
TEL. 046(844)5040 URL. <http://www.pari.go.jp/>

印刷所 株式会社 芳文社

Copyright© (2008) by PARI

All rights reserved. No part of this book must be reproduced by any means without the written permission of the President of PARI.

この資料は、港湾空港技術研究所理事長の承認を得て刊行したものである。したがって、本報告書の全部または一部の転載、複写は港湾空港技術研究所理事長の文書による承認を得ずしてこれを行ってはならない。