



序

海洋油流出への対応には多数の選択肢がある。その中で、多くの政府当局が採用している最も重要な対応方法は、海面からの油の機械的回収である。これは通常、オイルフェンスを使用して流出油を濃縮した後、油回収機で選択的に回収し、貯蔵設備へ移送することにより達成される。油回収機には多くのタイプがあり、種々の作業規模、油種、環境条件に最も効果的に対処できるデザインになっている。

本技術資料では、油流出対応中に遭遇する可能性が最も高い状況において油回収機を効果的に使用するための基本的要件を説明する。したがって、本シリーズの他の技術資料、特にオイルフェンスの使用、海岸線清掃方法、油の処分に関する資料と併せて読む必要がある。

概要

回収作業の最終目標は、合理的かつ経済的に最大限可能な量の油を回収することである。油回収システムが効果を発揮するためには、大量の油に遭遇し、次にその油を封じ込め、濃縮し、回収し、移送し、貯蔵するまでの、相互に関連し合う問題を克服しなければならない。作業全体の中で回収と移送に係わる機能は、油回収機に組み込まれていることが多い。すべての油回収機は水より油を優先して回収するように設計されているが、例えば海上で使うか、遮浪水域で使うか、あるいは陸上で使うか等によって設計が大きく異なる。水上で使用する油回収機は、何らかの形の浮体又は支持装置が付いているが、自走式のもの、及び幾つかの回収機構、一体型の貯蔵タンクと油水分離装置を備えた、より複雑なデザインのものもある（図1）。

油回収機を選定する際には多くの要素を考慮しなければならないが、その中で最も重要なものは、海況とゴミの量とともに流出油の粘度と付着性（経時的な「風化」によるこれらの性状の変化を含めて）である。マリナーミナルや製油所等の固定施設のように比較的予測しやすい状況では、取り扱われる油種が分かるため、特定の油回収機を選定することができる。逆に、国家備蓄資機材のように様々な状況と油への対応が求められる場合には、多目的油回収機が望ましい。しかし、単一の油回収機では、油流出で遭遇する可能性があるすべての状況には対応できないため、特に油の風化に合わせて、油回収機を選択しなければならないことがある（表1）。

次に、想定される使用法と作業条件を特定しなければならない。例えば、油回収機は船舶搭載の沖合回収システムと一体化されたものでなければならないか、それとも、港や海岸線で手で展開されなければならないか、等である。一旦これらが確定すれば、大きさ、堅牢さ、操作・取り扱い・メンテナンスの容易さ等のその他の基準についても評価できる。

表紙画像：Ro-Clean Desmi 及びデンマーク海軍提供。



▲ 図1：港湾及び沿岸水域用の自走型堰式油回収機。船首扉が開いて掃海幅を広げ、浮遊油が入りやすくする。回収油は、内蔵の貯蔵タンクへ送られる。

油回収のメカニズムと油回収機のデザイン

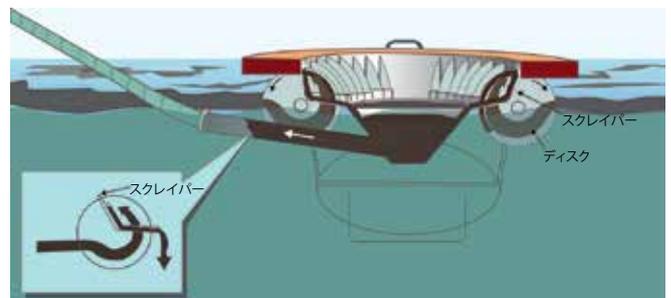
油回収機の回収部は海面の油の流れを変え、又は掬い取り、ポンプシステムの入口側に送り込み、貯蔵設備へ移送する。油を水面から分離するメカニズムとして、移動する表面に油を付着させる親油性システム、吸引システム、重力を利用する堰システム及び機械的なスコップ、ベルト、グラブで油を物理的に引き上げるシステムがある。

親油性油回収機

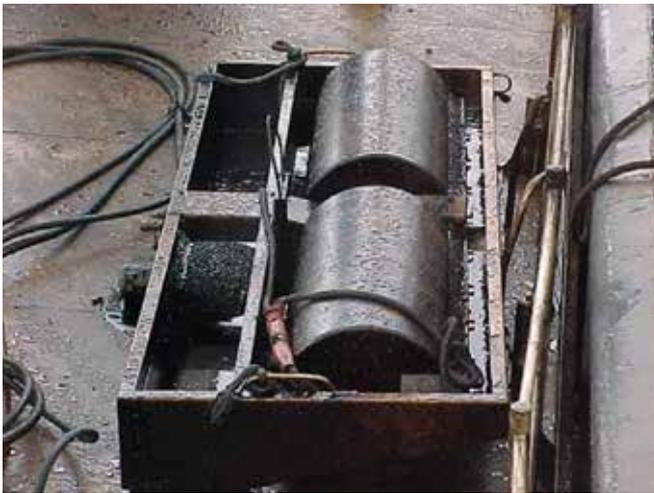
親油性油回収機は水より油に対する親和性の強い素材を使用する。油は素材の表面に付着する。通常、このような素材は、円盤（図2&3）、ドラム（図4）、ベルト、ブラシ（図5）、ロープ・モップ（図6&7）の形になっており、回転しながら油を水面から引き上げる。水を分離した後、油は親油性素材から剥がされ又は絞り出され、油溜めに落され、貯蔵設備へ送られる。通常、親油性油回収機は、遊離水又は同伴水に対して最大の油回収率（回収効率とも言

油回収機		回収速度	油種	海況	ゴミ	付属品
親油性	ディスク式	ディスクの数と大きさによる。試験により、溝付きディスクが非常に効果的であることが分っている。	中粘度油に最も効果的。	低い波と低速の海流において、水を殆ど同伴せず、非常に選択性が良い。三角波では沈水の可能性がある。	ゴミによる目詰まりの可能性はある。	別のパワーパック、油圧吐出ホース、ポンプ、適当な貯蔵設備が必要。
	ロープモップ式	ロープの数と速度による。一般的に処理量は小さい。	中質油に最も効果的。重質油にも効果がある。	同伴水は殆ど又は全くない。三角波で操作可能。	大量のゴミ、氷、その他の障害物にも耐えられる。	小型装置では動力源と貯蔵設備が組込まれている。大型装置には別個の付属品が必要。
	ドラム式	ドラムの数と大きさによる。試験により、溝付きドラムがより効果的であることが分かっている。	中粘度油に最も効果的。	低い波と低速の海流において、水を殆ど同伴せず、非常に選択性が良い。三角波では沈水の可能性がある。	ゴミによる目詰まりの可能性はある。	別のパワーパック、油圧吐出ホース、ポンプ、適当な貯蔵設備が必要。
	ブラシ式	処理量はブラシの数と速度による。一般的に中程度。	軽、中、重質油にそれぞれ異なるブラシサイズを用いる。	回収される遊離水又は同伴水が比較的少ない。三角波で操作可能な装置もあるが、波で沈水するものもある。	小さなゴミがあっても効果があるが、大型のゴミは詰まる可能性がある。	別のパワーパック、油圧吐出ホース、ポンプ、適当な貯蔵設備が必要。
	ベルト式	低～中程度。	中重質油に最も効果的。	水を殆ど同伴せず、非常に選択性が良い。三角波で操作可能。	小さなゴミがあっても効果があるが、大型のゴミは詰まる可能性がある。	ベルト頂部の貯蔵設備へ直接送油できる。船舶から陸上への排出には付属品が必要。
非親油性	真空／吸引式	真空ポンプによって決まる。一般的に、低～中程度。	軽中質油に最も効果的。	平水域で使用する。小さな波でも水が過剰に回収される。堰を付けると選択性が増す。	ゴミによって詰まる可能性がある。	一般的にバキュームカーとトレーラーには必要な動力源、ポンプ、貯蔵設備が組込まれている。
	堰式	ポンプ容量、油種等によって決まる。高容量にできる。	軽質油から重質油まで効果的。超高質油は堰まで流れない場合がある。	平水域では水を殆ど同伴せず、非常に選択性が良い。同伴水が増加すると沈水し易くなる。	小さなゴミには対処できるポンプもあるが、ゴミによって詰まることがある。	別のパワーパック、油圧吐出ホース、ポンプ、貯蔵設備。ポンプが組み込まれている油回収機もある。
	ベルト式	低～中程度。	重質油に最も効果的。	水を殆ど同伴せず、非常に選択性が良い。三角波で操作可能。	小さなゴミがあっても有効。大型のゴミは詰まる。	親油性のベルト式油回収機と同じ。
	ドラム式	中程度。	重質油に効果的。	平水域では水を殆ど同伴せず、非常に選択性が良い。しかし、波があると沈水する可能性がある。	堰式油回収機と同じ。	堰式油回収機と同じ。

▲ 表1：広く使用されている油回収機のタイプ毎の一般的な特徴。効果的な作業のための油回収機の選定は、流出油によって決まる。油が風化すると効果的な油回収機のタイプが変わり、回収を続けるためには別のタイプが必要になることがある。回収速度は、広範囲に拡散又は散乱していない均質な油膜に油回収機が投入されたと仮定した場合である。



◀ 図2&3：小型の親油性ディスク式油回収機。中粘度油に適している。油は回転する円盤に付着し、掻き落されて油溜めに落ち、貯蔵設備へ送られる。適切なポンプと油圧動力供給を必要とする。



▲ 図4：親油性ドラム式油回収機。中粘度油に適している。ディスク式油回収機と同様の方法で操作される。即ち、油は回転するドラムに付着し、掻き落されて油溜めに落ち、貯蔵設備へ送られる。



▲ 図5：自由浮遊ブラシ式油回収機。油は回転するブラシ・セットに付着し、水面から引き上げられる。油は櫛でブラシから掻き取られ、貯蔵設備へ送られる。ブラシの背後のプロペラが浮遊油を油回収機の方に引き寄せることにより、遭遇率と処理量を高める。（画像提供：Lamor）



▲ ▶ 図6&7：水平及び垂直型親油性ロープ式油回収機。より合わせた吸着環が連続するモップを形成している。水面に浮いているモップに油が付着する。モップはローラーまで引き戻されて、油は圧搾され、貯蔵タンクに入る。ロープ・モップ式油回収機は、ゴミ、氷、その他の障害物の中にある油を回収するのに役立つ。



吸引式油回収機

操作理論上、最も簡単なデザインは吸引式装置であり、油はポンプ又は空気吸引装置によって水面から直接回収される。特に、バキュームカーやトレーラーは、回収、貯蔵、移送、油水分離の機構を併せ持っており、現地で商業的に又は自治体や農業団体から、流出現場へ容易に調達できる場合が多く、その意味で海岸又はその付近での油回収に最適である（図8）。より小型で移動可能な装置も調達でき

う)を達成する。このタイプの油回収機が最も効果を発揮するのは、100～2,000センチストークスの中粘度油の場合である。灯軽油等の低粘度油は、一般的に親油性表面で十分な厚さの層を形成して蓄積することはなく、高い回収率を達成することができない。バンカー重油等の高粘度油は、非常に粘性があり、除去が困難な場合がある。対照的に、油中水型エマルジョンは、殆ど付着性がなく、一部の親油性油回収機では回収が困難な場合がある。例えば、ディスク式油回収機はエマルジョンを切断してしまって、回収できない。金属表面も有効であることが分っているが、親油性素材は通常、ある種のポリマーでできている。平滑な表面より表面に溝の付いたディスクとドラムの方が、回収率が高いことが明らかになっている*。

* 出典：親油性油回収機回収面の最適化：オームセット施設での実地試験，V.Broje, A.Keller, Bren School of Environmental Science and Management, University of California, Santa Barbara, CA, 36pp., June 2006.



▲ 図8：真空吸引システムはどこでも調達しやすいため、海岸線又は付近の水域で油を回収するのに最適の装置である。



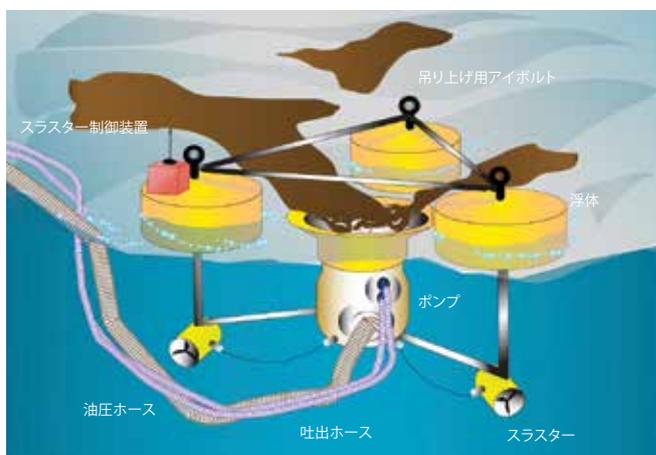
▲ 図9：可搬式真空吸引システムの使用により、砂浜や磯での油回収が容易になる。コンパクトなシステムは貯蔵容量に限られるが、他の方法では近づきにくい場所での作業が可能である。



▲ 図10：真空ポンプに接続されたホースを直接油の中へ投入している作業員。この事例では、小型の堰部品が取り外され、高粘度重油がホースへ流入できる。但し、同伴水が増加する可能性がある。



▲ 図11：真空ポンプに取り付けられた固定堰式油回収機。ヘッドの縁に多数の小さな入口があり、油を選択的に回収できる。ゴミが殆ど無い平水で使用する。（画像提供：Lamor）



◀ ▲ 図12& 13：堰式油回収機は、油膜の上面直下にある中央の堰を重力の力によって乗り越えた油を選択的に回収する。回収された油は貯油部に入り、ポンプで貯蔵設備へ送られる。



▲ 図14：プラスチックボトルと金属の切れ端で作られ、真空ポンプに取り付けられた即席の堰式油回収機。この装置は基本的な回収ができ、ボトルを増減して調整する。



▲ 図15：大型回収船上のベルト式油回収機。ベルトはメッシュで作られていて、水は通り抜け、油の付着が促進される。油は船上に引き上げられ、掻き落されて貯蔵設備に入る。



▲ 図16：乳化が進んだ重油中へ投入された堰式油回収機的能力増強のために付加されたベルト・アダプター。油が高粘度であるため、堰へ向かって流れること及び堰の縁を越えることができなかった。代わりに鋸状のベルト・アダプターが油を「掴み」、効率を上げ、更に油の凝集エネルギーによって、残った油が油回収機に向かって「流れる」ようになった。（画像提供：Ro-Clean Desmi及びデンマーク海軍）

る（図9）。ゴミが入らないように濾過網を取り付けた吸入ホースを浮遊油又は漂着油の中に直接投入すれば、最も簡単な回収方法になる（図10）。しかし、この乱暴な作業では、大量の水も回収される恐れがある。規制上問題がなくまた必要な資機材が入手できるのであれば、余分な水は排出して、利用可能な貯蔵容量を最大にすべきである。

堰式油回収機

吸引ホースに堰式装置を取り付けることで、油の選択性が良くなる場合がある（図11）。堰式油回収機は、重力を利用して油を選択的に水面から排出させる。堰の縁を浮遊油と水の界面又は界面の僅かに下に保持することによって、油が堰を乗り越えて最小限の水と共に選択的に回収される。先進的な型式の

堰式油回収機は調整可能な堰を有し、通常、自動レベル調整によって正確な堰の垂直位置が決定される（図12&13）。また、同伴水量が多くなることがあるが、堰式油回収機は簡単で基本的な装置である（図14）。うねりだけであれば、一般的に堰式油回収機の操作の妨げにはならないが、高い波の中ではどのような堰式油回収機も効果を発揮できない。移送ホースでの摩擦損失を克服するために、一部の堰式油回収機ではポンプが内蔵され、回収油を吸引するのではなく押し出して移送する。

その他の油回収機のタイプ

波や荒海により良く対応できるように改良されたデザインの油回収機もある。例えば、上向き回転のベルトを一部分だけ油水面下に下げることによって、表面波の影響を軽減できる。油は、ベルトが水面上に出たときに掻き落されて、貯蔵タンク又はその他の容器に落下する。回転ブラシ（図5）、チェーン環又はメッシュ（図15）の個々の構成部品に油が付着する性質を利用するために、上述のように、ベルトを親油性素材で作ることがある。その他に、水面から油を引き上げる効率を高めるために、ベルトにパケツやパドルを取り付けたものがある。このような特徴を組み合わせたデザインのベルトもある。逆に、下向き回転のベルトで油を水中に押し入れ、ベルト背後の静穏な回収区域に再浮上したときに捕捉するものもある。

回収が始まると、回転するディスク、ベルト、ドラムによって生ずる局所的な水流によって、低～中粘度の油が自然に油回収機に向かって流れることがある。歯のあるディスク又はベルトを使って油を「掴む」デザインは、より高粘度の油の流れを強め、油を油回収機に引き寄せることがある。堰式油回収機には、油の風化が進み粘度が増大しても長時間使用できるように、アダプターを交換できるデザインのものもある（図16）。超重質油の回収を目的とするデザインでは、回転式ドラム又はシリンダー型メッシュが付いていて、水は排出されても油はメッシュ内に保持される



▲ 図17：港湾地区で展開される機械的ドラム式油回収機。回転するドラムの歯が油を装置へ引き寄せ、油はドラムの中に回収され、貯蔵設備へ送られる。ドラムは、水の回収を最小限にするためにメッシュで作られている。

(図17)。しかし、一部の油又はエマルジョンは、超高粘度のために最終的には装置へ向かって流ることができず、何らかの形で油回収機に推進力が与えられて油に向かって移動するか、あるいは油が油回収機に向かって押されなければ、回収を続けられなくなる。

油回収機システムには、高速の水流中又は比較的高い曳航速度で操作するように設計されているものもある。通常使用される方法は、集油口の後部の面積を大きくして、油回収機に入った水と油の速度を落とし、油が浮上して回収できるようにすることである。このようなシステムが効果を発揮するには、高速で流れる大量の水に対応でき、発生する乱流に打ち勝つことができなければならない。

油回収の制限

多くの油流出対応方法と同様に、機械的回収も、不利な天候条件、油の粘度、海流と波の影響等の要因によってその成果が制限される。油膜が拡散又は断片化していると、一定時間内に回収作業を行える油量（遭遇率という）が制限される。同様に、貯蔵容量に限りがある場合には、システムの選択的油回収能力が重要な問題になる場合がある。さらに、ポンプ容量も制限要因になることがあり、貯蔵のために油を送る距離に影響を及ぼす。回収システムの潜在的な性能は、処理効率、回収効率、油回収速度等の試験性能基準によって表示されるが、これらの基準は根本的には遭遇率によって制約を受ける。

遭遇率

遭遇率は二つの構成要素から成り、第一は、油回収システムが「掃集」する水面の面積である。これは、掃海幅、つまり油が回収される幅と回収システムの前進速度との組合せである。第二は、油膜の拡散及び断片化の程度である。海上では、流出したばかりの油の大きな油膜は、十分な厚

さが維持され、凝集していて均質であれば封じ込めを行わずに適切な条件で回収できる場合がある（図18）。このような状況では、油回収機の能力はその回収能力と適切かつ十分な貯蔵設備によってのみ制限される。したがって、流出したばかりの油に対して油回収機が最も効果的に機能するには、対応資源の迅速な動員が重要となる。

油回収機メーカーが公表している回収速度が達成できないことが多い主な理由は、一旦流出すると、油は拡散、断片化、風化するという本来的な傾向である（図19&20）。多くの流出事故の経験から、試験条件において達成された回収速度を維持するのに十分なほど油が濃縮された状態が続くとは期待できないことが常に示されている。したがって、試験結果は誤解を招く恐れがあり、比較目的にのみ用いるべきである。

油が一旦拡散すると、回収システムの効果は、油に遭遇する割合に大きく左右されるようになる。回収船の速度、有効掃海幅、並びに油の厚さと散乱の程度等の要因がすべて相俟ってこの遭遇率を決定する。これらのうち油の厚さと散乱の程度は、拡散率、経過時間、天候条件、油種、乳化度合によって決定され、これらを制御することはほぼ不可能である。しかし、掃海幅と操作速度は一定の制限に従って変えることができる。例えば、オイルフェンスの利用により、多くの場合に遭遇率が高くなり、掃海幅を広げることができ、浮遊油を濃縮・保持でき、結果として回収しやすくなる。したがって、オイルフェンスの展張計画が多くの油回収機の操作方法を大きく左右することになる。特に、回収装置が水の動きに対して静止している場合、0.35~0.5m/s(0.7~1ノット)を超える水流においては、浮遊油にはオイルフェンスによる封じ込めから逃げようとする傾向があるため、大半の油回収機はその性能が損なわれる。この制限の一部は、特定の型式の自走式油回収機によってある程度まで克服される。このような油回収機では、通常、双胴型船体の間でベルト又は吸着モップのセットが回転しているため、船舶走行中の浮遊油に対する回収装置の相対速度が実質的に小さくなるかゼロになる。さらに、この方式では油中の乱流が最小限に抑えられることで、乳化の可能性が減少するという利点もある。

海上で畝を形成しようとする油の傾向によって、広い掃海幅の必要性はある程度相殺される。その傾向のために、油は風向に沿って細い帯となって濃縮される。このようになった油は、比較的狭い掃海幅の回収装置によって、さらに理想を言えば空中監視機からの指示を受けて回収できる。畝を形成している油は濃度が高く、油層の厚さもあり、畝の間の水は比較的油の含有量が少ないため、より掃海幅の広い装置に匹敵する遭遇率を達成することができる。

港、マリーナ、内陸水路等の閉鎖的な区域又は海岸の近くでは、船体、杭、その他の港湾施設、岩、ゴミ等の障害物の存在や、浅水域に侵入したり海岸に漂着する油によって遭遇率がより大きな影響を受ける場合がある。防潮壁やその他の海岸線の地形等の自然障害物に十分な厚さで捕捉さ



▲ 図18：大きく均質な厚い油膜の中の回収船。対応資源を非常に効果的に使用できる。



▲ 図19：油が拡散し断片化し始めるにつれ、遭遇率が低下し、回収にはより大きな努力が必要になる。



▲ 図20：数週間後の海上では、油が断片化し風化によって直径1メートル以下の小さなプレート状になった（丸で囲った部分）。また、タールボールが広い範囲に散在し、全体的な効率が著しく低下した。作業を継続しても効果があるとは考えられないため、対応のこの段階で回収船は撤収すべきであった。

れた油は、容易に回収できるが、油が周辺を移動すると油回収機の追跡能力が制限される場合がある。

蒸発、分散、その他の風化作用の結果として、あるいは大半の油が回収されたために、海面に残っている油量が減少すると、遭遇率も同様に下がり、対応資源の撤収を決定すべき時機が来る。

性能基準

実験槽の中で油回収機システムを試験することによって、多くの性能基準を設定することができる。システムの全体的な性能を決定する重要な要因の一つが回収効率である。つまり、水ではなく油を優先的に回収する選択性の測定値である。これは回収された油水総量に対する回収油量の割合で表される。

処理効率は遭遇した油量と回収した油量とを比較するため、封じ込めバリアと回収装置自体から失われた油量に注目することになる。操作速度が増大して海況が悪化するほど、特に波高が増加するほど、更に重要なことには波長が減少するほど、また、三角波の発生によって、処理効率が低下する傾向がある。言い換えると、操作速度が上がるほど処理効率が下がり、その代わりに遭遇率が上がる。

波はオイルフェンスから油が失われる原因になる。これは飛び越しの結果、あるいは波への追従性が低いことにより波頭の間で浮き上がるためのいずれかによるものである。同様に、特に堰式油回収機の場合、油回収装置を油水界面の最適な位置に保持することができず、結果としてしばしば大量の水を取り込んでしまうことになる。さらに、波に対する油回収機の動きによって乱流が生じ、油回収機の下から油が失われる場合もある。回収装置は、波の動きに忠実に追従できる小型のものが理想的である。船舶にしっかりと固定されているか作り付けられていて単独で動くことができない装置は、水面と同調しないために荒海では効果が劣る。他方、激しいうねりがあっても波長が十分に長ければ、効果を落とさないとと思われる。

より興味深いパラメータは、油回収速度であり、単位時間に油回収機が回収する油量で、 m^3/h 等で表される。油回収速度は遭遇率と処理効率の積である。ただし、システムのすべての部品（特にポンプと貯蔵設備）がこの流速を処理できる能力があることが条件である。最大ポンプ容量（一般的な油の粘度と損失水頭で調整した値）が、油回収機の能力を示す唯一の指標としてよく用いられ、「定格容量」とも呼ばれる。この値は確かに重要であるが、システムが回収し損なう油量、油と共に回収される水の量等、他の要素も考慮すべきである。システムの全体的な性能は、ポンプ容量、油回収速度、回収効率を組み合わせるべきである。これらを併せて油を回収できる速度と同伴する遊離水の量が定義される。

油の粘度

油の粘度は大半の油回収装置の効率に関して主要な制約になる。流動点が高い油は、一部の重質原油や重油を含めて、一般的に流動しにくい。周囲温度が流動点より低いと油は半固体になり、したがって、油回収機に向かって容易に流れないため回収が困難になる。

また、多くの油は油中水型エマルジョンを形成して汚染物質の全容量が3倍から4倍、あるいはそれ以上に増加する傾向があり、これが粘度に影響を与える。エマルジョン状態になると、粘度も劇的に増大し、100,000センチストークス (cSt) あるいはそれ以上となることも珍しくない。状況によっては、この問題を軽減する手段として、解乳化剤つまり化学的エマルジョンブレイカーの注入と十分な攪拌を行うことがある。これにより、移送が容易になると同時に、必要な貯蔵量が最小限に抑えられる。

風化による経時的な油粘度の増大によって生じる問題のため、最適な油回収機と移送装置の使用を含めて、対応計画を絶えず再評価する必要がある。例えば、親油性油回収機は、流出直後でそれ程風化していない油には効果的に作動できる。しかし、粘度が増大してゴミが混じると、効果的な回収が難しくなり、ゴミ破碎装置付きスクリューポンプを使用する堰式油回収機に置き換える必要が生じる（表紙を参照）。しかし、どのような油回収機も最終的には役に立たなくなり、グラブ（機械的クラムシェルバケット）又は掘削機（図21）の使用が必要になる。漁船等で、クレーンを搭載し、網を扱い物を掴むことができる船舶は、グラブを使用するように容易に改造できる。しかし、グラブと掘削機は容易に調達できる一方で動きが遅く、しかも慎重に操作しないと油と共に大量の水を回収する可能性がある。これらの高粘度・半固体の油を回収する最も簡単で最も効果的な方法の一つが、小型の漁船から人がスコップを使って回収する方法である（図22）。スコップに開けた穴から水が抜け、油は船上のドラム缶又は1トンバッグに移される。

ポンプ、ホース、動力源

多くの場合、移送段階が油回収機の全体的な性能を決定する。油の粘度が増大すると、すべてのポンプが、程度は様々であるとしても、効率が落ちるためである。一般的に回収油の取り扱いには容積移送式ポンプがより適している。遠心ポンプは、取り扱い可能な油の粘度の制約があり、油中水型エマルジョンの形成を促進する傾向がある。コンクリートやスラリーの輸送用に設計されたポンプやアルキメデイス・スクリューポンプ等の特殊なポンプは、粘度耐性が非常に高いが、吐出ホースの内部抵抗が制限要因になることがある。

一般的に、貯蔵の最適化とその後の処理費用の低減のために、油と共に回収される水の量を最小限にすべきである。しかし、高粘度油については、移送時に油の抵抗によって生じる背圧と所定距離の移送に要する動力とを軽減できる



▲ 図21：高粘度重油の回収に掘削機を使用。作業員に、バケットを水面上でしばらく保持するように指示することにより、同伴水が排出され、回収油の濃縮度が最大になった。その結果、回収効率を犠牲にして、その後の処理費用を削減できた。



▲ 図22：メッシュのスコップを使用して高粘度重油の小さな塊を回収している漁夫。



▲ 図23：高粘度油の移送によって内圧が高くなりすぎた結果、破裂したホース。（画像提供：NOFO）

という点で、遊離水又は同伴水の回収が初期の利点をもたらすことがある。これにより部品類の摩耗や破裂が減少する(図23)。大量の水を回収するように設計されている油回収機は、十分な貯蔵設備が確保されているか又は回収後に水を分離できるならば、このような状況では有利な場合がある。蒸気加熱でポンプとホースの詰まりを抑える方法も、流れを良くする効果がある。環状の注水リングを使用した場合、ポンプ入口圧力の著しい低下が見られたが、この場合、注入された水が油とホース内面との間で潤滑剤として作用している(表2)。より短い、及び/又はより大きい直径の吐出ホースを使用できる場合は、ポンプ効率を改善できる場合がある。

移送ホースと油圧ホースには、油回収機を引っ張らないように浮揚具を取り付けるべきである。油回収機が引っ張られると、正しい状態で浮遊できなくなる場合がある。また、浮揚具を付けておくと、ホースを視認しやすくなるため、汚れや船舶のスクリューに絡まるリスクを最小限に抑えられる。油圧ホース等のすべてのホースは、油が付着すると扱いにくくなることもあるため、単純で効果的な継手を取り付けておくべきである。径の異なるホースの接続や様々なコネクタの結合には、アダプターの選定が必要である。

多くの油回収機は、ポンプ移送用や必要に応じてシステムの回収部用として、専用のパワーパックを使用するように設計されている。例えば、ディーゼル・パワーパックを、直接又は電気、油圧、空気システムを駆動するために用いることができる。ガソリンエンジン以外の動力源はすべて、製油所、タンク基地、その他火災爆発の危険のある制限地域に課される安全規制に適合するように設置可能である。高粘度油の移送では、パワーパックを最大出力で稼働させる必要が生じる場合があり、動力源はポンプの最大能力に適合するものを選ぶことが重要である。

貯蔵

回収油と油混じりの水の貯蔵は、作業全体にとって重要な制限要因となることが多い。多くの船舶では船上の貯蔵能

機材	吐出圧力 (psi)	流量 (m ³ /時)
ポンプ単独	181	4.5 ~ 5.9
注水機能付きポンプ	7 ~ 9	46.7 ~ 58.2

▲ 表2：ポンプ入口と出口で注水を行うことによるポンプ移送能力の改善。吐出圧は95%減及び流量は10倍増。粘度210,000cStの油を、様々なスクリューポンプを使用して、92メートルのホースで移送した。(出典：US Coast Guard, Research and Development Center/David Cooper, SAIC Canada, 27 July 2006.)

力が限られており、特に多くの臨時支援船(図24)では尚更である。また、大量の油に遭遇した場合は、どのようなシステムでもたちまち貯蔵容量が不足する可能性がある。油水分離機を使用して回収油を濃縮することにより、限りある貯蔵スペースを最大限に使用できる。通常、静置タンクでの簡単な重力分離が適している。しかし、地域の規制によって分離水の排出量が制限される場合がある。大容量の内蔵貯蔵能力(図25)又は適切な油水分離装置を備えた船舶は、海上で長時間の油回収を続けられるが、必然的に大型化するため、遭遇する多くの状況(特に海岸の近く)において十分に稼働できない場合がある。

回収作業の後方支援態勢は、回収油を海上で受け入れる専用の貯蔵用舢舨又はタンカーによって強化できる。また、充気式舢舨(図26)等の専用の浮体式一時貯蔵設備を使用することもできる。しかし、積載時に海が荒れた場合は、これらの船艇が転覆する可能性を考慮しなければならない。ドラコーン、ブラダー、その他の密閉型貯蔵設備は、後で内容物を取り出し清掃する際の困難さを考慮して慎重に使用すべきである。最終的には回収油を陸上へ排出する必要があり、適切な荷下ろし設備を備えた棧橋の近くで適切なタンク又はその他の貯蔵設備を見つけなければならない。船舶が加熱貯蔵タンクを備えていない場合は、可搬式加熱コイルの使用により、その後の陸上への配管類及びホースによる移送を流れやすくし、船舶が海上に戻って回収作業を再開するまでの所要時間を最小化できる(図27)。

同様に、海岸又はその近くで回収された油の現地での貯蔵が制限要因になることがあり、多くの場合、タンクローリーに直接積み込んでから別の場所へ輸送することが望ましい。既に述べたように、工業用又は農業用バキュームカーは、油回収作業の個々の要素を数多く併せ持っていて有用である。あるいは、可搬型貯蔵タンク、大型のゴミ容器、又は補強したピットを高潮線より高い位置に設置して、中間解決策とすることもできる(図28)。ピットを設ける前に、自治体の許可が必要になる場合がある。分離した水を排出する設備を現場の計画に含めるべきである。



▲ 図24：甲板上の回収油貯蔵容量が限られている作業船。



▲ 図25：回収船上の貯蔵タンク内の高粘度回収油。（画像提供：NOFO）



▲ 図26：充気式貯蔵用艇に油を回収中のドラム式油回収機。



▲ 図27：回収船から陸上への高粘度油の排出を良くするために使用される可搬式加熱コイル。



▲ 図28：海岸線で油回収機で回収され、崖の上に設置された一時貯蔵タンクへ移送される乳化した重油。

油回収機の展開

海上での回収

対応計画を策定する際には、海上回収作業の支援に必要な後方支援要件を考慮すべきである。油層が最も厚い場所を特定し、最高の効果が得られるように回収船を指揮するために、監視用航空機が必要になる。油が拡散して油膜が断片化しすぎて回収できなくなる前にオイルフェンスと油回収機を展開するために、適当な船舶をできるだけ迅速に調達する必要がある。上空から調整を行うためには、状況の変化に迅速に対応できるように回収船と直接交信できる空海間の通信設備を備えた航空機が必要である。想定回収率を達成するには海上に十分な貯蔵容量が必要である。また、上述のように、回収した油を受け入れる陸上での準備が整っている必要がある。これらの要件のすべてを迅速に整えるには様々な困難があるため、多くの事故において対

応船が多数出動したにもかかわらず、流出油が海上で10%以上回収されることは非常に稀であり、それよりはるかに低い値が普通である。

海上で浮遊油を濃縮するには、通常は2隻の船舶でオイルフェンスをU、V、又はJ字形に展開して曳航すると良い。回収装置は、1隻の船から展開するか（図29）、又はオイルフェンス配列の一環として曳航する（図30）。油回収機は、油層が最も厚い場所に配備すべきであるが、オイルフェンスを摩耗やその他の機械的損傷から保護するために、油回収機とオイルフェンスの接触を回避しなければならない。大型油回収機に当たって生じる波の反射が、回収部への油の流れを妨げる場合がある。状況の変化に応じて絶えず調整しながら、装置を巧みに操作することが求められる。オイルフェンスを所要の低速で曳航するために必要な専門技能は、流出対応の経験と定期的な演習によって身に付けられる。実際には、複数の船舶による回収



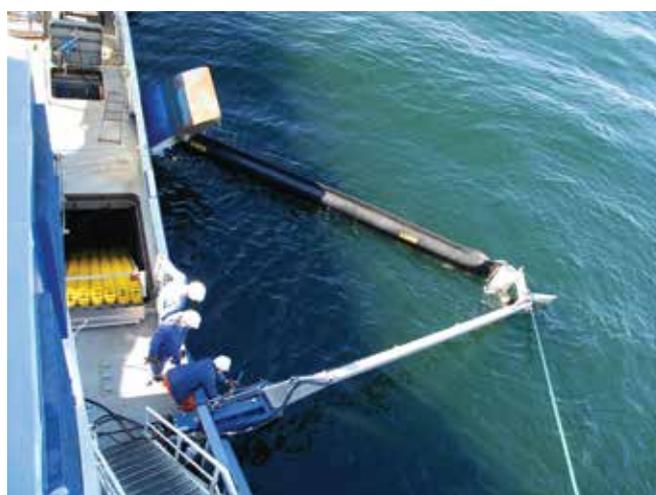
▲ 図29：U字形展張で曳航されるオイルフェンス。主回収船から油回収機が展開されている。



▲ 図30：オイルフェンスと共に配備されたベルト式油回収船とV字形展張の曳航船。



◀ 図31：アウトリガーに取り付けられた充気式オイルフェンスと大容量自由浮遊型堰式油回収機で構成され、沿岸警備隊の船艇に搭載された単船回収システム。フリーボードが高いため、比較的静かな水域で風下側で展開できる。(画像提供：USCG)



▲ 図32：組み込み型単船回収システム。舷側のコンパートメントに保管されているオイルフェンスが船上のクレーンによって開口部から展開される。船内の油回収機によって回収される油は、開口部を通して船内に運ばれる。油回収機は、コンベヤ配列された6組のブラシから成る。(画像提供：Lamor)

システムの所要の構成を維持することは、主に参加する船舶間の調整が難しい故に、種々の問題を生ずることがある。解決策として、柔軟な又は堅固な掃集具を使用して、油の濃縮、回収、貯蔵機能を単船システムに集約することが挙げられる。

柔軟なシステムは、アウトリガーに取り付けたオイルフェンスを使用する(図31)。しかし、掃集幅が広すぎると、荒天時や大きなうねりのあるときには機材を損傷しやすくなり、また機動性が制約されることがあって、操船に重大な影響が出る。このシステムでは、油回収機は、油が濃縮されるオイルフェンスの先端に配備されて自由に浮いているか、又は油が進入できる適当な開口部がある船舶の側面に組み込まれる(図32)。堅固なシステムは、クレーン又は油圧アームで船舶から展開された固形浮遊障壁又は掃集アームで構成される(図33)。油回収機は、回収対象の油に応じて通常は堰式又はブラシ式が使用されるが、回収し

やすいように船舶に近付けてアームに取り付けられる。展開が比較的容易なことから簡単なデザインであることが、堅固な掃集システムの成功に繋がる強力な要因である。

柔軟なシステムも堅固なシステムも、特別に設計された船舶又は適切な取付け金具を備えた臨時支援船で使用することができる。理想的には、作業基地として使用される船舶は、適切な取り扱い器具を備え、また風と海流に対して選択された位置を想定して維持できるように十分な機動性を備えていなければならない。アンカー取扱曳航補給船(AHTS)や作業基地補給船(PSV)の大型無蓋甲板は、資機材の貯蔵、取り扱い、展開、メンテナンス、清掃に好都合である。しかし、経験上、このような船舶の吹きさらしの甲板は、荒れた海域においては乗員にとって危険であることが分かっている。その他のフリーボードが低いタイプの船舶も、激しいうねりの中では船上が大量の水と油を被るため、同様の問題が生じることがある(図33)。



▲ 図33：油圧クレーンを介して回収船に取り付けられた堅固な掃集アーム。フリーボードが低く、大きなうねりに遭遇したため、甲板が乗組員にとって危険な状態になった。
(画像提供：WSA Cuxhaven)



▲ 図34：岩の多い遮浪性の入り江で油を回収している自走型堰式油回収機。船の喫水が浅いため、海岸近くで作業できる。作業員がすべき油を堰の入口に向けて移動させている。



▲ 図35：通常は港湾内でゴミの回収に使用される自走船。ここでは気温が低く、油の流動点が比較的高いため、油が半固体になり、スcoopとグラブで油を海上の大型ゴミ容器に回収する必要があった。

大量の浮遊油の回収には、特定のタイプの船舶が特に効果的であることが分かっている。中でも、浚渫船、内航タンカー、バンカーバージは大きな貯蔵能力を備え、回収油の排出が必要になるまで長期間海上に留まることができる。フリーボードが比較的高いこのようなタイプの船舶は、高い位置から資機材を展開するため、煽りの問題が生じる可能性があるが、風下側の回収作業を支援できる(図31)。このような船舶には通常装備されている大容量ポンプや、貯蔵タンクに取り付けられていることが多い加熱コイルにより、回収油の取扱が容易になる。浚渫船では、浚渫管又はバケットを直接油の中に投入して使用するため、限られた状況において作業でき、またこれらのシステムは、対象物を選ばず管の径が大きいため、ゴミやエマルジョン化した油でも詰まる可能性が少ない。

沿岸及び陸上での回収

自走式油回収船は、港湾及び遮浪地域の比較的静穏な水域で効果的に使用でき(図34&35)、ゴミ収集船としての二次的機能を果たすこともできる。これらの船舶は、オイルターミナルや製油所の対応体制と一体化していることが多く、これらの施設では汚染の危険や油種が認識・理解されていて、対応計画の策定は比較的容易である。専用の自走式油回収船は比較的高価であるが、閉ざされた区域、特に陸上から接近できない区域では効果的である。

可搬式油回収機については、喫水の浅い船舶を使用することによって、海岸近くに最適の作業基地を提供できる(図6)。このような場合には、可搬式貯蔵タンク又は中容量コンテナ(IBC)を船上に置いて油を受け入れることができる。しかし、パワーパックやその他の資機材に加えて、貯蔵された油の量が船舶の安定性に影響しないように注意を払わなければならない。

他の浮遊物と同様に、油は風と水の動きの影響を受けて海岸沿いの特定の場所に集積する。油回収機がこのような場所に通常(時には大量に)浮かんでいるゴミを処理できる場合には、このような自然集積地点があると回収作業が容易になる(図10)。親油性ロープ・モップ式油回収機は、他の型式の油回収機よりゴミに妨げられることが少なく、最も効果的な場合がある(図6)。オイルフェンスを使用して油を更に濃縮し、風や海流の変化による再移動の可能性を減らすことによって、回収量を上げることができる。ロープ・モップ式油回収機は、オイルフェンスの内側に有効に展開して、その長手方向沿いの少量の油を回収することもできる。

可能であれば、特に道路からの進入や舗装区域、平坦な作業区域を油回収地点の近くに確保できる場合には、通常は油回収機は陸からの方が操作しやすい。油回収機はドック壁及び突堤(図7)に設置したクレーンで操作することが

できる。あるいは、油に十分な厚さがあれば、ポンプのタイプによっては直接油の中に投入することもできる。

作業現場が特定されていれば、簡単な現場計画によって回収油の取り扱いを合理化し、作業の危険を低減することができる。燃料、食料、シェルター、災害指揮センターとの通信等、必要な作業員への後方支援の提供について、慎重に考慮すべきである。

油が泥又は砂の海岸に漂着した場合、条件次第では油を溝の中に濃縮させて回収できる場合があり、その際は真空吸引装置を使用するのが一般的である（図8）。岩の間や割れ目に溜まった油も同様に回収できる。締め固めたような砂浜では、親油性のドラム等の装置をトラクターに取り付けてタールボールを集めると、回収作業を加速できることがある（図36）。海岸特有の状況によっては、その他の専用の油回収機が効果的なことがある。しかし、大抵の場合、人力による回収等の他の方法の方が適している。

河川及び湖での油の回収も、特にアクセスと水流について同様の制限を受ける。しかし、水中の油の回収では、多くの特有の問題がある。特に、油が氷自体の中に閉じ込められている場合である。氷を砕いて油の回収を可能にする装置は、現在進行中の研究対象になっている。しかし、この取組の基本的問題は、通常、回収された油混じりの氷の中の油の濃縮度が非常に低いことであり、このような場合は、解氷期後の方が高い回収率を達成できることがある。寒さの中では機械が停止する危険があるが、ロープ・モップ式油回収機を使用すると、流水の間にある自由浮遊油を回収できる場合がある。

回収作業の管理

過去の流出事故の経験から、最も成功した回収作業は、一般的に、すべての後方支援が整い、よく訓練された要員、迅速に動員する体制を備えた、十分に準備された組織を必要とすることが示される。すべての事例において、対応組織全体の実効性は資機材の性能と同様に重要である。システムの展開を成功させるには、封じ込め、回収、貯蔵の全ての作業を絶えず監視すること、システムが十分に機動的で油の分布の変化に追従できること、が必要である。

すべての回収作業は、油が油回収機まで到達すること及びゴミが蓄積しない又は装置の中に入って効率を落としたり損害をもたらしたりしないことを確認するために、監視を必要とする。多くの油回収機はゴミスクリーンが取り付けられているが、油やゴミによって頻繁に目詰まりする可能性がある。高い性能を維持するには、状況及び油が回収現場へ到達する速度に合わせて油回収速度を調整すべきである。現場にある油が少量の場合は、水を過剰に回収しないように間隔を空けて、できればオイルフェンスを使用して油を濃縮してから回収作業を行うべきである。

一般的に、油回収機及びパワーパック等の関連資機材は堅牢にできているが、損傷、ゴミ詰まり、誤使用、摩擦、破裂によって故障することは避けられない。通常、修理には専門知識、交換部品の入手、適切な工具が必要である。資機材の制約を理解し、必要に応じて機械の分解と組立ができ、適切な訓練を受けた作業員を使うことで作業の遅れを短縮できる。資機材が日常メンテナンス計画の対象になっていれば、保管庫から取り出してすぐに使用でき、現場で故障するリスクは小さいと思われる。このようなメンテナンス計画は、一定期間使用後の摩耗面の交換、潤滑油の補給又は交換、故障点検のための資機材の起動等を行う定められたスケジュールで構成されている。

油回収作業と同時に油処理剤を散布することは決して推奨されない。この二つの方法の基本原理は相互に相容れないものであり、水中に分散した油は水面の油回収機では回収できないからである。さらに、油処理剤は油の表面性状を変え、特に親油性油回収機の近くで散布されると回収機の効果を失わせる可能性がある。同様に、油回収作業と同時に、吸着材をバラバラの状態又は包みにして海面に投入すると、回収装置に詰まりが生じる恐れがある。

特定の場所では夜間でも回収作業を行うことができる。例えば、港等であらかじめ油が特定され封じ込められていて、適切な照明が利用できる場合である。しかし、夜間に海上で油の発見と回収を試みることは効果的ではないと思われ、従事する作業員にとって危険と思われる。

回収用資源の使用、回収された油量、損傷や修理の詳細を記録した作業日誌があれば、指揮センターで進捗状況を監視することができ、その後の求償書類の作成にも役立つ。大型回収船では、この情報は海事当局が通常求める航海日誌に日常的に記載される。



▲ 図36：トラクター搭載の親油性ドラム式油回収機。固く締った砂浜で新しいタールボールの回収に使用される。（画像提供：Le Floch Dépollution）

作業の効果が減少したとき、即ち遭遇率又は油回収速度が低下して無視できる程度になったときには、油回収機及び関連する対応資源を撤収すべきである。油回収機及び付属品は、使用後に清掃と分解点検を行って摩耗や損傷を確認し、修理する必要がある（図37）。油の除去にはスチームの吹きつけや溶剤を使用できるが、これらの油回収装置の親油性に悪影響を及ぼす可能性があるため、親油性ディスクや吸着モップには洗浄用薬剤を使用してはならない。資機材を保管庫に戻す際には、損傷や腐食の原因になる湿気・塩気のある環境から保護しなければならない。油回収機に組み込まれている吸着モップ、ゴムベルト、プラスチック素材は、長期間直射日光に曝されると劣化する。資機材は、特に頻繁に使用するとは思われないだけに、定期点検、メンテナンス、試験を行いやすいように保管すべきである。



▲ 図37：重質油の回収後に陸揚げされた堰式油回収機。撤収後は次の使用に備えて清掃及び分解点検が必要である。

要点

- 海上及び沿岸海域における回収方法の利点は、海況、風、海流、脆弱地域の位置等の支配的な条件に対して評価すべきである。
- 回収対象の油種、周囲温度での粘度、経時変化に応じて、最も効果的な油回収機の型式が決まる。
- 最適な油回収機を選択する際には、能力、信頼性、堅牢性、現場性能、重量、取り扱いやすさ、汎用性、動力源、メンテナンス、費用等の基準を考慮すべきである。
- 海岸又は海岸の近くで厚い油層を回収するには、多くの場合、バキュームカー及びその他の吸引装置が調達しやすい。
- 海上の油回収作業の効果的な調整は、航空機による油と清掃の進捗状況の監視、及び最大の効果を期した最も厚い油の断片への回収船の誘導によって強化される。
- 油回収機の性能は最大効率を確保するために絶えず監視すべきである。
- 回収の遅れを最小限度に抑えるために、回収油の移送、貯蔵、処分に関する後方支援を整えなければならない。
- 対応要員の訓練水準を維持し、資機材の欠陥を修正するために、資機材の定期的な点検と試験を計画すべきである。

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。



ITOPF Ltd

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

Tel: +44 (0)20 7566 6999

Fax: +44 (0)20 7566 6950

24時間受付: +44 (0)20 7566 6998

Eメール: central@itopf.org

Web: www.itopf.org



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