

# 油流出対応における 油吸着材の使用

ITOPF技術資料

8





# 序

油吸着材は、他の方法が適さない状況での油の回収が可能であり、油流出対応における有益な資源となりうる。ただし、油吸着材は二次的な問題を最小限度に抑えるよう、特に廃棄物を過度に増やして対応の費用が著しく大きくならないように適切な量の使用が求められる。

本技術資料では、利用可能な油吸着材の種類、及び対応における効果的な利用法を検討する。本書は、同じシリーズの他のITOPF資料と併せて読むべきである。特に、オイルフェンスの使い方、油回収機の使い方、海岸清掃方法、油とゴミの処分に関する資料との関連が深い。

## 概要

油吸着材は、水より油を優先して回収するように設計された多様な有機、無機、合成製品で構成されている。その成分構成と構造は、使用されている素材及び定められた使い方によって異なる。

油吸着材は、油流出対応において広く用いられているが、不適切な使用及び過度な使用をできるだけ抑えるように慎重に用いるべきである。さもなければ、二次汚染、回収、貯蔵、処分のために重大な補給・後方支援上の問題が生じる恐れがある。こういった問題は、すべて清掃作業の総費用に大きく影響する。特に、合成樹脂製油吸着材は適度な量を使用し、その後の廃棄物処分問題を最小限に抑えるため、吸着材の能力を完全に使い切るように心がけるべきである。

一般的に、油吸着材は、海岸線清掃の最終段階（図1）で、また、他の清掃方法では回収が困難な小さな油溜まりを回収するために用いるのが最も効果的である。油吸着材は、外海での使用には適していない。また重油など粘度の高い油や風化した油、乳化した油に対しては一般的に効果が弱い。ただし、一部には高粘度油向けに特に工夫された油吸着材もある。

## 油吸着材が機能する仕組み

ある素材が油吸着材として機能するためには、水より油を優先して引き寄せなければならない。つまり親油的かつ疎水的でなければならない。油吸着材は、吸着によって機能することができる。また、比較的稀だが、吸収による場合もある。吸着の場合、油は主に素材の表面に引き寄せられ、他方、吸収材は油その他の回収する液体を素材の組織の内部に取り込む。油流出対応に利用できる製品の大半は吸着材である。本当の意味で吸収材と言えるものはほとんどない。

## 吸収材

液体は、毛管現象と同じようなプロセスによって固形吸収材の組織の中に入って拡散する。その結果、液体が膨張し、吸収材の素材と結合して漏れなくなり、圧力を掛け



▲ 図1：ポリプロピレン製吸着型オイルフェンスをフラッシング作業で流れ出した油の収集に使用する。

て絞り出すこともできなくなる。汚染対応に利用できる吸収材は、表面積を大きくして素早い吸収が行われやすくなっている高機能ポリマーである。吸収材は液体の表面積を減少させるので、揮発性の液体に対して用いることができる。吸収材は、理論上は軽質重油や一部の原油を回収することが可能だが、その吸収に要する時間は、現実的に望ましい水準より長くなる可能性がある。その結果、ITOPF技術資料「海上の化学物質事故への対応」において論じられているように、吸収材は低粘度の液体及び流出した化学物質、特に危険物及び有害物の回収により一層適していると言える。したがって、油流出対応においては、吸収材より吸着材が広く用いられている。

## 吸着材

本資料では、第一の主題が油流出対応における吸着材の利用であることから、混乱をできるだけ避けるため、広く用いられている総称的用語「油吸着材」を用いる。ある素材による油の吸着を可能にする様々なメカニズムを以下に説明する。

## 湿潤性

吸着が成功するには、油が吸着素材を湿潤化し、したがって水に優先して素材の表面に広がらなければならない。液体は、その表面張力が固体の臨界表面張力 ( $\gamma_c$ ) より小

さい時、その固体を湿潤化する。したがって、ある油吸着材が所定の基準を満たすには、その素材が水より小さくかつ油より大きい $\gamma_c$  値を持たなければならない。海水の表面張力は60~65 mN/m程度である。油の値はその成分構成によって異なるが、一般的には20 mN/m前後である。したがって、 $\gamma_c$ が18 mN/mのPTFEは油も水も吸着しない。一方、 $\gamma_c$ 値が29 mN/mのポリプロピレンは理想的な油吸着材になる。

多くの天然の固体及び合成の固体は適切な $\gamma_c$ 値を有している。必要な $\gamma_c$ 値を持たない無機質の固体は、加熱などの様々な表面加工によって、適切な条件を得るように変えることができる。そのような製品の例として、剥離させたバーミキュライトがある。多くの素材、特に吸着性発泡剤やばら繊維は、最初に油で湿らせておくか下塗りをしておくと、親油性を高めることができる。

## 毛管現象

一部の素材では、毛管現象によって吸着が行われる。この現象も、固体と液体の表面張力の大小関係に依存するが、それと共に、油の粘度が油吸着材の構造の中に油が入り込む時の浸透速度に重要な影響を及ぼす。軽質原油等の低粘度油では浸透速度が速く（秒単位）、重油や風化した油等の高粘度油では浸透速度は無視できるほど遅い（数時間）。

毛管現象は、泡形式の油吸着材では特に重要である。微細な孔のある泡は、低粘度油を容易に回収するが、孔はすぐにより厚い油によって詰まる。逆に、粗大な気泡構造を持つ泡は高粘度油に対して効果的だが、低粘度油を有効に保持することはできない。

## 凝集と凝着

凝集とは、単一の物質が集まって大きな塊になろうとする現象であり、したがって固体表面での拡散に対立する。一方、凝着とは異なる種類の物質が集まって一つの塊になろうとする現象を言う。油吸着材は、油が吸着材の表面に凝着する現象と、油の凝集性によって吸着材が保持する油の量が増える現象の両方を利用している。油吸着材が緩い燃

り線の房の形になっていると、油吸着材の成分の間で生じる油の凝集によって凝結した塊ができるので、油の拡散が遅延し、油と吸着材の混合体を回収しやすくなる。凝集は粘度の高い油ほど強くなる。

## 表面積

ある特定の油吸着素材の吸着率と容量は、湿潤化、拡散性、毛細特性の他に露出している表面積にも直接的に影響される。効果的な油吸着素材は、表面積：体積比が大きくなければならない。表面積には外面と利用可能な内面が含まれる。

粘度の高い油は油吸着材の内部に急速に流れ込むことができないので、油吸着材の性能は利用可能な外面積によって決定される。例えば、緩い燃り線にした油吸着材はオイルフェンスに比較して相対的に大きな外面積を持ち、したがって、より高い吸着率を持つこと、及び高粘度油に対してより効果的であることが期待できるだろう。

吸収材とは対照的に吸着材を揮発性液体に使用する時は、慎重にすべきである。揮発性液体が吸着材の内部表面と外部表面の全体に拡散するため、蒸気放出率が高くなる可能性があり、燃焼又は人の健康に付随的影響がある。

## 油吸着材の素材と形

### 油吸着材の素材

様々な素材を油吸着材として利用することができる。例えば、樹皮、泥炭、おが屑、製紙用パルプ、バガス（サトウキビの絞り滓）、コルク、鶏の羽、わら（図2）、羊毛と人毛等の有機素材、バーミキュライトや軽石などの無機素材、ポリプロピレン（図3、4&5）その他のポリマーの合成樹脂素材がある。

合成樹脂素材の油吸着材は、一般的に油回収効果が最も優れていて、油：油吸着材の重量比が40：1に達する場合もある。これに対し、有機素材では10：1、無機素材ではわずか2：1である。しかし、有機素材と無機素材は吸着力に限りはあるが、多くの場合自然の中に、あるいは工業プロ



▲ 図2：わらと網から即席で作成した吸着型オイルフェンス。このようなオイルフェンスは安価で、簡単に作れる。しかも、適切な場所に配置すれば短期的保護のために効果を発揮できる。



▲ 図3：帯状のポリプロピレンを網で包んだ。ばら素材の不均質なオイルフェンス構造により、油が構造物の中に浸透しやすく、内面で油を吸着することができる。ただし、外側の網は傷みやすい。





▲ 図4：連続的で均質な吸着型オイルフェンスの表面を切ってみると、一部しか使われていないことがわかった。内部の素材は油を吸着していない。これは、オイルフェンスを配置していた時間が短すぎたか、油の粘度が高すぎて構造物の中に浸透しなかったためである。



▲ 図5：海岸線に敷いたこのシートのような連続的平形油吸着材は、表面積：容積比の大きさが特徴である。このようにして油吸着材を大規模に使用する場合は、油を吸っていない廃棄物が大量に発生する可能性を考慮すべきである。

セスの廃棄物副産物としてふんだんにあり、安価で容易に購入することができ、又は無料で手に入るの、魅力的な素材と言えるだろう。

様々な油吸着素材の相対的効果が多くの機関によって試験され、特定の油吸着素材が一定の重量でどの程度油を保持できるかの評価が行われている。しかし、そのような試験

の結果は、油吸着素材の効果を比較して順位付けをするには役立つが、試験は実験室条件または制御された現場条件で行われているので、その結果を盲信すると間違いを犯す恐れがある。実際には、油吸着材は風、波、及び海流の影響を受ける。自然のそして予測困難なこれらの条件下では、素材が試験で報告されているとおりの結果を示すとは考えられない。

	素材	長所	短所
<b>バルク</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>有機物—樹皮、泥炭、おが屑、製紙用パルプ、コルク、鶏の羽、わら、ウール、人毛。</li> <li>無機物—バーミキュライトと軽石。</li> <li>合成樹脂—主にポリプロピレン。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>多くの場合自然界に豊富にあるか、工業プロセスの廃棄物副産物として広く入手できる。</li> <li>安価。</li> <li>野生動物の上陸場で動物を保護するために役立つ。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>制御が難しく、風で拡散する恐れがある。</li> <li>回収が難しい。</li> <li>油と油吸着材の混合体はポンプで吸い上げるのが困難。</li> <li>油と油吸着材の混合体は、油単体より処分方法が限られている。</li> </ul>
<b>袋詰め</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>上記の素材はいずれも網の袋に詰めて用いることができる。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>ばらの油吸着材より配置と回収が容易である。</li> <li>袋詰めしたオイルフェンスは連続体のオイルフェンスより表面積が大きい。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>構造的な強度が網の強度によって制限される。</li> <li>有機オイルフェンスは、急速に飽和し沈む場合がある。油の保持力が限られている。</li> </ul>
<b>連続体</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>合成樹脂—主にポリプロピレン。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>長期貯蔵。</li> <li>配置と回収が比較的容易である。</li> <li>容量を完全に使い切れれば、高い油回収率を達成できる。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>風化した油及び高粘度の油には有効性が限られる。</li> <li>容易に分解できないので、処分方法が限られる。</li> </ul>
<b>繊維</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>合成樹脂—主にポリプロピレン。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>風化した油と高粘度の油に対して効果的である。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>流出したばかりの軽質及び中質油に対して効果が劣る。</li> </ul>

▲ 表1：利用可能な吸着素材の種類及びその長所と短所。



▲ 図6：地元の村人達が帯状のポリプロピレンからスネアを作成している。地元で入手できる素材から油吸着材を作成すると、価格面でも移送効率の面でも費用効果が優れている場合がある。



▲ 図7：浮遊油を捕捉するため、スネアをロープに吊して河口を横断するように配置した。素材の開放構造と大きな表面積は、特に高粘度油の回収に適している。

## 油吸着材の形状

油吸着材は、その成分構成と用途に応じて様々な形式の物が販売されているが、一般的に、次の4種類のいずれかに分類することができる。：ばら素材、多くの場合は微粒子。網の袋に詰めた枕状のものやオイルフェンス。マット、シート、オイルフェンス、又は巻物状の連続体。ばらの繊維を束ねてつと状又は索状にした物（表1）。特定の用途のために製作されたその他の種類の油吸着材も入手できる。

## バルクの油吸着材

上の表に示した素材の大半は、ばらの油吸着材として販売されているので、陸上にある少量の流出油を回収するために役立つ。しかし、その適用と回収の制御が難しいために、海洋環境におけるこの種類の油吸着材の使用は、後述の海岸線での油吸着材の使用に関する章で説明している特定の場合に限定すべきである。

## 袋詰め油吸着材

ばらの油吸着素材は、多くの場合、布や網の袋に入れてオイルフェンス状、枕状、靴下の形にして用いられる。その方がばらの素材そのものより配置と管理、使用後の回収が容易になる。袋詰め油吸着材製品は、様々な形状と大きさの物があるが、もっとも一般的なのはオイルフェンス状のものである（後述の連続体型オイルフェンスと混同しないように注意すべきである）。袋詰め油吸着材は、通常はわら（図2）など容易に入手できる有機無機の天然素材を用いて製作されるが、ポリプロピレン（図3）などの合成樹脂素材が一部混在している製品もある。

## 連続体油吸着材

連続的円筒形油吸着材は、主にオイルフェンスとして用いられるが、前節で説明した袋詰めばら素材のオイルフェンスと比較すると、均質性がばら素材より高い一方で表面積：容積比が低い。したがって、油がオイルフェンス

の中心部分に浸透しにくい（図4）。板状、巻物状、敷物状、パッド状、網目状など連続的成形された平らな油吸着材は、表面積：容積比の大きさが特徴である（図5）。

連続体油吸着材は、主に溶融射出成型されたポリプロピレン製織布素材によって製造されている。このポリプロピレンは、油流出対応において最も広く用いられる素材の一つである。しかし、ポリウレタン、ナイロン、ポリエチレンなど他の素材で作られた油吸着材も使用される場合もある。

## ばら繊維製油吸着材

バルク、袋詰め、連続体の油吸着材製品は、広範囲な種類の油に対して効果的だが、風化の進んだ油と高粘度の油に対しては回収効率が落ちる。ばらの油吸着繊維のバンドル束は、大きな表面積による凝着と油自体の内部での凝集との組み合わせによって、風化の進んだ油と高粘度の油に対しても効果的に利用できる。主にポリプロピレンの細紐からできているこの種の油吸着材は、通常、束ねてスネアとして用いられる。これは「ポンポン」とも呼ばれる（図6）。1本のロープの端から端までに多数のスネアを取り付けて、高粘度油用索「スネア・オイルフェンス」を作ることができる（図7）。ロープ・モップ式油回収機は、長い帯状の索（多くの場合長さ数メートルにも及ぶ）を用いて油の回収を行う。詳しくは油回収機の使用に関する他のITOPF資料を参照。

高粘度油用スネアは、海面下に沈んだ油の探索にも使用されて成果をあげてきた。その方法としては、水中で浮体とアンカーから吊すか、金属製の枠にスネアを取り付けて、掃引つまり海底で引っ張るといったやり方をとる。海中に油があると油吸着材が油で汚れるのでわかる。それによって特定した区域に、大量に回収できる手段を集中的に投入することができる。詳細は、別のITOPF資料「海上流出油のサンプリングと監視」を参照。



# 油吸着材の選定基準

油吸着材が実際に使用される際の形状、及び特定の素材が選択的に集油できる能力の他にも、幾つかの要因が油吸着材の有効性に影響を与える。

## 浮力

油吸着材が浮遊油に対して効果的に使用されるには、油吸着材が高い浮力を持ちそれを持続することによって、油と水で飽和した後も浮き続けていなければならない。わらやおが屑など、有機素材には初期浮力が優れていても、最終的には水浸しになって沈んでしまう物が多い。ただし、浮力が油吸着材の有効性にとって有害である場合もある。例えば、軽量で低密度の素材は、重い高粘度油の上に乗ってしまう場合がある。そのような場合には、手作業で油吸着材を油に混ぜ込み、飽和を促進して、効果的な回収ができるようにしなければならない。

発泡性油吸着材の浮力は、単独気泡：連続気泡の比が直接的に影響する。連続気泡の数が多いほど、吸着能力が大きく、浮力は小さくなる。

## 飽和

油吸着材は、短時間のうちに油で飽和する場合がある。比較的小規模な油膜でもすぐに吸着型オイルフェンスを飽和し、油が油吸着材から放出され、保護するはずだった資源を汚染する可能性がある。一度飽和した油吸着材は、それ以上油を回収できないので、できるだけ迅速に取り除いて、それ以上油が漏れ出さないようにしなければならない。飽和度を見極めるのは難しい場合があり、しばしばオイルフェンスを切り開いて中を確認しなければならない。高粘度油では、完全に飽和しないうちに、誤ってオイルフェンスを回収、廃棄し、内層が未使用のまま残される場合も少なくない(図4)。そのような不必要な廃棄物は、直径の小さな吸着型オイルフェンスを使用することで回避もしくは低減できる。これにより、オイルフェンスの中心部に未使用のまま残る素材の量を減らしつつ、有効性が維持



▲ 図8：油吸着素材は、その性質上嵩張るので、流出対応の前、最中、終了後の貯蔵と移送には、後方支援と費用の面で問題が生じる場合がある。

される。またオイルスネアを使っても、同様に無駄を回避もしくは低減できる。

油吸着布は、少量の油に接触するだけでもすぐに飽和する場合があるので、シートの使用は、回収の必要な油の量が限定的な小規模な事故に限るべきである。

## 油の保持

油吸着材の総合的性能を構成する重要な要素の一つは、油を保持する能力である。素材によっては、油の吸着は早いですが、適時に回収しないとやがて風、波、海流の影響を受け、吸着した油の大半を放出する場合がある。同様に、一部の油吸着材は水から引き上げる時に油を放出する。これは、回収した液体の重量のために油吸着材がたわんで変形し、孔の中や内面から油が絞り出されてしまうためである。油の保持は、本来の強度が低い油吸着材を使用する場合、特に有機素材で作られている吸着材を使う場合に特有の問題となり得る。

バーミキュライトや一部の泡のように微細な孔を持つ油吸着素材は、一般的に優れた油保持特性を示す。そのような素材の欠点は、高粘度油の回収性能の低さである。スネアは、主にその表面積の大きさによって短時間のうちに油で飽和する場合がある。ただし、スネアを水面から引き上げる時に油が放出される恐れがある。放出率は油の粘度に直接的に依存し、軽質で粘度の低い油ほど滴下速度が速い。

## 強度と耐久性

油吸着材の耐久性は、回収までに長期間現場に放置される状況で重要になる。吸着型オイルフェンスは、波の作用や岩にこすれるなど環境による影響の結果として、数時間のうちに劣化が始まり分解する可能性がある。特に、袋詰めしたばら素材で作られている物など一部の吸着型オイルフェンスでは、その強度が素材を保持している網素材の耐久性に左右されるが、網は厳しい環境条件の中で破れて開いてしまう恐れがある。一旦破れると、このタイプのオイルフェンスの内容物はたちまち失われて、二次汚染源になることがある。

## 発酵

一部の有機素材は長期間水に接触したまま放置されると発酵する可能性がある。発酵すると、成分構成と油の選択的回収効率が変わるだけでなく、発酵した油吸着材と液体の混合体の回収、貯蔵、処分に関して問題が生じる。

## 費用

油吸着材製品の価格は千差万別であり、主として使用されている素材に左右される。有機及び無機素材は、合成樹脂製品に比べると安価である。ただし、単価は安いのが効率性が比較的低いので、合成樹脂製品に比べると大量に必要になるという問題を考慮しなければならない。素材の量が多ければ処分費用も高額になるので、最適の製品を選択する時には、その費用も考慮に含めなければならない。合成樹脂製品は高額ではあるが、多くの場合、天然素材の数倍も効果的であり、製品によっては再利用も可能である。

## 入手可能性、貯蔵、移送

合成樹脂製油吸着材は、その性能のために使用が魅力的に思えるが、流出現場で直ちに入手できるとは限らない。有機及び無機油吸着材は、効率性では劣るとしても、幅広く入手できる場合が多いので、現実的な代替策となり得る。ただし、多くの有機製品は、油吸着材として効果的に使用するには、あらかじめ前処理をしておく必要があり、そのために緊急対応での入手可能性が限られる可能性がある。

油吸着材はどうしてもかさばるので（図8）、大量に貯蔵するには広い場所が必要になる。貯蔵スペースが限られていて、大量の油吸着材が必要になる場合、屋外に貯蔵せざるを得ない場合もある。そのような場合、日光から保護して紫外線による劣化を防止する必要があるだろう。特に、合成樹脂製油吸着材ではその必要がある。有機油吸着材の貯蔵にあたっては、湿気のある条件での劣化、及び白カビ、齧歯類動物、あるいは昆虫による損傷の可能性を考慮しなければならない。

貯蔵と同様に、大量の油吸着材の移送は、倉庫から流出現場に近い分配センターまで、また、そのセンターから油吸着材を使用する現場までの両方で補給・後方支援の問題を引き起こす可能性がある。特に、油吸着材を飛行機に積んで流出現場まで運ぶことは妥当な費用効果が得られるとは思われない。

## 海岸線とその近傍での油吸着材の使用

油吸着材は、沿岸海域及び海岸線での清掃作業において数多くの有益な役割を果たすことができる。ただし、処分に伴う二次的な問題を最小限度に抑えるため、大量の油吸着材の使用は、可能であれば避けるべきである（図9）。したがって、海岸線における大量の油吸着材の使用は、他の方法では効果があがらないか実現できないと考えられる状況に限るべきである。例えば、硬い砂浜上の油は、通



▲ 図9：固い表面の砂浜で油を回収するために油吸着材を大規模に使用する。油吸着素材の使用は、汚染規模に合わせて適切に行い、対応にとって目に見えるはっきりした利益をもたらさなければならない。また、処分の必要な廃棄物を不当に増やさないようにする。

常は作業員がシャベルを使って、あるいは壕を利用して回収すれば、油吸着材を大規模に使用する必要はない。その一方、徒歩以外に接近する方法の無い海岸線に沿って油を封じ込めている場合、その海岸線に油回収機とポンプを配置できないとすれば、油吸着材を利用せずに流動性の高い油を処理することは非常に困難である。しかし、このような状況でも、油吸着材の入手可能性、移送、貯蔵に関する懸念の多くは、利用前・後ともに依然として当てはまる。

吸着型オイルフェンスを海岸の近くに固定して使うと、例えば油で汚染された岩を高圧洗浄（表紙を参照）する時など、海岸清掃作業で生じる流出油を効果的に捕捉できる。あるいは潮間帯で再び浮遊した油や再移動した油を捕捉できる。「受動的清掃」とも呼ばれる油吸着材とスネア・オイルフェンスは、保護の必要性の高い区域から潮汐の繰り返しによって移動した油を捕捉するためにも非常に効果的である。特に塩性湿地とマングローブは、他の対応方法では許容できない新たな損害を生じる危険があるが、この方法はそのような場所でも有効である。同様に、この技術は碎石被覆と捨て石から潮汐の繰り返しによって流出した油の回収にも使用できる。建築現場の足場用ダストスクリーンとして用いられている細目ネットも、同様にして丸石、ごろ石、粗砂の海岸線から流れ出した高粘度油を捕捉するために使用され、成果をあげている。網の一方の端を海岸線に固定し、他方の端を海中で自由に動けるようにしておく。環境条件が適切で、特にオイルフェンスの中を通過する水の速度が速すぎなければ、スネア・オイルフェンスが産業用取水設備を横断するように張ったロープに吊すと、浮遊高粘度油の流入を抑制する上で効果がある（図7）。

一般的に、清掃作業の最終段階における油吸着材と海岸線清掃方法との併用は、岩を拭くために最初から油吸着材を使用する使い方より望ましい。これは、最初から油吸着材を使用すると、その後大量の素材を処分する必要が生じるためである。しかし、妥当な費用と労力で回収することが他の方法では困難な残留油が少量ある場合には、その除去には油吸着材が役に立つ。特に汚染された潮だまりは油吸



▲ 図10：泥炭や樹皮など有機微粒子油吸着素材は、ペンギンやアザラシ等の野生動物にとって重要な岩場で適用し、動物がやって来た時に毛皮や羽の汚染を最小限度に抑えることができる。





▲ 図11：海上での袋詰め油吸着材の使用。使用後は二次汚染を防ぐため、大変な手間を掛けて袋詰め油吸着材を回収しなければならないだろう。封じ込め型オイルフェンスと油回収機の使用は、油吸着材の使用より効果的に油を回収できる手段となるだろう。

着材での清掃に適している。例えば、ポリプロピレン製スネアは、高粘度油と風化の進んだ油の両方を除去することができる。一般的に、大半の気候において、ぎらつきの回収には油吸着材を使用する必要がない。通常、ぎらつきは自然に消散する。

沿海岸域及び海岸線での大規模なばら油吸着材の使用は、一般的に支持されない。これは、主として素材の適用とその後の回収を制御することが困難なためである。しかし、素材の回収を想定せず、ばら素材の使用が有益な状況があり得る。例えば、泥炭や樹皮などの有機製品を油汚染された海岸線上にばら撒き、大量の油を吸着させることができる。これにより、地域の動物相、特に上陸場に来るアザラシやペンギンなど保護の必要な海洋哺乳類動物や鳥類を保護する手段を提供できる（図10）。一部の国では、有機と無機のバルク油吸着材が清掃の最終段階で使用されている。油吸着材は回収されないが、油と油吸着材の混合体は自然のプロセスによってやがて除去され、広範囲に分散し、油は次第に分解することがわかっている。

## 海上での油吸着材の使用

海上での大規模油流出対応において主要な対応手段として油吸着材を使用することは、控えるべきである。海面での吸着材の制御の問題及び油を吸った大量の廃棄物の処分という問題（図11）がある上、油膜に油吸着材を適用しても、海上での封じ込め・回収作業に固有の問題を緩和することにはならない。つまり、吸着剤の使用によって生じる油と油吸着材の混合体は、油回収機の運用を妨げる恐れがあり、また風、海流、波の影響を受けて油膜が分解する結果となり、最初の流出状態より制御が容易になるとは言えない。

### 適用

海上でバルク油吸着材を使用すると、効率性と安全性の問題が幾つも発生する。つまり、ばらの粉末微粒子の油



▲ 図12：海上のぎらつき（非常に薄いオイルフィルム）を回収するため、吸着型オイルフェンスを2隻の船で「U」字型に曳航する。オイルフェンスが海水で飽和するために有効性が限られる。オイルフェンスにスカートが付いていないので、油の封じ込め能力も限られる。この例では、油がオイルフェンスから逃げているのが見て取れる。

吸着材を外海でばら撒くことには、特有の不都合な点がある。風が吹けば、油吸着材が油膜から離れる可能性があり、そうすると廃物と余計な汚染が生じる。吹付機を用いてバルクばら油吸着材を流出油の上に撒く場合もある。その場合は、吹付作業を行う作業員は粉塵から目を保護する必要があり、偶発的な吸引と飲み込みが起きないように予防措置を行うべきである。また、油吸着材を適切に油の中に混ぜ込むことができないと、油吸着材は単に油の上に浮いているだけで、回収効率が低くなる。こういった障害を解消するため、粉末及び微粒子の油吸着材を舷側から制御されたやり方で放出する特殊な装置が多数考案されている。そのような装置が効果を発揮するためには、容易に流出現場に搬入できる場所に保管されていなければならないが、今のところ、装置が広く入手できるようにはなっていない。

吸着型オイルフェンスは、ばら油吸着材より遙かに容易に配置できる。ただし、封じ込め型オイルフェンスの使用に対して海流、風、海況によって生じる制約が、吸着型オイルフェンスにはさらに一層強く当てはまる。吸着型オイルフェンスは比較的軽量であり、特に配置直後は軽いので、風によって浮き上がる可能性がある。したがって、紐やアンカーで固定する必要がある。吸着型オイルフェンスの中には、ラッシングポイントを備えている物もある。油吸着材の利点と従来の封じ込め型オイルフェンスの利点を組み合わせるため、製造業者数社がバラスト付きスクートを備えた吸着型オイルフェンスを製作した。例えば、マリーナや漁港の中で発生した小規模な油流出に対しては、そのような製品が封じ込めと回収の両作業に役立つことがある。この種類の製品は、再利用不可能な使い捨て型として販売されているので、処分費用が発生する。

水面から薄い油膜又はぎらつきを回収するために吸着型オイルフェンスを曳航する（図12）ことは、一般的に資源の非効率的な使い方と見なされている。通常、ぎらつきは間もなく蒸発あるいは消散するからである。さらに、多くの場合は波と乱流の影響によって吸着型オイルフェンスが水



で飽和するため、油回収が著しく制限される。ばら油吸着素材で作られているオイルフェンスでは飽和がさらに顕著であり、均質で連続的な素材を含んでいるオイルフェンスでは、それほどでもない。さらに、大半の吸着型オイルフェンスでは曳航によって加わる力が強くなりすぎ、素材が裂ける恐れがあり、結果として油吸着素材が流れ出し、吸着されていた油が海に戻ってしまう。

油吸着シート及びパッドは、吸着型オイルフェンスよりさらに風によって流されやすい。ロープやアンカーで固定するように設計されていないし、そのような固定は実際的ではない。油吸着シート又はパッドの海上での大規模な使用は、急速に広い範囲に拡散する可能性があるため、推奨できる方法ではない。シート又はパッドの回収はバルク油吸着材よりは実現可能性があるが、人の手によるゆっくりとした非効率的な回収を行わなければならない。シート、パッド、その他の自由浮遊油吸着素材が海浜に漂着すると、潮汐によって基層が繰り返し動くことによって素材がすぐに埋まってしまう、その後は位置を突き止めるのも困難になりかねない（図13）。

## その他の清掃方法との併用

使用される清掃方法が相互に妨害し合わないよう、対応と対応要員の慎重な管理が求められる。油吸着材を使用する時には、油と水の表面張力がいずれも油処理剤に含まれている界面活性剤によって著しく変化することを忘れてはならない。その結果、油処理剤やその他の流出対応薬剤によって油吸着材が設計性能どおりに機能しない可能性がある。これは、油処理剤が親油性と疎水性の両方の特性を弱め、回収される水の量を著しく増加させ、油の量を減少させる可能性がある。したがって、油吸着材が効果的に使用されるには、油処理剤と共に油吸着材を使用してはならない。

同様に、油吸着材の使用は油回収機による油の機械的回収とも両立しない。ばら油吸着材、油吸着パッド、その他の形式のばら油吸着材は、堰とポンプに詰まり、あるいは著しくその機能を制限する。また吸着型オイルフェンスは油回収機への油の流入を制限する。

## 回収

油吸着材は、水面から回収されない限り、油自体と同じように汚染物質になる。バルク油吸着材の微粒子は、吹き飛ばされて相当な長距離を移動し、主に経口摂取によって動物相に危険を及ぼす場合がある。特に、養殖施設の近辺では、魚の餌に間違えられる場合もあるので、ばら微粒子の使用は推奨されない。

油と油吸着素材の混合体を海面から回収するには、数多くの困難が生じる。混合体は、油単体よりさらに粘度が高く嵩も増えているので、このような素材を処理できるポンプと油回収機は一部の堅牢な製品に限られる。素材をポンプで吸い上げることができない場合は、回収船上の貯蔵タンクは不要になり、甲板積みよりも大きな貯蔵施設が必要になる。



▲ 図13：海上に配置した袋詰め油吸着材が満潮で海岸線に漂着した。急いで取り除かないと、漂着後の潮汐による砂の動きのために袋詰め油吸着材が砂に埋まり、回収が妨げられるだろう。

引き網タイプの漁網をばら油吸着材と油の混合体の回収に使用する試みが行われたが、目詰まりや反射波など油単体を回収する場合に生じる問題がこの方法でも発生する。油で汚れた網も、回収、貯蔵、洗濯又は処分が必要になる。このような状況では、回収方法の選択肢は、非効率的で労働集約的なスコップ又は機械的なグラブに限られることがある。

吸着型オイルフェンス、シート、パッドを水面から回収する作業も同様に時間がかかる労働集約的作業である。特に、飽和した吸着型オイルフェンスは重量が増しているため、重労働を強いられる場合もある。

## 「整理整頓」等の役割での油吸着材の使用

油吸着材の最も一般的な用途の一つは、陸上及び船上で少量の流出油を掃除することだが、作業員の安全性の向上や汚染範囲の拡大防止など、一般的な「整理整頓」機能の中にも重要な使い方があり。例えば、油吸着マットは回収船上と資機材除染施設で滑りやすい状態をできるだけ解消するため、またクリーニング・ステーションで清掃作業の清浄な区域と汚染された区域を分離するために用いることができる。同様に、油吸着マットは船の居住区画や陸上の指令センターの出入口に置いて、油が靴について内部に持ち込まれないようにするためにもしばしば利用される。この場合、無駄を避けるために、油吸着材は能力を使い切ってから廃棄すべきである。

養殖漁業において、油吸着シートは、生け簀内の浮遊油とオイルフィルムを水面から回収するために用いられ、成果をあげている。生け簀の中では、油を吸ったシートを封じ込め、容易に回収することができる。比較的静穏な条件では、生け簀など保護の必要な資源の外側を囲み、汚染の可能性を減少させるために、吸着型オイルフェンスを用いる





▲ 図14：回収した吸着型オイルフェンスから染み出した油は、二次汚染源になる。

ことができる。孵化場や塩田などの海岸の様々な施設に海水を供給する取水施設に油が入らないようにするため、ばらの繊維からバルクの無機素材に至るまで多様な油吸着素材がフィルター の作成に利用されている。

## 使用済み油吸着材の貯蔵、移送、処分

### 油を吸った素材の一時貯蔵と移送

海上で使用した後の油吸着材は、回収した後、最初に回収船上で、次に海岸で貯蔵してから最終処分場に運ぶ必要がある。飽和した油吸着材、特にオイルフェンスは、上部にある素材の重量によって押し潰されるので、吸着した油が滲み出る可能性がある。したがって、浸出液がデッキや通路を汚染してそれらの安全な使用が妨げられることが無いように、また船外に流れ出て再汚染を生じることがないように、船上の貯蔵施設は密閉されていないといけない。油を吸った油吸着材を船から降ろす時も、岸壁や突堤の汚染を最小限度に抑えるため、慎重を期す必要がある（図14）。

油吸着材を含む油混じりのゴミと素材は、海岸に下ろし、海岸線から回収すると、移送と処分の後方支援体制が整うまで一時貯蔵施設に置く必要がある。大規模流出事故では、収集された素材の量が現地で利用可能な処理処分施設的能力を超える場合がある。油吸着素材を過剰に使用するとこの問題が一層深刻になり（図15）、大規模な一時貯蔵施設が必要になるが、世界中の多くの地域で、そのために認可が必要になるだろう。移送の前に、通常、遊離油はできる限り取り除いておき（図16）、理想としては、油吸着材を圧縮して嵩をできる限り小さくし、移送支援がしやすい状態にする。油吸着材を圧縮した結果流れ出た油と水は回収し、浸出液の漏出を防ぐため一時貯蔵施設の周囲に堤を構築しなければならない。



▲ 図15：一時貯蔵所に積み上げられた使用済み油吸着材。圧迫されたオイルフェンスから回収された油が絞り出されるので、二次汚染を防ぐ配慮が必要である。

### 処分経路

油を吸った油吸着素材に利用できる処分方法の選択肢は、回収した液体の油に比較すると限られている。廃棄経路にある油吸着素材は、たとえ少量であっても、製油所で供給原料として用いることなどの特定の処分経路が選択できない。

### 再利用

理論上、ある種の油吸着材は油を抽出することさえできれば、再利用が可能である。これは、洗濯機の水絞り機やモップ絞り機（ロープ・モップ式油回収機システムで使用するような装置）によって圧搾するか、遠心分離又は溶剤抽出のいずれかで行うことができる。一般的に圧搾が最も現実的な選択肢であり、一部の合成樹脂製品でも実行できる。ただし、裂けたり、砕けたり、全体的に劣化するなどのために油吸着素材の再利用ができなくなるまでに何回の再利用サイクルに耐えられるかを考慮しなければならない。

油吸着材の再利用に当たって考慮すべきその他の要因は、圧搾時に剥がれ落ちる油吸着材粒子から流れ出る廃棄油に



▲ 図16：回収された油吸着材スneaを竿に吊し、油を容器の中に落とす。これによって、廃棄物中の遊離油の量を最小限度に抑える。



よる汚染、吸着能力の低下率、妥当な人員と資機材で除去できる油の割合である。ただし、再利用を繰り返すと吸収能力が向上する油吸着材も一部にはあり、特に高粘度油に対してその傾向が見られる。

## 焼却

汚染された油吸着材の焼却は、その素材が可燃性で、かつ過剰な量の水分を含んでいなければ、実現可能な選択肢の一つになる。しかし、水分量の基準のために、使用済み有機油吸着材の焼却ができない場合が多い。有機素材は油と水の回収において選択性が低い場合が多く、水分を過剰に含有する可能性がある。焼却炉は、事故が発生した国では利用できるだろうが、通常、その容量は国内需要に合わせてあり、大規模流出事故の場合に一般的に見られるように、油混じりの廃棄物が突然大量に持ち込まれると、焼却炉の容量を超えてしまうだろうと思われる。利用できる焼却炉には様々な種類があるが、大量の固形廃棄物には回転乾燥焼却炉と平炉が最も適している。油を吸った吸着型オイルフェンスなど大型ゴミは、廃棄経路から除外し、小さく分解してから焼却に回す必要がある。

合成樹脂油吸着材は、熱量が高いため回転乾燥焼却炉と平炉の温度管理が難しくなる場合があり、油を吸った油吸着材を燃焼性がより低い素材の廃棄経路に混入して、油の供給率を下げる必要がある。合成樹脂と有機油吸着材は、完全に燃焼させることによって埋立向け素材の量を大幅に減らすことができる。その一方で、無機素材を焼却する場合、油分は除去されるが、最終処分量が大幅に減ることにはならない。

通常、焼却は厳密に管理され、有毒なダイオキシン、PAH、HCLが大気中に放出されないよう、高温燃焼と排ガスの厳密な監視が求められる。特に合成樹脂油吸着材の場合にこれが重要である。焼却費用は、多くの場合、他の処分方法に比較すると非常に高価である。この方法を選択する場合には、このことを考慮しなければならない。

## 埋立

油吸着素材の埋立処分も、通常は自治体や国の規制によって厳しく管理されている。一部の国では、油を吸った油吸着素材は危険廃棄物として扱われ、指定された危険物埋立処分場を使用することが求められる。その結果、移送と処分の費用が増大する。最新の埋立処分場は、通常、漏出を防ぐため防水膜で覆われている。しかし、世界の国や地域によってはそのような防水膜が必ずしも使われないため、近隣の土地や地表水の汚染を防ぐ措置に配慮すべきである。

## 生分解

一般的に有機油吸着素材には、生分解されるという利点がある。現地の廃棄物処理規制に従うことを条件とし、また油含有量が比較的少ないと想定した場合、農業による有機油吸着材の処分が許可される場合がある。油を吸った油吸着材を広い土地に撒くと、生分解が進む。分解は長年掛けて行われる。ただし、耕作機材を用いて曝気したり肥料を撒くことで、生分解を加速することができる。特定の有機油吸着材の堆肥化も、可能な処分経路の一つとなり得る。

## 要点

- 油吸着材の大規模な使用は、処分しなければならない油混じりの廃棄物が過剰に発生するので、海岸でも海上でも極力控えるべきである。
- しかし、海岸線の洗浄作業や他の方法が実施できない場合など、特定の場合においては油吸着材の使用が適切かつ効果的になる可能性がある。
- 外海において水面から油を回収するために油吸着材を使用することは、吸着材を正確に油の上に撒くことが難しく、さらに重要な問題として、使用後に油を吸った吸着材の回収が困難なので、非常に効果の弱い非効率な対応資源の利用法であると考えられている。
- 油処理剤や油回収機などの清掃方法を用いる作業は、油吸着材の使用と両立しない。清掃方法が相互に干渉し合わないよう、対応を慎重に管理する必要がある。
- 油吸着材は嵩張るので、貯蔵と移送に難がある。貯蔵方法は、齧歯類、昆虫、白カビ、湿気、紫外線放射、火災による被害を防ぐよう慎重に考慮しなければならない。
- 現地で入手できる安価な有機無機素材は、備蓄されている合成樹脂油吸着材より費用効果の優れた選択肢になることがある。ただし、そのような油吸着素材は、合成樹脂に比較すると同一重量での回収効率が低い。
- 油吸着素材の過剰で非効率な使用は、二次汚染に繋がる可能性があり、また、油を吸った素材の一時貯蔵、移送、処分の際に補給・後方支援と財政の面で重大な問題を生じる可能性もある。したがって、こういった問題を防ぐため、備蓄からの油吸着材の持ち出しを管理し、作業員を慎重に監督する必要がある。

## 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](mailto:central@itopf.org)

Web: [www.itopf.org](http://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](mailto:pajosr@sekiren.gr.jp)