

現場燃焼-流出油対策の新技术

A. A. アレン (米国環境コンサルタント)

1. はじめに

沿岸水域の大規模な油流出は海上漂流油の包囲・回収が困難であるためにいつでも公共および規制上の大きな注目を集めるところとなる。油は大規模に放出されると急速に広大な面積に拡大する。油は風と潮流により遠距離まで運ばれ、多くの物理、化学および生物学的プロセスによりかなりの変化を受ける。例えば、密度と粘性の変化は、安定した油中水型エマルジョンの形成と相まって、油の取り扱いを複雑にし、回収・貯蔵すべき量が当初流出量の2-3倍にも増大することがしばしばある。従って、流出の本体部にタイミングよく接近するのが困難なところか、接近できた部分を回収・貯蔵するのすらきわめて困難となる。

カリフォルニア州サンタバーバラの流出(1969)、日本の水島の流出(1974)、Exxon Valdez号の流出(1989)などの流出時における筆者の経験がもたらすものは、人間の支配を超える大規模流出のもつ速度についての引き続く無力感に満ちた思いである。これら3件の流出でみられたように、何百万ガロン(何千立方メートル)の油が外海での放出から2~3日以内にいとまたやすく何十~何百平方マイル(1平方マイルは2.59平方キロメートル)に拡散する。面積の拡大は非常に高い油遭遇率(oil encounter rate)をもつ多数の制御システムを必要とする。また、水の取り込みによる量の増大は法外な石油/水の一時的貯蔵容器を得ることを必要とする。

流出油の機械的防除につきものこうした問題は、油処理剤の適用や現場における制御された焼却[すなわち、“in-situ burning(現場燃焼)"]の使用を含む、利用可能なあらゆる技術を動員した大規模流出油に対する即時の対策が必要であることを示す。比較的新しい対応技術として、制御された現場焼却は大量の油をすみやかにかつ経済的に取り除くのにならすで使用されてきている。1988年に、3MとSINTEF(ノルウェー、Trondheim)は、300フィート(91m)の3M Fire Boom(現在のAmerican Fireboom、これは米国フロリダ州CocoaでAmerican Marine社が製作している)に閉じ込めた500ガロン(1.9m³)の原油についてSpitsbergen沖で外洋燃焼試験を実施した。耐火性オイルフェンスはU字形に曳航され、閉じ込めた油の点火には(米国オレゴン州ポートランドのSimplexの)ヘリトーチ(Heli-torch)が使用され、約30分で油の95%が取り除かれた。

1989年3月25日、アラスカ州Prince William SoundにおけるExxon Valdez号の座礁後2日目の晩に、推定15,000~30,000米ガロン(57~114m³)のNorth Slope原油が焼却された(Allen, 1990)。油は流出の風下領域の軽度に乳化した油の群落中をU字形に引かれる450フィート(136m)の3M/American Fire Boomの内部に捕集された。閉じ込めた油は油膜本体から離れた安全な場所まで曳航され、表面点火装置が油の中に移動できるようにされた。数分後に、持続的燃焼が達成され、約45分の激しい燃焼が生じ、除去効率は約98%であった。

その他多数の燃焼実験が米国、ノルウェー、カナダで実施された。もっとも意義のある燃焼実験の1つ(カナダと米国から25以上の機関が関わった)は1993年8月にカナダのニューファウンドランド沖でなされたものである。船舶20隻以上、航空機7機および230名が参加し、

3M/American Fireboom を用いた 2 回の燃焼に約 200 台のセンサーまたはサンプラーが使用され、多数の物理的パラメータと燃焼生成物が監視された。約 7 百万ドル（カナダドル）のコストをかけたこのニューファウンドランド沖合燃焼実験（NOBE）では、20,000 米ガロン（77m³）の原油が焼却された。

流出油の制御された現場焼却は、安全性と燃焼の副生物への暴露にしかるべく配慮し、正しく実施するならば、従来の機械的除去方法よりも短時間かつ安価に大量の油を取り除くことができる。さらに、焼却によれば機械的回収における最大の弱点の 1 つである大量の回収油/水の貯蔵と処分の必要性をなくせる。本報文では、対策プランナーがいかに、かつなぜ流出油の焼却を多数の利用可能な重要な手段の 1 つとして検討すべきなのかについて考察する。

2 . 対応の形式

2 . 1 機械的対応と非機械的対応

流出事故対応プランナーは、与えられた資機材、船舶、または作業に関する対応パッケージを立案するに当たり、多数の手段から対応を選択ができるが、これらの選択肢は機械的の包囲/回収および非機械的防除（主なものは現場焼却と油処理剤の適用）という 2 つのカテゴリーに大別される。プランナーばかりでなく、調整者や一般人も認識すべき重要な点は、これらの 2 つの対応のカテゴリーは相互に排他的ではないことである。もっとも広範な条件下で対応をもっとも効果的にするには、事故対応指揮者は両カテゴリーから選択をなすべきである。

包囲&回収：機械的カテゴリーには、多数の異なるタイプとサイズのオイルフェンス、油回収機、ポンプ、および貯蔵手段が存在し、これらは浮遊状態の油を水から機械的にそらせ、閉じ込め、除去するのに使用される。オイルフェンスは通常 2 隻の船により曳航される浮遊型障壁であり、これは油を閉じ込めて濃厚化するので、その後の回収（スキミング）手段による油の除去がより効果的になる。喫水が 1~2 フィート以下（1/2m 以下）の比較的小型のオイルフェンスは静かな港湾の状況や中程度までの流れの河川に使用される。喫水が 3~6 フィート（約 1~2m）のより大型のオイルフェンスは波が荒い沖合での使用に選択される。とはいえ、サイズを問わず、大部分のオイルフェンスは短周期の風波が 3~5 フィート（約 1.5m）の波高に近づくと飛沫同伴や跳ね飛びにより油が失われはじめる。現在利用できる油回収機には小型のポータブル装置から、大型の自己推進型の油回収船までさまざまなものがある。船体の内部から操作するにせよ、船側越しの回収システムとして操作するにせよ、大部分の油回収機は風による砕け波により波高が 1~1.5m になると効率がかなり低下する。

油処理剤：非機械的な対応技術としての油処理剤の適用は、油膜の分解を容易にするように考案された各種の化学薬品が使用され、油膜を水中に懸濁する小滴に分散させる。この形式では、油は自然にこわれ、ずっと急速に分解することができる。その他の利点は、分散した油は動物や海岸線の物質を含む物体に付着しない傾向をもつことである。初期の油処理剤のいくつかは比較的毒性の高い炭化水素溶剤を含有しており、使用量も多かった。今日の油処理剤は有毒性が比較的 low、使用される油処理剤対油比は一般に 1:20~1:50 またはそれ以下である。油処理剤を使用するには油が比較的新しくなければならない（流出後 12 時間以内が好ましく、稀に 24 時間以上~48 時間）。また、分散プロセスを補助する十分な表面エネルギー（軽度の三角波に打ち勝つ

程度の)も必要である。水深が十分で、油処理剤/油の相互作用が良好で、混合が十分ならば、油処理剤は影響を受けやすい区域に大量の油膜が接岸するのを防止するのに役立つ。

燃焼：対策プランナーは、現場焼却は大量の油を海洋においてすみやかに取り除くための効果的な方法であり、他所に移し、保管し、処分すべき回収物の量を最小限に抑えることができることを知るようになった。現場焼却には、水面上の閉じ込めを実施しない流出油の燃焼、もしくは自然に閉じ込められるか(例えば海岸線やタンカーの側面による閉じ込め)耐火性オイルフェンスにより閉じ込められた流出油の燃焼が含まれる。当然ながら、こうした耐火性オイルフェンスは従来のものと同じ使用上の環境的制約(風、波、潮流)を受ける。多数の実験室試験およびいくつかの洋上試験によれば、比較的新しい水上の油(1日か2日以内が好ましい)の場合、油の厚さが少なくとも0.1インチ(2~3mm)であれば、点火可能なことが判明している。これより油の風化や乳化が進行すると、もっと厚くなければ点火と持続的燃焼ができない。経験によれば、流出油の燃焼にとってヘリトーチ(燃えるゲル化燃料の発射をとまなうヘリコプター吊りシステム)はすぐれた空中点火システムである。数カ国で約20年の安全な使用実績をもつヘリトーチは、風化・乳化した油に対しても効果的な点火手段となる(Allen, 1992)。いったん点火すると、閉じ込められた比較的濃厚な油膜の燃焼により95%~98%またはそれ以上の除去効率が見られることがほとんどの試験で示された(Allen 1991a,b)。

1980年代の耐火性オイルフェンスの開発により、対応機関は燃焼に必要な厚さを確保する効果的な油膜の閉じ込め手段を得ることができるようになった。耐火性オイルフェンスの技術は1970年代のカナダのDome Petroleumのステンレス鋼製ブームがさきがけとなり、多数の軽量かつ安価な耐火性オイルフェンスの開発につながっていった。これらの製品の中で、大規模な洋上原油燃焼試験を行ってきたのはAmerican Fireboom(3M Fire Boomとしても知られる)だけである。American/3M Fireboomは、ステンレス鋼、3Mが特許をもつセラミック繊維および独自の高温浮遊コアを利用し、標準的なオイルフェンスに似た外観と挙動をもつものである。ただし、この耐火性オイルフェンスは静的試験タンク中で最高48時間までの過酷な油の燃焼に耐え、1989年のPrince William Soundの燃焼を含め、海洋における4回の本格的な外洋燃焼に使用された(Allen, 1990, 1992 & 1994)。

2.2 利点と欠点

包囲&回収：先述したように、機械的包囲・回収システムの性能は、風と海の状態、水中に氷や漂積物が存在するかどうか、油の風化の程度などに強く左右される。風力3~4の海洋状態(ビューフォート風力階級)の場合、ほとんどのオイルフェンスと油回収機は効果を失いはじめる。3~5フィートの短周期の風波があるとオイルフェンスで閉じ込めた領域から油がかなり失われることが多い。こうした損失は閉じ込めた油を物理的に回収するのに通常必要とされる時間内にかなりの量に上るだろう。

機械的防除の重要な制約は、その性質上回収システムは水面から純粋な油のみを回収するのではないという事実である。流出油とともに回収される水の量が回収される油量の2~3倍にゆうに達することがある。この水の一部は油の内部に同伴され(油中水型エマルジョンとして)、一部は沈降後“遊離水”として回収され、おそらく放出できるだろう。その結果、現場に大量の貯蔵容量が必要となる。事実、十分な現場貯蔵容量を利用できるかどうかは機械的回収作業の主要な制限要因として引き合いに出されることが多い。

機械的対応技術には制限があるとはいえ、明らかな利点が少なくとも1つある。つまり、広い時間枠をもつ唯一の対応形式だということである。機械的対策は無期限に続けることができ、それは流出油が風化し、遠く離れた海岸に接岸した後ですら可能である。もちろん、こうした広い時間枠において生じる環境的暴露や、こうした長期的な浄化作業の財政的コストを考慮する必要がある。流出対策の作業を無期限に続行するだけの人員・資機材をもつ対応組織はほとんどない。

非機械的技術は機械的対応に代わる重要な手段をもたらす。これらの技術は比較的狭い“適応可能時間帯”(“window of opportunity”)に制限されるだろうが、機械的除去なら非常に時間と費用がかかるケースでも、大量の油をすみやかに取り除くことができるという重要な利点がある。

油処理剤：油処理剤を効果的に使用すると、水の上層部における細かな小滴として油膜が分散する。油処理剤の使用を許可する行政官は、こうした油の濃度の上昇（通常は外洋ではわずか数分から数時間までの現象である）のもつ潜在的影響を考慮する必要がある。分散が成功すると、回収される油の貯蔵が不要となり、大規模な流出でもその対応のための補給支援の必要性が最小限に抑えられる。きわめて広い面積にわたる流出の場合に油処理剤の適用を成功させるには、油処理剤とその使用機器、1機以上の大型固定翼航空機、位置決定航空機、油処理剤の再補給ならびに航空機の燃料補給施設、これらの機器の操縦に即応できる熟練要員などの事前計画や段取りが必要である。いかなる油処理剤適用プログラムにも、良好な視界、良好な混合に十分な波の作用、比較的新しい油、および対象となる油と水の塩度に対する効果が判明している油処理剤の使用などの条件が必要だろう。また、使用許可のための水深ならびに指定区域などに関する規制上の制約を満たすことも必要だろう。

燃 焼：耐火性閉じ込めオイルフェンスを用いる現場焼却は、機械的除去と同じ環境的制約のいくつかを受ける。耐火性オイルフェンスの挙動は標準的閉じ込めオイルフェンスと同じなので、油の閉じ込めに対する風と海の制限も同じである。ただし、これらの2方法には、燃焼の場合は速度的に短時間で大量の油の除去ができることと、回収と貯蔵のための必要性がほとんどなくなるといった大きな違いがある。

水上で閉じ込めた比較的新しい原油は1平方フィート当り毎分約0.07米ガロン(m^3 当り毎分2.85リッター)の速度で燃焼する。この燃焼速度の場合、2隻の船で引いた長さ500フィート(152m)の耐火性オイルフェンスの内部での燃焼により毎分500米ガロン($1.9m^3$)、つまり毎時700バレル以上の油を容易に取り除くことができる(オイルフェンスの内部に約7,000平方フィートつまり $650m^2$ の有効閉じ込め面積があると仮定する)。この例の場合に選んだ閉じ込め燃焼領域(図1の2重斜線の部分)は、オイルフェンスの内部のきわめて小さな領域を表し、これはU字形の下流部の頂点からオイルフェンスの先端まで距離の約1/3までの部分にすぎない。曳航速度を落とせば、オイルフェンスの内部の油の面積(つまりは燃焼面積)を2~3倍またはそれ以上に増加させることができた。また、油の消費速度も同じ倍率だけ増加できた。図1には通常の曳航速度で捕集できただいたいの油量(油の深さ1インチ当りのバレル単位)と各種のオイルフェンスの長さおよび油/オイルフェンスの相対的配置との関係も示す。図1を調べるならば、図の“1/3d”で表される面積内の油の深さが平均わずか4インチ(約10cm)の1単位の500フィート(152m)のオイルフェンスにより約400バレル($64m^3$)の油を保持できたことがわかる。オイルフェンスの長さを2倍の1000フィート(300m強)にすれば、油の保持容量(つまりは単位オイルフェンスの負荷容量に対する燃焼の可能性)は4倍に増加するだろう。従って、1単位の長さ1000フィートのU字形(全部または一部のみが耐火性オイルフェンスからなる)により、少なく

とも 250m³ の油の捕集と燃焼をまかなえると考えることができる。

一般に除去効率は 95% ~ 98% であるから、上記の例では約 240m³ 以上が取り除かれ、燃焼は 1 時間以内に完了するだろう (1 インチつまり 25 ~ 30mm ずつの油は約 10 分で燃焼する)。また、回収が必要な油の残留物 (もしあるとして) の量は通常のススキング作業時に回収される大量の油と水に比べればごくわずかだろう。従って、現場燃焼を支援するための補給面の要件はずっと単純であり、大量の油を取り除くのに要する時間は比較的短い。

機械的除去、油処理剤の適用、および現場燃焼のコストを比較するならば、燃焼がもっとも安価な方法であることもわかる。12 時間での約 8,000 ~ 10,000 バレル (1,272 ~ 1,590m³) の油の回収/除去に対する代表的な機械的、油処理剤、および燃焼システムを用いて見積もられたコスト (米ドル、1993 年基準) は次のとおりであった。機械的システム = 油 1 バレル当り \$ 100 ~ \$ 150 ; 油処理剤システム = 1 バレル当り \$ 50 ~ \$ 100 ; 現場燃焼システム = 1 バレル当り \$ 20 ~ \$ 50 (Allen & Ferek, 1993)。

2.3 環境上の制約

現場燃焼は水上の流出油に対する魅力的かつコスト効率のよい手段なのは明らかである。とはいえ、油処理剤や現場燃焼のような非機械的方法が明らかに不適切な局面がある。例えば、浅く、影響を受けやすい海岸近くの水域における油膜に油処理剤を適用すると、油をそのまま一定タイプの海岸線に到達させるより環境的に大きな損害が出ることもありうる。同様に、海岸近くで適正に現場燃焼を用いるためには、風や大気条件を慎重に検討する必要があるだろう。流出が沿岸の町に近く、風により噴煙が直接人口の中心部に向かう可能性があれば、燃焼を検討するのは適当とはいえない。

現場燃焼から大気中にさまざまな燃焼生成物が入り込むため、水質汚染が大気汚染にとって代わるだけと指摘する燃焼の反対者もいる。しかし、認識すべきもっとも重要な点は、大部分の原油の容積の約 1/3 以上は揮発性炭化水素からなるが、その多くは有害とみなされ、燃焼されない油膜からいずれにせよ蒸発するということである。燃焼によればこれらの揮発性炭化水素が除去される。

原油の現場燃焼の主要生成物は二酸化炭素と水蒸気である。燃焼した炭素の約 90% ~ 95% は二酸化炭素として大気に放出され、一般に噴煙中の粒状物質は燃焼した油の元の容積の約 10% を占める。ニューファウンドランド沖合燃焼実験 (NOBE) によれば、粒状物質を含む地上レベルで測定されたすべての化合物は、火源から 500 フィート (約 150m) 離れた地点において健康に懸念のあるレベル以下であることがわかった。少量のガス状汚染物 (一酸化炭素、二酸化硫黄、酸化窒素など) が放出されるが、これらも急速にかつ風下方向のわずかな距離で有意以下のレベルまで減少する。また、一部の多核芳香族炭化水素 (PAHs) も放出されるが、PAHs は燃焼プロセス中に消費されるため、放出される質量は元の油に含まれる量よりかなり少ない。

燃焼の大きな利益は、燃焼生成物が燃焼の上空および風下の空気中で希釈され、通常的环境水準まで急速に分散することである。大気に対する局地的な短期的影響を、油を水面から取り除かない場合に広大な海岸線の油汚染がもたらす潜在的な長期的影響と比較すべきである。さらに、有害な揮発性炭化水素が燃やされるので、それらが油膜の表面から蒸発することがなくなる (Allen & Ferek、印刷中)。

2.4 対応計画における役割

沖合流出の対応機関は機械的手段と非機械的手段の双方に対応できるようにそなえる必要がある。アラスカとハワイを含む米国の多くの流出油対応機関はすでに油処理剤の適用能力をもっている。これらの機関の多くが現場燃焼手段の配備ならびに水上流出油の制御された燃焼のための要員の訓練を率先して実行しつつある。これらの機関は世界最大の先端技術の対策手段を配備し、機械的対策と非機械的対策の双方のための最新技術を用い、米国のほぼすべての沖合水域における大規模な流出事故の対策にそなえつつある。ここ数年間に、米国以外のいくつかの対応機関(例えば欧州とアジア)も現場燃焼を含む対応能力を增強してきた。

大規模な沖合流出は機械的対策技術のみでは効果的に処理できないことに流出対応プランナーはしだいに気づいてきている。同様に重要なことは、油処理剤の適用は高い油遭遇率をもつものの、機器の利用可能性、水深、混合エネルギー、および使用を成功させるための時間枠が相対的に短いなど、いくつかの重大な制約をもつことである。現場燃焼の完全な可能性について調べたことのある者にとっては、慎重な制御された燃焼にもいくつかの重要な短所があり、そのため一部の流出のシナリオに対しては使用できないことも明らかである。風と海の条件が厳しすぎて従来の閉じ込めオイルフェンスを使用できない場合は、燃焼用の油の囲い込みに耐火性ブームを使用するのは困難だろう。いくつかの機械的システムを効果的に使用できないほど、もしくは油処理剤が無効となるほど流出油が風化・乳化してしまった場合は、油の点火はほとんど不可能だろう。

大規模な沖合/沿岸の流出を取り扱うには、利用可能なできるだけ多くの手段が対応プランナーには必要である。機械的除去、油処理剤の適用、および現場燃焼は独自の利点と欠点を有する重要な対策技術である。見識のあるプランナーがこれらの諸要因を理解し、慎重に検討を行うならば、機械的手段と非機械的手段を用いることにより一定範囲の環境条件下で対応能力を高め、增強することができるだろう。

3. 潜在的な燃焼のシナリオ

沖合探査と生産作業からの流出、海底パイプラインとタンカーからの流出、および河川への流出からの油の除去用として現場燃焼が有効な対策技術であるとみなせるような状況は数多く存在する。燃焼のシナリオは3つの主要カテゴリーの下で取り扱うことができる。すなわち、流出油の閉じ込めと制御された燃焼、非閉じ込め/自然閉じ込めの油の燃焼、および海上火災事故の制御と抑制の3つである。

耐火性オイルフェンスと空中点火システムは多数の方法で制御された燃焼に対する油の捕集、閉じ込めおよび点火に使用できる。代表的なシナリオには次のものがある。

- ・ 非燃焼流出源から安全な距離をとる、制御された燃焼のための移動を用いる油の捕集 - 図 2。
- ・ 燃焼流出源の下流での油の閉じ込めと燃焼（強い潮流がある場合は必要があれば移動処理） - 図 3。
- ・ 流出源における燃焼油の直接的閉じ込め - 図 4。
- ・ すでに広い面積に拡大した油の捕集、移動、および燃焼 - 図 5。
- ・ 海岸線に捕捉された油の制御された燃焼 - 図 6。

状況によっては、流出油が比較的濃厚な状態にとどまることがある。例えば、風が障壁（例えば、海岸線、浮氷など）に油を押しやる場合、油が大型船、島などの風下に集まる場合、もしくは単純に大量の油が比較的静かな水上に放出され、数 mm 以上の一時的な“平衡厚さ”が成り立つ場合などである（図 7）。いったん油膜が発火すると、油膜の外周部から燃焼する流出本体に向けて油を引き寄せる熱誘導の風により油の自然な濃厚化が強まることがある。

流出場所における火災と爆発のリスクを小さくするため、流出した可燃性物質が自然に分散するがままにするほうが安全な場合がある。他方、火災のために至近の船舶、施設、または機器が破壊されるおそれがあるとしても、流出を即時的に閉じ込めるほうが全体的なリスクが小さくなる場合もある。この場合、流出源に事故的な発火が生じ、油が流出源から自由に流れることができると、燃焼する油の拡大による二次的の火災のために損失がずっと大きくなるおそれがあるからである。

耐火性オイルフェンスはすでに燃焼中もしくは発火のおそれのある油膜の拡大を制限するための浮遊型耐火障壁として使用できる。この種のオイルフェンスは燃焼する油を近くのポート、波止場、およびその他の施設から排除するのに使用でき、また泡消化を適用するために燃焼する油を閉じ込めるのにも使用できる。

4. 安全性の問題

あらゆる流出油対応技術にいえることであるが、いかなる燃焼プログラムであれ従事する作業員の安全を最優先する必要がある。現場と流出に応じたふさわしい燃焼計画と安全手続きを作成しなければならない。すべての計画者と作業員は燃焼計画に関連するあらゆる潜在的リスクを完

全に評価する必要がある。このリスクの評価には少なくとも次のものを含めるべきである。

- ・ 推定される油量、燃焼速度、燃焼面積抑制手段などに基づく燃焼の予想規模と持続時間。
- ・ 燃焼の位置決め、ならびに潮流、機器の故障、閉じ込めオイルフェンスの曳航などによる位置変化（これには過剰な被熱 / 燃焼生成物への可能な暴露につながる、燃焼近くの領域への作業員、動物、ボートなどの可能な移動を含めるべきである）の可能性。
- ・ 制御された燃焼領域の内部から（事故的または対応の早さ）放出される油に対する移動と燃焼の持続時間。
- ・ 燃焼する油や高濃度の燃焼生成物への暴露が想定される固定機器 / 施設の位置と種別（例えば、停泊船舶、波止場、橋など）

何らかの立場で制御された燃焼に関わる者は各自の責任に応じた講習と実地訓練を終了していなければならない。また、火災の標準的安全手続きを順守する必要がある。こうした手続きには、ヘリトーチの準備と使用の指針、耐火性オイルフェンスに関する適正な曳航コースの規定、位置決定航空機の利用、燃焼の風上、風の側方の支援船の位置決め、人が存在する場所の大気質の監視、十分な安全機器の配備などが含まれるだろう。

5 . 要約と結論

長年にわたり、大規模な外洋流出油の対応策は十分どころではないことが明らかになった。これは油は急速に膨大な面積に拡がることが多く、広い沿岸領域に堆積するからである。タイミングよく閉じ込め・回収システムを動員できたとしても、膨大な量の回収油と水を処理するには不十分なのが普通である。一般的に備えが不十分なこと、および機械的手段のみでは十分とはいえないことから、全世界の対応機関は大規模な流出事故に備えた対応計画を再考しつつある。油処理剤の適用や現場燃焼などの非機械的対応法の利用が強調されつつある。油処理剤は、特に航空機から適用する場合、遠方の場所であっても大規模な流出領域に接近するための効果的手段となる。閉じ込め方式の制御された燃焼は、閉じ込め方式の機械的回収と同じ制約の多くをもつものの、大量の油を効率的に迅速かつ安全に除去することができる。また、最小限の補給支援しか必要とせず、現場の一時的な大型貯蔵システムが不要である。条件が適正であれば、大型の回収・貯蔵システムが機能できないような非常に浅い水域（例えば、沼や河川）でも燃焼は可能である。

現場燃焼の環境に対する懸念は、燃焼中の油の大部分は、発煙の度合いは低いとはいえ、本来その目的で使われるはずだったこと（すなわち、エンジン、炉などでの燃焼）が認められれば、ある程度の理解は得られるものである。二酸化炭素の放出が実質的に増加するわけではなく、他の燃焼生成物はたいていの場合は量的に少なく、急速に分散する。また、油膜が水上に残されたままだと蒸発により大気中に入り込むはずの軽い揮発性炭化水素の多くが燃焼により破壊されるという利益も生まれる。

個別に使用もしくは互いに併用される燃焼、油処理剤処理、または機械的防除がどの流出油の除去にも万能ということはないだろう。とはいえ、部分的にしか有効ではないからといって、1つの技術を見捨てるべきでもない。大規模な流出事故では、できるだけ多くの油を除去するために、安全性が確保される限り、できればあらゆる手段を検討し、使用すべきである。たとえこれらの対応技術のそれぞれは沖合の流出の10%~15%に対応するだけだとしても、人間と自然はおそらく油の50%以上の接岸を抑制することだろう。

注

船舶と重機を用いる沖合作業を含むどんな作業にもいえることだが、適正に実施しないと現場燃焼は危険を招く可能性がある。これは火災には可変性がつきものなだけに特にいえることである。こうした場合に、現場燃焼作業を安全かつ効率的に実施するためのシステムと方法を利用することができる。読者は流出対応技術としての現場燃焼について詳しくは、“In-Situ Burning Manual : An Economic Solution for Oil Spill Control (現場燃焼マニュアル：流出油の制御のための経済的解決策)”と題する American Marine 社のための筆者の刊行物をご覧ください。

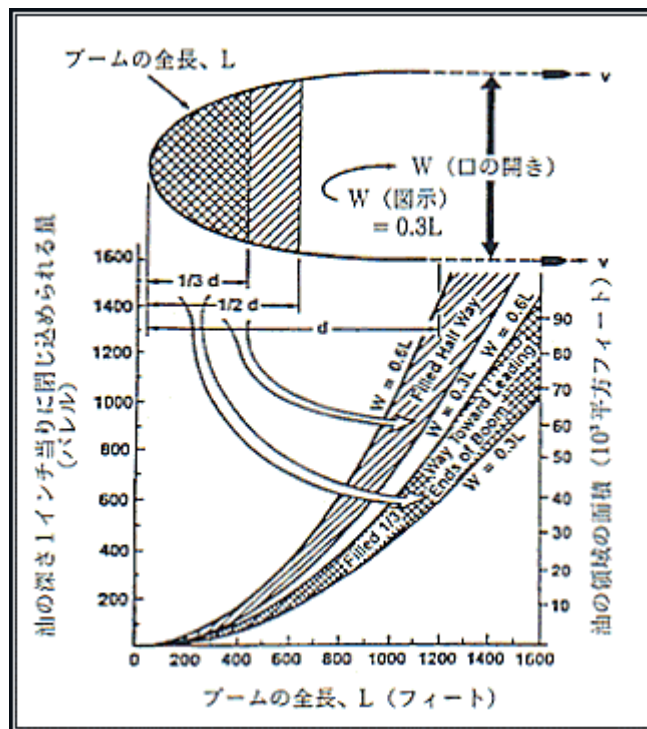


図1 1/2 ~ 2/3 ノット (0.93~1.23km/h) の通常の曳航速度における各種のU字形ブームに対する油の面積と量の推定値

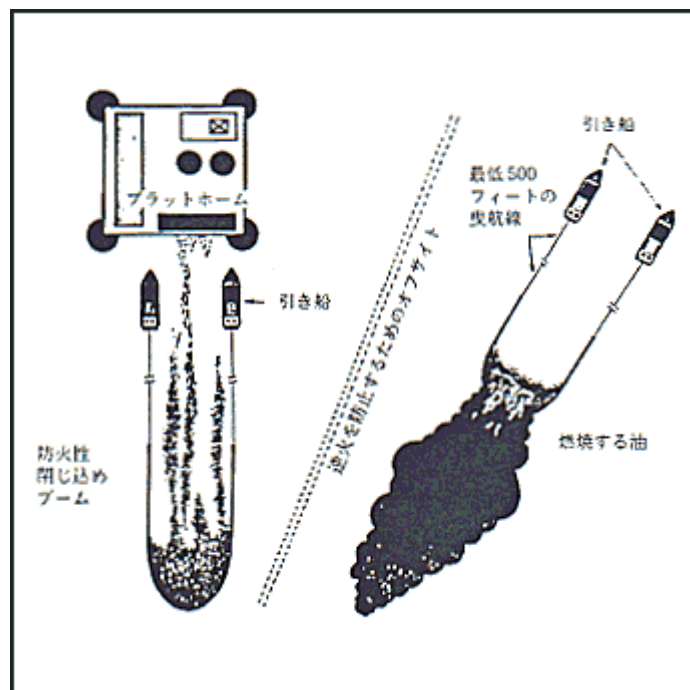


図2 非発火流出源から離れた油の閉じ込め、移動および燃焼

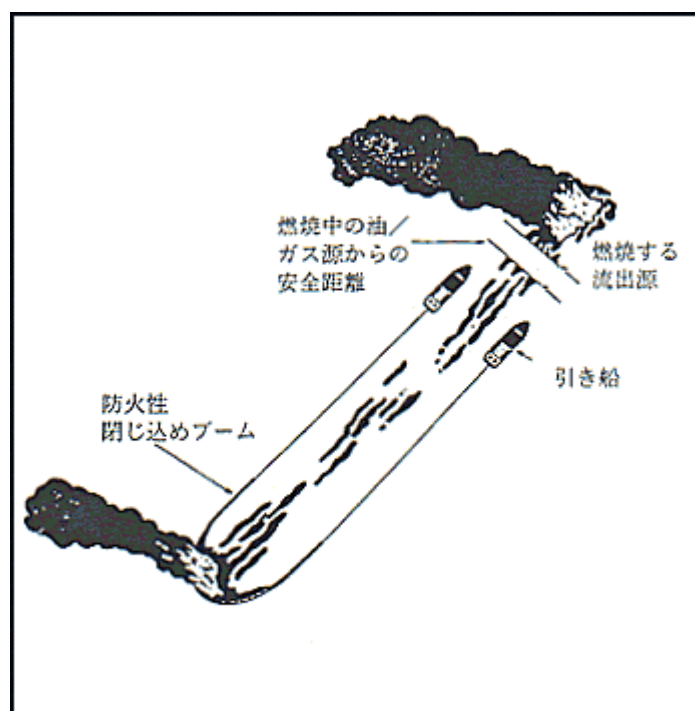


図3 発火した流出源の下流での閉じ込めと燃焼

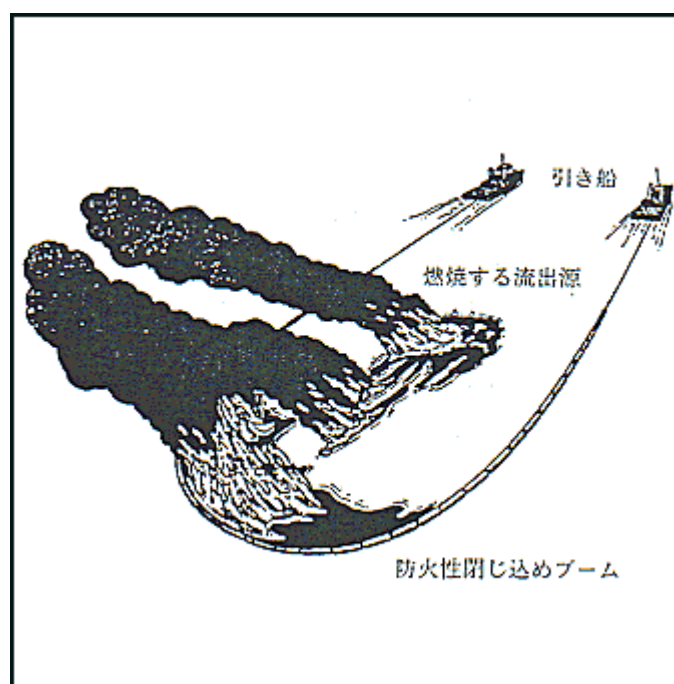


図4 流出源における燃焼中の油の直接的閉じ込め

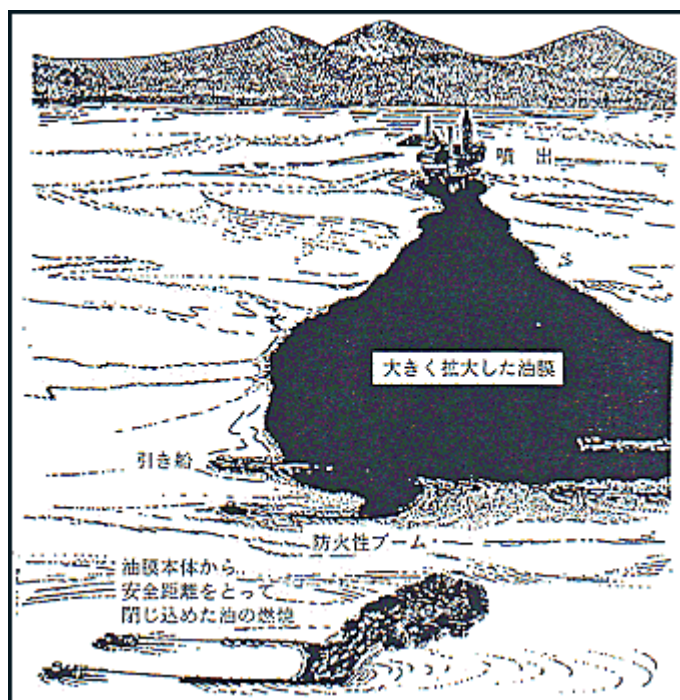


図5 すでに広い面積に拡大した油の捕集、移動および燃焼

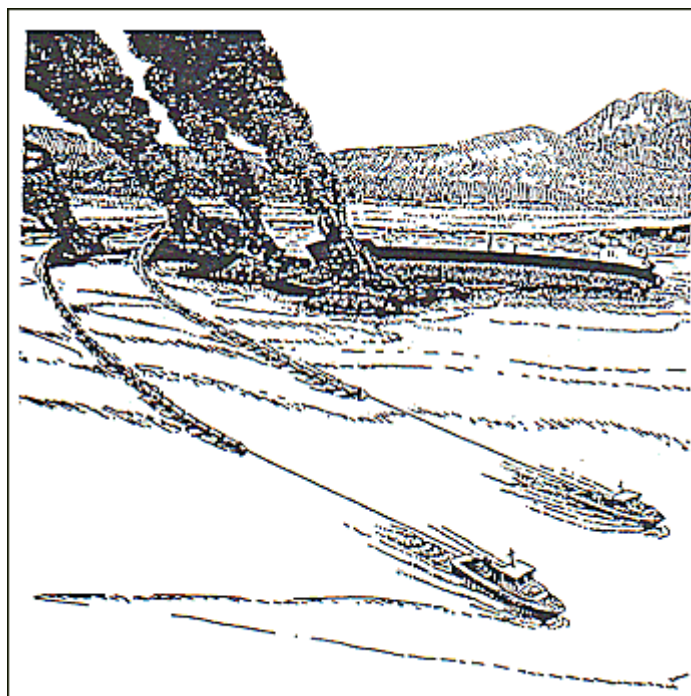


図6 海岸線において捕捉された油の管理焼却

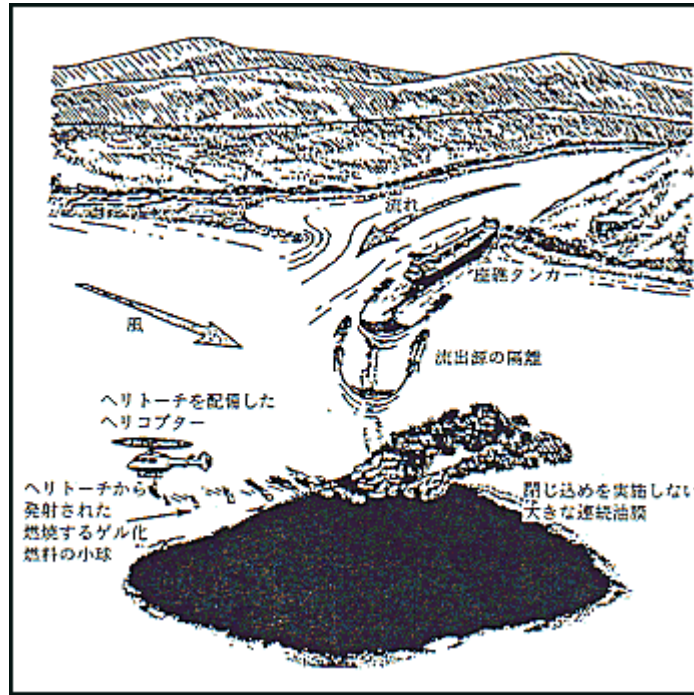


図7 閉じ込めを実施しない濃厚流出油の燃焼