

大型油回収船「白山」の油回収システム について

OIL SKIMMER SYSTEM OF OIL RECOVERY VESSEL HAKUSAN

新保修¹・土市進²・野田登³・伊賀浩之⁴・羽田広希⁵

Osamu Sinbo, Susumu Doichi, Noboru Noda, Hiroyuki Iga and Hiroki Hada

1 正会員 国土交通省 北陸地方整備局 新潟港湾空港技術調査事務所 所長
(〒951-8011 新潟県新潟市入船町四丁目 3778 番地)

2 国土交通省 北陸地方整備局 新潟港湾・空港整備事務所 副所長

3 国土交通省 北陸地方整備局 新潟港湾空港技術調査事務所 施工技術課長

4 国土交通省 北陸地方整備局 新潟港湾空港技術調査事務所 施工技術課

5 国土交通省 北陸地方整備局 新潟港湾空港技術調査事務所 施工技術課

Hakusan is the oil recovery vessel for the open sea. This ship was planned to build because of the oil spill of oil tanker Nakhodka when it sank in January 1997.

We decided to load the oil recovery system “the cyclone type”. However the cyclone type was difficult to collect the oil in the winter high wave and to collect the very sticky oil.

Accordingly we developed the new type of the oil recovery system that was based on model-experiment.

And the oil recovery vessel “Hakusan” which was loaded the most suitable oil recovery system completed in August 2002.

Key Words : oil recovery system, Nakhodka, oil recovery vessel

1. はじめに

平成9年1月に発生し日本海沿岸に甚大な被害をもたらしたロシア船籍タンカー「ナホトカ号」の大量重油流出事故を契機に、発生事故現場における早急な油回収作業が可能な外洋型大型油回収船の建造要請が高まり、平成12年7月より大型浚渫兼油回収船「白山」の建造が開始され、平成14年8月に完成した(写真-1)。

この建造の基本計画段階において、主力の油回収器には、同型船舶である「清龍丸」・「海翔丸」にも採用され、実績のある「渦流式」の大型油回収装置を導入することが決定した。しかし、この方式は、ナホトカ号重油流出事故の際のような、冬季の高波浪時或いは高粘度油に対する油回収効率の向上が課題であった。

そこで、高波浪下における渦流式大型油回収装置の回収効率の向上及び高粘度油への対応を目的とした対策を検討するとともに、検討結果を確認するための模型実験を実施、解析し、それらを鑑み、より

効率の高い白山の油回収システムを検討し導入することとした。



写真-1 「白山」全景(油回収訓練時)

2. 渦流式油回収器の概要

渦流式油回収器は、舷側に降ろした回収器を水面付近に固定して、航行しながら回収するものである。

回収器前面の導入口から入り込んだ油水は、サイクロン室内において遠心分離され、上層部の油の濃度が高い部分が油回収タンクに吸い取られる（図-1）。回収器の構造は比較的単純であり、耐波性に優れているのが特徴である。

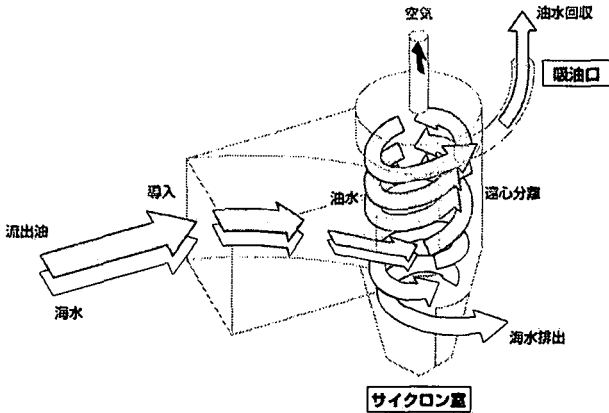


図-1 渦流式油回収器原理図

3. 模型実験の概要

「渦流式」油回収器の高波浪時、高粘度油に対する回収効率の向上を目的として、模型実験を踏まえ、改良方策の検討を行うこととした。

実物の渦流式回収器に対し1/7縮尺の模型を用い、油実験水槽において平水中及び波浪中の回収実験を行った（図-2）。

はじめに、最も有効な改善策を選定するため、回収対象として低粘度油を模擬したペレット（ポリエチレン樹脂製）を用い、各改善策を施した模型による回収実験を行った。次に、ペレット回収実験で選定した最適な改善策を施した模型により、高粘度油を模擬したムース化油回収実験を行い、回収性能を確認した。

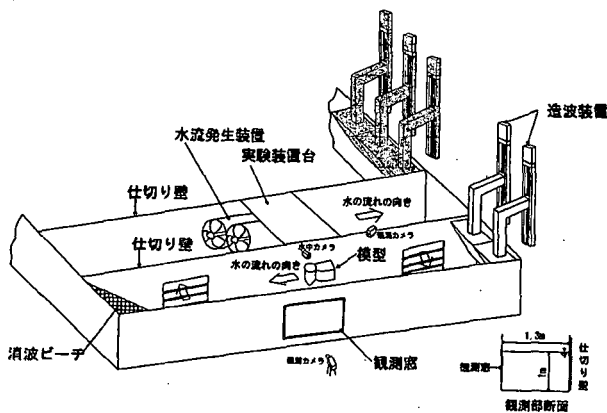


図-2 実験水槽全体図

(1) 回収器模型

素材はアクリル樹脂製で、各改善策を施せるものとした。なお、回収器模型の各部名称は図-3 のとおりである。

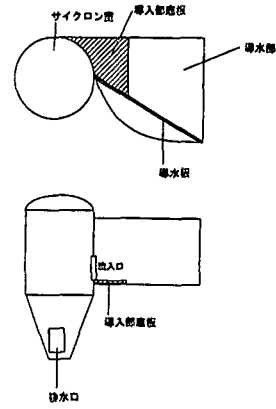


図-3 回収器模型 各部名称

(2) ペレット

低粘度油相当の回収対象として、ペレット（ポリエチレン樹脂製）を用いた。ペレットは直径 2.5mm の球状であり、比重はC重油と同程度の 0.96 である。

(3) ムース化油

高粘度油相当の回収対象としてムース化油を用いた。ムース化油は、C重油と真水との攪拌により作成した。粘度は約1万 cSt、実際の粘度約18万 cSt に相当する。比重は0.967であった。

(4) 流れ及び波の条件

渦流式油回収器は、航行しながら回収するものである。よってその航行速度 3.0 ノットに相当する 0.58m/秒の流速で水槽内に流れを作った。波の条件は、表-1 の3種類とした。

表-1 模型実験における波のケース

波番号	波長 (m)		波周期 (s)		波高 (m)	
	実機	模型	実機	模型	実機	模型
波1	24.5	3.5	3.96	1.50	2.0	0.29
波2	35.0	5.0	4.74	1.79	1.5	0.22
波3	70.0	10.0	6.70	2.53	0.8	0.11

(5) 回収器の改善策

回収効率向上の改善策として、模型実験における改良案は次の a)～g) とした。図-4 に概略図を示す。

a) オリジナル型

オリジナル型での試験は、喫水を実物換算で15cm だけ小さくして、流入口の深さを浅くした状態でのペレット試験も行った。

b) 排水口拡大型

排水口の開口の角度を50度から90度に拡大したもので、開口面積は約1.8倍に拡大されている。

c) 流入ジェット方式

ノズルの本数は3本あり、この合計流量は実物換算 300 m³/h である。ノズル配置は水面上と水面下の2ケースである。

表-2 ペレット回収実験結果

番号	ケース	実験内容		回収効率 (%)
		模型形式	波浪	
I	1-1	オリジナル	平水	49.4
	1-2	オリジナル	波 1	13.7
	1-3	オリジナル	波 2	9.7
	1-4	オリジナル	波 3	30.6
	1-5	オリジナル 流水口位置変更	平水	20.3
	1-6	オリジナル 流水口位置変更	波 1	7.5
II	2	排水口拡大	平水	54.5
III	3-1	流入ジェット ノズル配置 1	平水	34.7
	3-2	流入ジェット ノズル配置 2	平水	46.0
IV	4	排出ジェット・短 ノズル・ダクト無	平水	66.5
V	5	導入板形状変更	平水	70.2
VI	6-1	上下動固定	波 2	10.6
	6-2	上下動可動	波 2	27.0
VII	7-1	導水部底板	平水	75.6
	7-2	導水部底板	波 2	14.0

d) 排水ジェット方式

排水部に水が噴出するノズルを付け、その水の噴出による吸引力を利用して、回収器本体への油水の流入量増加を図るものである。ジェット流量は実物換算 300 ml/h である。ノズルから排水口までの距離を2種類変え、流入量の比較を行う。また、排水部に排水ダクトを設けその効果も確認する。

e) 導入部形状変更方式

前記 a) ~ d) の状態の中での最適状態で、導入板の形状を変更する。図-3 のように、導入板の形状を直線とした状態である。

f) 流入口を波面に追従させる方式

流入口を波面に追従させる方式の有効性を確認するため、模型全体にフロートを取り付け、上下動可能なように係留して、波の中で流入口を波面に追従させる。

g) 導入部底板方式

流入口の手前での渦による底面からの漏れ防止策として、導入部途中から流入口までの導水部底に板を取り付ける。板の長さは導水部の長手方向長さに対して 40% である。

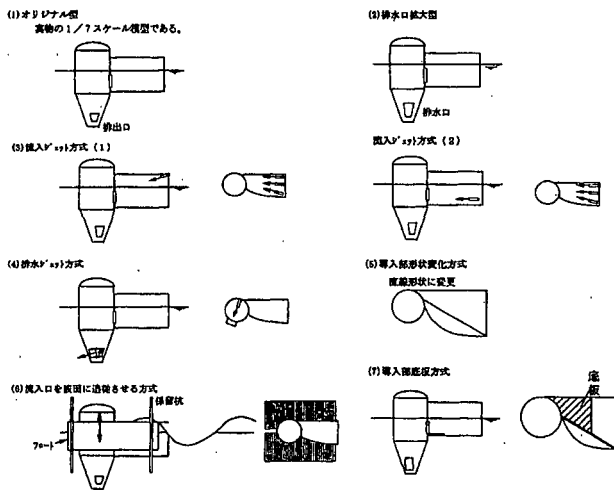


図-4 回収器の改善策概略図

4. ペレット（模擬油）実験結果

実験では、散布されたペレットやムース化油の散布量に対して回収器により回収された量の比率、回収効率をもとに改善策を評価することとした。

なお、回収効率は以下のとおり定義付けた。

$$\text{回収効率 (\%)} = \frac{\text{回収油量 (又は回収ペレット量)}}{\text{散布油量 (又は散布ペレット量)}}$$

ペレット回収実験で得られた回収効率を表-2 に示す。

(1) オリジナル型模型による回収実験

a) 流入口深さの決定(ケース 1-5, 1-6)

流入口が浅い状態での回収実験を行った結果回収効率は 20.3% であった。これはオリジナル型の回収効率 49.4% よりも劣るため、模型状態として不採用とし、オリジナルの深さを採用した。

b) 排水口大きさの決定(ケース 2)

排水口拡大による回収効率は 54.5% であった。この状態はオリジナル型の回収効率 49.4% よりも優れているため、排水口が拡大された状態を採用した。

(2) 水ジェット方式による回収実験

a) 流入ジェット方式(ケース 3-1, 3-2)

流入部にジェットを設け、2つのジェット配置で回収実験を行った結果、

水面上に流入ジェットを配置、回収効率 34.7%

水面下に流入ジェットを配置、回収効率 46.0% であった。これらの結果は、これまでの最適状態による回収効率 54.5% より劣る。このため、流入ジェット方式は不採用とした。

b) 排水ジェット方式(ケース 4)

排水ジェット方式の回収実験を行う前に、以下の予備実験を行った。

まず、排水ダクトを取り付け、短いノズルと長いノズルの2種類を行い、短いノズルの方が優れていることを確認した。つぎに、排水ダクトを取り外し、短いノズルで実験した結果、性能に差がなかったため、以降排水ダクト無、短いノズルで実験を行った。

回収実験の結果、回収効率は66.5%であった。これは、排水口拡大型の回収効率54.5%よりも優れており、排水ジェット方式を採用することとした。

(3) 導水板形状変化による回収実験

これまでの最良状態の模型の導水板形状を直線化した結果、回収効率は70.2%であった。これは、これまでの最良状態の回収効率66.5%より優れており、導水板を直線化することとした。

(4) 波面に追従させる方式の回収実験

流入口を波面に追従させる方式の有効性を確認するため、これまで最良の状態の模型全体にフロートを付け、波に追従した際と固定した状態で実験した結果、

上下動固定、波2 (1.5m) 回収効率10.6%

上下動可動、波2 (1.5m) 回収効率27.0%

であった。よって、高波浪中において流入口を波に追従させることにより回収効率向上が期待できる。

但し、実機では流入口のみ可動は本体の破損及び追従性など技術上の問題があり、現実的でないことから採用を見送ることとした。

(5) 導水部底板方式による回収実験

これまでの最適な模型状態に導水部底板を付加した場合の回収効率は、平水で75.6%、波2 (1.5m)で14.0%であった。これまでの最良状態での回収効率は平水で70.2%、波2で10.6%であったため、いずれも回収効率は向上している。よって導入部底板方式を採用することとした。

以上のペレット実験結果の最良状態で、ムース化油実験を行うこととした。なお、これまでの回収実験によって改善策を選定していったシーケンスを図-5に示す。

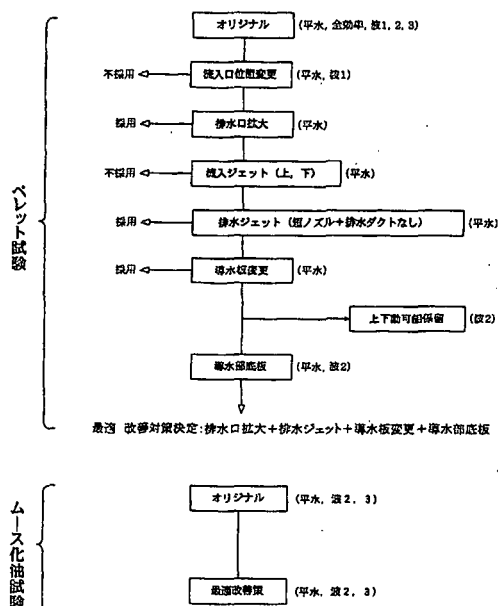


図-5 模型実験のシーケンス

5. ムース化油実験結果

ムース化油による回収実験の結果を表-3に示す。平水及び波3 (0.8m)においては改善策を施した結果、回収効率が格段に向上する結果となった。しかし、波2 (1.5m)では改善の効果がなく、回収効率はほぼ変わらないものとなった。

表-3 ムース化油回収実験結果

ケース	番号	実験内容		回収効率 (%)
		模型形式	波浪	
VIII	8-1	オリジナル	平水	68.5
	8-2	オリジナル	波3	7.3
	8-3	オリジナル	波2	3.5
IX	9-1	模型最良状態	平水	79.2
	9-2	模型最良状態	波3	24.3
	9-3	模型最良状態	波2	3.1

これは、高波浪中では波による流体運動により導入部下方より漏洩するためである(図-6)。波による水粒子の円運動と下向き流れが重なり、下向き流れが大きい波の山から谷へ向かう間で油は下方へ流れ去る。流出する位置は平水中と異なり、流入口より前方の広い範囲で発生する。

更に、本回収器は固定式であるため反射波が発生し、また導水部の漏斗形状のため入射波も増幅しているため、導水部での波動運動は大きなものとなっている。

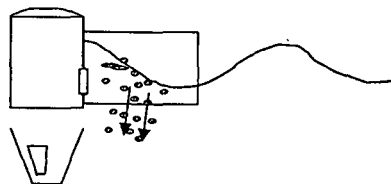


図-6 漏斗原理図

6. 堰式油回収装置実験

前述したとおり、平水及び波高1m程度まではこれまでの改善結果により回収効率が向上した。しかしながら、高波浪時には抜本的な改善策とならないことが判明した。これは、これまでの実験がいかに流入口に油をもってくるか、という改善を主にしてきたが、高波浪下では思いのほか導入部においての漏れが大きかったためである。

そこで、発想を変え、従来の渦流式にとらわれない新方式の検討を行った。ただし、この時点で既に建造設計段階であったため、新造船の建造工程を考慮し、大幅な回収方式の変更、回収器本体の寸法・重量を大幅に変更しないことを条件とした。

(1) 堰式油回収器模型実験結果

各方法及び模型実験により検討した結果、図-7の方式を採用することとした。

なお、実験は水槽上の台車に回収器模型を取り付け、台車の移動により回収器模型を曳航した。なお、実機の吸引ポンプ、ジェット水の代用として水中ファンを用いた。

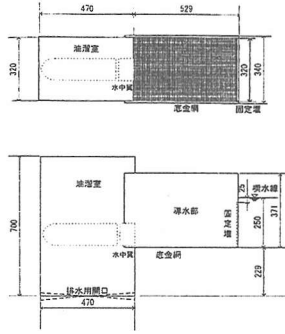


図-7 高波浪型模型

図-7のタイプ（固定堰底網型）のほか、前面の堰が可動するタイプ（フロート可動型）、堰が無いもの（導水部無対策型）の3種類の実験結果を表-4に示す。

表-4 堰式油回収器模型実験結果

模型のタイプ	ペレット回収効率 (%)		ムース化油回収効率 (%), 波 2
	平水	波 2	
導水部無対策型	—	0.5	—
フロート可動型	—	8.0	—
固定堰底網型	43.0	28.0	25.0

(2) 堰式油回収器実験結果の評価

表-4に示した3種類の実験結果を比較すると分かるように、波浪中では固定堰型が優れた回収性能を示した。固定堰型では、これまでの波浪中の実験で見られた導水部下への漏洩現象が発生しなかった。これは、導水部前面で波動現象による流体の乱れが少ないため、今回の固定堰による波浪対策は有効であった。

また、4種類の波浪条件下（平水、波1、波2、波3）でのペレット回収実験の結果は図-8のとおりであった。

この波浪条件の範囲内では波高の違いに関わらず回収効率の違いはそれほど大きくなかった。今回の実験では波高は実機相当で1.0m、1.5m、2.0mのケースであったが、波が導水部の上を越えてしまう波高2.5m~3.0m程度までは同程度の回収能力が期待できると思われる。

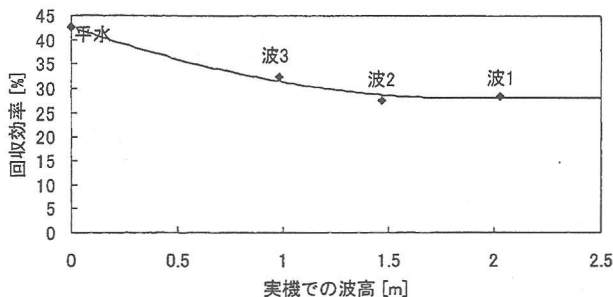


図-8 固定堰網型でのペレット回収効率

7. 実機的设计

これまでの模型実験の結果及びその解析を踏まえ、実機の大型油回収器の設計に反映させた。

なお、平水用と高波浪用とを兼用することは両方も効率低下する恐れがあるため、右舷に平水用の油回収器（渦流式の改良型）、左舷に高波浪用の油回収器（堰式）と、別々のタイプを設置することとした。なお、高波浪用は実機では固定堰と可動堰の併用とした。

8. 白山の油回収システムについて

これまで、大型油回収器（舷側に降ろして使用することから「舷側設置式」と呼んでいる）単体について回収効率の向上策を紹介してきたが、白山にはこの「舷側設置式」油回収装置のほか、「投げ込み式」油回収器や回収効率向上のための「集油装置」等を装備し、海象条件、油の性状により最適なシステムを選択し、油回収システム全体として回収効率の向上を図ることとしている。

以下にその概要を紹介する。

(1) 舷側設置式油回収装置

舷側設置式油回収装置（以下舷側式）は、船体両舷から振り出し海面に着水させて使用する。

舷側式は、流出初期段階の油回収に適し、比較的波浪のある状況においても回収可能で、能力は片舷当たり500m³/hである。

右舷の舷側式は、従来の渦流式の改良型、左舷の舷側式は新規開発の高波浪型としている。左舷の舷側式には、更に高粘度油の回収時に吸入管の詰まりを考慮し、専用の水ジェットポンプを装備し、油を碎断して回収油水槽に搬送することを可能とした。なお、左右の重量バランスを考慮し、両方式ともほぼ同サイズの回収器とした。また、油の回収による喫水の変化に応じ、回収器の喫水を調整できる機構となっている。舷側式の使用限界波高は、舷側式単体で有義波高2.5m以下、集油装置併用時には1.5m以下となっている。

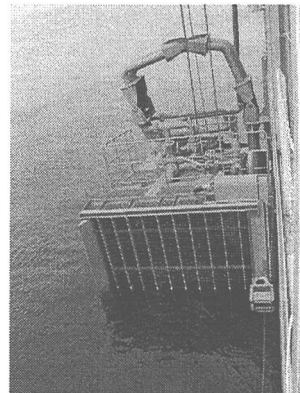


写真-2 舷側設置式油回収器

(2) 投げ込み式油回収装置

投げ込み式油回収装置（以下、投込式）は、船首左舷に装備され、専用の揚降装置により海面に着水させ、吸引ポンプの付いた回収器自体を海面に浮かせて、海面表層の油を吸引する方式である。ポンプ能力は250m³/hである。

投込式は、集油ブームをU字に展張し、微速で航行しながら油を集め回収する方式で、海象が比較的穏やかな状況において、油が薄く広がった状態、油が散在している状態、或いは粘りのある状態（高粘度油）の回収に適している（写真-3）。

なお、回収器に装備した油膜センサーにより、ウエア（堰）に取り付けられた油圧シリンダで上下最適制御し、効率的な回収作業が可能である。

また、投込式の油水吸引ポンプにはカッター（浮遊ゴミ破碎装置）が設けられ、高粘度油やゴミを碎断し、回収油水槽に搬送することが可能である。投込式の使用限界波高は、集油ブーム併用が前提となっているため有義波高1.5m以下となっている。



写真-3 投げ込み式油回収器

(3) 集油装置

集油ブームには、コンパクトに格納することができる充気式ドラム巻込型オイルフェンスを採用した。多少の波浪にも海面状況に追従し、回収効率の向上に寄与する。集油ブーム巻取装置は伸縮式のアームを内蔵し集油ブームを張り出す。

舷側式と併用する際は、両舷の集油ブームを油回収器の回収口に導くようにJ字に展張し（写真-4）、投込式を使用する際は、左舷の集油ブームをU字に展張し浮遊油を集め回収する（写真-3）。



写真-4 集油装置（舷側式併用時）

(4) 回収油水槽

回収器により回収された油は、回収油水槽に貯蔵される。回収油水槽は船体中央部両舷に設けられており、各舷のタンクは3区画に分けられている。回収された油は船首側の最初の区画に入り、タンク内で重力分離された油水の濃度の低い下層から次の区画へ順次移送するようになっている。回収油水槽の容量は1,530m³である。

(5) ヘリテレ画像受信装置

白山には、国土交通省各地方整備局が所有するヘリコプターに搭載された画像伝送システムから送信される画像電波を自動追尾し受信する、ヘリテレ画像受信装置が装備されている。これにより、緊急時におけるヘリコプターとの連携が画期的に向上し、油回収作業の効率性向上が期待できる。

9. おわりに

模型実験の結果を踏まえ、白山の舷側設置式油回収器には、平水用として右舷に従来の渦流式油回収器の改良型、高波浪用として左舷に堰式油回収器を採用することとした。実機では両方式とも従来型に比べ格段に性能が向上することが期待できる。

また、白山は2種類の油回収器や集油装置を使い分けることにより、様々な海象条件や油の性状等にあわせて対応することができ、回収効率向上への対策が図られている。

外洋に対応した大型油回収船「白山」が完成し新潟港に配備されたことで、同型船舶である名古屋港の「清龍丸」、北九州港の「海翔丸」と併せて3船体制となり、日本周辺での大量油流出事故への抜本的な油防除体制の強化が図られることとなった。

なお、舷側設置式油回収器の開発は株式会社トトラとの共同技術開発で実施したものである。

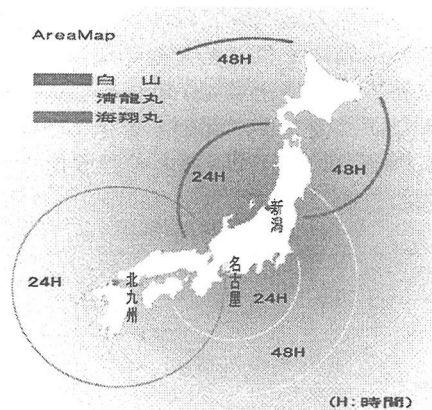


図-9 外洋型大型油回収船三船体制図

参考文献

- 1) 運輸省第一港湾建設局新潟機械整備事務所：渦流式大型油回収装置の開発報告書、2000。