

流出油事故対応

総合マニュアル

MARITIME DISASTER PREVENTION CENTER

独立行政法人海上災害防止センター

まえがき

本マニュアルは、独立行政法人海上災害防止センターが、日本財団の助成事業として実施した流出油防除に関する調査研究の成果を取りまとめたものである。

国際海事機関（IMO）から発行されているマニュアル等の内容も一部を取り入れた。

また、平成9年1月に日本海で発生したナホトカ号事故の際、当センターが現地で造成した回収油水一時貯蔵用ピットやナホトカ号以後の実際の油流出事故において当センター防災部が地元自治体とともに行ったボランティア作業の実施例、海上保安庁の協力を得て作成した油汚染評価マニュアルもその一部を収録した。写真、図面、グラフ等を可能な限り取り入れ分かり易くするとともに実際の事故が発生した場合に役立つものとなるようにした。

当センターが実施した調査研究の具体的成果物としては、「高粘度油用油処理剤D-1128」「自己攪拌型油処理剤S-7」「船舶用油処理剤散布装置SAS-I型」「ヘリコプター用油処理剤散布ノズル」「油処理剤簡易試験キット」「流出油事故対応マニュアル（現場対応者用）」などがあるが、これらに加えて今般作成した本マニュアル（総合）についても広く関係者に活用していただくことを希望する。

流出油対応は確立された学問ではなく、研究成果の適用で足りるものではない。状況に応じていくつかの方法を組み合わせることで最善の成果を残すように努力することが大切である。そのためには、最新の研究成果、過去の事例、国際的に確立された考え方を知ることが必要である。

本マニュアルの内容は、実際の事故に対応する当センター職員及び当センターとともに防除作業に携わる契約防災措置実施者の他、PI保険関係者、国及び地方自治体担当者の方々にも役立つものと確信する。

平成17年9月

独立行政法人海上災害防止センター

目次

まえがき

1. 海上での油汚染評価（海上編）	1
油膜の色調、形状、カバー率	2
色調の例	4
2. 海岸での油汚染評価（海岸編）	6
潮汐範囲及び海岸線の区分	7
海岸線の堆積物、形状の例	12
海岸線のE S I	15
3. 流出油が海洋及び沿岸資源に及ぼす影響	27
環境影響	28
レクリエーションビーチ及び海岸エリア	31
産業設備、魚	33
海洋哺乳動物	35
海亀、海鳥	37
サンゴ礁とエコシステム	38
湿地帯とエコシステム	39
自然公園、海洋公園	40
4. ナホトカ号事故における流出油の海藻への影響 （京都大学農学研究科によるホンダワラ類の流出油影響調査結果）	41
5. 流出油の経時変化	48
流出油の挙動	48
流出油の変化（エマルジョン化）	49
流出油の自然浄化作用	50
流出油の風化作用	51
6. 流出油の拡散漂流予測モデリング	52
7. 回収油及び油性回収物の管理及び廃棄	60
概要（緊急時計画、廃棄物の最小化）	60
回収物の種類（エマルジョン、砂など）	61
現場での一時貯蔵及び液体と固体の分離	64
陸上輸送	67
廃棄物の処理方法	69
8. 回収油水の一時的貯蔵及び最終処分	75
回収油水の一時的貯蔵の重要性	75
回収装置に付随させる一時貯蔵システム	75
陸上に置く一時貯蔵容器及び陸上に建設する一時貯蔵ピット	75

9. 海岸清掃	83
概要	83
緊急時計画の作成	85
海岸線の清掃手法	88
油、油性堆積物、ゴミの機械的回収	91
液体の油、油性堆積物、ゴミのバキュームによる回収	95
海岸の小石などの自然の力による洗浄	95
低圧洗浄または堆積物の洗い流し	96
高圧洗浄	96
油処理剤の使用	97
サンドブラスト	97
バイオレメディエーション	97
10. ナホトカ号における海岸漂着油	104
(「重油災害シンポジウムでの報告」)	
11. 海岸清掃におけるボランティア作業 (志布志湾での海岸清掃事例)	109
海岸清掃作業	113
熱中症対策	117
12. オイルフェンス	118
漏油のメカニズム	119
オイルフェンス (ブーム) の展張角度	120
オイルフェンス (ブーム) の展張方法	121
直線展張を基準にしたオイルフェンス (ブーム) の展張例	122
13. 機械的回収	124
スキマー (回収装置) の性能	125
スキマー (回収装置) の使用限界	129
ガット船	132
強力吸引車	133
14. 回収装置の洗浄	137
15. 油吸着材	153
16. 油処理剤	157
油処理剤の歴史	158
油処理剤の種類及び組成	160
油処理剤の特性及び化学分散のメカニズム	161
油処理剤の自然浄化メカニズム	163
油処理剤の自然浄化サイクル	164
流出油に対する油処理剤の有効性	166
油処理剤の使用方法	167
油処理剤使用上の留意事項	169

油処理剤の使用基準	178
海上における流出油処理方法の決定に関する考え方	182
自己攪はん型油処理剤及びMDPC法	185
海水で希釈した場合の油処理剤の性能	194
自己攪はん型油処理剤の有害性	203
油処理剤の海外及び国内での使用例、実績	206
英国の油処理剤使用指針	214
17. 油処理剤の船舶用散布装置	250
自己攪はん型油処理剤散布装置（SAS-I型）	251
油層厚、散布圧力と船速の関係	255
荒天時（強風）時における散布方法（延長ノズルの使用）	259
実海域を模した実験による自己攪はん型油処理剤の分散性能	261
18. 油処理剤の海岸における散布方法	266
海岸用油処理剤散布装置	266
海岸清掃における油処理剤の使用方法	269
海岸漂着油に対する自己攪はん型油処理剤の性能	270
19. 油処理剤の航空機からの散布	277
ヘリコプターの散布速度及び高度	286
事故発生時の対応（航空機の運航）	289
20. 油処理剤と流出油の相性判定方法	290
油処理剤簡易試験キット	290
21. バイオレメディエーション	297
バイオレメディエーション技法	299
22. 杉樹皮製油吸着材の有効利用及び微生物分解処理技術	309
23. 野生生物の保護	354
24. 現場焼却	360
25. 緊急時計画	414

1

海上での油汚染評価（海上編）

油による汚染事故が発生した場合、汚染原因者や防除作業者、国、地方公共団体、漁業関係者、事業所、ボランティアなど、多くの人々が関わることになる。

油による汚染事故への対応を決定する過程の中で、油汚染の状況を把握することは重要であり、その把握に当たっては、共通の認識を持つことが必要である。

このため海上災害防止センターでは、平成15年に油汚染の状況を正確に把握、理解できるように、サンプル写真を掲載し、水面に浮遊する油の色彩や形状などに関する用語をとりまとめた「油汚染評価マニュアル（海上編）」を作成した。

ここでは、同マニュアルに掲載された用語の定義、サンプル写真について主なものを説明する。

同マニュアルは、現場対応者向けにポケットに入る大きさに編集されており、海上防災事業者協会にて1冊1,000円にて販売されている。

- 油膜の色調区分A～E、色調A以上を油層と表現する。
- 流出油の形状・性状としては、すじ・帯、はすの葉、油粒・油塊、ムース、タールボール、スラッジを定義する。
- 汚染海域での流出油の占有割合をカバー率、%で表現する。

「油汚染評価マニュアル（海上編）」出版元
海上防災事業者協会 TEL 045-225-0263



事故現場での油の流出状況

油汚染評価用語集

1. 油膜・油層 (Sheen/Slick)

色調A～Eを「油膜」、A以上を「油層」と表現する。

- (1) A (油膜厚 0.002mm) : 油膜の色が黒ずんで見える状態
- (2) B (油膜厚 0.001mm) : 油膜が鈍褐(茶)色に見える状態
- (3) C (油膜厚 0.0003mm) : 水面に明るい褐色の帯がはっきり見える状態、油膜面は虹色に輝いている
- (4) D (油膜厚 0.00015mm) : 水面にほんの少し褐色に色づいて見える状態、油膜面は灰色に見える。
- (5) E (油膜厚 0.0001mm) : 水面が銀色にキラキラ光って見える状態
- (6) E以下 (油膜厚 0.00005mm) : 光線の条件が最も良い時にかろうじてキラキラ光る油膜が見える状態
- (7) A以上
 - ①油層厚 0.01mm : 油層面が黄色がかった茶色に見える状態
 - ②油層厚 0.1mm : 油層面が薄い茶色または黒色に見える状態
 - ③油層厚 1.0mm : 油層面が暗い褐色または黒色に見える状態
 - ④油層厚 10.0mm : 油層面が流出油と同色に見える状態

2. 形状・性状

(1) すじ・帯 (Windrow/Streamers)

波や風の影響を受けて、または自然に収束した場所に形成されるすじ・帯及び風の方向に整列した油のすじ・帯。

幅10m未満を「すじ」、以上を「帯」と表現する。

(2) はすの葉 (Lotus leaf)

ほぼ円形の独立した油膜及び油層。大きさは直径数センチから百メートル単位に達するものもある。はすの葉を形成する油膜・油層により色彩・光沢は異なる。

(3) 油粒・油塊 (Droplet/Patch)

風化した流出油の粒(タールボール状まで)を油粒といい、それ以上の大きさの風化油の塊を油塊と表現する。

(4) ムース (Mousse)

流出油が攪拌や風波などの働きによって、油が水を包みこんだ型のエマルジョン化(バターのようなもの)したもの。ムースは暗茶色～赤茶色～橙色～黄褐色を呈する。

(5) タールボール (Tarball)

水面に浮く柔らかいボール状の風化した油。大きさは数ミリから10センチ程度まで様々であり、どれ位風化・硬化されるかにも依存するが、同ボールの外観は、光沢がある場合と無い場合がある。

(6) スラッジ (Sludge)

油中に含まれる不溶解性の固体または半固形状物質の総称で、アスファルト性のもの、エマルジョン性のもの、きょう雑性のもの、かびなど微生物性のものなど多種多様であり、色彩も含有物により様々である。

* 廃油ボール：排出源不明のもので、油種、大小、色彩、硬度、形状を問わず半固形化若しくは固形化した油塊。

3. その他

上空から監視を実施した際に浮流油と取り違えやすい現象。

いずれも低空で観察する必要がある。

(1) 赤潮 (Red tide)

(2) 潮目 (Convergence line)：中に浮流油が存在する場合がある。

(3) くらげの大群 (Jellyfish)

(4) 浅瀬 (Shallow)：沿岸海底の岩や海草群及び「にしん」や「ふぐ」等の産卵後の海岸

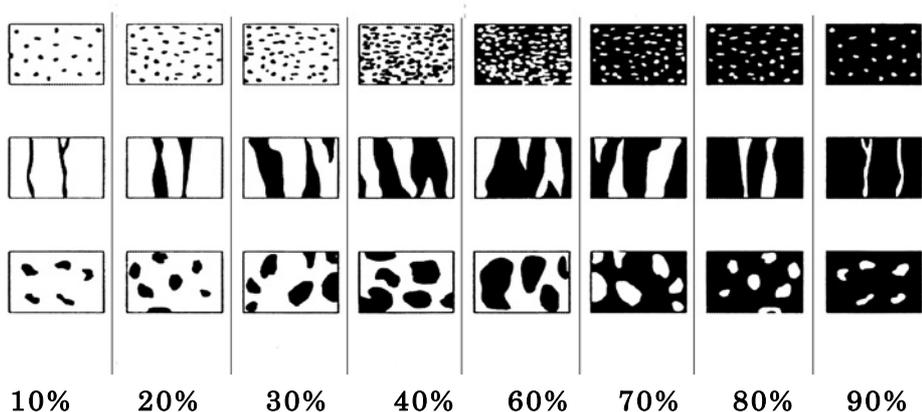
(5) リーフ (Reef)：満潮時における海面下のリーフ

(6) 浮流海藻類 (Seaweeds)：海面に浮流している海藻類 (ホンダワラ等の流れ藻)

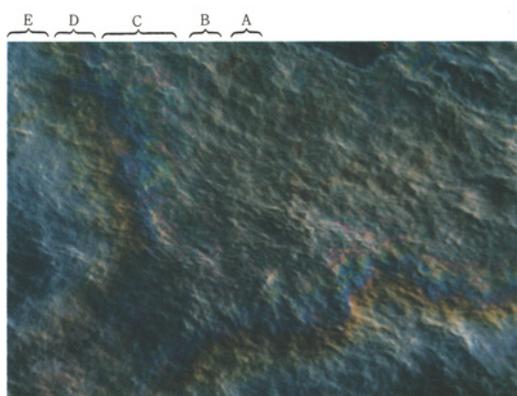
4. カバー率

油流出現場を監視する際、現場における各種流出油の占有割合、分布状況を「パーセント」で表したもの。(次ページ参照)

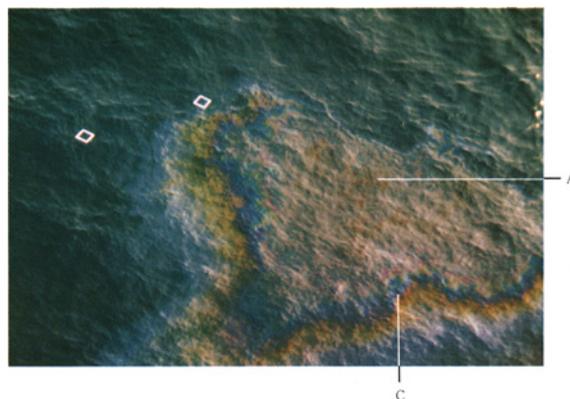
油汚染「カバー率」参考



1 油膜色調



2 油膜色調



3 油粒 「油粒が浮遊、カバー率5%以下」
C重油 眼高2m



4 油層 「ムース化油層、カバー率40%」
C重油 眼高2m



5 はすの葉状油塊
C重油 眼高4m



6 ムース
C重油 眼高5m



(高粘度油捕獲材による包囲)
(スネアーによる包囲、左下はE・E以下の油膜)

7 油層 「A以上、油層面暗い茶色」
原油 高度600ft



8 ムース
C重油 水分含有率66%



油による汚染事故、とりわけ沖合や沿岸を航行中の船舶が衝突や座礁事故等を起こした場合、漁業、レクリエーション活動や環境的見地から重要な海岸線へ油が漂着する事態が起こる。海岸に漂着した油の防除活動（以下「海岸清掃」という）を成功に導くためには、海岸の形状に対応した事前準備が重要な要素となる。海岸清掃の難易度は、海岸線の種類によって、また閉鎖性などの周辺条件によって、大きく左右されることになる。

防除作業に当たる関係者が、海岸線への油の漂着を阻止することに全力を尽くしたとしても、気象・海象の影響を受けやすい洋上回収によって海岸線への漂着を防ぐことは現実には難しい。

このため海上災害防止センターでは、平成17年に、関係者が汚染の状況、海岸線の特徴などを正確に把握、理解し、適切な海岸清掃手法を適用し安全で効果的な防除活動を実現することができるよう海岸線のサンプル写真を掲載し、海岸に付着した油の広がり、分布、残留油の状態などに関する用語をとりまとめた「油汚染評価マニュアル（海岸編）」を作成した。

同マニュアルは、現場対応者向けにポケットに入る大きさに編集されており、海上防災事業者協会にて1冊1,000円にて販売されている。

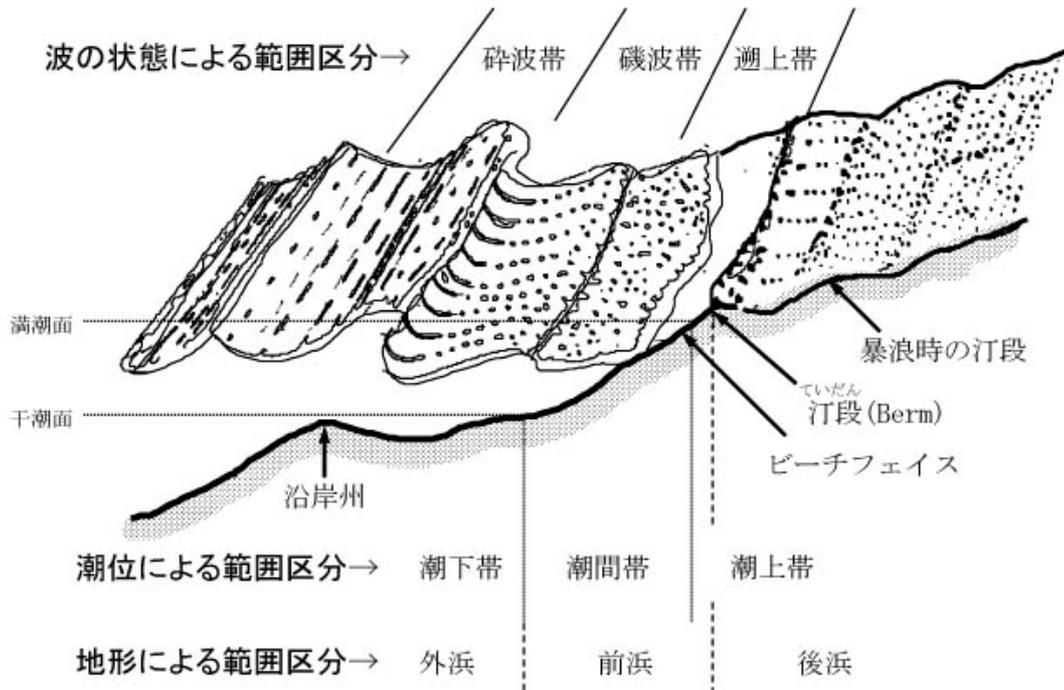
- 潮汐範囲及び海岸線区分（潮間帯）
- 海岸堆積物の区分（泥、砂、礫、石）
- 油の広がり幅区分（広い、中程度、狭い、非常に狭い）
- 油の分布（連続、断続、パッチ状、まばら、微量）
- 漂着油の状態、厚さ（地表面の残留状態）
- 残留油の状態（地表下の染み込み）
- 汚染評価記録様式

「油汚染評価マニュアル（海岸編）」出版元
海上防災事業者協会 TEL 045-225-0263

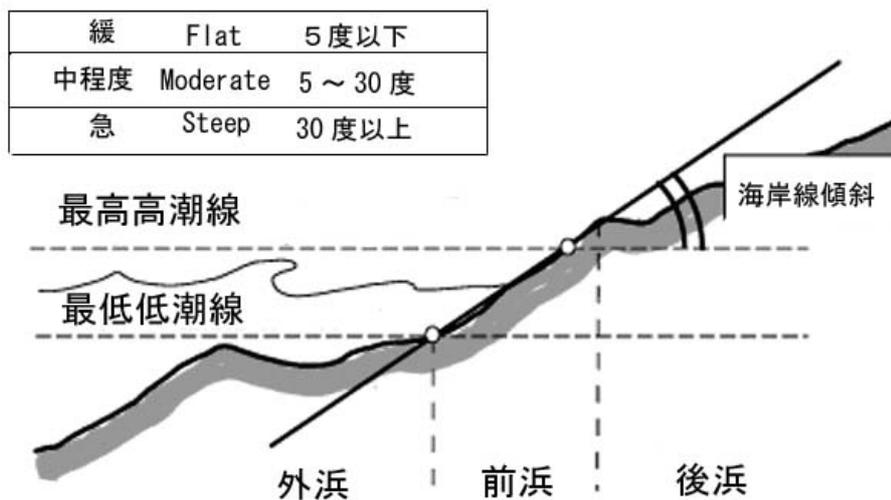


海岸線の汚染状況

1. 潮汐範囲及び海岸線区分



2. 海岸線傾斜 (Shoreline Slope)



3. 海岸構成物（堆積物）（sediment）区分

底 質 名			粒 径（単位：ミリメートル）
泥 mash	粘土	Clay	<0.002
	シルト	Silt	0.002~0.06
砂 sand	細砂	Fine sand	0.06~1.0
	粗砂	Coarse sand	1.0~2.0
礫 gravel	細礫	Granule	2.0~4.0
	中礫	Pebble	4.0~64.0
	大礫	Cobble	64.0~256.0
	巨礫	Boulder	>256.0

4. 油の広がり幅

呼 称		広がり幅
広い	Wide	6m以上
中程度	Medium	3m~6m未満
狭い	Narrow	0.5m~3m未満
非常に狭い	Very Narrow	0.5m未満

5. 油の分布

呼 称		分布のカバー率
連続	Continuous	91%~100%
断続	Broken	51%~90%
パッチ状	Patchy	11%~50%
まばら	Sporadic	1%~10%
微量	Trace	1%未満

6. 漂着油の状態—性状—

呼 称		状 態
新鮮	Fresh	風化されていない液状
ムース	Mousse	エマルジョン化し広範囲に及ぶ
タールボール	Tarballs	直径 10cm 未満で犬の糞状に点在
パティー	Patties	直径 10cm 以上で牛糞状に点在
タール	Tar	完全に風化したタール状、若しくは半固体状
表面残留	Surface Oil Residue	粘着性はないが堆積物表面に強度に残留している固化の初期状態
アスファルト固化	Asphalt Pavements	粘着性で強度に堆積物表面に残留
ごみ	Debris	油が付着した材木、植生、ごみ、廃棄物など

7. 漂着油の状態—厚さ—（地表面の残留）

6. 漂着油の地表面残留レベルを次の5段階で表現する

呼 称		状 態
プール	Pooled	漂着油の厚さが 1 cm 以上
カバー	Cover	漂着油の厚さが 0.1cm 以上 1cm 未満
コート	Coat	漂着油の厚さが 0.1cm 未満、爪で搔くと落ちる
しみ	Stain	目に見えるが（しみ状態）、爪で搔いても落ちない
フィルム	Film	見えないが光線の具合で虹色に見える

8. 残留油の状態—地表下の染み込み—

呼 称	状 態
アスファルト固化	粘着性が認められ、地質と一体化している
充満	地表下の空隙が完全に油で満たされており、掻き乱すと油が流れ出る状態
部分充満	地表下の空隙が部分的に油で満たされている。堆積物を掻き混ぜても油は流れ出ない。
残留	堆積物には油が付着して黒～茶色に見えるが、空隙中には油が充満していない。
フィルム	堆積物が軽度に油で覆われているか、若しくはシミ状に付着している
微量	不連続なフィルム状、点状。

【参考】

汚染評価記録様式

調査者

調査年月日		時間	～
実施者氏名		場所	
調査方法	踏査 ポート ヘリ	天候	晴 曇 雨 霧 雪

海岸線の種類

【海岸線の種類】 ESI 断崖 波食台 砂浜 砂と礫 人工	傾斜 _____度 緩 中 急
【海岸線の堆積物】 粘土 シルト 細砂 粗砂 細礫 中礫 大礫 巨礫 その他	波砕力 弱 中 強
	海岸線長さ _____m
	海岸線幅 _____m

漂着の状況

【漂着の規模】		タール タールポール	m ³
【幅】 広い 中程度 狭い 非常に狭い 漂着なし未調査	【長さ】 _____m	汚染面積	m ²
		油性ゴミ	有 無
		木片 % ゴミ % 他 %	

地表面の汚染

区画	潮間帯の位置				厚さ					分布			
	最上	上部	中央	下部	プール	カバー	コート	しみ	膜	連続	断続	まだら	点在

区画	地表面								地下染み込み					
	新鮮	ムース	ール	タール パティ ポ	タール	固化	A 固化	油 ゴミ	S A 固化	充満	部分	残留	なし	

1 細砂 0.06~1.0mm (Fine sand)



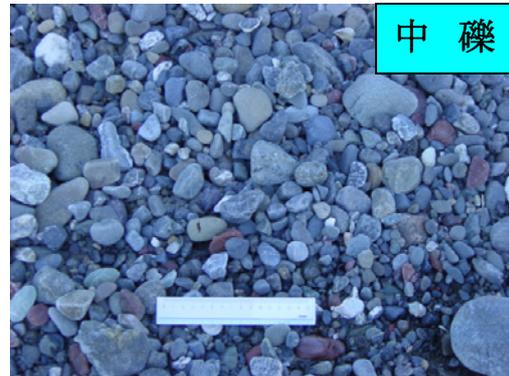
2 粗砂 1.0~2.0mm (Coarse Sand)



3 細礫 2.0~4.0mm (Granule)



4 中礫 4.0~64.0mm (Pebble)



5 大礫 64.0~256.0mm (Cobble)



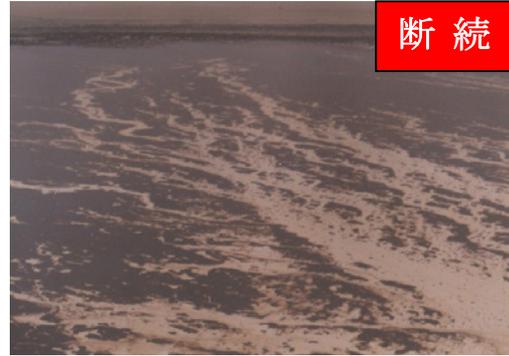
6 巨礫 >256mm



7 連続 Continuous (91%~100%)



8 断続 Broken (51%~90%)



9 まだら Patchy (11%~50%)



10 コート (Coat) <0.1cm



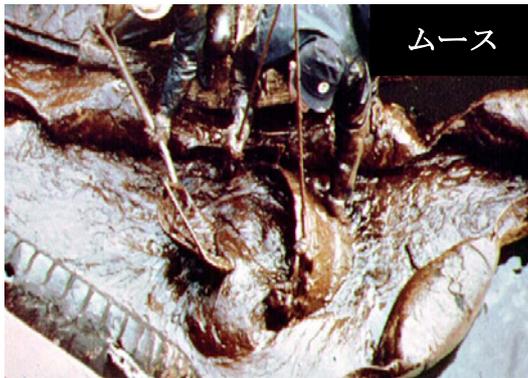
11 シミ (染み) (Stain)



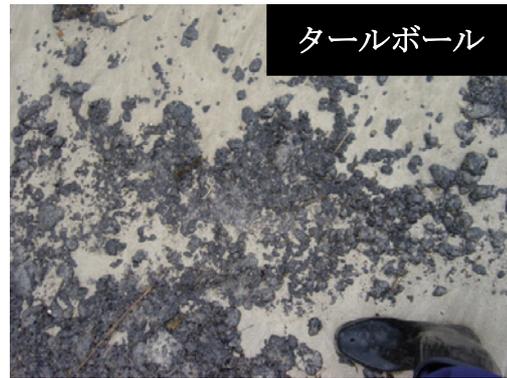
12 フィルム (Film)



1 3 ムース (Mousse)



1 4 タールボール (Tarballs)



1 5 パティ (Patties)



1 6 アスファルト固化
(Asphalt Pavements)



1 7 充満 (Oil Filled Pores)



1 8 部分充満
(Partially Filled Pores)



海岸線のESI

1 A

開放性海域岩海岸

- ・潮間帯の傾斜度 30 度以上
- ・断崖からの返し波によって油は海面に止まることが多い



1 B

開放性海域人工構造物

- ・防波堤、護岸など人工構造物で構成されている。
- ・油が残るのは高潮線付近又はその上部に斑点状の帯状



2

開放性海域波食性台状地

- ・汐溜まりや波食性台状地の割れ目には少量の礫がある
- ・油が台状地に付着する可能性低く、高潮線に沿って蓄積される



3 A

細粒から中粒の砂浜

- ・平らで堅く締まっている
- ・油の最大浸透深さ約 10cm
- ・当初 1 週間以内に、波打ち際上部漂着油層は、堆積する砂によって約 30cm 未満で埋没



4

粗粒の砂浜

- ・靴が埋まり歩行に苦労する
- ・油の最大浸透深さ約 20cm
- ・当初 1 週間以内に、波打ち際上部漂着油層は、堆積する砂によって約 50cm 以上で埋没



5

砂礫混合浜

- ・異粒径が混在／個別に帯状に存在
- ・油の浸透深さは 50cm を超えることがある。
- ・波に曝されない滞留油はアスファルト固化する。



6A

礫浜

- ・中礫から巨礫で構成
- ・波が洗う部分の上部に滞留／浸透
- ・波に曝されない滞留油はアスファルト固化する。



7

開放性海域干出平坦地

- ・広々とした潮間帯、砂と貝、泥で構成されている
- ・生物学的利用度が高く多数の鳥類の摂餌場所
- ・油は、平らな部分を越えて高潮線付近に滞留。



8B

遮蔽性海域人工構造物

- ・防波堤、護岸など人工構造物で保護された海岸線
- ・油は荒い表面上に高潮線に沿って帯状に付着



9B

植生土手

- ・早生の低い土手など
- ・時折、高水位によって浸水
- ・高水位には、油は草や木の根元を覆い、付着する。



次ページ以降に、海岸線の分類別に油汚染評価を記載したが、これはNOAAのESIに準拠したものである。しかし、このESIに基づく海岸線の分類は、その海岸線付近での経済的諸活動への影響や稀少生物の生息状況などを考慮したものではない。実際の油流出事故での防除活動において、どの海岸を優先して保護すべきかについては、海岸・海域利用者等の意見が十分に尊重され、総合的に判断されるべきものである。海岸線のESI情報は、そのための基礎データとして利用されるものとする。

開放性海域岩海岸（断崖、絶壁等）	ESI No.= 1A
<p>海岸線について</p> <ul style="list-style-type: none"> ・潮間帯の傾斜度 30 度以上で、潮間帯の幅はとても狭い。 ・断崖からの落下片は波で取り除かれるため、堆積物が発生するのは稀で、あっても短命。 ・潮間帯生物群は顕著に垂直帯状分布を示す。 ・種の密度と多様性は変化が大きい、しかし、フジツボ・エボシガイ類、巻貝類、ムラサキイガイ、ヒトデ類、笠貝、イソギンチャク、蟹、ゴカイ類及び大型藻類は、大変豊富な場合がある。 	
<p>予想される油の挙動</p> <ul style="list-style-type: none"> ・断崖からの返し波により、油は沖合いにとどまることが多い。 ・どんな付着油も、通常の場合急激に表面から除去される。 ・油が残るとすれば、高潮線付近又はその上部に斑点状の帯のように残る。 ・潮間帯の生物群が受ける被害は、短期と予想される。ただし、精製度の低い原油状油の漂着が、急激に集中して発生する場合は別。 	
<p>対応時の留意事項</p> <ul style="list-style-type: none"> ・汚染除去作業は、通常の場合不要。 ・海岸線への接近は困難かつ危険。 	

開放性海域人工構造物	ESI No.= 1B
<p>海岸線について</p> <ul style="list-style-type: none"> ・防波堤、海岸突堤、護岸、埠頭、そして港湾施設のような人工構造物で構成される。 ・コンクリート、木、又は鉄製である。 ・低潮時においても基質が干出しない場合が多いが、広範囲の生息環境がある。 ・海岸線を波、航走波等から保護するために作られており、早期自然浄化にも適している。 ・付着動植物は適度に散在している。 	
<p>予想される油の挙動</p> <ul style="list-style-type: none"> ・開放性（波が常にあたる）の環境下では、傾斜が急で、堅い表面からの返し波により、油は沖合いにとどまる。 ・油は乾いた荒い表面に簡単に付着するが、濡れている表面には付着しにくい。 ・油が残るとすれば、高潮線付近又はその上部に斑点状の帯のように残る。 	
<p>対応時の留意事項</p> <ul style="list-style-type: none"> ・汚染除去作業は、通常の場合不要。 ・割れ目にしみ込んだ油の除去、美観向上、又は油のしみ出しを抑制するためには、高圧水放射による洗浄作業が有効。 	

開放性海域波食性台状地	ESI No.= 2
<p>海岸線について</p> <ul style="list-style-type: none"> ・潮間帯は幅が一定しないベンチ状の平らな岩で形成される。 ・海岸線の背後には、急斜面又は低い崖がある。 ・急斜面の基部には、砂～礫サイズ堆積物がある。 ・波食性台状地の表面はでこぼこで、通常は汐留まりが存在する。 ・汐留まりや波食性台状地の割れ目には少量の礫が見られる。 ・大きな動植物個体群を持ち、汐留まりには豊かな生物相がある。 	
<p>予想される油の挙動</p> <ul style="list-style-type: none"> ・油が台状地表面に付着する可能性は低く、むしろ台状地を通り越して高潮線に沿って蓄積される。 ・堆積物があれば、油は浸透する。 ・シャドウウェイブがあるか、高潮線付近の堆積物に浸透した場合を除き、油汚染堆積物の油残存性は短期である。 	
<p>対応時の留意事項</p> <ul style="list-style-type: none"> ・汚染除去作業は、通常の場合不要。 ・高潮帯に接近可能などころであれば、油まみれの瓦礫や漂着油の取り除きが可能。 	

細粒から中粒の砂浜	ESI No.= 3A
<p>海岸線について</p> <ul style="list-style-type: none"> ・通常は平らで堅く締まっている。 ・細粒砂が支配的であるが、少量の貝殻片を含むこともある。 ・大量の漂着物がある場合がある。 ・鳥やウミガメにとっての摂餌や産卵に役立っている。 ・砂浜上部は、動物群はまばらだが、ハマトビムシ類は豊富である。砂浜下部の動物群はやや豊富であるが、変化が激しい。 	
<p>予想される油の挙動</p> <ul style="list-style-type: none"> ・軽質油は潮間帯の上部に沿って、油の帯状に付着する。 ・重質油は浜の全表面を覆ってしまうが、砂浜下部では上げ潮により浮かび上がって除去される。 ・細粒砂での油の最大浸透深さは、約 10 センチメートルである。 ・油流出後最初の一週間以内に、油まみれ層をきれいな砂が埋没させる典型的なものは、波打ち際上部に沿って 30 センチメートル未満の深さで発生する。 ・堆積物内生生物は、窒息又は含有水中の致命的油分濃度で死んでしまう。 ・内生底生動物の衰弱は、沿岸鳥が餌を探し回る区域での影響が大きい。 	
<p>対応時の留意事項</p> <ul style="list-style-type: none"> ・清掃が最も容易な海岸線のタイプの一つ。 ・汚染除去作業は、油が漂着したスワッシュゾーン（波の寄せるところ）の上部において、油と油まみれの瓦礫を取り除くことに集中すべき。 ・未汚染区域の保護のため、油があるか処理済の区域を通過する活動は制限するべき。 ・重機を使用するよりも手作業による汚染除去作業の方が、一般に、砂浜から除去（処分）する砂の量を少なく抑える。 ・車両の乗り入れや歩行が油を堆積物深く混ぜてしまうので、注意を払うべきである。 ・外洋に面した海岸では、軽度油の付着した堆積物を高潮線部から潮間帯上部へ機械的に移動させるのが効果的である。 	

砂の急斜面	ESI No.= 3B
<p>海岸線について</p> <ul style="list-style-type: none"> ・砂製の崖が波又は流れに削り取られ、そして地滑り発生の場所で発生する。 ・普通、浚渫砂の堤防沿いや川岸で形成され、弱い潮流が古い砂浜のうねの沈殿物を奪うところでも形成される。 ・浸食速度が緩やかで偶発的な場合には、斜面は浜の直ぐそばに形成される。 ・上部に木が生えている斜面は、侵食された基部に瓦礫が堆積する。 ・鳥類や内生動物の生物学的利用は低い。 	
<p>予想される油の挙動</p> <ul style="list-style-type: none"> ・どんな漂着油も高潮線付近に集約され、砂状の堆積物には浸透する。 ・斜面の基部に堆積したどんな木片でも、油は乾いた表面に付着する。 ・大規模な地滑りが発生する場合を除き、埋没が発生する可能性は低い。 ・活発な斜面の浸食が油を除去することになる。 	
<p>対応時の留意事項</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ほとんどの場合、油の残留期間が短く、汚染除去作業は不要。 ・浸食を増やすおそれがあり、油まみれの堆積物や瓦礫等除去の必要性は注意深く判断すべき。 ・汚染除去作業で除去する量を最小限にするには、しっかりと監督された手作業で行われるべき。 	

粗い粒の砂浜	ESI No.= 4
<p>海岸線について</p> <ul style="list-style-type: none"> ・これらの浜は比較的急勾配のビーチフェイスと軟らかな堆積物を持つ。 ・粗砂粒の浜は浸食／堆積のサイクルが早く、1つの干満サイクルでさえ発生する。 ・漂着物の量は様々である。 ・鳥やウミガメにとっての摂餌や産卵に役立っている。 	
<p>予想される油の挙動</p> <ul style="list-style-type: none"> ・軽質油は潮間帯の上部に沿って帯状に付着する。 ・重質油は浜の全表面を覆ってしまうが、砂浜下部では上げ潮により浮かび上がって除去される。 ・油の最大浸透深さは、約 20 センチメートルである。 ・油流出後最初の一週間以内に、油まみれ層をきれいな砂が埋没させるものは、50 センチメートル以上の深さに達する。 ・堆積物内で生息する生物は、窒息又は含有水中の致命的油分濃度で死んでしまう。 ・内生底生動物の衰弱は、沿岸鳥が餌を探し回る区域での影響が大きい。 	
<p>対応時の留意事項</p> <ul style="list-style-type: none"> ・汚染除去は、かつて油が漂着したスワッシュゾーン（波の寄せるところ）の上部において、油と油まみれの瓦礫を取り除くことに集中すべきである。 ・未汚染区域を保護するために、油があるか処理済の区域での交通は、制限するべきである。 ・重機を使用するよりも手作業による汚染除去作業の方が、砂浜から除去（処分）する砂の量を少なく済む。 ・車両の乗り入れや歩行が油を堆積物深く混ぜてしまうことに注意を払うべきである。 ・外洋に面した海岸においては、軽度に油の付着した堆積物を高潮線部から潮間帯上部へ機械的に移動させるのが効果的である。 	

砂礫混合浜	ESI No.= 5
<p>海岸線について</p> <ul style="list-style-type: none"> ・浜は傾斜が緩やかで、砂と礫が混ざっている。 ・堆積物には異なる粒径が混ざっているため、砂だけ、中礫だけ、又は大礫だけが帯状に存在することもある。 ・暴風時に砂が沖合に移動するので、堆積物の分布パターンには、季節に応じた大規模な変化がある。 ・開放性（波が常にあたる）浜では、堆積物の乾き具合と移動性のため付着動植物の密度は低い。 ・付着藻類や動物の存在することは、安定した基質が豊かな生物相を支えており、相対的に遮蔽性（波が遮られる）の浜であることを示す。 	
<p>予想される油の挙動</p> <ul style="list-style-type: none"> ・少量の流出では、油は波が寄せる高潮線に沿って及びその上部に滞留する。 ・大量の流出では、潮間帯全体に広がる。 ・堆積物への油の浸透は 50 センチメートルを超えることもあるが、砂には移動性があり、砂の割合が 40% を超える場合の油の挙動は砂浜と同様である。 ・油が浸透する傾向があるところ、特に断続的にしか波にさらされないところでは、埋没は高潮線付近及びその上部で発生する。 ・閉鎖性（波を遮られる）浜のくぼみでは、蓄積重質油の除去がないと表面にほとんどの油が残り、アスファルト化した堆積物で舗装状態となる。 ・アスファルトの舗装は、一度形成されると多年にわたり残留する。 ・油は、特に風化又はエマルジョン化した場合には、浜低部の、粗い砂粒の堆積部に漂着する。 	
<p>対応時の留意事項</p> <ul style="list-style-type: none"> ・波打ち際上側に溜まり蓄積された油を除去する。 ・全て油まみれの瓦礫を取り除くべきである。 ・堆積物の除去は可能なかぎり抑える。 ・低圧水の放射により、回収装置や吸着材で回収するため油を堆積物から浮き上がらせることができる。高圧水の放射は、汚染された細かい粒の堆積物（砂）を潮間帯低部や潮下帯に移してしまう可能性があるため、使用を控えるべきである。 ・高潮帯にある油まみれの堆積物を潮間帯の上側に移すのは、波の動きに常にさらされている区域（奥まった汀段はさらされている証拠）では有効である。しかし、油まみれの堆積物は潮間帯中部より下に移すべきではない。 ・開放性（浪が常にあたる）浜の中間部分では、油が埋没した深い層に対応するため掘り起こし（tilling）を行うことがある。 	

礫浜	ESI No.= 6A
<p>海岸線について</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 礫浜を構成する堆積物のサイズは中礫から岩までにわたる。礫サイズの堆積物は、貝の破片によって構成される。 ・ 傾斜が大変急で、浜の上部に浪でできた複数の汀段がある。 ・ 付着動植物は、通常、堆積物の移動がほとんど無い浜の最低部に限定される。 ・ 付着している藻類、ムラサキイガイ、及びフジツボ類の存在は、安定した基質が豊かな生物相を支えており、相対的に閉鎖性（浪が遮られる）の浜であることを示す。 	
<p>予想される油の挙動</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 開放性（波が常にあたる）の浜では、漂着油の深くまでの浸透と急激な埋没が起こり得る。 ・ 開放性（波が常にあたる）の浜では、油は高潮部や暴浪時の汀段をこえるところまで達し、波が洗う部分の上部に溜まり、浸透する。 ・ 長期的な油の残留は、浸透深さ対暴浪時に作用する深さ、によって決まる。 ・ 浜の、より遮蔽性（波が遮られる）部分では、蓄積が激しいと、アスファルト舗装状の層が発生し易い。 	
<p>対応時の留意事項</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 浜の上側に溜まり蓄積された油は除去すべきである。 ・ 全て油まみれの瓦礫を取り除くべきである。 ・ 堆積物（基質）の除去は可能なかぎり抑える。 ・ 低圧水の放射は油を堆積物から浮き上がらせるので、回収装置や吸着材の使用が可能となる。 ・ 高潮帯にある油まみれの堆積物を潮間帯の上側に移すのは、波の動きに常にさらされている区域（奥まった汀段はさらされている証拠）では有効である。しかし、油まみれの堆積物は潮間帯中部より下に移すべきではない。 ・ 開放性（浪が常にあたる）浜の中央部より上側では、油が埋没した深い層に対応するため掘り起こし（tilling）が行われることがある。 	

捨て石状海岸（消波ブロック護岸を含む。）	ESI No.= 6B
<p>海岸線について</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 捨て石状の海岸は、大礫～岩の大きさの、花崗岩、石灰岩又はコンクリートの固まりで構成される。 ・ 捨て石は、海岸線保護と水路安定のために用いられる。 ・ 付着する生物相は、まばらである。 	
<p>予想される油の挙動</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 油はまず、ブロックの荒い表面に付着する。 ・ 油はブロックの隙間に深く浸透し易い。 ・ 除去されない油は、油が固まるまで、慢性的にしみ出す。 	
<p>対応時の留意事項</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 油が新しく液状を確保している時は、高圧水の噴射や水浸しにする方法が、遊離した全ての油を回収するのに効果的である。 ・ 風化した重質油を回収するのは、より困難であり、かき集めや温水噴射が必要とされる。 ・ 極端な場合には、油に汚染されたブロックを取り除き、交換することが必要とされることもある。 	

開放性海域干出平坦地（干潟）	ESI No.= 7
<p>海岸線について</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 広々とした潮間帯であり、本来は砂とわずかな貝と泥で構成される。 ・ 砂が多くを占めていることは、流れと波が堆積物を動かすのに十分な強さであることを示す。 ・ 陸側には、通常、もう一つ別の海岸線タイプが予想されるが、別々の洲であり、干満により入江が発生するものと予想される。 ・ 生物学的利用度は大変高く、多数の内生動物が存在し、鳥類の休憩や摂餌に大変重要で、魚もエサをあさる。 	
<p>予想される油の挙動</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 開放性（波が常にあたる）干出する平坦地潟は、油は通常、表面に付着せず、むしろ平らな部分を通り越して高潮線付近に溜まる。 ・ 大量に油が来た場合には、平らな部分での油の性状変化（悪化）は、下げ潮時に起こる。 ・ 油は水浸し状態の堆積物には、浸透しない。 ・ 生物学的被害は激しい、まずは内生生物で、その結果鳥類等の餌食者のエサが減少する。 	
<p>対応時の留意事項</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 流れと波は、油の自然除去に大変有効である。 ・ 汚染除去は大変困難（低潮時のみ作業可能） ・ 重機の使用は、油を堆積物と混ぜないようにするため、控えるべきである。 	

遮蔽性海域の礫と急斜面（岩盤・粘土、捨て石状海岸を含む。）	ESI No.= 8A
<p>海岸線について</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 様々な傾斜（垂直に切り立った崖から岩棚まで）を持つ岩盤の海岸であり、波と潮汐のエネルギーからほとんど遮られている。 ・ 幅の広い海岸では表面に多少の堆積物を持つ場合もあるが、岩盤が支配的である。 ・ 種の密度と多様性は大きく変化するが、生物相は非常に豊富である。 	
<p>予想される油の挙動</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 油は荒い表面上に、高潮線に沿って帯状に付着する。 ・ 潮間帯の下部分は、通常、濡れたまま（特に藻類が付着している場合）であり、油は付着しない。 ・ 風化重質油が上層帯を覆ってしまうことがあるが、下層帯の豊かな生物個体群に与える被害は少ない。 ・ 表面の堆積物が多いところでは、表面の礫の隙間から油が浸透し、持続性の舗装を形成してしまう。 ・ 瓦礫の目が詰まっていないところでは、油は深くまで浸透し、長期にわたり堆積物内での汚染を引き起こす。 	
<p>対応時の留意事項</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 油が新しい場合には、周辺と同じ温度の低圧水の放射が最も効果的である。 ・ 最も注意を払うべきは、生物学的に豊かな潮間帯下部に対して又は潮汐がそのレベルにある時の低圧水の放射をしないようにすることである。 ・ 油まみれの付着藻を刈り取るべきでない。潮汐がその油を浮き上がらせるので、吸着材やオイルフェンスを配置すべきである。 	

遮蔽性海域人工構造物	ESI No.= 8B
<p>海岸線について</p> <ul style="list-style-type: none"> ・防波堤、海岸突堤、護岸、埠頭、そして港湾施設のような頑丈な人工構造物である。 ・コンクリート、木、鉄製又はそれらが混合してあり、形や状態は様々である。 ・低潮時においても基質が出てこない場合がままあるが、広範囲の生息環境がある。 ・付着動植物はやや多めである。 	
<p>予想される油の挙動</p> <ul style="list-style-type: none"> ・油は荒い表面上に、高潮線に沿って帯状に付着する。 ・潮間帯の下部は、通常、濡れたまま（特に藻類が付着している場合）であり、油は付着しない。 	
<p>対応時の留意事項</p> <ul style="list-style-type: none"> ・防波堤の清掃は、美観目的か又は油がしみ出すのを防ぐ目的で行われる。 ・周囲の水と同じ温度での低～高圧水の放射は、油が新しいうちは最も効果的である。温水は重油又は風化油のときに必要となる。 	

遮蔽性海域干出平坦地（干潟）	ESI No.= 9A
<p>海岸線について</p> <ul style="list-style-type: none"> ・主に泥で、そう多くない砂と貝殻で構成される。 ・波の動きから遮られた、穏やかな水中生息環境であり、しばしば背後に草性湿地を持つ。 ・堆積物は大変軟らかく、多くの場所では歩行さえも困難である。 ・ところどころ、藻又は海藻が密生する。 ・高潮線に沿って、非常に沢山の漂着物が溜まっている。 ・堆積物の上や内部には、沢山の貝や甲殻類、ゴカイ類、そして巻貝が集まっている。 ・鳥や魚にとって、摂餌に非常に役立っている。 	
<p>予想される油の挙動</p> <ul style="list-style-type: none"> ・油は通常、表面に付着せず、むしろ、平らな部分を通り越して高潮線付近に溜まる。 ・大量に油が来た場合には、平らな部分での油の性状変化（悪化）は、下げ潮時に起こる。 ・油は水浸し状態の堆積物には浸透しないが、穴や根の空洞がある場合には浸透する。 ・生物学的被害は激しいと予想される。 	
<p>対応時の留意事項</p> <ul style="list-style-type: none"> ・保護の重要性の高い区域であり、汚染除去手法の選択は非常に制限される。 ・基質が軟らかく、多くの手法が制限されるので、汚染除去は非常に困難である。 ・大洪水と喫水の浅いボートから吸着材を展開するのが、対応の助けになるかも知れない。 	

植生土手（河口部）	ESI No.= 9B
<p>海岸線について</p> <ul style="list-style-type: none"> ・草生の低い土手、若しくは、水にさらされた木根と木を伴った浸食された低い土手で構成される。 ・土手は時折高水位によって水浸しとなる。 ・一般的に、淡水性又は半塩水性の状況（河口域）で見られる。 	
<p>予想される油の挙動</p> <ul style="list-style-type: none"> ・水位が低い間は、油が水位近くの堆積物に狭い帯状に付着する程度で、大きな被害はもたらさない。 ・水位が高い間は、油は草や木の根元を覆い、付着する。 ・草類の減少は起こるが、木類は油の浸透や内部残留なしに生き残れる。 	
<p>対応時の留意事項</p> <ul style="list-style-type: none"> ・低圧水の放射は、土手にひどく蓄積された油を、ゆるやかに回収するのに効果的である。 ・油防除作業の水域側には、油の拡散を防止し、漏れた油を集めるために油吸着材や封じ込め用のオイルフェンスを配置すべきである。 ・利用度が高い地域で必要があれば、低～高圧水の放射は、油を木の根や幹から取り除くに役立つ。 	

海岸線について

- ・塩分濃度約 5PPT 以下の水で生きられる植物が生えている。
- ・草性湿地の幅は変化に富む。
- ・堆積物は、砂が豊富な島の縁にある場合を除き、有機物に富んだ泥で形成されている。
- ・開放性（波に常にさらされる）区域は、対岸までの距離が広い水域で交通の激しい水路に沿っている。
- ・遮蔽性（波が遮られる）区域は、波や航走波の動きにもさらされる事はない。
- ・鳥類、魚類、そして甲殻類にとって重要かつ多数の種が存在し、動植物の生息は豊富である。

予想される油の挙動

- ・油はまず、潮間帯の植物に付着する。
- ・油膜が植物群内にある時の水位に影響されるため、油が付着する帯の幅は変化に富む。複数の帯ができる。
- ・大規模な油膜は複数の干満サイクルを通じて残存し、元から高潮線付近まで完全に付着する。
- ・植物が密生状態であれば、重質油の付着は外辺の縁にとどまるが、軽質油であれば内側の潮汐が関係するところまで浸透する。
- ・中～重質油は粒の細かい堆積物には付着も（又は）浸透もせず、表面上又は穴や根の隙間に溜まるだけである。
- ・軽質油は堆積物の表面から数センチメートルまで浸透するが、穴や泥の割れ目では深く（1メートル以上）まで浸透する。

対応時の留意事項

- ・軽度の油であれば、自然回復させることが最善の方法である。
- ・自然浄化の過程と早さの評価は、汚染除去作業実施前に実施すべきである。
- ・蓄積された重質油は、真空式、吸着式又は低圧水の放射により取り除くことができる。放射中は、油が脆弱な下り斜面の区域や岸沿いに移動するのを防ぐよう注意しなければならない。
- ・汚染除去活動は植物に被害を与えないように注意深く管理すべきである。
- ・いかなる汚染除去活動も油を堆積物深く混ぜてはならず、根を踏みつけるのは最小限にしなければならない。
- ・油に汚染された植物を刈り取るのは、その場所の油に汚染された植物を残すことが他の資源に対する重大なリスクとなる時のみにすべきである。

淡水性草性湿地	ESI No.= 10B
<p>海岸線について</p> <ul style="list-style-type: none"> ・淡水性植物である草の生えた湿地である。 ・内陸部は完全に遮られているが、外縁部は強い流れと航走波にさらされる主要水路に沿っている。 ・堆積物が波にさらされることは滅多になく、日々の水位変化は小さく大きな変化は洪水時である。 ・重要なおびただし数の種が存在し、動植物の生息は豊富である。 	
<p>予想される油の挙動</p> <ul style="list-style-type: none"> ・油はまず、潮間帯の植物に付着する。 ・油膜が植物群内にある時の水位に影響されるため、油が付着する帯の幅は変化に富んでいる。複数の帯ができる。 ・植物が密生状態であれば、重質油の付着は外辺の縁にとどまるが、軽質油であれば内側の洪水時限界水位のところまで浸透する。 	
<p>対応時の留意事項</p> <ul style="list-style-type: none"> ・軽度の油であれば、最善の方法はその区域を自然回復させることである。 ・自然浄化の過程と早さは、汚染除去作業実施前に評価すべきである。 ・蓄積された重質油は、真空式、吸着式又は低圧水の放射により取り除くことができる。放射中は、油が脆弱な下り斜面の区域や岸沿いに移動するのを防ぐよう注意しなければならない。 ・汚染除去活動は植物に被害を与えないように注意深く管理すべきである。 ・いかなる汚染除去活動も油を堆積物深く混ぜてはならない。根を踏みつけるのは最小限にしなければならない。 ・油に汚染された植物を刈り取るのは、その場所の油に汚染された植物を残すことが他の資源に対する重大なリスクとなる時のみにすべきである。 	

淡水性草木性湿地	ESI No.= 10C
<p>海岸線について</p> <ul style="list-style-type: none"> ・低木と広葉樹林の定常的に水のある湿地で形成される。 ・普通川沿いで、広大な水をたたえた湿地である。 ・堆積物は大量の有機性残骸を含むシルト状粘土の傾向がある。 ・季節的な出水はあるが、低地が多く、そこは永久的に水をたたえている。 ・おびただし数の種が存在し、動植物の生息は豊富である。 	
<p>予想される油の挙動</p> <ul style="list-style-type: none"> ・油の挙動は草木性湿地が水をたたえているか否かにより異なる。 ・出水中は、油は森を通り抜けるが、期間中変化する水位線よりも上にある植物に付着する。 ・油に汚染された木性植物は草性湿地の油被害よりも脆弱性が低い。 ・水位が下がると、油は、氾濫原であった草木性湿地にとどまり、溜まってしまう。 ・高い含水率、泥状の基質、表面の有機性残骸、そして植物で覆われている事から、氾濫原の土壌への浸透は制限される。 ・水位が下がると大量の油性の残骸が残る。 ・乾いている期間、地上の油は流れ下り、凹地に溜まるか又は水域にたどり着く。 	
<p>対応時の留意事項</p> <ul style="list-style-type: none"> ・軽度の油であれば、最善の方法はその区域を自然回復させることである。 ・蓄積された重質油は、真空式、吸着式又は低圧水の放射により取り除くことができる。放射中は、油が脆弱な下り斜面の区域や岸沿いに移動するのを防ぐよう注意しなければならない。 ・接近できれば、油性の残骸は除去できる。 ・いかなる汚染除去活動も油を堆積物深く混ぜてはならない。根を踏みつけるのは最小限にしなければならない。 ・油に汚染された植物を刈り取るのは、その場所の油に汚染された植物を残すことが他の資源に対する重大なリスクとなる時のみにすべきである。 	

低木性湿地（マングローブ）	ESI No.= 10D
<p>海岸線について</p> <ul style="list-style-type: none"> ・根と幹は潮間にあり、最も低位の葉のみ、高潮につかる。 ・森の広さは、木1本のものから数マイルに及ぶものまでである。 ・基質は、砂、泥、葉の残骸、又は泥炭であり、岩盤上の見せかけであることが多い。 ・漂着物の蓄積が激しい。 ・高生産性を持ち、苗床のような生息環境を保持し、大きな多様性と豊富な動植物種を支えている。 	
<p>予想される油の挙動</p> <ul style="list-style-type: none"> ・油が高潮時に来れば、マングローブ内を洗いながら通り抜ける。 ・汀段又は海岸線があれば、油は汀段の堆積物又は残骸／漂着物に、集約浸透する傾向がある。 ・重質で乳化した油はヒルギ（マングローブ）を支える根の茂みにつかまってしまう。 ・油は、まず、支える根、幹及び呼吸根に付着する。 ・油に汚染された木は、汚染の数週間後に、ゆっくりと明確な影響（葉が黄色くなる）を見せ始め、特に重質油の場合には数ヵ月後に木の大量死となる。 	
<p>対応時の留意事項</p> <ul style="list-style-type: none"> ・油に汚染された漂着物は、一度油が通ったきざしがあれば、取り除くべきである。漂着物は油から木を保護する。 ・自然と解き放たれた油を再び覆うために、吸着材、オイルフェンスは、油で汚染された森の前面に配置する。 ・ほとんどの場合、これ以外の汚染除去作業は推奨されない。 ・油が厚く蓄積しているところでは自然浄化がされないため、外側のへりで低水圧の放射や真空式回収が試みられるかも知れない。 ・内側のマングローブをきれいにしようとの試みは、陸上から油に接近可能なところを除き、すべきでない。 ・歩行による基質の乱れを防ぐのが、極めて重要である。ほとんどの活動はボートで処理すべきである。 	

以下に IMO 油防除マニュアル セクションIV (2001 改訂版) における流出油が、海洋及び沿岸資源に及ぼす影響に関する記述を記す。

- 潮間帯の油汚染の程度は、海岸地形、堆積物の種類による。
岩場は波のエネルギーにより油は持続しない。
細かい砂浜では、表面の油は除去可能である。小石、丸石、粗い砂では下の基層まで染み込む。囲われた岩場、マングローブや塩湿地では、水の溜まり場、根の穴などに油が溜まったり、堆積物中に油を押し込んでしまうと長期的な影響を及ぼす。
- 軽質の芳香族成分は生物に有害であるが、比較的早く消散する。
- 燃料油などの重質油は、有害成分は少ないが長期間持続し、海洋生物に有害である。
- 流出事故が生物の繁殖時期に起きると群れの個体数の減少につながる。
- 油に汚染された環境にいる生物は、周りの水、油に汚染された食物から油を吸収し、体内に蓄積する。しかし、きれいな水に戻れば新陳代謝により油は消滅する。



海岸漂着油 平成9年ナホトカ号事故福井県

1. 1970年代から1980年代の研究は、海洋環境中における流出油の影響に対する認識及び理解をドラマティックに増大させた。

現在行なわれている研究がこれらに追加され、最近の1990年代の大規模な油汚染事故に続いて行われた研究によって補強された。以下の議論は、過去30年の調査研究の成果を反映するものであり、これらから広範な知識が確立され、フィールド

ドでの経験が確認された。

実際の油流出による影響は、多くのファクターに依存する。これらは、流出した油の量、物理的性質、化学的性質、毒性（これらは環境への残留能力を決めるものである。）、流出時点のコンディション（例えば温度、風）、季節、流出油が移動する途上の構造物や資源の存在、自然や堆積物との混合に関連する位置、海底地形、沿岸の地形などを含むものである。

これらの多様性とその他のファクター、それらの相互作用が広範な環境的、経済的、物理的影響を導く。

以下のトピックスに関する議論は、影響に関連する優先順位を示すものではない。

様々なインパクトの最終的な評価は、それぞれの流出事故の周りの状況によるものである。

最初に、流出油そのものの影響と清掃作業による影響を区別しなければならない。

対応手段(コントロール及び回収)の大きなカテゴリーとして、マニュアル回収、機械的回収、分散剤の使用の3つに分ける。いくつかの例では、対応手段そのものが結果を悪化させることもあることを示す。

2. 環境影響

最初に記述したように、流出油の結果としての環境影響には様々なものがある。環境影響とは、毒性と窒息による複合影響を通しての生息地の物理的、化学的変化を含み、成長の変化、生物個々及び種の生理及び態様、毒性、生物社会の滅亡、変化などである。

(1) 生物及び生息地の物理的汚染

浮流油は、海面を泳ぎ、又は海に飛び込む哺乳動物、鳥、海亀を汚染する。

もし、漁業が流出油のごく近くで行なわれていれば、漁具及び漁獲物は、海面上の又は水中に分散し、浮遊し、稀には海底に沈んだ浮流油と接触し、汚染される。沈んだ油は、価値ある生息地、例えばニシンの産卵場などを覆ってしまうこともある。

潮干帯の油汚染の程度及びそれがどれだけ持続するかは、海岸の地形と堆積物の性状による。陰しく曝露した岩場は、波のエネルギーを跳ね返し、油を遠ざけるように作用する。長期的な影響は、岩場のようなエコシステム上では最小のものとなり、そこでは油は持続せず、植物や動物の急速な繁殖が起こる。

細い砂浜では油は表面に残るが、除去可能である。しかし、いくつかの例では砂浜の上の油は砂に覆われ、後に風や潮の動きにより再び現われるこ

ともある。

小石、丸石、粗い砂浜の上では、油は潮により下の固い基層まで染み込む。

囲われた潮干帯やマングローブや塩湿地では、動物の隠れ穴、腐った根の穴、水の流れによる隙間などの中に油が染み込み、長期間に亘って生物への影響を引き起こす。このようなエリアでは、生物は流出油の初期の段階で物理的に覆われてしまい易く、長期に亘り細胞組織の化学的汚染を引き起こすものである。

(2) 環境有害性

直接的、物理的に覆って窒息させ又は汚染する作用に加えて、油流出の初期段階に起きる生物の死の多くは、水溶性の軽質の芳香族成分の毒性によるものである。

これらのより毒性の強い成分（ベンゼン、ナフタレン）は、比較的速く消滅する。

海洋生物への流出油の毒性の影響は、油の中のこれらの成分の存在と量によって様々である。生物が曝露する前に、それらが消散するかどうかが重要である。もっと有毒な油、ガスオイルやケロシンは、より有毒な成分を高い比率で含んでいるが、それらは急速に消散し、残渣もほとんどない。

原油と中粘度の燃料油は、有害な成分は少ないが、持続し、海洋生物に対し有毒性を現わす。重質原油は、有毒成分の量は低いが、軽質分をブレンドして含んでいる場合があり、重質燃料油よりも海洋生物に有害である場合もある。

異なった油の異なった生物種又は生物の生成段階に対する毒性を評価するため、生物分析が使われる。多くのテストは、曝露時間 96 時間の間におけるテスト生物の死亡量を測定するものである。96 時間半数致死量 LC-50 が、0.5mg/l(ppm)から 10mg/l(ppm)となる。標準毒性テスト条件は、オープンウォーターの生物の実際のフィールドでの曝露とはあまり関連性がない。実際は、ダイナミックで変わり易いものである。

また、ラボテストは、フィールド状態での再生、能力、生物の生き残りを評価することはできず、これらの生物分析の結果は、自然環境における流出油の長期的影響について、不完全な情報しか提供できないが、それらは水中での油の濃度が高い場合には、流出の初期段階における流出油の毒性の程度を提供するものである。

多くの流出において、水中で測定された最も高い油の濃度は、0.2mg/l～0.5mg/lの範囲である。より高い濃度の 0.5mg/l～1.0mg/lは、暴噴地点から 20km 離れたオイルスリックの下で測定された。

しかしながら、この範囲の濃度は短時間のものであり、生物への曝露も短時間のものとなる。流出初期段階の有毒性の影響は、局地的なものであり、

すぐ消滅するが、流出のサイズ、場所、シーズン、影響を受ける種により、流出後数年は持続する可能性がある。

もし流出が生物の繁殖の最盛期に起きると、流出の直近のエリアにおける生物のその年の群れは、大人も子供も失われる。このような重大な影響は、稀に生物数規模で見受けられる。生物数に対する決定的なインパクトは、ライフスパン、大人の移動力、種の繁殖方法による（プランクトンか幼態か）。短い寿命の種で、高い大人の移動性があるもの、プランクトンの幼生は短期の影響で済む。長期間の影響は、油が高い濃度で持続する局地的又は限定されたエリアに明白に出る。

(3) 生物への蓄積、汚染

流出の初期段階で生き残った生物は、周りの水、堆積物汚染された食物から石油成分を吸収し、細胞組織にそれらを蓄積する。これらの蓄積の長期的影響を推定するのは難しい。なぜなら、これらの成分は一般に環境中にあるその他の有毒物質と共に影響するからである。

脊椎動物は新陳代謝し、芳香族成分を急速に除去する。一方、無脊椎動物は芳香族成分をゆっくりと不十分に新陳代謝する。稀なケースでは、蓄積された濃度が活動や成長、繁殖に影響するのに十分な程高くなり、死亡したり早い死亡に繋がることもある。

高い濃度の油に曝露されるか又は長期間中程度に曝露された魚や甲殻類、軟体動物は、不愉快な油の臭いを取り込み、結果として新鮮でも市場価値がなくなる。これは一時的な問題であり、汚染の原因となる成分は通常の状態が回復され、生物がきれいな水で生活すれば消滅する。

油の種類、周りの水、気象状態によって、汚染は数日から数ヶ月の範囲で持続する可能性がある。表面の汚染は、必ずしも肉の汚染に繋がるものではなく、季節の新陳代謝の率によって変わる。

売り上げの減少からくる深刻な経済的ダメージを防ぐため、市場に汚染された魚や貝が出回るのを防ぐことが必要である。これには、資格のある人によるテスト、化学的分析を含むべきである。

(4) 回復率

流出に影響を受けたエリアの環境回復は、流出後に残る汚染物の量と中味に依存するものではない。たいていは、いくつかの段階で繁殖が起こり、時間を経て異なる時期に異なる種が回復する。

回復率は、有毒性が重大なレベルより下がった後の生物数のダイナミクス（繁殖、成長、成熟）及び種の環境的相互作用（捕食、生存、競争）による。

一般的に生物の回復は、水中では非常に早い。プランクトン数に対する

重大な影響は、外洋では観察されていない。影響は沿岸に近い場所において、局地的に短期間のみ見受けられ、数週間で完全に回復する。毒性と奇形は、いくつかの種の浮遊卵と幼生に見られたことがある。

しかしながら年間の生息数、総体的な生産量に対する影響は分からない。なぜならば、高い自然の多様性があるからである。短期的な局地的なひれ魚に対する影響は、流出後の大量に油で汚染されたエリアでは観察されるが、地域全体の生産への影響は小さいか又は探知できない。

潮干帯又は水底生物の最初の死滅の後、チャンスを得た抵抗力のある種は、ドラマティックに生息数を増大させ、影響を受けたエリアは大きく変動することになる。元いた種の繁殖は、ゆっくりな場合がある。

沿岸部の原油によって汚染された水底生物種は2年目になって増加するが、最も汚染されたエリアでは、3年から4年後でもまだ完全には戻らない。

塩湿地、マングローブでのダメージは長続きしない。しかし、もし植物が非常に浸食されたり、土壌の性質や高さが変わると何十年も影響は残る。もし、油が堆積物の中に残ったり、表面をタールマットが覆うとダメージは継続する。

3. レクリエーションビーチ及び海岸エリア

沿岸部のレクリエーション利用とレジャーに対する影響は、多くの油流出の共通の特徴である。海水浴、ダイビング、フィッシング、ボート、その他のウォータースポーツは全て影響を受ける。特に油が海岸を洗った場合には、旅行客はそこが汚染されたと判断すれば、影響を受けたリゾートを離れ、そのエリアを完全に避けるようになる。

もし、流出が観光シーズンの前又は最中に起これば、経済的ダメージは最大となる。影響は短期間であり、レクリエーション活動は通常、清掃活動が完了した後、短期間で再び開始される。観光に経済を大きく依存している島諸国家は、流出の結果として相対的により大きく、長く影響を受ける。

重要な行楽地において、急速に高い程度の清潔さを取り戻す場合には、高度に効果的な清掃技術が要求される。しかし、これらはその他の海洋生物に有害となる場合もある。ある種の作業は自然の防御にダメージを与え、浸食問題を引き起こすことがある。防波堤、港、その他人工構造物は、激しい洗浄手法により影響を受けることもある。

復旧手段による影響を最小限にし、レクリエーションと行楽エリアの復旧が環境影響を悪化させることとバランスさせるための方策が取られなければならない。

4. 港とマリーナ

港とマリーナの中又は直近での大きな油流出は、様々な活動、資源に広範な影響

を及ぼす。影響は商船、荷役、造船、修理、旅客フェリー、ウォーターフロント活動、観光、それとそのエリア内の環境脆弱域を含む。大きな港では対応活動、清掃活動中に必要とされる手段に関連する間接コストのため、経済的損失のリスクは高い。

油流出の最初の関心事項は、一般公衆と船の安全である。油が閉じ込められるエリアでの流出は火災、爆発の初期リスクを増大させる。一般公衆と船の安全は、すぐに確保されなければならない、安全の障害となる危険を軽減するために取られるべき必要な活動は、経済的に高くつくものである。

そのエリアを閉鎖し、船、車、人の立ち入りを一時的に制限する必要がある。溶接、カッター、あるいはスパークを引き起こす作業は、火災の危険性が存在しなくなるまで、制限するか禁止するべきである。このような制限又は干渉は、港又はマリーナにおける通常の活動に影響を与える可能性がある。

間接コストは、衝突、爆発、火災、貨物の破損、清掃という物理的ダメージに関連する直接コストを上回ることもある。

浮遊油の拡大を小さくし、又は防止するためのブーム展張、ドックの閉鎖、水門のロックなどは、影響を受けたエリアを通る船の交通に影響する。流出油の程度や状況により、これらの制限は範囲を拡大し、状況の変化に対応して調整される必要がある。

船体、係留索、フェンダー、ステップ、ラダー、スリップウェイなどの作業アクセス箇所などは、共通して汚れる。油の膜は全ての構造物の高潮と低潮の間の表面に付着する。天候の悪化は、清掃作業を妨害し、油に影響を受けていないエリアにすぐに拡大させてしまう。通常の活動に対する制限は必要であり、安全な作業条件が整い、清掃作業が進んで通常作業が開始できる時まで課される可能性がある。

通常荷役、港の商業活動、漁業、フィッシング、レクリエーションボート、その他の水上活動の中断、制限、禁止は、地域経済の多くの部分、その他のコミュニティにも拡大する。加えて油に覆われたドック、ボート、その他の構造物は、油の臭いの持続と共に、ウォーターフロント施設のレクリエーション及び商業使用率を低下させ、そのエリアの観光に打撃を与える。いくつかの港は、環境的に重要なエリアを含んでいるものである。

5. 産業設備

通常のオペレーションにおいて、海洋に依存している産業は、油によって被害を受け、損害を受ける。とりわけ発電所は大量の冷却水を取り入れるため、沿岸部に位置している。もし大量の浮遊又は表面上の油が吸水口に流れた場合には、海水のゴミ等を取り除く防護スクリーンを通過してしまう。

もし油が熱交換器に入ってしまうと効率が低下し、油の粘度が高いか、風化油の場合には冷却管が詰まり、それらが清掃されるまで、停止することになる。ブーム又はネットを取水口に展張することに加えて、油が発電所に接近することが確実な場合には、パワーを下げて運転するか、運転を中止する。実際は、熱交換にダメージを与えた記録は滅多にない。もし油が取水口に入った場合、淡水化装置も影響を受ける。

海水から飲用水を作るために使用されている2つのプロセスは、多段蒸留及び逆浸透膜である。蒸留過程は、発電所の冷却管と同じように影響を受ける。逆浸透膜の薄膜フィルターは、もし油がそれに到達すればダメージを受ける。設備は、通常の運転中も汚染から冷却管と薄膜を守るために、フィルターと事前除去過程を持っている。

油流出において、取水口を保護するため何らかの手段を取ることに加えて、予想されるダメージを避けるために、事前の警告が運転を中止するか又はスローダウンするように発せられるべきである。しかし、利用者への水の供給問題が一時的に引き起こされる。

6. 魚

(1) 成魚の直接の死

成魚の直接の死は、いくつかの油流出でのみ観察されている。その他の大きな油流出では、魚が油を摂取したことが分かっており、筋肉細胞の油汚染がいくつかの例として見つかった。

繁殖への影響は、いくつかの事故の後記録されている。いくつかのラボテストでは、魚の卵は低レベルの石油炭化水素に非常に敏感であり、魚の卵のふ化の低下が、いくつかの流出では油の曝露に原因があるということが示されている。

(2) 死に至らない影響

石油の死に至らない曝露の影響は、ラボテストで研究されている。いくつかのケースでは、実際の濃度への曝露（フィールド状態と同じ程度）は、繁殖過程に影響を与える。それは態様、生殖力、受精の成功、ふ化などであり、病気に対する感受性が増大することにより、早死にするという異常を引き起こす。また、発ガン性と突然変異を引き起こす。

これらの実験室での観察の結果は、流出油状態又は慢性的な海洋汚染環境というフィールドでの観察によって探知できる影響は、流出の現場近くでの急性のものに限定され、また油の影響は現場のその他の汚染によって曖昧になるということである。

腫瘍の形成は、フィールドでの魚及び軟体動物に見られ、腫瘍の範囲は油流出以外の排出源からの多環芳香族炭化水素、又は石油製品への曝露に関係している。現存するデータは、炭化水素の生物での増加は海洋フード網には発生していないことを示し、人間の海洋起源の食物には多環芳香族炭化水素は、その他の起源のものとは比べて高くはないことを示している。

船や陸上からの慢性的な油性廃棄物の排出と共に、度重なる油流出を被る沿岸域の魚又は貝類の消費は、人間の消費者による炭化水素の摂取を増大させている。

(3) 魚の蓄積に関する長期的影響

魚の蓄積は、個々の油流出が時間的、場所的に他と離れていれば、油流出によって重大に汚染されることはない。しかし、大規模な油流出は局地的な生息数又は同年の生息数に対し、2年間は影響を与える。これらの影響は、地域的な捕獲数データでは探知できない。

論証できる影響の欠如は、多くのファクターによる。ファクターとは、局地的エリアへの影響の非公表、成魚の油に対する回避能力、成魚及び幼魚の流出が消滅した後の生息能力、魚の卵と幼生の分散及び輸送、漁獲数の自然の変化、過剰漁獲の影響と程度である。魚の移動性と漁獲データの変化の結果として、漁獲数が将来も流出油の影響を受けるということには、極端な局地的場合や閉鎖域、あるいは繰り返し流出又は排出を被っているエリアを除いてはない。

(4) 魚及び貝の養殖及び海草類の栽培

浮きケージ、沿岸近くの囲みなどに閉じ込められている魚や貝は、流出油の流れ道から逃れられず、油が到達する前に移動しない限り、死んだり汚染を被る。浮き棚やブイの下の水中にいる生物（カキ、海草、ケルプ）は、直接の死は少ない。

これらの生物の汚染は、分散するか溶解した油の生物蓄積、又は浮遊油への物理的接触を通して発生する。もし、生物蓄積及び汚染が最小限であれば、収穫物の回復は油が消滅するか去った後、浄化の期間を経て満足するものとなる。

貝の栽培が行なわれる潮干帯のエリアは、流出油の影響に対して感受性が強い。潮が潮干帯で油を溜める間、海岸線はそこに運ばれてくる油をトラップし、保持する。

波の作用は浅い海中に油を分散させ、堆積物に混ぜ込む。これらの過程は、数年間も貝の栽培に不適切な環境にしてしまうような貝の直接的、物理的な汚染、食用になる細胞の蓄積及び汚染や堆積物の継続的な化学汚染を引き起こす。

中程度に汚染されたエリアにいる貝は細胞の浄化洗浄のために、清潔なエリアに移されるべきである。もっとひどく汚染されたエリアの貝は、破棄されなければならない。堆積物が汚染された場所では海岸清掃の間において、あらゆる復旧作業が加速されるべきである。

潮干帯の経済的に重要な藻やその他の海草類は、海草の葉にひっついていて油の重さにより、岩から脱落する可能性がある。生育数のわずかな減少が、流出後1年間は起こるかもしれない。とりわけ、フローティングネット上で栽培されている海草は、浮遊又は分散した油によって汚染され易い。海中に沈んでいる海草、ケルプなどは、それらが存在する深さのために油により傷つきにくい。

(5) 漁業に関する商業的検討

魚への油の蓄積影響とは別に、油流出は漁業活動に対して、物理的、経済的インパクトをすぐに与える。漁港は、漁港が汚染されたり又は汚染を避けるために閉鎖されることにより、使えなくなる。漁船や漁具は、油によって汚される。

漁場は、魚が油によってダメージを受けているかいないかに関わらず、油又は油防除のための活動によってアクセス不能になる。油は漁業者にとって、火災の危険や健康障害となる。

明らかにこれら全てのファクターは、販売する漁獲量に影響する。加えて、事故の公表により、市場において魚の品質に関する一般公衆の関心を惹くことになる。これは、実際に被害を受けた以上に広いエリアにおいて、売り上げを落とすことになる。

7. 海洋哺乳動物

多くの種類の海洋哺乳動物（アザラシ、ラッコ、クジラ、ネズミイルカ、イルカ、セイウチ、ジュゴン）は、油で影響を受けるエリアに見受けられる。これらは油で覆われた海を泳ぎ、繁殖のため岸に近づく。

これらの観察結果から、これらの哺乳動物は、少なくともいくつかの状況下では積極的に油を回避することはしない。たいていの海洋哺乳動物への油の影響は、アザラシやラッコの毛皮の汚れを含む。いくつかのケースでは、疑いなく油の曝露と関係するが、実際の海岸での油に汚れた哺乳動物の死の原因を、確定させることは難しい。

(1) 影響の種類

油への曝露、油又は汚染された食物の摂取は、吸入によって浮遊、漂着、分散した油と物理的に接触することによって起こる。

動物は、その防寒のための毛皮又は毛（ラッコやアザラシ）にもよるが、毛皮が油に汚れることにより、体温を失うことになる。たいていの他の海洋動物は脂肪と血管の圧縮により、体温をコントロールしており、油汚れによる体温の影響に抵抗力がある。

流出源に近いところに閉じ込められたり、フレッシュなオイルスリックに繰り返し浮上する海洋哺乳類は、石油の蒸気を吸い込む。長期に亘る高濃度の蒸気の吸入は、死又は深刻なダメージを与えるが、短期間の吸入はわずかに免疫細胞の炎症を引き起こすだけである。

油の蒸発成分は、流出後数時間で消滅するので、流出の直近から逃げる動物は、蒸気の吸入による重大な結果を被ることはない。カワウソ以外の動物は、油に汚染された食物を摂取する以外は、大量の油を摂取することはない。食物の摂取中、ひげ鯨は海水中に分散した油に遭遇する。しかし、彼らの食物となる動物性プランクトンが、最初に油を摂取することになる。

(2) アザラシとラッコ

子育てのシーズンにおいては、とりわけアザラシは油流出に弱い。アザラシの子供は、厚い油の堆積で窒息するかもしれない。新生児のアザラシは少しの脂肪しかなく、体温調整は毛皮に頼っている。それゆえ、油の汚れの結果としての体温低下に弱い。毛皮が油にまみれたアザラシの子供は、高い死亡率となる。

子供がいるときのアザラシは、全ての種類の外乱に対して敏感であるので、捕食場所あるいは子育ての場所の近くでの清掃活動の実施に関しては、野生生物保護官に相談すべきである。

ラッコは素早く適切に洗淨されない限り、毛皮の汚れは体温低下、油の摂取、肺への吸入を通して死を引き起こす。短期間の油の摂取は、重大な影響を引き起こすことはないが、継続的な摂取は組織のダメージ、ホルモンのアンバランスを引き起こす。

(3) その他の海洋哺乳類

セイウチ、クジラ、ネズミイルカ、マナティーについては、流出油の影響は稀か又は存在するという記録はない。草食の性質により、マナティーなどの油の摂取は、通常微生物による消化作用が乱される可能性がある。しかし、このことは報告されていない。

8. 海亀

海亀は食物を摂るとき、呼吸のため浮上するときに流出油に曝露し、海岸に巣を作るときに漂着油に曝露する。観察された影響は蒸気の吸入、油の摂取、塩腺作用の障害、皮膚の炎症及び障害、油やタールボールの摂取による喉の詰まりなどである。フレッシュな油は、海亀の卵に非常に有毒であり、特に発育の進んだ段階では有毒である。

9. 海鳥

水鳥は、目に見えて油流出に弱い。多くの種は、食物採取及び営巣地として海と沿岸に頼っている。いくつかの種は、あるエリアに恒久的に住み、その他は季節毎に長距離を渡る。ほとんどの時間を海で過ごし、群れでいて、繁殖力の弱い種はとりわけ油流出の影響に弱い。加えて、いくつかの種（ウミガラス、カモ）は羽毛の抜け替わる時期は飛ばず、ペンギンなどは全く飛ばない。

海鳥はオイルスリックの中を泳ぎ、その中に飛び込み、海中から浮上する時に浮遊油に接触することになる。沿岸の鳥は油に汚染された海岸で餌を捕ったり、営巣するときに影響を受ける。

(1) 直接の物理的影響

海鳥は海で油に遭遇し、熱遮断と水を弾く作用をする羽の隙間が油で詰まることにより、死亡することが多い。断熱効果を失うことは新陳代謝を増加させ、エネルギーを消耗させ、体温低下をもたらす。撥水性の喪失は水が羽毛に入り、浮力を失い、浮かないため、エネルギー消費を増加させる。

荒天の後、鳥は餌場が限定され、エネルギーの蓄えが減少し、飢えるため、弱くなる。浮力の低下と体温の低下は、油に汚染された鳥の死亡の原因であり、油を摂取した鳥は胃や内臓の粘膜の出血性潰瘍の形成のため、死亡し易くなる。羽毛の隙間の油は、上記のような原因で死に至り、たいていの海鳥は油に汚染された後、数日で死亡する。

(2) 長期的影響

海鳥は、羽毛の隙間を口ばしで揃えることにより、また油に汚染された餌を捕ることにより、油を摂取することが知られている。実験室でも油の摂取後は卵を産まなくなること、ふ化率の低下、若鳥の成長低下に加え、様々な病理学的影響を引き起こす。温められている卵の表面にフレッシュな油を付着させると（卵を抱く成鳥が油に汚染されている場合も）、胎児の異常成長、あるいは死を引き起こす。

実際の油流出において、沿岸の鳥は沿岸の油に汚染された場所を避け、餌場に移動する。油に汚染された鳥は、そうでない鳥よりも餌を捕る時間は少ない。これらの影響の重大性は、フィールドの大規模な状況下では起こっていないが、油による直接死にはわずかな関連はある。

(3) 生息数への影響

いくつかの例外を除いて、油流出は群れの総体的な生息数に大きな影響はない。毎年死は多くの海鳥の種において、特に冬の嵐では自然でも高い。広範囲に分散している種は、小さな局地的な場合を除いては、生息数の減少を被ることはない。

一方で限定された範囲にいる種、また1年のうち限定されたエリアに集合している種は、大規模な油流出に対して脆弱である。最も弱いのは、流出を繰り返し受けたり、近くの SHIPPING ルートやオイルターミナルから低レベルの油汚染を被るエリアの種である。流出の影響を受けても、死亡率が低いならば生息数は急速に復旧する。

10. サンゴ礁とエコシステム

サンゴ礁は世界の熱帯又は亜熱帯エリアにおいて、多くの商業用魚種を含む多様な生物を維持する高い生産力のあるエコシステムである。サンゴ礁は、観光を通じて地域社会に収入をもたらす重要なものであり、沿岸部の浸食を防ぐバリアーとしての役割も果たすものである。

サンゴ礁が海岸近くに位置することは、油流出の影響を受ける可能性がある。フィールドでの研究が、流出油の影響についてなされてきており、現在も続いている。さらなる情報は、IMO の出版物である“Field Guide for Oil Spill Response in Tropical Waters”が活用できる。

(1) サンゴ礁への影響

サンゴ礁への油の影響は、流出のサイズ、油の種類、サンゴ礁の種類、深さ、その場所の波のエネルギー、その他のストレスの状態（堆積物の負荷）などである。最も大きなダメージは、低潮の時にサンゴが平らな場合に油がサンゴ礁の上部に付着し、物理的に窒息することである。

もし、油が高い波のエネルギー又は油分散剤により分散された場合には海中に沈んだサンゴ礁も海中の油滴にさらされる。もし、オイルスリックが分散されることなく海中のサンゴ礁の上を浮いているならば、悪い影響は最少限であり、回収も早い。サンゴの上に溜まる堆積粒に油が粘着しない限り、深いサンゴは油に接触する可能性は小さい。

油流出は、サンゴ礁の近くや潮干帯のサンゴコミュニティを縁取っている海岸線近くで発生してきた。これらの流出は、潮干帯や沿岸を縁取るサンゴ礁の縁、浅い潮干帯の近くの魚や無脊椎動物（ロブスター、クラブ、腹足類動物、二枚貝、タコ、ウニ、ヒトデ、ナマコ）の間に死を引き起こしてきた。

自然の藻や海草は、多くのこれらの場所で破壊された。しかし、一般的には潮干帯下のサンゴ礁は個々の油流出を生き残ってきた。多くのサンゴは、油にさらされると大量の粘液を出し、自身をより大きなダメージから守る。サンゴが分散された油に曝露されると様々な反応を引き起こし、汚染の長期的影響を与える。

油に汚染されると繁殖過程を弱め、コロニーの数、幼生を生むサンゴヘッドの数を減少させ、幼生の定着率を減少させる。いくつかのサンゴの幼生は夜に放出されるが、油の曝露は幼生の放出を早め、生き残りの機会を減らす。弱められたコロニーは、油に曝露したサンゴに見られる。これらの繁殖とコロニーの影響は、多くのタンカーの通り道や、定期的に小さな油流出の発生するオイルターミナルの近くでサンゴの減少、魚の多様性の減少を引き起こす。

緑色の藻の濃密な成長が流出に関連する最初の死滅の後、影響を受けたサンゴ礁でしばしば見られる。この繁茂は、豊富な栄養素と草を食べる生物の欠如の結果である。初期段階の毒性が消えた後、プランクトンの幼生や大人の生物の回復が影響を受けなかったエリアの近くで始まる。影響を受けたサンゴ礁の回復は、数年内に起こる。

11. 湿地帯とエコシステム

沿岸部の植物社会は、沿岸海洋生物への生物生産、多くの無脊椎動物、脊椎動物の生息地の拡大、海や風による浸食作用からの沿岸部の保護に寄与している。これらの植物社会（熱帯のマングローブの森、そこより緯度の高いところの湿地）とそれに関連する植物群は、沿岸域の油流出の影響に弱い。

(1) 油流出の影響要素

塩湿地とマングローブのエコシステムは、油流出に脆弱な共通の物理的エコシステムを持っている。これらは、植物の生えている沿岸部の縁に深く油を入れてしまう導管を含んでおり、波のエネルギーは低く（そのため、自然消滅は最小限）、細く高い生産力、酸素の少ない堆積物が油を捉え、長時間保持する。

とりわけ、マングローブは油で覆うことにより、根から気孔を通して酸素を取り入れることを妨害するので、脆弱である。

(2) 油の継続存在と回収の影響

温暖な塩湿地における油流出の直近の影響は、無脊椎動物と地上の湿地植物の死滅である。湿地エリアが急激な浸食、あるいは堆積物の表面の物理的損傷がない限り、広範な植物の地下茎のシステムは油汚染を生き残る。

もし、表面の堆積物が大きく乱されなければ、植物の再生は成長、繁殖力が減少し、種子の構造に異常を示すけれども、たいていは1年以内に始まる。油の成分は、柔らかく細い堆積物の中に10年以上存続し、植物の回復は3年から10年かかる。表面の堆積物と地下茎の除去と妨害は、堆積物中の栄養素の変化と回復プロセスに長期的影響を与える。

マングローブの油汚染は、種子の根の張りの率を低下させる。成熟した木は、若い木よりも敏感ではない。植物の気根のわずかな油汚れでは、生き残る。ひどい油汚れは葉の一部又は全部を失う、全ての葉を失った木は一般に生き残れない。しかしながら、回復は最初のインパクトによって様々であるが、部分的に落葉した木は、4ヶ月以内に回復を始める。影響を受けたエリアの機能上の回復は、葉による覆いと根の覆いを含めて5年から10年かかる。

完全に荒廃したマングローブの森が、十分に成熟した状態に戻るのに数十年かかる。マングローブと塩湿地社会の回復は、人為的な種蒔き、影響を受けていない地域からの若い木の移植で促進される。

12. 自然公園、海洋公園

自然公園やマリナーパークへの油の影響は、そのエリアの性質やそれらが支えている種により様々である。影響はそれらにとって重要である。これらのエリアにおける油流出は、取り返しのできない損失となることもある。こういう理由で、これらのエリアは特別なプロテクションが求められる。

流出事故の沿岸生態系に与える影響については、事故発生前の生態系の情報（ベースラインデータ）がなければ、事故前と事故後を比較し影響を正確に把握することは難しい。

ナホトカ号事故後に京都大学農学研究科によって行われた調査は、三国町において流出油の影響を顕著に受けたところと影響を受けていないところの2箇所を選定し、比較するというものであり、流出事故の生態系への影響を把握する上で貴重な調査である。調査結果によれば、海岸線の海草に明らかな影響が出ていることが確認されており、流出油は速やかに回収されるべきであることが分かる。

京都大学農学研究科（中原紘之、八谷光介、田村典江）によりナホトカ号事故後にナホトカ号船首部漂着地点から約2km離れた福井県三国町の海岸2ヶ所で行なわれたホンダワラ類の流出油影響調査結果の概要を以下に示す。

（調査結果の概要）

- 京都大学農学研究科の調査によれば、油が漂着し、重油の滞留が長く続いた箇所では、イソモク、ジョロモクなどのホンダワラ類の生殖器を形成する長さ20cm以上の主枝が非常に少なく、あっても成熟しないなどの影響が出ていることが明らかとなった。
- また、重油を含む海水中でのホンダワラ類の卵細胞の発生実験の結果、油の濃度により全く発生しない、あるいは、発生しても成長が遅い、又は発生が途中で停止するなどの影響が出ていることが明らかとなった。



イソモク



ジョロモク

(1) 調査対象箇所

箇所	調査箇所
A 地点 (影響を受けた地点)	平成 9 年 1 月 2 日のナホトカ号事故発生後、ナホトカ号船首部の漂着地点から約 2km 離れた福井県三国町の海岸で、北西に面し、重油の滞留が長く、平成 9 年 3 月の調査の時点でホンダワラ類の個体の上部が緑色に変色していた岩礁部。
B 地点 (影響を受けていない地点)	平成 9 年 1 月 2 日のナホトカ号事故発生後、ナホトカ号船首部の漂着地点から約 2km 離れた福井県三国町の海岸で、北東に面し、ホンダワラ類の個体の上部が緑色に変色するような個体が見られなかった場所。

(中原、八谷、田村 京都大学農学研究科)

(2) 調査対象とした海藻

種	特徴
イソモク	体高 0.5m~1.5m になる樹状型。ホンダワラ類のうちで最上部に生育帯を形成する。多年生の短い茎上に毎年数条の主枝ができる。若狭湾では、主枝のうち 10~20cm 以上のものは、6 月頃に生殖器床をつける。生殖器床をつけた主枝は、徐々に上部から流出し、7 月後半には長い主枝は見られなくなる。それと同時に、10cm 以下であった主枝は、徐々に成長を始める。その後 4 月まで伸長し続け、4 月過ぎに最長に達し、成熟期に入る。
ジョロモク	体高 0.5~3.0m になる樹状型低潮線付近から深さ 2m とイソモクより深所に生育し、長い茎の上部から羽根状に分岐した主枝を出す。日本海中部沿岸では 6 月頃に成熟期となり、最も繁茂し、7 月下旬頃より長い主枝は流出する。

(中原、八谷、田村 京都大学農学研究科)

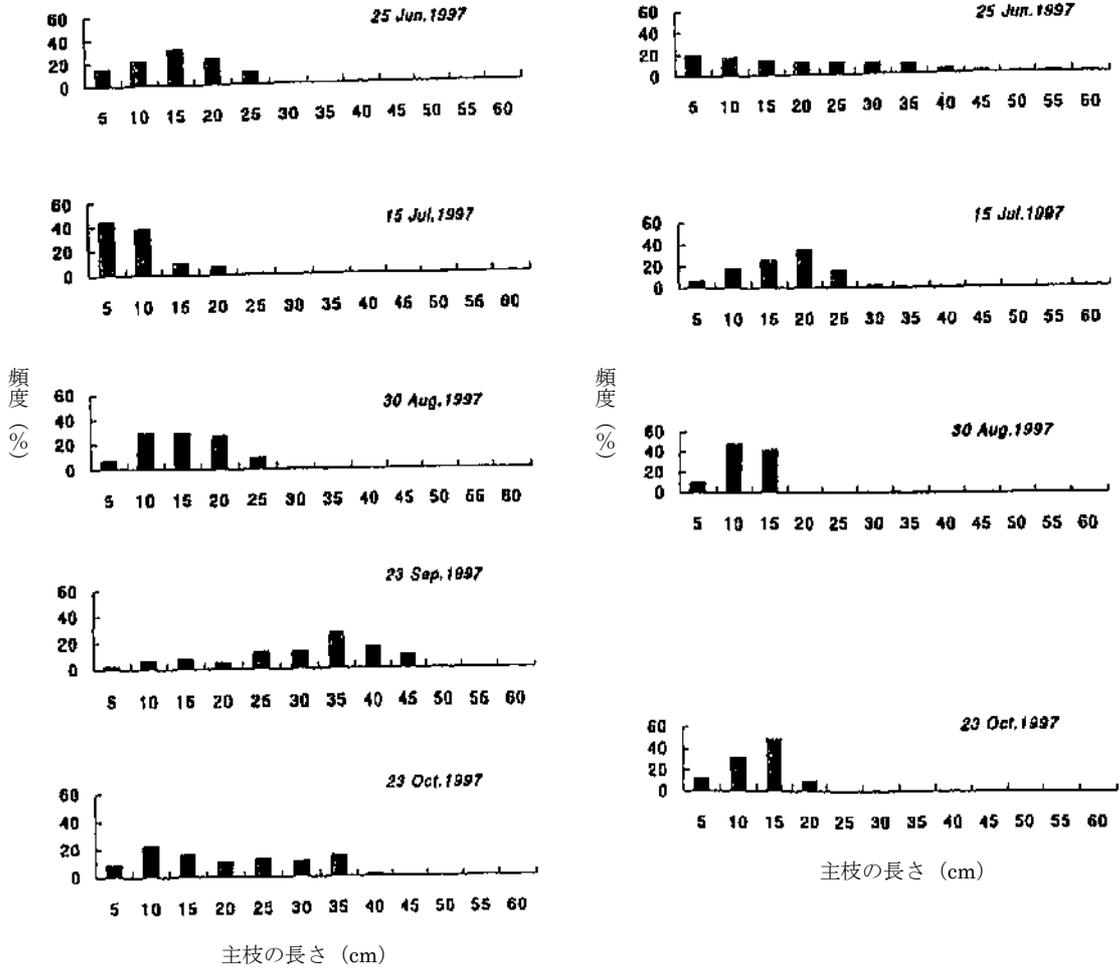
(3) 調査の方法及び結果（生殖器床をつける長さ 20cm 以上の主枝の状況）

種	調査方法	A 地点 (影響を受けた地点)	B 地点 (影響を受けていない地点)
イソモク	一定面積内の個体数を計数し、密度を求める。	<ul style="list-style-type: none"> ・明らかに密度が低下。 ・密度の低下、通常と異なる体長分布を呈する。 ・6月に生殖器を形成する20cm以上の主枝が非常に少ない。 ・生殖器床をつけた主枝は、希にしかない。 ・8月を過ぎても通常は流出するはずの6月に20cm以上伸びた主枝が流失しないで残っていたが、成熟はしていなかった。 ・この個体群は、今期は生殖細胞をほとんど形成しなかった。 	—
	全個体の主枝の長さを測り、5cm毎の区分に分けて計数し、全数に対する頻度を算出した。 （6月～10月における各月の5cm毎の主枝の長さの頻度をグラフ化したものを図に示す。）		
ジョロモク	一定面積内の個体数を計数し、密度を求める。	違いなし。 <ul style="list-style-type: none"> ・5月までに長い主枝が流れてしまい、7月には生殖器床を形成する長い主枝は存在しなかった。 ・通常、10月を過ぎると個体群中に卵から発生した個体が肉眼で見られるようになるが、A地点では見られなかった。 ・A地点の個体群では、その年の発芽群の加入が無く、年齢構成に異常が生じる。 	違いなし。 B地点では発芽体が見られた。
	全個体の主枝の長さを測り、10cm毎の区分に分けて計数し、全数に対する頻度を算出した。		

(中原、八谷、田村 京都大学農学研究科)

A 地点 (影響を受けた地点)

B 地点 (影響を受けていない地点)



平成 9 年 6 月～10 月における各月の 5cm 毎の主枝の長さの頻度
(中原、八谷、田村 京都大学農学研究科)

(4) 重油を含む海水中でのホンダワラ類の卵細胞の発生実験

実験対象

種	卵
フシスジモク	平成9年6月18日に京都府経ヶ岬で採取したものを研究室に持ち帰り、生殖器床のある枝のみを選んでシャーレに取り、一晩置いた後に放出された卵。
ウミトラノオ ジョロモク	平成9年6月25日に福井県三国町で採取したものを研究室に持ち帰り、生殖器床のある枝のみを選んでシャーレに取り、一晩置いた後に放出された卵。

(中原、八谷、田村 京都大学農学研究科)

実験方法

実験海水	平成9年1月11日に三国町の海岸に漂着していた重油を採取し、重油サンプル1gを100ccのろ過海水が入ったフラスコに取り、超音波で油を分散させた後、約70℃程度で湯煎し、懸濁させた。これを100%重油海水とし、1%、0.1%、0.01%、0.001%、0.0001%の5つの濃度の溶液を作り、これに栄養塩(窒素、リン)としてpes原液を2%になるよう加えた。
実験方法	各濃度の海水をシャーレに10ccずつ取り、そこに卵を入れ、室温20℃、明暗周期10L:14Dで1週間培養した。

(中原、八谷、田村 京都大学農学研究科)

卵の発生実験の結果

	1% 重油海水	0.1% 重油海水	0.01% 重油海水	0.001% 重油海水	0.0001% 重油海水	1%の培地に24時間浸漬した後、清浄海水に移した。
フシスジモク ウミトラノオ ジョロモク	1日後に全く発生停止。	1日後に全く発生停止。	半数は正常に発生したが、成長は遅い。残りの半数は仮根が出ただけで発生停止。	全ての卵細胞は、正常に発生を続けた。	全ての卵細胞は、正常に発生を続けた。	発生を再開した卵は無かった。

(中原、八谷、田村 京都大学農学研究科)



ブシスジモク



ウミトラノオ

(5) 群落構造の変化の持続 (中原、八谷、田村 京都大学農学研究科より)

流出事故後には直接的、あるいは間接的な影響で群落構造に様々な変化が現れることが知られている。今回重油が漂着した海岸の潮間帯でいくつかの帯状構造の異常が見られた。

一つは潮間帯下部から漸深帯上部のピリヒバ帯とイソモク帯で見られた抜け落ちである。そこでは周囲の残ったイソモクが卵をほとんど放出しなかったため、平成9年度の回復は起こらなかった。一部、イソモクよりは深いところに生育するブシスジモクの発芽体が見られたが、大部分は短期間で脱落し、裸地のまま続いていた。また、ピリヒバ帯も夏季を過ぎて回復した岩礁もあったが、回復は見られなかった場所もあった。

二つ目はイソモク帯に他のホンダワラ種の侵入、特に1年性のアカモクの侵入が多く見られた。通常イソモクの生育帯では高密度で生育しているため、そこに他の種が侵入することはほとんど起こらない。裸地までには至らなかったが、密度が低下したため、そこに他の種の生殖細胞が付着できるスペースが空いたためである。イソモクは生殖細胞を形成しなかったため、他の種の生殖細胞により侵入されたものと考えられる。

多くの事故後に、アオサやアオノリのように常に生殖細胞を生成して個体群を維持している海藻が急激に増え、その場の多様度が減少することはよく見られる現象である。重油がほとんど取り除かれなかったタイドプール状のところでは、アオノリで一面覆われたところも見られた。

参考文献

「重油流出事故による沿岸生態系への影響、その持続と回復」
中原紘之、八谷光介、田村典江 京都大学農学研究科

- 海上に流出したC重油、原油などは、軽質分が揮発した後、残った不揮発成分が海水を取り込んでエマルジョン化*（乳化）する。

*粒状になった海水又は油が他方の液体の中に安定して分散している状態をいう。

- エマルジョンには、水中に油粒子が存在している水中油型と、油の中に水を含んだ油中水型の2種類があり、後者のエマルジョンが形成されると含水率 60～70%、体積は3～4倍、油の粘度も高くなる結果、通常の回収装置では回収が困難となる。

粘度の指標	1,400～1,500cSt	コンデンスミルク
	4,000～5,000	イチゴジャム、ハチミツ
	2万	マーガリン、グリース
	5万	固いグリース、ゼリー
	10万	水飴

- 通常の回収装置は、装置の種類にもよるが5万cStが回収の限度である。
- ナホトカ号の例では、平成9年1月中旬に三国町付近海域で採取されたムース化油は、18万cSt（温度22℃）、含水率65%に達した。
- 過去の流出油事故では、ムース化油が海岸線に漂着した時に大きな汚染被害が発生している。流出油が油中水型のエマルジョンになる前に回収することが重要である。

1. 流出油の挙動

流出油事故が発生した場合、油の大半は自然の気化蒸発、溶解、分散作用を通じて消失する。これは温度と海上条件により、また、流出油の量によっては1～2日のうちに海面から消失する。

軽質原油では2～5日間で、また、中質原油では5～10日間で海面から消失する。重質油あるいはワックス含有量の多い原油、並びに重油類は長時間海面に残存するが、それでも時間の経過に伴い自然の力で分散していく。

流出油の挙動概念図を図1に示す。

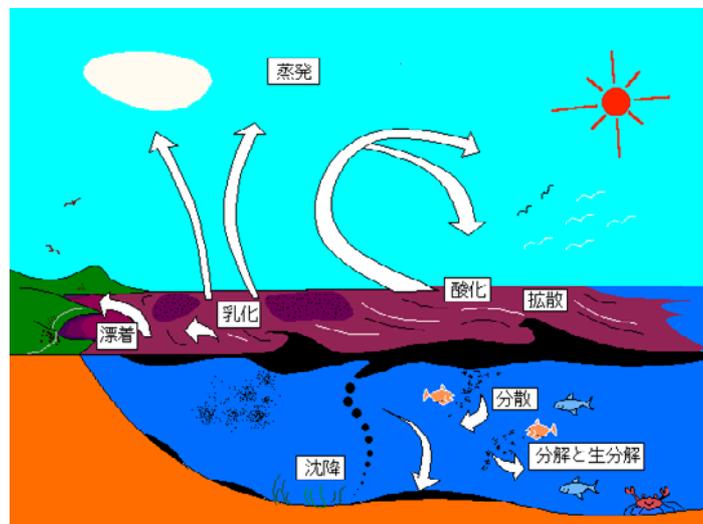


図1 流出油の挙動概念図

流出油の挙動は、次の3種類に分けられる。

物理的变化 ⇒ 蒸発、乳化、拡散、分散、沈降

化学的变化 ⇒ 酸化

生物的变化 ⇒ 分解と生分解

2. 流出油の変化

海上に流出した油は厚い油膜から薄い油膜へと変化し、この間に石油ガス・ガソリン等の軽質分が蒸発して、後は不揮発成分が残る。不揮発成分は波にもまれてエマルジョンを形成する。

このエマルジョンには2通りあり、水中に油粒子が存在している水中油型（オイル・イン・ウォーター）と、油の中に水を含んだ油中水型（ウォーター・イン・オイル）がある。

前者はバクテリアによる消化分解や酸化分解によって海水に還元されるために大きな汚染被害は発生しないが、後者のエマルジョンが形成されると体積は3~4倍になり、油の粘度も数段高くなる。アスファルテンの含有量が0.5%を越える油は「チョコレートムース」と言われる処理が極めて困難で安定したタール状の油塊となったり、タールボールとなって分解が遅いものとなる。

過去の流出油事故では、チョコレートムースが海岸線に漂着した時に大きな汚染被害が発生しているため、流出油が油中水型のエマルジョンになる前に防除措置を行う必要がある。

海上に流出した油の変化を図2に、2種類のエマルジョンを図3、4に示す。

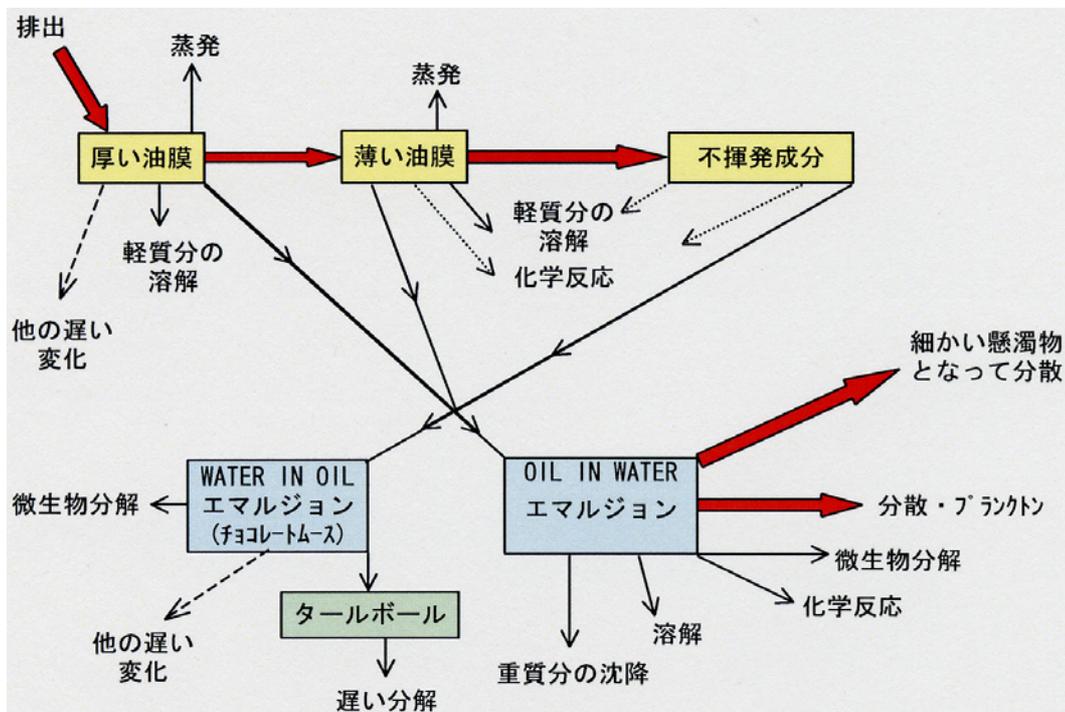


図2 海上に流出した油の変化

水中油型エマルジョン(O/W型)

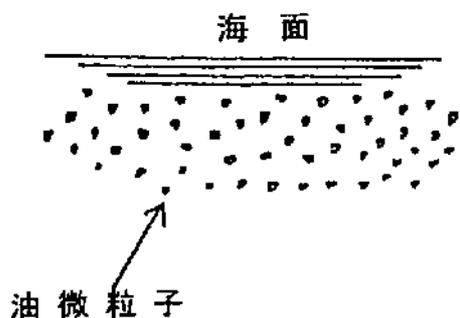


図3 水中油型エマルジョン

油中水型エマルジョン (W/O型)

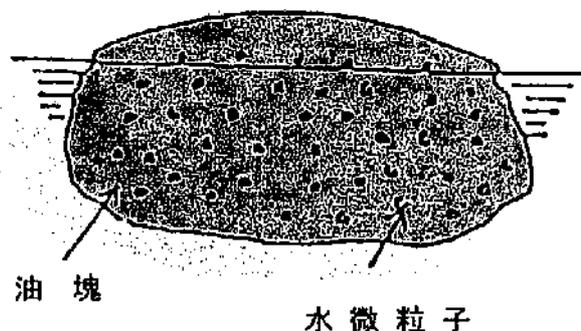


図4 油中水型エマルジョン

3. 自然浄化作用

海洋への油の流出のうち、事故によるものは全体の約10%であり、残りは陸上から海洋へ排出される生活排水、産業排水及び産業活動に伴うものである。

国際海事機関の統計では毎年300万トンの油が北半球の海洋に流出していると言われているが、流出油事故以外の場合は、油は海水の自然浄化作業により分解されて海水に還元されるために海洋汚染は問題にならないが、流出油事故の場合は、短期間に大量の油が流出されるために自然浄化作業が追いつかず汚染被害が発生する。

海中に流出した油の自然浄化過程図を図5に示す。

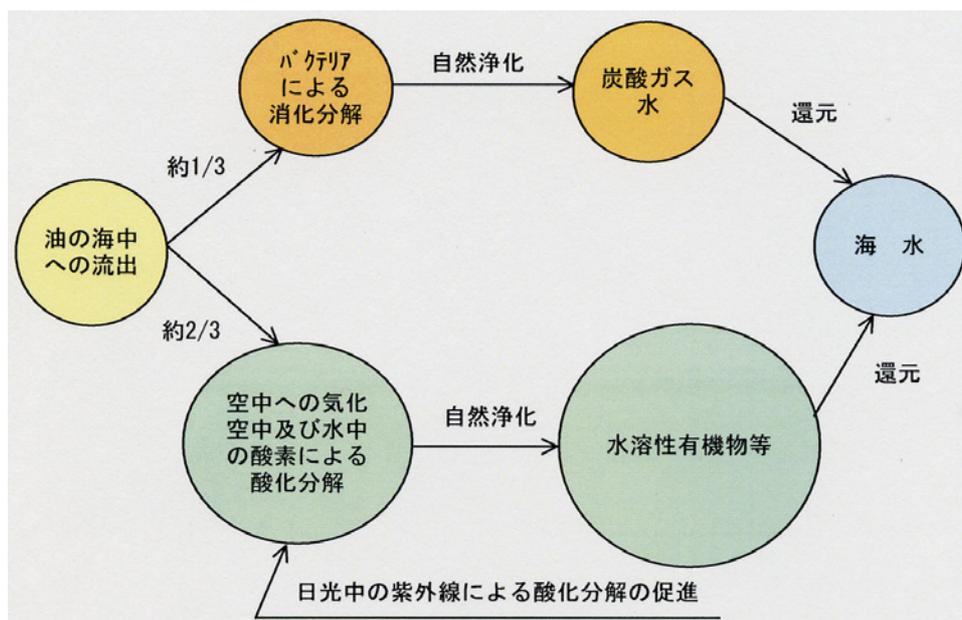


図5 海中に流出した油の自然浄化過程図

4. 流出油の風化作用

流出した油が受ける物理的、化学的变化を一般に風化作用と呼ぶ。
流出油の組成に影響を及ぼす主要な要素は、次のとおりである。

- 油の物理的性質（比重、粘性、揮発性等）
- 油の組成と化学的性質
- 気象状態（海上模様、太陽光線、大気温度）
- 海水の性状（比重、流れ、温度、バクテリアの存在、栄養分、溶存酸素、浮遊物）

中質原油の流出後の経時変化を各項目毎に分類したものを図6に示す。

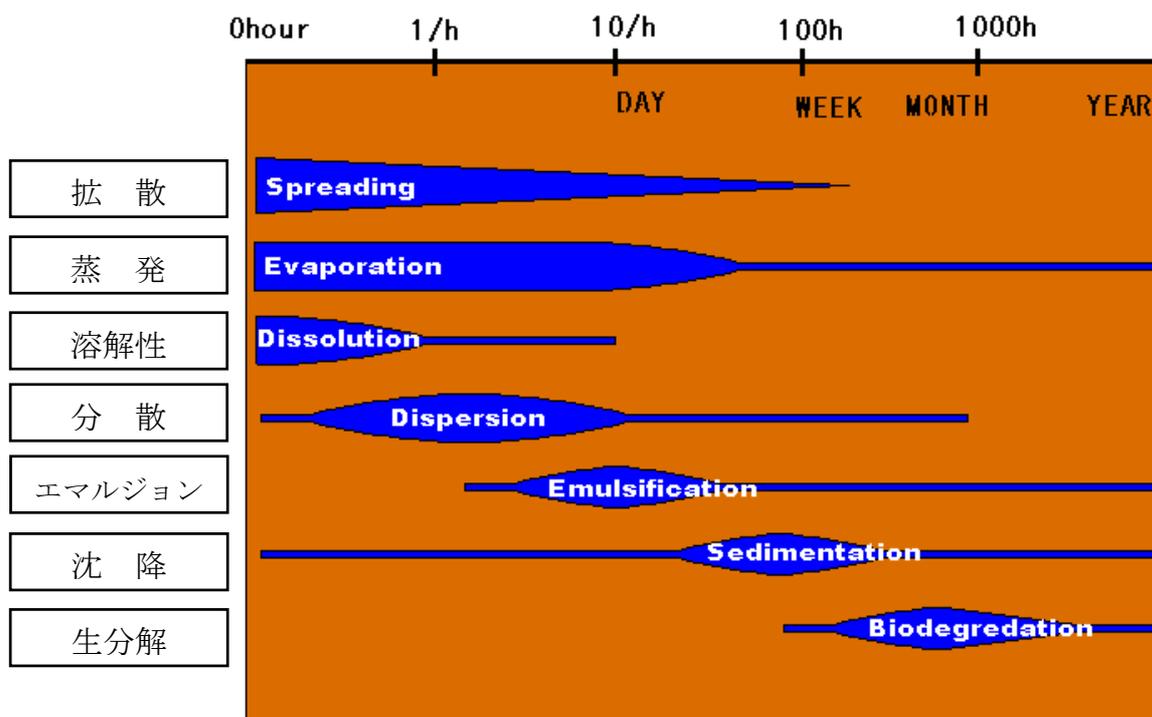


図6 中質原油の流出後の経時変化

2. 流出油の拡散

海上に流出した油は、初期の段階では油に働く重力によって拡散し、その後は油の表面張力によって拡散する。

しかしこれらの力による拡散は小さいものであり、実際は風、海潮流及び波等の外力の影響を受けながら、円形ではなく不整形の状態を示し、細長い帯状あるいは油塊状を形成しながら断続的に拡がっていく。

同時に、油特有の風化作用（蒸発、乳化、化学的分解及び生物的分解など）により次第に小さくなり、消滅していく。

(1) 拡散のファクター

拡散のファクターは、次に示すとおりである。

1) 風

海上の油は吹送流・風圧流の影響を受けて風速の約3%の速度で風下へ流される。ナホトカ号事故時のような荒天の場合は、風圧係数を高い数字にする必要がある。

2) 海潮流

海潮流の強さに等しい速度でその方向に流される。

3) 潮汐

港内等の陸地に近い所では、潮汐の方向を考慮しなければならない。

方向と移動量は海潮流の場合と同様である。しかし、外洋等の陸地から遠い水域では潮汐は周期的であり、長期的には相殺することになるため、この影響は通常無視できる。

4) 波

拡散に関してはその影響は計算できないが、油のエマルジョン化を促進する。

(2) ベクトル計算による海上流出油の移動予測

流出油現場の卓越風と海潮流を知ることができれば、既知の位置から浮遊する油の移動する速さと方向、移動量を予測することが可能となる。

例えば、図1のように海潮流の速度100%に、風速3%をベクトル計算すると、1時間でAからBに移動することがわかる。

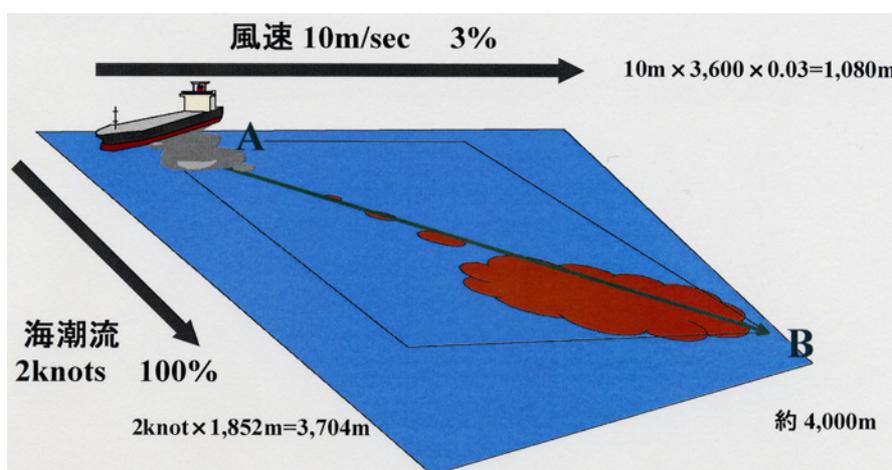


図1 ベクトル計算の例

3. 流出油拡散漂流シミュレーション・プログラム

(1) 概要

平成3～5年度にかけて、シップ・アンド・オーシャン財団 筑波研究所により行われた「大規模油流出事故対応の防除技術・資機材の研究開発」の一環として、拡散漂流シミュレーション・プログラムが開発された。

このプログラムは、我が国周辺海域のタンカールートに位置する紀伊水道海域及び相模湾・大島海域を対象に流出油の拡散・漂流状況を予測していくシミュレーション・プログラムである。

油流出事故直後から流出油が消滅（開発した海域の範囲内）するまでの拡散漂流及び風化の予測が可能となり、これによって保全水域あるいは沿岸漂着の防止対策（資機材の選択、数量、人員の配置）が事前に立てられ、随時必要なデータを提供することが可能となった。

(2) モデルの基本的な考え方

本調査では、油拡散漂流予測モデルをいくつかのサブモデルに分割し、それらを合成することにより全体のモデルを構築した。

ここでは流況予測、風の分布予測、風圧流予測及び油の移流・拡散予測の各サブモデルを基本モデルと定義し、油の物性の変化を風化予測サブモデルとして同時に取り扱えるようにしている。

油拡散漂流予測モデルの基本的な考え方を図3に示す。

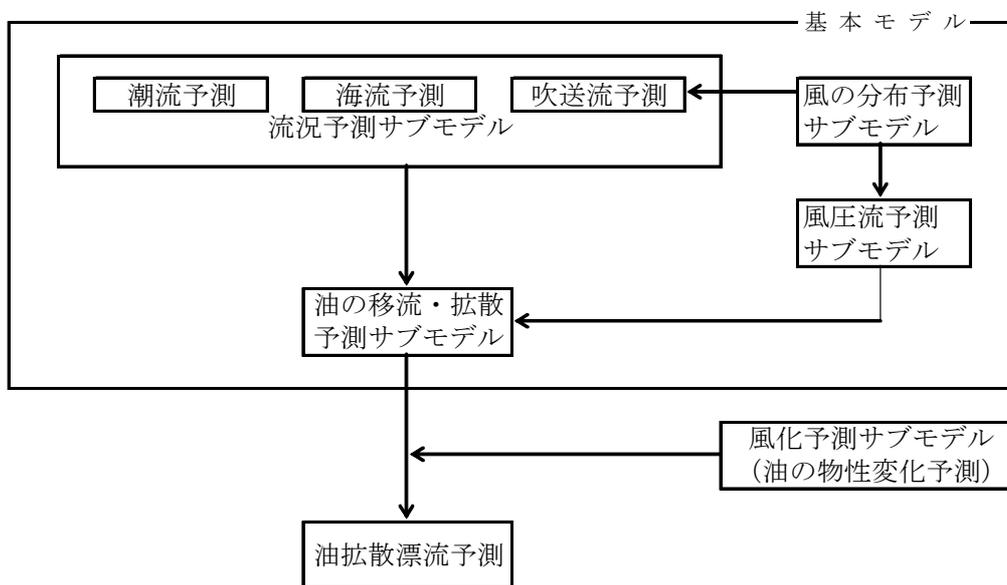


図3 油拡散漂流予測モデルの基本的な考え方

1) 流況予測サブモデル

海の流れを観測したときに得られるデータは一般に不規則なものであるが、ここでは海域の流れを潮流、海流、吹送流の成分が重なり合ったものとして捉えることを基本としている。

$$V = V_t + V_c + V_w$$

ここで、 V : 合成流、 V_t : 潮流、 V_c : 海流、 V_w : 吹送流

従って海の流れの予測も、これら要因別の流れをまず予測し、結果を重ね合わせるによって行うことができる。流れの予測については海域を格子分割して、各格子の要因別流動データテーブルをあらかじめ用意しておく方式を採用した。要因別データテーブルの内容は以下のとおりである。

イ 潮流データテーブル

潮流のデータテーブルは主要4分潮の調和定数から構成されている。この調和定数は、対象海域を単層モデルによる数値計算を行って、その計算結果を調和分解して求めた。

ロ 海流データテーブル

海流のデータテーブルは、過去の電磁海流計 (GEM) データや音波ログデータを統計処理した後、海流パターンをいくつか用意して各格子に流速を保存した。これを再現目標値とした単層モデルによる数値計算結果を用いた。

ハ 吹送流データテーブル

吹送流のデータテーブルは、4風向の吹送流計算を3層モデルで行い、その結果を経時的に保存したものである。現在の吹送流は、過去の風によって引き起こされた吹送流の重ね合わせであるという考えを基本としている。

2) 風の分布予測サブモデル

吹送流を合成するための風圧流を求めるための海上風の分布予測サブモデルは、陸上のアメダス観測点のデータから補完して求めた。

3) 風圧流予測サブモデル

油などの被膜状物質の風による漂流速度については、境界層の取扱いなど未解決な部分が多く、次の経験式で求める場合が多い。

$$V_r = k_0 \cdot U_{10}$$

過去の油流出事故例から求めた k_0 値は0.025~0.042、つまり海上風の2~4%となっている。また、風圧流による物体の移動が偏向角を持つのか、持つ場合はどの程度かは既往文献では、北半球では風向から右へ15度程度偏向させているものもあったが、多くは明確に記述していない。そこで本システムでは偏向角を任意に設定できるようにした。

4) 移流拡散予測サブモデル

ここでは油の移流拡散モデル粒子追跡の手法（ドリフトモデル）を基本とした。流出油の適当な塊を1つの粒子と考え、個々の粒子は潮流、海流、吹送流及び風圧流により運ばれ、乱れにより散らばるとする。

従ってここでは Fay の式の初期段階の拡散が終了した後の移流を考えることになり、油を想定した粒子が流れや風により移動するという設定である。

油の拡散過程は、スリックの重心の移動とその重心からの分散の和であると考えることができる。この拡散過程を粒子の移動で代表させるために、粒子個々の運動の流れによる移流と海洋の乱れによるランダムウォークの和として考えた。

油の移流・拡散予測サブモデルで用いる拡散式として、Fay、元良、Blokker の3種類の既往モデルを比較して検討を行った結果、Fay、元良の式はどちらも同程度であるが、元良の式は流出直後だけを考慮しており、基礎式としては表面張力を考えているものの、その結果が示されていないこと、また、室内実験、現場実験、実際の事故例の解析を基に検討され、その実証性が認められていることから、Fay の拡散式を用いることとした。

各拡散式の比較を表1に示す。

表1 各拡散式の比較

研究者	J. A. Fay	元 良	P. C. Blokker
出 典	The spread of oil slicks on a calm sea. (August 1969, Fluid Mechanics Laboratory)	大型タンカーによる災害の防止に関する調査研究 (昭和43年度、日本海難防止協会)	Spreading and evaporation of petroleum products on water. (Shell Research N.V.)
基本的な考え	油の慣性力、重力、粘性力、表面張力を簡単なモデルで次元解析的に推定し、重要な項を取り、基礎式を作った。	油層を簡単な形状で近似し、ポテンシャルエネルギーが運動、粘性、表面張力のエネルギーに転化するとして基礎式を作った。	「拡散速度は、油層の平均厚さに比例する」という直観的な仮設に基づく。
結果及び適用範囲	h : 大 $R \propto (dgv t^2)^{1/4}$ h : 中 $R \propto (dgv^2 t^{3/2}) \nu^{-1/2})^{1/6}$ h : 小 $R \propto (\sigma^2 t^3 \rho^{-2} \nu \omega^{-1})^{1/4}$ h : 油層厚, R : 油層径, d : 水と油の密度差, g : 重力加速度, v : 油の体積, t : 時間, ν : 動粘性係数, σ : 表面張力, ρ : 密度, 添字 w : 水, o : 油, i : 初期	h : 大 $R \gg Ri$ では $R \propto (dgv t^2)^{1/4}$ h : 中 $R \gg Ri$ では $R \propto (d^3 g v^3 t \nu^{-1})^{1/8}$	論理的には全域に対し $R^3 - Ri^3$ $\propto (\rho_w - \rho_o) \frac{\rho_o}{\rho_w} v t$ { h が 2 cm より小さい場合 }
評 価	○	○	△

Fay の拡散式

Fay は力の平衡解析に基づいて次元解析を行い油の拡散モデルを作成した。

すなわち、静穏な水面上に瞬間的に放出された油は、時間の経過とともに重力-慣性力、重力-粘性力、表面張力-粘性力の3つの過程を通じて拡散して

いくとして、拡散式を以下のように示している。

$$\text{重力-慣性領域} : R = C_1 \cdot (\Delta \cdot g \cdot V \cdot t^2)^{1/4}$$

$$\text{重力-粘性領域} : R = C_2 \cdot (\Delta \cdot g \cdot V^2 \cdot t^{3/2} \cdot \nu_w^{-1/2})^{1/6}$$

$$\text{表面張力-粘性領域} : R = C_3 \cdot (\sigma^2 \cdot t^3 \cdot \rho_w^{-2} \cdot \nu_w^{-1})^{1/4}$$

$$\text{油の最大拡散面積} : A_{\max} (\text{m}^2) = 10^5 \cdot V^{3/4}$$

C_1 : 重力-慣性領域の拡散比例定数

C_2 : 重力-粘性領域の拡散比例定数

C_3 : 表面張力-粘性領域の拡散比例定数

R : 拡散半径 (cm)

$$\Delta : \frac{\rho_w - \rho_o}{\rho_w} \qquad \rho_w : \text{海水の密度 (g/cm}^3\text{)}$$

$$\rho_o : \text{油の密度 (g/cm}^3\text{)}$$

g : 重力加速度 (cm/sec²)

V : 油量 (cm³)

t : 流出後の時間 (sec)

ν_w : 海水の動粘性係数 (cm²/sec)

σ : 正味の表面張力 (dyne/cm)

5) 風化サブモデル

油の拡散には油特有の諸課題である風化作用を考慮しなければならない。

流出直後では拡散の次に蒸発の過程が重要で、数日のオーダーでは乳化（エマルジョン化）が比較的重要な問題となっている。

更に時間の経過とともに生物的な作用が卓越してくるが、その過程は不明な点が多く単位時間の変化量は少ないが、継続時間が長いという特徴がある。

本システムでは、対象とする時間スケール（数日）を勘案して、油の風化諸過程のうち蒸発と乳化、粘性の変化までを既往資料を参考に考慮した。油の物性変化の取扱いは **Rasmussen** の論文に基づくこととした。

本システムの油風化サブモデルの機能を整理すると以下のとおりである。

- 油の蒸発過程を取り扱える
- 油の粘性変化、乳化過程を取り扱える
- 油をいくつかの構成要素に分割して各要素毎に風化過程を取り扱える
- 蒸発、乳化過程の開始時刻を任意にずらすことができる
- 乳化後の油の見かけの体積が計算できる

4. その他のモデリング

その他のモデリングの例を以下に示す。

(1) 漂流予測システム

海上保安庁海洋情報部が開発・運用しているモデリングであり、海上保安庁の巡視船から現場のリアルタイムな海潮流や風の状況に関する観測データを収集し、これらの情報を基に漂流予測を行ない、流出油の防除計画策定や防除作業を実施している。

漂流予測システムの例を図4に示す。

【相模湾における漂流予測例】

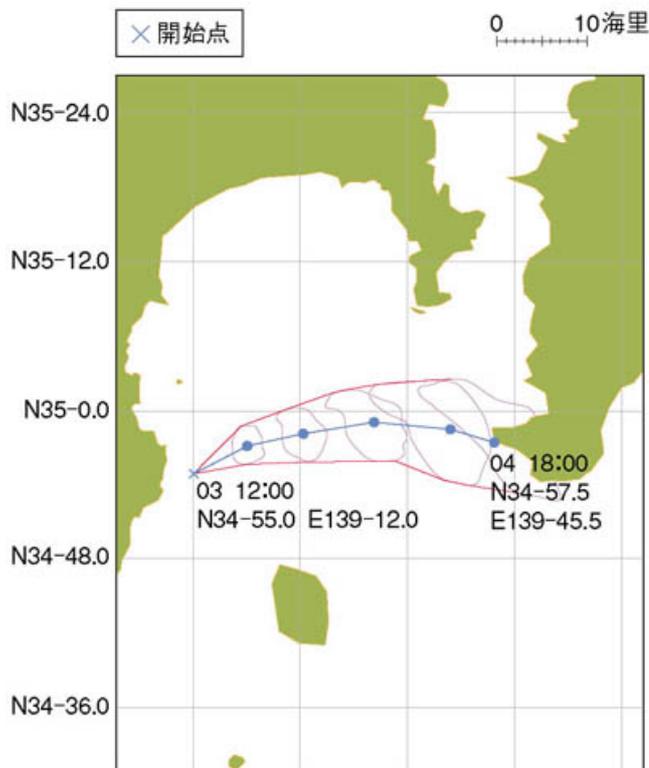


図4 漂流予測システムの例

(2) 流出油防除訓練用シミュレータ

独立行政法人 石油天然ガス・金属鉱物資源機構（旧 石油公団）が所有しているモデリングであり、全国 10 カ所の国家石油備蓄基地の関係者を対象に、流出油事故が発生した際の防除作業の疑似訓練のために用いられている。

流出油防除訓練用シミュレータの例を図5に示す。

回収油及び油性回収物の管理及び廃棄は、防除活動において非常に重要な部分でありナホトカ号事故においてもロジスティクスにおけるウェイトは大きく、処分費用も莫大なものとなった。IMO マニュアル・セクションIV（2001改訂版）における廃棄物に対する基本的考え方を記述する。

- 回収油、油性回収物の一時貯蔵、最終処分方法は、緊急時計画に記載されなければならない。優先度の高い項目である。
- 大量の油、油性廃棄物の処理は、ロジスティクス上の大きな問題である。一時貯蔵手段がなければ回収活動がストップする。
- 廃棄物の量を少なくするため油と海水、ゴミとの分離が必要である。そうすればコストも下がる。
- 海岸清掃においては、回収してしまう砂の量を最小限にしなければならない。
- 大量の海水混じりの回収物を焼却炉に入れると炉の種類によっては、クリンカーと呼ばれる塊が炉の壁面に固着し炉を傷めてしまうことがある。
- 通常、回収物は焼却処分することになるが、ランドファーミング(耕作、鋤込み)によって微生物分解することができる。この方法は、熱帯、亜熱帯地域に適している。



海岸での回収物の一時保管（ナホトカ号）

1. 概要

海上又は海岸で回収された油の管理及び廃棄は、あらゆる流出油対応活動において欠くことのできない要素であり、緊急時計画の策定プロセスにおいて重要な部分として組み込まれなければならない。

廃棄物の最少化及び異なったタイプの廃棄物の分別、隔離についての検討が緊急時計画の策定の段階及びクリーンナップオペレーションの全ての段階を通してなされていなければならない。そうすることにより、処理と廃棄について非常にシンプルな決定を下すことができる。

一時貯蔵方法、廃棄物処理、最終処分的手段が、これらの作業による環境への影響を最少化するよう注意して、選択されなければならない。清掃手法、処理方法について検討がなされ、最終処分されるものの量を減らさなければならない。

これらの手法は、油流出対応緊急時計画において、優先度が高くされていなければならない。次のような認められた処理の原則に従わなければならない。

- (1) 廃棄物の発生防止及び最少化
- (2) 再利用及びリサイクル
- (3) 人間及び環境に有害にならない廃棄

大量の油及び油性物の廃棄は、大きなロジスティクス上の問題を提起することになる。ある特定の廃棄物の発生に対する廃棄手段の選択は、最も環境を配慮したアセスメントに基づくものでなければならない。廃棄物処理に関するその地方のルールを十分反映しなければならない。それらのルールは、汚染されたものの廃棄を制限するものであるかもしれないし、濃度や量によって制限するものであるかもしれない。可能な場合には、回収油はリサイクルされ、又は精製所で処理されるべきである。回収油は、ヒーティングの燃料として適当であるか、又はきれいな燃料油の製造にブレンドされることもあるが、他の油製品の製造にリサイクルされることはめったにない。なぜなら、回収油は風化しており、砂、塩分、ゴミを含んでいるからである。

健康と安全に関する事前の注意が、回収油及び油性ゴミの取り扱い、輸送、貯蔵について、常になされなければならない。

2. 回収物の種類

- (1) 海上で回収された油又はエマルジョン化した油
- (2) 海岸清掃時に回収された油又はエマルジョン化した油
- (3) 油にまみれた砂
- (4) 油にまみれた海岸のゴミ（木、プラスチック）、海草、鳥、動物
- (5) タールボール
- (6) 油に汚染された清掃に使用した資材、器具、保護衣など
- (7) 洗浄装置によって洗い流された残渣物

海上で回収された油は、浮流しているゴミ（ガラクタ）にまみれ、多くの油は70～80%の海水を含んだエマルジョンとなっている。

一般的にエマルジョン化した油は、フレッシュオイルよりも回収が難しく、エマルジョンの組成は取扱量を多くし、又要求される処理の程度を増大させる。取り扱うエマルジョン化したものの量を減少させるため、エマルジョンを分解するケミカルを加え、海水と油を分離すれば、通常の手法で除去することができるようになる。

しかしながら、分離の過程で大量の油分を含む水を発生させ、それは環境中に放出する前に更なる処理を必要とする。油性ゴミは回収装置により分離され、更に処理と廃棄のため分離ゴミとして保管される。



時化で海岸に打ち上げられたオイルフェンス
産業廃棄物処理された（ナホトカ号）

もし、回収作業中にゴミの分別がルーティン作業として行なわれるならば、大きな利益となる。これができれば、結果的にゴミの処理と廃棄を安いものにでき、問題の少ないものにできる。少なくとも、汚染物は固形物と液体に分離し、プラスチックや回収に使用した道具などのような生分解しないものと海草のような生分解するものに分けるべきであり、これによって効果的な処理ができるようになる。

さらに分離ができる場合には、実行すべきである。油にまみれた砂や小石は洗浄し、元の場所に戻すなどの現場処理を行なえる可能性がある。

海岸から回収された油やエマルジョン化した油は、砂や砂利、小石、海草などを含んでいる。回収方法については、最大限に油汚染物を除去し、汚染されていないものを最少限にしなければならない。油と一緒に回収してしまう砂の量を最少限にするよう注意が払われなければならない。

回収物の種類	分離方法	回収分流と処分
液体 エマルジョン化 していない油	海水の比重分離、 分離した油の機械的除去	油分は燃料又は精製の原料として使う。 分離した海水は、環境中に排出する。
エマルジョン化 した油	加熱、エマルジョンブレイキ ングケミカル、砂と混ぜること により、エマルジョンを分 解し、海水を抜き、分離した 油を機械的に回収する	<ul style="list-style-type: none"> ・燃料又は精製の原料とする ・焼却 ・分離した砂は元に戻す ・分離した油は、環境に排出する前に 更に処理する
固形物 砂を含んだ油	<ul style="list-style-type: none"> ・一時貯蔵中に砂から油を ろ過する ・水又は溶剤で洗って、 砂から油を抽出する ・ふるいで固形油を除去 する 	<ul style="list-style-type: none"> ・回収油の燃料又は精製原料として 利用 ・直接廃棄 ・無機物として安定化 ・現場でのランドファーマーミング、 堆肥化による分解 ・バイオレメディエーション ・焼却 ・よく空気を混ぜた砂の土壌中への 埋葬 ・分離した水は、環境中に戻す前に 更なる処理を求められる
小石、丸石、 砂利と混じった油	<ul style="list-style-type: none"> ・一時貯蔵中に石から油を ろ過する ・水又は溶剤で洗い流し、 油を抽出する 	<ul style="list-style-type: none"> ・直接廃棄 ・焼却 ・環境中に戻す前に分離した水は、 更に処理を求められる
木、 プラスチック、 海草、吸着材と 混じった油	<ul style="list-style-type: none"> ・一時貯蔵中にゴミから油 をろ過する ・水でゴミから油を フラッシュする ・分離した油の機械的除去 	<ul style="list-style-type: none"> ・直接廃棄 ・焼却 ・現場でのランドファーマーミング、 堆肥化による分解 ・バイオレメディエーション ・分解した水は、環境中に戻す前に 更なる処理を求められる
タールボール	<ul style="list-style-type: none"> ・ふるいにより砂から分離 する 	<ul style="list-style-type: none"> ・直接廃棄 ・焼却

3. 現場での一時貯蔵及び液体と固体の分離

一時貯蔵施設は、回収物が廃棄の前に何らかの処理を求められる場合、クリーンアップオペレーションの場所が遠く又は回収された油や油性ゴミの量が多く、最終処分場への直接輸送が実際上難しいか、又は非経済的な場合に必要となる。

海上で回収された油は、通常回収船のデッキ上に置かれたタンク、曳航されるフローティングタンク、曳航されるか又は自己推進のバージに貯蔵され、その後より大きなバージ又は陸上のタンクに排出され、最終処分場に向けて輸送される。これらの一時貯蔵場所は初期段階で決定され、設置されるべきであり、地域緊急時計画で決められるべきものである。

海岸清掃オペレーションにおける一時貯蔵設備は、作業の最初の段階で決め、設置されなければならないものであり、地域緊急時計画に規定されていなければならない。要求される一時貯蔵施設の大きさ、数、タイプは、回収される物の量、性状による。

廃棄物の様々な流れの中で分離することは可能であり、油にまみれた砂、ゴミ、清掃に使用した吸着材などの固形物から、油やエマルジョン化した油を分離しておくことは重要である。

一時貯蔵設備は、一般公道にアクセスの良い清掃作業の中心地に近いところに置くべきである。人や作業機械、作業車の清掃設備は、保管施設の近くに設置し、汚染が設備から一般道路や作業員の宿泊施設に広がらないようにしなければならない。油の汚染エリアとクリーンなエリアを線引きすることに注意が向けられなければならない。

一時貯蔵設備のエリアを選択する場合には、周辺環境への汚染リスクが最少になるようにするものとし、緊急時計画の一部としなければならない。

一時貯蔵エリアは、次のとおりである。

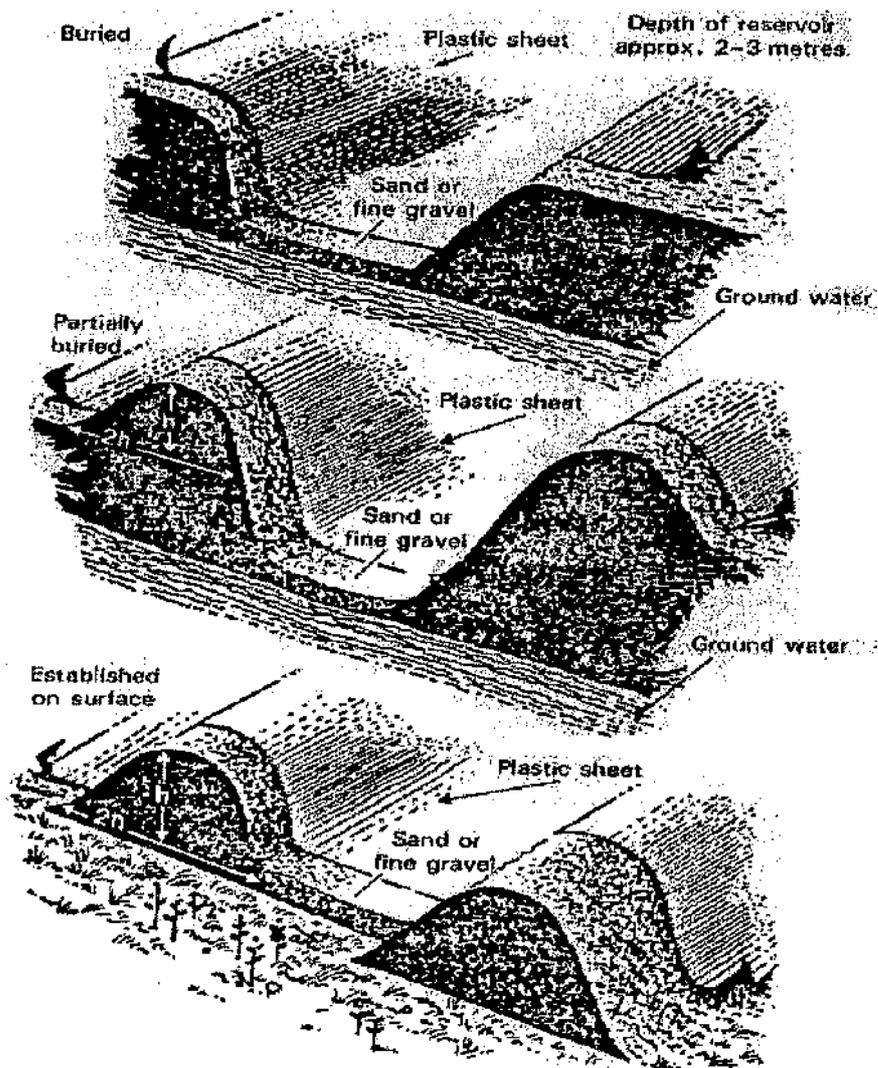
- (1) 住宅から離れていること
- (2) 地下水の汚染を招きやすいと思われる場所以外の場所
- (3) 環境脆弱性がないと思われる場所
- (4) 小川、水路などから 10m 以上可能な限り離れた場所
- (5) 漏えい及び雨水を溜め、処理する設備を設けること

場合によっては、一時貯蔵設備を地下水や地表の水の汚染にセンシティブなエリアの近くに設置することが避けられない場合があるかもしれない。そのような場合には、追加的な囲い込み等の安全対策が必要となる。それは、ハンドリングエリアから出てしまう可能性のある汚染された表面水を防ぐためのドレインや、密閉した堀や二重の空隙などである。

脆弱域でないエリアにおいては、厚い規格の切れ目のないプラスチックシートを敷いたピットが、回収油や油性ゴミの一時貯蔵に使用することができる。万一、プラスチックシートが破れた場合には、油はピットから漏れ、環境を汚染する。それゆえ、ライナーを砂又は細かい砂利の上に敷き、ダメージを避けるようにし、ライナーの下部は砂の層でなければならない。

保護層である砂の厚さと複数のライナーの必要性は、予定された活動によって変わる。ライナーを張るエリアが交通量の多いところであるなら、複数のライナーが使用されるべきである。

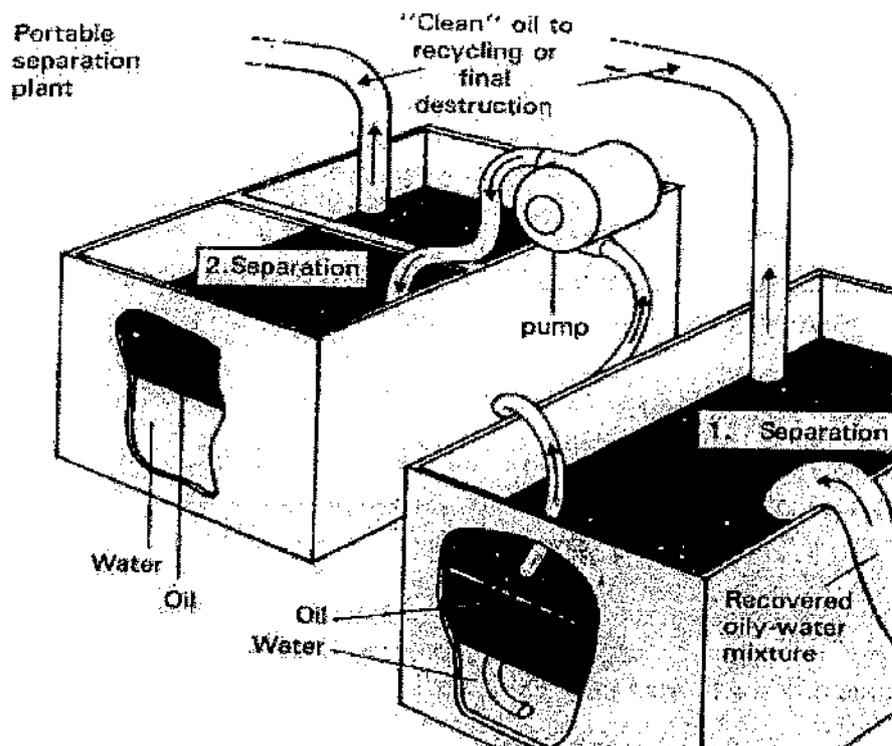
全てのライナーについては、定期的は無傷であることを確認すべきである。ピットの幅は、底部で2~3m程度として出入りをしやすくし、長さは10~20m又はそれ以上とする。大雨の場合のオーバーフローの危険性を下げるため、ピットは満析にすべきではなく、液のレベルは定期的に調整されなければならない。



ピットの写真

通常、大量の海水が回収油と共に回収される。油と水を分離する手法が、一時貯蔵場所の近くに用意されるべきである。油と水の分離は、混合物をある時間静置し、小型スキマーで表面の油を除去するか、更に特別な油・水回収システムを使用する。油と水の混合水から分離された海水は、海に戻され、油の濃度は当局の規制に合うよう十分低くする。残った油は、最終処分される。

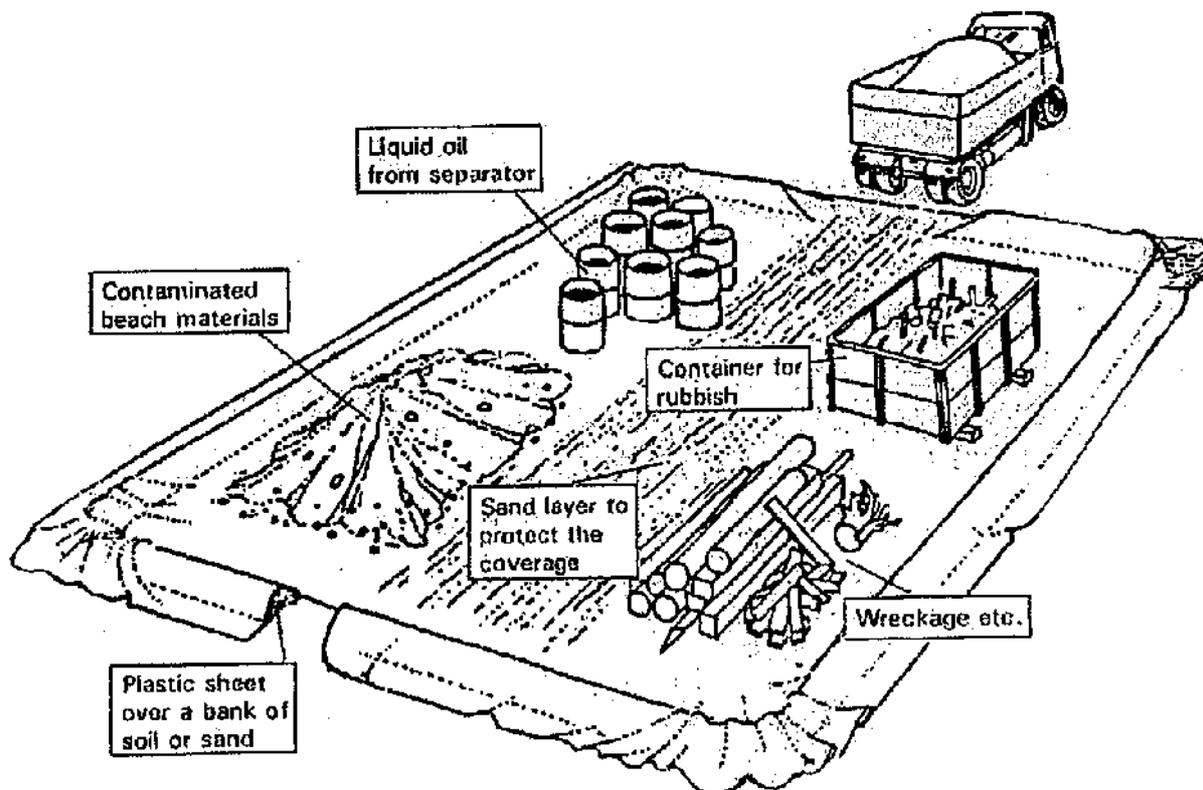
次図は、油と水の混合物の分離プラントである。



一時貯蔵を必要とする固形廃棄物は、汚染された砂、小石、砂利、ゴミ、油を吸着した吸着材などの清掃資材、回収物を入れたドラム缶、プラスチックバッグなども含まれる。これらのものは、全て適当なレベル高さの地表海岸に近い駐車場やフィールドに保管する。そして、最終処分場に運ばれる。

これらのエリアは、まず最初に切れ目のない厚い規格のプラスチックライナーを敷き、砂や土で周囲を土手で囲む。もし、車両がこのエリアに出入りするのであれば、土や砂をライナーの上に敷いて、ライナーを保護しなければならない。その現場からのドレインは、回収し、環境に排出される前に処理される必要がある。

次図は、一時貯蔵場所の図である。サイトは異なる廃棄物を分離し、分離作業が行なえるようにしなければならない。



固形物保管場所の図

4. 陸上輸送

(1) 液体物の輸送

通常の陸上トラックは、回収エリアから中間保管場所又は最終処分場への液体物の輸送に使用される。もしこれらが使用できなければ、即席のものが求められ、バキュームカー、強力吸引車、農業用バキュームタンク車などが使用できる。フラットな荷台に、オープンタンクを載せたトラックの利用は、好ましいオプションではない。なぜならば、漏洩による環境、健康、安全の危険があるからである。

安全及び実施上の規則、規定に対する注意は、蒸発する液体の油の輸送に車両を使う場合、基本的な検討しなければならないことである。

(2) 油性ゴミの輸送

通常トラックは、固形物の輸送には適している。厚いプラスチックのシートをトラックからの油又はエマルジョンの漏洩を防ぐために使用すべきである。厚手の25kg入りのプラスチックバッグが、海岸での油性ゴミの回収に使われるべきである（より大きなバッグは半分程詰める）。これは、回収には便利な方法であるが、最終処分場で問題につき当たることとなる。それは、油性ゴミとプラスチックバッグの分別である。



ドラム缶の集積：ホトカ号の例（海上災害防止センター撮影）



ドラム缶輸送：ホトカ号の例（海上災害防止センター撮影）

オープントップの 200 リッタードラム缶は、海岸での油性ゴミの回収、保管、輸送に便利である。金属又はプラスチックのゴミバケツ又は液体タイトのゴミコンテナもまた使用できる。回収したものは、ドラムやバックの中に一定期間を超えて貯蔵されるべきではない。なぜなら、それらは急速に悪化するからである。

油性廃棄物を一時貯蔵エリアから最終処分場へ輸送する前に、当局に輸送ルートについて相談すべきである。車両の清掃場所が、とりわけホイールによって道路が油に汚染されるのを防ぐために各ルートの終点に設置されるべきである。車両やけん引車は、全ての規則、指導に安全に適合しなければならない。

5. 廃棄物の処理方法

固形物から液体を分離する方法、油に汚染された水から油及びエマルジョン化した油を分離する方法がいくつかある。これらの方法は、最終処分場での処分量を減少させる。海岸での油性物、砂や小石などは、溶剤や水で洗浄できる。溶剤は回収し、油と水は遠心分離器を使う。これらにより、油の量を減らし、砂、小石などを海岸に戻すことができる。流出した液は、環境に排出する前に、追加的な処理を必要とするかもしれない。

6. 廃棄物の処分方法

回収油及び油性ゴミの処理方法

(1) 再利用

製油所での燃料又はその他の産業での利用、セメントキルンなど

(2) 安定化

油性廃棄物環境を脅かすことのないようにする

(3) 直接廃棄

事前に規定通りに廃棄する

(4) 焼却

流出現場近く又は焼却場

(5) バイオレメディエーション

現場又はランドファーマーミング、肥料化の場所で行なう

(6) 廃棄

流出現場又はその他の場所

実際は、いくつかの処理方法が採用される。それは、異なる回収物が異なる処理方法で行なわれるからである。基本は、低グレードの燃料のような2次原料として使える油を回収することであり、埋める量を減らすことである。

7. 油の再利用

回収油の最終処分を計画する場合、回収油を受け入れ、処理することができるかどうかを重質油を使用する製油所又は工場に聞くべきである。製油所は、回収油が水又は砂を含んでいても受け入れが可能な場合もある。しかし、塩分が存在すると困難となる。回収油は、製油所のスロップ（廃油）として扱われ、オイルターミナルの受け入れ施設で受け入れられることがある。

油と共に回収された水は、現場の一時貯蔵で分離されるべきである。しかし、エマルジョン化した油の中には、50%～80%の海水が含まれる。可能であれば、これらのエマルジョンは、輸送する液体の量を減らす処理がなされるべきである。

《エマルジョンの破壊》

エマルジョンは、重力分離又はそれに続く蒸留によって、油と水に分離できる。ヒーティングによって油の粘度を下げ、より速く効果的に分離を行なうことができる。エマルジョン化した油は、非常に高い粘度となり、結果としてストレージタンクの中で熱を運ぶ対流ができなくなる。エマルジョンは、外部の熱交換を通して、対流で熱せられることが好ましい。

温度は、安全なリミットの中でコントロールされるべきである。一般に作業温度は60°C～66°Cであり、安全作業温度の80°C程度が最高である。ヒーティングの時間は、経験的に確立される。

安定したエマルジョンは、エマルジョンブレイカーと呼ばれるケミカルによって破壊可能である。これらは、処理量の0.1%～0.5%の比較的低い濃度で添加される。これらは、エマルジョンの安定性を低下させ、油と水を分離させる。全てのエマルジョンに適用できる単一のケミカルはない。最も効果のあるケミカルを決め、最適な量を決めるためにテストを行なうことが必要である。

エマルジョン分解ケミカルは、回収装置から回収タンクに移すときに加え、よく混合し、最少添加量となるようにする。ケミカルはポンプの吸入側に注入される。分離後は、水はエマルジョンブレイカーとわずかな油(0.15%)を含む。水の廃棄には注意がなされなければならない。

ある種のエマルジョンは、コンクリートミキサーで砂と混ぜられることにより、部分的に分解する。70%の水を含むエマルジョンに50%の砂を混ぜると、含水率を半分下げられる。分離した水は、適切な処理を求められることもあるが、海岸に戻すことは可能である。油にまみれた砂は、決められた方法によって廃棄される。

《海岸にある物からの油の回収》

もし、回収した物が20%以上油を含んでいれば、水で洗い流したり、ガスオイルのような溶剤で油を回収することは可能である。回収した油性物をピットに入れ、低圧の水で洗浄し、ゴミから油を浮かせる。浮上した油と水の混合物をポンプで吸い上げ、静置分離する。分離は、温水を使ったクロズドシステムで行なうこともできる。装置は油のついたものを洗うためのものである。

これらの装置は、スモールスケールで使用するコンクリートミキサーから、採石場や鉱山で使用される大規模な砂洗浄、鉱物の精製装置までである。現場で大量の回収物を洗浄することのコストは、海岸から離れたところに運ぶことと比べて好ましいかもしれない。

タールボールによって徐々に汚される海岸は、通常のプラントで清掃するよりも、たいていはマニュアル手法が採用される。油と砂の混合物は、機械又は手によってふるい分けられて、油性ゴミの量を減らすことができる。油は回収され、砂は海岸に戻される。これによって、海岸の浸食の危険性も減少する。

8. 油によって汚染された海岸にあるものの安定化

過去の事故において採用された役に立つアプローチは、油に汚染された砂を生石灰、セメント、燃料灰などの無機物と混ぜて、固化して廃棄することである。これは不活性であり、油が染み出ることはない。規則に従って、安定化した材料は油性砂よりは緩い条件のもとで廃棄できる。また、高いレベルの性能を必要としない土地改良や道路建設に使用できる。同じような材料に基づく商業上の製品がある。

この手法は、油性砂が大量の木や海草を含んでいる場合には適さない。安定化の作業が行なわれるエリアは、一時貯蔵場所と同様の環境規則に従うべきものであり、緊急時計画策定過程で決められていなければならない。固化化に必要な材料の量は、油の量よりは水分の量によるものであり、現場で試験して決められるものである。

もし、油性廃棄物がよく混合され、固形物の中に均一に油が入るならば、より効果的である。生石灰の場合は、処理される物の5%~20%が必要な量となる。処理は、ミキシングプラントや敷設技術を使って行なわれる。以前は、連続ドラムミキサーなどの高価な装置が使用されたが、少量の油であればスタンダードなコンクリートミキサーを含む一連のプロセスで処理できる。

流出現場近くに十分な土地を提供できれば、敷設技術が最もコストが低いものである。廃棄物を20cm~30cmの厚さに広げ、生石灰と合体させるため、粉碎機を使って混合する。

ある状況では、油性物を輸送しやすいようにするため、流出現場のピットにおいて、あらかじめ混合することも効果がある。最終処理は、より大きな設備において行なわれるが、少なくとも一時貯蔵場所と同じ環境規則に従い、特別な装置を使うものとして、緊急時計画に決めておくべきである。

必然的に安定化技術は、腐食性ダストを生じるものであり、もし可能なら周辺に飛散するのを最少限にできる場所を選ぶべきである。また、作業員は皮膚、目、肺を守るために、保護衣、マスク、メガネを装着すべきである。

9. 直接廃棄

直接廃棄は、産業廃棄物や家庭廃棄物と共用の埋立地での廃棄を含む。直接廃棄は、油分濃度20%以下の廃棄物に適している。直接廃棄場所の選択は、廃棄物処理の権限を持つ地方当局の了解を得て行なわなければならない。廃棄場所は、受け入れる廃棄物の種類及び量によって規定されている。いくつかの国では、直接廃棄は禁止されており、多くの国では厳格に制限されている。

埋め立て地に油又は油性ゴミを埋め立てる場合に、水源や川などに油が染み出さないように、最大限の注意がなされなければならない。埋め立て場所は、漏洩を囲い込むために仕切られ、テスト井を設置し、油が地下水に染み込んでいないように、水質調査が行なえるようにしなければならない。

規則が許すならば、油と油性ゴミを家庭ゴミと一緒に廃棄することは、いくつかの現場では受け入れられる手法である。酸素の不足により、油の微生物分解は比較的遅いが、しかし油のわずかな染み出しは、家庭内ゴミによって吸収されている。ローカル規則は、このようなハンドリングを規制するかもしれない。

一般的指針として、油性廃棄物は家庭ゴミの少なくとも 4m 上に、厚さ 10cm 又は 50m の深さに置き、ドレインが流れるようにする。油性物は、最低でも 2m の厚さの家庭ゴミに続いて土の層で覆い、分解を促進し、車両の圧力によって表面に油が出るのを防ぐ。

10. 焼却

油性ゴミの野焼きは、非常に遠隔地でなければ勧められない。なぜなら、大気への汚染を引き起こすからである。国家の環境法に対して周到な配慮が必要である。油を野焼きした場合、油は広がり、土に染み込む。加えて、完全な燃焼はまれなことであるため、タール質の残渣が残る。

これらの問題は、焼却炉を使用することによって解決できる。ポータブル焼却炉も利用可能であり、廃棄物を閉じ込め、燃焼に必要な高温も出せる。ロータリーキルンとオープン炉床タイプは、固形物と油には最適である。

一般的に、家庭ゴミ用の焼却炉は、油には適さない。なぜなら、海水の塩化物が腐食を引き起こすからである。高温の産業廃棄物焼却炉は、塩分に耐久性があるが、大量の油性ゴミから出る追加的な負荷を扱うには十分でない。

しかしながら、もし長期の保管が可能であれば、これは可能である。いくつかの国では、ポータブル及び固定の焼却炉は、厳格な規則による管理に従っており、常時これに従わなければならない。

遠隔地での油及び油性ゴミの廃棄のために開発された装置の 1 つは、キルンで構成するものがある。それは、現場で 200 リッタードラム缶のような低コストの材料から集められたものである。

油に汚染された海岸の汚染物は、キルン炉の一方の入口に最大で 1 時間に 7 トンの割合で入れられ、きれいになった砂と小石は、もう一方の出口から排出される。もし、投入物が油分量が少なくとも 25% あり、水分が 50% 以下であれば、燃焼は持続する。そのユニットの耐久性は極めて短い、100 トン～600 トンの汚染された砂を処理する能力がある。

タールボールやゴミを焼却する小規模なドラム缶から作られるポータブルのバ

ナーは、1本の200リッタードラム缶から作られる。空気は、適当なコンプレッサー又はファンブローアによって接線方向に供給され、燃焼を助ける。

このような装置の製作と使用は、健康と安全に関するリスクアセスメントに従わなければならない。廃棄油の不完全燃焼から発生するガスは、とりわけ有害であることを注意しなければならない。

11. バイオレメディエーション

《ランドファーミング》

炭化水素分解微生物が、海上で油がある場合及び地上での油流出の周囲の土壌において、急速に増殖することは確認されている。世界中の多くの製油所では多年に亘り、油性廃棄物を処理するため、耕地を造成している。ランドファーミングは、油性物を土壌の上に薄く広げ、それを鋤き込むことである。

多くのケースで油性ゴミの好気性分解は、1年から3年で完了する。温度が低い場合は酸化は遅くなるが、ランドファーミングは寒冷地でも十分適用できる。亜熱帯又は熱帯気候では、炭化水素の分解はより早い。

ランドファーミングは、流出現場から適当な距離の範囲内に、適当な広さの土地を必要とする。ランドファーミングを行なう場所は、地下水又は水源が汚染物の流出により影響を受ける可能性のあるところに設置してはならない。加えて、土壌の浸透性は染み出た水が地下水に入るのを防ぐため、低くなければならない。現場は重機の出入りのため、道路によって分割した方が良い。

いくつかのエリアでは、仮の道路を造る必要がある。現場は、藪や30cm以上の大きさの石や木を除く。油性ゴミを広げる前に、上部の土壌はブルドーザーなどで耕し、そのエリアから流れ出るドレインを防ぐため、そらし溝を造らなければならない。堤防と溝が雨水により、染み出る油をとどめておくために必要である。油性ゴミは、大きな固まりでなく、2cm~10cmの厚さに表面上に広げられなければならない。

もし可能なら、ゴミ類は濡れていたり、粘らなくなるまで風化させるべきである。風化後、ゴミは鋤、ディスクトラクター、耕運機で土に混ぜる。もし、海鳥がよく集まる場所であれば、鋤き込むことをすぐに行なわなければならない。ミキシングはエアレーションを増加させ、微生物分解を促進するため、短い間隔で繰り返すことが必要である。

分解過程を維持するのに最適な土壌のpHは、6.5より高い値であり、もし必要なら生石灰を加えることにより、達成できる。尿素、アンモニウムリン酸塩などの肥料は、分解率を促進するため、添加できる。チッ素10に対してリン1を油100に対して加えるのが通常である。

もし、ランドファーミング技術を採用することが決まっていれば、わらや樹皮などの自然の吸着材を清掃作業中に使用することが好ましく、それらは急速に分解する。油が分解されれば、土は木や芽などの植物の維持に役立つ。現場の使用後、農業用地としての使用は、十分な検証とアセスメントが必要である。なぜなら、食物連鎖による汚染の可能性が存在するからである。

その他の分解を促進する効果的な手法は、肥料化の技術である。それらは、清掃作業で使用されたピート、樹皮、ワラなどの自然の吸着材や油にまみれた海草などの生分解可能なものには有効である。混合されたものは、相対的に油分は低くなり、肥料化を進めるための山に積み重ねられる。積み重ねられて山は熱を溜めるので、この技術はランドファーミングによる生分解が遅い寒冷地に適している。

しかしながら、この手法は小規模な事故に向いている。油にまみれた海草などの生分解可能な廃棄物は肥料化でき、油分の程度が多過ぎないものは可能である。たいていの油は、このプロセスで分解できる。この肥料化の技術は、結果的に廃棄物を油のないものとすると考えられる。

12. 砂丘への廃棄

最近、油に汚染された大量の砂を環境的に脆弱でない沿岸部の砂及び砂丘の牧草地に埋めて、生分解するという廃棄テストが行なわれた。この技術は、水浸しにならないところに油まみれの砂が埋められた場合に、最も効果があることが分かった。

- 回収油水、油性ゴミを一時貯蔵する方法を事前に準備しておくことが重要である。
- 回収装置があっても一時貯蔵する方法を事前に準備しておかなければ結局役に立たない。
- 一時貯蔵システムとして、専用に作られたものがあり販売されているが、非常に高価である。
- 海上土木工事で使用する土運船（バージ）、埋め立て地に穴を掘って作るピットを活用することが重要である。
- ナホトカ号事故では、海上災害防止センターは、7つのピット、計約7,000m³を埋め立て地に造った。
- 回収された油は、最終的に廃油処理施設で処理されるか、産業廃棄物として焼却される。
- ナホトカ号事故においては、油分を概ね5%以上含む油混じりの砂については焼却処理が必要であるとされ、油分が5%未満の油混じりの砂については管理型処分場での埋め立て処分が必要であるとされた。

1. 回収油水の一時貯蔵の重要性

流出油の回収を行なうにあたって、最も重要なことは回収油水の一時貯蔵をいかに行なうかということである。回収装置を稼動しても一時貯蔵方法を準備しておかなければ、回収作業は立ちどころに行き詰ってしまうのは、過去の例に数多くあることである。

このためナホトカ号事故においては、海上災害防止センターでは福井新港に合計4つの一時貯蔵用ピットを建設し、計6,200m³の回収油水を貯蔵できるようにした。

2. 回収装置に付随させる一時貯蔵システム

(1) 土運船（航路のしゅんせつなどに使用されるバージ）



500m³ 積み土運船（バージ）

(2) 専用に使われた一時貯蔵システム



専用バージ（貯油能力が 25 m³ 及び 100 m³ の 2 種類、満載状態で 5 ノットの曳航が可能）

25 m³ 搭載

膨張時：9.8m 長×3.3m 幅×1.4m 喫水、282kg、
木箱に収納（1.4m 長×1.1m 幅×0.9m 高、500kg）

100 m³ 搭載

膨張時：15m 長×5.5m 幅×2.1m 喫水、550kg、
コンテナに収納（2m 長×2m 幅×2m 高、800kg）



オイルバッグ

油回収機に簡単にコネクションでき、回収された流出油を洋上で一時保管でき、回収された流出油を洋上で一時保管できるフローティングタンク。貯油能力が 200m³ と 500 m³ の 2 種類のバッグがある。200 m³ が長さ 27.8 m、幅 6.4m、喫水 1.7m、50 m³ が長さ 17.7m、幅 4.1 m、喫水 1.0m。

3. 陸上に置く一時貯蔵容器又は陸上に建設する一時貯蔵ピット
(1) 専用の一時的貯蔵容器



ファスタック

回収油の一時的貯蔵などに使用する組み立てタンク。材質は塩ビコーティングしたポリエステル（フレームはアルミ製）。円筒型の10トン、5トンおよび箱型の1.5トンの3種類がある。



ファスタックの実際の使用例（ナホトカ号）

(2) 陸上に建設する一時貯蔵ピット

ナホトカ号事故においては次のようなピットが造られた。

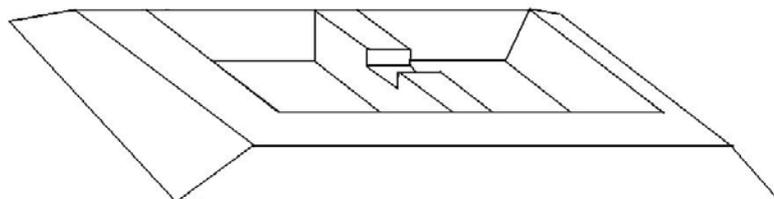
福井新港	第1ピット	2,600m ³	傾斜地を利用したピット、穴、鉄板
	予備ピット	400m ³	穴、盛土
	第2ピット	600m ³	地上に鉄板をH鋼で組み溶接
	第3ピット	2,600m ³	穴、盛土
敦賀港		250m ³	鉄パイプ、キャンパス組立
		20m ³	〃
金沢港		640m ³	穴、盛土
珠洲	11カ所	(トータル 4,450m ³)	

これらのピットに一時貯蔵された回収油水は、再度強力吸引車によって回収され、ガット船に積み込んで海路焼却施設に輸送された。

ナホトカ号の教訓として、ピットへの回収油水の投入箇所にはゴミを捕獲するための装置の設置、油と水と分離するための設計が必要であることが認識された。



ナホトカ号で建設されたピット（福井新港 第1ピット）

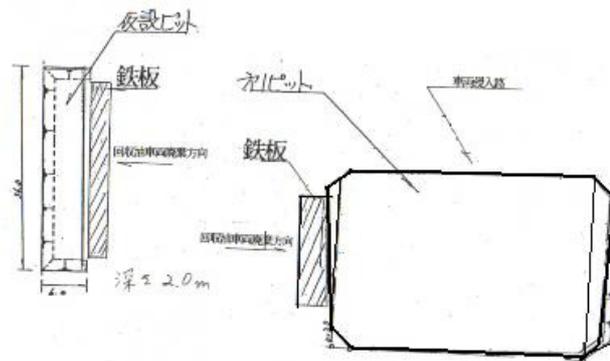


ピットイメージ（ゴミの除去及び油水分離機能も考慮）

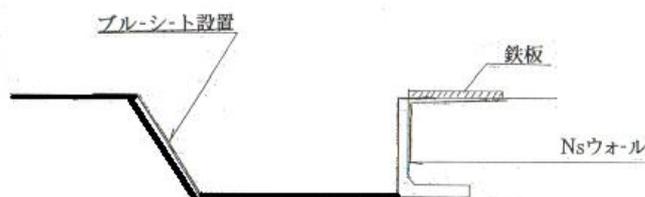
(3) ピットの例



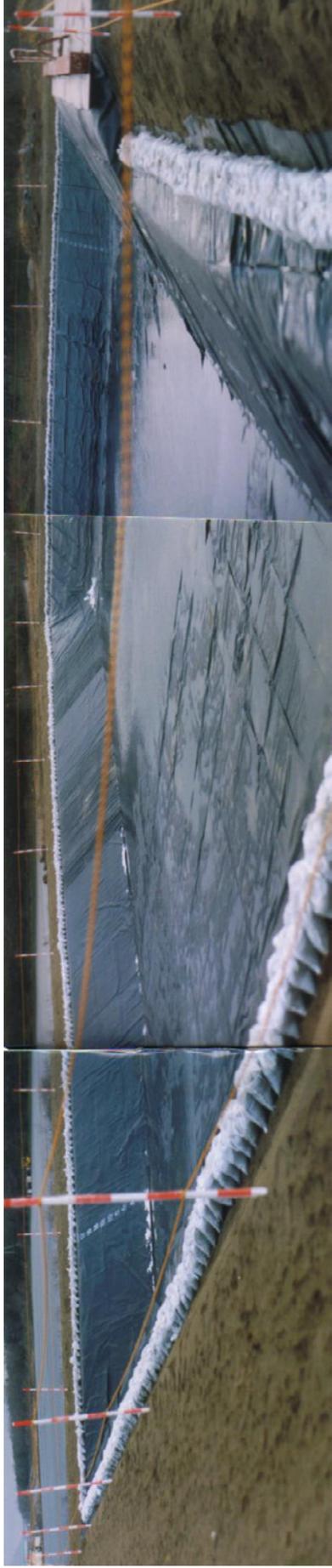
ナホトカ号事故の際に作られたピット（福井新港予備ピット）
長さ36m×幅6m×深さ2m、約400m³、



福井新港予備ピット平面図

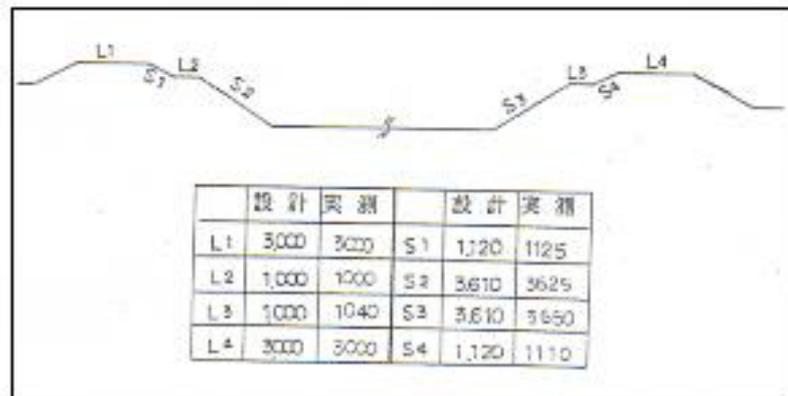
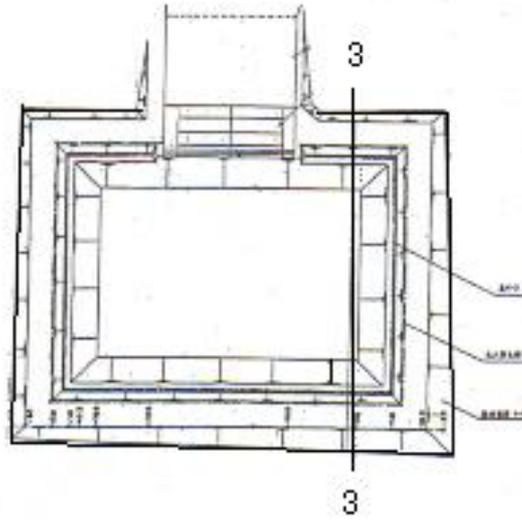


福井新港予備ピット断面図



ナホトカ号事故の際に作られたピット (福井新港第3ピット)
長さ36m×幅26m×深さ3m、2,600m³

出来高計測
3-3 断面



福井第3ピット図面

4. 回収油水の処分

回収した油は、最終的に廃油処理施設で処理されるか、産業廃棄物として焼却または埋め立て処分されることとなる。

回収油水、油性廃棄物の管理及び処分については、経験のある廃油処理業者、産業廃棄物業者の意見を聞いて適切に対応する必要がある。処理施設によっては、ゴミが混入した油の焼却ができない場合もあり、また、複数の県を横断して輸送する場合の許可等の問題もある。



産廃処理の実例（ナホトカ号）

流出油事故のほとんどにおいて、流出油は海岸に漂着するものと考えなければならない。海上災害防止センターが過去に扱った事故において、海岸線に漂着しなかった例もいくつかあるが、それらは船舶の衝突事故により海上に油が流出したものの沖合での分散処理が成功したり、油が沖に向かって漂流したため海岸に漂着しなかったものである。

海岸清掃は、海岸の種類（砂浜、じゃり浜、岩場、マングローブ、サンゴ礁、岸壁など）により適用する清掃方法が異なり、適切な手法をとらなければ清掃作業によりダメージを与えることさえある。

海岸清掃について、IMO マニュアル・セクションIV（油）からその考え方を紹介する。

- 海岸清掃手法には、手作業から機械的手法まで多くの手法がある。
- 海岸線の種類によって手法が制約される。
- 手作業で清掃する場合には、マスク、手袋、オーバーオール、長靴などを提供するとともに休息場所等が用意されなければならない。
- 広いレクリエーションビーチでは、グレーダー、フロントエンドローダーなどが使える場合もあるが、極力砂を取らないようにすることが必要である。
- 重機を使う場合には、砂浜の植生を調べ影響を与えることのないようにする。
- 油処理剤は、海岸清掃の第二段階において剥離剤として使用することは可能である。この場合、低圧洗浄、潮の干満により洗い流されることとなる。
- 回収物を入れるバッグ、一時貯蔵、輸送についても準備する。
- 自然に任せるという方法もある。
- 野生生物の保護が必要な場合は、獣医、野生生物保護関係団体、関係機関に委ねる。



海岸清掃風景

1. 概要

流出油が海岸線に向かって漂流している場合、海上での回収作業にも拘わらず、

油は海岸に漂着する機会が多い。この結果、海岸の汚染を引き起こすこととなり、清掃作業を実施し、自然の状態と社会経済的価値を取り戻すことが必要となる。海岸清掃は労働集約的なものであり、特別に設計された機械を使用することはまれである。結果として、その地で利用できる労働力、機材が使用されることとなる。

訓練を受けていない人員を使用する場合、清掃作業に従事する者は、現場で作業方法の訓練を受けるとともに、緊密に監督される必要がある。同様に、資機材についても海岸清掃に特別に設計されていないものの使用にあたっては、清掃作業において注意深くモニタリングすることが必要である。

流出油の影響を受けた海岸線を清掃するかどうかの決定は、以下のファクターに基づく。

- (1) 漂着油による生物学的な影響の程度
- (2) 漂着油による商業的な影響の程度
- (3) 漂着油によるレクリエーション活動に与える影響の程度
- (4) 漂着油の再移動の可能性と他のエリアへの再汚染、特に脆弱なエリアの汚染の可能性
- (5) 清掃作業をすることによる利点と、それによる悪影響の程度
- (6) 清掃作業の実行可能性
- (7) 政治的及び一般からの圧力
- (8) 文化的要因

海岸線での清掃手法及び使用されるべき機材は、以下のファクターによって決定される。

- (1) 危険物の存在の有無
- (2) 漂着油の性状・量・分布の状態
- (3) 海岸線の種類
- (4) 潮間帯の幅・時間
- (5) 汚染地域の気象・海象状態
- (6) 資機材の利用の可能性
- (7) 汚染エリアでの資機材搬入のアクセス
- (8) 人員の利用の可能性
- (9) 清掃作業によってダメージを受ける野生生物・その他の種の存在
- (10) 輸送手段・貯蔵・回収物の処理及び廃棄施設
- (11) コスト
- (12) 国家・州・地域の政策と優先順位

海岸線清掃の5つの段階

- (1) 流出油事故が発生する前の緊急時計画の作成
- (2) 海岸線における流出油の環境影響評価
- (3) 初期清掃段階、浮遊油及び大量の汚染物の除去

これは、漂着油の再移動とそれに伴う2次汚染を避けるため、可能な限り早期に行なう。

- (4) 清掃の第2段階：さらなる油・油性物の除去として、海岸線からの残渣及び汚れの除去。この段階は、バイオレメディエーションなどの長期的手法を含むこともある。
- (5) 現場の復興：油または清掃作業によって引き起こされたダメージの修復

2. 緊急時計画の作成

特定の海岸線を清掃するかしないか、また、適用される清掃手法の選択肢がその地域の緊急時計画に書面で記載されなければならない。

これは可能な限り上記のファクターのアセスメントに基づくものでなければならない。多くの場合、特定の流出事故に表われる特徴は、確実に予想されることはできず、フレキシビリティが緊急時計画の中で求められる。

しかしながら、対応の遅れは、汚染の状況をさらに悪化させることを意味する。例えば、漂着油は砂のような細かい堆積物と混じり、埋まるかもしれない、また風化し、岩や草木またはパイルや防波堤などの人工構造物に付着するかもしれない。漂着油または油性廃棄物は再移動し、拡散するかもしれない。これらのプロセスは、困難性と清掃コストを増大させるものである。

3. 海岸線の特徴

海岸線の特徴は、油の分布・持続及び様々な清掃戦術の適用に影響を与える。適用される清掃戦術によって作り出される廃棄物の量と種類に影響を与える。

大量の油性物が清掃作業期間中に回収され、これらの回収物の廃棄は多大な困難となる。

海岸線の特徴は、4つのコンポーネントからなる。

- (1) 基盤：海岸線が構成される材質
- (2) 海岸線の形状：海岸線の形
- (3) エネルギー：流れ・風・波の作用
- (4) 生物学的特徴：現存する植性及び生物の群

これらの特徴は、相互に関連している。例えば、海岸線のエネルギーは海岸線の形状・材質に影響を与える。

植物と生物は、海岸のエネルギーと材質に影響するものである。

海岸線の物理的特徴は、油の動きと分布に影響する。(次表を参照)

様々な海岸清掃手法の適合性に与える海岸線の特徴の影響について、以下で議論する。

海岸線の生物学的特徴は、清掃活動における重要な制約となる。影響を受けることとなる脆弱な野生生物が海岸線に存在すれば、清掃が訓練された野生生物保護官の支援なしに行なわれるべきではない。例えば、アザラシ・オットセイ、とりわけ、それらの子供がいればなおさらである。

いくつかの場合は、清掃作業は全くできないかもしれない。例えば、付近に鳥の巣があったり、危険な野生生物がいる場合など。

それ以外の場合、生物学的特徴が清掃作業の影響から保護される場合は、海岸線の植物や動物の存在は、清掃の高いプライオリティを与えられる海岸線となる。

海岸線における油の動き

物理的特徴		エネルギー及び油の動き
材質	形状	
岩盤	崖、プラットフォーム	油は、反射波により崖または露出岩には寄せつかないが、波及び風によりスプラッシュゾーンに落下するかもしれない。そこでは多孔質の表面に蓄積するかもしれない。潮間帯では、油は岩のプールに貯まり、潮間帯に合わせて岩を覆う。この油は通常、波の作用により急速に除去されるが、シェルターされた水溜りにおいては存続する。油は岩の割れ目や多孔質の材質の上に蓄積する。
人工構造物	防波堤	
丸石 (直径 250mm 以上)	浜または Rip-Rap (碎石)	油はこれらの浜では、裂け目や割れ目に深く染み込む。高エネルギー状態では、すぐに自立的にきれいになる。油は、深い割れ目または細い堆積物の中に蓄積する。例えば、小さな玉石 (pebble)、砂利石 (gravel grit) の間に。
丸石 (中サイズ 玉石) 壊れてない 玉石 (直径 \leq 250mm)	浜	一般に油の浸透は小さいサイズの材質では減少する。強い波の作用のあるエリアでは、表面の堆積物は摩滅により、すぐにきれいになる。埋没した油はしばらくは存続する。低粘度の油は、自然の水の動きにより、浜から洗い流される。
砂 (直径 2mm 以下)	浜、砂州、土手	粒のサイズ・潮汐の高さ・排水の状態が砂浜の油の浸透を決める。粗い砂の浜は、より急勾配に棚上げされ、乾かす。低水位では、とりわけ低粘度の油はある程度浸透する。 油は一般に、高潮位のマークの線のところに集中する。細かい砂粒は、潮汐のサイクルの間平らな湿った浜に残り、わずかに浸透する。 しかしながら、油は波しぶきのある状態または浜の堆積期間では、これらの海岸に埋まることもある。
泥またはシルト	潮間帯の平地、 マングローブ、 塩湿地	広大な泥の堆積は、低エネルギー海岸である。もし、堆積物が水浸しであれば、油による材質への浸透は少なく、もし油の粘度が高ければわずかである。 油は表面上に長期間存在する。油は低潮位の際に泥の中に浸透し、おびただしい動物の穴や植物の根の溝に閉じ込められる。もし、流出が嵐と遭遇すれば、油は堆積物と合体し、表面下の油は数年存続する。
サンゴ	サンゴ礁	たいいていのサンゴは、常に潮の下に沈み、浮流油の影響は受けない。世界のいくつかの場所では、サンゴは露出していて、油はワーフのサンゴ群に影響を与えるかもしれない。しかしながら、強い流れと波の状態は、急速なクリーニングとなる。

4. 海岸線での油のアセスメント

海岸線のアセスメントは、油に汚染された海岸線の特徴を記した文書を含むものであり、適切な対応を計画する場合に検討されなければならない。

上記に記述された海岸線の特徴に加えて、アセスメントチームは油の性状及び分布、そこに存在するロジスティック及び環境上の制約を記述しなければならない。

油汚染の程度及び油の性状は常に変化し、クリーンアップの過程において、異なった手法が選択される。海岸線のアセスメントは、最適な清掃手法を選択するのに役立つものである。

油の分布状況は、可能な限り正確に記述されなければならない。“heavy”，“medium”，“light”の油などの語は使わない。

次表に掲げる単純明快な用語を勧めるものである。

パラメータ	記 述
長さ (m)	油に汚染された海岸線に沿った距離。
幅 (m)	海岸線の油に汚染された一番高い位置から、一番下までの距離。
汚染域のカバー率	油に汚染されたエリア内の表面のパーセンテージ。
厚さ (mm または cm)	油層厚。これはしばしば、油が薄いために正確に測れない場合がある。
深さ	油に汚染された表面から下の深さ。埋まった油については、表面から油層の厚さまで測るべき。

5. 海岸線の清掃手法

海岸清掃には、手作業手法から機械的手法まで多くの手法がある。次表に異なった海岸線に対する初期清掃及び第二段階の清掃に使われる手法をまとめた。

この表では、一般的に推薦できる手法・役立つ手法、あるいは適用すべきでないかまたは推薦できない手法についての、ガイダンスを提供するものである。

油は人間の健康にとって有害であるかもしれない。とりわけ、長時間の皮膚への接触、ベーパーの吸入は有害である。ある種の原油は、非常に有害な硫化水素を含んでいる。事前の安全に対する勧告が、油と接触することとなる全ての対応人員によって、訓練されるべきである。最も引火性のある有害な成分は、岸に到着するまでに蒸発してしまっているであろうが、油は人にとって不愉快な臭気を発生させるので、マスクまたは呼吸具の着用を求められる。清掃に従事する人員は監督され、適宜な休憩時間を与えられるべきである。適宜な保護衣、例えば手袋、オーバーオール、ブーツなどが提供されるべきであり、作業従事者の皮膚に油が接触するのを防ぐことに使われるべきである。全ての人員に対しては、衛生及びサニタリー施設にアクセスする用意がなされているべきである。油は作業場所を滑りやすくするものであり、全ての人員は油で覆われた岩場や人工構造物の上を歩くときは、十分注意するよう監督されるべきである。

異なる種類の海岸線への適用手法

	初期段階の清掃					最終段階の清掃						
	ポンプによる回収	機械的回収 (マニカル・リム バル)	手作業による除去	自然に 任せる		低圧 フラッシュ	高圧洗浄 サドブラスト	処理剤	吸着材	バッチ 洗浄	自然に 任せる	
岩場、 丸石、 人工 構造物	リコ メンド ◎	適用不可	リコ メンド ◎	適用可 ○	アクセスが困難な 場合は、ポンプ による回収は 難しい。露出し た遠隔地は自然 に任せる。	適用不 可	リコ メンド ◎	適用可 ○	適用可 ○	適用不可	リコ メンド	必要以上の磨滅を防 ぐ丸石の清掃は困難 であり、しばしば結果 は良くない。
小石、 小さな 丸石	リコ メンド ◎	リコ メンド しない ×	リコ メンド ◎	適用可 ○	露出した遠隔 地は自然に任 せるべき。	リコ メンド ◎	リコ メンド しない ×	適用可 ○	適用可 ○	適用可	適用可	もし条件が良ければ、 少ない油を波打ち際 に押し出し、自然に任 せる。
砂	リコ メンド ◎	適用可 ○	リコ メンド ◎	適用可 ○	重機の使用は、 しっかりした 砂浜のみ可能。	リコ メンド ◎	適用不可	リコ メンド ◎	適用不可	適用可	適用可	固まった油はビーチク リーニングマシンによ って回収する耕作用 のすきまたはまぐわ で自然に任せる。
平らな 泥、湿地、 マングローブ	適用可 ○	リコ メンド しない ×	適用可 ○	リコ メンド ◎	作業は小さな 浅い喫水のボ ートから行なう べき。	適用可 ○	リコ メンド しない ×	リコ メンド しない ×	適用可 ○	適用不可	リコ メンド	作業は小さな浅い喫 水のボートから行な う。

6. 自然に任せるという手法

あるケースにおいては、唯一実行可能な選択は、漂着油を自然による消失に任せることである。これはあらゆる清掃作業が油自体よりも大きなダメージを与えることとなるからである。非常に生物学的に脆弱なエリアにおいては、正当化される。また、自然に任せるという手法は、経済的・社会的・環境的に脆弱であることを考慮する必要のないエリアにおいても適用可能であり、特に波が打ち寄せる荒れた状態にさらされ、自然による清掃がすぐに行なわれるようなところではなおさら適用可能である。

もし、汚染エリアが孤立したところかまたは険しい地形でアクセスが難しい場合には、油は自然の分解に委ねる。

定期的なモニタリングが、自然分解の度合いまたは油に汚染されたエリアの清掃度合を測定するため勧められる。

7. 手作業による除去

手作業による回収は広く適用でき、あらゆる種類の海岸線に使用できる。とりわけ、脆弱域及びアクセスが困難なエリアに対して適用できる。機械を使う手法よりも選択肢があるが、作業は遅くなる。

手作業により清掃されたエリアは、物理的攪乱が少ないため、より早く回復する。油に汚染された部分は、汚染の種類・形状により、熊手、シャベル、スクラッパーで回収される。

回収された汚染物は、ゴミ入れ、フレコンバッグなどに入れて、車または人力で輸送される。もし、ゴミ入れバッグを人力で移動するのであれば、安全と人力による移動を可能にするため、過剰に詰め込むべきでない。一般的に、これらは 25kg を超えるべきでない。限られたアクセスしかない辺りな地においては、回収された油性ゴミについては、ボート、イカダ、ヘリコプター及びカーゴネットやその他特別なものではないその地で手に入る即席のものが求められる。

しかし、そのような活動の実施においては、安全と漏えいを避けることが求められる。

8. 吸着材の使用

吸着材は、清掃作業中に回収された油の海面上に漂う油膜を除去するのに役立つ。

また、吸着材は侵入してくる油からビーチを守るために、ある状況下において使われることがある。

吸着材は、手作業または特別な装置で撒かれる。油を吸着した吸着材は、そのタイプと回収されるべき量に応じて、手作業または回収ユニットにより回収される。海上浮遊油の回収は、原則として船から回収装置を使って行なわれるものである。

吸着材は、水よりも油を多く吸い取る製品である。それは、いくつかの限られた状況で使われる。スキマーによる回収が困難な場合や、例えば水深が浅く船が近づけないか、または油の量が少ないなどのときである。

吸着材の適用

形状	適 用
マット型 (方型)	<p>少量の軽質の油を吸収させるために、限られた狭いエリアに置く。より多くの油を吸収させるため、一定時間放置する。しかし、よりの確に吸収するように常に注意が払われるべきである。</p> <p>オープンウォータに撒かれるべきではない。なぜなら、油は広範囲に広がり、油への遭遇の確率が低いからである。海上浮遊油に接触しても、吸着材は表面を覆われてしまい、油が非常に軽質油でない限り、多くの油を吸収することはない。</p> <p>吸着マットを何枚も何千枚も、船からばら撒くことは簡単である。しかし、それらが成功裡に回収されることは、まれであり、遠くまで漂流し、汚染されていない海岸に漂着する。</p>
ロール型	<p>ロール型は、最適な長さにカットし、また裂くことができるので、便利である。</p> <p>作業員の歩行路、船のデッキ、作業エリア、汚染されていないエリア、清掃されたエリアを保護するのに効果的である。シンプルに巻かれ、その目的が達せられれば、速やかに取り払うことができる。</p>
ブーム型	<p>ブーム型は、油の吸収とブームとしての2つの働きを持つ。非常に静かな海上でのみ効果がある。</p> <p>網の中に密に入れられた吸着材料は、油の浸透を防げる。粘度の高い油では、表面が覆われ、ブーム自身の中に油が入るのを防げる。</p>
バラ状	<p>バラ状の吸着材は、海上での油の吸着には推薦できない。</p> <p>(しかしながら、バラ状の吸着材の材料は、辺りな場所やアクセスできない場所での漂着油の固定には、役立つものである。)</p>

9. 油、油性堆積物、ゴミの機械的回収

地域の事情に応じ、グレーダー（地均し機）、スクレーパー（削ぎ落とし機）、フロントエンドローダーなどの地表を動く様々なタイプの機械が使用できる。

広大なアクセス可能な砂浜では、大量の油に汚れた砂を除去し、輸送できる。これらの機械は、砂浜においてフレッシュで粘度の高い油を効果的に扱うことができる。しかしながら、この手法は選択すべきものではなく、大量の汚染されていないきれいな砂までも取ってしまうものである。油は、回収されるもののたかだか1%~5%に過ぎない。

もし、砂の上の油層の厚さが薄ければ、あるいは波の作用により油が表面下に入っていれば、油分率は更に下がる。

また、機械の使用は砂浜の中に油を混合する結果となる。清掃作業員と道具が調達でき、効率的に組織化できる限り、大量の廃棄物を発生させることを避けるために、人員による回収が機械による手段の前に検討されるべきである。

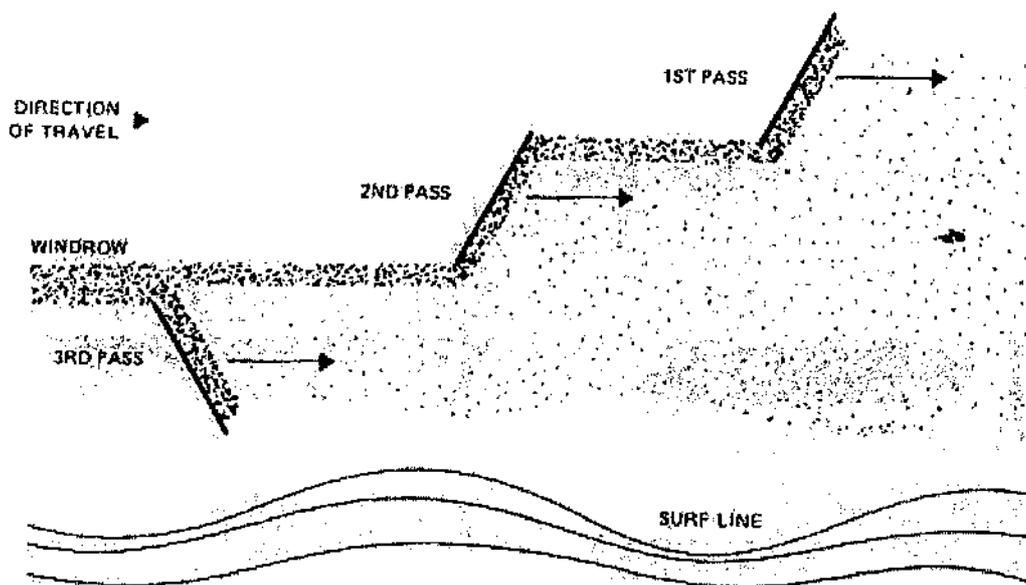
キャタピラーの機械は、使用は避けるべきである。砂の過剰な除去が、砂浜の侵蝕を引き起こさないような注意が実践されるべきである。機械のオペレーターに対する徹底的なブリーフィングが要求される。

脆弱域においては、機械による除去は勧められない。しかし、急いで清掃をする

必要のあるレクリエーションビーチの大量の油の場合においては、適用できるかもしれない。

機械的回収を行なう場合は、油性物はグレーダー（地均し機）によって、浜の上部から海岸線側に平行に押し出す。そして、フロントエンドローダーまたはスクレーパー（地均し機）によって回収される。機械は、残りの油を更に砂浜にミックスすることを避けるため、清掃されたエリアを横切ってはならない。正しい手法は、機械の使われ方によるものであり、浜のクリーンサイドからオペレートされるべきである。回収された油性廃棄物は、並んだ車両または高潮線より上の一時貯蔵容器に直接運ばれる。

いくつかのエリアでは、ビーチクリーンマシンが利用できる。これらは、レクリエーションビーチのゴミ、残渣物を回収するため設計されたものではあるが、タールボールのようになった固形の油を回収するのに役立つ。それらの機械は、自身で移動するか、またはけん引される。最も一般的な作業原理は、ふるいによって砂浜から汚染原因物質を分離して、汚染された浜の表層物を除去する。地上を動く機械のようなものは、油に汚染された浜の海岸寄りの部分から、浜辺に向かって作業する。





Wheel Loader



Caterpillar Loader



SCRAPER



SCRAPER



EXCAVATOR



Motor Grader

10. 液体の油、油性堆積物、ゴミのバキュームによる回収

バキューム機は、漂着油・帯溜油の回収では最も効果がある。汚染物は一般にゴミ・砂を含んでおり、ポンプの機能では吸引しないからである。

産業・衛生・農学用のバキュームトラックは、浜にアクセスの良い場所では、海上または油溜りから油を吸い上げることに利用可能である。

吸引装置の効果を上げるためには、ホースの先端にフラットなサクションヘッドを取り付けることが有効であるが、これは薄い油を回収することが可能である。

特別なサクションヘッドは、継続的な吸引を可能にするため、バキュームトラックに取り付けることもできる。その他の吸引方法は、ポンプは固形物に対して高い許容量を持たなければならないが、油の厚さが十分であれば効果的であるかも知れない。

溜まった油または海面上の油は、貯蔵船に送られる。もし、油に覆われたエリアが広い場合または油の厚さが薄い場合は、油を一旦砂に掘った溝またはピットに削ぎ落として入れ、そして入れ物にポンプで吸引する。

これらの溝またはピットは、潮が満ちる前に清掃されなければならない。油性ゴミは、バキュームホースに向かって削ぎ落とされなければならない。ホースへの空気の流入がしばしば効果を下げるので、油の粘度が非常に高く、空気または水の流入がホースの中の流れを良くする場合を除き、それは避ける。もし、バキュームシステムがビーチで使われるのであれば、ビーチが重量のあるトラックを十分に支えられることを最初に確かめる。

11. 海岸の小石などの自然の力による洗浄

この手法は、わずかに汚れた丸石（大・小）、小石を清掃し、沈殿物からゆっくりと油を除去するために自然の波の力に頼るものである。この手法は、とりわけ嵐や荒天が期待できるシーズン中または前が適当である。これを行なうための一つの方法は、汚染された小石などをグレーダー（地均し機）やブルドーザーにより、波打ち際に押し出すことである。

油に汚染された小石類は、波または潮の動きにより、浜に戻ってくる。そして、その過程で波の作用と研磨により、油は基層から除去される。再び出てくる油は、スネアーまたはその他吸着材のブームで回収する。もし、油の汚染が非常に薄いか油が風化した油であるならば、自然の分散に任せられる。この方法は、浜の形状を変えてしまう結果となるので、このことが浜の浸食またはその他の問題を引き起こさないように専門家と協議する。

小さな丸石の堤は、しばしば沿岸の浸食に対する重要な防護となっている。もし、それらが油を除去するために波打ち際に押し出されるならば、それらが再び波または潮の作用により、元通りになることが保証されることが必要である。一般的にこの手法は、浜が堆積される期間に行なわれることが勧められる。さもなければ、堤が再構築されるべきである。もし、堤が自然に浸食されたり、形成されるのであれば、自然にきれいになるのであり、そのままにしておく。

もし、わずかに汚れたビーチがレクリエーションに使われていることもなく、ま

たそのように使われているとしても、その時期でないならば、油に汚染された小石類は風化、風化による油分の低下に任せ、自然に除去される。

自然の除去は、ディスク鋤・回転機での「レーキ」を使用することによって、堆積物をかき回すことにより、増進される。表面は波の作用により清掃されるので、「スキ」は下層の油に汚染された層を表面に運び、波の作用に晒すようにする。「スキ」は、浜の全ての長さに沿って、波打ち際に平行に汚染域の上の方から行なう。このプロセスは、何回も繰り返すことが必要である。この手法は、細かい砂の堆積物または、浜が急激に拡大するようなどころには適さない。

12. 低圧の洗浄または堆積物の洗い流し

海水を浜に流して油汚染された浜や油性のゴミを洗い流す方法は、様々な形状の海岸線で行なうことができる。この方法は、他の方法よりも植物群にダメージを与える可能性が少ない。基層を掻き乱すこともなく、脆弱域でも使用可能である。

除去された油は、他の海岸線を再び汚染する恐れがあるので、ブームまたは溝によって集められ、スキマーやポンプ、バキュームで回収される。洗い流しは、汚染域の最も高い位置から始め、波打ち際に向かって続けられる。流れた油が、油に汚染された帯の下のきれいな部分を汚染することのないように、注意しなければならない。もし、これを怠ると、更なる環境ダメージが引き起こされる。もし、これができないのであれば、油性物の洗い流しは満潮の潮間帯において、高潮または上げ潮のときに限って行なう。

13. 高圧洗浄

高圧洗浄ジェットは、固い表面から風化した油を除去するのに、しばしば使われる。基尺に動植物群がない場合には、高温水が使われる。

機械によって、80~150気圧の水が供給され、高温水としては60℃~95℃の温度が必要とされる。高温水には海水は勧められず、大量の真水の供給が要求される。いくつかの機械は、蒸気を使うことができる。

高圧洗浄は、岩、大きい丸石、人工構造物の固い表面に対してのみ行なわれる。人工構造物に対しては損傷を与えないように、モニターされるべきである。この方法は、表面の海洋生物を殺してしまうので、専門家による助言を求める。洗浄は、頂部から下に向かって行なう。築堤、溝、ブームで油の混合物を集め、スキマーやバキュームで回収を行なう。高圧洗浄は、いくつかの場合では丸石や小石の洗浄に使われる。

高圧洗浄ジェットは、堆積物を浜の方に押し出し、その後浜に上げるように使われる。この作業は、何回か繰り返されるが、ビーチの形状は作業後も原形に近い形とする。しかしながら、油がさらに堆積物の中に入り込まないようにする注意が必要である。

14. 化学薬剤の使用

油処理剤を含むいくつかの化学薬剤が、海岸の清掃に使用できる。それはたいていは、低圧洗浄または潮の干潟による洗い流しと一緒に使用される。ブラシなどを使って、固い表面にごく少量の化学薬剤を塗布することは、化学薬剤を油に混合させ、洗い流しのときの油の除去に役立つ。多くの国で事前の許可を必要とする。薬剤の効果は、海上で使われるときよりも、一般的に油の粘度によって限られる。環境条件によって化学薬剤の使用は限られ、例えば塩湿地、マングローブ、コラルなどの近くでは制限される。

また、海水取水口の近くや油が堆積物の中にさらに入ってしまう場所、丸石、小石、砂利、乾いた砂浜などでは、使用しない。

化学薬剤を使用する人員は、適当な保護具を着用する。MSDS シートが化学薬剤の使用の前に検討する。

15. サンドブラスト

この手法は、平坦な固い人工構造物であって、非常に美しく終了させるような場所では、有効である。しかし、ブラストに使った砂は、除去物は回収されなければならない。この手法は、海洋生物・植物に非常にダメージを与えるものであり、自然または人工の防波堤などに、清掃は頂部から下部に向かって行なう。

除去された物質は、手作業または機械的手段によって、海岸から除去されなければならない。作業員と近くにいる人は、呼吸具も含め、保護具を装着する。いくつかの国では、サンドブラストは禁止されている。

16. バイオレメディエーション

バイオレメディエーションとは、バクテリア菌類による油の分解を加速するものである。たいていは、油性堆積物への栄養剤の散布を含むものであり、活性化させるためのエアレーションも含む。

自然の分解菌が使用される。全ての油及び油性物が分解されるわけではなく、残渣が残る。これらは、たいていは波などの自然のプロセスによって除去される。分解プロセスは遅く、バイオレメディエーションは清掃手法ではないが、最終手法または復興手法と考えられる。

海岸清掃作業の運営

1. 組織化

海岸清掃に従事する作業勢力の組織化は、作業の成功にとって極めて重要なことである。組織の構造と対応の名称は、変わるかもしれないが、一般的に2つの組織構造が設立される。

(1) 指揮グループ（コマンドセンター）

全般的対応を指揮し、データを収集し、評価し、清掃作業の効果をモニターし、インパクトを受けた海岸線の清掃に使う資機材、人員の配分を調整する。

(2) フィールドチーム

清掃作業を実行する。これらのチームは、現場の状況を調査し、指揮グループ（コマンドセンター）に必要な情報を提供する。

清掃作業の全般的な指示は、対応チームのインシデントコマンダーによって出される。より大きな対応では、海岸線の対応の責任は、海岸線の現場調整官に任される。

現場作業の全てのエリアは、コマンドグループへの定期的な報告によって監督され、それは活動及び進捗状況、成果の評価を含む。またそれは、毎日進んでいる清掃や一時貯蔵、廃棄などの資機材の要望を伴うものである。

2. コマンドセンター

コマンドセンターは、対応活動を指揮できる場所に設置されなければならない。このセンターは、容易にアクセスでき、必要なら表示ポストが置かれ、通信設備が設置され、事務所としての設備も備えられなければならない。

もし可能であれば、レスポンスチームの宿舎、食事場所は、基地の近くに設置する。長引く作業に備えて、交替制も必要である。大規模な対応においては、前進コマンドセンターが清掃現場に近いところに設置する必要がある。これらには、移動コマンドセンターが役に立つ。この移動コマンドセンターは、小さな地域に限定されれば、清掃にも使うことができる。

3. 通信

コマンドセンターは、無線、電話、FAX、モデムラインを備える。海岸清掃を含むチームと常時コンタクトできなければならない。携帯無線機、携帯電話は、ワーキングサイトと本部を結ぶ最も便利な通信手段である。遠隔地では、中継所が必要かもしれない。フィールドチームの監督者は、日に1回か2回はコマンドセンターに報告しなければならない。

4. 安全

安全は、コマンドセンター及び現場の両方に要求されるものである。油に汚染さ

れた海岸線へのアクセスは、浜から汚染が拡大するのを防止するものでなければならない。しばしば適当な看板で十分であるが、警察やその他の警備が必要になることもある。

多くの資機材が現場に残されるので、盗難や破壊から保全されなければならない。油にまみれた機械は、一般の人々の健康や安全のリスクを乱すものである。

5. アセスメント

変化する状況を把握することは、作業の効果的なコントロールにとって、基本的なことである。作業チームによってなされる定期的な報告のメカニズムが確立されなければならない。

一般的に海岸線の油、清掃の進捗のアセスメントは、地上で行なわれる。ヘリコプターや固定翼機の活用は、全体的な現場の状況を把握するのに有利である。もし、さらに油が漂着するような場合には特に。

6. フィールドサポート

フィールドチームは、ある範囲の供給と支援施設の提供を受ける。

- (1) 宿泊
- (2) 食事
- (3) 手洗いとトイレ設備
- (4) 応急措置
- (5) 休憩所（雨・風をしのぐ）
- (6) 個人保護具
- (7) 作業現場への往復交通手段
- (8) 現場での洗浄設備

7. 現場運営

油汚染エリアへの無許可侵入を制限することに加えて、海岸線での作業現場は汚染エリアから他の場所に油が拡散するのを防ぎ、危険エリアへのアクセスを制限し、燃料補給や休憩エリアのようなサポートエリアの安全を確保するように運営する。

一般的に次の3つのエリアが指定される。

- (1) 汚染ゾーン
清掃作業が行なわれているか、または油性廃棄物が保管されている場所。
油に汚れた資機材が置いてある場所。
- (2) サポートゾーン
資機材の清掃場所、移動トイレ、休憩の場所。
- (3) パブリックゾーン
一般の人が入るのを制限されない全てのエリア。

一般に汚染を除去する施設は、汚染ゾーンとサポートゾーンの間には置かれる。全ての人員と資機材は、油に汚れた浜から離脱するときに洗浄される。

廃棄物の保管エリアも、この境界線に置かれる。もし必要なら、現場の安全はサポートゾーンとパブリックゾーンの境界に置かれる。

8. 訓練

海岸清掃に従事する人々に対して、現場で教育をすることは必要なことである。この訓練には、適切な技術・資機材の使い方、衛生、安全、流出油対応に関する全般的なインストラクションを含むものである。

長期に亘る対応では、訓練は継続して行なわれることが求められる。新しい人員が導入され、今までいる人々に対しても清掃手法が変更されるときに、教育が行なわれる。

9. 資機材のメンテナンス

海洋環境の中で使われる資機材は、機械的故障を避ける必要がある。整備され、修理することにより、オペレーターは支援される。

10. 現場復興

海岸清掃の最終段階は、油の汚染あるいは清掃活動によって、環境に与えたダメージを修復することからなる。修復とは、

- (1) 浜の構成物を元の位置に戻すこと、または構成物の修復
- (2) 砂丘の安定化
- (3) 植物の再移植

全てのケースにおいて、影響を受けた現場を修復するための最も良い方法について、専門家のアドバイスを求めることが勧められる。

11. 海浜形状の復元

油性堆積物を除去し、移動するための機械の使用は、浜の形状を変えてしまう結果となり、これは侵食につながるものである。海岸清掃は、これを最小化するとともに、できるなら防ぐように実施される。

しかしながら、いくつかのケースでは、これは避けられないことであり、堆積物は汚染されていないだいたい同じ粒径の範囲のものに入れ替えて、原形に戻されなければならない。

たいていの海岸線は、もしわずかな堆積物が除去され、堆積物が貯まる時期のような浜の増幅過程に清掃が行なわれたなら、すぐに元に戻る。

12. 砂丘の復元

砂丘は、機械、車両または作業員の海岸との行き来により、影響を受けている。

ダメージを制限するため、通行は現存する道、ワダチ、いくつかの用意したルートに限定する。

それにも関わらず、何らかのダメージは発生し、清掃作業の後もこれらは安定させられなければならない。この作業は、ダメージを受けた植物の再移植、一般公衆の立ち入りを制限するための保護カバー、マットなどの展張によって、実施される。

植物の選択が影響を受けたエリアに、土着している種類を考慮するものであるよう専門家のアドバイスを受ける。

13. 塩湿地での植物の移植

第1段階として、自然による復元があるかどうかについて決定するために、ダメージの性状を評価することが必要である。もし、自然による復元力があるのであれば、モニタリングプログラムが自然復元の程度を観察するために、確立されなければならない。再移植は、以下の条件により勧められる。

- (1) 影響を受けたエリアが、希少または絶滅種または渡り鳥によって使われ、ある時期の植物の欠如が生物を危険にさらす場合。
- (2) 湿地が侵食にさらされること。
- (3) 湿地が、フィッシング、ハンティング、レクリエーションに使用される場合。

次の2つの技術が湿地の植物の復元に有力であるが、それぞれ利点と欠点がある。

(1) 種蒔き

種は、手作業または航空機によって蒔かれる。この技術は低コストであるが、いくつかの制限がある。波と流れは、種が成長する前に洗い流すかもしれず、渡り鳥の水鳥は若い植物を傷つけるかもしれず、植物が野生生物を保護し、浸食を防ぐようになるには時間がかかる。

(2) 移植

これは苗木の移植からなる。移植は手作業で行なわれ、移植の深さは苗木の間の空間、季節的タイミング、潮からの高さを正確にコントロールする 必要があり、それらは専門家のアドバイスを要する。この技術は労働集約的であるが、早い結果をもたらす。浸食や特別な種のある敏感な場所などの、最も必要な現場に集中することが勧められる。

14. マングローブの復元

油のダメージに続くマングローブの復元は、油か堆積物の中に入ってしまったが、表面で風化してしまったいくつかのケースにおいては、実行可能である。成功例は、様々であるが。成功するかどうかは、専門家の支援と自然のファクターによる。これは、波の作用、潮の高さ、種や珠芽苗木の入手可能性である。

いくつかの技術は、使用された。それは、種や珠芽の手作業または航空機による散布、または地域で育った苗木の移植である。移植は、遠隔地や広大なエリアでは現実的でない。種や珠芽の散布は、物理的ダメージを引き起こすことがないので、大きな可能性がある。地域から得られる最少のロジスティック装備の支援が要求される。種と珠芽は、同じ場所または地域から得られるものとし、その地域の性状を維持する。

15. 野生生物の保護

油の流出事故が発生した場合、対応努力は海岸のエコシステム及び魚、海洋動物、爬虫類、鳥を含む野生生物の直接または間接的な影響を最少にするように行なわれなければならない。

航空機、ボート、人間の歩行による監視を行ない、野生生物が集中しているか、それらが油によって影響を受けているか、または将来受ける恐れがあるかを決定しなければならない。

このような監視活動は、不必要な騒乱を引き起こさないように行なわれなければならない。重要な野生生物の餌場、休憩・子育て場所は、ブームを展張することにより、保護できる。

沿岸の脆弱域及び保護の優先度は、IMO マニュアル Section II 緊急時計画に記載されているように、緊急時計画によって確立されなければならない。音を立てる機材、プロパン砲、飛行機、ヘリコプター、脅し鉄砲、その他ハラスメント手法は、油によって脅威にさらされているいくつかの鳥の種を追い払うことに効果的である。ビジュアルな脅し方法も鳥には使われる。シルエットが大型の猛禽類であるイメージの風船またはカイトがこれらに含まれる。

これらの手法は、“Bird Hajing” と呼ばれる。もし鳥が餌場、寝所から追い払われる場合には、その他の適当な油による汚染されていない餌場、寝所が用意する。これらの代替場所は、ストレスのない環境を与えられるように、騒乱から隔離される。“Bird Hajing” は、子育て場所で使うべきでない。なぜなら、子供の鳥を放棄するかも知れないからである。これらの現場は可能な限りブームで保護され、人間、ボート、航空機による騒乱から隔離する。

油にまみれた野生生物の効果的で愛情に満ちた取り扱いは、とても専門的な事項であり、訓練を受けた人員によるエキスパートに委ねる。油にまみれた野生生物の取り扱いは、その健康と安全のリスクを伴う。野生生物は、扱いが危険であり、人間に有害な病気や微生物を持っている。

野生生物の扱いにおける特別な訓練は、中心となる人物にとって基本である。もし、捕獲と取り扱いが必要な場合には、保護中に麻酔の技術医療上の扱いに経験のある動物園関係者、獣医、野生生物保護局職員のみによって行なわれる。

中心となる人物に対する訓練は、油にまみれた野生生物対応に先立って行なわれるべきであり、定期的な再教育コースが勤められる。防御が、油にまみれた野生生物保護作業員に対する健康と安全のプログラムの目標である。廃棄可能な服、保護メガネ、手袋、マスク・呼吸具などの保護装備は、その使用の手引書とともに

に、野生生物保護作業員に支給する。

リハビリテーションセンターが、野生生物の取り扱い、リハビリテーション、防疫のために、設立されなければならないかもしれない。施設は、輸送ルートに近い場所に設置され、温水の供給があり、換気されていなければならない。

野生生物を洗うことから生じる油、水、洗剤の混合汚水の廃棄は、リハビリテーション施設の設置に先立って、注意深く検付されなければならない。専門家は、野生生物からの動物の病気の感染の拡大を防ぐための、防疫手段に通じている人である。防疫の手段は、また捕獲した野生生物の間に、病気が拡大することを防ぐことも必要である。病気の野生生物は、経験のある獣医によって扱われなければならない。

野生生物のリハビリテーションは、可能な限り短期間のための捕獲するという観点から、実施される。可能なら、捕獲中に死んだ野生生物について解剖を行ない、死因を明らかにすることが必要である。病理学は、野生生物の取り扱い、リハビリテーション手段の改善に寄与するものである。

野生生物は、解き放す前に野生生物群に健康上のリスクを与えないために、その健康状態について評価する。リハビリされた野生生物は、野生の生活に戻るのに適した状態となり、傷もなく防水状態で十分適応できるようになっていなければならない。解放に先立ち、環境にある残渣が再び野生生物を油で汚染することのないようにされていなければならない。また、解放エリアにおける餌が適切であることが確認されなければならない。

海岸に放置された病気の野生生物は、人間やその他の野生生物に健康上のリスクを与えるかもしれないので、廃棄物関連法規に従って、その他の当局に協議して廃棄される。

平成9年1月に発生したナホトカ号事故では、海岸漂着油は日本海側の1府8県に及んだ。この中でも漂着油の回収作業が漂着直後から行われた石川県加賀市の片野～塩屋海岸のその後の状況が、平成17年2月に石川県で開催された「重油災害シンポジウム」において報告された。

同シンポジウムを主催した星稜女子短期大学の沢野伸浩教授によれば、ナホトカ号事故後1年を経過したあたりから砂丘性植物の後退、浜崖と呼ばれる砂浜の段差が生じるなどの影響が出始め、事故後3年を経過した平成12年には、植生ラインが大きく後退し、浜崖が人間の背丈を超えるほどにまでなったが、平成16年頃から海岸線の植生の回復が観察され、海岸線の植物の成層構造（ハマヒルガオなど平坦部にある海浜草本植物とその上にあるハマゴウなどの海浜性木本植物の棲み分け）の健全化もみられるようになり、事故前の状況への回復が始まってきたものと見られるとの報告がなされている。

同教授によれば、同海岸での漂着油の回収作業は、漂着した重油の再流出防止に重点がおかれ、漂着した重油を建設重機で集め、集めた油を海岸に埋め立てるなどの作業をした結果、埋め立てや多数の重機が海浜植物帯の上を動き回ったために海浜植物が大規模に攪乱されたことによるものと考えられるとされている。

また、ナホトカ号事故について詳細に記述した「重油汚染」（海洋工学研究所出版部編）によれば、1978年にフランスで起こったアモコカジス号原油流出事故でも重機の大量投入、海岸線での回収油の埋設が行われた結果、砂丘斜面の底部を中心に砂の浸食が起こったことが報告されている。同書によれば、海浜の砂は波や風により自然にふるいわけが行われ安定した状態にあり、そこに人為的に大量の砂の移動が行われ、擾乱が加えられると砂の移動が生じることがあるという。また、砂浜のような過酷な条件の下に生息する植物は、1年前に蓄えた養分で「その年」を生きていると言われており、重油漂着や回収作業による影響は事故後1年から顕著になるとも記述されている。



海岸漂着油 平成9年ナホトカ号事故 福井県

当時の状況としては、漂着した油が波によって流出し別な海岸に再び漂着する可能性があったため、一刻も早く漂着油を回収し再流出を防止しなければならなかった。再流出防止措置として重機を利用したことは、短時間に作業を行うためには必要な措置であったといえる。

こうした中、海浜植物に影響が出るなどということは想像もしないことであった。ナホトカ号事故発生時は国難と言われるような混乱した状況にあり、しかも事故が発生したのが厳冬期の1月2日で植物の葉が枯れてしまっていた状況では、海浜植物の存在に誰も気付かなかったことはいたしかたないことであった。しかし、事故後、現場の研究者から上記の報告がなされていることにも耳を傾け、防除作業を行う場合には、海浜への影響を最小限にするよう努力しなければならない。

過去の流出事故では、回収した油を海岸の砂浜に埋めるという処理の仕方を行ったことがあるが、そこでは自然の作用で自然浄化されることが期待される場所であり、浄化作用を早めるという目的で波打ち際に埋めたのである。しかし今日では、回収した油は再利用できるのであれば廃油処理し、できなければ産業廃棄物として処理している。今回、海岸に埋め立てたことにより、思わぬ結果となったことが明らかとなった。

海岸線の評価の項で記述したように今日では、「海岸線の評価マニュアル(海岸編)」が作成出版されており、海岸の種別毎に予想される漂着油の挙動、対応時の留意事項が記載されている。今後は、これらのツールを活用し適切な防除活動とは何かを判断し、作業を行わなければならない。

海岸線の脆弱性指標については、NOAA の指標に準拠して油流出によるダメージが最も低いランク 1 から最もダメージを受ける可能性のあるランク 10 までを区分し示している。この中から片野～塩屋海岸の地形に相当する 3A を抜粋した。

(3A)



細粒から中粒の砂浜	ESI No. = 3A
<p>海岸線について</p> <ul style="list-style-type: none"> ・このような浜は、通常平坦で固く締まっている。 ・細粒砂が支配的であるが、少量の貝殻や貝殻片を含むことがある。 ・波に打ち上げられた大量の改装や漂着物が存在する場合がある。 ・このような浜は、湾や島の沿岸部に沿って存在する。 ・このような浜は、堆積物の浸食／堆積というサイクルを受ける。 ・このような浜は、鳥やウミガメにとって、営巣、摂餌、産卵に役立っている。 ・砂浜上部は動物群はまばらだが、ハマトビムシ類は豊富である。砂浜下の動物群はやや豊富であるが変化が激しい。 	
<p>予想される油の挙動</p> <ul style="list-style-type: none"> ・軽質油は潮間帯の上部に沿って帯状に付着する。 ・重質油は浜の全表面を覆ってしまうが、砂浜下部では上げ潮により浮かび上がって除去される。 ・細粒砂での油の最大浸透深さは、約 10cm である。 ・油流出後最初の数週間以内に油にまみれた層をきれいな砂が埋没させるのは、きまって波打ち際上部 30cm 以内のところである。 ・浜の堆積物内生息生物は、窒息または油を含有する海水中の致死濃度の油分で死ぬ。 ・生物学的影響は一時的な生物数の減少を含み、それは海浜にいる鳥の摂餌場所に大きなインパクトを与える。 	
<p>対応時の留意事項</p> <ul style="list-style-type: none"> ・清掃が最も容易な海岸線のタイプである。 ・汚染の除去作業は、油が漂着してから油が漂着したスワッシュゾーン（波の寄せるところ）の上部において油と油性ゴミの除去に集中すべきである。 ・未汚染区域の防御のため油があるエリアと清掃済みの区域を通じた活動は厳しく制限すべきである。 ・重機（ロードグレーダー、フロントエンドローダー）を使用するよりも手作業による汚染除去作業の方が、一般に、砂浜から除去し、廃棄する砂の量を少なく抑えることができる。 ・車両の乗り入れや人の歩行が油を堆積物深く混ぜてしまうので、注意を払うべきである。 ・外洋に面した海岸では、軽度に油の付着した砂を高潮線部から潮間帯上部へ機械的に移動させるのが効果的である。 	

上記の記述からムース化油であればそれほど砂に深く浸透することはなく、また、手作業による回収の方が油といっしょに回収してしまう砂の量を少なく抑えることができ、仮に重機を使用するとしても手作業で回収した油の運搬に使うなどに限定すべきことが分かる。

平成17年2月に石川県で開催された「重油災害シンポジウム」資料



平成9年1月
重機による回収作業（片野海岸）



平成10年4月
まばらになった海浜植物群落
（片野海岸中央部）



平成10年4月
浜崖とコウボウムギ（片野海岸）



平成12年3月
左の写真と同じ場所（片野海岸）



平成12年3月
人の背丈より高い浜崖（塩屋海岸）



平成12年3月
浜崖に露出した海浜性木本植物ハマ
ゴウの根、浜崖が陸地側に進行した
ことを示す（塩屋海岸）

参考文献

「2005年2月重油災害シンポジウム（星稜女子短期大学沢野伸浩教授主催）」資料

「重油汚染」（海洋工学研究所出版部編）

平成9年1月に日本海で発生した「ナホトカ号」事故では、のべ27万人のボランティアが海岸での油回収作業に参加した。

しかし、油の回収作業は、油の成分によっては人体に危険な場合もあり、また、やり方によっては、汚染地域を拡大させてしまうおそれもあるため慎重な対応が必要である。ここでは、平成14年7月に鹿児島県志布志湾で発生したC重油の流出事故の例を今後の参考事例として取り上げる。

- ボランティア作業は、安全が確認された後、実施すべきものである。
- ボランティア参加者の管理は、地元自治体（区市町村）にて行われている。
- 作業については、地元自治体の他、保険代理人、海上災害防止センターと協力して行われている。
- 夏場の炎天下、または寒冷な気候の場合には、十分な後方支援体制をとらなければならない。
- 特に熱中症対策として、作業開始前の水分補給、吸湿・速乾性の服装が重要である。
- 油流出事故における防除作業は、流出した油を回収したり、油で汚染された海岸等を清掃する汚れ作業である。
- 流出油には様々なものがあり、原油には、硫化水素など人体に有害な成分も含まれている場合もある。
- 油の蒸気を吸入すれば、気分が悪くなったり体調不良を起こすこともある。
- ナホトカ号事故は、冬場の日本海側での作業となったが、海岸での作業に参加したボランティア4名が死亡している。
- 平成14年7月に鹿児島県志布志湾で発生したC重油流出事故においては、砂浜での油性ゴミの回収作業に約400名のボランティアが参加した。
- 気温32度という高温の中での作業となったため、地元大崎町が中心となって事前に、テント、給水等の後方支援体制の準備がなされた。
- この志布志湾におけるボランティア作業は、ナホトカ号事故以来ボランティアが参加した事例であり、ボランティアに対する事前の準備が十分なされたものであった。



ボランティアによる海岸
漂着油の清掃作業
平成14年7月 志布志湾

C重油流出事故の概要

平成14年7月25日2110頃、台風9号の通過に備え志布志湾にて錨泊中の貨物船は、折からの強風、高波等により走錨・座礁した。同船の船体が折損して、貨物倉及び船底の燃料タンクからトウモロコシ、C重油が流出し、志布志湾沿岸約4kmにわたり漂着・汚染した。



【写真1】海上保安庁HPより

事故時の気象：天候 雨、ENEの風18m/s、
最大風速24m/s

船の要目等：総トン数 36,080 総トン
全長 215m×幅 32.2m×深さ 18.2m
積荷 トウモロコシ約 57,000t

流出油の状況

(1) 海岸の汚染状況

7月25日事故発生当初、流出した油は、志布志湾に面する鹿児島県大崎町地先の海岸に打ち上げるとともに、折からのうねりと強風による自然浄化作用により、分散・消滅する状況が確認された。

7月27日午前には台風9号の余波に加えて、引き続き接近する台風11号の影響により、海上では、波頭がうす茶色に変色し、流出油が自然浄化していることが観察された。

漂着油については、【図2】点線枠で囲んだ海岸線の潮間帯より陸側に、長さ約4,000m・幅約10mの油の付着したトウモロコシ・ゴミや油の付着を確認した。【写真2, 3, 4, 5, 6】



【図2】



【写真2】沿岸漂着ゴミに油が付着【写真3】砂に染みこんだ油と油性ゴミ



【写真4】 厚さ約5mm 染みこんだ砂



【写真5】 油性ゴミ等が漂着

(2) 海上の汚染状況

7月28日には、破断部船首側船体の後部から、油の流出が認められた。

流出油は、現場海域の気象・海象の状況によって左右されるものの、通常、【図2】の田原川方向（南南西）や北北東方向及び東方向に、漂流・拡散する。



【写真9】 油が船首部に沿って陸に向かう

海岸清掃作業

油の付着したゴミ及び油が染みこんだ砂の除去に関しては、「排出油防除協議会」（海洋汚染及び海上災害の防止に関する法律に基づく協議会）が中心となり、同協議会の構成員である国土交通省、鹿児島県、大崎町及び周辺町村、地元消防など官民が一致団結して海岸清掃を実施した。

センターは、海岸清掃の実施方法を策定するとともに区割等を実施した。

（作業の流れ）

- 汚染海岸の汚染状況等を評価して海岸清掃区域を限定
- 汚染浸度・範囲の拡大防止及び現場安全の見地から、汚染現場への立ち入り制限措置（大崎町が実施）を指示
- 炎天下の作業となったため、給水所、休憩所、簡易トイレ及び救護所等の設置など後方支援体制の確立指導及び準備
- 合理的、迅速かつ安全な海岸清掃実現のための人的、機械的防除手法の指導、準備
- 協議会メンバーとともに、海岸清掃終結を判断する最終評価の実施

（1）海岸清掃区域の限定

汚染海岸を客観的に評価することにより、海岸清掃が必要な区域を限定し、必要な清掃人数、資機材の数量、回収廃棄物の数量などを予測した。評価及び限定の作業は、センター、海上保安庁、大崎町など関係機関が実施した。その結果、海岸清掃が必要なエリアは、北は菱田川から南は田原川南岸までの約4キロの海岸線と確定した。【図3】



【図3】 10区画に分割して海岸清掃

（2）立ち入り制限

現場では、報道関係者、近隣住民が、現場の様子を見ていたが、これらの人々が汚染海岸に入った場合、踏みつけによる汚染浸度・範囲の拡大、怪我等が考えられたため、排出油防除協議会の総意により、現場立ち入り制限が実施された。

(3) 現場の安全と後方支援体制の確立

現場作業に際しての作業員、ボランティア等への健康安全・作業安全及び救急措置等の周知、労働基準監督局への説明を実施した。現場作業予定日にあつては、気温約32℃の炎天下が予想されたため、大崎町始めセンター及びセンター契約防除措置実施者（以下、「契防者」という）を中心として、約3日間をかけて後方支援体制を確立した。

- 指揮所の設置
- テントの設営
- 救護所の設置
- 簡易トイレの設置
- 給水・食事等の手配準備
- 回収された油性ゴミ・汚染砂等の一時貯蔵所の確保
- 回収された油性ゴミ・汚染砂等の収集、運搬



【写真7】対策本部設営



【写真8】センターによる海岸清掃説明

(4) 海岸清掃の実施

- ① 7月30日：大崎町及びセンターが実施主体者となり、大がかりな海岸清掃を実施した。
 - 汚染区域約4kmを幅400m毎に10区画に等分し、汚染度に応じて人員を振り分けた
 - 汚染された砂が一面に広がっている田原川両岸には、「バキューム式ビーチクリーナー」2台を投入して、機械的回収を実施した。
 - 海岸清掃に参加した人員は、総数で約400人、うち契防者傘下の地元建設土木組合、大崎町等を除き約300名がボランティアであった。
 - 400mあたりに40人の作業者を割り振り、油性ゴミの回収に専念してもらい、油に汚染されていないゴミの回収は行わないようにした結果、廃棄物の量は極小化された。
 - 油漂着から3日が経過していたため、漂着当時「ベトベト」であった油は、乾燥して「パサパサ」となり、回収作業が容易に実施できた。



【写真 9】バキューム式ビーチクリーナーによる海岸清掃



【写真 10】バキューム式ビーチクリーナー



【写真 11】人海戦術による油性ゴミ回収



【写真 12】油性ゴミ袋を収集し、一時貯蔵所へ運搬



【写真 13】人海戦術による清掃後の状況



【写真 14】重機による大型油性ゴミの回収

② 7月31日：菱田川河口右岸及び田原川右岸の大型油性ゴミの機械的回収を中心とした海岸清掃を実施した。

- 地元建設土木組合を中心に約 100 名により油の付着した流木、ゴミ類を回収した。
- センターは、大崎町、海上保安庁を始め関係機関とともに、前日の海岸清掃の評価を実施し、油性ゴミの大半が回収されたものの、油が付着した砂、通称「オールドサンド」を可能な限り回収するよう指導があった。



【写真 15】一時貯蔵所での詰め替え作業



【写真 16】現場から搬入された回収物の荷下ろし

- ③ 8月1日：オールドサンドの清掃手法として、ベルトコンベア式ビーチクリーナーとロータリー車（農耕用掘り起こしトラクター）の組み合わせによって、前者により1cmφ以上のオールドサンドの回収、後者によりそれ以下のオールドサンドに通気し、自然浄化作用を促進する「エアレーション」を実施した。



【写真 17】ベルトコンベア式ビーチクリーナー



【写真 18】ロータリー車



【写真 19】清掃終了後の状態



【写真 20】エアレーションの効果が顕著

このように、大崎町地先の海岸線は、3日間の海岸清掃により、ほぼ清掃が終了し、大崎町、海上保安庁等の関係機関が「海岸清掃終結」を確認した。

熱中症対策について

熱中症とは、読んで字のごとく「熱に中（あた）る」という意味で、体の中と外の「暑さ」によって引き起こされる様々な体の不調のことである。

症状としては、めまい、疲労感、虚脱感、頭痛、失神、吐き気、おう吐、意識障害、脱水、多臓器不全などがあり、死亡に至ることもある。

なお、熱中症は暑い環境で起こるものと思いがちであるが、作業中に体内の筋肉から大量の熱を発生することや、脱水などの影響により寒い環境でも発生しうるものである。

（熱中症に対する応急手当）

休息：風通しのよい場所に移動し、安静にし、必要に応じて衣服を脱がせ体を冷却する。冷水タオル、氷嚢、アイスパックなどを用いて、腋下動脈（両腕の腋の下）、頸動脈（首の横）、大腿動脈（股の間）に当てて、血液を冷却する。

水分補給：水だけでなくビタミン、ミネラルの補給した方がよいので、市販のスポーツドリンクを水で薄めて甘くない程度にしたものを補給するとよい。

意識がはっきりしないなどの重症の場合は、直ちに医療機関に運ぶことが必要である。

（熱中症対策）

- 作業開始前に、スポーツドリンクなどにより十分水分を補給しておく。水、梅干しなども用意する。
- 作業の合間にも水分を補給する。また、それが可能な体制を整えておく。時間を決めて休憩時間とし、水分補給をさせる。
- 服装は、吸湿性、通気性のよい素材でできた涼しい服装とする。
最近では、吸湿・即乾性のあるシャツも市販されているので、これらを活用する。綿のシャツは、吸湿性はあるものの即乾性はない。
- タイベックスは、紙でできているため通気性がよくなく熱がこもるので、背中部分に切れ込みを入れ、通気性をよくする。
- 帽子、とくにつばのひろい帽子を着用する。
- 我慢は禁物、疲れたら休憩する。

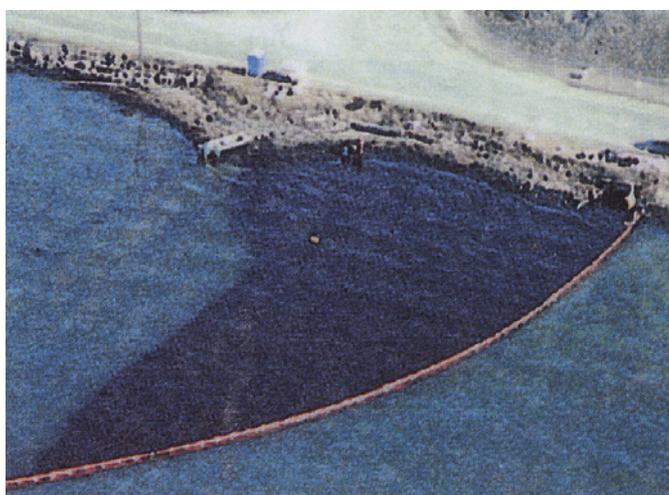
海上災害防止センターでは、過去数年にわたりオイルフェンスに関する調査研究を実施し、オイルフェンスの限界・適切な使用方法を明らかにしている。

オイルフェンスという名称は、“フェンス”という言葉の意味から油を囲い込んで逃がさないもの、一般の人が立ち入らないように囲んだ柵・垣根などと同じものというイメージで捉えられがちであるが、実際には流れがあれば、油はオイルフェンスのスカート部をくぐり抜けてしまうものである。

欧米では、オイルフェンスのことをブーム（起重機の張り出し棒、ヨットの帆の裾を張る円材）と呼び、その使い方もブームという言葉の通り、直線に張り、油の流れをコントロールするものとしている。

オイルフェンス（ブーム）の使用にあたっては、ブームとしての使い方、その性能限界を知り、正しく使用することが必要である。

- オイルフェンスの展張により流出油の動きを完全に止めることはできない。
 - オイルフェンスの種類にもよるが、流速が0.5ノットを超えるとオイルフェンスのスカートの下から油が漏れ出す。
 - 欧米では、オイルフェンスのことをブーム（起重機の張り出し棒、ヨットの帆の裾を張る円材）と呼び、その使い方もブームという言葉の通り、直線に張り、油の流れをコントロールするものとして使用している。
 - オイルフェンスを流れに対して直角に展張するのではなく、流れに対して角度を持たせて展張し、流れを利用して1箇所に集めるために使うものである。
 - オイルフェンスを単独で使うのではなく、集油のための道具とし、回収装置とセットで使うべきである。
- 海上災害防止センターでは、そのようにオイルフェンスを使用している。



流れを利用して1箇所に集めて回収するための直線展張の例

1. 漏油のメカニズム

(1) 単独展張オイルフェンスの滞油・漏油のメカニズム

回流水槽において観察されたオイルフェンスからの油漏洩の状況を図に示す。

流速が遅いと図1に示した①先頭波、⑤界面波及び②渦等の発達は小さくかつ油滴の発生はない。流速が速くなるに従い上記の先頭波、界面波及び渦が次第に発達する。

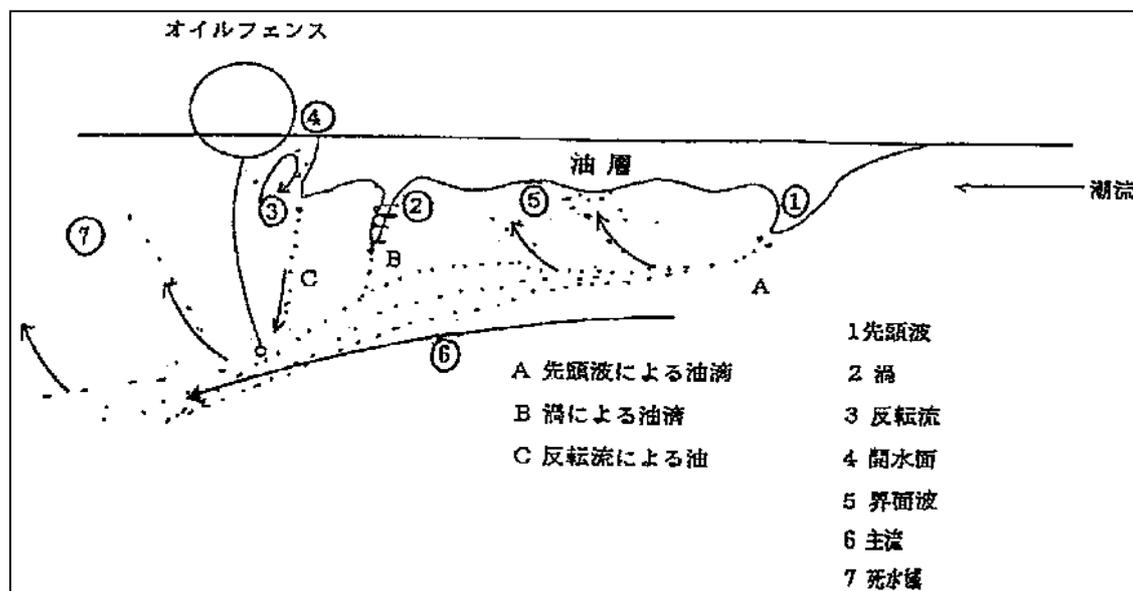
油漏れは、①先頭波及びフェンス前面界面波から発生する。

①先頭波の油漏れは、流速が遅いと大部分が先頭波後方の油層中に浮上するが、流速が速くなると⑥主流により、スカート下部を通過して漏油する。

フェンス前面界面波の油漏れは、オイルフェンスの形状によって③反転流の速さが異なるが、この反転流によって発生する。反転流は、流速が速くなる程、速くなり又大きな弧を描くようになる。

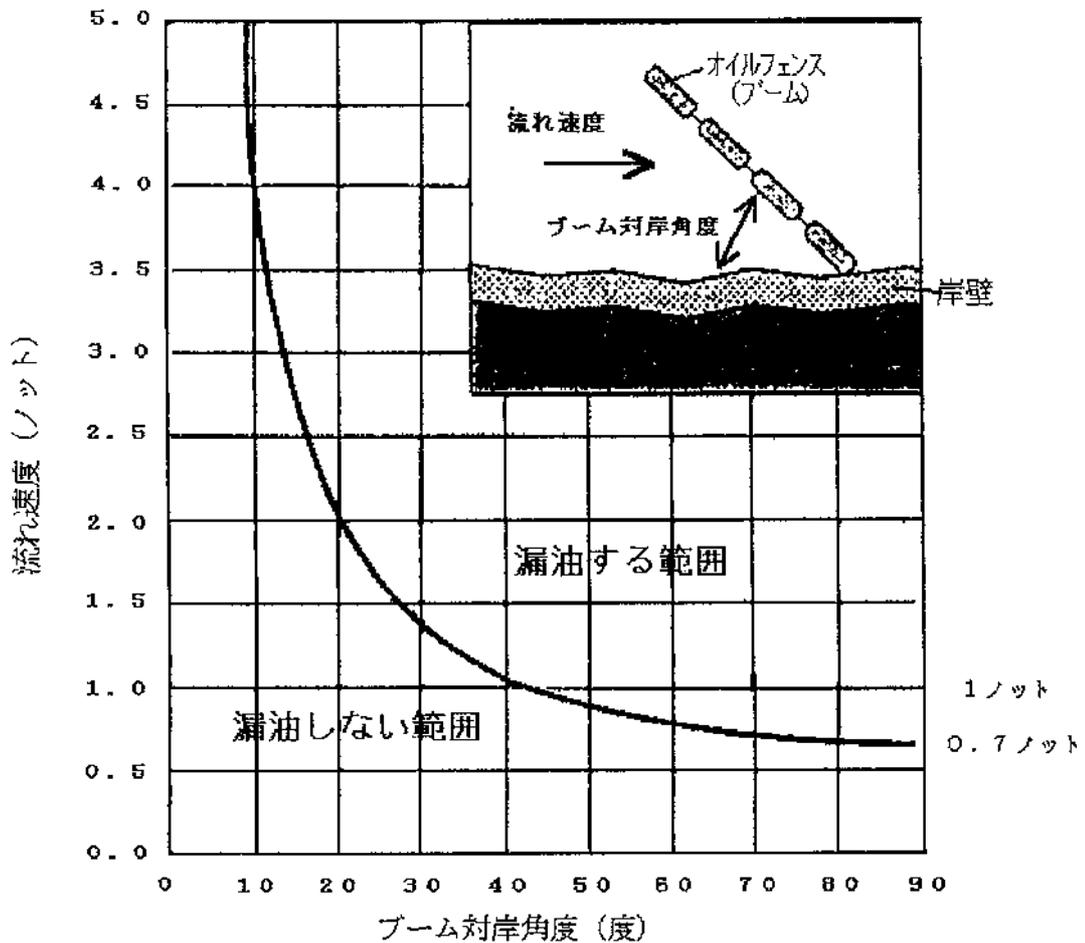
①先頭波からの油漏発生速度は、軽重油問わず $0.4\text{m/s} \sim 0.45\text{m/s}$ ($0.8 \sim 0.9\text{kt}$) の範囲である。オイルフェンス後面（下流側）の水の流れは、スカート下部の深さが深くなる程⑦死水域（オイルフェンス後面の深さの流場）が長くなる。

また、スカート下部の深さが一定の時、流速が速くなる程、死水域は長くなる。



オイルフェンスの滞油・漏油のメカニズム

2. オイルフェンス（ブーム）の展張角度

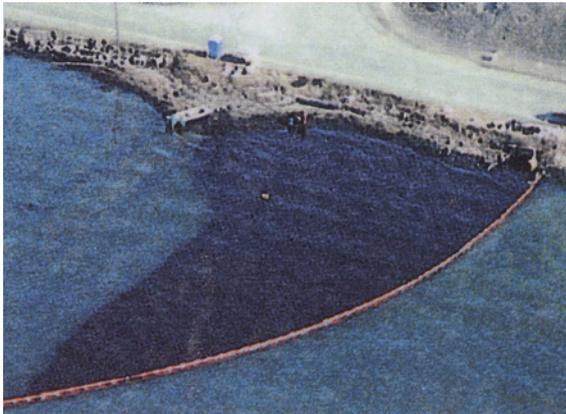


Marine Spill Response Corporation 資料

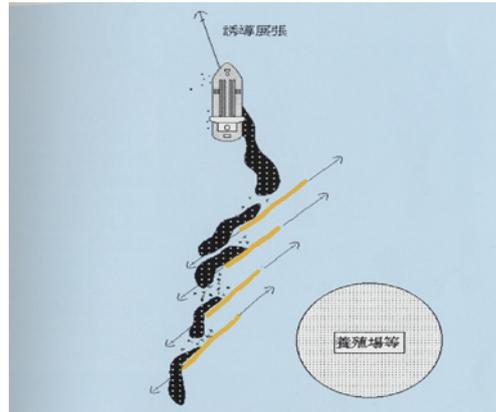
図 海流の相対速度に対するオイルフェンスの角度

図は、油流とオイルフェンスの展張角度を示す。流れに対するオイルフェンスの展張角度によっては、油がオイルフェンス下部をくぐり抜けてしまう。この関係を示すのが、図の曲線である。例えば、流れに対して 90 度（図ブーム対岸角度）の場合は、流速が 0.7 ノット（約 0.36m/s）以下であれば、油はオイルフェンスの下部をくぐり抜けない。逆にこの流速を超えるとオイルフェンス下部をくぐり抜けてしまう。また、オイルフェンスを流れに対して 40 度に展張すれば約 1 ノット（0.51m/s）まではオイルフェンスから油がくぐり抜けることなく囲うことができる。

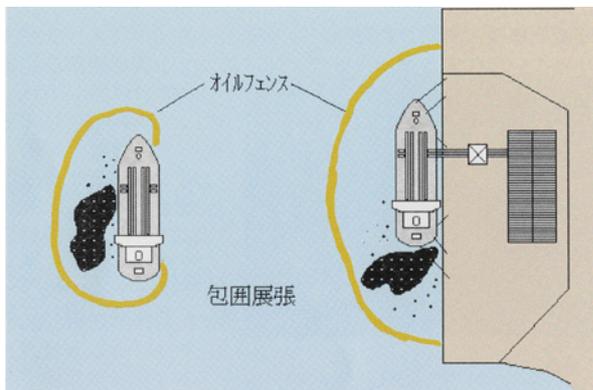
5. オイルフェンス（ブーム）の展張方法



流れを利用して1箇所に集め
回収するための展張



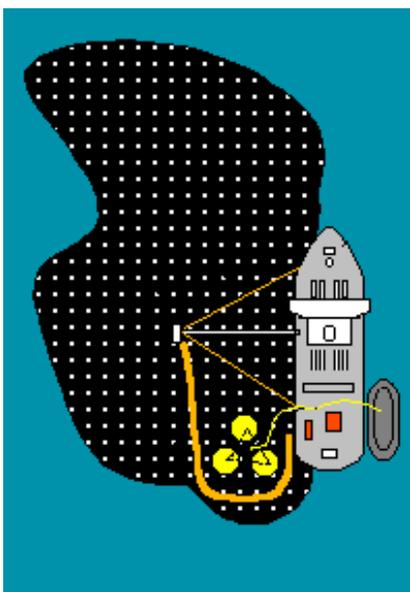
カスケード展張
養殖場、取水口、脆弱域などを防護する



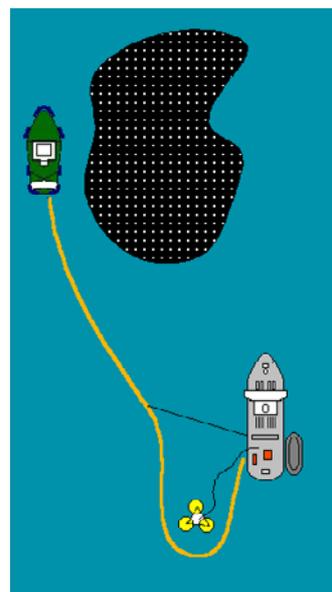
包囲展張



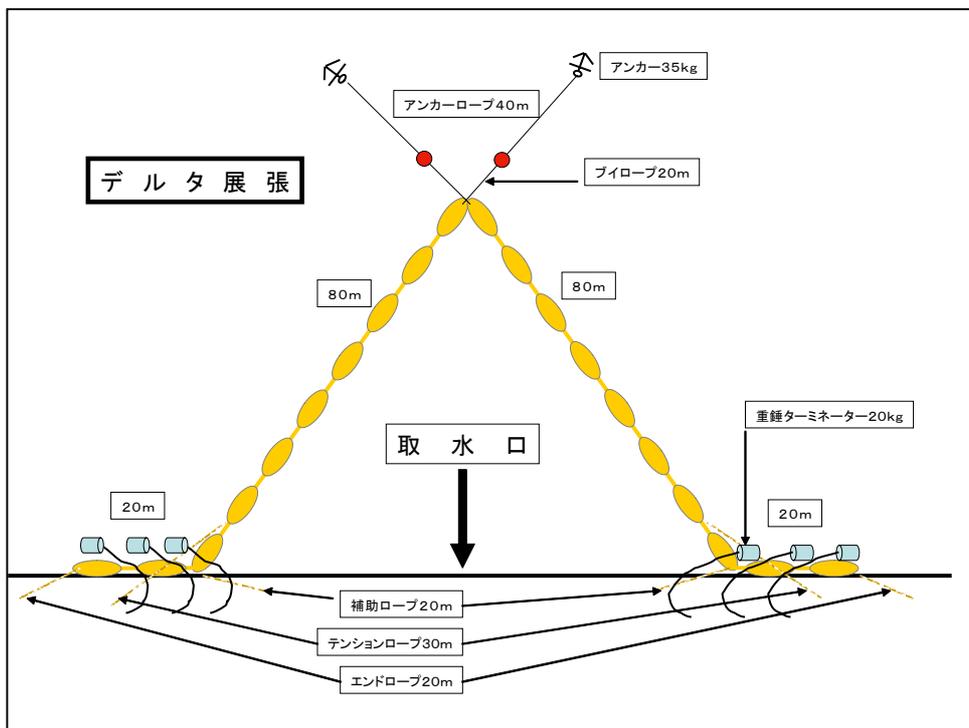
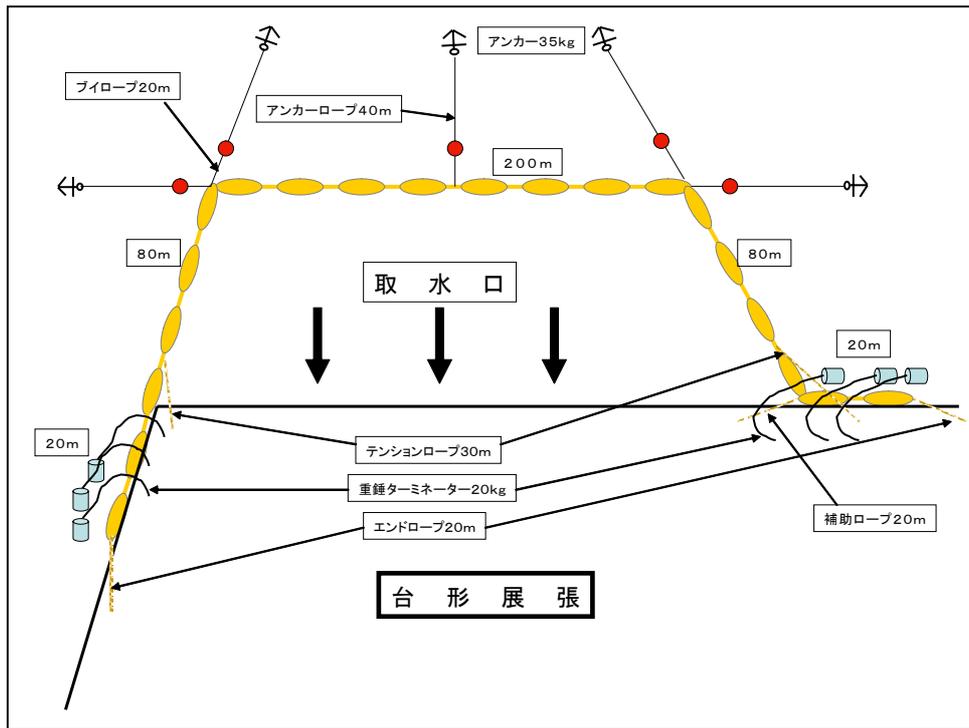
包囲展張（実際の例）



洋上で油を回収するための展張（単船）



洋上で油を回収するための展張（補助船）



直線展張を基準にしたブームの展張例

実際の展張事例



平成14年11月 伊豆大島波浮港での
オイルフェンスの展張



伊豆大島 直線展張（空撮）



伊豆大島 集油部の二重展張



伊豆大島 強力吸引車での回収



平成16年9月 広島県廿日市港での
オイルフェンスの展張



平成16年9月 広島県廿日市港
での回収

海上に流出した油は、オイルフェンスで拡散を防止するとともに、オイルフェンスで集めて油層を厚くして回収する。回収の手段には、油回収船、スキマー（油回収装置）、ガット船、強力吸引車等の特殊車両を用いて行う機械的回収、その他各種ポンプ、ひしゃく等を使って行う手作業による回収がある。

従来型の専用油回収船（船体に回収装置を固定装備）は、性状の変化する油には対応できないこと、大量の海水を回収してしまうことなどの理由により、現在はスキマー（回収装置）、集油用オイルフェンス、一時貯蔵タンクを作業船やタグボートに搭載した油回収システムが主流となっている。

- 海上に流出した油の機械的回収には、油回収船、スキマー（油回収装置）、ガット船、特殊車両（強力吸引車）等様々な手段がある。
- スキマー（回収装置）は、回収原理の違いにより、吸引式、付着（吸着）式、導入式の3種類に大別される。
 - 吸引式・・・水面から直接または堰を経由してポンプにより油を吸引する
 - 付着式・・・ドラム、ベルト、円板、化学繊維モップ等に油を付着させて油を回収する
 - 導入式・・・油水を装置内部に導入し、比重分離により油を回収する
- スキマー（回収装置）は、波高約 1.0m までが回収の限界である。
- ビューフォート風力階級の 0～4 までは機械的回収作業が可能であるが、5 を越えると作業が困難となり、8 以上で作業が不可能となる。
- ガット船は、土砂の積み込み、積み卸しに使用するクレーン、平バスケットを使用することにより通常の油回収装置では回収できないムース化油を回収可能である。
- 強力吸引車などの特殊車両で、沿岸部に漂着した油を回収することが可能である。
- その他水中ポンプ、ダンパー車（バキュームカー）、土木用機械（ユンボ）、ひしゃく等の道具も油回収作業には有用である。



タグボートと集油用オイルフェンス、スキマー

システムによる回収作業の例

1. スキマー（油回収装置）

スキマーは、回収原理の違いにより、吸引式、付着（吸着）式、導入式の3種類に大別される。

油回収装置等性能一覧表を表1に示す。

表 1 油回収装置等性能一覧表

番号	回収原理	機種名称	メーカー名	対応粘度(cSt)				対波浪	機動性	油水比	適用海域
				低粘度	中粘度	高粘度	超高粘度				
				(100)	(2,500)	(15,000)	(50,000)				
1	吸引式(堰式)	SKIM-PAK 2000	DOUGLAS ENGINEERING	○	○					平水	
2	吸引式(堰式)	SKIM-PAK 4200	DOUGLAS ENGINEERING	◎	◎	○		○	◎	△	平水
3	吸引式	YSオイルスキミング	ダイトーコーポレーション	○	○						平水
4	吸引式	デルタスキマー	VIKOMA INTERNATIONAL	○	○	○					平水
5	吸引式(堰式)	FOILEX-TDS200	FOILEX ENGINEERING	◎	◎	◎	○	◎	◎	△	外洋
6	吸引式(堰式)	FOILEX-TDS250	FOILEX ENGINEERING	○	○	○	○				外洋
7	吸引式(堰式)	GT-185	PHAROS MARINE	○	○	○					外洋
8	吸引式(堰式)	DESMI TERMITE	RO-CLEAN DESMI	○	○	○	○				平水
9	吸引式(堰式)	DESMI TERMINATOR	RO-CLEAN DESMI	○	○	○					外洋
10	吸引式(堰式)	DESMI TARANTURA	RO-CLEAN DESMI	○	○	○	○				外洋
11	吸引式(堰式)	SKIMBOY YD-1000GY-OE-T	ワールドケミカル	◎	◎	○		◎	◎	△	平水
12	堰式/付着式	TRANSREC 200	FRAMO		○	○					外洋
13	堰式/付着式	TRANSREC 250	FRAMO		○	○					外洋
14	付着式(ディスク)	シースキマー30K	VIKOMA INTERNATIONAL	○	○	○					内湾
15	付着式(ディスク)	シースキマー50K	VIKOMA INTERNATIONAL	○	○	○					外洋
16	付着式(ディスク)	シースキマー100K	VIKOMA INTERNATIONAL	○	○	○					外洋
17	付着式(ディスク)	KOMARA 12K	VIKOMA INTERNATIONAL	○	○						内湾
18	付着式(ディスク)	KOMARA 20	VIKOMA INTERNATIONAL	◎	◎			◎	◎	◎	内湾
19	付着式(ディスク)	KOMARA STAR	VIKOMA INTERNATIONAL			◎	◎	○	◎	◎	内湾
20	付着式(ディスク)	SEA DEVIL	VIKOMA INTERNATIONAL			◎	◎		○	◎	外洋
21	付着式(ディスク)	コマラミニスキマー	VIKOMA INTERNATIONAL	○	○						平水
22	付着式(ブラシ)	LSC-2 SIDE COLLECTOR	LORI PRODUCTS	—	○	◎	◎	△	△	◎	平水
23	付着式(モップ)	FOX-TAIL VAR2-6	FOXTAIL	◎	◎	◎		◎	◎	○	内湾
24	導入式	スラープ	SLICKBAR	○							平水
25	平グラブ	プレートライングラブ				○	○				内湾
26	平グラブ	ハーフトライングラブ				○	○				内湾

注. ワールドカタログより(網掛け部は、海上災害防止センターにより性能試験を行った結果)

(1) 吸引式

最も簡単な発想による装置であり、この装置で水面から直接または堰を經由してポンプにより油を吸引するものである。この方式は油とともに大量の水も吸引することとなるため、別の一次貯蔵タンクや簡易油水分離装置が必要となる。

高粘度油を回収する場合は、この油がホース等を詰まらせることがあるが、大量の水を吸い込むことによって油の吸引が維持できるという利点もある。

一般的に、荒天時には回収効率が低下する上、塵芥の影響を受けやすく、作動不能等の故障の原因ともなる。

このため、最新の装置では、高粘度油や塵芥を切り砕くカッターを組み込んだ装置も開発されている。

吸引式スキマーの例を写真2に示す。



写真2 吸引式スキマーの例

(2) 付着（吸着）式

油の付着（吸着）性に着目して、ドラム、ベルト、円板、化学繊維モップ等に油を付着させて油を回収するものである。

この方式では一般に中粘度油（100～2,000cSt）の回収に適しているが、歯の付いた円板や長尺のベルトを装備した装置は重質油の回収も可能となっている。

重質油の場合は粘着力が強いため、一旦付着すると除去が困難となり、軽質油の場合は回収は可能であるが、付着力が弱いため効率が低くなる。また、水中油エマルジョンは粘性が高いにもかかわらず、吸着力の弱い場合が多いため、この方式では回収できないことがある。

付着（吸着）式スキマーの例を写真3に示す。



写真3 付着（吸着）式スキマーの例

(3) 導入式

油水を装置内部に導入し、装置内部に設けられた邪魔板または堰板に衝突させることによって比重分離を促進させ、油分のみを回収するものである。

専用の油回収船に多く用いられているが、高粘度の油は回収することができない。

油回収船の例を図1に示す。

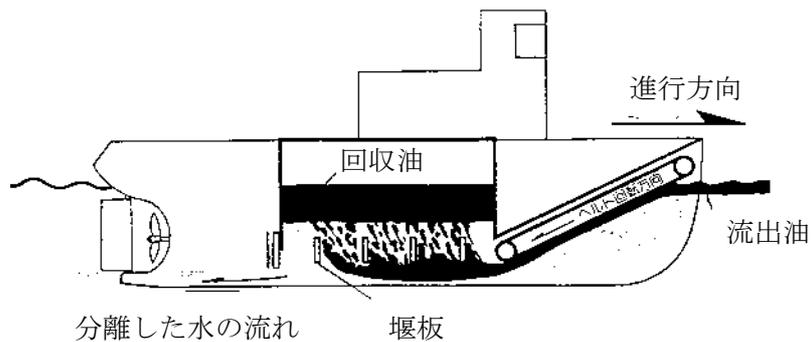


図1 油回収船の例

2. スキマーの使用限界

スキマーの使用に当たっては、そのスキマーの最良の効率が得られる状態で運転することが望ましいが、次の要因によりスキマーの油回収効率の低下や運転そのものが不能となることがある。

(1) 気象・海象

流出油への対応は、常に一定ではなく、防除手法は流出の場所、流出油の種類・量、気象・海象などから決定されなければならない。通常、ビューフォート風力階級の0～4までは機械的回収作業が可能であるが、5を越えると作業が困難となり、8以上で作業が不可能となる。

また、波高約1.0mまでが機械的回収の限界である。

油膜と気象・海象条件による防除活動の選択の関係を図2に、Beaufort 風力階級と作業実施の可否を表2に示す。

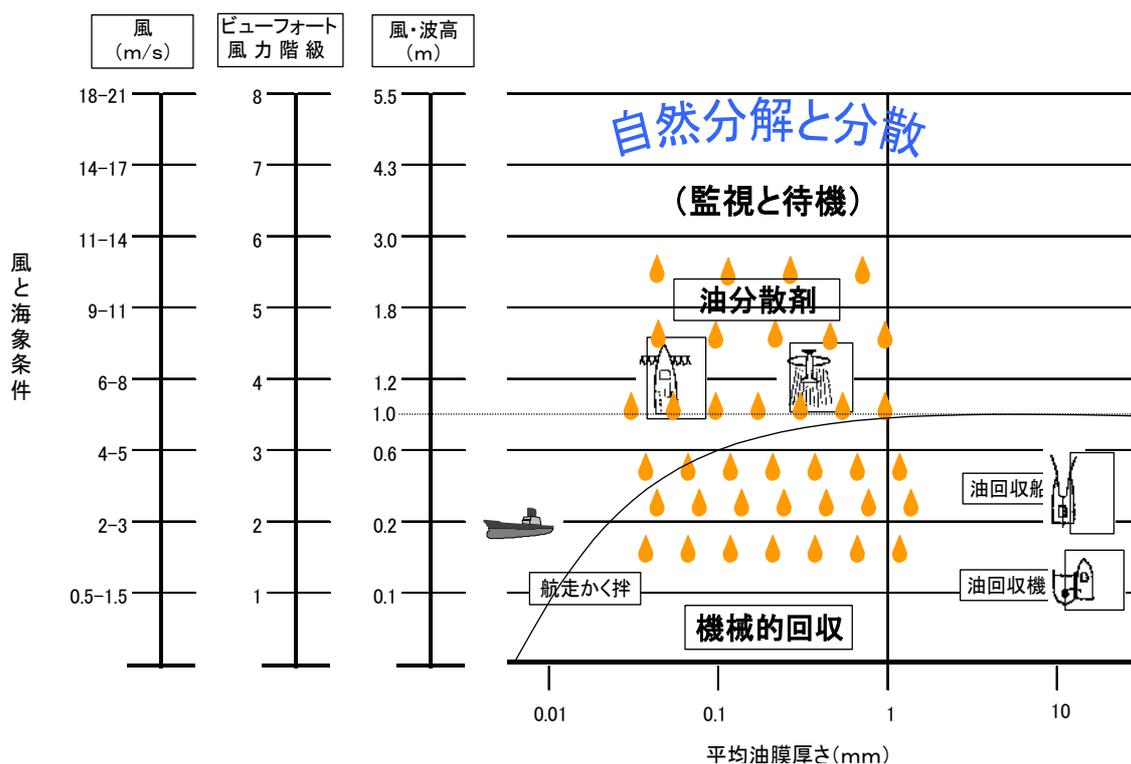


図2 油膜と気象・海象条件による防除活動の選択の関係

表2 Beaufort 風力階級と作業実施の可否

階級	名称	解説		風速 m/sec	参考波高 m	作業実施 の可否
		海上	陸上			
0	静穏 Calm	鏡のような海面	静穏、煙はまっすぐに昇る。	0.0~<0.2	—	作業実施
1	至軽風 Light air	うろこのようなさざなみはできるが波頭に泡はない。	風向は煙がなびくのでわかるが風見には感じない。	0.3~<1.5	0.1 (0.1)	
2	軽風 Light breeze	小波の小さいもので、まだ短いのははっきりしてくる。波頭は滑らかに見え砕けていない。	顔に風を感じる。木の葉が動く。風見も動き出す。	1.6~<3.3	0.2 (0.3)	
3	軟風 Gentle breeze	小波の大きいもの。波頭が砕けはじめる。泡はガラスのように見える。ところどころ白波が現われることがある。	木の葉や細い小枝が絶えず動く。軽い旗が開く。	3.4~<5.4	0.6 (1)	
4	和風 Moderate breeze	波の小さいもので長くなる。白波がかなり多くなる。	砂ほこりが立ち、紙片がまい上る。小枝が動く。	5.5~<7.9	1 (1.5)	現場の状況による
5	疾風 Fresh breeze	波の中位のもので一層はっきりして長くなる。白波が沢山現われる。しぶきを生ずることもある。	葉のある灌木がゆれはじめる。池や沼の水面に波頭がたつ。	8.0~<10.7	2 (2.5)	
6	雄風 Strong breeze	波が大きくなりはじめ、いたる所で白く泡立った波頭の範囲が一層広がる。 (しぶきを生ずることが多い)	大枝が動く。電線が鳴る。かさはさしにくい。	10.8~<13.8	3 (4)	
7	強風 Moderate gale	波はますます大きくなり、波頭が砕けてできた白い泡はすじを引いて風下に吹流されはじめる。	樹木全体がゆれる。風に向っては歩きにくい。	13.9~<17.1	4 (5.5)	作業中止
8	疾強風 Fresh gale	大波のやや小さいもので長さが長くなる。波頭の端は砕けて水煙となりはじめ、泡は明瞭なすじを引いて風下に吹流される。	小枝が折れる。風に向って歩けない。	17.2~<20.7	5.5 (7.5)	
9	大強風 Strong gale	大波、泡は濃いすじを引いて風下に吹流される。波頭はのめり、くずれおち、逆巻きはじめる。しぶきのため視程がそこなわれることもある。	人家にわずかの損害が起こる。煙突が倒れ、瓦がはがれる。	20.8~<24.4	7 (10)	
10	全強風 Whole gale	波頭が長くのしかかるような非常に高い大波。大きなかたまりとなった泡は濃い白色のすじを引いて風下に吹流される。海面は全体として白く見える。波のくずれ方ははげしく衝動的になる。視程はそこなわれる。	陸地の内部では珍しい。樹木が根こそぎになる。人家に大損害が起こる。	24.5~<28.4	9 (12.5)	
11	暴風 Storm	山のように高い大波（中小船舶は一時波の陰に見えなくなることもある）海面は風下に吹流された長い白色の泡のかたまりで完全におわれる。いたる所で波頭の端が吹きとばされて水煙となる。視程はそこなわれる。	めったに起こらない。広い範囲の破壊を伴う。	28.5~<32.6	11.5 (16)	
12	台風 Hurricane	大気は泡としぶきが充満する。海面は吹きとぶしぶきのために完全に白くなる。視程は著しくそこなわれる。		32.7~<36.9	>14	

(2) 高粘度、ゴミ

回収油が高粘度であったりゴミが混入している場合は、スキマー内部の詰まり、ポンプ能力の低下、ゴミの絡みつきなどにより運転不能となることがある。このような現象は気温、水温が低いときにも現れ、日中には稼働していたスキマーが朝夕の気温の低い時間帯に動かなくなるということがあるので、注意が必要である。

(3) 油層厚

油層厚が薄い状態では、スキマーの回収効率は当然低くなる。スキマーの回収効率を高めるためには、まず、オイルフェンスなどを使用し、油を集めて油層を厚くする必要がある。

(4) 運用能力、技術

防除活動を総括する指揮者の能力やスキマーの運転を行うオペレーターの習熟度が大きな影響を及ぼす。既に油処理剤や油吸着材が散布された海域では、スキマーは使用できない。オペレーターは最良の効率での運転方法や、簡単な修理方法について習熟しておく必要がある。

3. ガット船

ガット船は、土砂や採石等の資材を海中に投入したり海底土砂を採取する作業に従事する作業船であり、土砂の積み込み、積み卸しに使用するクレーン、平バスケット及び船倉を有している。

昭和 54 年に発生したタンカーの流出油事故に初めて活用されて以来、油の回収に大きな成果を挙げており、平成 9 年のタンカー「ナホトカ号」の流出油事故では、通常の油回収装置で回収できないムース化油を短時間で大量に回収している。

ガット船の特徴としては、次のとおりである。

- 全国の主な港に所在しており、手配が容易である。
 - ガット船単独で数百～数千トンの貯油が可能であり、また、分離した水を船外に排出することも可能で、油分を多く貯蔵できる。
 - 満船となった場合、独航で目的地まで油を輸送できる。
 - 風速 10m/s 程度の海上模様であれば、回収作業が可能である。
 - 作業終了後の清掃が容易である。
 - ガット船は普段、土砂や捨て石などを運搬しており、油の回収は普段の作業の応用であり、作業員がスペシャリストであることを要しない。
 - 通常、船倉には隔壁がないため自由水の影響に注意しなければならない。
- ガット船の例を写真 4 に示す。



写真 4 ガット船の例

4. 強力吸引車

(1) 強力吸引車

強力吸引車は、空気の流れと真空圧により固体や液体を深所や遠距離から強力に吸い込む作業車であり、産業廃棄物の回収、土木工事、下水管清掃等、幅広い分野に用いられている。

平成9年のタンカー「ナホトカ号」の流出油事故では、延べ800台を越える強力吸引車等により沿岸部に漂着した油を短期間のうちに千トン単位で回収している。

強力吸引車の吸引原理は掃除機と同じであり、ブロワーにより発生する強力な空気の流れに吸引物を乗せ、車両後方に設置されたレシーバタンクに吸引(回収)するものである。液体、粉体はもちろんホース内を通過するものであれば採石などの個体でも吸引する。

また、過去に海上災害防止センターが行った実験では、高さ30mの位置から高粘度油を吸引回収することが可能であるとの結果を得ている。

強力吸引車の性能を表す際には「風量」という用語を用い、風量が大きいくほど吸引性能が高くなるが、逆に回収物を入れるレシーバタンクが小さくなる。

強力吸引車の例を写真5に示す。



写真5 強力吸引車の例

(2) コンクリートポンプ車

コンクリートポンプ車は、橋梁などの高所建築物や道路、ビルなどの基礎工事の深い場所など、ミキサー車から直接コンクリートを流し込めない場所にコンクリートを流す際に使用される建築用作業車である。

コンクリートポンプ車は屈折式のブームを有しており、沿岸部において漂着油を回収する際に、ブームを伸ばして道路と海岸の間をつないだり、ブームの屈折部を利用して防波堤を越えるなどの応用が可能である。ブーム先端部のホースは海上模様が平穏であれば人力によりコントロールし、時化している時にはリモコンによりコントロールする。

後述するようにこのコンクリートポンプ車の屈折式ブームと強力吸引車の強力な吸引力を組み合わせることで、より有効な回収手段となる。



写真6 コンクリートポンプ車の例 (ナホトカ号事故)

(3) 強力吸引車等の応用運用

強力吸引車は、流出油事故現場への移動、流出油の回収、回収油の貯蔵、さらに貯蔵した油の搬出等を行う自己完結型の優れた油防除資機材と言える。

しかし、欠点としては搭載タンクの容積が小さいこと、吸引のためのホースの先端の保持を人力で行う必要があることが挙げられる。このような欠点を補完するため、強力吸引車と大容量タンク車やコンクリートポンプ車を連結する方法がとられ、すでにナホトカ号流出油事故で実証されている。

イ 強力吸引車と大容量タンク車の連結

タンクの容積の小さい強力吸引車にタンクの容積の大きいバキュームカー（バキュームダンパー）を連結し、ダンパーのタンクをレシーバタンクとして利用する運用方法である。

強力吸引車と大容量タンク車の連結の例を図4に示す。

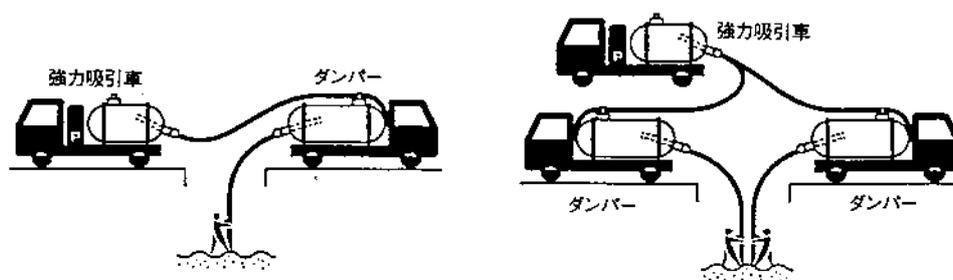


図4 強力吸引車と大容量タンク車の連結の例

ロ 強力吸引車とコンクリートポンプ車の連結

コンクリートポンプ車の屈折式ブームの利点と、強力吸引車の吸引力を活用するため、両車両をホースで連結し、強力な吸引力を得ると同時にブームの延伸・屈折及び回収ホースの先端部の制御が可能となり、油防除作業にとって極めて有効な方法となる。

強力吸引車とコンクリートポンプ車の連結の例を図5に示す。

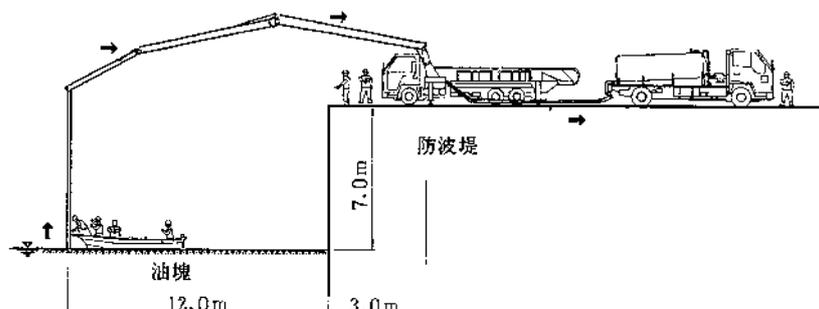


図5 強力吸引車とコンクリートポンプ車の連結の例

5. その他の機械的回収方法

スキマーなどの回収装置の使用が困難な場合や故障した場合は、あらゆる手段を用いて油を回収しなければならないが、その他に考えられる機械的回収方法としては以下のような方法がある。

(1) 水中ポンプ

岸壁やその付近において、回収した油水をためた一次貯蔵タンクから油を回収（移送）するのに有効である。油やゴミの種類や量によっては、十分にその性能を発揮する。しかし、油から可燃性ガスが発生している場合は、防爆型のポンプが必要となる。

(2) ダンパー車（バキュームカー）

真空ポンプによりタンク内を減圧し、タンク内と大気圧の差により液体を回収するもので、強力吸引車と原理において分類される。

ダンパーは原理的に揚程 10m 以上の吸引はできないが、タンク容量が大きいいため非常に有効な防除資機材となる。

回収した油水をタンク内で分離しタンク下部から水を排出することにより、油分のみを効果的に回収することが可能となる。

(3) 土木（浚渫）用機械

海岸に漂着した油をブルドーザー、ショベルカー、バックホーなどの重機を使用し、回収することが可能である。また、浚渫用のグラブなどを利用して、高粘度油や油まみれのゴミが回収できる。グラブの隙間から水分が排出されるため、回収効率は高くなる。

(4) ひしゃく、たも網、手鉤

油の回収作業で最も多く使われ、故障も少ない資機材（器具）と言える。

これらの道具を使用して効率良く回収作業を行うには、十分な数量と作業する人が必要となる。従って、人員や資機材の確保、調達、輸送方法などは事前に緊急時計画の中に取り込まれていなければならない。

平成9年の「ナホトカ号」事故では、厳冬期のためスキマー本体に付着した油が固着し、翌日の作業時にスキマーが運転できなくなるという事態が生じた。

このため、現場においてスキマーの本体内外部を簡易な方法で効果的に洗浄するためのシステムが切望された。海上災害防止センターでは簡易洗浄装置を試作し、堰式油回収装置 FOILEX TDS200 スキマーで試験を実施しの結果、十分使用可能であることが確認された。

- 流出油の回収に使用した油回収装置は、気温の低い厳冬期には、海中から引き揚げた後の洗浄が必要となる。
- 海上災害防止センターが開発した簡易洗浄装置は、次の3つの部分からなる。
 - ・スキマー内部の洗浄
スキマー内部に灯油を循環させて洗浄するケーシング、循環ホース等からなる装置。
 - ・スキマー外部の洗浄
スキマーの外部の汚れを洗浄するための装置。
 - ・内外部洗浄用カバー
スキマーの内外部を洗浄する際、周辺への飛散防止のための骨組み及びカバー。
- スキマー内外部の洗浄効果
 - ・内部洗浄効果確認実験
重油及びブームス化油の回収後3週間経過したスキマー内部に灯油を5分間循環させた結果、内部の汚れは除去され、十分な洗浄効果があることを確認した。
 - ・外部洗浄効果確認実験
重質油を表面に塗布したスキマーに、灯油をシャワー状に吹き付けてから高圧温水を吹き付ける方法が最も洗浄効果が高かった。高圧温水の洗浄のみでも洗浄効果があることを確認した。
- 外部洗浄装置を使用して灯油をシャワー状に吹き付ける場合、火気の管理には注意する。



洗浄用カバー



内部洗浄装置



外部洗浄装置

2. スキマー簡易洗浄システムの試作

スキマー簡易洗浄システムとして、スキマー内部洗浄装置、スキマー外部洗浄装置及び内外部洗浄用カバーを作製した。

(1) スキマー内部洗浄装置

内部洗浄装置本体の製作図を図1に、仕様を表1に、外観を写真1～6に示す。

- 内部洗浄装置本体は、ケーシング部、ホース接続部、循環ホース、クランプ部、脚部及びスキマー積載台から構成されている。
- スキマーの内部は、ホッパー下部のラバー製ジャバラの内側に付着した残油が固まることによりジャバラが固着する問題が発生しやすいため、ホッパーを持ち上げてジャバラ部を伸ばした状態で内部を洗浄する構造とした。
- ケーシング上面は蓋付きの開口可能な構造とし、ケーシング内部にはスキマー及び油水移送ホースの内部に残った高粘度の油塊（ごみ）を簡単に取り除くことができるよう、こし網を設置した。
- 地面とスキマー吐出口との間にスペースを設け、洗浄後のスキマー内部に溜まった汚油を排出させるため、スキマー積載台を作製した。
- 装置の材質は、屋外での使用や灯油を用いることを考慮して、耐食性、耐久性などに優れたステンレス鋼を採用した。
- 洗浄液としては、安価で入手が容易であり、洗浄効果が高く、再利用可能である灯油を用いることとした。

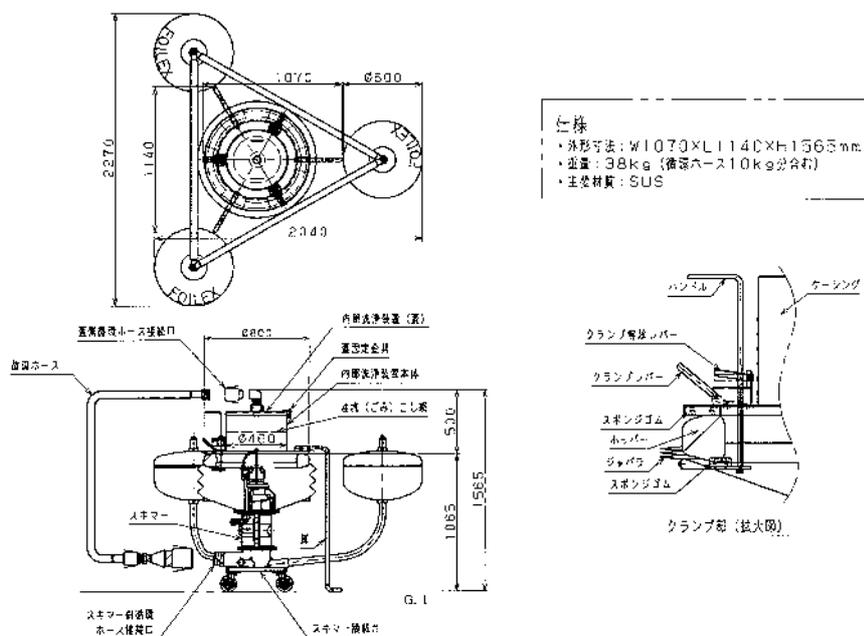


図1 内部洗浄装置製作図



写真1 内部洗浄装置（蓋なし）



写真2 内部洗浄装置（蓋付）



写真3 こし網の状況



写真4 上部蓋付近の状況



写真5 蓋固定金具の状況



写真6 ホッパー持ち上げ用ハンドルの状況

表1 内部洗浄装置の仕様

外形寸法	W 1,070×L 1,140×H 1,565 mm
重量	38 kg（循環ホース：10 kg 含む）
主要材質	SUS（ステンレス鋼）

スキマー積載台の製作図を図 2 に、外観を写真 7 に示す。

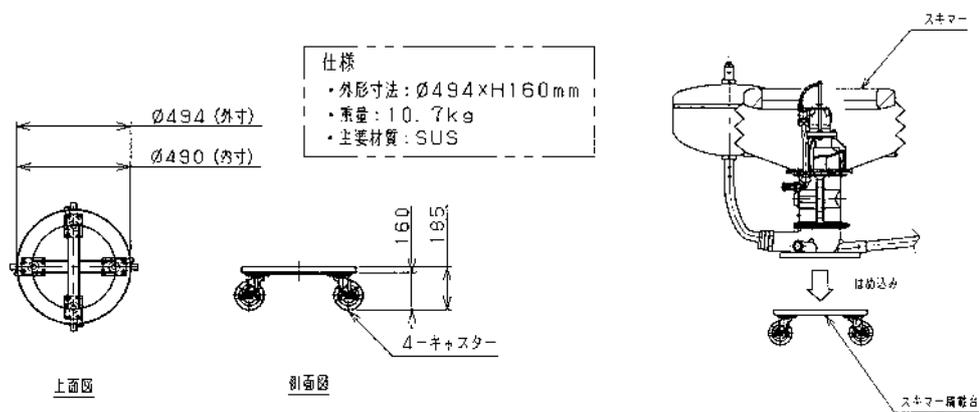


図 2 スキマー積載台製作図



(2) 内外部洗浄用カバー

油防除作業終了後にスキマーや移送ホース等を洗浄する際、周辺への汚れを防止するため、内外部洗浄用カバーを作製した。

- スキマー本体（最大幅約 2.3m）のほか、カバー内部に作業員が入って作業ができるよう、内部の広さを 2.7m×2.7m とした。
- 洗浄に使用した汚油をある程度貯めることができ、作業員がまたいで入ることができるよう、受け皿の高さを 30 cm とした。
- 受皿フレームには、耐食性、耐久性などに優れたステンレス鋼を使用した。
- 受皿フレームとフレーム脚を分割式とし、可搬型とした。
- 現場で簡単に組み立てて使用できるように、受皿フレームをフレーム脚に差し込み、飛散防止シートを被せるだけで組立が完了する構造とした。

内外部洗浄用カバーの各部製作図を図 3～図 8、組立手順を写真 8～写真 13 に示す。

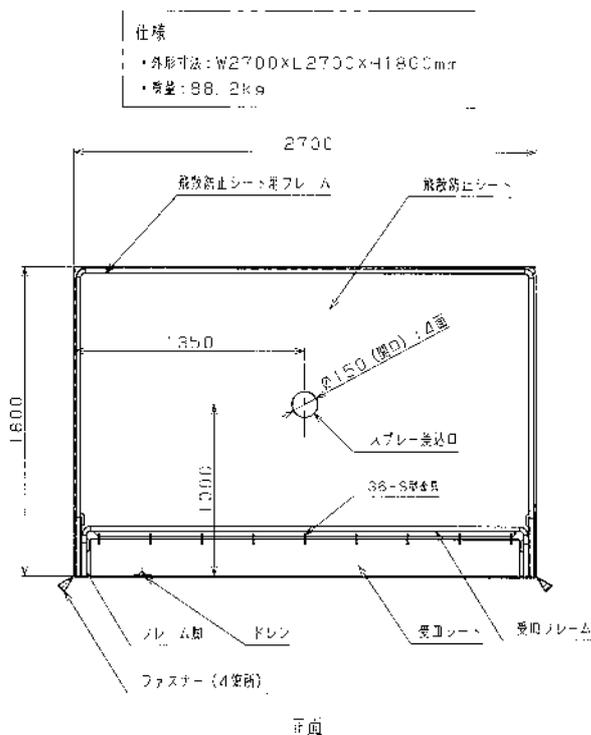


図 3 内外部洗浄用カバー全体図

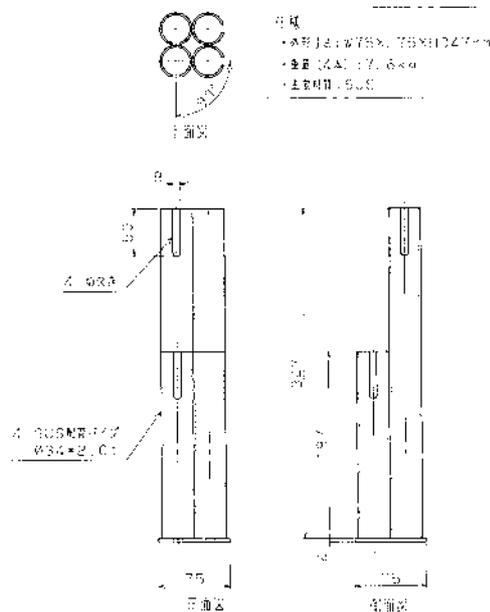


図 4 フレーム脚

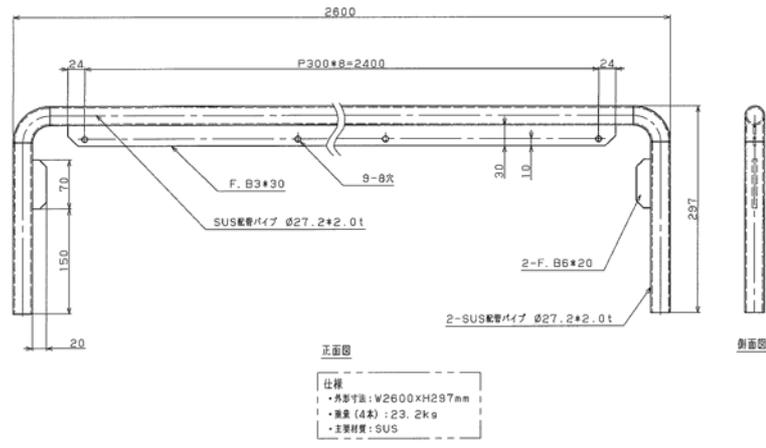


図5 受皿フレーム

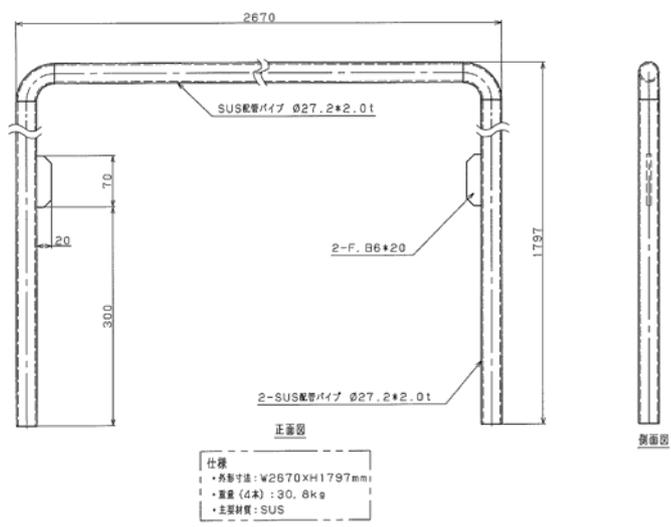


図6 飛散防止シート用フレーム

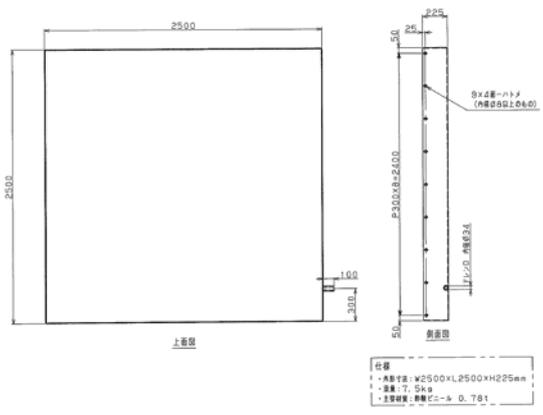


図7 受皿シート

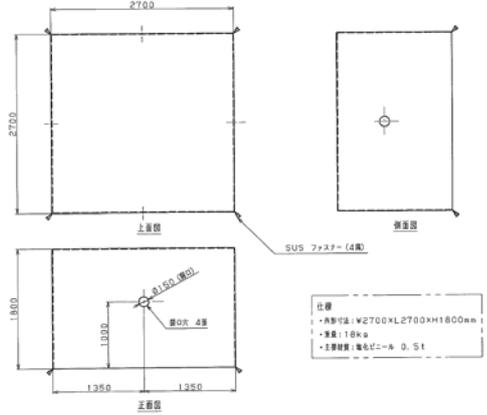


図8 飛散防止シート



写真8 フレーム脚の設置



写真9 受皿シートの設置



写真10 受皿フレームの設置



写真11 受皿シートとフレームを
S型金具で固定



写真12 飛散防止シート用
フレーム設置



写真13 飛散防止シート設置

(3) スキマー外部洗浄装置

使用後のスキマーの外部の汚れを洗浄するための洗浄装置を作製した。
 なお、作製に当たっては図9のイメージ図をもとに行った。

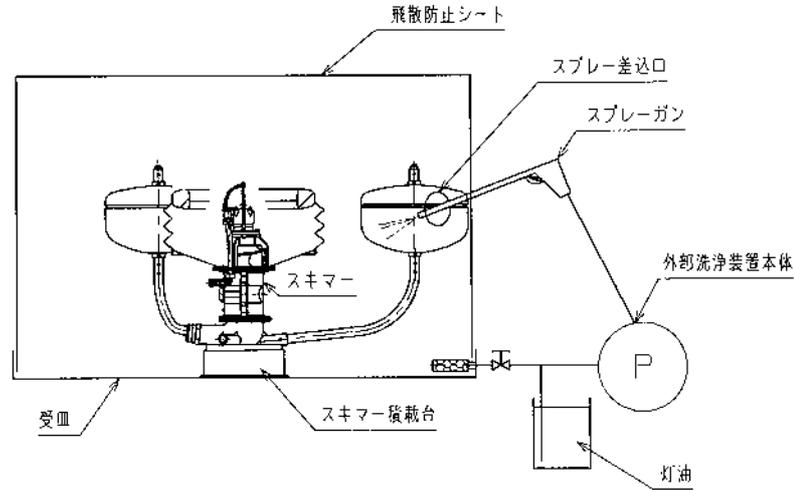


図9 スキマー外部洗浄装置イメージ図

洗浄手段としては高圧温水、スチーム、灯油の3種類を用いた。

灯油については、新たに作製した散布装置を使用して散布を行い、スチーム及び温水については、レンタルした高温高圧洗浄機を使用して散布を行った。

外部洗浄装置の製作図を図10に、外観を写真14に、高温高圧洗浄機の外観を写真15に示す。

外部洗浄装置及び高温高圧洗浄機の仕様を表2に示す。

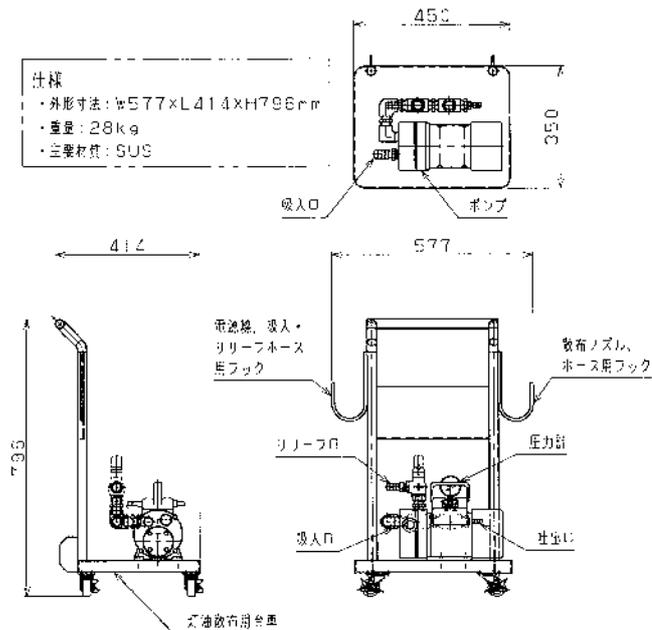


図10 外部洗浄装置製作図



写真 14 外部洗浄装置外観



写真 15 高温高圧洗浄機外観

表 2 各洗浄装置仕様

洗浄装置名 (型式)	外部洗浄装置	高温高圧洗浄機
型式	カネヤス型	スーパー工業(株)製 SUPER V-150
吐出液体	灯油	スチーム、温水
外形寸法	W577×L414×H796mm	W660×L1050×H770mm
重量	28 k g	115 k g
最大吐出量	20 ㍓/min	15 ㍓/min
最大吐出圧力	0.2MPa	14.7MPa
ポンプ	(株)工進製 GM2510H	3連セラミックプランジヤー ポンプ
電源	単相 100V 200w	3相 200V 4k w
使用燃料	—	灯油 (20 ㍓)
洗浄ガン	(株)カクダイ製 散水用ガン	ストップガン (扇型ノズル付)
吐出ホース	水道ホース φ 15mm × 10m	高圧ホース φ 3/8 “ × 20m
吸入ホース	耐油ホース φ 1 “ × 5 m	水道ホース直結

2. 実用化実験

実用化実験として、スキマー内外部の洗浄効果の確認実験を行った。

(1) 内部洗浄効果確認実験

1) 実験条件

イ 天候	晴
ロ 風向・風速	西北西の風 風速 4 m/s
ハ 外気温	8.5 °C

2) 使用資機材

- イ FOILEX TDS200 スキマー（重油及びムース化油の回収試験後 3 週間経過後の汚れた状態）、同パワーパック
- ロ 内部洗浄装置本体
- ハ 灯油約 60 l

3) 実験方法

- イ 内部洗浄装置をスキマー本体に取り付け、内部洗浄装置の蓋を開け、スキマー内に洗浄用の灯油をスキマーのホッパー下部付近（約 60 l）まで投入し、スキマーを運転する。
- ロ 運転を開始して 5 分経過後にスキマーの運転を停止し、内部洗浄装置を取り外してホッパー内部の洗浄状況を目視で調査を行う。

4) 実験結果

スキマー内部に灯油を 5 分間循環させた後、ホッパー内部の洗浄状況を目視で調査した結果、洗浄前にあった汚れはほとんどなくなり、十分な洗浄効果が確認された。

また、洗浄用の灯油については黒く汚れ、回収した容器の底部には油の小さな塊や砂等の夾雑物が見られた。

実験の状況を写真 16～23 に示す。



写真 16 灯油（洗油）の投入の状況

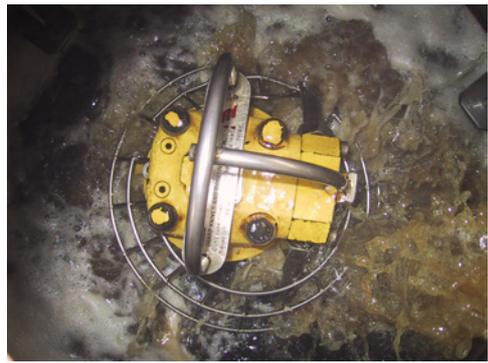


写真 17 スキマー内部の状況



写真 18 洗浄前（上面）



写真 19 洗浄後（上面）



写真 20 洗浄前（上面拡大）

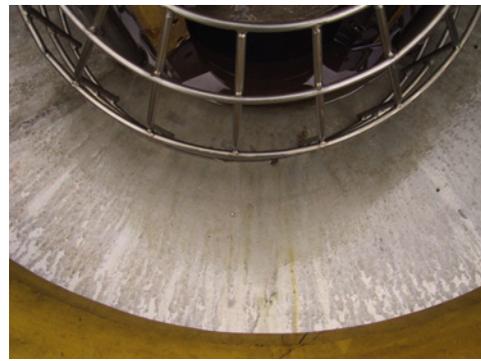


写真 21 洗浄後（上面拡大）



写真 22 洗浄前（側面）



写真 23 洗浄後（側面）

(2) 外部洗浄効果確認実験

1) 実験条件

イ 天候	曇
ロ 外気温	4℃
ハ 湿度	51%
ニ 液温(灯油)	6.4℃

2) 使用資機材

- イ FOIREX TDS200 スキマー、同パワーパック
- ロ スキマー積載台
- ハ 外部洗浄装置本体
- ニ 内外部洗浄用カバー

3) 試験方法

- イ スキマーをスキマー積載台に載せ、スキマー外部の任意の箇所に試験油としてボンノック M3800 を 500 g 塗布する。
- ロ 受皿内にスキマーを設置する。
- ハ 洗浄装置を運転し、飛散防止シートのスプレー差込口もしくはファスナーからスプレーガンを用いて洗浄液を散布する。
- ニ 5 分間外部洗浄を行った後、スキマー外部の洗浄効果を目視により確認する。

4) 実験結果

実験条件を表 3 に、実験状況を写真 24～写真 30 に示す。

スキマー本体の外部洗浄を灯油のみ、スチームのみ、高圧温水のみ、灯油＋高圧温水でそれぞれ行ったところ、洗浄効果は、灯油＋高圧温水＞高圧温水のみ＞スチームのみ＞灯油のみの順で高いことがわかったが、洗浄効果をより客観的に判断するため、別途ステンレス板に試験油を塗布した試験片に各洗浄液を散布しその洗浄効果を比較した。その結果を写真 31～写真 36 及び表 4 に示す。

表 3 外部洗浄効果確認実験条件

項目	洗浄液		
	高圧温水	スチーム	灯油
吐出圧	14.7MPa	5.0MPa	0.2MPa
吐出液温	—※	100℃	6.4℃

※ 吐出液温の測定は、各スプレーガン吐出口から吐出する液温を直接温度計で測定。高圧温水に関しては、高圧のため測定不能であった。



写真 24 実験全体の状況



写真 25 スチーム洗浄後の状況
(左：ボンノック塗布、右：スチーム洗浄)



写真 26 高圧温水洗浄後の状況
(左：高圧温水洗浄、右：スチーム洗浄)



写真 27 灯油散布の状況



写真 28 灯油洗浄後の状況



写真 29 灯油洗浄後の状況



写真 30 灯油洗浄後高圧温水洗浄実施

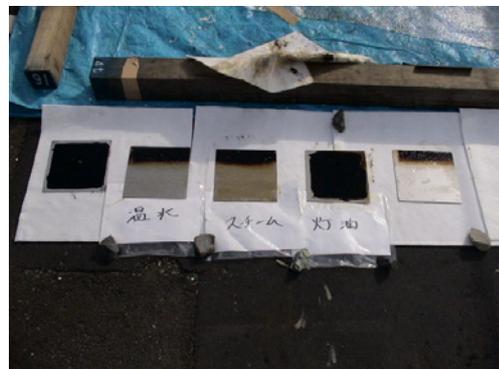


写真 31 洗浄効果の比較



写真 32 洗浄前 (試験油のみ)

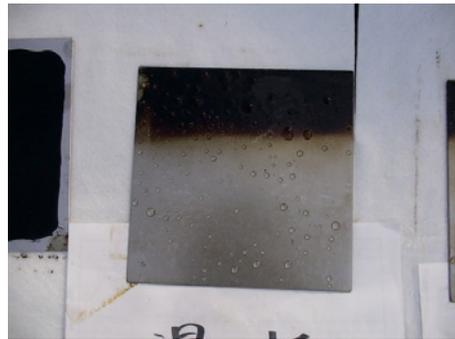


写真 33 高圧温水洗浄後の状況



写真 34 スチーム洗浄後の状況

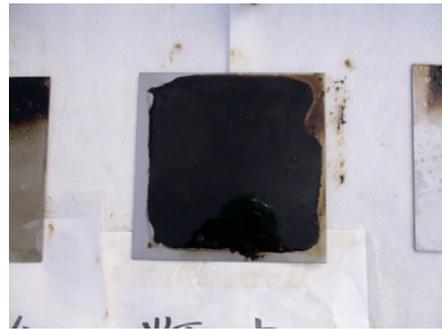


写真 35 灯油洗浄後の状況



写真 36 灯油洗浄後高圧温水洗浄

表 4 洗浄効果比較

洗 浄 液	結 果
高圧温水	ステンレス板の表面に薄く油膜が残るが、ボンノックは、ほぼ除去されていた。
スチーム	ステンレス板の表面に薄く茶色の油膜が残る。高圧温水に比べ油膜は厚い。
灯油	ボンノック表面を溶かす程度であった。
灯油+高圧温水	完全除去。最も洗浄効果がみられた。

試験片 ステンレス板寸法：200mm×200mm

ボンノック M3800 塗布量：10 g

試験油の性状を表 5 に、温度－粘度図を図 11 に示す。

表 5 試験油の性状

油種	ボンノック M3800		
密度	15℃	g/cm ³	0.950
動粘度	40℃	cst	3,701
	100℃		126
引火点	COC	℃	242
流動転		℃	2.5

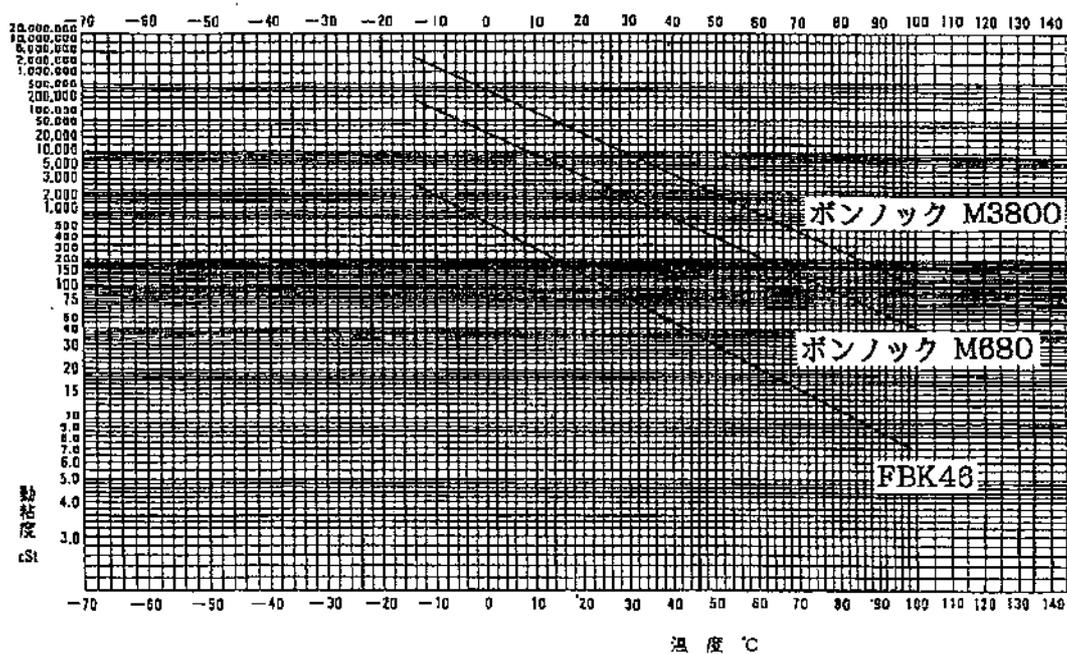


図 11 温度－粘度図

3. まとめ

(1) スキマー簡易洗浄システムの試作

スキマー内部洗浄装置は、装置上面を開口（蓋付）可能な構造とし、装置内部にこし網を設置することにより、内部洗浄後の灯油及び油塊（ごみ）の後処理を簡易に行うことを可能とした。また、キャスター付のスキマー積載台を取付けることにより、現場でのスキマー本体の移動を可能とし、内部洗浄後の油の抜き取りの作業性が向上した。

(2) 実用化実験

実用化実験として、スキマー内外部の洗浄効果を確認した。

スキマーの内部洗浄については、重油及びムース化油を回収して3週間経過した状態のスキマーを用いてスキマー内部に灯油を5分間循環させた結果、内部の汚れがほとんど除去され、十分な洗浄効果があることが分かった。

スキマーの外部洗浄については、試験油をスキマー本体表面に塗布し、高压温水等を吹き付けて観察した結果、灯油を表面に散布して高压温水を吹き付けた洗浄方法が最も洗浄効果が高かったが、高压温水の洗浄のみでも洗浄効果があることが確認された。

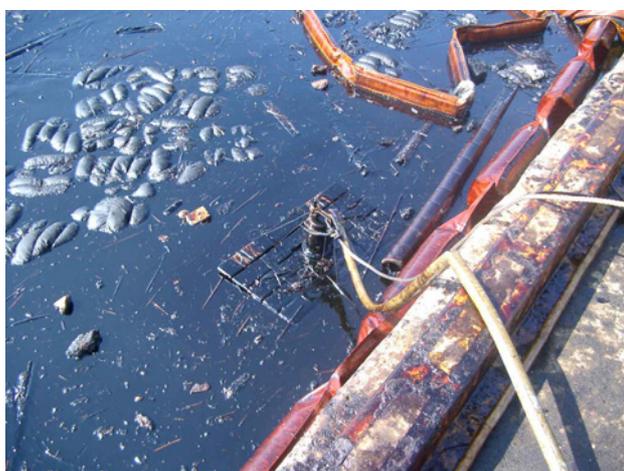
このため、流出油回収現場で使用する場合は、高压温水洗浄機と併用して使用する方法が効果的であると思われる。

スキマー外部洗浄装置として、灯油をシャワー状に吹き付ける装置を作製したが、灯油を使用しているため、念のため周囲の火気には注意が必要である。

油吸着材は、海上に流出した油を吸収（absorption）又は付着（adsorption）させるものであるが、油を回収するための主たる道具ではなく、機械的回収の後に残った薄い油膜の処理、油の流出量のごくわずかで回収装置を使用するまでもないという場合に使用するものである。

集まった作業員に何かをさせなければならないなどの理由で、安易に大量に撒いてしまうと、吸着材を岸壁から引き揚げる作業に多大な労力を要することとなり、かつ、大量の廃棄物を発生させてしまうことになる。しかも、吸着材は1箱3万円もする高価な商品であり費用が高むことになる。

- 吸着材は、回収装置による回収後にわずかに残った油の吸着に使う。
- 回収装置がない場合、半切ドラム缶・半切一斗缶の中に重しの石などを入れて海中に沈め、海面上の油を内側に落とし込み、水中ポンプ・強力吸引車などで吸い上げる。その後に海面上に残った油を吸着材で吸着する。
- 現場に回収装置・水中ポンプ・強力吸引車などの機械がない場合は、柄杓・たも網で回収し、その後に海面上に残った油を吸着材で吸着する。
- ごく少量の流出で大量の廃棄物を発生する恐れのない場合に吸着材を使う。
- 湿地帯などの油汚染の影響を受け易い場所にあらかじめ万国旗タイプ・ロールタイプの吸着材を展張して油を吸着材で吸着する。
- 海岸に漂着した油を洗い流す場合に万国旗タイプ・ロールタイプの吸着材で吸着する。
- 吸着材に油が染み込むと黒色となり油と見分けがつかなくなるので、広範囲に撒かない。
- 撒いた吸着材は全て回収する。海上に残ると二次汚染、航行障害の原因となる。



吸着材の使用例

1. 油吸着材の使用上の注意

- (1) マット型吸着材を油塊の中に投入すると黒い油が染み込み又は付着すると、油の黒色とマットの色が同じ黒色になり見分けがつかなくなって、回収ができなくなるので、広範囲にマット型吸着材を投入することはしない。
- (2) マット型吸着材は、油を吸着すると重量が増し、岸壁から距離があると手鉤で拾い上げることが難しくなるので、オイルフェンスで囲った岸壁から近い範囲で使用する。
- (3) マット型吸着材は、全て回収されないと他所に漂着し2次災害を引き起こし、また回収装置などに入り込むと故障の原因となるので、オイルフェンスで囲んだ中で流出しないようにして使用する。

2. 油吸着材の種類及び特徴等

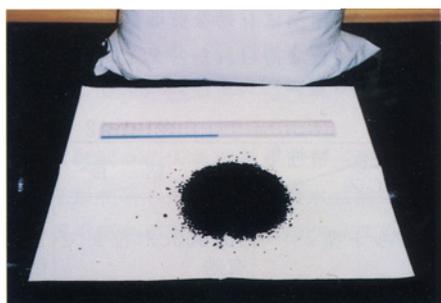
海上災害防止センターが平成10年度から11年度にかけて、米国材料試験協会 (American Society for Testing and Materials ; ASTM) の定める吸着材の試験方法により、C重油を対象として行なった性能試験結果を次表に示す。



マット型 (綿)



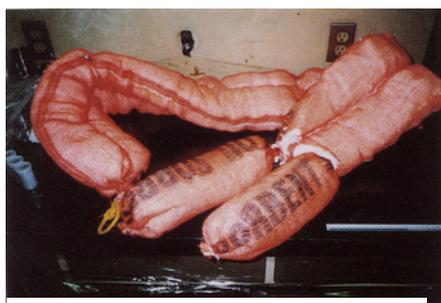
ルース型 (泥炭)



ルース型 (特殊処理活性炭)



ピロー型 (ポリプロピレン)



ブーム型 (ポリプロピレン)



ポンポン型 (ポリプロピレン)

タイプ別油吸着材の特性

特性等 タイプ	対 粘 度	吸 油 量	特 徴 等
マット型	10,000cSt 位まで有効	自重の 6 倍から 30 倍吸油	<ul style="list-style-type: none"> ・ 流出油の回収 ・ 資機材の清掃 ・ 作業船の甲板等の汚染防止 ・ 使用方法多岐
ルース型	材質により大きく異なる	材質により大きく異なる	流出油の回収のための使用は、油吸着材本体の回収が困難なため推奨されない。
ピロー型	低粘度油に有効	<ul style="list-style-type: none"> ・ 短時間では吸油量は少量 ・ 24 時間静置で自重の 5 倍から 15 倍吸油 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 使用方法はマット型と同様 ・ 材質により沈降するものもあり、ロープで係止するなどの注意が必要
ブーム型	使用方法による	<ul style="list-style-type: none"> ・ 短時間では吸油量は少量 ・ 24 時間静置で自重の 2 倍から 10 倍吸油 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 外洋での単独使用は効果が薄 ・ 港内や湾内の比較的平穏な海域での油層厚の薄い油の囲い込みに有効 ・ 材質により沈降するものもあり、ロープで係止するなどの注意が必要
ポンポン型	高粘度油になるほど有効	<ul style="list-style-type: none"> ・ 自重の 15 倍から 30 倍吸油 	<ul style="list-style-type: none"> ・ テトラポットの間や干潮帯に流れ込んだ油の回収に効果発揮 ・ 高粘度油の囲い込みにも有効

3. ASTM の性能試験方法

(1) タイプ I (ロール、シート) 油吸着 15 分間テスト

テスト油の厚さは、吸着材のサンプルが 7.5mm 以下であれば、7.5mm とする。吸着材の厚さが、7.5mm 以上であれば、油厚は吸着材の厚さと同じにする。テストサンプルの重量は最小でも 4g とする。吸着材を 130×130mm に鋭い刃物でカットし、最初の重量を記録する。

サンプルを油の入った容器の中に入れ、油の上で自由に浮くようにする。

15 分±20 秒後、吸着材サンプルをクリップで挟み、垂直方向に引き上げ、30

±3 秒間油を切る。上皿てんびんの皿を吸着材サンプルの下に置き、落ちる油をキャッチしつつ、素早く吸着材サンプルを皿の上に置く。そしてサンプルの重量を量る。

吸着材 1g 当たりの油吸着量を計算する。

この過程を 3 回行い平均を出す。もし、1 回でも平均値から 15%以上離れたものがあれば 3 回の測定を全てやり直す。

- (2) タイプⅢ（ピロー、ブーム）、タイプⅣ（スネアー）油吸着 15 分間テストフルサイズの吸着材の重量を測定し、記録する。

テスト油の厚さは、吸着材の厚さと少なくとも同じにする。

吸着材を油の入った容器の中に入れ、吸着材が油の上で自由に浮くようにする。

15 分±20 秒後、吸着材を手で引き上げ、30±3 秒間油を切る。

上皿てんびんの皿をバスケットの下に置き、落ちる油をキャッチしつつ、素早く吸着材を皿の上に置く。そしてサンプルの重量を量る。

吸着材 1g 当たりの油吸着量を計算する。

この過程を 3 回行い平均を出す。もし、1 回でも平均値から 15%以上離れたものがあれば測定を全てやり直す。

油処理剤による流出油の分散処理は、機械的回収とともに流出油対応方法の重要な手段である。油処理剤の毒性は、格段に改善されており特に我が国では海洋汚染等及び海上災害の防止に関する法律に基づく型式承認制度があり、その毒性は諸外国の製品と比べて極めて低いものとなっており、かつ、油処理剤の生分解度は90%以上となっている。

油処理剤に対する漠然とした不安を払拭し、適切に使用すれば流出油の被害を最小限に食い止める手段であることを理解することが重要である。

- 油処理剤によって分散された油は、海底に沈降することではなく、海面に近い海水中で分散し、やがて微生物により分解され、また、水中で酸化分解される。
- 分散処理された油は、それが海岸に漂着した場合でも海岸に付着することではなく、大量の油が沿岸部に向かって漂流しているような場合には、油処理剤による分散手法は沿岸部を守るための有効な手段となる。
- 油処理剤の使用に当たって留意しなければならないのは、その散布する海域の脆弱性であり、沿岸部、特に魚の産卵場所となっている藻場、漁期を迎えている漁場などでは、散布をしない。
- 波が高いなどの理由で機械的回収が困難な状況にあり、油処理剤が有効に分散効果を発揮する場合には対応手法となる
- 油処理剤の散布方法については、従来、タグボートに取付けられた消防ノズルによりエゼクター方式で海水と混ぜて散布する手法がとられてきたが、我が国の油処理剤は全て原液で散布しなければ効果を発揮しないタイプであるため原液散布装置による散布が必須条件である。
- 海上災害防止センターにおいては、船舶及び航空機からの散布装置を開発しており、これらを使用することが必要である。
- 油処理剤は、法律で認められた油防除手段であるが、それをどう使用するかについては、各地域毎の脆弱性を勘案し、地域であらかじめ決定しておくべきことである。



海上災害防止センターが開発した自己攪拌型油処理剤 S-7 の分散効果の試験
MDPC 法（横揺振とう法）

I 油処理剤

1 油処理剤の使用の歴史

油処理剤は、1960年代に欧米で登場し、我が国でもいくつかの国産品が出回ったが、性能上問題も多く、製造側、使用側も使用目的が明確でない点があった。

1967年3月、英国南部海岸で発生した「トリー・キャニオン」号のクウェート原油流出事故では大量の油処理剤が使用されたが、突発事故のこともあって不適切な洗浄剤等も大量に使われ、海鳥やその他の水産生物へ多くの被害を与えた。

我が国でも、1971年（昭和46年）11月、新潟港外で発生した「ジュリアナ」号のオマーン原油7,196klを流出した事故でも、芳香族からなる溶剤と界面活性剤との組み合わせによる毒性の強い油処理剤が使用され、水産関係者をはじめとして地域社会全般に大きな衝撃を与えた。折りからの荒天でオイルフェンスも使えず、油回収は不可能であり、残された油防除の手段は油処理剤の散布のみという事情があったにせよ、水産生物に対する影響が大きく社会的関心を呼んだ。

この事故が契機となって、1971年（昭和46年）12月の閣議において、化学剤についての政府の管理取締体制の点検及び整備のための必要な調査を行うための関係省庁連絡会議が内閣官房に設置され、「化学剤の管理取締り体制について」（昭和46年12月24日官房長通達）が出された。その後油処理剤等については、運輸省が担当省庁となり、「タンカー事故による油汚染の緊急処理対策に関する特別研究委員会」を設置して研究が進められ、その結果を踏まえて、1973年（昭和48年）2月、運輸省から「流出油処理剤の使用基準について」（昭和48年2月2日官房長通達）が出され、同年7月の海防法の一部改正で排出油の防除のための資材の義務付けが行われ、1974年（昭和49年）7月には、海洋汚染防止法の一部改正等の施行により、一定の基準に適合するものを排出油防除のための資材として備え付けることが法的に義務付けられ、また、型式承認を受けることができるとされた。

1983年（昭和58年）10月からは、MARPOL73/78条約の批准に伴う海洋汚染及び海上災害の防止に関する法律の一部改正等の施行により、一定の基準に適合するものでなければ使用してはならないことが法的に義務付けられた。この基準は、珪藻スケルトネマ *Skeletonema costatum* に対する致死量が100ppm以上、淡水ヒメダカに対して24時間半数致死量が3,000ppm以上であるが、この時点までに全ての市販油処理剤はこの基準を満たすものとなり、毒性は大きく低下したものとなった。

その後、1990年（平成2年）1月に京都府経ヶ岬沖にて発生した貨物船「マリタイムガーデニア号」座礁事故では、流出した大量のC重油等の燃料油が、季節風と荒波によりムース化し、海岸の岩場に漂着し、岩の間に入り

込んだ油の回収・処理は人海戦術によるひしゃく、スコップ等の道具によるほかないのが実情であった。この事故を教訓にして、C重油等粘度の高い油を乳化分散可能な油処理剤の開発が望まれ、平成8年には高粘度用油処理剤D-1128が開発された。平成11年度には、物理的な攪はんを必要としない自己攪はん型油処理剤S-7が開発され海洋汚染及び海上災害防止の防止に関する法律施行規則に基づき、型式承認を取得した。

2 油処理剤の定義

油処理剤は、

「水面の浮遊物に散布し、攪はんすることによって、速やかに油を微粒子状態に乳化分散させ、かつ、最終的に海底に沈降せず、自然浄化を受けやすい状態にすることができ、かつ、水産生物に対して低毒性の物質」と一般に定義される。

3 油処理剤の種類及び組成

現在、我が国では、次の3種類の油処理剤が市販されている。

① 通常型油処理剤

非イオン系界面活性剤を炭化水素溶剤（ノルマルパラフィン）に溶かしたものである。メーカーから供給される状態のまま、希釈することなく使用する。2,000cSt 程度までの流出油に適用できる。流出油量の20%程度が散布量の目安。

② 高粘度油用油処理剤

非イオン系界面活性剤を複合して炭化水素溶剤（ノルマルパラフィン）に溶かしたものである。メーカーから供給される状態のまま、希釈することなく使用する。100,000cSt 程度までの高粘度油にも適用できる。流出油量の20%程度が散布量の目安。

③ 自己攪はん型（セルフミキシング）油処理剤

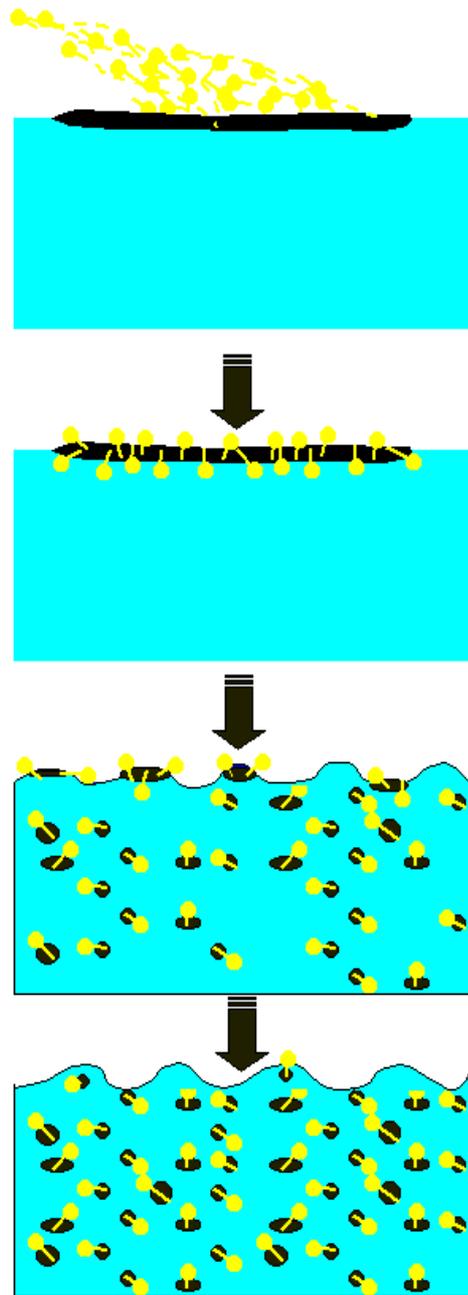
エステル系非イオン系界面活性剤にパラフィン系溶剤及び両親媒性溶剤を組み合わせた油処理剤であり、流出油に無希釈のまま散布される。10,000cSt 程度までの流出油に適用できる油処理剤である。従来型油処理剤の1/3～1/5（流出油量の3%～5%程度）の量で済み、人為的な攪はんを必要とせず、自然の波の作用で流出油を分散することが可能。船舶から専用の散布装置で希釈せずに散布する。航空機からの散布も可。

4 油処理剤の特性及び化学的分散のメカニズム

油処理剤は、次図に示すとおり油と海水の接触面における界面張力を減少させる界面活性剤を混合した製剤である。油処理剤は、油塊を非常に小さな油（直径 100 ミクロン未満）に細粒化する。油が微小滴になることで、自然の波動作用により水中への分散が促進される。

一般的な油水混合エネルギー条件下では、水中の油分量は急速に低下し、本来の自然環境レベルに落ち着く。静水中では、油滴は徐々に水面に再浮上する可能性がある。油処理剤中の界面活性成分の作用により、油の再凝集凝塊形成が抑止される。油処理剤の作用は、波動作用、推進器のプロペラ作用等による油水混合エネルギーの供給により強化される。

油処理剤は、海上に浮遊する油の水中への拡散を助長させるものである。水面からの油除去は、風による直接的油面移動の影響及びムース生成可能性を低下させる。また、油の表面積一体積比を増大させることで生分解を促進させる。



界面活性剤の挙動（単純化モデル）

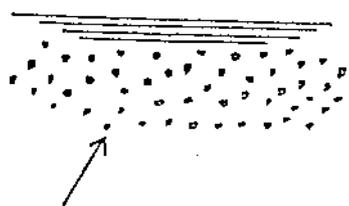
上図において、油処理剤を海上に散布した場合、油処理剤の分子は、自動的に油／水界面に、親水性の頭部は水中に、疎水性（親油性）の尾部は油層に来るように配列する。油中の尾部は、油分子同士を結合している誘引力を低下させるため、油は水面に広がる。攪はん及び拡散作用より油は油滴に細粒化される。油粒は、親水性の頭部が油粒子の周囲に皮膚のように付着して覆っているため再凝集が防止される。

5 油の自然浄化メカニズム

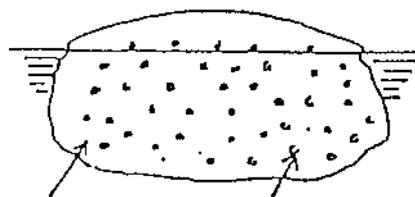
油が海中に流出した場合、ただ自然に外的力が加えられない状態で推移するとき、強く攪はんされるとき、加熱されるとき、加圧されるとき、攪はん・加熱・加圧が同時に行なわれるとき等、そのときの状況で種々のケースが考えられるが、少なくとも油が海水にいくらか溶解したといえる状態には到達しないことが実験的に確かめられている。乳化分散状態はあっても油の微粒子が水中に懸濁しているだけであって、油の分子はあくまでも油であって油の性質を有しており、水の分子との間には微量のものを除いて結合状態にはならない。

油の挙動は、油の粒子の大きさの影響を受けやすいといわれる。海中へ流れ込んだ油は波にもまれ、次第に微粒子に分散されていく。粘着力を失ってしまうまでの期間、海岸近くでは海底から巻き上げられた砂等の微粒固体と付着して海底に沈むケースがある。海面上の油膜は、プランクトンの生育に必要な光と酸素の供給を阻害する。油が最初から直径 0.01~1mm くらい程度の微粒子状態で分散しているならば、タール状の油塊に形成されることはなく、海中の動植物への付着も著しく減少することが数々の調査研究により判明している。油の中に海水が含まれると、いわゆる油中水のケースではムース状となり、海面、海中を浮遊又は懸濁する微粒子と容易に結びついて海底に沈むことも考えられる。好ましいのは水中油、すなわち海水の中に油が分散した状態になっていることであり、この状態は、油が海中へ流れ込んだ最初の時点からすでにそうなっているか、又は油処理剤の適正な使用によって実現されるもので、自然浄化を受けやすい形態である。次図にこれらの例を示す。

水中油型エマルジョン (O/W型)



油中水型エマルジョン (W/O型)



海中の油の状態 (例)

海面の油層は時間の経過とともに広がり続け、ついには 1mm の 1,000 分の 1 のミクロン単位の厚さの油膜となり、理論的には、最終的に視界から消失することになる。

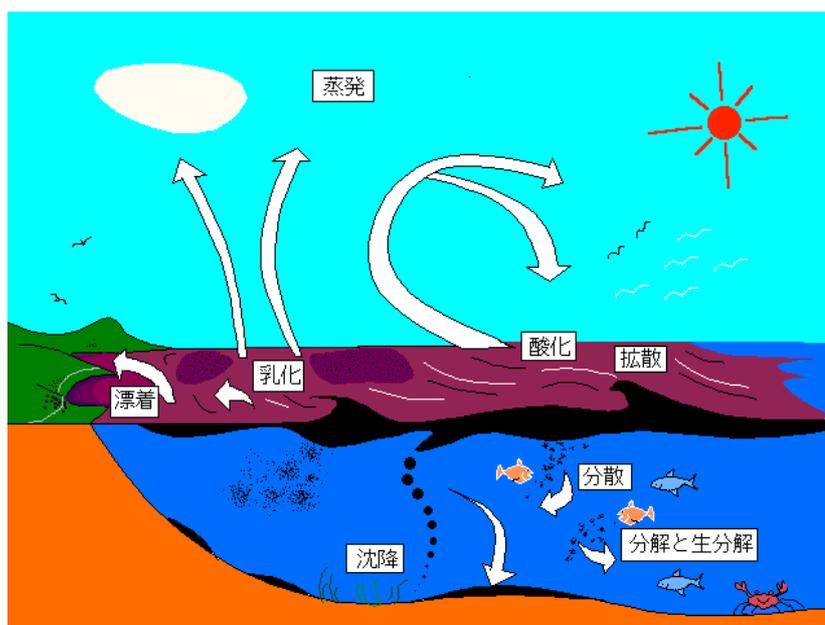
6 油の自然浄化サイクル

海中に流出した油は、時間の差はあるものの自然浄化作用により自然の姿に還元されるものである。このプロセスの概要を次図に示す。

例えば、原油においては、海面に流出すると、油膜の拡大とともに空中への蒸発（主に炭素数 20 以下の飽和炭化水素と芳香族）、水中への溶解（主に炭素数 15 以下の芳香族）、油滴及び油粒の形で水中への拡散が始まる。こうして流出後数時間から数日後には、流出油量は $1/3 \sim 1/2$ に減少する。

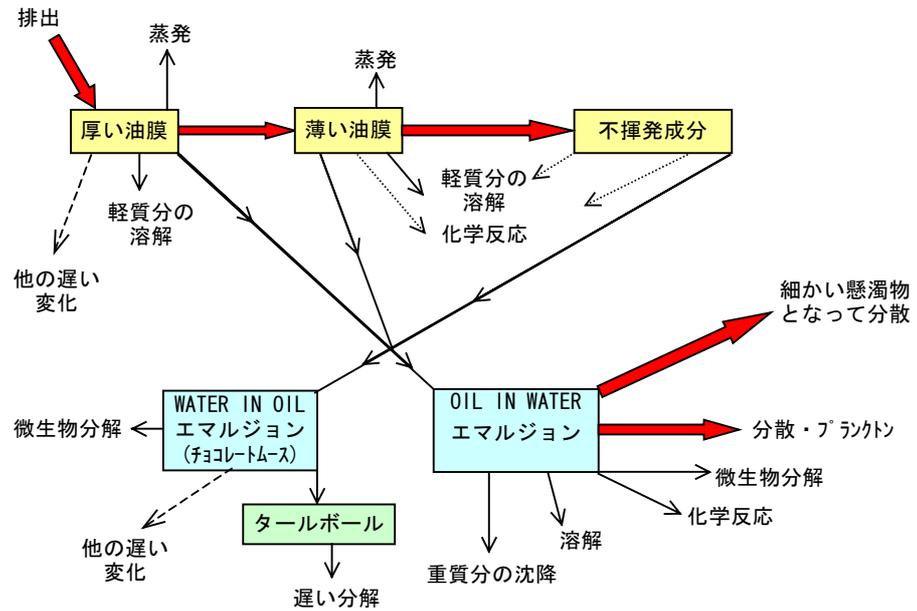
蒸発したものは、凝縮してエアロゾルを形成するが多いが、いずれの状態においても光により酸化される。この酸化過程の途中で、分子状及びエアロゾル状の蒸発分が海面に接触して表面拡散したり、海水に溶解したり、空中で霧や雨滴に吸着又は溶解して海面に再び落下し、海面で拡散・溶解する。この一部は再び空中へ蒸発する。この過程を繰り返し、揮発成分の分解が進行する。

海水に溶解した成分は、物理的・化学的酸化が行なわれるが、主に炭化水素分解微生物による分解、すなわち生分解を受ける。この生分解は、世界どこの海域においても行なわれる。炭素数 10~22 のパラフィン分が最も生分解されやすいが、炭素数 44 の直鎖型パラフィンまで生分解可能といわれている。流出油量の $1/3$ 程度が、この分解で消化される。十分に生分解を受けた流出油では、流出量の $1/3$ 以下が海域に残存することになるが、この残留分はアスファルト化合物等の難分解性成分からなり、最終的に微粒子状となり、海底の泥に混じり、生物学的に不活性化されていく。

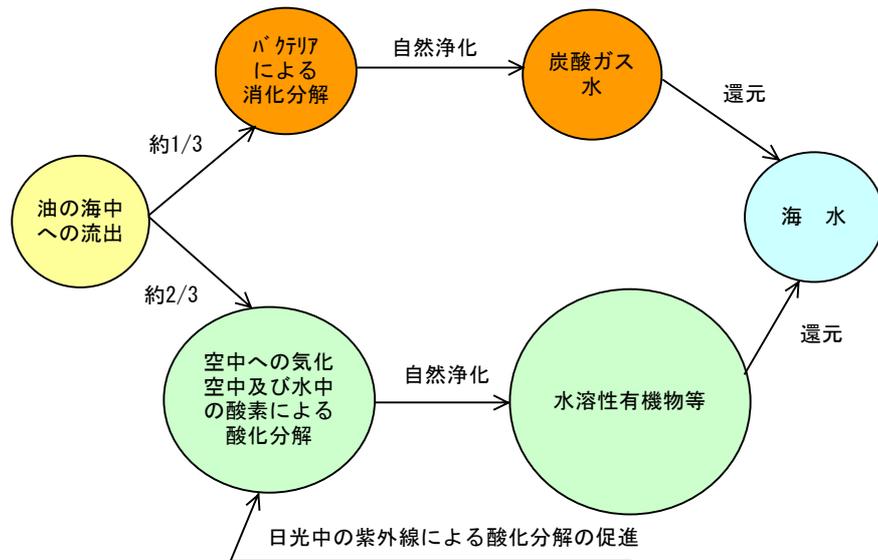


海中に流出した油の自然浄化過程図（例）

◎ 定性的



◎ 定量的



7 流出油に対する油処理剤の有効性

油処理剤の油塊分散能力は、油の流動点と周辺海水温度における粘性に大きく依存する。風化及びエマルジョン化作用により短時間の内に油の粘性は増大し、流動点が上昇し、結果的に分散抵抗性が大きくなり、分散しにくくなる。分散能力に対する影響要因としては、性状のほか、海洋条件、温度及び塩分濃度等が掲げられる。

油の粘度が非常に高いと、油処理剤の溶剤が油中に浸透する前に油処理剤が油から逃げてしまうので有効ではない。一般的に油処理剤は、約 2,000cSt 未満の液状油及び油中水エマルジョンの大部分のものを分散させるが、油の粘度が 2,000cSt を超えると、海上で散布される油処理剤は効果が薄れ、さらに油の粘度が 5,000cSt 以上になればまったく効かなくなる。流動点が流出水域の水温とほぼ同じか、それを上回るような高粘度のエマルジョン（ムース）又は油には、油処理剤の使用は不適である。

特定の油が蒸発し、油処理剤の使用の効果が低下するようになるまでの時間は、油の状態、温度等の要素によって決まるが、多くの場合は1日又は2日以内である。このことから、油防除対応チームは、油処理剤の使用の決断を急がねばならない。

経験的な粘度の指標として、その感触例を次に示す。

1,400～1,500 cSt	コンデンスミルク
4,000～5,000	イチゴジャム、ハチミツ
約 20,000	ソフトマーガリン、グリース
約 50,000	固いグリース、ゼリー
約 100,000	水あめ

8 油処理剤の使用手法

油処理剤の使用手法は、個別状況において最適の組み合わせを見いだす必要がある。沖合では、船舶や航空機からの油処理剤の散布が可能であるが、海岸、沿岸水域ではバックパック方式等が用いられるほか、航空機からの散布が可能な場合もある。いずれの場合も、油処理剤の散布に当たっては性能が実証された散布装置を使用し、散布装置及び油処理剤メーカーの使用上の注意を守ることが重要である。

(1) 船舶からの散布

散布に使用される船艇は大きさに相当の違いがあり、大型専用船から散布装置を必要に応じて装備させる臨時手配の小型船までである。大規模油防除作業の場合、必要な大量の油処理剤を搭載する能力がある大型船が適当である。

船舶からの散布の場合、油が流出源から移動しているときは、油塊の上空の観測機による誘導が有効である。

(イ) 消防ノズルによる散布

専用散布装置がない場合、応急の手段としてタグボートに備付けられた消防ポンプとノズルが用いられることがある。しかし、我が国の現状の油処理剤のような炭化水素型のものは、事前に希釈すると、界面活性剤が働かなくなることにより性能が低下するので、この方法は推奨できない。

(ロ) 専用散布装置

船舶に取り付けた専用の散布装置である散布桿を用いて無希釈の炭化水素型油処理剤（通常型）を散布する場合は、散布後の油塊の中を攪拌板を曳航することによって必要な攪はんを行わなければならない。自己攪はん型油処理剤であれば、攪はんの必要はなく、わずかな波のエネルギーにより自然に攪はんされる。

通常、専用散布装置では油処理剤の散布量が一定である。したがって、流出油に対する油処理剤の添加率は、船舶の速度を変えることによって行なうことによって調整する。実際には、船舶の速力は 4～10 ノット程度に制約される。攪はん板は、通常型油処理剤の散布の場合に使用するものであり、散布桿に取り付けて曳航するが、船型によっては操作の困難なものがあり、乗組員がこれを使いたがらず、そのため油処理剤の効果が大幅に低下している場合が見られる。船舶によっては、設計上散布桿を船体中央部又は船尾に取り付けなければならないものもあり、ある船舶では 5 ノットを超える速度で航行すると、油の大部分を散布幅の外に押し出してしまうような船首波を生じさせ、これが油の処理率を低下させ、油処理剤の無駄を生じさせる場合もある。



油処理剤散布装置を装備した船舶



銚子沖処理剤散布 平成 17 年 7 月 (SAS-I 型)

(2) 航空機からの散布

船舶用散布装置の改善が行なわれているが、この技術には処理率が低いこと、船舶からの油塊視認の困難性といった重要な制約がある。これとは対照的に、航空機からの空中散布では迅速な対応、油塊視認・監視の容易さ、高い処理率、油処理剤の最適利用、散布効果の的確な評価が可能なこと等多くの利点がある。

自己攪はん型油処理剤を無希釈のまま散布したときは、溶剤以外の混合エネルギーを必要としないことから、この方法だけが空中散布に適している。他の油処理剤を使用するときは、船舶の航走波等の混合エネルギーが必要となる。また、自己攪はん型油処理剤は、対油散布量が少なくても十分乳化分散が可能なため、航空機の搭載能力を最大限に発揮させることができる。当然のことながら、海上の視界が良好であることが不可欠である。また、この方法は、波立った海況ではさらに有効である。

9 油処理剤使用上の留意事項

(1) 油処理剤散布海域の最低要件

油流出事故における油処理剤の性能について、定量的なデータはほとんど確立されていないが、近年では油流出実験を通じて相当量のデータが蓄積されてきている。それによると、油処理剤処理油は時に最大で水面下10mの所まで分布すること、水量が十分な場合には短時間のうちにバックグラウンド濃度まで希釈されることが判明している。

次表は、米国における流出実験で得られたデータの一部を抜粋したものである。これらの表より、油処理剤使用の効果と水中の油分量の時間推移が把握可能である。また、水深が1m以上の水中では油分量が小さいことが分かる。このデータでは、油は主として水の表層部分、すなわち水面に非常に近い部分に集中的に存在することを如実に示している。

油処理剤の散布に当たっては、その影響を最も受けるであろう漁業関係者の同意が必要であるが、少なくとも水深10m以浅の海域では、上記より分散された油処理剤処理油が海底にまで分布するおそれがあるので使用を避けた方が望ましいと考えられる。

また、油処理剤は、流出油塊を微粒子に分散して拡散させ自然浄化を促進させるため散布するものであり、少なくとも0.25ノット以上の潮流が存在する海域で散布することが望ましい。

英国の国家緊急時計画においては、水深20mより浅い海域、又は距岸1マイル以内での油処理剤の使用に当たっては、承認権限のある機関から具体的な承認を得ることが法律の要件とされている。また、これらの海域より沖で使用する場合においても承認権限のある機関に協議することが望まれるとされている。油処理剤散布により油塊が微粒子化されて海面から海水中に分散されることから、冷却水、淡水化処理施設をはじめ各種産業用海水取水口付近での油処理剤の使用は避けるべきである。

IR 分光分析により抽出された水深別有機物の分量 (mg/ℓ)

処理後経過時間 (分)	水 深 (m)				
	表 面	1	3	6	9
0	0.06	0.1	—	0.03	0.04
30	11.0	3.8	2.5	1.0	0.9
75	1.0	0.3	0.3	0.3	0.2
150	0.3	0.1	0.1	0.1	0.1

1978 年米国東海岸における API/EPA 試験の結果 (マーバン原油の化学分散)

油処理剤のクロマトグラフィー測定による水深別燃料油分量
(海水 1ℓ中の燃料油 mg)

処理後経過時間	水 深 (m)			
	表 面	1	2.5	7.5
15-30 分	3.2	0.1	0.1	—
	0.8	0.1	0.1	
	44.0	0.2	0.1	
	170.0	0.1	0.1	
	560.0	0.2	0.1	
	1,210.0	0.4	0.1	
	0.6	0.2	0.1	
	0.7	0.1	0.2	
1 時間	—	—	—	0.1
				0.2
				0.1
3 時間	0.9	0.7	0.8	—
	1.8	0.4	1.7	
	5.2	0.5	0.3	
	1.4	0.2	0.7	

(2) 流出油に対する油処理剤の使用限界

油処理剤の油分散能力は、油の流動点と周辺海水温度における油の粘性に大きく依存する。

油の粘度が非常に高いと、油処理剤の溶剤が油中に浸透する前に油処理剤が油から逃げてしまうので有効ではない。一般的に、油処理剤は、約 2,000cSt 未満の液状油及び油中水エマルジョンの大部分のものを分散させるが、油の粘度が 2,000cSt を超えると、海上で散布される油処理剤は効果が薄れ、さらに油の粘度が 5,000cSt 以上になればまったく効かなくなる。

その反面、軽油等の軽質油は非常に速く自然に分散するので、火災の危険を防止するために使用するものでなければ、原則として油処理剤は使用してはならない。

(3) 流出油に対する油処理剤の有効性の事前試験

油流出に対して油処理剤を散布する前に、現に流出している油に散布しようとする油処理剤が有効かどうかの簡易評価試験を実施すべきである。

(4) モニタリング

油処理剤で処理した油について、油処理剤の有効性を検討するためモニタリングを実施すべきである。油処理剤散布作業中もモニタリングを通じて作業をガイドし、効果を検証する必要がある。分散処理された油についてサンプル採取と分析を実施し、モニタリング・データを収集し、単純な全体濃度を決定するほか、必要に応じて詳細な成分分析を実施することも必要である。

(5) 専用散布装置の使用

油の処理率を確保し、油処理剤の無駄をなくすため、油処理剤は専用の散布装置を使用して散布すべきである。

専用散布装置が利用できない場合、応急の手段として消防ポンプとノズルが用いられるが、我が国の現状の油処理剤のような炭化水素型のは、事前に海水と希釈すると、界面活性剤が働かなくなることにより性能が低下するので、この方法では使用すべきではない。

(6) 散布後の攪はん力の確保

自己攪はん型油処理剤を無希釈のまま散布したときは、波の作用以外の混合エネルギーを必要としないことから、この方法だけが空中散布に適している。したがって、通常型油処理剤を散布した後は、船舶の航走波等の混合エネルギーが必要となる。

(7) 使用時の安全対策

油処理剤には、界面活性剤と強い洗浄性を備えた溶剤が含まれているので、散布時その飛沫（ミスト）、蒸気から皮膚、目、呼吸器等を保護するための基本的注意事項を守らなければならない。

散布時装着すべき装具（タイベック防護服など）

- 全身を包む作業服
- 耐油性 PVC 手袋
- 低濃度有機ガス用マスク
- 安全メガネ
- 耐化学薬品材料を用いた安全靴

(8) 取扱上の注意事項

製品の取扱は、十分換気が行なわれ、熱、火気のない場所で行なわれなければならない。誤って油処理剤に触れ、又は目に入ったときは相当時間清水ですすぎ、刺激がなお残っている場合には、医師の治療を受けなければならない。

① 火災の危険

多くの油処理剤は引火性があり、通常引火性物質取扱時の注意事項を守らなければならない。油処理剤の火災は、炭酸ガス、粉末消火剤、泡消火器、土砂を用いて消火することができる。また大規模火災には、水霧を用いて対応することができる。

② 油処理剤の漏洩

油処理剤が漏洩すると床が滑りやすくなり危険であるので、取扱、保管に当たっては、常に清潔、整理整頓が肝要である。また、油処理剤は、ペイント塗装物の表面の剥離を生じさせる。

漏洩した油処理剤は、から拭き又は水で拭き取り、その後大量の水で洗い流す。大量の流出があった場合には、まず土砂を用いて拡散を防いだ後、タンクに回収し、吸着材に吸着させ、残余を水で洗い流す。その際、流出した油処理剤が側溝等に流入し、関連水系の表層水や下水処理施設を油処理剤で汚染することのないよう注意しなければならない。

(9) 保管上の注意事項

油処理剤は多くの場合、鋼製 180 缶に密封保管されている。油処理剤の望ましい保管温度は -10°C ~ $+30^{\circ}\text{C}$ の範囲内で安定した温度の下で保管しなければならない。

II 油処理剤の法的位置付け

油処理剤については、「海洋汚染及び海上災害の防止に関する法律」、「同法施行規則」、「油又は有害液体物質による海洋の汚染の防止のために使用する薬剤の技術上の基準を定める省令」、「流出油用処理剤の使用基準（通達）」、「排出油防除計画（海上保安庁）」に従って適切に使用されなければならない。以下にこれらの法律及び施行規則等の油処理剤に関連する部分を列記した。

1 海洋汚染及び海上災害の防止に関する法律（昭和 45 年法律第 136 号）

第 39 条（大量の特定油が排出された場合の防除措置等）

大量の特定油の排出があったときは、次に掲げる者は、直ちに、国土交通省令で定めるところにより、排出された特定油の広がり及び引き続く特定油の排出の防止並びに排出された特定油の除去（以下「排出特定油の防除」という。）のための応急措置を講じなければならない。

- ① 当該排出された特定油が積載されていた船舶の船長又は当該排出された特定油が管理されていた施設の管理者
 - ② 前号の船舶内にある者及び同号の施設の従事者である者以外の者で当該特定油の排出の原因となる行為をした者（その者が船舶内にある者であるときは、当該船舶の船長）
- 2 大量の特定油の排出があったときは、次に掲げる者は、直ちに、国土交通省令で定めるところにより排出特定油の防除のため必要な措置を講じなければならない。ただし、前項に定める者が同項の規定による措置を講じた場合において、これらの者が講ずる措置にのみによって確実に排出特定油の防除ができると認められるときは、この限りではない。
- ① 前項第 1 号の船舶の船舶所有者
 - ② 前項第 1 号の施設の設置者
 - ③ 前 2 号に掲げる者のほか、その業務に関し当該特定油の排出の原因となる行為をした者の使用者（当該行為をした者が船舶の乗組員であるときは、当該船舶の船舶所有者）
- 3 前項の場合において、同項各号に掲げる者が同項の規定により講ずべき措置を講じていないと認められるときは、海上保安庁長官は、これらの者に対し、同項の規定により講ずべき措置を講ずべきことを命ずることができる。
- 4 大量の特定油の排出があった場合において、当該特定油の当該特定油の排出が港内又は港の付近にある船舶から行われたものであるときは、次に掲げる者は、第 1 項及び第 2 項に定める者に対しこれ

らの規定により講ずべき措置の実施について援助し、又はこれらの者と協力して排出特定油の防除のため必要な措置を講ずるよう務めなければならない。

- ① 当該港が当該排出された特定油の船積港であるときは、当該特定油の荷送人
- ② 当該港が当該排出された特定油の陸揚港であるときは、当該特定油の荷受人
- ③ 当該特定油の排出が船舶の係留中に行われたときは、当該係留施設の管理者

第 39 条の 3（排出特定油の防除のための資材）

次に掲げる者は、当該船舶若しくは施設又は当該係留施設を利用する船舶から特定油が排出された場合において、当該排出特定油の防除のための措置を講ずることができるよう、国土交通省令で定めるところにより、当該船舶若しくは施設内又は国土交通省令で定める場所にオイルフェンス、薬剤その他の資材を備え付けておかなければならない。ただし、第 1 号に掲げる船舶にあつては、港湾その他の国土交通省令で定める海域を航行中である場合に限る。

- ① 国土交通省令で定める船舶の船舶所有者
- ② 船舶から陸揚げし、又は船舶に積載する特定油で国土交通省令で定める量以上の量のことを保管することができる施設の設置者
- ③ 第 1 号に掲げる船舶を係留することができる係留施設（専ら同号に掲げる船舶以外の船舶を係留させる係留施設を除く。）

第 43 条の 4（油又は有害液体物質による海洋の汚染の防止のための薬剤）

油又は有害液体物質による海洋汚染の防止のために使用する薬剤であつて国土交通省令・環境省令で定めるものは、国土交通省令・環境省令で定める技術上の基準に適合するものでなければ、使用してはならない。

- 2 前項の薬剤は、その用法に従い、当該海洋の汚染状況及び当該海域の状況に応じて、適切に使用しなければならない。

2 海洋汚染及び海上災害の防止に関する法律施行規則（昭和 46 年運輸省令第 38 号）

第 31 条（排出油の防除のための措置）

法第 39 条第 1 項の規定により同項各号に掲げる者が講じなければならない応急措置は、次の各号に掲げる措置のうち当該排出特定油の防除ため有効かつ適切な措置であってそれらの者が現場において講ずることができるものとする。

- ① オイルフェンスの展張その他の排出された特定油の広がり
の防止のための措置
- ② 損壊箇所の修理その他の引き続く特定油の排出の防止
のための措置
- ③ 当該排出された特定油が積載されていた船舶の他の貨物
艙その他の油槽又は当該排出された特定油が管理されて
いた施設の他の油槽への残っている特定油の移替え
- ④ 排出された特定油の回収
- ⑤ 油処理剤の散布による排出された特定油の処理

第 32 条

法第 39 条第 2 項の規定により同項各号に掲げる者が講じなければならない措置は、次の各号に掲げる措置のうち当該排出特定油の防除ため有効かつ適切な措置であるものとする。

- ① 前条各号に掲げる措置
- ② 他の船舶の貨物艙その他の油槽又は施設の油槽への残
っている特定油の移替え
- ③ その他排出特定油の防除措置

第 33 条の 2（排出油防除資材）

2 排出油防除資材は、次の各号に掲げる資材ごとに、当該各号の規定に適合するものでなければならない。

② 油処理剤

イ 油又は有害液体物質による海洋の汚染の防止のために使用する薬剤の技術上の基準を定める省令（平成 12 年運輸省令第 43 号、以下この項において「薬剤の技術基準省令」という。）第 2 条第 1 号に掲げる要件を備えていること。

ロ 動粘度は、摂氏 30 度において 50 センチストークス以下であること。

ハ 乳化率は、静置試験開始後、30 秒で 60 パーセント以上であり、かつ、10 分で 20 パーセント以上であること。

第 33 条の 7（法第 39 条の 3 第 1 号の国土交通省令で定める船舶等）

法第 39 条の 3 第 1 号の国土交通省令で定める船舶は、総トン数 150 トン以上のタンカー（兼用タンカーにあっては、当該兼用タンカーのばら積みの液体貨物を積載する貨物艙の容量が 300 立方メートル以上であるものに限る。）であって、特定油を積載しているものとする。

2 法第 39 条の 3 第 2 号の国土交通省令で定める量は、500 キロリットルとする。

第 29 条の 7（特定油）

法第 38 条第 1 項第 1 号の国土交通省令で定める油は、次に掲げる油（以下「特定油」という。）とする。

- ① 原油
- ② 日本工業規格 2205（重油）に適合する重油
- ③ 前号の重油以外の重油で日本工業規格 K2254（石油製品－蒸留試験法）の 5 により試験した時に摂氏 340 度以下の温度で体積の 50 パーセントを超える量が蒸留される以外の重油
- ④ 潤滑油
- ⑤ 前各号に掲げる油を含む油性混合物

3 油又は有害液体物質による海洋の汚染の防止のために使用する薬剤の技術上の基準を定める省令（平成12年運輸省令第43号）

第1条 海洋汚染及び海上災害の防止に関する法律（以下「法」という。）

第43条の4第1項の国土交通省令・環境省令で定める薬剤は、油処理剤及び油ゲル化剤とする。

第2条 法第43条の4第1項の国土交通省令・環境省令で定める薬剤の技術上の基準は、次のとおりとする。

① 油処理剤については、次の要件を備えていること。

イ 引火点は、摂氏61度を超えるものであること。

ロ 界面活性剤の生分解度は、生分解試験開始後7日目の値と8日目の値との平均値が90パーセント以上であること。

ハ 対生物毒性は、スケルトネマ・コスタツムを1週間、当該油処理剤の含有量が1万平方センチメートルにつき1立方センチメートル以上の溶液で培養したときに当該スケルトネマ・コスタツムが死滅しないものであり、かつ、ヒメダカを24時間、当該油処理剤の含有量が1万立方センチメートルにつき30立方センチメートル以上の溶液で飼育したときにその50パーセント以上が死滅しないものであること。

ニ 当該油処理剤により処理された特定油が微粒子となって海中に分散するものであり、かつ、当該処理された特定油が海底に沈降しないものであること。

4 流出油処理剤の使用基準

官 安 第 21 号

昭和 48 年 2 月 2 日

運輸省大臣官房安全公害課長

日本船主協会常務理事 真 田 良

流 出 油 用 処 理 剤 の 使 用 基 準

この基準は、海上に流出した油類の処理に使用する流出油用処理剤（以下「処理剤」という。）について油による被害を有効に防止するとともに、処理剤による二次的な影響等を防止することを目的とする。

なお、この基準は、今後の研究開発の進展に応じ必要な改正を行なうものとする。

1. 使用方法

(1) 処理剤は、次のいずれかに該当する場合を除き、使用してはならない。

イ 火災の発生等による人命の危険または財産への重大な損害が発生し、または発生するおそれがあるとき。

ロ 他の方法による処理が非常に困難な場合であって、処理剤により、または処理剤を併用して処理した方が海洋環境に与える影響が少ないと認められるとき。

(2) 次のいずれかに該当する場合には、(1) ロ に該当する場合であっても、処理剤を使用してはならない。

ただし、特別な事情がある場合はこの限りではない。

イ 流出油が、軽質油（灯油、軽油など）、動物油または植物油であるとき。

ロ 流出油がタール状または油塊となっているとき。

ハ 流出油が、水産資源の生育環境に重大な影響があるとされた海域にあるとき。

(3) 処理剤は、2 (1) に定める規格に合致するものとして海上保安試験研究センターまたは工業品検査所の認定を受け、かつその旨を容器に表示したものでなければ使用してはならない。

(4) 処理剤を使用する場合には、下記の事項に留意しなければならない。

イ 原則として散布器を使用すること。

ロ 散布量に注意し、特に過度の散布にならぬこと。

なお、標準的な規格の処理剤が効果的に作用する場合には、油量の 20～30%が適量である。

ハ 散布後は直ちに十分な攪拌を行なうこと。

ニ できるかぎり風上から散布し、とくに風が強い場合には、油面の近くで散布する等により、処理剤の散逸を防ぐこと。

ホ 散布作業員は、顔面その他皮膚の露出をさけること。

へ 処理剤で成分を分けて保有するものの混合は計量器、攪拌器等を用いて正確に行なうこと。

2. 処理剤の規格等

(1) 処理剤の規格

処理剤は、以下に定める規格を有するものでなければならない。

イ 処理された油が微粒子になって海中に分散されるものであることを要し、海底に沈降するものでないこと。

ロ 次に定める性状を有すること。

項 目		制 限 値	試 験 方 法
引 火 点 (°C)		75 以上	JIS K2265 ベンスキーマルテンス
粘 度 (30 °C cSt)		50 以下	JIS K2283
乳 化 率	30 秒 後 %	40 以上	大阪工業技術試験所季報 20 卷 2 号-1969 に定める方法 対象油は JIS K2205 重油の二種
	10 分 後 %	20 以上	
生 分 解 度 (%)		90 以上	「油化学」21 卷 1 号-1972 に定め る方法
対 海 産 物 毒 性	Skeleton ma Costatum	100PPm 以上	スケルトネマーを一週間、専門委 員会で定める 方法で培養し、死滅させないこと。
	ヒメダカ (TLm24)	3,000PPm 以上	JIS K0102-55

ハ 処理剤で成分を分けて保有し、使用に際して混合するものにあつては、混合方法が適当であり、かつ混合物がイ、ロの要件を満たすこと。

(2) 処理剤の検査等

海上保安試験研究センターまたは工業品検査所は年一回、市販されている処理剤を試験し、その結果を公表するとともに、規格に合致しないものについては認定の取消しを行なうものとする。

(3) 規格の見直し

学識経験者により構成される専門委員会を設け、技術の進歩、海洋環境への影響等の諸汎の事情をふまえ、規格の適正を保つため、規格の内容を審議する。

処理剤の規格は、この成果に基づき、少なくとも年一回、必要な見直しを行なうものとする。

3. 雑 則

(1) 関係者協議会

管区海上保安本部を中心に、地方公共団体、漁業者、海運・石油関係

事業者等で構成される関係者協議会を設置し、1. (1) ロの具体的な判断事項、1. (2) ハの海域の具体的な範囲、その他必要な事項について協議決定するものとする。

(2) 処理剤の規格等の広報等

海上保安試験研究センターは、認定試験の結果、処理剤の認定、市販されている処理剤試験結果、処理剤の認定の取消し等につき、関係者への周知徹底をはかるものとする。

(3) 使用基準の適用

イ この使用基準は、昭和 48 年 2 月 2 日から実施する。ただし、1. (3) は、昭和 48 年 4 月 1 日から実施する。

ロ 現に備蓄されている処理剤で、1. (3) の認定を受けていないものについては、昭和 49 年 3 月 31 日までは、認定を受けた処理剤を少なくとも同量以上、同時に使用することにより、対海産物毒性が使用基準に適合するようにした場合に限り使用することができる。

5 海上保安庁 排出油防除計画（排出油の化学的処理）

排出油の化学的処理とは、排出油に適当量の界面活性剤を散布、攪拌すると、油は表面張力を弱め、油が水に包まれた形のエマルジョン化が進み、微細な油滴となって水中に分散することを利用して排出油を処理する方法である。

排出油の処理は、基本的には、機械的回収、物理的回収等の各回収方法によって排出油そのものを回収することが望ましいことであるが、排出油が広範囲に亘って拡散し、油層厚が薄くなる等その状況によっては、これにより難しい場合があり、このような場合には、排出油による災害の発生及び拡大の防止のために必要な限度において、油処理剤を使用した化学的処理を行なうものとする。なお、油処理剤は型式承認品等技術上の基準に適合するものでなければ使用してはならず、使用の際は特に次の点に留意するものとする。

- ① 次のいずれかに該当する場合を除き、使用してはならない。
 - イ 火災発生等による人命の危険又は財産への重大な損害が発生し、又は発生する恐れがあるとき。
 - ロ 他の方法による処理が困難な場合であって、油処理剤により、又は油処理剤を併用して処理した方が海洋環境に与える影響が少ないと認められるとき。
- ② 次のいずれかに該当する場合には、①ロに該当する場合であっても、油処理剤を使用してはならない。

ただし、特別な事情がある場合はこの限りではない。

 - イ 排出油が軽質油（灯油、軽油など）、動物油又は植物油であるとき。
 - ロ 排出油が、タール状又は油塊となっているとき。
 - ハ 排出油が、水産資源の生育環境に重大な影響があるとされた海域にあるとき。
- ③ 油処理剤を使用する場合には、次の事項に留意しなければならない。
 - イ 原則として散布器を使用すること。
 - ロ 散布量に注意し、特に過度の散布にならないこと。
 - ハ 散布後は直ちに攪拌を行なうこと。
 - ニ できる限り風上から散布し、特に風が強い場合には、油面近くで散布する等により、油処理剤の散逸を防ぐこと。
 - ホ 散布作業員は、顔面その他皮膚の露出を避けること。
- ④ 油処理剤の使用に当たっては、排出油をサンプリングし、乳化効果を確認すること。
- ⑤ 油処理剤の使用に当たっては、各地域ごとに関係地方公共団体、関係漁業者等と事前に協議し合意に達しておく必要がある

Ⅲ 海上における流出油処理方法の決定に関する考え方

1 流出油処理における意思決定プロセス

大規模油流出の場合は、複数の活動選択肢の組み合わせ可能性について検討することとなる。さらに、決定に影響を及ぼす要因についても考慮することとなる。意思決定は、事前計画作成の一環として組み込まれるべきであり、緊急時計画の準備作業において行なわれるべきものである。効果的な流出油管理のためには、適切な組織を配置し、業務と責任の分担を適切に行なうことが基本的要件である。しかし、これらだけでは不十分であり、後方支援体制を考慮し、機器及び資機材の利用可能性、移動及び使用について組織化し、迅速な活動を可能にする必要がある。緊急時計画では、短時間で入手可能な海洋条件、気象データ及び油の特性のデータの必要性を強調する必要がある。各種対策について取捨選択的決定を行なう必要がある場合に備え、海上及び沿岸水域の水路、深さ、生態学的特性についてもデータを収集し、区域の多種多様な区画（例えば、漁場、貝類生息地、水生生物生息地、アメニティ海浜）の社会経済学的重要性に関する詳細情報を準備する必要がある。2 つとして同じ流出油が存在しないことは事実であるが、出現可能性の高い流出油の状況について、多数の事例データを前もって具体的に把握し、流出油の拡散状況について知識を確保することは、最適な流出油対応活動の決定において重要な基盤となる。

2 対応目標の設定

流出油対応においては目標を設定する必要がある。対応目標は、一般に、国家的目標として設定される。生命と健康問題を除くと、主たる目標は、油汚染の影響を緩和することである。

その他の目標として、対費用効果や社会経済的側面等も考慮される。国家目標は国によって異なり、その結果必要とされる意思決定プロセスや決定時間も異なってくる。また、特定の流出油に対する防除方法も異なるものとなる可能性がある。

我が国においては、平成9年1月に発生したナホトカ号事故後に改訂された「油汚染事件への準備及び対応のための国家的緊急時計画」（平成12年12月26日）では、回収措置の実施、気象・海象、周囲の自然環境、漁場又は養殖場の分布等の状況を勘案した上で、機械的回収方法のみによる回収が困難な場合において、油の分解を促す油処理剤を使用した化学的処理を実施するものと規定されている。

海上流出油の処理方法は、基本的に3種類に分類される。大規模油流出に際しては、状況に応じて、この3種類の方法を適宜組み合わせて投入する必要がある。

① 機械的油回収

機械的油回収方法は、海洋環境へ進入した油を物理的に除去するものであり、理想的な方法である。従来、流出油を包囲し、水面から油を回収するための浮遊オイルフェンスの開発と改良に多大な研究努力が行われてきた。この種の機械的回収方法としては、油のスキミングによる回収や吸着処理も含まれる。海上で使用可能な回収装置は、海象条件が静穏な場合に限定される。

② モニタリング、自然に任せる方法

十分な時間があれば、自然は外部の援助なくして油を分解することができる。「モニタリング、自然に任せる」という決定は、活動を行なう時間がない場合、油塊の移動が続き、外洋に移動する可能性が高い場合、生態学的脅威を及ぼすことなく自然の分散可能性が高い場合、油が沿岸水域や近海の鋭敏な資源の存在する区域に到達する前に自然に分散されると思われる場合、又は諸般の事情を考慮した結果、自然に任せることで他の活動選択肢を導入するよりも結果的に被害が少なくなると思われる場合に採択可能である。一定の期間油を自然の分解に任せる場合、時間経過につれて油の回収や分散の困難度が増すことを考慮に入れる必要がある。状況が変化し、新たな決定が必要になる場合に備えて、継続的なモニタリングが極めて重要である。

③ 化学的分散

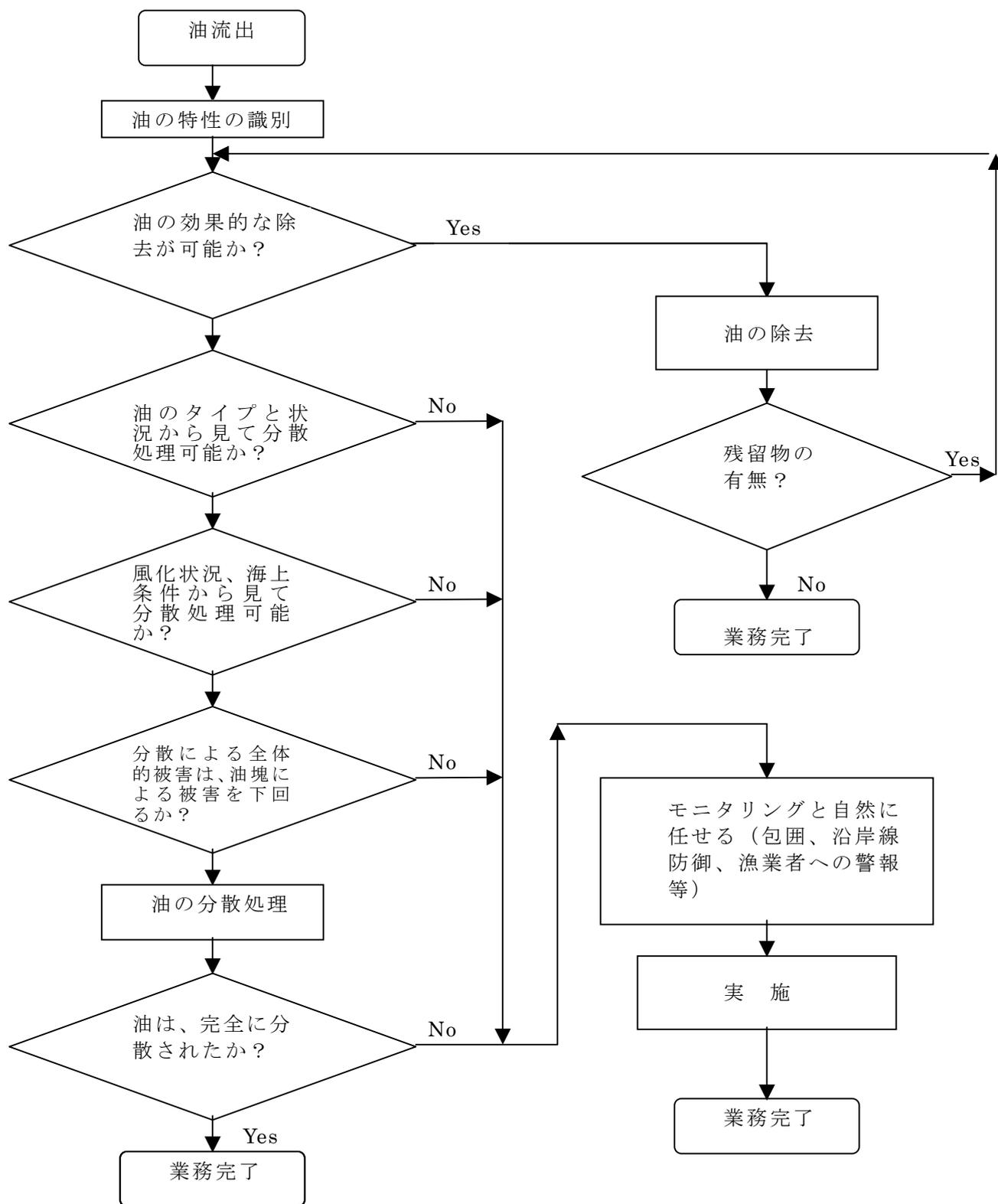
機械的油回収が効果をもたらさず、「自然に任せる」措置では油汚染の影響や被害が生じるおそれがある場合、油処理剤による化学的分散を考慮することとなる。

また沿岸部での漂着油を回収した後の付着油の清掃等に少量使用すると有効な場合がある。

3 沖合流出油に対する油処理剤使用の決定手順

次図は、流出油防除のために採択すべき選択肢に関する理論的決定手順の1つである。ここにあげた例は、特に観測データから油処理剤の使用により油の効果的な除去が可能であり、悪影響を最小限に抑えることが可能であることが示唆される状況において使用される決定手順である。

大規模油流出の場合、特に沿岸で発生又は沿岸に漂着の可能性がある場合は、効果的対応の可能性のある方法を組み合わせて投入する必要がある場合もある。



典型的な流出油対応決定手順（例）
（油処理剤に焦点を絞った決定手順）

IV 自己攪はん型油処理剤及び MDPC 法

1 MDPC 法（自己攪はん型油処理剤の分散性能試験法）

自己攪はん型油処理剤は、通常型油処理剤に比べ少ない散布量と人為的な攪はんを必要とせず自然の風浪等で油を分散する油処理剤である。具体的には、海洋エネルギーの Beaufort 風力階級 2（風速 3.4m/s 以下、波高 0.2m）程度で油が海中に分散する性能を持つ油処理剤である。

このため自己攪はん型油処理剤の分散性能を的確に評価できる試験法も必要となる。現在の我が国の試験法は、「排出油防除資材の性能試験基準（船査 5 2 号）」によることとされているが、この基準に定める油処理剤の試験法は、「振とう機で縦に 5 分間毎分 3 0 0 往復、振幅 40mm」となっており、自己攪はん型油処理剤は、波高 20cm 程度の波の力により分散されるものであることからこの試験法では、分散させるためのエネルギーが大きすぎ正確な分散性能を試験することができない。

そこで各国の試験法も参考にして海上災害防止センターで開発したのが、MDPC 法である。

MDPC 法の特徴は、円筒形ガラス容器（容量 1, 100L、外径 65mm、長さ 405mm）に比較的多い量の海水 550ml と予め混合した油（C 重油）及び処理剤を入れ、毎分 3 5 往復という比較的ゆっくりとした振とうを 30 分間行うという方法であり、実際の海上での波浪による攪はんに近い状態を作り出すものである。

自己攪はん型油処理剤（S-7）は、この MDPC 法によって性能試験を行い開発したものである。

MDPC 法と代表的な世界各国の試験法

項 目	MDPC 法 海上災害防止 センター	EPA改訂 標準試験法 (米国)	ラボファイ法 (英国)	渦巻きフラスコ法 (カナダ)	舶査第52号 (日本)
試験油	C 重油 3,000cSt	6号燃料油 (C重油に相当)	燃料油 処理剤のタイプ [°] に より 533cStと 2292cStの油	—	B 重油
海水量	550ml	130,000ml	250ml	120ml	50ml
油：油処理 剤	25：1	100：3	25：1	10：1	5：1
油の添加量	1 g (混合油)	100g (試験油)	5 g (試験油)	1 g (混合油)	2 g (混合油)
添加方法	予め混合	別々添加	別々添加	予め混合	予め混合
振とう方法	横揺れ振とう	ポンプ [°] で循環	容器の回転	渦巻き振とう	上下振とう
振とう条件	毎分35往復	水槽内を循環	毎分33回転	毎分150回転	毎分300往復
振幅	40mm	—	360° の回転	—	40mm
振とう時間	30分	20分	2分	20分	5分
静置時間	10分	攪はん中、 10分、120分	1分	10分	10分

MDPC法の試験方法及び判定基準

試験項目	試験方法	判定基準
引火点	JIS K 2265(石油製品ペンスキーマルテンス式引火点試験方法)に該当する方法	引火点は、摂氏 61 度を超えるものであること。
動粘度	JIS K 2283(石油製品動粘度試験方法)に該当する方法	動粘度は、摂氏 30 度において 50cSt 以下であること。
分散率	<p>1 試薬及び器具</p> <p>(1) 重油 JIS K 2205(重油)に規定する重油のうち 3 種の規定に適合するもの</p> <p>(2) 海水 JIS K 2519(潤滑油さび止め性能試験方法)に規定する人工海水で pH8.0±0.2 に調整したもの</p> <p>(3) 試薬 イ 塩化カルシウム(試薬特級) ロ 無水硫酸ナトリウム(試薬特級) ハ イソプロピルアルコール(試薬特級) ニ 塩化メチレン(試薬特級)</p> <p>(4) 油処理剤混合油 重油 10 g につき油処理剤 0.4g を加え、十分混合したもの</p> <p>(5) 分液ロート ガラス製容量 1,100L、外径 65±1 mm、長さ 405mm の円筒分液ロート</p> <p>(6) 振とう機 円筒分液ロートを装着し、毎分 35 往復、振幅 40mm で横方向に振とうできるもの</p> <p>(7) 光電比色計又は分光光度計</p>	<p>1 分散剤により処理された油が微粒子となって海中に分散し、かつ、処理された油が沈降しないこと。</p> <p>2 分散率は、静置開始後 10 分で 20%以上であること。</p>

試験項目	試験方法	判定基準
	<p>2 試験操作</p> <p>油 10 g につき油処理剤 0.4 g を加え、十分にかく拌はんし試験油とする。分液ロートに人工海水 550L を加える。</p> <p>水平方向に寝かせた状態で秤に載せ、中栓より試験油を正確に 1 g 加える。振動を与えぬよう静かに振とう機に水平方向に固定する。</p> <p>振とう機で横に 30 分間毎分 35 往復、振幅 40mm で振とうする。振とう後静かに垂直に立て、10 分間静置する。</p> <p>静置 10 分後、分液ロート下部より 100L の乳化層をメスシリンダーに取り、分液ロートに移す。</p> <p>メスシリンダーを 2 回、10L の塩化メチレンで洗い、この洗浄液を分液ロートに移して油分を抽出し、抽出液をビーカーに取る。さらに 2 回、毎回塩化メチレン 20 で抽出する。</p> <p>全抽出液をビーカーに合わせ、これに無水硫酸ナトリウム 5 g を加え、10 分間放置脱水後、脱脂綿を軽く詰めたロートでろ過する。</p> <p>ろ液にイソプロピルアルコール 5 mL 加え、さらに塩化メチレンを加え、全量 100L とする。</p> <p>これを波長 580nm で吸光度を測定し、試験油によりあらかじめ作成した検量線により、抽出液の油分量 (g) を次式により分散率を求める。</p> $\text{分散率 (\%)} = \frac{\text{抽出液中の油分量 (g)} \times 550}{\text{分液ロートに加えた予め混合油の全量 (g)}}$	

試験項目	試験方法	判定基準
	<p>(注1) 抽出操作 油処理剤比が大きく、油分を抽出できない(乳化が良好すぎるため)ときは、抽出中塩化カルシウムを使用する。</p> <p>(注2) 吸光度測定条件</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 分光光度計は、波長 580nm で測定可能なもの。 ・ 使用する油種によって 580nm での吸光度は変わるのでパスレングスを明確に規定しない。ただし、検量線作成時と同じ条件でサンプル測定を行うこと。特に、色の薄い重油を使用するときは、パスレングスの長いガラスセルを使用すること。 <p>3 その他</p> <p>2の試験操作のうち、分液ロートの下部より乳化層を抜き出す操作までは、温度摂氏 20 ± 1 度(試験油の粘度を 3,000cSt に保つのが困難な場合は、当該粘度を 3,000cSt に保つのに必要な温度)の条件で行うこと。</p>	

2 MDPC 法による自己攪はん型油処理剤の開発

自己攪はん型油処理剤の開発は、予めスクリーニングした界面活性剤 2 種及び油性溶剤（パラフィン系）、両親媒性溶剤（グリコール系）2 種の組合わせによりその分散性能を MDPC 法により試験するという方法で行った。

(1) 界面活性剤と溶剤の組合わせ

界面活性剤、油性溶剤、両親媒性溶剤を組み合わせたものの中から分散性能のよいもの 3 つを抽出し、この 3 種類の組合わせのものを MDPC 法により分散性能を試験した。

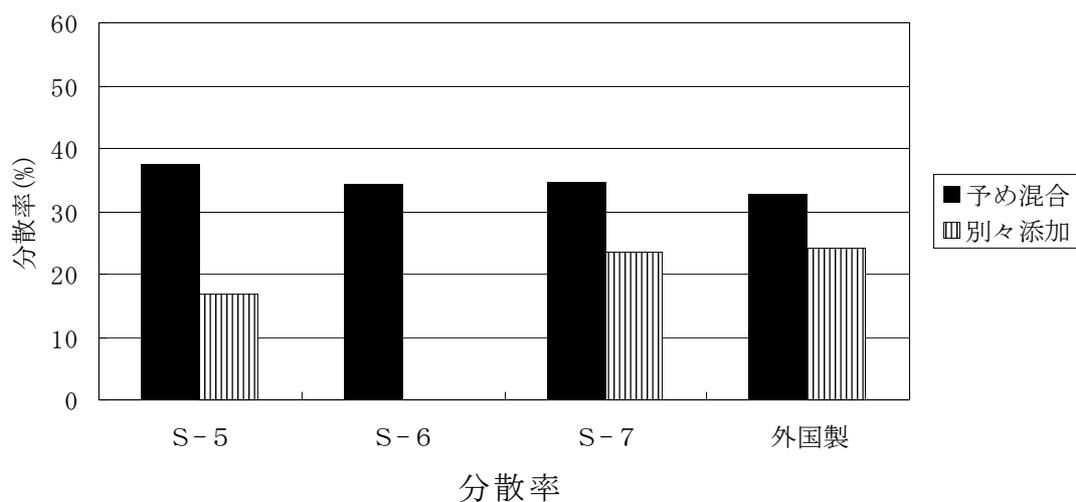
界面活性剤及び溶剤	S-5	S-6	S-7
界面活性剤 1 (POE脂肪酸エステル系)	50	25	—
界面活性剤 2 (POE脂肪酸エステル系)	—	25	50
溶剤 1 (油性溶剤) (パラフィン系)	24±5	36	25±5
溶剤 2 (両親媒性溶剤) (グリコール系)	—	—	25±5
溶剤 3 (両親媒性溶剤) (グリコール系)	24±5	12	—
溶剤 4 (水)	2	2	—

(2) 分散性能調査

3,000cSt の C 重油に対する分散性能を MDPC 法（予め混合）によって試験し、その結果、分散率の高い S-5 と S-7、外国製について、別々添加も実施した。

供試体	S-5	S-6	S-7	外国製
分散率	39.7	35.8	34.1	31.8
	35.2	33.0	35.2	33.5
	37.5	34.4	34.7	32.7

供試体	S-5	S-6	S-7	外国製
分散率	17.8	—	25.4	25.3
	16.0	—	21.8	22.9
	16.9	—	23.6	24.1



試験の結果からは、予め混合の場合には、各組み合わせとも大きな差は認められないものの、この中では S-5 が最も高い分散率を示した。一方、別々添加の方法によった場合には、S-7 が最も高い分散率を示した。実海域では、別々添加で散布されることから S-7 が実海域での散布に最も適した処理剤であることが判明し、S-7 を自己攪はん型処理剤とすることとなった。

3 自己攪はん型油処理剤の性能

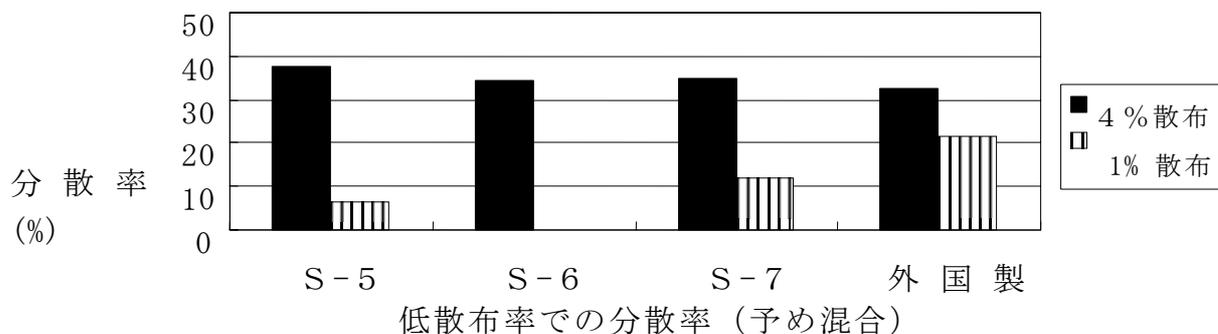
(1) 低散布率での性能

S-5 及び S-7 について、散布率を低下させた場合の有効性を調査した。試験は、散布率を4%から1%に低減した予め混合の方法によって行った。

1% 低散布率での分散率(予め混合)(単位：%)

供試剤	S-5	S-6	S-7	外国製
分散率	7.5	—	10.8	19.8
	5.7	—	13.4	23.0
	6.6	—	12.1	21.4

備考 油：油処理剤=100:1(4%→1%)

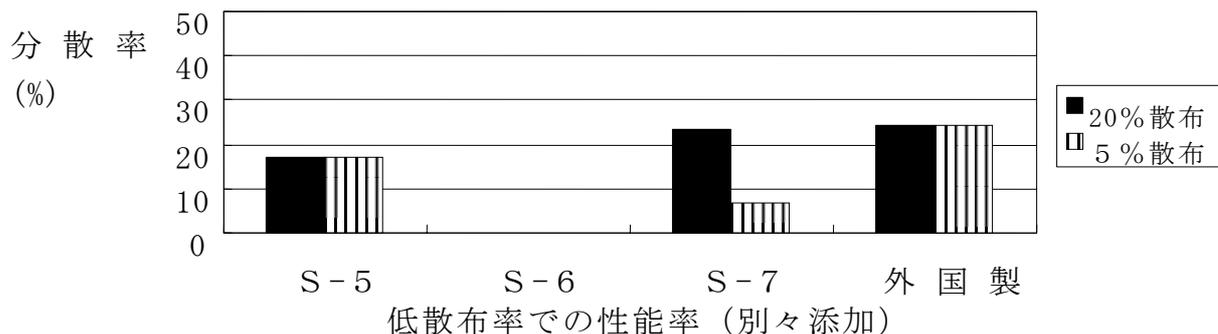


(参考)

5% 低散布率での分散率(別々添加)(単位：%)

供試剤	S-5	S-6	S-7	外国製
分散率	19.0	—	6.1	25.2
	15.4	—	7.3	23.7
	—	—	—	24.3
	17.2	—	6.7	24.4

備考 油：油処理剤=20:1(20%→5%)



試験の結果を見ると、散布率を4分の1に低下させると、S-5及びS-7では分散率が3分の1から4分の1程度にまで低下し、外国製の分散剤に比べて低下の割合が大きくなった。また、別々添加の場合では、S-7は分散率が3分の1程度にまで低下しているものの、他のものでは、散布率を低減しても分散率が低下しない結果となった。このことからS-7の散布率については、4%を確保することが必要である。

(2) 海水で希釈した場合の性能

油処理剤散布装置がない場合、タグボート等に備付けられた消防ポンプによるエジェクターにより3%～6%の希釈率で油処理剤が海水とともに散布される。

このエジェクター方式による海水希釈散布の分散率について調査した結果は、次のとおりである。

なお、本分散性能試験については、MDPC法の油量が1gと少なく、分散剤を直接散布するとハーディング現象（油と水との界面張力が限りなく0に近くなり油層を一方向に押しつける現象）、ロールオフ現象（油層面から処理剤が水面に流れ落ちる現象）が発生するため次の試験法で行った。

（海水希釈による分散性能試験法）

- ① 分液ロート（300ml）人工海水 100ml を入れ、アラビアンライト原油（またはC重油）5ml を投入する。
- ② 分液ロート内の油層が一定となった状態で、油処理剤を一定量（散布率に合わせた量）を油面に滴下する。
- ③ 分液ロートを横向きに振とう器にセットし、振とう回数 120 回/分で、5 分間振とうし、その後 3 分間静置した後、50ml を採取する。
- ④ 油分抽出法は、「工場排水試験法 JIS K 0102」に準拠し、油分抽出薬は、クロロホルムとする。
- ⑤ 試験は 2 回実施し、それぞれの残量油分を合計して、海水 100ml 中の油分量とする。

イ 海水希釈による自己攪はん型分散剤の分散性能（アラビアンライト原油）

各散布法による自己攪はん型分散剤の分散性能（原油、分散率）

散布率 (%)	試験回数	予め混合	原液散布	希釈率 (%)						
				0.5	1.0	1.5	2.0	4.0	6.0	8.0
1	試 1	11.02	6.05	2.12	3.20	3.60	3.84	3.99	2.31	1.71
	試 2	8.41	6.45	2.16	3.14	3.52	4.04	3.54	2.48	1.36
	計	19.43	12.50	4.28	6.34	7.12	7.88	7.53	4.79	3.07
2	試 1	12.04	9.85	2.24	5.90	6.11	5.43	5.65	2.84	2.67
	試 2	11.68	9.25	2.44	5.61	6.31	6.29	5.76	2.40	2.22
	計	23.72	19.10	4.68	11.51	12.42	11.72	11.41	5.24	4.89
4	試 1	15.25	13.53	4.44	6.91	7.63	9.40	8.32	4.83	3.88
	試 2	14.96	12.73	4.76	7.53	6.57	9.15	7.89	4.24	4.26
	計	30.21	26.26	9.20	14.44	14.20	18.55	16.21	9.07	8.14

自己攪はん型油処理剤の海水希釈による分散性能は、当然のことながら、予め混合法（室内実験の試験法）が最も高く、次に原液散布、希釈散布の順となる。

散布率4%での原液散布法の分散率が26.26%であるのに対して、同じ4%の散布率での4%海水希釈法の分散率が16.21%であるので、原液散布法に対する海水希釈法（4%）の分散性能は62%にとどまり、海水希釈により分散性能が6割程度にまで低下しており、分散性能の低下が著しいことが分かる。

海水希釈散布法では、希釈率（海水量に対する処理剤の量）2～4%の範囲が分散性能が高く、その他の希釈率（0.5、1.0、1.5%及び6.0、8.0%）では、分散率が低い結果となっている。このことは、希釈率2%以下では分散剤の量が少ないことが要因として挙げられ、また、希釈率6.0%以上になると分液ロート内の海水量が少なく、界面活性剤が相互に作用し合うミセル現象によって分散性能が低下するものと考えられる。

ロ 海水希釈による通常型分散剤の分散性能（アラビアンライト原油）

散布率 (%)	試験回数	予め混合	原液散布	希釈率 (%)				
				1.0	3.0	5.0	10.0	20.0
5	試 1	8.27	3.81	1.68	2.43	2.68	2.68	3.03
	試 2	8.79	3.81	1.57	2.88	2.52	2.57	2.96
	計	17.06	7.62	3.25	5.31	5.20	5.25	5.99
10	試 1	14.12	5.50	2.17	3.73	3.10	3.84	3.75
	試 2	13.82	6.12	2.22	3.79	4.69	3.79	4.15
	計	27.94	11.62	4.39	7.52	7.79	7.63	7.90
20	試 1	19.95	12.81	2.48	6.06	6.27	5.86	5.74
	試 2	17.99	11.95	2.67	6.70	6.69	6.33	5.99
	計	37.94	24.76	5.15	12.76	12.96	12.19	11.73
30	試 1	22.80	17.56	2.65	8.08	7.74	8.72	7.62
	試 2	23.95	17.44	2.83	6.45	9.81	8.12	8.46
	計	46.75	35.00	5.48	14.53	17.54	16.81	16.08

海水希釈による通常型油処理剤の分散性能は、自己攪はん型分散剤と同様に、予め混合が最も高く、次に原液散布、海水希釈の順となる。

散布率 20%での原液散布法の分散率が 24.76%であるのに対して、同じ 20%の散布率での 5%海水希釈法の分散率が 12.96%であるので、原液散布法に対する海水希釈法（5%希釈）の分散性能は 52%にとどまり、海水希釈により分散性能が半分程度にまで低下しており、分散性能の低下が著しいことが分かる。

ハ 海水希釈による自己攪はん型分散剤の分散性能（C重油）

散布率 (%)	試験回数	予め混合	原液散布	希釈率 (%)				
				2	3	4	5	6
2	試 1	15.04	11.91	6.65	8.34	5.11	6.68	7.23
	試 2	14.20	11.74	6.60	8.35	5.13	6.04	7.56
	計	29.24	23.65	13.25	16.69	10.24	12.72	14.79
3	試 1	18.10	15.09	8.57	9.50	8.41	5.24	8.00
	試 2	18.11	15.96	7.54	10.22	7.45	8.27	4.62
	計	36.21	31.05	16.11	19.72	15.86	13.51	12.62
4	試 1	20.12	18.07	8.65	9.40	9.12	4.69	3.54
	試 2	21.93	17.84	9.95	10.55	9.65	3.43	4.26
	計	42.05	35.91	18.60	19.95	18.77	8.12	7.80
5	試 1	23.66	19.20	8.63	12.48	10.31	3.83	3.21
	試 2	24.94	20.60	8.92	12.54	10.32	3.68	3.06
	計	48.60	39.80	17.55	25.02	20.63	7.51	6.27
6	試 1	28.13	21.65	8.62	12.41	9.95	3.89	3.66
	試 2	29.03	22.90	8.65	12.43	10.03	4.35	3.21
	計	57.16	44.55	17.27	24.84	19.98	8.24	6.87

海水希釈による自己攪はん型油処理剤の分散性能は、当然のことながら、予め混合法（室内実験の試験法）が最も高く、次に原液散布、希釈散布の順となる。

散布率4%での原液散布法の分散率が35.91%であるのに対して、同じ4%の散布率での4%海水希釈法の分散率が18.77%であるので、原液散布法に対する海水希釈法（4%）の分散性能は53%にとどまり、海水希釈により分散性能が半分程度にまで低下しており、分散性能の低下が著しいことが分かる。

ニ 海水希釈による通常型分散剤の分散性能（C重油）

散布率 (%)	試験回数	予め混合	原液散布	希釈率 (%)				
				2	3	4	5	6
2	試 1	4.45	2.03	1.45	2.21	1.09	1.47	1.32
	試 2	4.37	1.69	1.06	1.90	1.05	1.58	1.31
	計	8.82	3.72	2.51	4.11	2.14	3.05	2.63
3	試 1	4.99	3.38	2.19	2.51	1.32	1.55	1.87
	試 2	4.98	4.12	1.74	2.71	1.33	1.39	2.03
	計	9.97	7.50	3.93	5.22	2.65	2.94	3.90
4	試 1	7.16	5.31	2.63	3.81	1.72	2.63	1.94
	試 2	6.56	5.61	2.83	2.41	1.76	2.53	1.89
	計	13.72	10.92	5.46	6.22	3.48	5.16	3.83
5	試 1	9.34	6.12	3.41	3.92	2.88	2.55	2.93
	試 2	8.95	6.04	3.08	3.76	2.66	2.42	2.80
	計	18.29	12.16	6.49	7.68	5.54	4.97	5.73
6	試 1	11.14	7.99	3.69	4.61	2.53	2.76	3.15
	試 2	10.68	7.49	4.31	4.54	2.70	2.85	3.44
	計	21.82	15.48	8.00	9.15	5.23	5.61	6.59

海水希釈による通常型油処理剤の分散性能は、自己攪はん型分散剤と同様に、予め混合法（室内実験の試験法）が最も高く、次に原液散布、希釈散布の順となる。

散布率5%での原液散布法の分散率が12.16%であるのに対して、同じ5%の散布率での4%海水希釈法の分散率が5.54%であるので、原液散布法に対する海水希釈法（4%）の分散性能は46%にとどまり、海水希釈により分散性能が半分以下にまで低下しており、分散性能の低下が著しいことが分かる。

結論として、分散剤の散布方法である原液散布法及び海水希釈法の両散布法の分散性能を要約すると次のとおりである。

(イ) 原液散布法と海水希釈法との分散性能を比較すると、海水希釈法は、原液散布法に比べて、分散性能が著しく低下する。

(ロ) 海水希釈法は、分散剤が海水と接触すると、分散剤中の溶剤（炭化水素系）が界面活性剤の親油基に包まれ、外側は親水基が並び（混合水は白濁となる）油との接触が断たれ分散性能が極端に低下する。

以上の結果から、分散剤の散布は、自己攪はん型及び通常型とも海水希釈法は、分散性能面著しく低下させる散布法であり、海水希釈散布法は行ふべきではない。

また、流出油現場では、油処理剤を柄杓等で油面に撒いている光景が見られるが、分散剤は油面にソフトに着地させ、油層中に浸透させることが必要である。このため、柄杓等で撒く方法では、せつかく撒いた油処理剤が油層を突き抜けてしまい流出油との接触時間が短くなり、油層中を通過するだけで分散効果は期待できず、効果がないものであるので止めるべきである。

(3) 高粘度油に対する性能

S-7 の他、S-7 開発のベースとなった S-5 及び外国製自己攪はん型処理剤について、5,000、10,000cSt 及び 30,000cSt の高粘度油に対し、油処理剤の散布率を変えて性能試験を実施した。

(イ) 試験条件等

- | | |
|----------|---|
| ① 供試剤 | S-5 S-7 コレキシット 9500(外国製) |
| ② 試験油 | C 重油 |
| ③ 試験油の粘度 | 5,000cSt(14℃)、10,000cSt(8℃)、30,000cSt(1~2℃) |
| ④ 散布率 | 4%~12%の5種類(2%間隔) |
| ⑤ 試験法 | MDPC法(試験油の粘度、散布率及び試験温度を除く。) |
| ⑥ 試験温度 | 試験油の粘度を保つために、必要な温度とした。 |

(ロ) 試験結果

高粘度油に対する分散性能 (単位：%)

	4%散布			6%散布			8%散布		
	S-5	S-7	外国製	S-5	S-7	外国製	S-5	S-7	外国製
5,000 cSt	28.9	29.1	32.0	48.2	60.5	34.7	52.3	73.3	41.2
10,000 cSt	18.7	20.6	32.0	38.4	43.9	31.4	50.0	62.5	39.9
30,000 cSt	17.7	17.2	2.3	28.6	24.5	12.8	45.5	48.8	34.5

	10%散布			12%散布		
	S-5	S-7	外国製	S-5	S-7	外国製
5,000 cSt	64.2	73.9	51.7	82.7	88.1	50.8
10,000 cSt	57.7	69.4	39.1	73.5	80.6	48.1
30,000 cSt	54.1	67.7	38.1	63.2	77.2	42.3

(ハ) 考察

S-5及びS-7の分散性能は、油分散剤の散布率4%、粘度5,000cStで、分散率30%弱で、性能基準値を上回った。他の粘度で、性能基準値に達したのは、S-7の10,000cStで、他は性能基準値以下である。散布率が6%以上では、全ての粘度油が分散率20%以上を示した。また、各散布率とも粘度が低いほど、分散性能が高い。散布率12%では、S-7は粘度30,000cStで分散率が77%、粘度5,000cStで88%と高い分散性能を示した。

コレキシット9500の分散性能は、散布率4%、粘度5,000cSt及び10,000cStで、S-7より数パーセント高い分散率を示したが、散布率6%以上になるとS-7よりはるかに高い分散性能を示した。散布率12%で比較すると各粘度ともS-7が約40%高い分散率を示した。

以上、S-7の高粘度油に対する分散性能は、粘度が高くなるほど、散布率を増すことが必要となるが、高粘度油に対しても高い分散性能であることが分かる。

(4) 原油に対する分散性能の調査

粘度の異なる原油に対する分散性能の調査は、2種類の原油について、試験油に対する油処理剤の散布率を変えて実施した。

また、比較のためにコレキシット 9500 についても調査を行った。

(イ) 試験条件等

- 1) 供試剤 S-5 S-7 コレキシット 9500(外国製)
- 2) 試験油
 - ① アラビアンライト原油、原油 A (軽質油 8.7cSt 30°C)
 - ② イラニアンヘビー原油、原油 B (中質油 13.7cSt 30°C)
 - ③ C重油
- 3) 散布率 1%~4%の4種類 (1%間隔)
- 4) 試験法 MDP C法 (試験油の粘度、散布率及び試験温度を除く。)

(ロ) 試験結果

試験結果を次表に示す。

原油に対する分散性能 (単位：%)

	1%散布			2%散布			3%散布		
	S-5	S-7	外国製	S-5	S-7	外国製	S-5	S-7	外国製
原油 A	11.8	11.6	27.9	46.0	32.1	31.5	39.8	32.7	41.8
原油 B	8.4	3.3	30.9	32.5	21.6	27.5	21.5	58.8	48.6
C重油	7.8	7.0	11.6	19.7	19.7	28.5	34.7	22.2	44.4

	4%散布		
	S-5	S-7	外国製
原油 A	36.9	35.4	49.1
原油 B	26.8	55.4	55.4
C重油	37.4	31.4	38.0

(ハ) 考察

原油 A : アラビアンライト原油 (軽質) に対して、S-5 は、散布率 2% で分散率 46.0% を示し、散布率が増すほど、高い分散性能を示したが、散布率 4% では最高値より 9% 減少した。S-7 は、散布率 2% ~ 4% の範囲で分散率が 32.1% ~ 35.4% となった。コレキシット 9500 は、散布率 1% で分散率 27.9% 散布率 4% で 49.1% で散布率に比例して分散率が増加した。

原油 B : イラニアンヘビー原油 (重質) に対して、S-5 は、アラビアンライト原油と同じ傾向を示し、散布率 2% で最高分散率 32.5% を示した後は、散布率が増すほど、分散率が低下し、散布率 4% では最高値より 5.7% 減少した。S-7 は、散布率 3% で最高分散率 58.8% を示し、散布率 4% で分散率 55.4% と若干分散性能が低下したが、最適散布率は 3 ~ 4% の範囲である。コレキシット 9500 は、散布率に比例する分散性能を示し、散布率 4% で分散率 55.4% である。

C 重油 : C 重油に対して、S-5 は、散布率 1% 及び 2% では、分散率が 20% を下回ったが、散布率 3% で分散率 34.7%、散布率 4% で分散率 37.4% の分散率を示し、少ない散布率で 30% 以上の分散性能を示した。S-7 は、S-5 と同様に散布率 2% 以下では分散率 20% を下回ったが、散布率 3% 以上では分散率 20% 以上を示した。コレキシット 9500 は、散布率は 1 ~ 3% の範囲で散布率に比例して分散率が増加し、最適散布率は 3% で分散率 44.4% を示した。散布率 4% では若干分散性能が低くなり 38% を示した。

以上、油種と散布率との性能調査から、S-5 及び S-7 は、原油に対して、2% ~ 3% 程度の散布率で最大の分散効果があることが分った。このことから、各原油に対して、最適な散布率があることが分かった。さらに、油種によって、効果の高い油処理剤や低い油処理剤があることが分り、原油や燃料油にそれぞれ固有の界面活性成分が含まれており、油処理剤の界面活性剤との相性により分散性能が左右されることとなる。

このため、流出油事故現場においては、流出油と油処理剤との相性を判定するための簡易試験法により流出油と油処理剤の相性を確認し、油処理剤の効果を予め判断することが必要である。

4 自己攪はん型油処理剤の有害性

舶査第52号の試験項目は、引火点、動粘度、分散率、界面活性剤の生分解度及び対生物毒性である。このうち対生物毒性は、沿岸性植物プランクトンであるスケルトネマ・コスタツムを1週間、当該油分散剤の含有量100ppm以上の溶液で培養したときに、当該スケルトネマ・コスタツムが死滅しないこと、かつ、魚類であるヒメダカを24時間、当該油分散剤の含有量が3000ppm以上の溶液で飼育したときにその50%以上が死滅しないことが要件とされ、ヒメダカによる方法は、急性毒性試験（JIS K 0102（工場排水試験法）7.1に規定された魚類による試験により行われる。

S-7が舶査第52号の基準を満たしていることは確認されているが、S-5、S-6及び外国製油処理剤に対する急性毒性試験並びに身近な家庭用洗剤に対する急性毒性試験を実施し、S-7との比較を行った。

なお、急性毒性試験は、S-7については海上保安試験研究センターへ、他の分散剤等については（財）日本食品分析センターへ依頼して実施した結果である。

(1) S-7の対生物毒性

S-7に対する対生物毒性の試験結果は、次に示すとおり各試験項目において舶査第52号の基準値を全て上回る良好な結果であった。

S-7の試験結果 (単位：ppm)

試験の種別	試験値	基準値
スケルトネマ・コスタツムの試験	180 ≤ N < 320	100 以上
ヒメダカの試験	4,300	3,000 以上

S-5、S-6及び外国製油処理剤のヒメダカを用いた試験結果

項目	S-5	S-6	S-7	外国製	基準値
LC50の値	12,000ppm	12,000ppm	4,300ppm	750ppm	3,000ppm 以上
分散率(予め混合)	37.5%	34.4%	34.7%	32.7%	—
分散率(別々添加)	16.9%	—	23.6%	24.1%	—

備考 分散率は、MDPC法による。

さらに、家庭用洗剤である洗濯用洗剤、台所用洗剤及びインスタント・コーヒーについて、ヒメダカを用いた急性毒性試験により有害性を調査し S-7 と比較した。

台所用洗剤等との比較（ヒメダカの 24h LC50 の値）

供 試 体	S-7	洗濯用洗剤	台所用洗剤	コーヒー
LC50 の値 (ppm)	4,300	12	79	2,700

備考 1 表中の数値は、値が高いほど有害性が低いことを示す。

備考 2 S-7 が型式承認を取得した際のヒメダカの試験結果は、6000ppm である。

まとめ

S-7 は、基準値である 3,000ppm を満たしているが、外国製油処理剤は基準値 3,000ppm をはるかに下回る 750ppm 以下の結果となり、我が国での使用が困難な製品であることが分かる。

また、S-7 の有害性は、型式承認を取得した際のヒメダカの試験結果である 6000ppm と比較した場合、洗濯用洗剤の 1/500、台所用洗剤の 1/76 であり、S-7 は極めて毒性が低いことが分かる。

5 自己攪はん型油処理剤の舶査52号（型式承認基準）による試験成績

平成11年11月19日に型式承認を取得した際の試験成績結果

S-7分散性能				
試験条件及び分散率		舶査52号	舶査52号基準値	MDPC法(参考)
試験油	試験油の種類	B重油	—	C重油
	粘度(cSt) 20℃	100	—	3,000
分散率 (%)	静置試験開始後30秒	70.0	60%以上	—
	静置試験開始後10分	63.6	20%以上	31.4
S-7対生物毒性				
試験項目		試験結果	舶査52号基準値	—
スケルトナ・コスタム(植物性プランクトン)		320ppm	100ppm以上	—
ヒメダカ(淡水魚)		6,000ppm	3,000ppm以上	—
S-7その他試験項目				
試験項目		試験結果	舶査52号基準値	—
生分解度(%)		98.2%	90%以上	—
引火点(℃)		64.5℃	61℃以上	—
動粘度(cSt)		16.8 cSt	50cSt以下	—
比重		0.92	—	—
色度		2.0L	—	—
S-7その他特記事項				
<p>1 S-7は配合された両親媒性溶剤の力によって、流出油とS-7の界面活性剤を混合し油を微粒子として分散するものであり、自然の風浪等で拡散するため人為的な攪はんを必要としない我が国初の自己攪はん型油処理剤である。</p> <p>2 S-7の分散性能は、粘度3,000 cSt以下の原油及び重油に対して油量の4%程度の散布量で効果を発揮する。従来型の20%に比較してはるかに低散布量で済む。</p> <p>3 高粘度油(30,000cSt)に対しては、散布量を増加することにより(散布率12%)分散性能を高くすることが可能である(77.2%)</p> <p>4 対生物毒性についても基準値を大きくクリアーしており、生分解度も98.2%であり、優れた油処理剤である。</p>				

6 油処理剤の海外及び国内での使用例、実績

油処理剤の海外での使用例、実績（シー・エンプレス号事故他）

（出典：「油処理剤等環境影響に関する検討調査」抜粋 平成13年3月（財）国際エメックスセンター）

（1）トリー・キャニオン号事故

1967年3月18日、リベリア船籍のタンカー、トリー・キャニオン号はクウェート原油93,000KLを積載し、ペルシャ湾から英国に向けて航行中、操船ミスにより英国ランズエンド沖のセブストーン暗礁に乗り上げて、積荷約93,000KLが流出した。流出油は西風により英国南西海岸に、その後北風によってフランス北西岸一帯にも漂着し、これら延べ約300kmにわたる沿岸域が汚染された。英国政府は船内に残った4万トンの原油を燃焼させるために軍に本船を爆破することを命じた。爆撃は3月30日まで続き、本船は沈没した。

油処理剤は海上で約3,000KL散布され、陸上では約7,500KL散布されたが、陸上では散布方法が適切でなかったため、潮間帯生物が広範囲にわたって大きな被害を受けた。

この事故を契機として、国際海事機関（IMO）において、タンカー事故時の油流出量の抑制策が検討され、1973年に海洋汚染防止条約（MARPOL）が締結された。

（2）エクソン・バルディーズ号事故

1989年3月24日、米国エクソン社のVLCCエクソン・バルディーズ号は、アラスカ州バルディーズ港内の石油基地からカリフォルニア州ロサンゼルス・ロングビーチに向け、ノーススロープ原油約200,000KLを積載航行中、操船ミスにより同港から南西22マイル沖のプリンス・ウィリアム海峡にあるブライ暗礁に座礁し、タンク11個中8個を破損、事故後5時間で積荷の約20%の41,000KLが流出した。

流出油は、アラスカの海岸線2,400kmにわたる海岸線を汚染し、米国沿岸での過去最大規模といわれる甚大な海洋汚染を引き起こした。

海上では事故後66時間後に当局から油処理剤の使用が許可されたが、油の状態から既に使用に値せず、さらにその後天候の急変により、航空機散布の機会を逸し、散布は事実上不可能となった。陸上（海岸）では数カ所で散布が試みられたが、防除効果は認められず、潮間帯生物に影響があったとされる。

この事故を契機として、国際海事機関（IMO）において、事故の再発防止対策が検討され、大規模な油流出事故への国際協力の枠組みを定めたOPRC条約が1990年に締結され、さらに、1992年には海

洋汚染防止条約（MARPOL）が改正され、タンカーに二重船殻構造が強制化された。

（３）ブレア号事故

1993年1月5日、リベリア船籍のタンカー、ブレア号は北海のガルフアクス原油84,700tを積載し、ノルウェーからカナダに航行中、米国北部のシェトランド諸島南端とフェア島の間22マイルの海峡で、主機関が故障、強風により岩礁に座礁、積載油が流出した。

荒天下のため防除作業は難航し、流出油は事故3日目には現場から西方14マイル、東方6マイルまで50mの幅で漂流したが、この荒天によって拡散等が促進され、汚染範囲は比較的小さかった。

本事故では事故翌日から3種類の自己攪はん型油処理剤が航空機によって散布され、少なくとも流出量84,700tのうち、2,000tが油処理剤によって処理されたと推定されている。生物への影響は事故当初から数ヶ月間は多環芳香族等炭化水素化合物の分布濃度が高かったが、その後値は漸減した。また、環境影響は概ね軽微であったとされている。なお、事故後、燃料管の二重化、タンカーへの非常用曳航装置の義務付け等の再発防止策が国際海事機関（IMO）で検討され、1994年に海上人命安全条約（SOLAS）が改正された。

（４）シー・エンプレス号事故

1996年2月15日、リベリア船籍のタンカー、シー・エンプレス号は北海のForties Blend原油131,000tを積載してベンプローク精油所に向かう途中、イギリスサウスウールズ州のミルフォード・ヘブン入口において、海中のミドルロックに乗り上げた。その後風浪によって座礁・離礁を3回繰り返し、合計72,000tの積載原油と480tの燃料重油を流出し、国立公園内の海岸線を含む約200kmにわたる海岸線が汚染された。油処理剤は、7日間にわたって7種類・合計446tが散布され、流出油のうち37%が化学分散したとされる。

本件における油処理剤の使用・非使用に関する評価は、油処理剤を使用しなかった場合、実際に海岸線を汚染した推定10,000～15,000tではなく、72,000～120,000tのエマルジョンが海岸線を汚染したと推定されている。

（５）エリカ号事故

1999年12月12日、マルタ船籍のタンカー、エリカ号は発電所用の重油31,000tを積載し、フランスのダンケルクからイタリアのリボルノに向けて航行中、波高6m以上の海上荒天（風速毎時25m/s以上）のためブルターニュ半島南岸の沖合約130kmの海上で船体が2分し、船首部の沈没後、続いて翌日にはタグボートに曳航された船

尾部が沈没した。流出油は高粘度油であり、事前調査の結果、分散しないことが判明し、専ら物理的回収方法によって回収され、海上では合計1,200 ㏩回収された。しかし、12月23日に初めてフィニステール沿岸に油が漂着し、その後1年余にわたって人力及び機会によって除去作業が進められ、現在2001年5月を終了目標に、陸上での回収作業が続けられている。

海外での油処理剤の使用例及び使用実績

発生年	場 所	船 名	流出油	流出量 (KL)	分散剤量 (KL)	散布方法	効 果
1967 (昭和42年)	英国南岸	トリー・キャニオン	クウェート原油	79,050			磯の清掃に直接油処理剤を使用したため生物に被害がでた
1975 (昭和50年)	英仏海峡	オリンピック・アライアンス	イラニアンライト原油	2,000	220	船舶	300トンが海岸漂着 大部分は突風により自然分散
1978 (昭和53年)	ブルターニュ半島沖	アモコ・カジス	原油	204,000			油処理剤の散布により約2万KLの油を処理した
1978 (昭和53年)	英国沖合	エレニV	重油	7,500	900	船舶	油処理剤の効果はなくほとんどの油が海岸に漂着
1979 (昭和54年)	アイルランドバントリー湾	ベテルギューズ	混合アラビア原油	1,000	35	航空機	散布率20～30 $\frac{KL}{ha}$ で海岸線を保護した
1983 (昭和58年)	英国ハンバー川	シーバンド	ナイジェリアフォルカードス原油	6,000	113	船舶 航空機	流出開始後60時間までは処理剤は有効であった 1000～2000MTが化学的分散処理された
1989 (平成元年)	米国アラスカ州バルディズ港沖	エクソン・バルディズ	原油	34,000			油処理剤を使用したが無風状態であったため効果が無く使用を中止した
1993 (平成5年)	英国シェットランド諸島	ブレア	ノルウェー原油	85,000		航空機	強風で作業は難渋し、事故翌日から航空機での油処理剤の散布程度のみ
1993 (平成5年)	マラッカ海峡	マークス・ナビゲーター	オマーン原油	25,000			事故後4～5日目に流出油が陸岸に近づいたため油処理剤を散布した
1996 (平成8年)	英国ミルフオード・ヘブン入口	シー・エンプレス	北海原油 (フォーティーズ原油)	72,000	446	航空機	フォーティーズ原油は実地試験により既に処理剤により分散可能であることが分かっていたため事故後直ちに処理剤が使用された。 実際に海岸線を汚染した10,000～15,000tではなく、72,000～120,000tのエマルジョン化した油で南ウエールズの海岸線を汚染し、清掃作業は長期化したと推定された。

油処理剤の国内での使用例、実績（ジュリアナ号事故他）

近年のわが国における主要な流出油事故5件について事故の概要と油処理剤の使用状況とその結果について述べるとともに過去の我が国での事故で油処理剤が使用された事例を列記する。

（1）ジュリアナ号事故

1971年11月30日、リベリア船籍のタンカー、ジュリアナ号が新潟沖で荒天錨泊中に風浪に流されて座礁し、船体が2分された。このときの流出油はオマーン原油であり、流出量は7,200KLあった。この事故後、主要港湾に流出油災害対策協議会が誕生するとともに、「石油連盟海水汚濁処理協力機構」が設立されるきっかけとなった。

（2）水島精油所事故

1974年12月18日、三菱石油水島精油所のタンクが破損し、海上にC重油が7,500～9,500KL流出した。被害都道府県は4県におよび、汚染範囲は美濃瀬戸海域及び播磨灘南部海域に拡散した。「石油コンビナート等災害防止法」及び「海洋汚染防止法」改正のきっかけとなった。

（3）マリタイム・ガーディニア号事故

1999年1月16日、リベリア船籍のマリタイム・ガーディニア号は経ヶ岬沖を空船で山口県笠戸向け航行中、北よりの季節風により圧流され暗岩に底触、舵脱落后浸水し、航行不能となった後陸岸に座礁、船体が2つに分断し燃料油のC重油916KLが流出した。海上では、船舶により処理剤、航行攪拌により油処理。陸上では、京都府・福井県魚連の作業員による人海戦術で油の回収にあたった。回収油は水分約60%を含む高粘度のムースで、汚染範囲は京都府網野町から福井県三方町までに至った。

（4）ナホトカ号事故

1997年1月2日、ロシア船籍タンカーナホトカ号が、ペトロパブロフスクに向けC重油19,000KLを積載し、日本海を航行中、島根県隠岐島北北東106km付近船首部分が折損、船尾部分が沈没、船首部分は潮流と風に流されながら1月7日14時30分、福井県三国町安東岬付近の岩盤に着底（当時の気象・海象：北西の風20m/s 波浪6m、うねり4m以上）。C重油約6,240KLが流出したとされる。

（5）ダイヤモンド・グレース号事故

1997年7月2日、パナマ船籍のダイヤモンド・グレース号が、アラブ首長国連邦から三菱石油川崎工場向けのウムシャイフ原油を積載

し、東京湾を航行中、横浜市中区本牧埠頭より約6kmの中瀬航路付近で船底が接触し座礁、1,550KLの原油が海上に流出した。

次表に流出油事故上記5件における油処理剤の使用状況と環境影響をまとめた。なお、1967年のトリー・キャニオン号や我国で起きた1971年のジュリアナ号事故は、油処理剤による環境影響が大きく、より毒性の低い油処理剤開発の契機となった。

国内での油処理剤の使用例及び使用実績（主なもの）

事故名	使用量	使用経緯	環境影響
ジュリアナ号事故 (1971)	538KL	12月7日までで19種類（シェルLTとシーブリンで約半量）を使用 12月4日に魚毒性について問題が提起され、12月5日からは事故現場のみに限定、12月8日以降は使用中止	2月時点で最大0.4ppm程度の値がみられた（魚介類を致死せしめるような影響は考えられない） 4月時点で検出限界（0.1ppm）以下にまで低下
水島精油所事故 (1974)	水島地区 905KL 玉野地区 17KL 高松地区 87KL	12月19日～1月8日の間に14種類（すべて海上保安庁認定品） 海岸の付着油の処理については、原則として使用しなかった 12月21日香川県漁連では処理剤の使用を拒否	事故後1ヶ月時点では、水中からも底質からも検出されなかった
マリタイム・ガーディニア号事故 (1990)	60～70KL		サザエ、アワビ等の残留処理剤は約6ヶ月後では平常値に低下
ナホトカ号事故 (1997)	140KL	浮遊油をサンプリングして効果を確認（風化の進んでいない油に対しては、一部の処理剤で効果がみられたが、ムース化した高粘度のものには効果なし） 変性少ない浮遊油に限定して使用	3月時点で検出されず
ダイヤモンド・グレース号事故 (1997)	250KL程度		事故直後（7月3日）では0.9～1.0mg/l 7月7日～8日の東京湾全域調査では非検出 8月時点で魚介類からは検出されず

国内での油処理剤の使用例及び使用実績

年月日	場 所	船 種	船 名	流出量 (KL)	分散剤量 (L)	散布方法	備 考
52. 4. 15	佐多岬沖	曳船	あまりりす	A重油 52 C重油 62	29,340	船舶	濃霧のため現場海域の捜索に時間を要し、防除作業についても荒天のため難航した
52. 6. 29	関門海峡	貨物船	MOGESEBONI	C重油 200	129,060	船舶	主に油処理剤により処理した
52. 8. 20	宇部沖	貨物船	ASIA LAKE	A重油 不詳 B重油 不詳	25,866	船舶	主に油処理剤により処理した
53. 11. 8	四日市港	タンカー	隆洋丸	原油 100	28,242	船舶	甚大な漁業被害が発生した
55. 8. 21	気仙沼沖	タンカー	豊成丸	C重油 271 B重油 20	275,238	船舶	油処理剤を多量に使用した
57. 3. 21	千葉県千倉沖	貨物船	ACADEMY-STAR	C重油 600	58,500	船舶 航空機	油処理剤の使用について、漁業者の了解を得るまで日数を要し、仕様については限定された。 航空機による空中散布を実施した
57. 4. 3	徳島県長島灯台南	タンカー	第8福德丸	C重油 83	64,242	船舶	漁業関係者立ち会いのもと油処理剤を散布した
57. 5. 21	八戸港	貨物船	CHAR HSING	C重油 50	25,380	船舶	
58. 8. 13	宮城県唐桑埼沖	タンカー	第1英幸丸	A重油 362	57,888	船舶	沖合の事故のため、主として、油処理剤により処理し、陸岸漂着をくい止めた
58. 8. 26	静岡県下田沖	貨物船	BAILEY	C重油 266	59,346	船舶	海流により広範囲に漂流し、主として、油処理剤により処理した
59. 11. 5	広島県倉橋町羽山島	タンカー	第三興峰丸	C重油 20	27,036	船舶	物理的に回収できなかった分については油処理剤により処理した。海岸清掃についても油分散剤を使用した
60. 3. 5	京浜港	タンカー	第一興春丸	A重油 80	19,890	船舶	東京湾内の漂流油を油処理剤で処理した
62. 1. 9	長崎県五島沖	貨物船	SEA RADIANCE	C重油 56	29,286		大部分が陸岸に漂着したため陸上から油処理剤による処理作業を人海戦術により実施した
62. 1. 14	鹿児島県串木野沖	貨物船	VISHVA ANURAG	不詳	29,448	船舶 航空機	沈没地点を中心とした流出油に対し、船艇を使用した油処理剤散布、航走波による攪はん処理を実施したほか、荒天時にはヘリコプターを使用した油処理剤の空中散布を行った
62. 2. 26	千葉県富浦沖	貨物船	VAN DON	C重油 44	23,162		
63. 12. 9	京都府経ヶ岬沖	タンカー	第一春日丸	C重油 1000	143,406	船舶 航空機	気象海象等作業条件が悪かったため、大型作業船及び航空機により防除作業実施

年月日	場 所	船 種	船 名	流出量 (KL)	分散剤量 (L)	散布方法	備 考
2. 1. 26	京都府経ヶ岬沖	貨物船	MARITIME GARDENIA	C重油 916	180,000	船舶	船舶により油処理剤の散布、航走攪はんを実施した
2. 6. 28	下関沖	セメント専用船	高塔山丸	A重油 18 C重油 41	32,688	船舶	航走攪はん及び放水により油の拡散を促進し、油処理剤により処理した
3. 9. 27	兵庫県網干西灯台南	貨物船	日邦丸	C重油 180	22,788	船舶	作業船により沖合の流出油の油処理剤による防除を実施したが近隣の漁協の反対によりこれを中止した
5. 5. 31	福島県塩屋崎沖	タンカー	泰光丸	C重油 521	324,774	船舶 航空機	海上浮流油については、作業船及びヘリコプターによる処理剤散布を実施した
5. 6. 14	静岡県神子元島南	自動車運搬船	日和丸	A重油 45 C重油 220	40,176	船舶	海上浮流油については、作業船による処理剤散布を実施した
5. 7. 23	静岡県爪木崎沖	タンカー	遼洋丸	重質軽油 370	33,498	船舶	海上浮流油については、作業船による処理剤散布を実施した
7. 9. 3	周防灘	タンカー	宣洋丸	C重油 94	53,568	船舶	海上浮流油については、作業船による処理剤散布を実施した
9. 1. 2	隠岐島沖	タンカー	NAKHODKA	C重油 6240	未確定		
9. 7. 2	東京湾	タンカー	DIAMOND GRAACE	原油 1550	77,400	船舶	海上浮流油については、油膜の薄い部分に作業船による処理剤散布を実施した

英国の油処理剤使用指針（1986年）

1.1 序

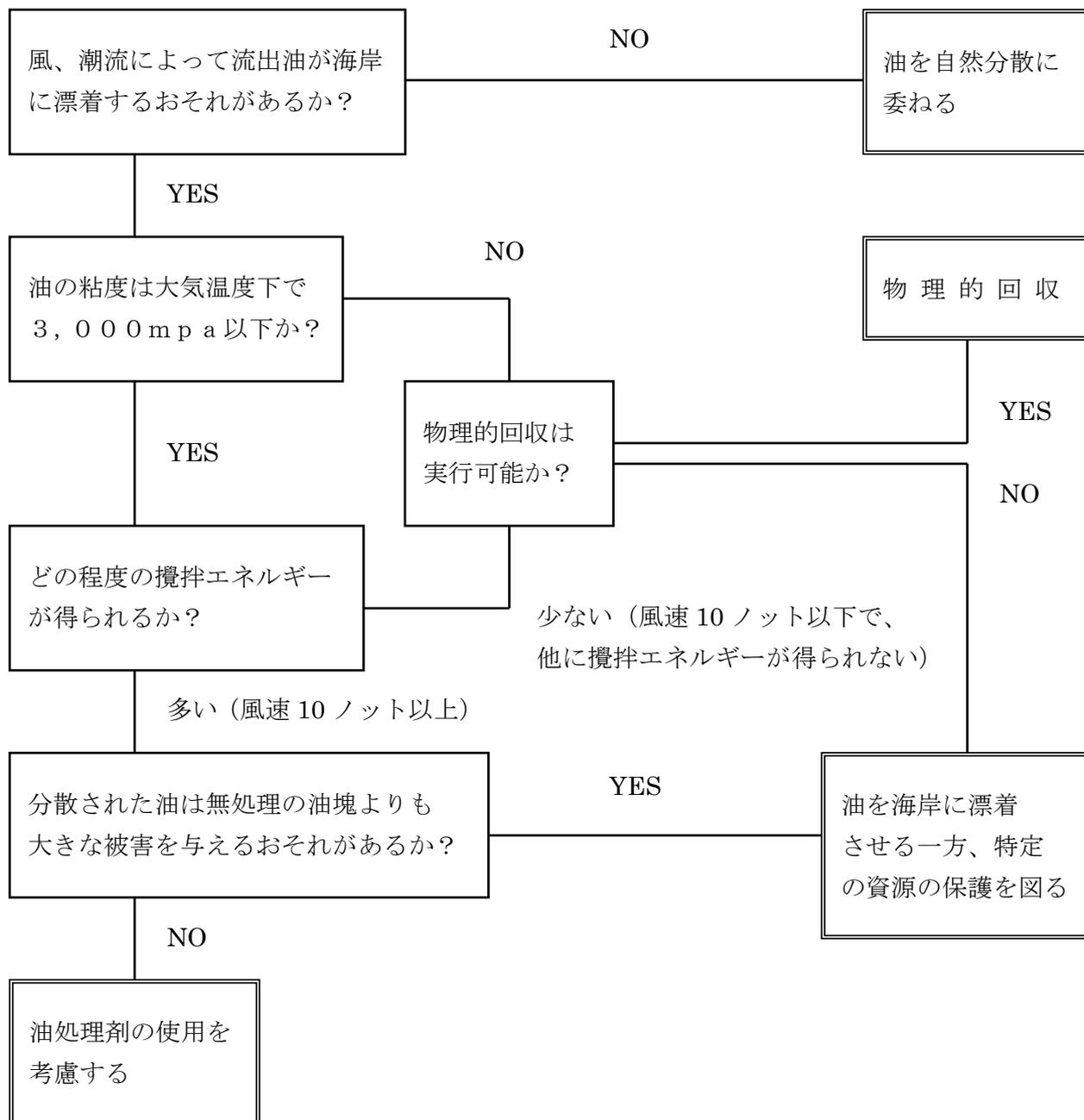
この指針は、海洋環境中で油濁処理に当たって油処理剤を使用する者の手引きとして編集したものである。

多くの油は、いったん海上に流出すると風化作用により短時間の内に粘度が高くなり、処理が困難となるので、防除作業の成否は処理が迅速に行なわれるか否かにかかっている。したがって、包括的な緊急防災計画が策定されていなければならない、その計画では油処理剤を使用できる海域を明確にし、必要な資機材が、必要な場所に備蓄されているようにしなければならない。

海面から流出油を除去し、油の拡散する水域にある観光地の海岸、魚介類の養殖場、野生生物の生息地等の重要資源を保護するためには、油処理剤を使用する以外に適当な方法がないという場面がしばしば見られる。流出油を包囲し、回収するという方法は、原則的にはより望ましい処理方法であるには違いないが、実際面では、特に開放水域においては実行不能の場合が多い。しかし、油処理剤も決して万能薬ではない。油処理剤は波浪のない静穏な水域では効果がなく、また、高粘度油、風化された油中水エマルジョンに対しては効果がないという限界がある。緊急防災計画を発動するに当たって、油処理剤によるべきか、機械的回収方式によるべきかの選択を迫られる時には、に示した意思決定チャートに基づいて検討しなければならない。

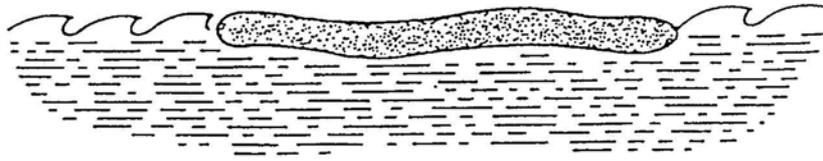
油処理剤の作用は、油の流出した海面における油と水との界面の物理的特性を変化させ、わずかな攪拌エネルギーによって油の層を微細な油の粒滴に分断し、海面に近い水中に分散懸濁させることによって物理的被害を軽減する一方、生分解作用を受けやすくするというものである。流出油分散の図は、この作用を示すものである。

油処理剤によって処理された油が、海洋生物にどのような影響を与えるかは、流出した場所、そこにどのような生物が生息しているかによって異なる。影響の可能性としては、沖合水域で低毒性の油処理剤を使用することによって、油処理剤による処理を受けていない油（以下「無処理油」という。）が生じさせる被害以上に顕著な被害を生じさせることはまずないといえることができる。しかし、魚介類養殖場の油濁に対して、より鋭敏な資源が危険にさらされる水深の浅い内湾水域や地先水域においては、油処理剤の使用は、流出油を無処理のまま放置した場合よりもさらに大きな被害を生じさせることがある。

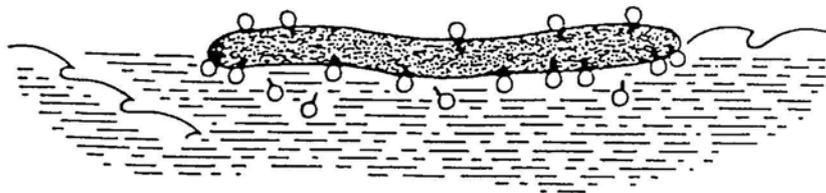


油処理剤使用意思決定チャート

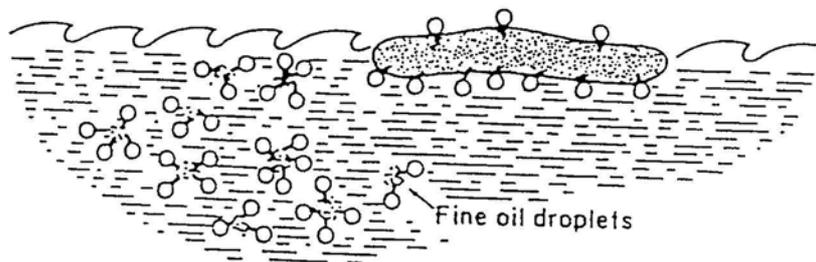
流出油



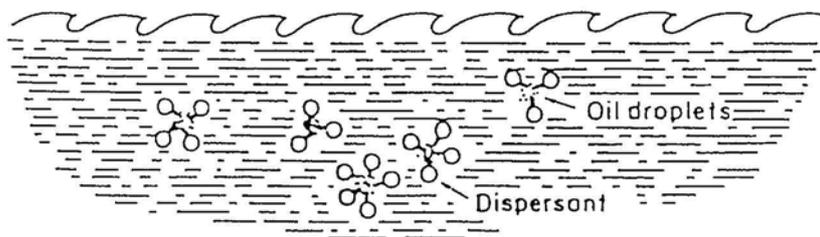
油処理剤の添加



攪拌による油の粒滴の形成



油処理剤による油粒滴再結合の防止



流出油の分散

今日、多くの国では、行政機関が油処理剤の使用を許可する前に、使用する油処理剤が、分散効力及び毒性に関する何らかの基準に合致するものでなければならないとしている。現在、3種類の低毒性油処理剤が市販されている。

- ・タイプ1 油処理剤 炭化水素溶剤をベースにしたもので、流出油に対して無希釈のまま散布しなければならない。
- ・タイプ2 濃縮型油処理剤 通常散布に当たってあらかじめ油処理剤 1：海水 10 の割合で希釈される。
- ・タイプ3 濃縮型油処理剤 高能率の油処理剤であり、流出油に無希釈のまま散布される。

現在では、タイプ3 濃縮型油処理剤の性能が優れていること、同一搭載量でより長時間の作業に従事できることから、炭化水素ベースのものや希釈して用いる濃縮型油処理剤の多くは、タイプ3 濃縮型油処理剤によって置き換えられている。この特性が、航空機による散布技術の開発につながった。航空機による散布には、迅速な対応、高い処理率という利点に加えて、特に大規模な事故への対応手段として他の散布方法では得られない効率の良さがある。

1.2 油処理剤の散布

1.2.1 海上

油処理剤使用の意思決定に当たっては、次の事項を考慮しなければならない。

- (1) 流出油の油処理剤による処理を受けつけるものかどうか。(1.3.1 油処理剤使用の限界 参照)
- (2) 油処理剤は、流出油の表面に適正な添加率で正しく散布されなければならない。
- (3) 油処理剤／油の混合物を海面から除去して海中に分散させるに十分な混合エネルギーが得られなければならない。
- (4) 風化作用 (1.3.1 油処理剤使用の限界 参照) によって、流出初期には油処理剤がその効果を示していた油も時間の経過とともに分散困難となる。したがって、油処理剤による処理効果を上げるためには対応の迅速さが求められている。

油処理剤の効果を制約する条件 — 油の種類、風化作用 — については、後述するが (1.3.1 油処理剤使用の限界 参照)、ここで海上における油処理剤の使用に伴う問題のいくつかを強調するためにこれら 2 つの条件以外の要件に関して一般的解説を加えることとした。

1.2.1.1 油の分布

海上に流出した油は、海面上に拡散する。しかし、風、波の作用を受けて油層の厚さは均一ではなく、厚い油塊が広い、薄い光沢膜で囲まれて点在するという状況が形成される。海上における実験から得られた結果を見ると、全流出域における油の厚さには、0.00001mm から 1mm まで 5 桁に及ぶ幅があることを示している。このように全流出域における油の厚さには大きな相違があるため、適正な添加率を特定することはほとんど不可能である。しかし、油層の厚さ 1mm 程度の油塊のある水域を主として処理するのであれば、単位時間中に処理し得る油量(処理率)は、0.00001mm 程度の油膜のある水域を処理するよりもはるかに高いといわなければならない。したがって、数平方 km の水域を覆うような流出油に対しても処理効果を上げるためには、流出油量の最大部分を含む最も油層の厚い油塊を発見し、散布装置を用いて効果的に処理することが必要である。

1.2.1.2 散布、添加率、混合エネルギー

海面に浮遊する油は、油処理剤散布装置 — 油処理剤を微細な粒滴にして油層上に均一に散布する装置 — を用いて処理される。散布装置(付録 1C 参照)は、油処理剤の噴射粒径が落下中の風の影響に耐えるほどに大きく、しかも、油面上に落下したとき、油面を貫通して海中に失われることのないほどに微細なものでなければならない(1.3.1.2 参照)。

1980 年代初頭まで海上流出油への対応技法は主として船艇によるものであった。ここでは、炭化水素溶剤をベースとした無希釈のタイプ 1 油処理剤を無希釈のまま、又はタイプ 2 濃縮型油処理剤をあらかじめ油処理剤 1 : 海水 10 の比率に希釈して散布する技法が用いられた。この方式では、散布によって得られた油と油処理剤の混合物は、散布作業船の後方に曳航された攪拌板によって海中に混合分散されたのである。

その後の研究から、タイプ 3 濃縮型油処理剤を無希釈のまま、油処理剤 1 : 油 20 の比率で散布した場合、さらに高い効果が得られることが明らかとなり、また、この濃縮型油処理剤では、処理された油を混合分散させるエネルギーとしては、自然の波浪のエネルギーで十分であると考えられている。濃縮型油処理剤による処理効率の向上、すなわち無希釈のまま散布した場合、風化作用による処理効果の低下が生じないうちに、わずかな混合エネルギーが得られればよいことから、無希釈の濃縮型油処理剤を航空機から散布する技術が開発され、固定翼機の使用により事故現場海域における油層の厚い油塊の発見、それへの迅速な処理対応が可能となった。

1983年以降、英国政府は、沿岸水域における流出油処理はタイプ3濃縮型油処理剤を搭載し、散布装置を整備した固定翼機によることを主たる手段としている（航空機用散布装置については、付録1C参照）。流出油事故の際、油処理剤散布用航空機の任務は、油層の厚い油塊を発見し、これを処理することにある。油処理剤の空中散布に当たっては、低空からの正確な散布が求められているので、散布に当たる航空機を誘導するために油塊の上空に指令機を配置しておかなければならない。固定翼機の使用に併用して、海上流出油の処理のために、油処理剤を入れたバケツ装置を吊るしたヘリコプターの使用法も開発されている。また、最近タイプ3濃縮型油処理剤の無希釈散布用の船艇も開発されている（付録1C参照）。

使用する散布装置の如何を問わず、海上における対応活動の目的は、

- (1) 効果の優れたタイプ3濃縮型油処理剤を用いて迅速な処理を行なうこと。
- (2) 油の流出水域のどこにより厚い油塊があるかを確認すること。
- (3) 最適対油比率をもって、これらのより厚い油塊を効果的に処理すること。

にある。

船艇による散布の場合、船艇では視点が低く、油塊の位置の確認が困難である。したがって、偵察用固定翼機又はヘリコプターに、熟練した観測員を同乗させ、船艇からの散布を誘導する必要がある。

1.2.2 海岸地帯

1.2.2.1 砂地

砂地の海岸では、油層の厚さ6mm以下の場合には、タイプ3濃縮型油処理剤を使用することができる。海岸汚染が激しい場合には、汚染油の大部分を除去した後の最終処理段階で油処理剤を使用することができる。砂地に絡んだ油に対する油処理剤散布は、上げ潮によって海岸が洗われる30分～3時間前に行ない、油と油処理剤が十分接触する時間を与えなければならない。海岸にある油が分散されるためには、それが海水に接触することが必要であり、したがって、高潮線よりも上に打ち上げられた油は、低潮線よりも海側に押し出しておくべきである。分散が有効に行なわれるためには、十分な混合エネルギーが必要であるが、通常の場合磯波の作用で十分である。

1.2.2.2 砂利地帯

汚染を受けた砂利海岸の処理には、前述の砂地海岸の処理とほぼ同じ手法が用いられる。従来、油処理剤の使用は、油を砂利層の深部に追い込むことになるという使用上の注意が見られたが、タイプ3濃縮型油処理剤を上げ潮の直前に散布する場合には、この注意事項は考慮する必要はなくなっている。砂利地帯で上げ潮直前に散布すれば、この種の海岸に特有の強い波のエネルギーを最大限に利用することができ、また、油は海岸の水位以下に浸透することはあり得ない。

1.2.2.3 岩礁地帯

この種の海岸における波浪のエネルギーは、強い自然浄化力を示している。したがって、できれば油汚染を受けた岩礁地帯は無処理のまま放置し、自然の処理に委ねるべきであろう。しかし、敢えて清掃作業を行なう必要がある場合には、油処理剤は岩礁の表面に付着した薄い油膜に対して使用すべきである。岩のくぼみ等に残った厚い油の層は物理的に除去しなければならない。

薄い付着油の油処理剤による処理は、上げ潮の直前に行なわなければならない。処理された油の分散は上げ潮による自然のエネルギー又は高圧噴射水を放射することによって行なわれる。この際、特に注意しなければならないことは、油処理剤を岩のくぼみや溜まりに長く残留させないようにすることである。

1.2.2.4 干潟地帯

この種の地勢は、湾内、入江等波浪の影響の少ない、いわゆる低エネルギー海岸に見られる。低エネルギー環境の下では、油に対する自然浄化作用は遅く、また処理された油を十分分散させるに足りるエネルギーが得られないので、ここでの油処理剤の使用は避けるべきである。それは分散しないままの油／油処理剤の混合物が、魚類の産卵水域や魚介類の養殖水域等に放流されることとなるおそれがあるからである。

1.2.2.5 塩生草原

この地域における油濁防除活動は、益よりも害が多く、油処理剤を使用すべきではない。

1.2.3 工作物

海岸の護岸その他の工作物の清掃に油処理剤が使用されることがある。構造物の垂直面に対しては、吹き付けた油処理剤は流れ落ちてしまうため、油／油処理剤の接触時間がほとんどないという不利がある。これを解決するために油処理剤と油ゲル化剤の混合溶液を使用することが考えられている。この混合液は強いゲル状のものであり、垂直面に長くとどまり、油と長く接触する間に徐々に油処理剤を油の中に浸透させる。油処理剤／油ゲル化剤混合液の散布装置（付録 1C 参照）は、両剤をそれぞれ加圧容器に入れ、フレキシブル・チューブを通して散布桿に送るものである。海が静穏な場合には、高圧噴射水が油の除去を助けるために用いられる。また場合によっては、高圧の冷水／温水／蒸気を用いて洗い流す方法がとられるが、いずれの場合でも除去された油は分散されおらず、したがって、何らかの方法で回収されなければならない。

1.2.4 一般的注意

油処理剤を清掃作業のために沿岸水域において使用する場合には、所轄の漁業、自然保護関係官庁との協議が必要である。

1.3 油処理剤の使用上の限界

油処理剤の使用については、従来から注意深い規制が行なわれている（1.3.2 参照）。法規による規制のほかに、油の物理的状态、水域の環境条件によっては、油処理剤を使用してもその効果が発揮できないために使用に適さないとされる場合がある。ここでは、使用上の限界について述べることにする。

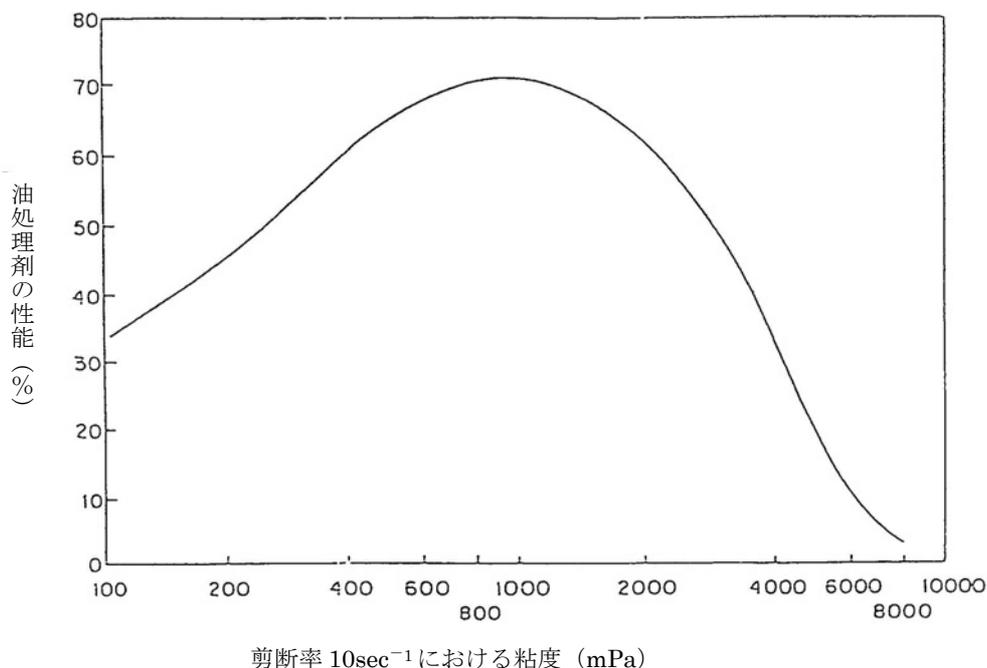
1.3.1 物理的限界

1.3.1.1 油、エマルジョンの粘度

油が流出したときの挙動を見ると、それはたちまち海面上に拡散して薄い油膜を形成し、そこから軽質成分が蒸発する。同時に、油膜の中では海水との乳化が行なわれる。これらの現象は、油の見かけの粘度を高めるとともに、色彩も黒から暗褐色に、さらにオレンジ色に変わっていく。

従来の経験から、このように風化作用を受けた油に油処理剤を散布しても、油の粘度が約 3,000Pas 以上になると、油処理剤は油面から滑り落ちてしまうことが知られている。

ただし、油の粘度がこれ以上になっても海岸での処理には効果を上げることができる。油の粘度が高くなると油処理剤の効力が低下する理由の 1 つは、油処理剤の中の活性成分の拡散性能が油の粘度に強く左右される性質を持っているからである。この活性成分が、直ちに油膜の中に取り込まれなければ、波によって洗い流され、海中に失われてしまうのである。したがって、油処理剤による処理を決断する前に、流出油のサンプルを採取し、又は参考文献によって流出油の性格を把握し、当時の海水温度の下で、油の粘度が 3,000Pas 以下であることを確認しなければならない。



原油エマルジョン対見かけ粘度 — 油処理剤性能曲線 (10%)

1.3.1.2 油処理剤粒滴の大きさ

タイプ3濃縮型油処理剤については、油塊への散布時の最適粒径は、500～700 μm であるとされている。この範囲を逸脱する粒径の粒滴を作る散布装置は不経済なものとされる。それは、粒径500 μm 以下の粒滴は落下中に風によって吹き流されて目標から外れ、700 μm 以上のものは、油膜を貫通して海中に失われるからである。散布時の損失を避けるためには、できるだけ油面の近くから散布することが必要である。無希釈の濃縮型油処理剤を空中散布する場合には、できるだけ海面近くを飛行しなければならない。また、あまり高空から散布すると油との親和性を高めるために油処理剤に加えられた溶剤が落下中に蒸発して失われるおそれがある。

1.3.1.3 海況

航空機又は攪拌版を曳航しない船艇から無希釈のまま散布された濃縮型油処理剤は、十分な波浪のエネルギーがなければ有効に作用しない。すなわち、分散状態が得られるかどうかは、再浮上や再結合を生じないほど広範囲に分散分布された微細な粒滴を作ることのできる波浪の剪断力が得られるかどうかにかかっている。そのために必要な最小限のエネルギーは、流出油の見かけの粘度により、また油の性質によっても異なる。油処理剤の不経済な使用を避けるためには、白い波頭が見られる程度の荒れた状態であることが望ましい。海面が静穏で、風速10ノット以下の海況での油処理剤の使用は避けるべきである。静穏な海域で散布された油処理剤の多くは海中に拡散してしまい、油の分散を生じさせないまま損失してしまう。

1.3.1.4 塩分

海流に従って漂流移動し、再浮上や再結合を起こさないまま、微細な安定した粒滴が形成されるかどうかは、水中に電解質（塩）が存在するかどうかにかかっている。したがって、多くの油処理剤は、清水中又は低塩分海水中ではその効果は低い。観光地の海岸等を油処理剤で処理した後、消火栓からの清水を用いて油を洗い流すという方法は有効な処理方法とはいえない。

1.3.1.5 低温の影響

大気温度が低くなると、油処理剤の油膜中への拡散が妨げられると同時に、油の粘度は高くなり、これらの両要素が油処理剤の有効性を減じるが、特に大きな影響をもつのは油の粘度であり、その影響は温度差による油膜中への拡散率のわずかな変化の影響よりもはるかに大である。

大気温度の低下は、油処理剤の粘度も高め、その結果所要の散布率で、また適正な粒径配分に従って散布することが困難となる。常時、大気温度が0 $^{\circ}\text{C}$ 以下の場所では、ある種の油処理剤は、使用前に温めておかなければならない（製造業者の使用上の注意を参照すること）。

1.3.1.6 油の相対的密度

油滴が海中に分散されたままの状態を保つ能力は、いくつかの要素によって支配されるが、その1つに油の相対的密度がある。最優先条件である粘度による限界の条件下では、より密度の高い石油製品ほど分散は容易である。粘度 — 油処理剤性能曲線には密度も低下したときには粘度の低いところで油処理剤の有効率は最高点から落ちることを示している。

1.3.2 英国における関係法規

1974年から1985年までの間、英国においては流出油処理のために製造された製品の使用は、「海洋投棄法1974年」によって規制され、同法の下では製品及びその使用者の双方が免許を受けていなければならないとされていた。

1985年、「食品、環境保護法の第II部（1986年1月1日以降海洋投棄法に代わるものとなった。）及び海洋堆積物に関する規則」によって、規制は製品のみ承認によって行なわれることとなった。すなわち、使用者は、次の条件が満たされる場合には、免許を取得する必要がなくなった。

- (1) 製品は、免許発行機関によって、現に承認されているものであること。
- (2) 使用は、承認の条件とされているすべての条件に適合して行なわれること。
- (3) 免許発行機関の承認のある場合を除き、水深20mより浅い水域及び同水域から1マイル以内の水域において使用しないこと（この承認は、通常、イングランド、ウエールズにおいては農水食糧地方行政の漁業検査官、スコットランドにおいては農漁業省のスコットランド地方漁業担当官、アイルランドにおいては北アイルランド環境省の環境保護課を通じて取得することができる。）。

これらの法的条件を守らなかった者は、法律違反の件で起訴される。

流出油処理に使用される個々の製品に対する承認は、製品の有効性、安全性及び海洋生物に対する毒性の評価のために行なわれる試験の結果に基づき製造者に発給される。

まず製品は、ウォーレンスプリング研究所（WSL）に提供され、付録Aの規格に照らして有効性、安全性の評価が行なわれる。WSLの規格に合格したものは、WSLから農水食糧省所轄のバーンハム・オン・クラウチにある水産試験所に送付され、そこでは海上、風致地区の砂地、砂利地帯、岩礁地帯等における使用について、それぞれ付録Bに述べる対海洋生物毒性の評価が行なわれる。現に承認されている全製品の一覧表は、付録Dに掲げられた機関及びWSLで入手することができる。

1.3.3 環境への影響

流出油の環境への影響としてあげられるものには、海鳥類が油まみれになり、岩礁地帯の生物が窒息死する等油の物理的特性によるもの、油の海中への自然分散により油滴、溶解軽質物等が魚介類に及ぼす科学的毒性によるものがある。

初期の油処理剤の調剤方法は、海洋生物に対する毒性の高いものであったため、これを使用することによって分散された油の毒性を著しく高める結果となった。最近の油処理剤の毒性は、もちろん計測可能な程度であるとはいえ、極めて低いものであり、正しく使用された場合には油の持つ毒性を著しく高めるものではない。しかし、油処理剤は比較的安全なものではあるが、油を異なった環境水域に移動させることから生じる問題が依然残っている。

したがって、流出した油を、例えば海上であれば海鳥類に被害を及ぼすことがあっても、又は砂浜や岩礁地帯、塩生草原では、野生生物や観光資源を脅かすことがあっても、そのまま放置した方がよいか、それとも水深の浅い水域では魚介類への被害を及ぼすことがあっても、希釈、分解を生じさせる海中にこれを化学的に分散させた方がよいか、いずれかを決断しなければならない。

この決断は、この2つの選択肢の間の均衡がどこで得られるかによって決まることとなる。すなわち、海鳥類や汚染に鋭敏な沿岸水域の資源が油濁の脅威を受けている場合には、水深の深い水域又は水の循環が盛んに行われている水域での油処理剤の使用は、海鳥類、油濁に鋭敏な水域の保護に最も有効であると同時に、この水域内の他の生物への被害を最小限に抑えることができよう。他方、岩礁地帯での油処理剤の使用は、付近の海洋性動植物にすでに与えた被害をさらに倍加させることとなるので、ここでは油の自然浄化を持つのが最善の策である。

浅水水域は、海岸線ではさらに別の要因についても考慮しなければならない。例えば、油が砂浜や塩生草原にからんでいる場所で、分散された油が地表から下の地層に浸透するおそれがある場合には、地下に埋もれた油の分解は極めて緩慢であり、その毒性が長期にわたって残留するので、油処理剤は使用すべきではない。ただし、分散された油が上げ潮によって流入してくる海水に混合し、希釈される場合、又は低潮線付近に特に重要な資源が存在しない場合には油処理剤の使用は可能である。

海岸付近の資源の相対的重要性、例えば観光的価値、漁業活動、自然景観の保全等は季節的に変動するものであり、事故発生以前にこれらの季節的変化を考慮し、その評価を含めた詳細な緊急防災計画を策定しておかなければならない。しかし、流出油事故発生時の状況は、決して同じではなく、防除活動のあらゆる可能性を考慮した緊急防災計画を策定することは到底不可能であり、種々の防除手法から生じる環境への影響の評価については、問題の地域所轄の政府機関や自然環境保護団体等からの専門的助言を求めなければならない。

1.4 安全、取扱及び保管

油処理剤は、製品ごとに物理的、化学的特性が異なるので、ここでは極めて概括的記載にとどめる。実際使用に当たっては、使用法、取扱法、貯蔵法について納入業者からの指示を受けておかなければならない。

1.4.1 使用時の安全対策

油処理剤には、乳化剤と強い洗浄性を備えた溶剤が含まれているので、散布時その飛沫から皮膚、目、呼吸器等を保護するための基本的注意事項を守らなければならない。

散布時装着すべき装具

- ・ 全身を含むプラスチック作業服
- ・ 耐油性 PVC 手袋
- ・ 顔面保護マスク
- ・ 耐化学薬品材料を用いた安全靴

顔面マスクは、通常安全帽の一部として取り付けられている。顔面保護マスクの代わりに安全眼鏡を鼻、ロマスクと併用することもできる。

1.4.2 取扱上の注意事項

工業用化学薬品取扱の標準的注意事項を守り、1.4.1 で述べたものと同様の安全装具を使用する。製品の取扱は、十分換気を行なわれた、熱、火気のない場所で行なわれなければならない。誤って油処理剤に触れ、又は目に入ったときは、相当時間清水ですすぎ、刺激がなお残っている場合には、医師の治療を受けなければならない。

1.4.2.1 火災の危険

多くの油処理剤は引火性があり、通常の引火性物質取扱時の注意事項を守らなければならない。油処理剤の火災は、炭酸ガス、ドライケミカル、泡消火器、土砂を用いて消火することができる。また大規模火災には、水霧を用いて対応することができる。

1.4.2.2 油処理剤の漏洩

油処理剤が漏洩すると、床が滑りやすくなり危険であるので、取扱、保管に当たっては、常に清潔、整理整頓が肝要である。また、油処理剤は、ペイント塗装物の表面の剥離を生じさせる。

漏洩した油処理剤は、適当な溶剤を用いて拭き取り、その後大量の水で洗い流す。大量の流出があった場合には、まず土砂を用いて拡散を防いだ後、タンクに回収し、吸着材に吸着させ、残余を水で洗い流す。その際、流出した油処理剤が側溝等に流入し、関連水系の表層水や下水処理施設を油処理剤で汚染することのないよう注意しなければならない。

1.4.3 保管

油処理剤は、多くの場合鋼製、プラスチック製の標準型ドラム缶に密封保管されている。また、あるものは、地上施設又は船艇上で呼吸弁を備えた軟鋼又はプラスチックのタンクに保管される。

油処理剤は望ましい保管温度 $-10^{\circ}\text{C}\sim+30^{\circ}\text{C}$ の範囲内で安定した温度の下で保管しなければならない。密封恒温の保管が行なわれている場合には、少なくとも2年間は承認の基礎となっている本来の成分が維持されているとみられている（付録A参照）。

もし油処理剤が、例えば吸気口を備えたタンクのように空気、湿気の流出入する状態で保管されている場合には、品質の劣化が進み、製品の有効保存期間の短縮された例も見られる。

緊急時用の備蓄品の品質が使用に耐え得るものかどうかについて自信をもつためには、例えば毎年無作為にサンプルを抽出し、付録Aに従って効力試験を行なうことが勧告されている。

タンク上部、下部のサンプルについてそれぞれの効力試験を行なうべきである。タイプが同じでも異種の製品は、両種間の親和性を試験した後でなければ混合してはならない。

タイプの異なる油処理剤の混合は、絶対に避けなければならない。

1.4.4 廃棄処分

所期の目的に適合しなくなった油処理剤は、環境面から容認される方法に従って処分されなければならない。これには、いくつかの方法があり、あるものは有益なものである。

- ・ 元の製造業者又は専門業者による再生処理
- ・ 船舶の甲板、タンクの洗浄、工場施設の洗浄に利用（洗浄に伴う廃水に関する基準に注意）
- ・ 燃料油に混入して熱源として焼却（技術面の助言を受けること）
- ・ 承認された場所で焼却又は埋め込み（法規制の遵守）

付録 1A 油処理剤の規格 — 性能

1. 範囲

この規格は、油処理剤の海上、海岸における使用及びその使用に際して、英国において適用されている手続きに関するものである。なお、詳細については、石油協会刊行の IP83-099 を参照のこと。

2. 手続き

(1) 適格性

適格性審査機関ウォーレンスプリング研究所 (WSL) の行なう試験により、規格の要件に合致することが認められた油処理剤に対しては、5 に求められた資料が提出されたとき適格証書が発給される。

適格証書は、通常発給の日から 5 年間有効であり、その間、当該油処理剤は適格製品と称される。適格期間を延長しようとするときは、その終了前の 6 ヶ月の間にさらに製品のサンプルを提出しなければならない。

(2) 使用承認

いかなる油処理剤も農水食糧大臣、ウェールズ国務大臣、スコットランド国務大臣又は北アイルランド環境省による承認のない限り、英国の海岸又は 1985 年の食品、環境保護法にいう英国水域において使用してはならない。農水食糧省は、ウェールズ、スコットランド及び北アイルランドの関係省の代行機関となる。

承認は、

- ① 現に有効な適格証書の発給を受けているもの
- ② WSL の供給したサンプルにより農水食糧省の行なう試験の結果が、農水食糧省の海洋生物に対する毒性に関する要件に合致することが認められたもの

についてのみ発給される。

(注) 油処理剤の使用承認に関する英国当局の権限は、英国の水域、英国の船舶及び航空機のみ及びものである。英国以外での油処理剤の使用は、仮にそれが英国の船舶、航空機によって運送され、英国の承認のあるものであっても、関係国当局の同意が得られたときに限り使用に適したものと考えられる。英国の承認機関の承認品のリストは、WSL 又は農水食糧省から入手することができる。

(3) 適格性、承認のための料金及びサンプル

適格性審査機関、承認機関は、それぞれの業務に対して別途料金を徴収する。これらの料金は、審査、承認申請者が支払うものとする。申請者は、両機関の要求により無料のサンプルを送料負担のうえ提供するものとする。

(4) 連絡先

① 適格性に関する通信宛先

The Director
Warren Spring Laboratory
Gunnels Wood Road
Stevenage, Herts SG1 2BX

② 承認に関する通信宛先

The Ministry of Agriculture, Fisheries and Food
Fisheries Division IC
Marine Pollution Branch
Great Westminster House
London SW1P 2AE

③ 毒性試験は、農水食糧省の水産試験所で行なわれる。毒性試験を含む承認の技術面に
関する質問の宛先

The Ministry of Agriculture, Fisheries and Food
Fisheries Laboratory
Remembrance Avenue
Burnham-on-Crouch
Essex CM0 8HA

3. 油処理剤の型式

この規格は、次の3つの型式に対するものである。

① タイプ1 — 在来型、炭化水素ベース

主として海岸で無希釈のまま使用するものであるが、海上においても攪拌板を使用するウォーレンスプリング式散布装置その他の適当な散布、攪拌装置を用いて無希釈のまま使用する。

② タイプ2 — 希釈可能な濃縮型

海上散布用として海水に1:10の希釈率で希釈し、攪拌板を使用するウォーレンスプリング式散布装置その他の適当な散布、攪拌装置により散布する。

③ タイプ3 — 濃縮型

適当な散布装置を用いて船艇若しくは航空機から、又は海岸に無希釈のまま散布する。

(注1) 海上における油の散布処理率(油処理剤:油)は、通常タイプ1及びあらかじめ希釈したタイプ2については油処理剤1:油2~3、タイプ3については油処理剤1:油20~30である。

(注 2) 油処理剤の使用は、水深 20m 以下の水域及び同水域から 1 マイル以内の水域での使用については、関係省庁の事前の承認を条件とする。海岸における使用の場合も同様である。

(注 3) すべての油処理剤は、製造業者の指示どおりに使用されなければならない。

4. 原料

(1) 油処理剤は、適当な溶剤中に溶解したイオン系、非イオン系界面活性剤又はその混合物から構成されるものでなければならない。油処理剤は、作業者が顔面密着型の保護具を装着して通常の散布、取扱の作業に従事したとき、許容できない程度の毒性危険に暴露させるような物質を含んではならない。

(2) 重量比 3% を超える芳香族物質が含まれた油処理剤が、毒性に関する要件を満足させることはほぼあり得ない。さらに、次の含有物は禁止されている。；ベンゼン、塩素系炭化水素、フェノール、カセリアルカリ、遊離金属酸。

(3) 界面活性剤は、溶剤中に完全に溶解し、7 日間の貯蔵期間中、温度 $-10\sim+50^{\circ}\text{C}$ の全域において均一に分布されていなければならない。

(4) タイプ 2 の油処理剤は、1 : 10 の濃度で海水に混和して溶液又は乳化液を形成しなければならず、その粘度は元の油処理剤単体の粘度を超えてはならない。

(注) タイプ 1、タイプ 3 の油処理剤については、それらはいずれも無希釈のまま使用されるので、水との親和性は求められていない。

5. 製造処方

(1) 適格審査、承認の申請に当たっては、製造処方の明細を WSL 及び農水食糧省に（秘扱いで）提出しなければならない。明細には、含有率、化学物質名、機能等を記載しなければならない。

(注) 適格審査のための資料記載の書式は、WSL から審査作業契約書に付して送付される。

(2) 製品が適格とされた後は、製造処方の変更は書面による適格審査機関及び承認機関の双方の許可のない限り許可されない。

6. 適格審査試験

(注) この規格中の数値は、現在、化学工業会、石油工業会において通常用いられているものに整合したものである。

(1) 試験方法

他に特記のない限り、使用される試験方法は、この規格にいう試験方法の最新版によるものとする。

- (2) この試験にいう要件は絶対的であり、試験方法の許容度の補正は許されない。審査機関によって複数の測定がなされたときは、再現性に関するデータが与えられている試験方法の場合を除き、平均結果が用いられる。その場合、審査機関の許可があれば、当該試験方法に関して与えられた再現性の限界内に整合する個々の結果から導かれた平均値が用いられる。
- (3) 追加試験の要求
適格性審査機関は、製品に関する追加試験を要求する権利を留保する。
- (4) 製品の任意の部分から採取されたサンプルは、次表の要件に適合しなければならない。

試験番号、試験項目	油処理剤の要件			方法
	タイプ 1	タイプ 2	タイプ 3	
1 外観	透明、均質であること			目視による
2 動粘度、@0°C、mPa 最大	50	250	250	注 1
3 引火点、°C、最低	60	60	60	ASTM D93 IP34 BS2000 Part34
4 曇り点、°C、最高	-10	-10	-10	ASTM D2500 IP219 付属書 A 付録 参照
5 効力指数、%				
2000mPa、燃料油、最低	30	30	60	
500mPa、燃料油、最低	—	—	45	
6 貯蔵試験（-10°C、7日）	合格	合格	合格	4 (3) 参照
7 水との親和性	—	合格	—	4 (3) 参照

(注) 粘度計としては、UK Viscometer Ltd.のモデル UKLV8 型が望ましい。同品は、小型のサンプル・アダプターとスピンドル油 LT-6 を用いる。

7. 品質保証

- (1) 製造者は、製品の各バッチがこの規格 6 及び 7 に基づき適格とされたものと同一の処方によるものであることを証明しなければならない。
- (2) 適格審査機関は、いつの時点でも製品のサンプルを採取し試験する権利を留保する。ばら積み出荷が行なわれるときには、審査機関がその製造時に 25 リットルの参考サンプルを採取することを要求することがある。
- (3) 製品の中から取られたサンプルが、この規格の要件に適合しないことが発見されたときは、製品の全部が不合格とされる。
- (4) この規定は、製造者及びその下請け業者にも適用される。

8. 品質の維持

本来の封印のままで正しく保管された製品は、この規格に掲げられた品質を出荷後適度の温度条件（ $-20\sim+30^{\circ}\text{C}$ ）の下で 2 年を超える期間維持しなければならない。

9. 容器及び容器の表示

- (1) 製品は、強固で清潔な乾燥した容器又は適当なばら荷運送容器に入れ、契約又は注文の要件に従って供給されなければならない。
- (2) 容器の内面、外面の塗装、表示は、契約又は注文の要件に従い、購入者の満足するものでなければならない。
- (3) 容器の表示に関する法的要件に適合させるのは、供給者の責任である。

ウォーレンスプリング研究所

1983 年 4 月発行

1986 年 1 月改訂

付録 1A 追補 油処理剤の効率指標の決定法

1. 適用範囲

この方法は、油処理剤の添加により標準的室内試験条件の下で基準燃料油が海水中に分散される量を推定する方法である。また、この方法は、海中に分散可能な原油やその他の石油製品の分散量の推定にも用いられる。

2. 試験方法の要約

円錐分液ロート内の 10°C の海水表面におかれた一定量の油に油処理剤を滴下する。分液ロートは、その長軸に対して直角の水平軸を中心に毎分 33 ± 1 の速度で 2 分間回転させる。回転停止後蓋を取り、1 分間静止させた後底部の取り口から油水サンプル 50cc を取る。水サンプル中の油量をクロロフォルム液により抽出した後、分光光度計により測定する。この試験は、粘度の異なる 2 種の比較燃料油を用いて行なわれる。

(注 1) この試験方法は、無希釈のまま散布されるタイプ 3 油処理剤の効率指標の決定のために開発されたものであるが、炭化水素ベース油処理剤 (タイプ 1) 及び油処理剤 1 : 水 10 にあらかじめ希釈した濃縮型油処理剤 (タイプ 2) については、試験油に滴状にして添加する量を 2cc に増量してこれらのタイプの油処理剤の効率指標の測定にも利用することができる。

3. 定義

「効率指標」とは、試験条件の下で、サンプル採取時に完全かつ均一に分布しているものと想定した場合、微細な油滴となって水中に移行した試験油のパーセンテージをいう。

4. 試験装置

(1) 分液ロート

① 名目容量 250c m³ の分液ロート 1 個

(BS2021) 分液ロート図の仕様に合致するもの

② 名目容量 100c m³ の分液ロート (BS2021) 1 個

(注 2) 使用前に熱湯、特級洗剤を用いて完全に洗う。有機物の痕跡がなくなり、ガラスが水で濡らされたとき、熱湯で、次いで蒸留水ですすぎ、水切りのために静置する。

(2) モーター駆動回転架台

250c m³ 分液ロートを固定し、ロート頂部から下方 80mm の点を水平軸として 1 分間に 33 ± 1 回転させるための架台。

(注 3) 水平軸心が著しく振れる場合、又は水平軸心を中心とする回転が円滑に行なわれない場合には、試験結果に影響を生じる。

(3) 注射器

- ① 油処理剤 0.2c m^3 を $5\sim 10\mu\text{l}$ の粒滴にして正確に滴下することのできるガラス注射器
- ② 試験油 5.0c m^3 を正確に加えることのできるガラス注射器
- ③ タイプ 1 油処理剤 2c m^3 、又はタイプ 2 油処理剤の希釈液（海水によって 1 : 10 に希釈したもの） 2c m^3 を正確に加えることのできるガラス注射器

(4) 分光光度計

波長 580nm における吸光度の測定可能なもので、パスレングス 5mm のガラス・セルを備えたもの。

(5) 秒時計

1 秒刻みで 10 分間計測できるストップウォッチ

5. 試薬

(1) 試験油

① 次の物性を備えた比較燃料油

動粘度 @ 10°C 、剪断率 (10sec^{-1}) が $1,800\sim 2,200\text{mPa}$

アスファルテン (IP143/84) ; 最大重量 1.5%

流動点 (IP15/S67) ; 5°C 以下

② 上記の比較燃料油を灯油 ((2) 参照) で希釈して得られる粘度@ 10°C 、剪断率 (10sec^{-1}) が 500mPa の低粘度比較油。これは通常 2~5%の灯油を加えることによって得られる。

(注 4) イ、重質燃料油とディーゼル油の混合が認められている。

ロ、動粘度バルディーズ港 Ferrant Portable Viscometer VM により測定することができる。

ハ、試験油は、ウォーレンスプリング研究所においても販売されている。

(2) 灯油

無臭灯油、BS2869Aws1.2、クラス C1

(3) 海水

塩分 $33\sim 35\text{g/kg}$ 、海中から採取したもの、人工海水のいずれでもよい。

(4) クロロフォルム

AR 級 (注意 ; クロロフォルムは、毒性、揮発性の高い化学物質であり、蒸気の吸入又は液との皮膚接触により吸収される。さらに、分解温度まで熱せられるときわめて毒性の高いフォスゲン・ガスに分解する。換気の十分行なわれる場所で取扱われなければならない、禁煙を守らなければならない。)

(5) 無水硫酸ナトリウム

試薬級

6. 試験方法

(1) 校正

試験油 0.2、0.5、0.7、0.9g を正確に測定し、100cc のメスシリンダーに取る。各フラスコに 500cc のクロロフォルムを加え、十分混合して油を溶解させる。クロロフォルムをマークまで加えて蓋をし、十分混合する。

パスレングス 5mm のガラスセルの中で 580nm の波長での各液の吸光度を測定する。第 2 の比較燃料油についても校正を繰り返す。

(注 5) グラフはそれぞれ直線でなければならない。

(2) 試験手順

250cc の分液ロートに $10 \pm 0.5^\circ\text{C}$ に調整した海水 250cc を取る。試験操作は、適当な温度管理の行なわれている室内で行ない、試験中常にこの温度を維持しなければならない。分液ロートを回転架台に固定する。ロートの蓋を外したままとする。海面上に試験油 5cc を移す。この際、注入した 5.0cc の油の重量を計算するために、注入前、注入後の注射器の重量を測る。ストップウォッチをスタートさせ、海面上に移した油を 1 分間静置する。適当な注射器を用いて油処理剤の必要量 (注 6 参照) を分液ロート中の油の表面に、油処理剤の粒滴ができるだけ均等にいきわたるように (注 7 参照) 散布する。

ロートの蓋を占める。

油の添加後 2.5 分経過後、分液ロートの回転を開始し、毎分 33 ± 1 回転の速度でさらに 2 分間回転させる。

ロートを上向きに垂直に停止させ、正確に 1 分間静置した後、下部の取出口から 50cc の油水を 50cc のメスシリンダーに取る。この操作の所要時間は、10 秒を超えてはならない。

油水をメスシリンダーから 100cc の分液ロートに移す。メスシリンダーを 2 回、10cc のクロロフォルムで洗い、この洗い液を分液ロートに移す。フオートに蓋をし、1 分間振とうする。クロロフォルムと油の層が完全に分離するのを待って、クロロフォルム層をワットマンフィルター 1 号紙 (無水硫酸タトリウムを含むもの) を通して流す、さらに 2 回、毎回クロロフォルム 20cc を用いてクロロフォルム抽出を繰り返す。クロロフォルム 20cc を用いてフィルターを洗い、乾燥した抽出物と洗い液を 100cc フラスコに入れる。マークまでクロロフォルムを加え蓋をし、十分混合する。

パスレングス 5mm のガラスセルの中の 580nm 波長の光度をクロロフォルム抽出物について測定し、単体クロロフォルムの吸光度と比較する。校正グラフを用いて 50cc の油水サンプル中に含まれる油の重量を計算する。2 種類の試験油についてそれぞれ 3 回の試験結果を得るよう試験を繰り返す。

(注 6) タイプ 1 油処理剤では、注射器を用いて 2.0cc の油処理剤を添加する。

タイプ 2 油処理剤では、5.0cc の濃縮型油処理剤を 45cc の海水に十分混合希釈させておき、試験のためには、このあらかじめ希釈した油処理剤 2cc を注射器を用いて添加する。

タイプ 3 油処理剤では、無希釈の油処理剤 0.2cc を精密測定用注射器を用いて添加する。

(注 7) 油処理剤は、滴状に油層の中心部から添加を始め、中心から外側に向かって円を描きながらレンズ状の油に均等に散布する。油処理剤が空気と水との界面に触れ、油処理剤の添加が終了しないうちに油がロートの側壁まで広がった場合には、試験を中止し、最初からやり直す。

タイプ 1 及びタイプ 2 の油処理剤 2cc を滴状に散布するときには、いくらかは水中に流れ込むことがあるが、タイプ 1 及びタイプ 2 の場合に限って許される。

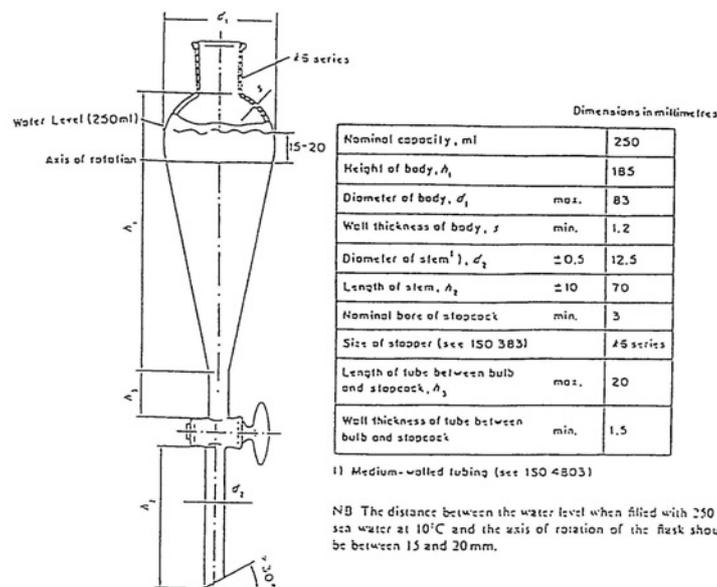
7. 効率指標の計算方法

効率指標 E は、次の式から計算される。

$$E \text{ (重量\%)} = \frac{\text{サンプル油水 50cc 中の油の重量}}{\text{250cc の分液ロートに加えられた油の全量}} \times 500$$

8. 報告

報告に用いられる効率指標は、3 回の計測結果の平均値である。2 種の比較燃料油について計算された平均は、整数値のパーセントとして報告する。



分液ロート

付録 1B 油処理剤の規格 — 毒性

油処理剤が承認品のリストに加えられるためには、農水食糧省のバーンハム・オン・クラウチの水産試験所の行なう毒性試験に合格しなければならない。油処理剤の海上及び岩礁の多い海岸における使用という条件の相違を反映させた 2 種類の試験が行なわれてきた。海上試験は、油処理剤を海上に浮遊する油に対して使用した際に生じるとみられる条件を反映するものであり、ウォーレンスプリング研究所 (WSL) によって適格とされた製品であって、この試験に合格したものは、海上及び砂浜、砂利海岸等の風致地区の海岸での使用が認められる。油処理剤が岩礁地帯で使用されるためには、「海岸」試験にも合格したものでなければならない。

1. 海上試験

(1) 概要

海上に流出した油に油処理剤を使用すると、海洋生物は油処理剤だけではなく、油と油処理剤の混合物にも暴露されることとなる。油処理剤によって処理されていない油（以下「無処理油」という。）が波浪の働きによって物理的に水中に分散されることもある。海上試験は、油と油処理剤の混合物の毒性と物理的に水中に分散された油の毒性とを比較しようとするものであり、これらの試験は同じ条件下で行なわれる。このような比較試験を行なうことによって季節的要因又は試験用生物の鋭敏性の変化等試験の機会が異なることによって生じる試験結果のバラツキをなくすることができるという利点がある。毒性試験は、茶エビ (crangon) を 1,000 $\mu\text{l}/\text{l}$ の油の単体中に 100 分間暴露した場合の死亡率又はこれと同等の油／油処理剤に暴露した場合の死亡率として測定される。参考物質としては、新鮮なクウェート原油が用いられるが、これは中東原油の代表的なものであり、その海洋生物への影響については、すでに多くの知見が得られているからである。短時間のうちに計測可能な毒性効果を生じさせるためには、相当高い濃度の油が必要であり、低濃度ではより長時間の暴露を要し、その間に風化による油の毒性の変化も考えられる。死亡率は暴露直後に数えるのではなく、油によって一時仮死状態にある魚を死んだものとして数えることを避けるために、きれいな海水の流れの中で 24 時間の回復期間を経過した後に数えることとしている。海上試験において油／油処理剤混合物が、油単体の場合に比して著しく高い死亡率を示すものでなければ当該油処理剤は合格である。

(2) 材料

試験に使用する海水及び試験用の動物の馴致期間中飼育するための海水は、クラウチ川河口で満潮時に採取し、それを沈殿タンクに約 2 日おいた後試験室のタンクにポンプで移す。試験動物保存タンクに入れる前に水温を試験温度 ($15 \pm 1^\circ\text{C}$) に調整する。10 μl 被膜フィルターを通じて泥砂を除去した水を試験水槽に張る。水中塩分濃度は毎日測定し、28/1,000~35/1,000 に保つ。

新鮮な比較用クウェート原油は大気温度下で 250cc の密閉した金属缶に入れて保管し、蒸発減耗を防ぐ。各試験ごとに新鮮なサンプルが使用され、使用前に試験温度に調整しておく。

食品、環境保護法に基づく毒性試験用の油処理剤サンプルは、WSL から入手され、常に効率試験の際に用いられたものと同じバッチから採取される。油処理剤は、大気温度下で保管され、試験前に試験温度に調整される。

(3) 試験用動物

茶エビの成魚は、クラウチ川河口で採取する。試験室に運ばれたエビはポリエチレン製の浅い水槽に、1 槽に最大 200 尾の割合で移し、死んだもの、傷のあるものを除く。動物は、試験前 2~4 日間十分に空気混和が行なわれ、緩やかな流れのある海水中で飼育される。試験動物は、試験室にある間 (6 日間を超えることはない。) 餌は与えられない。体長 (触角を除く。) 50~70mm の健康なエビ (体重 1~3g) が毒性試験に選ばれる。脱皮したばかりのものは除かれる。

(4) 試験装置

「海上」試験では、円筒形のパースペックス・ガラスのタンクに入れた 18 リットルの海水は、中央のガラスの内筒内の 2 枚羽根プロペラによって攪拌される。プロペラは、磁石カップリングで連結された空気電動機によって回転される。回転速度は、タコメータにより調節して毎分 1,350~1,450 回転とする。この水流は、油 (又は油/油 処理剤混合物) を水の上面の高さに開けられた切れ目の部分から内筒に引き入れられ、タンク底部の近くに設けられた下の切れ目から押し出される。その結果、循環システム中に空気が持ち込まれることなく、また水中の動物に必要な以上のストレスを与えることもなく、粒径 1mm 以下の微細な粒滴の均一な分散を生じさせる。また、この装置は、溶解酸素濃度を飽和値 (約 8.4mg/l) 近くに維持するので、さらに別の空気混和を行なう必要はない。

試験後の動物を移すための角ガラス・タンクは海水容量 10 リットルで、流水により 1 時間当たり 10 リットルの置換を行なうものである。角タンクでは、試験室のコンプレッサーに連結されたピペットにより空気混和が行なわれる。

これらのタンクを置いた試験室は、常温を常に $15 \pm 1^\circ\text{C}$ に保ち、また 12 時間点灯照明、12 時間消灯できるものでなければならない。

(5) 試験手順

10 個の試験タンクにそれぞれ海水 18 リットルを入れ、少なくとも 1 時間空気の混和を行なう。それぞれのタンクに 20 尾のエビを無作為に入れ、蓋をする。さらに 2 時間空気混和を行なった後蓋を取り、試験材料添加の準備を行なう。各タンクの水面上にメスシリンダーから 18cc の油を注ぎ、油分濃度を $1,000 \mu\text{l}/\text{l}$ とする。さらに、そのうちの 5 個のタンクでは 18cc の油処理剤（無希釈のタイプ 1 油処理剤、10% 希釈液としたタイプ 2 油処理剤）を水面上の油面にできるだけ均一に添加する。これによって在来型（炭化水素ベース）油処理剤では対油比 1 : 1、濃縮型では 1 : 10 が得られる。添加から 1 分を経過したとき蓋を閉じ、攪拌器を始動する。

100 分を経過したとき攪拌プロペラを止め、蓋を取り、サイフォンを用いて筒内の油水を排出する。タンクが空になったとき、静かに試験動物をきれいな、緩い水流のある空気混和の行なわれた 10 リットルの水を張ったタンクに移し、4 時間静置し、その間に油による軽度の麻酔を受けたものを回復させる。死亡したもの（そっと突いても反応しないものは死亡したものとする。）の数を数え、記録する。脱皮直後のエビが他の成魚に食われることがあるので、24 時間後の時点での生存数も合わせて記録し、この試験装置による死亡率が計算できるようにしておく。試験用の油処理剤による処理の行なわれたタンクでの死亡率を、油だけのタンクでの死亡率と比較し、それによって油処理剤の添加が油の毒性に著しい影響を与えているかどうかを判定する。

2. 「海岸」試験

(1) 概要

油が海岸の岩礁地帯に絡み、これを油処理剤によって処理するという方針がとられた場合には、タマキビ貝、カサ貝等の潮間帯動物に直接油処理剤をかける場合が生じる。このことから、「海岸」試験 — より正確に言えば、「岩礁地帯」試験 — で測定される効果は、代表的潮間帯動物であるカサ貝 (*patella valgata*) の死亡率として示される。試験は、同一条件下で行なわれた場合の油処理剤の毒性を油単体の毒性と比較することにある。

比較用の油と試験用の油処理剤を 1 m^2 当たり 0.4 リットル（推奨される油処理剤の散布率の平均）でカサ貝に散布し、空気中に 6 時間（潮の干満の間に無作為に散布した場合の平均暴露時間とみられる。）放置する。貝はその後きれいな海水ですすぎ、干満作用を模した水の動きのある回復タンクに移される。

「海上」試験の場合と同様、比較油としては新鮮なクウェート原油が用いられる。試験用の油処理剤が比較用の油に比して著しい毒性を示さなければ当該油処理剤は合格とされる。

油も油処理剤も上げ潮に洗い流され、付近の沿岸生物群に影響を与えることがあるので、岩礁地帯での使用が許される油処理剤は海上試験にも合格したものに限られる。

(2) 材料

試験に使用する海水及び試験用の動物の馴致期間中飼育するための海水は、クラウチ川河口で満潮時に採取し、これを沈殿タンクに約 2 日置いた後、試験室のタンクにポンプで移す。試験動物保存タンクに入れる前に水温を試験温度 ($15 \pm 1^\circ\text{C}$) に調整する。10 μm フィルターを通して泥砂を除去した水を試験水槽に張る。水中塩分濃度は毎日測定し、28/1,000~35/1,000 に保つ。

新鮮な比較用クウェート原油は、大気温度下で 250cc の密閉した金属缶に入れて保管し、蒸発減耗を防ぐ。各試験ごとに新鮮なサンプルが使用され、使用前に試験温度に調整しておく。

食品、環境保護法に基づく毒性試験用の油処理剤サンプルは WSL から入手され、常に効率試験の際に用いられていたものと同じバッチから採取される。油処理剤は、大気温度下で保管され、使用前に試験温度に調整される。

(3) 試験動物

幅 30~40mm のカサ貝は、石灰岩質の玉石の海岸でカキ採取用のナイフを用いて貝殻に傷をつけないように注意しながら採取する。試験室では、後で取り外しを容易にするために、貝を上向きにポリエチレンシートの上に置き、容量 40 リットルのポリエチレンの試験動物保存用のタンクに入れる。

試験開始前少なくとも 2 日間、試験動物は、十分空気混和が行なわれ、緩やかな水流のあるタンクで飼育され、干満状態を模して水面下に 18 時間、水面上に 6 時間置かれる。この試験前に期間中 (2 週間を超えない。) 餌を与えない。

(4) 試験装置

試験のためには、カサ貝は、厚さ 6mm、表面積 440c m² の正方形のパースペックス板ガラスで、動物がガラス板の裏側へ移動するのを妨げるために板の端を鋭角に切ったものの上に置かれ、これに張り付く。板ガラスには、これを回復タンクの中で縦に吊るすためのステンレス鋼のカギ 2 個が取り付けられている。

油、油処理剤、油/油処理剤混合液等の試験材料は、手動散布器を用いてガラス板の上面に散布される。この散布の間、さらに散布後 6 時間、ガラス板はタンク内の 2 本の平行の棒で支えられた棚の上に置かれる。タンクの形状は、ガラス板 5 枚を試験動物が隣接したガラス板に移動できない程度の間隔をおいて並べることのできるものである。試験材料の散布後、ガラス板を回復タンクに移すまでの間タンクに蓋をしておく。

長方形の回復タンクは、容量 10 リットル、水量交換率 10 リットル/時のものである。この中の水は間欠的に注入、排出される。空気混合は、試験室のエア・コンプレッサーに連結されたドロPPER・ピペットによって行なわれる。

これらのタンクを置いた試験室は、室温を常に $15 \pm 1^\circ\text{C}$ に保ち、また 12 時間点灯照明、12 時間消灯できるものでなければならない。

(5) 試験手順

試験の前日、10 枚のガラス板を試験動物保存用タンクの棚に水平に置く。ガラス板の上にカサ貝を 24 個ずつ置き、1 晩十分空気を混和し、緩やかな水流の中でガラス板に張り付かせる。試験の直前に、試験動物のうち貝殻の欠損したもの、殻の密着性が極度に湾曲したものを取り除き、数は 20 個に減らす。その後、ガラス板を 2 個の散布タンクに水平に、殻を上にして並べる。2 個のタンクのうち 1 個のタンクの中の各ガラス板の上の各カサ貝に約 10cm の高さから 0.8 ミリリットルの油をかける（この散布率は $0.4\text{ml}/\text{m}^2$ となる。）。別のタンク中のガラス板には同様の方法で油処理剤を散布する。タンクには少量の海水を加え、温度を保つために蓋をする。

6 時間後、散布タンクから油又は油処理剤の散布されたガラス板を取り出し、15 秒間きれいな海水ですすぎ、回復タンクに垂直に吊る。回復タンク内でガラス板が水面下に置かれている間に、さらにすすぎが行なわれる。水すすぎ後 24 時間、48 時間後、ガラス板から離れたカサ貝は死亡として記録され、タンクから除去される。48 時間後の時点でガラス板に残ったもののうち、しっかり付着していないカサ貝はそと取り外し、タンクの底に置く。次の 24 時間の間に、底板面に付着しなかったものも死亡として記録され、タンクから除去される。72 時間後、油処理剤による処理を受けたガラス板上での死亡数は、油による処理を受けたガラス板上での死亡数と統計手法を用いて比較し、油処理剤が油単体よりも著しく毒性が高かったかどうかを判定する。

3. 毒性試験データの統計的解析

「海上」「海岸」試験から得られたデータは、Apple IIe コンピューター用のプログラムを用いて解析される。異なるタンクの中で同じ方法による処理を受けた試験動物が等しい死亡蓋然性をもっているかどうかを判定するために 2 組のコピーの同一性が試験される。もし試験用、比較用コピーのいずれかが同一性試験をクリアできなかったときは、毒性試験は繰り返して行なわれなければならない。もし 2 組のデータが同一であった場合には、試験品による死亡と比較品による死亡との差の意味は、an unpaired comparison of two proportions を用いて決定される。油と油処理剤の混合物（「海上」試験の場合）又は油処理剤単体（「海岸」試験の場合）が、比較油よりも著しく毒性が高いことを示した場合には、当該油処理剤は実験に不合格とされる。

(1) 同一性試験

n 個 (=5) のコピーの同一性は、次の 2 つの分割表 (contingency table) を作成することによって試される。

○ (死) ; 各タンク内で観測された死亡数

○ (生) ; 各タンク内で観測された生息数

$N = \text{○ (死)} + \text{○ (生)}$

E (死) ; 各タンク内で予測される死亡数

$$= \frac{\Sigma \text{○ (死)}}{\Sigma N} \times N$$

E (生) ; 各タンク内で予測される生息数

$$= \frac{\Sigma \text{○ (生)}}{\Sigma N} \times N$$

$$X^2 = \frac{\Sigma \{ \text{○ (死)} - E (\text{死}) \}^2}{E (\text{死})} + \frac{\Sigma \{ \text{○ (生)} - E (\text{生}) \}^2}{E (\text{生})}$$

ただし、自由度 $n-1$ (=4)

コピーは、 X^2 が確率 95% のレベルにおいて顕著でなければ均質であると考えられる。

(2) 有効度試験

試験物と比較物の死亡率の差の有効度は、次の式により試される。

	比 較	試 験
総 死 亡 数	r_1	r_2
総 試 験 数	n_1	n_2
死 亡 率	$p_1 = r_1 / n_1$	$p_2 = r_2 / n_2$
総 合 死 亡 率	$p = (r_1 + r_2) / (n_1 + n_2)$	
死亡率間の差	$d = p_1 - p_2$	

d の 95%信頼性の限度 $d \pm 1.96 \sqrt{\frac{p_1(1-p_1)}{n_1} + \frac{p_2(1-p_2)}{n_2}}$

標準偏差値 $u = \frac{p_1 - p_2}{\sqrt{p(1-p) \left(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2} \right)}}$

死亡率はもし u が確率 95%レベルにおいて顕著である場合には著しく相違すると考えられる。

付録 1C 濃縮型油処理剤散布装置

油処理剤の規格の改正が行なわれた 1983 年以降、油処理剤の使用は主としてタイプ 3 濃縮型油処理剤を無希釈のまま特殊な散布装置を用いて散布するという方向に指向されている。その結果、この付録では、空中、海上、海岸における散布についてそれぞれの用途に適した装置を概説した。処理率については、本文 2 ですすでに述べた。

1. 空中散布

(1) 固定翼機

農薬散布専用機は、適当に改装すれば油処理剤の空中散布機として使用することができ、短い又は随時の滑走路を使用することができるという利点がある。その大きさと操縦性は小規模な流出油や海岸に近いちぎれた小油塊の処理に最適である。しかし、この機種の多くは単発機で積載量が少なく、また安全に活動できる海岸からの距離に制約がある。一方、双発、四発の大型機は、大規模油濁の処理に必要な航続距離、搭載量、安全性を備えている。種々の機種の固定翼機が油処理剤散布用として改装されており、別表はその一例である。

散布装置が特に油処理剤散布用として設計されたものでない場合には、油処理剤散布に使用する前に較正検査を行なう必要がある（本文 2.1.2 及び 3.1.2 参照）。

また、専用航空機以外の機種に取り付けることのできる装置も開発されている。

(2) ヘリコプター

多くのヘリコプターは、貨物を機体に吊り下げて運搬することができるので、図○に示すようなバケツ型散布装置を機体を改造せずに取り付けることができる。

双発ヘリコプターは、航続距離、搭載量、速力、安全性に優れ、海上作業に適するが、単発ヘリコプターも浮力装置が取り付けられておれば使用することができる。

別表は、油処理剤空中散布に使用可能な機種の一例である。

2. 海上散布

現在多くの業者によって無希釈のタイプ 3 濃縮型油処理剤を船艇から散布する装置が開発されている。これらの装置を静かな海上（風速 5m/秒以下）で使用するときは攪拌板を曳航して海面に波を起こさなければならない。

3. 海岸散布

散布装置として何を使用するかは、清掃する海岸の状況、作業現場への接近の難易、作業の規模等によって異なる。狭い場所や接近困難な場所では、背負式散布器が適している。広い海岸では、散布専用車輛、トラクター、航空機が使用できる。

4. 人工構造物

栈橋、歩道等の構造物の側面に付着した油にはゲル化した油処理剤を散布し、油を分散させるために、これを高圧海水で洗浄して海に流すという方法がとられる。ゲルは通常できるだけ長く（6～24時間）油に接触させたままにしておく。油処理剤は、混合筒に取り付けられたノズルを離れるときにゲル化剤溶液に接触させてゲル化する。

別表

航空機の種類	油処理剤 搭載量 (ℓ)	巡航速度 (ノット)	必要最短 滑走路長 (m)
Beach Baron 2 piston	450	200	410
BN Islander	1,000	140	170
BN Trislander	1,250	145	395
Canadair CL 215	5,300	160	915
DC 3	4,600	130	1,000
DC 4	9,460	190	1,525
DC 6	13,250	210	1,525
Piper Aztec	570	175	300
Short Sky Van	1,200	170	510
Twin Otter	2,100	170	320
Volpar Turbo Beach 18 2 turbine	1,100	220	510

付録 D 油処理剤の歴史と進歩

1. 序

海洋における自然の油の湧出は、1792年バンクーバー船長がカリフォルニアのサンタバーバラ水域を航海したとき以来記録されている。例えば、コール・オイル・ポイント、ポイント・コンセプション等の水域での湧出はよく知られている。自然湧出量については多くの推定がなされている。例えば、コール・オイル・ポイントでは、143キロリットル/日、世界中では95,238キロリットル/年等があり、自然湧出量の自然分散消滅の最も印象的な一例は、2年前にNOAAによってベネズエラ沿岸で発見されたものであり、ここでは1回の噴出量は100万トンに及ぶものであったことが明らかにされている。

また、いくつかの大規模な油の流出が視認可能な影響を生じることなく消滅したことが詳しく記録されている。1977年のエコフィスク・ブラボー油田の暴噴がその一例である。

したがって、流出油に対して油処理剤を使用することは、いずれ生じる自然作用を援助することである。油処理剤はきわめて微細な粒滴を作ることによって油の表面積を増大させ、それによって海洋における自然発生的な微生物による生分解を促進する。したがって、油処理剤の使用は、もし流出した油を自然の経過に委ねて放置した場合、その後何らかの積極的な措置を講じなければならないような問題を残すことになると判断される場合に限るべきである。

過去20年界面活性剤がこの目的のために効果的に利用されてきた。1960年、すでに英国においては、当時技術省の下にあったウォーレンスプリング研究所によって海洋汚染の一因となっている重油を乳化剤を用いて清掃できるかどうかの試験が始められていた。この初期の作業に基づいて、1960年には小規模の流出油に油処理剤が用いられたが、特に好ましい影響は見られなかった。後掲の石油港ミルフォード・ハーベンでの使用がその一例である。

1967年トリーキャニオン号が、英国南部セブンスストーン岩礁に衝突し、海上、海岸における未曾有の油濁事故となった。ここでは種々の清掃剤、乳化剤が多量に投入された。しかも無差別に誤った方法で投入されたのである。

当時得られた製品は、いずれもきわめて毒性の高いものであった。これらの製品が使用された条件、場所がその後問題となり、多くの誤った考え方を導き出したことは確実である。しかし最も重要なことは、トリーキャニオン号事故が、その後の油濁事故対応の方法に関する調査に拍車をかけたことである。1960年代の後半から70年代初頭に産業界と政府、特にウォーレンスプリング研究所との間で、焼却、沈降、分散、吸着の技術に関する多くの共同作業が行なわれた。

共同の努力は、英国石油協会の海洋汚染委員会によって指導されている。この委員会は、トリーキャニオン号事故後に設立されたものであり、政府代表が親委員会だけでなく種々の作業部会にも参加しており、その部会の一つは油処理剤を扱うものであった。油処理剤作業部会が最重要課題としたものは、試験室及び野外における有意義な効率試験とは何かを明確にすること、現場における油処理剤の使用が海洋生態系に及ぼす影響を良識をもって評価することであった。また油処理剤使用の費用効果、散布装置、技術の開発も作業部会が関心をよせた分野であった。

さらに、企業は製法の改善に熱心であった。また、我々は、これらの分野への理解を深めることができたと自信を持って言えるが、これらの分野への関心は依然今日まで続いている。最近の研究の重点は、大規模な野外実験に基づく評価に移ってきているが、防除作業の効率、生態系への影響の根拠のある評価は、現実の事故処理を待たねばならない。

2. 油処理剤の進歩

初期の油処理剤又は乳化剤と称せられるものは、本来、工場でのグリース落とし剤であり、流出油の防除に使用することは考えられていないものであった。使用された溶剤は、強い芳香族物質であり、工場の床に粘着した風化油を柔らかくするためのものであった。また、調剤の際の毒性溜分は、主として溶剤に含まれる芳香族成分によることが判明した。英国農水食糧省の試験においては、茶エビに対する毒性 — 48 時間半数致死濃度範囲 3~10ppm — をさらに下げることのほかに、新しい油処理剤は、それらが非持続性であることを確保するために生分解されるものでなければならないとしている。1969 年に紹介された第 2 世代の油処理剤は、農水食糧省の試験では、その毒性が 1,000 倍近く低いものとなっている。第 2 世代の原料は、灯油系溶剤をベースにしたものであって、例えば BP1100X のように芳香族含有量は 3% 以下である。これらの毒性は、10,000ppm を超えるほど低いものである。

この種の油処理剤が現れて間もなく、新しい濃縮型油処理剤が紹介された。濃縮型油処理剤は、海水に 1 : 9 の比率で希釈して使用するものであり、しかも、その効果は、無希釈のまま散布される在来品と同等の分散能力を持つものであった。このことは、散布用船艇に同量の濃縮型油処理剤を搭載した場合、その散布作業時間を 10 倍延長することができることを意味する。油処理剤の品質の改良はその後も続けられ、その性能はいよいよ高いものになっている。その結果、油を分散させるのにわずかな攪拌エネルギーがあれば足りるという高性能のものが得られるようになり、航空機による無希釈油処理剤の空中散布への道が開かれた。

(1) 資機材

初期の油処理剤散布装置としては、特に不慣れな作業員が使用する場合には、消火用ホースを用いることが多かった。その後、この方法はきわめて不経済であることが認識されるようになり、1970年には、ウォーレンスプリング研究所は、短時間で作業船に取り付けることのできる可搬式散布装置を開発した。この装置は、ポンプ、散布桿取り付け金具及び油処理剤と油を混合するための攪拌板からなっている。この装置は、今日なお世界中の関係者の高い評価を受け、製作が続けられている。

その間にも多くのメーカーが種々の散布装置を開発してきた。作業船に曳航させる攪拌板にも種々の改良がみられたが、一般的にその取扱いは面倒なものとして歓迎されなかった。攪拌エネルギーを作る方法としては、油処理剤の高圧散布、高圧水ジェットを別に放射する等の方法が考えられた。低攪拌エネルギー型油処理剤が紹介されるに至って、使用者のある者は、油処理剤を希釈して使用することをやめ、その代わりに生のままの油処理剤を散布し、船艇の航走波を攪拌エネルギーとして使用する方法をとっている。

最近の油処理剤は、広い水域を短時間でカバーすることのできる航空機による空中散布を示唆するものであり、最近数年間は、研究開発の焦点はこの分野に絞られてきた。空中散布に伴う諸要件、例えば、油処理剤の粒径、航空機から落下中に生じる溶剤の逸失、散布システム等に関する研究実験が進められた。航空機による散布にみられる欠点の一つは、その飛行速度が速すぎるために、精密、正確な散布が困難なことである。この欠点を克服するためには、油塊に対して選択的な散布が行なえるように機体の下部に散布装置を吊り下げたヘリコプターが用いられている。固定翼機には、油処理剤約1トン搭載のパイパーポニーから約5トン搭載のDC4が実用化されており、ハーキュリーズC-130輸送機に約20トン搭載可能なADDS PACが開発されている。固定翼機の多くは専用機として装備される必要があり、それが用途を制約している。一方、ハーキュリーズ搭載装置は、必要に応じて貨物室に搬入固定され、後部のカーゴランプを開いて散布桿を展張して散布するものである。

(2) 英国石油協会の活動

英国においては、Institute of petroleum (IP)、英国石油協会、ウォーレンスプリング研究所が、油濁の影響に関する知識、認識の啓発、防除技法開発の推進に主要な役割を演じてきた。1962年、「油の回収と除去」と題する小冊子を発行した。また、ウォーレンスプリング研究所は、海岸に漂着した油の除去技術の研究に当たった。1966年には、IPは政府機関と協力して油濁問題の範囲を明確にし、これに対する組織を勧告するための委員会を設置した。1967年3月トリーキャニオン号事故が発生したときには、まさにこの勧告の草案が検討されていたときであった。勧告の成分が得られたのは同年6月であったが、トリーキャニオン号事故によって大幅な改訂が加えられることはなかった。勧告は、要員の訓練、油処理剤等防除資機材の準備等を含むものであったが、特に距岸1マイルまでの水域の防御のための散布装置、機器資材、作業船等の入手可能性に関する情報を収集しておくことが含まれている。

トリーキャニオン号座礁時、米国の主要石油会社は産業界として蓄積した知識を油濁防除に当たる政府関係者に提供できるようにするための技術委員会を設置し、コーレーが委員長となった。同委員会は、直ちに動力省によって採用された。また、中央政府においてもザッカーマンを委員長とする科学者による委員会を設けた。コーレー委員会の報告書は1967年秋に発表され、ザッカーマン報告書はコーレー委員会の報告の多くを取り入れて同年末に発表された。

トリーキャニオン号事故後、政府勧告の発表が遅れることが懸念されたので、IPは、1967年12月海洋汚染防止に関する調整委員会を設置した。その委任事項は、「石油業界として外洋、沿岸水域における油濁の影響に関して貢献し得る諸問題を検討、調整、推進すること」であった。政府の設けた前記2委員会はIPによって代表された石油技術問題に加えて、CS、英国船主協会によって代表された海運関係の事項にもわたるものであった。IPはCSとの協議によって、IPの調整委員会は主として陸上の石油産業諸機関による貢献を検討し、コーレー委員会の委員であり、IPの調整委員となっている石油会社の海運部門からのCSメンバーを通じて海運関係者に連絡するというシステムが合意された。IPの調整委員会は、海洋汚染に直接関係する政府機関にも参加を呼びかけ、またCONCAWEの職員も受け入れている。

1967年当時、油濁防除技術はまったく未熟なものであったが、作業部会の次の分野の研究項目を掲げている。

- ① 外洋、沿岸水域における油の挙動
- ② 油の焼却
- ③ 油処理剤とその散布方法
- ④ 沈降剤、吸着材、凝固剤

このうち油処理剤作業部会は、油処理剤の効果試験、毒性試験方法に関する新分野を開拓した。1969年、当時の部会長ベイノンは、科学的に有意義な結果を生み、しかも再現性のある試験方法の確立が実際面ではいかに困難かについて報告書を発表している。

外洋水域で効果があげられるならば毒性には目をつぶることができるという費用効果の問題がある。毒性の低い新製品が得られるようになった今日でもこの問題は依然として残っている。1970年代は、作業部会が油処理剤の毒性試験と取り組み続けた10年であった。

トリーキャニオン号事故は、油濁に関する問題に世界中の注目を集め、その後多くの優れた機関、団体が誕生したが、IPはいち早く、特に英国において大きな役割を果たしてきたものである。

(3) 毒性、効率試験

油処理剤の有効性に関する理解が進むにつれて効率試験、毒性試験の方法にも種々のものがみられるようになった。現在広く知られている試験方法としては、ラボフィナ法、マッケイ法がある。最近改良されたラボフィナ法は、油／水／油処理剤混合液の分液ロートによる攪拌、エマルジョンの安定度の測定からなるものである。マッケイ法は、1970年後半に紹介されたもので、やや複雑であるが、油処理剤が油濁現場で使用された場合に、実際これに働く諸条件をできるだけ忠実に再現しようとするものである。各国はそれぞれ独自の毒性試験方法を採用しているが、いずれも48時間又は96時間半数致死濃度によっている。試験用生物が国によって異なることは、得られる試験結果を相関付けることを困難にしているが、これらの試験は本質的には選別試験を意図したものであり、実際の油濁現場で使用される場合の条件に比してはるかに厳しい条件が考えられていることに留意しなければならない。

G.J. Brockis

J.K. Stapleford

15, Nov. 1982