



流出油処理における 油処理剤の使用

ITOPF技術資料

4



序

油処理剤散布の主たる目的は、油膜をいくつかの小さな油滴に分解することである。その油滴は急速に希釈されて水中に溶け込み、その後自然に発生する微生物によって生分解される。油処理剤は、適切に使用すれば油流出に対する効果的な対応になり得るものであり、保護の必要な重要な資源の被害を最小化又は防止することが可能である。

他の対応方法と同様、油処理剤の使用は慎重に検討すべきであり、油の特性、海と天候の条件、環境面での脆弱性、油処理剤の使用に関する国の規定を考慮する必要がある。場合によっては、油処理剤の使用の結果として環境面、経済面で大きな利益が実現される可能性もある。特に、天候条件のため、あるいは資源を調達できないために他の海上対応方法に制限がある場合にその可能性がある。

本技術資料は、船舶を流出源とする海洋油流出への対応のために利用可能な様々な選択肢の一つとして、浮遊油に対する油処理剤の使用及びその制限について、概要を説明する。

油分散の仕組みと油処理剤の組成

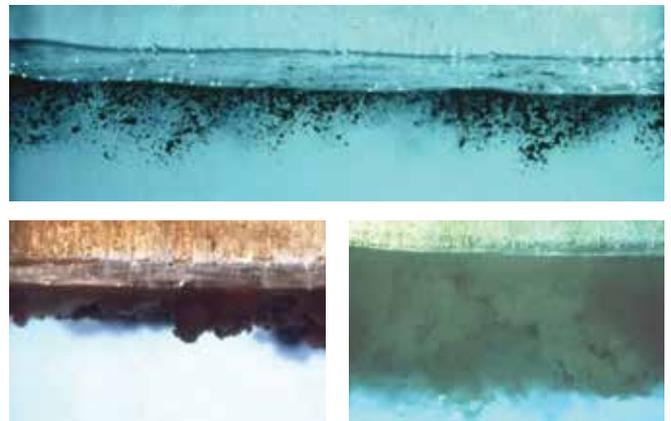
海面に油が流出すると、その結果生じる油膜から油の一部が水中に自然に分散する。この分散がどの程度行われるかは、流出した油の種類と海の攪拌エネルギーに依存する。低粘度の油は高粘度の油より自然分散しやすい。一般的に、原油は重油より分散度が高い。

波と風によって与えられる攪拌エネルギーが油と水の境界面における表面張力より強く、油膜を様々な大きさの油滴に分解するために十分な強さがあると、自然分散が生じる（図1a）。油滴の中で比較的大きなものは、急速に再浮上し、合体して再び油膜を形成する。比較的小さな油滴は、波の運動と乱流によって水中に浮遊し続け、亜表層流によってさらに希釈される。

自然分散プロセスは、砕け波と5m/s（10ノット）超の風がある荒れた海で生じる。例えば、1993年、タンカー・ブレア号が英国シェットランド諸島で座礁した際、激しい嵐によって積載していたガルフアクス原油（超低粘度油）85,000トンの大半が自然分散し、海岸線への影響は最小限度で済んだ。

油処理剤は、油と水の境界面における表面張力を小さくして自然分散を促進し、波の運動によって小さな油滴がより多く発生するように設計されている（図1b&1c）。油処理剤は界面活性剤を溶媒に混ぜたものである。溶媒は二つの機能を持っている：「希釈剤」として作用することにより、界面活性剤の粘度を下げて散布できるようにすること。界面活性剤による油膜中への浸透を促すこと。

界面活性剤の分子は、それぞれ親油基（油に惹きつけられる）と親水基（水に惹きつけられる）を持つ。溶媒は油の表面に散布されると、油の中を通過して油と水の境界面まで界面活性剤を移動、分散させる。そこで分子の構成が変化して、親油基は油の中に、親水基は水の中に入っていく。この結果、油と水の境界面での表面張力が減少し、さらに波のエネルギーが作用して、油滴になって



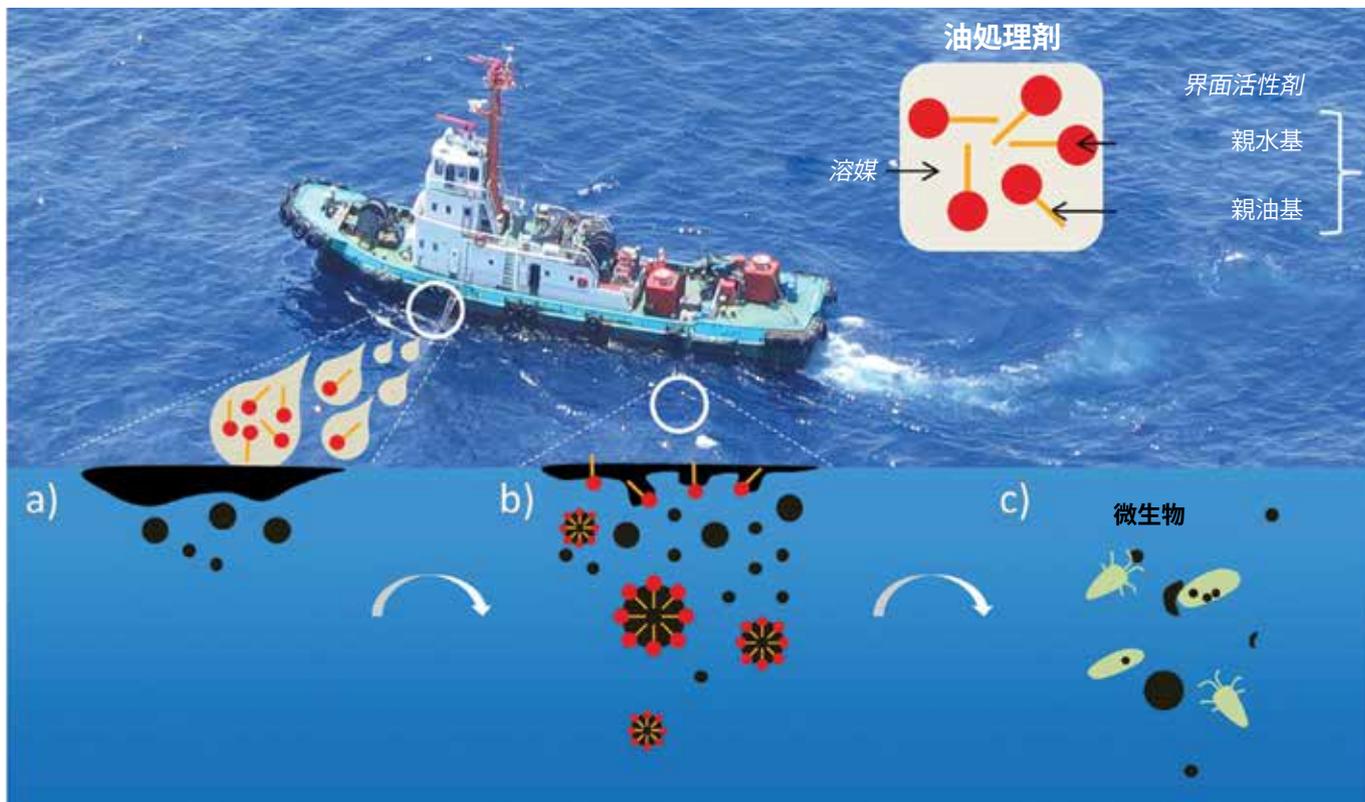
▲ 図1：実験室条件で成功した分散。a) 油処理剤を使用していない油（自然分散）、b) 油処理剤を使用した油、c) 油処理剤を使用して数秒後の油。急速な希釈が見られる。（画像提供：デルフト水理学研究所）

油膜から分散する。十分に小さい油滴は、水中で浮遊し続け、典型的なコーヒー色の羽毛状のものが海面下に広がる（図1c）。

効果的な分散を実現するには、油滴の大きさは $1\mu\text{m}$ *から $70\mu\text{m}$ の範囲である必要があり、最も安定的な大きさは $45\mu\text{m}$ 未満である。この範囲の大きさの油滴では、海面に向かって上昇する速度が海の乱流によって打ち消されるため、油滴は海中に浮遊し続け、油と油処理剤の混合が水面下の上部数メートルの範囲で急速に希釈される。界面活性剤の分子が油滴の表面に付着し、油滴が希釈され油滴同士が離れて動くため、油滴同士が接触する蓋然性が小さくなる。これにより、油滴が再結合し海面上で油膜が再形成される可能性が最小化される。

微生物は油の中ではなく水中に存在するため、様々な海洋微生物による生分解は、油滴の表面でのみ行われる。小さな油滴が多数作られることで油の表面積が増えるため、生分解の可能な面積が増える。例えば、直径1mmの

* μm = マイクロメートル = 10^{-6} メートル。 $1\mu\text{m} = 0.001\text{mm}$



▲ 図2：化学的分散過程：a) 界面活性剤と溶媒を含む油処理剤が油に散布され、溶媒が界面活性剤を油の中に運び入れる。b) 界面活性剤の分子が油と水の境界面に移動し、表面張力を減少させるため、小さな油滴が油膜から分散できるようになる。c) 油滴が乱流の攪拌によって分散し、最終的には、自然に発生するバクテリアや菌類などの微生物によって分解される。この最後の段階は、数日から数週間掛けて完了する。

油滴が10,000個の油滴に分解されると、各油滴の直径は45 μ mなので、表面積は最初の油滴の20倍に増える。実際には分解によってできた油滴のすべてが同じ直径を持つわけではないが、最初の油滴より小さな油滴が多数分散して存在するため、生分解の機会が格段に増える。

油処理剤の分類

油処理剤は、世代とタイプによって分類される。第1世代の製品は1960年代に登場した。工業用洗剤や脱脂剤と同じようなもので、水生毒性が強かった。現在では、流出油対応においては用いられない。

第2世代の油処理剤はタイプI油処理剤とも呼ばれ、特に船舶からの散布によって海上の流出油を処理することを目的として設計されていた。炭化水素溶媒を含み、芳香族をまったく含有しないか、わずかに含有する。界面活性剤は、通常15～25%含有する。海水で予め希釈すると効果を失うため、希釈なし（原液のまま）での使用が意図されている。第2世代の製品は対油使用率が高く、1：1ないし1：3（油処理剤：油）が必要である。第1世代の油処理剤に比べると毒性が低くなっているものの、第3世代の油処理剤に比較すると効果は低く、毒性も高い場合がある。多くの国でタイプIの油処理剤はすでに使用されなくなっている。

第3世代の油処理剤は、2種類又は3種類の界面活性剤とグリコール及び軽質石油留分溶媒との混合物である。最も一般的に使用されている界面活性剤は、非イオン性（脂肪酸エステル及びエトキシ化脂肪酸エステル）及び陰イオン（アルキルスルホコハク酸ナトリウム）

性の界面活性剤である。溶媒中の界面活性剤の濃度は25～65%であり、タイプIの製品より高価になる傾向がある。

第3世代の油処理剤はタイプIIとタイプIIIの油処理剤に分けることができる。どちらのタイプも濃縮油処理剤である。しかし、一般的にタイプIIの製品は使用前に海水で希釈する。通常は油処理剤を10%にするが、対油使用率が高く、効果を発揮するには2：1ないし1：5（油処理剤/水の混合物：油）にする必要がある。この希釈要件のため、使い方は船からの散布に限られる。タイプIIIの油処理剤は原液のまま使用される。主に航空機から効果的な散布ができるように開発されたものだが、船舶からの使用も可能である。対油使用率は1：5ないし1：50（油処理剤の原液：油）だが、理想的で現実的な適正量は、事故が起きたときに試行しながら決定する。第3世代のタイプIII油処理剤は、現在最も一般的に入手できる油処理剤である。

油処理剤の制限

油処理剤の有効性は、いくつかの物理的、化学的パラメータによって制限される。その中で最も重要なパラメータは、海況と油の性状である。これらの制限に対する認識は、油処理剤の使用が適している状況を特定するために重要である。

海況

海での油処理剤の使用が成功するには、最低限の波のエネルギーが必要である。この最低限度を下回ると、分散

した油滴が再浮上し油膜を再形成する。さらに、厳しい海況においては油が砕け波によって水中に沈んでしまい、油処理剤と油の直接的接触が妨げられ、油処理剤の有効性が減少する場合がある。実地試験の結果では、風速4~12m/s (8~25ノット、ビューフォート階級3~6)が最適である。

油処理剤は、主に塩分濃度が1000分の30~35 (ppt) の海水で使用するために製造されている。塩分が5~10pptを下回る汽水では性能が急速に低下するが、あらかじめ希釈した油処理剤を散布する際に特にその傾向が強い。同様に、35pptを上回る高い塩分濃度でも有効性が影響を受ける。淡水では有効性が劇的に減少する。これは、界面活性剤が油層を通して水中に浸入し、油と水の境界面で安定しないためである。ただし、特に淡水での使用を目的として作成された油処理剤もある。川や湖などの限定された淡水系では、分散した油の適切な希釈が行えるために十分な水深や水交換があるかなど、海とは異なる要因を考慮する必要がある。

油の性状

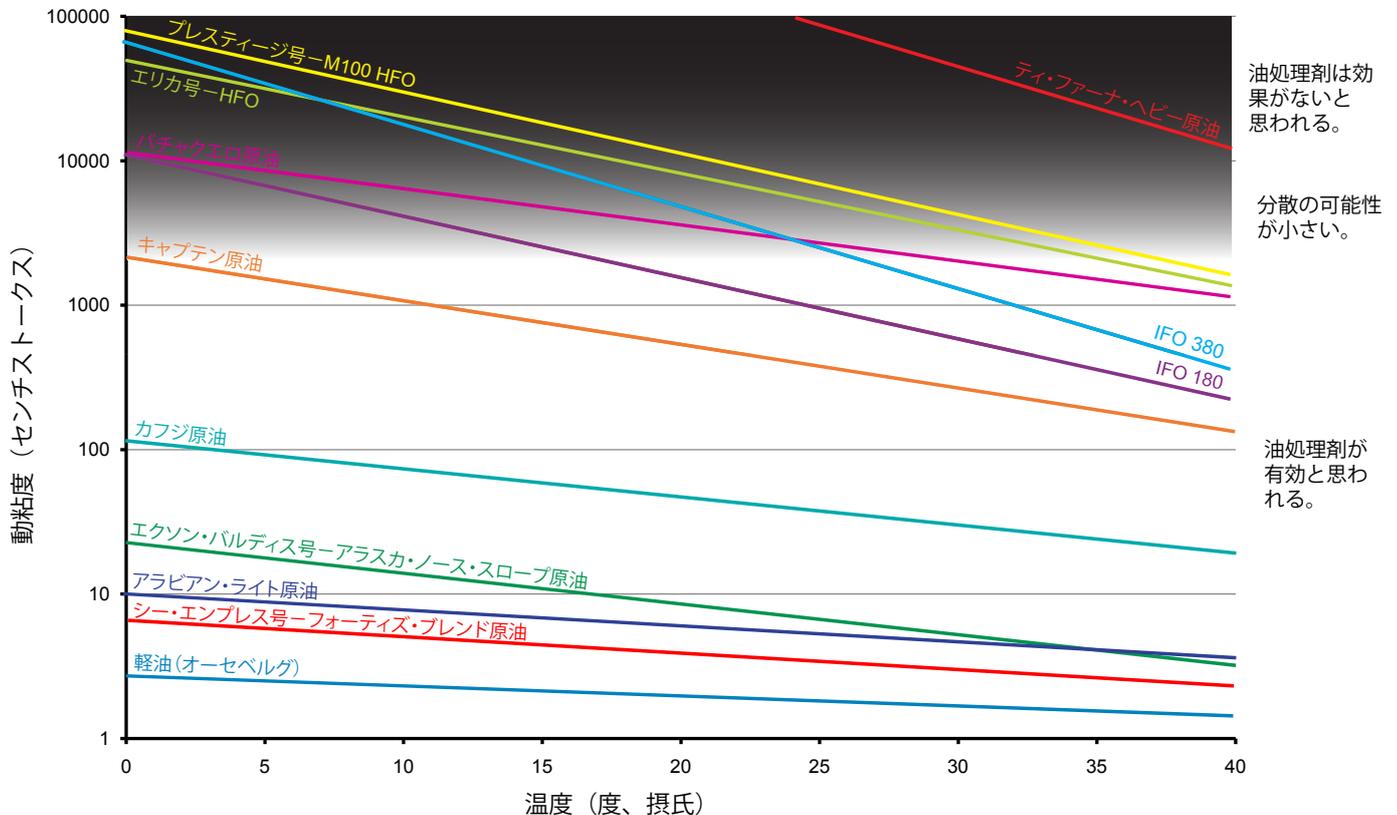
油処理剤の使用が成功する可能性を評価するときには、油の特性と、その性状が海での風化によってどのように変化するかが重要である。油の粘度と流動点は、油の分散しやすさを示す良い指標になる二つの性状である。

油の粘度が高くなるにつれて、油処理剤の有効性は下がる(図3、4)。流出直後の軽質から中質の原油 (ITOPF 技術資料「海上流出油の結末」) に示されているグループ

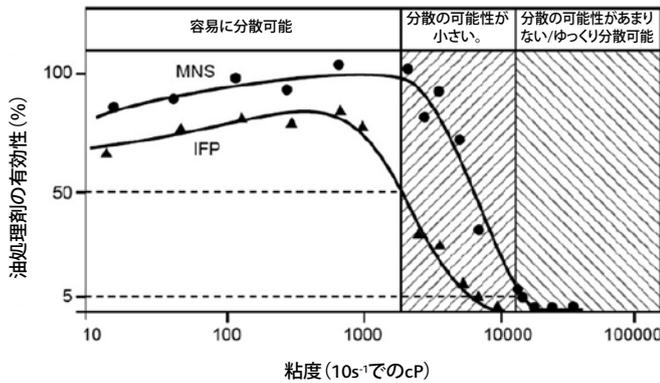
2及び3の油) は、一般的に、大半の海水温において容易に分散可能と考えられている。分散が可能な上限の粘度は、これらより重い油 (グループ4の油) までと思われる。一般的な参考として、大半の油処理剤は、粘度が5,000~10,000センチストークス (cSt)以上の油に対しては、流出時に効果がないと思われる。流出油の粘度は、風化、主として蒸発と乳化の影響によって増大する。その結果、流出直後には分散可能な油でも、時間が経つと分散が不可能になる場合もある。風化によって油の性状が経時的に変化するため、油処理剤の散布が成功する機会は限られていると言える。利用できる時間つまり「有効期間」は、流出した油の種類と周囲条件によって異なるが、通常、数時間から数日までに限られる。

同様に、流動点が周囲温度より高い油は、通常は加熱された状態で輸送されるため、流出すると冷えて急速に粘度が増大し、半固体になる場合が多い。一般的に、流動点が海面の温度に近いかそれより高い油は、分散できない。

高粘度油は、流動点の高いものも含めて、自然な状態でも油処理剤の散布後も容易に分散しない。これは、油の抵抗率によって小さな油滴が油膜の下へ分散することが妨げられるためである。さらに、油処理剤は高粘度油の中に浸透する前に洗い流され、油の下の水に混ざってしまうため、通常、高粘度油に対しては効果がない。そのような状態の特徴として、分散が成功した場合(図6)には見られない、白い羽毛のようなものが目立つ(図5)。油処理剤の製法は、粘度範囲を広げ、高粘度油に対する有効性を高めるために絶えず進化している。例えば、油



▲ 図3：10種類の油での油の粘度と海水温の関係。このグラフでは、乳化による粘度の増大は考慮されていない。高粘度の油は、エリカ号 (フランス、1999年)、プレスティージ号 (スペイン、2002年) から流出した重油を含めて、一般的に分散しない。シー・エンプレス号 (ウェールズ、1996年)、エクソン・バルディス号 (アラスカ、1989年) から流出した油を含めて、多くの原油は、一般的に分散可能である。軽油など比較的軽質の油は、一般的に油処理剤を使用しなくてもすぐに分散する (そして蒸発する)。



▲ 図4：様々な油とエマルジョンでの油処理剤の有効性と油の粘度との関係。粘度が5,000~10,000センチポワズの油は分散が困難であり、10,000cPを超えると一般的に分散しない。2本の傾向線は、異なるMNS及びIFP試験法を適用した結果である。（センチポワズ=センチストークス×密度）（グラフ提供：SINTEF）

との接触時間を長くして溶媒の浸透を促すため、油処理剤ゲルの開発が進んでいる。

油中水型エマルジョンを特に形成しやすい油もある（特に、アスファルテン含有量が比較的多く（>0.5%）、ニッケルとバナジウムの合計濃度が100万分の15（ppm）を上回る油）。しかし、エマルジョンが安定的でない場合、濃縮型油処理剤がエマルジョンを分解できる場合があり、それによって水が放出されて比較的液体状の油が生成され、もう一度油処理剤を散布することによって分散させることができる。エマルジョンの分解が成功すると、反射光を放つ純粋油の断片が観察されるはずである。

軽油やガソリン、灯油などの軽質油は、簡単には乳化しない。むしろ、拡散して水面上で非常に薄い油膜又はぎらつきを形成し、すぐに蒸発又は消失するため、油処理剤を使う必要がない。これに関係なく、軽質油に対して、又は原油や重油から生成したぎらつきに対して油処理剤を使用することは推奨されない。なぜなら、油処理剤の小滴が薄い油膜に「穴を開け」て、その下の水に浸



▲ 図5：重油への油処理剤散布が効果的でない場合の特徴として、水中に白い羽が現れる。油は油処理剤の作用を受けていない。

透するため、油が「群れを作る」結果になりやすいのである。水の中に油処理剤が入ると、そこを中心にして油膜が瞬時に後退し、穴が開いたように綺麗な水の領域ができるが、これを分散と誤解してはならない（図7）。鉱物油用に製造された油処理剤は、椰子油や菜種油などの非鉱物油にはほとんど又はまったく効果がないことが明らかになっている。

油処理剤の選択

油処理剤は様々な製法で作られていて、それぞれの有効性は油種によって異なる。ある特定の油に対する様々な油処理剤の有効性は、実験室での試験によって相互に比較してランク付けすることができる。石油生産施設や油槽所では生産および取り扱われる油の種類が分かっているため、一部の国は、それらの施設の事業者に対し、当該油に対して最も効果的な油処理剤を特定するための研究を義務づけている。しかし、そのような研究の結果を基に海上で実際に分散される油の量を予測する際には、慎重を期することが推奨される。海上での条件を実験室環境の中で正確に再現することは困難だからである。計画策定のため、タイプIII濃縮型油処理剤の対油使用率として1：20が一般的に用いられている。多くの場合、散布装置はこの値を達成できるように調整されている。この対油使用率は流出直後の油に対しては小さくなる場合があるが、逆に高粘度又は乳化した油に対しては大きくなり、油処理剤を複数回散布する必要が生じる場合もある。

他の対応方法との競合

大規模事故においては、油処理剤の使用が他の対応方法と重複又は競合しないように、あらゆる対応行動を調和させる必要がある。例えば、水中に分散した油は、オイルフェンスでの封じ込めや油回収機での回収ができない。さらに、油はその相対的表面張力のためにポリプロピレンなど多くの吸着材に吸着する。しかし、油処理剤によって油の表面張力が変化するため、油処理剤を使用すると吸着材の有効性が著しく低下する可能性がある。同様に、親油性油回収機も油処理剤と同時に使用すると影響を受ける。



▲ 図6：シー・エンプレス号の事故で油が流出している間、フォーティズ原油に油処理剤を散布して分散が始まった。（画像提供：AEAテクノロジー）



▲ 図7：船舶搭載散布アームからぎらつきに油処理剤を散布する。油が分散しないで油の群れができています。



▲ 図8：タグボート上の放水銃を使って油処理剤を散布する。油処理剤の拡散が不均一で、風の影響が見られる。

散布方法

油処理剤は外洋の流出油に対して船舶又は航空機から散布することができる。大規模沖合流出への散布では、有効積載量大きい大型多発航空機が有利だが、より小規模で海岸に近い海域での流出を処理するには、船舶、ヘリコプター、軽飛行機が適している場合もある。

散布装置が適切な大きさの油処理剤の小滴を噴出できることが重要である。油処理剤の小滴は、吹送流の影響と蒸発による損失を克服できるだけの大きさであるが、油と水の境界面に移行しないで油膜に穴を開けてしまう程大きくないことが必要である。油処理剤の小滴の最適サイズは、直径600～800 μm である。

水やぎらつきに対して散布された油処理剤は効果がなく、高価な資源の無駄遣いになる。したがって、油の風化や海況の変化によって油処理剤が効果を発揮できなくなる前に、油膜の最も厚い個所に素早く狙いを定めて散布すべきである。



▲ 図9：薬剤散布用飛行機が翼の下の散布ブームから、海上作業台船から流出した原油に向けて油処理剤を散布している。（画像提供：マーク・ハミルトン・フォトグラフィー）

船舶からの散布

油処理剤を船舶から散布するには、通常、散布アームに取り付けられた1組のノズルを使用する（図7）。ディーゼルエンジン又は電動ポンプによって油処理剤を貯蔵タンクから散布アームに送る。このアームに取り付けられている1組のノズルは、アームの全長に渡って油処理剤の小滴を一定のパターンで散布できるように調整されている。散布装置は持ち運び可能なタイプも、船舶に設置されているものもある。また、油処理剤を希釈しない原液のままでも海水で希釈した状態でも散布できる装置もある。

散布アームは、できる限り船の先端に取り付けるとより効果的である。こうすることで、船首波が散布パターンの幅つまり散布幅の外へ油を押しやってしまうことが避けられる。散布アームを船首に取り付けると、船をより高速で走らせることができる。そして、多くの船でフリーボードは船首側でより高くなっているため、散布アームをより長くすることができる。これによって、限られた油処理剤の積載量で油との接触率つまり処理可能な油の量を最適化することができる。しかし、アームが長す



▲ 図10：多発航空機から油処理剤を散布する。この事例では、浅水域での油処理剤の散布が有益と考えられた。



▲ 図11：散布装置を吊り下げたヘリコプターが流出して間もない重油に接近していく。効果を得るには、より低空からの散布が必要と思われる。（画像提供：インド沿岸警備隊）

ぎると、うねりが発生して船が横揺れするときに損傷の危険がある。

濃縮油処理剤を水流で希釈して散布するため、消防ホースや放水銃（図8）が用いられる場合もある。しかし、これらの装置では流量が多いために油処理剤の最適な希釈を実現することは難しく、また油処理剤の小滴を均一に散布することも難しい。ウォータージェットが高圧なため、油処理剤が油層を突き抜けてしまう恐れもある。したがって、放水銃は、油処理剤の散布用として特に改造されたものでない限り、油処理剤の無駄遣いになることが予想され、散布効果はないと考えられる。

通常、船舶は調達しやすく機材の積み込みも容易で、油膜の特定の領域に対してかなり正確に油処理剤を散布できるため、油処理剤の散布用として優れている。また、船舶は航空機に比較して費用面でも有利であり、大きな積載量を運ぶことも可能である。しかし、船舶には重大な制限もある。特に大量の流出では、処理速度が遅く、船橋から最も油の集中している場所を特定することが難しい。ただし、場所を特定する問題は、空中監視機が作業の指揮を執ることである程度克服できる。

航空機からの散布

航空機からの油処理剤の散布には、迅速な対応、高い処理速度、そして油処理剤の最適な使用という利点がある。おおよそ3種類の固定翼機が用いられる。そのうち、農業用又は害虫駆除用に設計された航空機（図9）は、油処理剤散布のために軽微な改造ですみ、その他には、油処理剤の散布用として特別に改造された航空機及び規格化されたタンクを取り付けた貨物機（図10）がある。ヘリコプターは、固定散布アームを取り付けたり、吊り下げ式バケット散布装置を装備することができ、通常は大規模な改造は不要である（図11）。ヘリコプターは、沖合の作業に参加するときには船舶又は海上石油プ

ラットフォームから油処理剤を繰り返し積み込むこともできる。

特定の事故に対して理想的な航空機は、主に流出の規模と場所によって決まるが、現地でのような航空機を調達できるかも重要な要因になる。航空機は低空（比較的大型の航空機で、通常は15～30メートル）で、かつ比較的低速（25～75m/s）で安全に作業を行えなければならない。高い機動性が求められる。燃費、有効積載量、流出現場と作業基地との距離、再発進準備所要時間、短い滑走路や即席の滑走路での離着陸性能も、適切な航空機を選定する際の重要な要素である。

航空機からの散布にはタイプIIIの油処理剤が最適である。対油使用率が小さい（通常油処理剤：油が1：20）ため、限りのある積載量を有効に利用できるからである。航空機搭載散布装置は、ポンプによって速度を制御しながら油処理剤をタンクから航空機に取り付けられた散布アームに送る。油処理剤は散布アーム上に一定の間隔で並べられた圧力ノズル又は風力駆動の回転装置から放出される。これらは、最適の大きさの油処理剤の小滴が作られるように設計されている。軽量な航空機やヘリコプターは、いずれのタイプの放出装置でも使用できるが、より大型の航空機は圧力ノズルを使用する。

海岸線での散布

大量の油が被害を受けた海岸線から回収された後、油処理剤が洗浄剤として用いられる場合もある。岩、防潮壁、その他の人工構造物の固い表面から残った油を除去することがその目的である。一般的に、背負い式装置を手動で操作して、油処理剤を油に強く吹き付け、その後海水で洗い流す。分散した油は回収できない。そのため、油処理剤の海岸での使用が承認されるのは、通常、環境面での問題が小さく、快適性の価値が高い地区に限定される。専用に開発された海岸線洗浄機が用いられる場合もある。しかし、そのような製品は、放出された油が回収されることを目的としているため、油処理剤とは機能が異なる。船舶にはエンジンルームの掃除のために脱脂剤が積まれている場合が多い。しかし、その大半は油処理剤より毒性が強く、海上で油処理剤として、又は海岸線洗浄剤として使うべきではない。

散布率

適切な散布率を計算するには、効果的な分散に求められる油処理剤対油の比を決定しなければならない。この比はタイプIの油処理剤での1：1からタイプIIIの油処理剤での1：50まで様々であり、散布方法、油処理剤のタイプ、油種、支配的な条件によって異なる。散布率の計算は、次のように二段階を経て行うことができる。

1. 処理すべき油の量を推定する。油膜の厚さの平均値と面積についての観察と想定に基づいて行う。
2. 必要な対油使用率（油処理剤：油の比）を達成するために必要な油処理剤の量を計算する。

一つの油膜の中でも油の厚さは場所によって大きく異なるが、大半の原油は流出後数時間以内に拡散するため、

全体的な厚さの平均は0.1mm (10⁻⁴m) である。この値は、作業計画策定の基礎としてしばしば用いられる。ここから、1ヘクタール (10,000平方メートル、10⁴m²) あたりの油の量は次のように計算できる。

$$10^4\text{m} \times 10^4\text{m}^2 = 1\text{m}^3 \text{ すなわち } 1,000 \text{ リットル}$$

油の空中監視に関する他のITOPF技術資料において、油量を推定するためのもう一つの助言が示されている。

対油使用率が1：20の場合、必要な油処理剤の量は次の計算によって求められる。

$$\text{油処理剤の量} = 1000\text{リットル (油)} / 20 = 50\text{リットル}$$

したがって、散布率は50リットル/ヘクタール (4.5英ガロン/エーカー) である。吐出率は、散布率 (リットル/m²) に航空機又は船の速度 (m/s) と散布幅 (m) を掛けて求めることができる。

例えば、目標の散布率が50リットル/ヘクタール (0.005リットル/m²) で、散布する航空機の速度が45m/s (90ノット)、散布幅が15メートルだとする。このとき、必要な吐出率は以下のように計算できる。

$$\text{吐出率} = 0.005 \text{ litres/m}^2 \times 15 \text{ m} \times 45 \text{ m/s} = 3.37 \text{ リットル/s (すなわち約200リットル/分)}$$

したがって、対油使用率1：20を達成して厚さ0.1mmの油膜を分散するには、散布装置のポンプの吐出率は、200リットル/分が必要になる。船舶から散布する場合も、同じ計算で吐出率を決定することができる。

一つの油膜でも様々な厚さの場所があるため、実際には、最適の油処理剤使用量を正確に算出することはできない。現実的で最も効率的な解決法は、油膜の最も厚い部分を標的とすることである。上の例で計算した1ヘクタールあたり50リットル前後の散布率は、多くの状況において適切であることが分かっているが、様々な油種と環境条件が油膜の厚さにさらに影響を及ぼす可能性があるため、これらを補正するために調整が必要になる。散布率は、ポンプの吐出率又は船舶もしくは航空機の速度を変えることで調整できる。さらに、油膜の処理に求められる油処理剤の量を推定するには、油の蓄積量の最も大きい場所をどの程度正確に狙えるかを考慮し、ある程度の過剰散布を許容しなければならない。

後方支援と管理

油処理剤の散布は、訓練を受けた作業員と、あらゆる必要な物資が確実に用意されるようにするための徹底した準備が必要な専門的作業である。作業を最も効果的に行うには、空中監視機を用いて、散布を担当する船舶や航空機を誘導し調和的に動かすのが望ましい。空中監視機の乗組員は、油の最も濃縮されている場所又は最も脅威となる油膜を特定する能力を備えていなければならない。その乗組員は、散布を担当する航空機や船舶を目標まで誘導するため、それらの乗組員との間で良好な意思疎通を保つ必要がある。また、散布を担当する航空機との間では、散布を開

始と終了する場所を特定して、過剰散布と油処理剤の無駄使いを最小に抑えるためにも、良好な意思疎通が必要である。また、散布作業そのものが行われている間は、正確に散布できているか、処理が効果的に行われているかを判断するためにも、空中監視機を利用することができる。大型の多発機が散布を行っているとき油処理剤を短時間で大量に散布できるため、そのような航空機を指揮するときは、こうした空中監視機の機能が特に重要である。効果的散布のために必要な低空飛行中は、乗組員が油、ぎらつき、水を区別することが困難になる。特に、油膜が断片化しているときは尚更困難である。

航空機からの散布作業を行っている間は、安全を確保するため、飛行禁止区域を設定する必要がある。海上を低空で飛行することは極度に神経を使うため、交代要員が必要になる場合もある。油処理剤によって潤滑油、特にヘリコプターのテールロータの潤滑油が汚染されていないこと、又は航空機の操縦系統のゴムが露出している部品が傷んでいないことを確認するため、定期点検も推奨される。航空機は、油処理剤と塩水のしぶきの両方を除去するため、真水で頻繁に洗い流すことが望ましい。

日中に利用できる時間を最大に活用して散布作業を継続するため、地上組織の整備が必要である。日中の時間を有効活用するには、夜間に航空機と散布装置の日常保守を行う必要がある。油膜を処理するのに一回の出動で利用可能な有効積載量だけで間に合うとは考えにくい。特に、油の流出が継続的である場合は殊更である。したがって、油処理剤を追加供給できるように調達しておく必要があり、船舶や航空機に最短の所要時間で繰り返し供給できるようにするため、油処理剤を積み込みやすいように配置しておくべきである。同様に、特に航空機の燃料の供給について、並びに船舶又は航空機に油処理剤を積み込むために必要な大容量ポンプやタンクローリーなどの設備についても考慮すべきである。

油処理剤の長期貯蔵には、プラスチック・ドラム、タンク、1m³の中容量コンテナ (IBC) (図12) が望ましい。油処理剤は、直射日光に暴露せず、未開封であれば長年貯蔵できる。しかし、開封後は定期的に有効性を試験すべきで



▲ 図12：1m³の中容量コンテナ (IBC) を使用して、油処理剤の簡単な貯蔵と取り扱いを実現できる。(画像提供：USCG)

ある。製造業者の推奨事項として、年一回の目視点検と、製品の密度、粘度、引火点など主要な物理的特性の点検が定められている。これらの物理的パラメータが著しく変化しているか、有効期限が過ぎている場合は、実験室で油処理剤有効性試験を行うべきである。異なるタイプ、製造年月日、銘柄の油処理剤を同じタンクや貯蔵容器に混ぜて入れてはならない。そのようにすると、油処理剤の粘度が変わったり、成分が沈殿又は凝固する場合がある。海水で希釈した油処理剤は貯蔵してはならない。貯蔵中の温度は -15°C ~ 30°C の範囲が大半の油処理剤で最適である。製造業者は貯蔵中の温度変化を最小に抑えることを推奨している。非常に低い温度では、粘度が高くなり、散布ノズルを通過できなくなる油処理剤もある。

油処理剤の有効性の監視

化学的分散の有効性は絶えず監視すべきであり、油処理剤の効果がなくなったときには、直ちに対応作業を終了すべきである。有効性の目視による観察が重要だが、悪天候、沈殿物負荷の高い水、薄い色の油を分散させているとき、十分な明りがないときには、十分な観察ができない場合もある。夜間の散布と目視監視は明らかに非実際である。

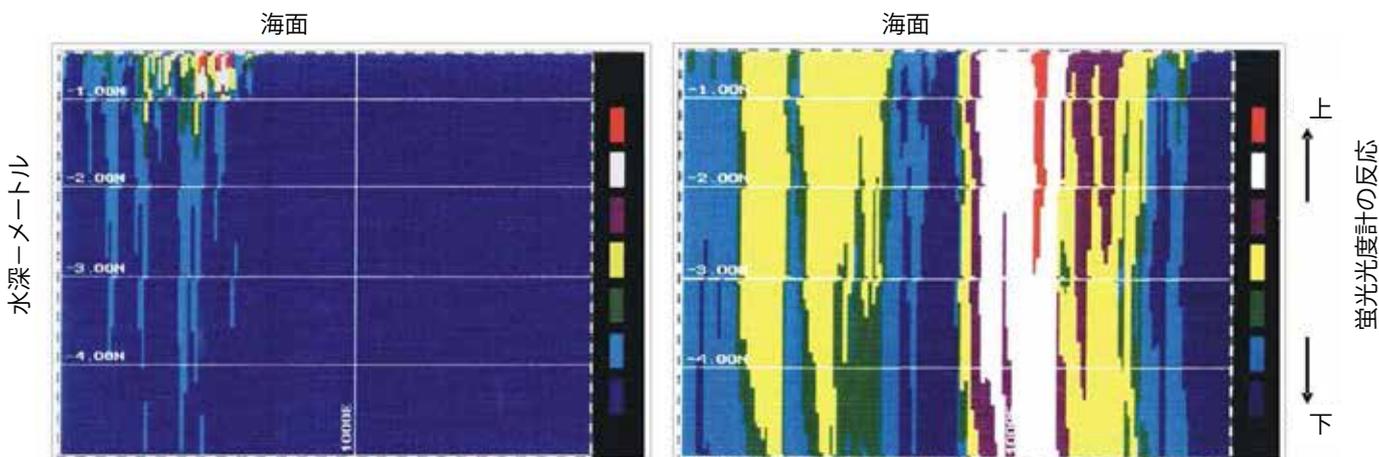
油処理剤の有意義な散布を行うには、油の流出後比較的早期に油の分散を行い、油が海岸線や保護の必要な資源のある場所に到達するリスクを低減する必要がある。散布の直後に空から見ると、外観の変化が分かるはずである。油の外観が変化しない、油の広がっている面積が減少しない、又は油処理剤が油の下に潜り込んで水中に乳白色の羽のようなものができている（図5）場合、これらはいずれも油処理剤が効果を発揮していないことを示している。同様に、油が広い面積に拡散している場合や、広範囲にわたって断片化している場合は、油処理剤を散布しても、海面から十分な量の油を除去して汚染による被害を大きく低減することができない場合もある。

油処理剤の有効性は、紫外蛍光分析（UVF）によって水中に分散した油の濃度の「リアルタイム」データを用いて監視することもできる。1台又は複数の蛍光光度計（図13）をサンプル採集船の後部に取り付け、油膜の下1メー



▲ 図13：海上での油処理剤の有効性を計測するため、曳航蛍光光度計を準備する。（画像提供：USCG）

トル以上の深度で曳航し、油濃度の変化を計測する。油処理剤を散布する前に計測した濃度と比較して、センサーが検知した油の濃度が著しく上昇していれば、分散が証明される（図14）。しかし、UVFは水中に分散した油の量を定量的に計測することはできない。したがって、有意義な対応が実現できるかを判断するためには、目視による観察と組み合わせてUVF検査を行うべきである。



▲ 図14：蛍光光度計は、水面の油膜の下、水深0.5～5メートルの油に反応する。油処理剤の散布前（左）と数分後（右）。散布後、油が急速に分散及び希釈している。（図提供：AEAテクノロジー）



▲ 図15：油処理剤の使用は、海面から迅速に油を除去できるため、油に弱い海鳥を保護する上で効果がある。



▲ 図16：特別な状況で、散布によって環境にどのような影響がもたらされるかを慎重に検討してからでなければ、珊瑚礁など保護の必要な領域での油処理剤の使用は推奨されない。

環境面の配慮

油処理剤の使用は、議論の的になる可能性があり、時折、マスメディアでも公開討論会でも幅広い論争を巻き起こしている。油処理剤の使用は、海岸線の汚染を防止又は軽減することで保護の必要な資源への潜在的な影響を最小化する方法と見なされる場合がある。しかし、時には、環境に別の汚染物質を追加していると見なされる場合もある。油処理剤の製法の改良にもかかわらず、油処理剤と油の混合物が持つ海洋動物相と植物相に対する毒性は、しばしば重要な環境問題になる。一部の国では、油処理剤が容易に生分解を起こすことが問題視され、研究が進められている。油処理剤の使用の承認過程は、多くの国で有効性と有毒性の両方を考慮して行われるように設計されている。ある国で承認された製品が別の国では承認されない場合もある。したがって、油処理剤を使用する場合は、入手可能であれば事前に関係国一覧を確認すべきである。

外洋で油処理剤を散布した後、通常は水面下の上層(<10m)においてのみ高い油の濃度が観察されるが、それは、水の運動によって急速に希釈され低下する。原油についての研究から、油処理剤の散布の直後には、油膜の直下の水中で30~50ppmの油の濃度が予想されるが、水中の最上部の水深10メートル前後までの層では数時間後には1~10ppmに低下することが判明している。したがって、海洋生物にとって油処理剤への暴露は「慢性的」ではなく、むしろ「急性」であり、暴露時間が限られているため長期的な悪影響の可能性が抑えられる。しかし、十分な水の交換によって、分散した羽毛状の油が適切に希釈されることが保証できない限り、浅水域での油処理剤の散布は推奨されない。

他の資源に過度な損害を与えるリスクを犯さずに特定の資源を保護するため、油処理剤を用いるべきかどうかを判断するとき、希釈の可能性についての推定は有益な根拠の一つになる。最高濃度とその持続時間を推定するときに考慮すべき有意義な要因として、水深、単位面積あたりの油の量、油処理剤散布の現場と保護の必要な領域

との距離、そして海流の方向と速度がある。

油処理剤は水面から油を除去することにより、海鳥が油まみれになるリスク(図15)並びに、塩湿地、マングローブ、保養地海岸など保護の必要な海岸線の汚染リスクを最小化する。しかし、水面から除去された油は、水中に移動するため、分散された油によって損害リスクが生じる。水面からの除去による利点とこのリスクを比較検討しなければならない。例えば、多くの魚種は自由に泳ぎ回っており、水中で油を感知して避ける能力があるため、暴露の可能性を減らすことができる。しかし、珊瑚(図16)、海草、魚の産卵区域は分散された油に対して非常に脆弱であり、これらの資源が影響を受ける可能性があれば、油処理剤の使用は推奨されない。同様に、養殖用の生け簀、貝類床、その他の浅水域漁業の近隣では、そこに蓄えられている資源の汚染リスクが増大するため、油処理剤の使用は推奨されない。工業用水取水設備の近くでも、油が取水設備の中に侵入するリスクが増大するため、油処理剤の使用は勧められない。

油処理剤を使用するか否かを明快に決定できることは、ほとんどない。様々な対応の選択肢(自然のプロセスに依存することを含む)によってもたらされる利点と制限、費用対効果、様々な資源を汚染被害から保護するための優先順位の競合の間で均衡を取らなければならない。多くの場合、油処理剤の散布に先だって、国の機関と協議して環境面、経済面での純利益について均衡の取れた評価を行う必要がある。油処理剤を使える時間は、油の風化と油が保護の必要な資源に向かって移動することによって制約される。油流出の発生時に時間を無駄にしないため、油処理剤を使用可能か、可能であれば、正確にはどのような状況において可能かについて、油流出対応の緊急時対応計画策定過程で合意しておく必要がある。

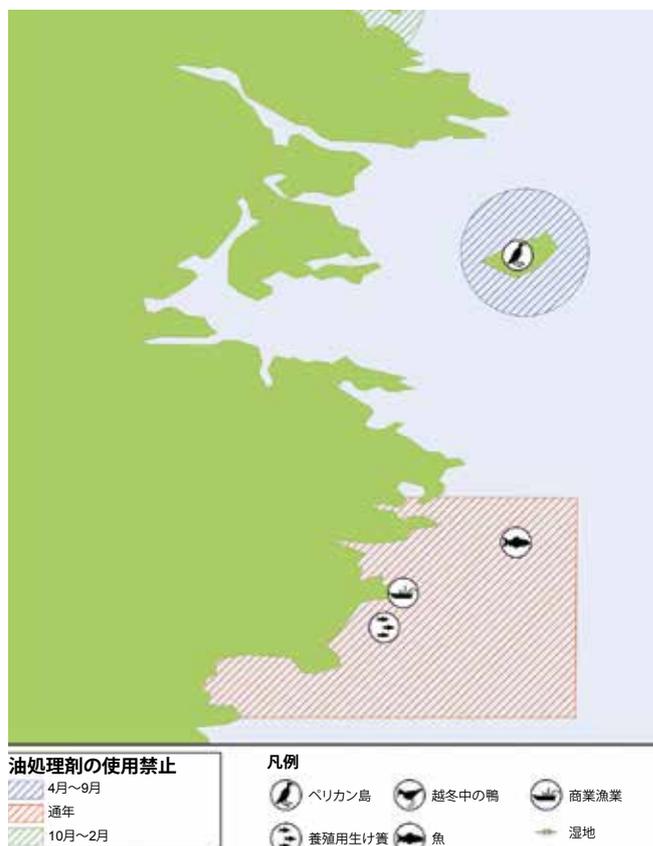
緊急時対応計画の策定

緊急時対応計画の策定過程において考慮すべき要因としては、流出する可能性がある油種、それらの油に対する油処理剤の有効性、区域内の保護の必要な資源、

補給・後方支援がある。後方支援で考慮すべき問題は、主として油処理剤、散布装置、船舶、航空機、滑走路、燃料補給機能のある場所と利用可能性、並びに重大事故時に国際支援が必要になった場合の通関手続である。保護の必要な資源の地図は、保護の必要性に対する季節的な影響を示すことができるため、いつでも油処理剤を使用できるか、あるいはできないかを表示するために特に有効である。例えば、渡り鳥がいるのは1年の特定の時期に限られるため、浅水域における油処理剤の使用が制限されていても、鳥が浮遊油に遭遇するリスクを減らすように配慮すれば、使用を許可できる場合もある(図17)。効果的な油処理剤対応機能を維持するため、資金源についても考慮する必要がある。こういった議論の結果は、緊急時対応計画の中で明確に文書化すべきである。

多くの国で、国の規制により油処理剤の使用には管轄当局の承認を得ることが求められている。対応要員は、油処理剤の使用方針を把握しておくべきである。事前の合意なく、あるいは国の規制を遵守せずに油処理剤が使用されれば、軋轢が生じたり罰金が科せられる場合がある。一部の国では、有効性と有毒性試験に基づいて使用が承認されている油処理剤の一覧を作成している。管轄当局が石油取扱施設や港に対し、一定の基準を満たすことを条件として、随時協議する必要なく油処理剤の使用を事前承認する場合もある。

油処理剤の使用に関する計画を策定する中で、訓練と演習は不可欠の要素である。実際、それらは油流出対応のあらゆる側面を対象として行われる。作業要員は、油処理剤の散布と安全に関する総合的訓練を受けるべきである。資機材を投入し散布装置を展開するための実際的な演習を定期的に行うべきである。



▲ 図17：保護の必要な資源の地図は、いつでも油処理剤を使用できるか正確に示すため、緊急時対応計画の中でしばしば利用される。この例では、赤い領域での油処理剤の使用は禁止されている。これは、1年を通じて商業的漁業が行われているためである。一方、野鳥の生息地があるペリカン島周辺(青い領域)では、季節によって油処理剤の使用があらかじめ承認されている。本土近くの浅水域での使用は、特別な状況において許可される場合がある。例えば、海岸漂着油に対して保護の必要性が非常に強いマングロープや湿地を保護することを目的とする場合などである。

要点

- 油処理剤は、油の自然分散を促進し、油を水面から水中に移動させる。このとき、油は多数の小滴となって急速に希釈され、最終的に生分解される。
- 大半の油処理剤は、高粘度油及び安定的なエマルジョンを分散させることはできない。
- 油のぎらつきに油処理剤を散布しても効果がなく、資源の無駄な使い方である。
- 大半の原油と一部の重油については、油が海上に流出した場合に油処理剤を使って効果が見込める時間は短いため、綿密に計画された迅速な対応が不可欠である。
- 港に近い海域での小規模な油流出に対処するには船舶が適しているが、沖合の大規模流出では、大型多発航空機によってより効果的な対応ができる可能性がある。
- 外洋では、水中で分散した油の濃度は、海洋生物に長期的な悪影響を及ぼす恐れのある水準を数時間以内に下回る。
- 油処理剤は、海鳥など海面にいる動物やマングロープなど保護の必要な沿岸資源に対する汚染の被害を迅速かつ効果的に最小化することができる。
- 油処理剤の散布は、分散した羽毛状の油が珊瑚、貝類床、工業用取水設備など保護の必要な資源に損害を引き起こす可能性がある場合には避けるべきである。
- 十分な準備と訓練がなされた緊急時対応計画及び油処理剤使用合意についての明確な方針があれば、油処理剤散布作業が効果的に行われる可能性が著しく高まる。

ITOPF技術資料

- 1 海上流出油の空中監視
- 2 海上流出油の結末
- 3 油汚染対応におけるオイルフェンスの使用
- 4 流出油処理における油処理剤の使用
- 5 油汚染対応における油回収機の使用
- 6 海岸線における油の確認
- 7 海岸線における油の清掃
- 8 油流出対応における油吸着材の使用
- 9 油とゴミの処分
- 10 油流出対応における統率、指揮、管理
- 11 漁業及び養殖業に対する油汚染の影響
- 12 社会・経済活動に対する油汚染の影響
- 13 環境に対する油汚染の影響
- 14 海上流出油のサンプリングと監視
- 15 油汚染に関する求償の準備と請求
- 16 海上油流出に対する緊急時対応計画の策定
- 17 海上の化学物質事故への対応

ITOPFは、油や化学物質、その他危険物質の海洋流出に対する効果的な対応の推進を目的として、世界中の船主や保険業者のために設立された非営利団体です。技術サービスには、緊急時対応、清掃技術におけるアドバイス、公害損害評価、流出油対応計画に対するサポートならびにトレーニングの項目が含まれます。ITOPFは海洋油汚染における総合的な情報ソースで、本資料はITOPFの技術スタッフの経験に基づく文書シリーズの一部です。本資料内の情報はITOPFから事前に許可を受けた場合にのみ複製可能です。詳細は下記までご連絡ください。



THE INTERNATIONAL TANKER OWNERS POLLUTION FEDERATION LIMITED

1 Oliver's Yard, 55 City Road, London EC1Y 1HQ, United Kingdom

Tel: +44 (0)20 7566 6999

Eメール: central@itopf.com

Fax: +44 (0)20 7566 6950

Web: www.itopf.com

24時間受付: +44 (0)7623 984 606



石油連盟

<http://www.paj-gr.jp/>

〒100-0004東京都千代田区大手町1-3-2 (経団連会館)

Tel: 03-5218-2306 (油濁対策室)

Fax: 03-5218-2320

Eメール: pajosr@sekiren.gr.jp