

ノルウェー洋上の油回収事例、実油訓練

NOSCA マネージング・ディレクター
ヤン・アレス

目次

1. はじめに	1
2. 状況 - 1977 年の EKOFISK BRAVO 暴噴事故後	2
3. 外洋での油回収及び水面油演習	3
4. 重要な水面油演習及び現実の油流出事故	4
4.1 1980 年、PFO による、V 字形オイルフェンスシステム、船内及び サイド回収システムの実規模テスト	4
4.2 1985 年 6 月、NOFO の水面油演習	7
4.3 1986 年 11 月、北海の英国領域でのオクシデンタル・パイプライン破損	13
4.4 1990 年 9 月、NOFO の水面油演習	15
4.5 1995 年 8 月、NOFO の水面油演習	18
5. 1977 年の EKOFISK BRAVO 以来今日までのノルウェーの油流出対応準備 の進歩	21

1. はじめに :

ノルウェーの石油探査と開発 (E&E) は、1997 年までに長さ 21,465km の海岸線の半分以上に及び、その結果あらゆる種類の油流出の脅威にさらされるようになった。

脅威の原因としては下記のものと考えられる。

- 沖合 (外洋の意) における石油の探査と開発
- 近海や沿海におけるタンカー事故
- パイプラインの破損
- 船舶の座礁又は衝突

さらに、冬期のノルウェーは非常に荒天候であるため、上記の事故が引き起こされかねな

いことを強調すべきであろう。まったく同様に、冬の天候のために効率的な油回収作業が非常に阻害されることも考えられる。

70年代に政府が行動を起こした主な事故として、Torry Canyon 号の事故と EKOFISK BRAVO の暴噴事故の2つがあげられる。

環境庁は汚染管理部署である SFT を通して、ノルウェーの大陸棚で掘削を行っている石油会社に対し機械による油流出対応力を確立するよう求める、非常に厳しい規則を発布した。その要件は以下の通りである。

- エマルジョン化した流出油を、24時間当り 8,000m³ の割合で包囲・回収・貯蔵できる油流出対応力を動員できなければならない。
- この対応力の 25%は、24時間以内に作業を開始できなければならない。
- 残りの対応資機材は 48時間以内に稼働できなければならない。
- 油回収装置は、少なくとも 2.5m の有義波高 (Hs) と最大 1.5 ノットの海流で効率的に作動する設計でなければならない。

当時はこれらの要件を満たす施設や資機材はなかった。石油会社は、新しく非常に有望な市場として、油流出対応資機材を開発するよう業界に働きかけた。

政府は SFT を通して、石油会社に主要要件を満たすために提携する許可を与え、1978年には、NOFO すなわち Norwegian Offshore Clean Seas Association for Operating Companies を設立したのである。

NOFO は直ちに、一般研究開発のみならず、10年から15年以上に亘って大規模な沖合油流出事故において非常に有効であった沖合油流出緊急対策の実用的開発においても積極的な役割を果たした。

NOFO が主に沖合いの E&E 活動に対する責任を担う一方で、SFT は Horten にある油流出管理部を通して、従来からある船舶の座礁や衝突による沿岸での流出、又は第三者による原因不明の流出についての責任を担っていた。後にこの役割は変わり、沿岸の対応作業の緊急対策の作成において、SFT はさらに積極的役割を果たしている。

2. 1977年の EKOFISK BRAVO 暴噴事故後の、ノルウェーの油流出対応能力の状況

EKOFISK 油田のオーナーである Phillips Petroleum は、1977 年 3 月に起こった何週間にも亘る暴噴に対してほとんどなんの準備もなかった。外洋で油包囲に利用できたのは、油流出対応装置の試作機のみであった。

オイルフェンスは U 字形に展張したが、これには 3 隻の船が必要であった。2 隻はオイルフェンスの曳航に必要であり、3 隻目は、油圧浮遊クレーンに取り付けられたディスク式油回収機を操作する OILREC 船である。計 24,000 トンが、BRAVO プラットホームから暴噴し（火災の発生はなし）、40%がすぐに蒸発した。天候は穏やかで、最大風速 12m/秒で波は 2~2.5mHs を越えることはなかった。これが良い教訓になって、NOFO か下記のような油回収システムを開発する良いきっかけになったという見方もある。

- 2 ボート作業
- 動的浮動式高性能回収システム付き
- 油回収機にさらに多くの油を送り込むよう改良したオイルフェンス付き
- 典型的制限である 0.7~0.9 ノットを超える曳航速度で油を包囲できるオイルフェンス付き

3. 外洋での油回収及び水面油演習。

70 年代後半及び 80 年代前半、親会社の豊富な経済資源による後押しのおかげで、NOFO は新しい沖合油流出緊急対策の開発に着手した。以下に示すものである。

- 資機材
- 船舶（スタンバイベースで）
- 乗組員（非常勤）
- 陸上資機材基地（賃貸）
- 適切な演習・訓練計画

さらに 1982 年、ノルウエー北部で石油の海底掘削が開始された時、NOFO は追加開発を行なった、その結果、装置が機能するための要件が波高 3mHs まで拡大された。

1980 年から 1996 年にかけて、NOFO はノルウェー沖で実規模の水面油演習を計 23 回実行した。同じ期間にノルウェーは、数多くの船舶からの油流出事故を経験し、NOFO が確立したノウハウを広範囲に補うこととなった。

水面油演習のほとんどを、SFT 自身の船舶と資源を用いて行なったことも付記すべき点である。SFT はバックアップの役を果たすこともあったが、最近では、現実のテストと訓練に必要な新しい船舶と資機材を備えて最前線の役を果たしている。

80年代中頃のNOFO水面油演習では、概して以下の資機材等を使用した。

- 高性能浮動式油回収機付、J字形で長さ500mの外洋オイルフェンス1基、供給船(60m)1隻と漁船(40m)1隻で操作する
- バックアップシステム3基(V字形オイルフェンスシステム1基と、U字形オイルフェンスシステム2基、それぞれ3隻の船で操作する)
- 多数の測定器具と飛行観測。

最初の年のテストでは、最大500m³のエマルジョンを排出した。最近では、250/125m³の量のエマルジョンに減らしている。NOFOは、ノルウェー海底油田からの種々の原油を演習ごとに意識的に変えて海水と混合した。こうして、海水65%と原油35%の典型的な排出物が構成された。これは、NOFOの対応船が現場に到着して回収作業を始める前に、原油が海水と混ざるような暴噴の状況をシミュレートするために、実施された。

4. 重要な水面油演習及び現実の油流出事故 - 1980年から1995年にわたって、外洋でのノルウェー油流出対応能力の改善に寄与してきた。

4.1 1980年、PFOによる、V字形オイルフェンスシステム、船内及びサイド油回収システムの実規模テスト

PFO油濁管理研究開発は1978年に環境庁によって開始された。EKOFISK BRAVO暴噴後に分かった欠陥を政府がフォローするものであったといえる。プログラムは4年間継続された。22百万NOKが開発プロジェクトに、25百万NOKが研究開発プロジェクトにそれぞれ割り当てられた。ノルウェー産業協会はこれらの一部の資金を提供した。

ノルウェーの海事産業はBRVO暴噴に積極的に対応し、外洋で流出油の包囲と回収ができる新しい資機材を開発に熱心であった。

こうしてPFOは、1980年6月、大規模な3週間の水面油テストを支援した。4社のメーカーがテストした資機材は下記の通りである。

1. 長さ35mのV字形オイルフェンスシステム、溢流式流出油回収ポンプを内蔵
2. 長さ40mのV字形オイルフェンスシステム、遠心ポンプを含む専用回収セクション付

3. シングルシップ、サイドスイープオイルフェンスが補佐する船上油回収 / 静置システム
4. シングルシップ、サイドスイープオイルフェンスが補佐するサイド油回収システム

4つのシステムすべてが、理論上1時間当たり400m³～700m³の水を回収可能なポンプを備えていた。

テストプログラムの第1週には、外洋で物理的耐久テストを行なった。10～12m/秒の風力と最大2mのHsで弱点がいくつか検出され、大部分を修正した。- 但し、ガイドオイルフェンスとV字形オイルフェンスの間の接続ポイントにおける、V字形オイルフェンス前面の渦運動は調整不可能であった。

使用した油エマルジョンの基本特性は、以下の通りである。

期間	% 海水	1s-1 における粘度 (cp)	密度 (g/cm ³)
第1週	50	11,000	0.93
第2週	65	25,000	0.94

基準油として、SAE 30 潤滑油を選択した。これは非ニュートン液体であるが、半日乃至3日間洋上を漂流した原油の性状に近いことから選ばれた。海水の混合によるエマルジョン生成は、SINTEF が作成した手順で行なった。

水面油テスト中の波と風の条件は下記の通りであった。

期間	有義波高	最大波	波周期 (平均)	風 (m/秒)
第1週	2.2～3.1 Hs	3.0～5.2 Hmax	7.0～9.3 秒	2.8～5.3
第2週	1.2～2.0 Hs	1.8～3.0 Hmax	4.2～5.1 秒	5.0～9.3

これは、第1週は殆どうねりで、第2週は大体が風成波であったことを意味している。- 油エマルジョンは、システムの前の船から、ブイで浮かべた長さ100m、直径6インチのホースを通して排出した。ホースの先端には2×2×0.5mのポリスチレン箱が置かれエマルジョンは箱の上端からあふれ、海に流れた。排出速度は60m³/時間に保たれた。

第1週のテストの回収結果は、以下の通りである。

	1. 35m V字形 オイルフェン ス、ポンプ付	2. 40m V字形 オイルフェン ス、回収部付	3. 船内静置＋ サイドスイープ	4. サイド油回 収機＋サイドス イープ
エマルジョン排 出量	30m ³	30m ³	30m ³	20m ³
含油量	15.4m ³	15.4m ³	15.3m ³	10.6m ³
回収量合計	42m ³	41m ³	25m ³	26m ³
含水率	82%	71%	74%	71.5%
含油量	7.5m ³	12m ³	6.5m ³	7.4m ³
効率 変動 x	49% 30～70%	78% 60～85%	42% 30～60%	70% 50～80%
全テスト期間中 のエマルジョン 回収量	27.9m ³ /時間	26.1m ³ /時間	16.7m ³ /時間	28.2m ³ /時間
ピーク回収量	48.4m ³ /時間	38.5m ³ /時間	41.6m ³ /時間	37.2m ³ /時間

第2週のテストのテスト結果は以下の通りである。

	1. 35m V字形 オイルフェン ス、ポンプ付	2. 40m V字形 オイルフェン ス、回収部付	3. 船内静置＋ サイドスイープ	4. サイド油回 収機＋サイドス イープ
エマルジョン排 出量	30m ³	30m ³	18.5m ³	20m ³
含油量	9.9m ³	-	6.8m ³	10.2m ³
回収量合計	23.4m ³	.*	22.5m ³	20.5m ³
含水率	69%	-	78%	70%
含油量	7.3m ³	-	4.9m ³	6.1m ³
効率 変動 x	73% 50～80%	-	72%** 50～80%	60% 40～75%
全テスト期間中 のエマルジョン 回収量	31.2m ³ /時間	-	23.4m ³ /時間	28.2m ³ /時間
ピーク回収量	46.8m ³ /時間	-	.****	36.6m ³ /時間

x 変動とは、例えば前面の船からの排出から OILREC 船のタンクへの回収までの、全測定値の不確定さ全体を表したものである。

* エマルジョンを吸引するほどポンプが強力でなかったため、全く油を回収できなかった！

** 排出量が 18.5m³ しかなかったため、高過ぎる値になっている。計画では 30m³（他と同様）であったが、排出船に搭載したポンプが故障した。

*** バイパスホースが正しく接続されていなかったため、ピーク量を測定できなかった！

観察と検討：

この非常に包括的な水面油テスト計画から得られた結果を評価するにあたって、ノルウェー外洋の海洋条件でこのような意欲的な（かつ費用のかかる）計画に取り掛かったのは全く始めてであることを覚えておくといいたい。 - PFO としては、海況を 2.5mHs の波と 12 ~ 13m/秒の風に設定できればもっとよかったが、この目標からはそれほど外れていなかった。最大の課題は、正確な計測を数多く行なうことであった。そのため、前述の表で《効率変動値》x に言及しているのである。x は潜在的な誤差に関するテスト指揮者の心配を示しており、信頼に値する！

現在の北海の基準では、エマルジョン回収率はあまり高くなく、1 時間あたり 40 ~ 50m³ である。V 字形オイルフェンスでは、曳航速度は大抵 1.0 ノット以上であった。U 字形で曳航されるオイルフェンスの制約と、0.7 ~ 0.9 ノットではオイルフェンスの下から油が逃げるといふことを考えると、成功と考えるべきである。

この種の現実的テストの有用性も証明された。例：物理的耐久テストでは、樹皮（油の代用）が no4 《サイド回収機》付近に集まらないという結果になったにも関わらず、油によるテストではそのような欠陥は現れなかった。

テスト計画全体では、達成可能と思われる改良点に対する見込みがある課題と機会がメーカー 4 社に与えられた。V 字形オイルフェンス（No1 及び No2）のメーカー 2 社はその 2 つの設計の中で最良と思われる特徴を一緒にした。続いて、フリーボード 1.5m のものを製造したが、これは 1980 年代のノルウェーの油流出緊急時対応において非常に重要な油包囲ツールになった。更に、これが、最大能力で作動するために高濃度の油を必要とする、高能力の浮動式オーバーフロー油回収機の開発の助けになった。NOFO の水面油テストについては次章を参照のこと。

4.2 1985 年 6 月、NOFO の水面油演習。

1980 年に NOFO は、1977 年の BRAVO 暴噴で使用されたものと基本的に同じ油回収装置で、定期的な水面油演習を開始したが、1984 ~ 1985 年になって初めて大きな改良が行われ新しい装置のテストが行なわれた。このセクションでは、1985 年 6 月に実施された大規模で非常に包括的な水面油演習について記述し、詳細について討論する。

1985 年 6 月の水面油演習は NOFO と SFT との合併事業であった。計 13 隻の船舶が召集された。その内訳は以下の通りである。

- 油流出対応船 11 隻、この内 4 隻は OILREC 船として、7 隻は曳航船として機能した。
- タンカー 1 隻
- 立会船 1 隻

更に、機械的油回収システム 4 基（基本 1、バックアップ 3）は、図 no.5 の通り運転された。

NOFO の基本：

2 ポートシステムの操作には以下が使用された。

クロスブライドルで支えたフリーボード 85cm の 500m ガイドオイルフェンス（衝立式）と、フリーボード 1.3m で水中型水平ネットボトム付の V 字形オイルフェンスとから成る、全く新しい総合油包囲システム。

及び、

内蔵スクリュウ、遠心ポンプ、瓦礫切断装置を持つ新しい浮動式オーバーフロー油回収機。外洋でオーバーフローレベルをほぼ一定に保つように設計されたフローター付きのフレキシブルスカートで囲まれているオーバーフロー油回収機。油回収機は、排出ホースと油圧ホースとエマルジョンプレーカーホースの内蔵セットで、長さ 100m の浮動ホースに接続された、浮動ホースはホースドラムに巻いて保管され、クレーンで引き出されて、V 字形オイルフェンスの頂部に端を下ろして油回収機にホースをつないだ。

NOFO の第 1 バックアップ：

3 ポートシステムの操作には以下が使用された。

フリーボード 1.3m で水中水平ネットボトム付の V 字形オイルフェンスの両側に取り付けられた、長さ 200m、フリーボード 85cm のガイドオイルフェンス。

ネットストッキング内に排出ホースと油圧ホースの結合アセンブリを持つオーバーフローポンプステーション、- V 字形オイルフェンスの側面から、近くにいる OILREC 船までのびている。

SFT の第 2 及び第 3 バックアップ：

3 ポートシステムの操作に以下が使用された。

U 字形に曳航した 400m 充気式オイルフェンス。オイルフェンスはフリーボード 80cm、

スカートのドラフト 1m、フェザーネット 50cm で、外洋でオイルフェンスに改良されたダイナミック（持上げ）レスポンスを与えている。

第 2 バックアップシステムで油回収を行なうためにクレーンを作動させ、垂直ロープモップ油回収機を使用した。

第 3 バックアップシステムで油回収を行なうために、海水インジェクター付オーバーフロー油回収機をクレーンで作動させ、排出ホースの摩擦を和らげた。ホース摩擦が小さいと回収能力が大きくなると予想された。

測定と記録：

油厚、油回収率、全般的な演習成果を適切且つ正確に測定し記録するために、NOFO は下記のような一連のハードウェアとソフトウェアを導入した。

目視観測と記録のために

空中用（夜間記録用赤外線カメラを含む）及び OSC/OILREC 船フリッジ用のフィルムカメラとビデオカメラ。

水中監視のために

基本オイルフェンスシステム内で操作するビデオカメラ付 ROV。

記録と測定のために

OSC/OILREC 船のデッキに 40 フィートのラボコンテナがあり、新しいオーバーフロー油回収機からのポンプ輸送量、分離水分とエマルジョンの量、エマルジョンの水分とエマルジョンのサンプリング装置等に関するデータがバイパスラインを通して連続的に記録された、更に、油回収機の油圧、油流量、パワーパックと油圧ポンプ内の温度及び温度が測定された。モニタには、海洋ブイから継続的に届く風速、風向、波高、海流と移動方向、気温、水温等の、ウェザーリポートも取り入れた。

最後に、浮動式油回収機ヘッドまわりの油厚を小型作業船から手作業で測定した！

演習中に使用したエマルジョンは、STATFJORD 海底油田の原油を蒸発させたもので、12 時間後の原油油膜をシミュレートできるように事前に海水と混合した。粘度は 7,800cp から 10,000cp になった、バックアップシステムを後の位置まで曳航した後、エマルジョンを基本システムの前面のタンカーから海洋へポンプで排出した。1 回の排出量を最大 100m³ とし、合計 550m³ を排出した、あまり重要でないテストの場合は、30m³ に減らし、バックアップシステムのテストに使用した。

天候：

テスト期間を通して、南西の強風が吹き、1.5m (Hs) の有義波高が生じていた。これは新装置の最初のタイムトライアルにとって適正なテスト条件であった。

油エマルジョンの回収結果：

テストしたシステム：	2ポート	基本	3ポート	第1バックアップ
項目/テスト番号	1	2	3	4A
エマルジョン排出量	104m ³	69m ³	102m ³	82m ³
エマルジョン回収量	80m ³	83m ³ 1)	72m ³	66m ³
2) 原油のシステム損失	17m ³	-11m ³ 1)	19m ³	10m ³
3) 有効油回収時間	37分	67分	118分	238分
4) システム能力	130m ³ /時間	74m ³ /時間	37m ³ /時間	17m ³ /時間
5) 実油回収能力	185m ³ /時間	170m ³ /時間	85m ³ /時間	50m ³ /時間
6) エマルジョン最大回収能力	220m ³ /時間	215m ³ /時間	130m ³ /時間	120m ³ /時間
7) エマルジョン+海水最大回収能力	280m ³ /時間	223m ³ /時間	185m ³ /時間	240m ³ /時間

注：回収結果の測定にはプラスマイナス 10%の変動が考えられる！

- 1.エマルジョン回収量が排出量より多かった。これは、エマルジョン中の海水比率が増加したためである。-また、テスト1の一部が残っていた。マイナス(-11)は、テスト2で排出量以上の油が回収されたことを意味している。
- 2.システム損失とは、このテストのみによる損失のことである。すなわち、バックアップシステムが回収した分は含まれない。
- 3.有効回収時間とは、回収ポンプの油圧モーターが作動している時間を意味している。
4. システム能力とは、有効回収時間全体における平均的回収能力の結果である。

5.実油回収能力とは、平均水準値が 15 インチ以上のときの能力を表し、その間、能力は油回収機へのエマルジョン流入量によって何ら制約されない。

6.最大エマルジョン能力とは、3 分間維持される最高のエマルジョン流量である。

7.最大合計能力は、3 分間維持される最高のエマルジョンと水の流量の和である。

ラボコンテナ以外のソースからの記録は以下の通りである。

- 1 ノットの曳航速度では最大油厚 50cm。

- 曳航速度が 1.5 ノットまで上がると、油厚は V 字形オイルフェンスの頂部で相当厚くなり、オーバーフロー油回収機への流量の増加が認められた。

- 通常のカメラによる空中撮影写真に、青い輝きでエマルジョンの少量の漏れが写っていた。これは広範囲に広がり、一部は頂部の後にエマルジョンの長いすじになって縦に伸びていた。

- ROV の水中ビデオに以下が写っていた。

・恐らく波動が原因と思われる、オイルフェンスのスカート部からのポンプのような動き。

・オイルフェンススカートの外向きの傾き（短いボトム張力ラインによって生じた）。

・漏れ出したエマルジョンの非常に小さい粒子（小滴）や水の小滴は、薄い油のフィルムで覆われていた。

検討：

この検討は、テストした中で最も有望な下記の油回収システム 2 つに焦点を当てて行う。

- 2 ポート基本システム、及び

- 3 ポート第 1 バックアップシステム。

最大回収能力（海水+エマルジョン）が 300m³/時間近くになったのはこれが初めてであり、それに応じてエマルジョン能力は余裕を持って 200m³/時間を超えた。このような飛躍的な結果が得られたのはテストを行った基本システムのみであった。

基本システムの浮動式油回収機は、100m クレーンで操作する浮動ホースを使用するものであり、非常に扱いやすい（1人で可能）ものであった。扱いやすいのは、V 字形オイルフェンス中で油エマルジョンが最良の濃度を示す頂部に油回収機ヘッドの配置をする際も同様であった。油回収機ヘッドの暫定回収（瓦礫を詰まらせないで修理を可能にするため

に)も同様に簡単であった。回収システムがオイルフェンスシステムから独立していることがこのように大きな利点となった。 - しかもたった 2 隻の船しか使用しないのである！

油回収機ヘッドを限界の天候条件で使用したにも関わらず、フロート付のスカートは波動に追従してオーバーフローを十分に調整することができた。 - 演習には小さな技術的調整が必要であると分かったが、結果が大変有望であるため、NOFO はこの種の新しい油回収機について全て行うことを決定した。

オイルフェンス曳航形態：

この演習によって、U 字形や J 字形オイルフェンスシステムよりも V 字形オイルフェンスの方が、油回収機ヘッド付近に厚い油層を集めることができることが証明された。

- ・ OIREC 船から V 字形オイルフェンスまでの短い《内側》ガイドオイルフェンスによるり、100m ホースの端に取り付けられた浮動式油回収機ヘッドが頂部へ流れて行けるようになっていいる。

- ・ 《外側》ガイドオイルフェンスによってシステムに最適の掃集幅が作られ、一方でクロスブライドルによってガイドオイルフェンスの角度を最大 25 度に調整できる。

- ・ 水中型水平ネットボトム - V 字形オイルフェンスの形を維持すること以外は - V 字形の後に広範囲にわたる垂直方向の海流を安定化させ広めることにもなる。これによって、油がオイルフェンスの下から逃げないうちに、U 形や J 形よりも曳航速度を速くできる。

このように完全統合油包囲システムの操作には、操船の優れた 2 隻の船と、操舵室によく訓練された乗組員がいることが必要である。OILREC 船は、船首舵と可変ピッチプロペラを両方共に持っているのが、理想的である。舵輪にいる 2 人の乗組員 (OILREC 船と曳航船) は、コース調整のために非常に密接にコミュニケーションをとらなければならない。これは、V 字形オイルフェンスの変形を避けるために重要である。

テスト中、浮動式油回収機ヘッドが、V 字形オイルフェンスのフリーボード周辺のネット保護装置にからむ傾向があることが分かった。このネット保護装置は単に外してしまえばいいことが後になって分かった。完全統合油包囲システムのデッキ操作に改善が必要であろう - 展開中及び回収中に必要な甲板員が多すぎて、時間がかかり過ぎた！

3 ポート第 1 バックアップシステムも、油が中心に均一濃度で集まる V 字形オイルフェンスに助けられた。しかし、システムのポンプステーションは、瓦礫が詰まり、その上 3 番目の船による排出ホースと油圧ホースの結合セットの曳航には多少神経を使った。

ポンプステーションは、動きが妨げられないよう、頂部から持ち上げる必要があった。これは、時間がかかる上に多少危険な作業でもあった。なぜなら OILREC 船はオイルフェンスに非常に接近しなければならず、ポンプステーションを海から回収するために船自身のクレーンを使用しなければならなかったためである。- 排出ホースと油圧ホースは、機械的な損傷を与える可能性もあるオイルフェンス側面を通さなければならなかった。

一般に、3 ポートの第 1 バックアップシステムは吸入能力が低く、2 ポート基本システムほどの働きはしなかった。

これは、1980 年の最初の演習以来、最も安価で包括的な NOFO 水面油演習であった。しかし、統計データと検討結果から、この演習は非常に成功したことが分かった。

4.3 1986 年 11 月、北海の英国領域でのオクシデンタル・パイプライン破損。

11 月 26 日、北海の英国領域で Occidental Petroleum 社の Piper/Claymore 海底パイプラインからおよそ 2,500 トンの原油が流出した。1 日漂流した後、流出油は 26km² の油膜となった。英国側は、油膜は 11 月 29 日までにかかなり消散したと報じたが、強い偏西風のため残留分がノルウェーの領域まで漂流してきた。

12 月 4 日、SFT によって飛行調査が実施され、非常に風化した油を含む油膜が報告された。油膜はベルゲンの真南にあり（多数の鮭の養殖場に危機が迫っていた）、非常に海岸に接近していたため、SFT は NOFO システム 1 つと SFT システム 2 つの動員を要請した。- Occidental は以前に 2 つのタグと一緒に油膜を追うシングルシップサイドスイープシステムを備えたノルウェー船を数日間チャーターしたことがあった。これらの船舶により、悪天候の中、ホースで放水し蒸気を吹きつけることによって油膜を破壊しようとした。

NOFO システムは迅速に動員され、12 月 5 日早朝に現場に到着した。OILREC 船 (S/V Gullbas) 1 隻、及び曳航船 (F/V Knester) 1 隻であった。当時、一つの油膜が、およそ 5 × 2km の範囲に広がり、大部分が青く光っており、厚いエマルジョンケーキになっていた。上空飛行と現場指揮船からの調査に基づいて、SFT は、油膜には 2000 トンの油エマルジョンが含まれていると指摘した。エマルジョンケーキのサンプルを測定した結果、45 ~ 47% の海水を含み、粘度はおよそ 28,000cp であった。

NOF0 の OILREC 船は、フリーボード 85cm で長さ 500m の衝立式オイルフェンスを、内部クロスブライドル 55 インチの J 字形に展張した。風は北東から 10~11m/秒で吹いており、波は前日が強風であったため高かった。オイルフェンスシステムが油膜に接近する際の曳航速度は 1.2 ノットであった。

1986 年 12 月 5 日以降の航海日誌の記録は以下の通りである。

- 12 時 40 分： 油が厚い層になってきたため、曳航速度を 1 ノットに減らす。
- 14 時 00 分： 北東の風 7m/秒。クレーン操作の 100m ホースシステムを持つ浮動式油回収機を投入した。
- 14 時 05 分： 油回収機のポンプを始動させた。
- 14 時 30 分： 23m³ が回収された (平均ポンプ速度 55m³/時)
- 14 時 45 分： 42m³ が回収された (平均ポンプ速度 76m³/時)
- 15 時 00 分： 風が 13.5m/秒まで強くなった。
- 15 時 10 分： オイルフェンス内の油が無くなったので、回収を止めた。
合計 72m³ が回収された - 平均ポンプ速度は 96m³/時間であった。
- 15 時 15 分： 500m オイルフェンスシステムを南西に回転する。
- 15 時 40 分： 南西に 250 度回転させ、OSC 船が発見した別の油膜の方に向ける。
- 16 時 00 分： クロスブライドルワイヤが切れた。
- 16 時 10 分： 500m オイルフェンスシステムの回収を開始した。
- 17 時 00 分： 西北西 300 度の風、24m/秒
- 18 時 05 分： オイルフェンスシステム全体をデッキ上に戻した - ひどい強風 (27m/秒) での最終回収。

曳航に 1 時間 35 分、平均ポンプ速度 66.5m³/時での回収に 1 時間 5 分かかった。この間、風は 9m/秒から 13.5m/秒まで増し、波は恐らく 3mHs 近かっただろう。

NOFO のシステムは翌日 (1986 年 12 月 6 日) も使用した。一晩中強風が吹き荒れ、エマルジョンケーキは更にばらばらに分散された。正午、SFT の飛行機から油膜が発見された - 油膜は大部分が青く光っているように見えた。14 時 00 分まで強風が吹き続けた (北東の風、18m/秒)。風がおさまったので、14 時 40 分に 500m J 字型オイルフェンスシステムを展張し、4~5 時間にわたって油膜中を曳航した。極少量の油がオイルフェンスの中に蓄積し、SFT 船をオイルフェンスの J 字のボトムに横付けし、垂直ロープモップ回収機を使用して、2m³ の油エマルジョン及び極少量の水を回収した。

検討：

この現実の油流出によって、100m クレーン操作の浮動ホースを持つ浮動式油回収機付外洋 500mJ 字型オイルフェンスシステムが、強風と恐らく 2.5mHs を超える波の中できちんと作動することが明らかになった。オイルフェンスの回収中に切れたクロスブライドルワイヤの張力は極めて高かった（10 トン以上）か、オイルフェンスの強度は問題ないことが証明された、浮動式油回収機システムも、技術的又は物的損害なしで荒天候に持ちこたえた。

NOFO 全体の外洋長期開発において、沖合の油包囲及び回収システムは、1976 年以降ノルウェー環境当局の要求を満たしていた。

4.4 1990 年 9 月、NOFO の水面油演習。

いつもと同様、この演習は、ノルウェー西海岸から 120 海里沖にある BP の Ula 油田付近で実施された。これは NOFO の演習であるが、この時 SFT の唯一のシステムはバックアップとして参加していた。ただし、排出量が 20m³ と比較的少ない場合については、SFT の垂直ロープモップ回収機のテストで優れた結果が得られた。

完全な NOFO システム 3 つ（1 つは、新型自動充気式オイルフェンスを含む）、SFT システム 1 つ、船内回収装置を有する BP シングルシップ、サイドスイープシステム 1 つが使用された。

UK は監視飛行機と油処理剤散布用飛行機で、ノルウェーはヘリコプタと監視飛行機で、デンマーク、オランダ、スウェーデン、フランスはそれぞれ監視飛行機で参加した。立会船には国内外の多数の立会人が乗船した。

この章では、最も重要な排出（Gullfaks 油田からの排出 No6 の 250m³ 油エマルジョン（海水含有量およそ 70%））の際に投入された、資機材、船舶、航空機について記述している。これは演習の中でも最大規模の排出である一方、初めての大規模な夜間排出であることに特別な重要性を持っていた。ヘリコプターで、オイルフェンスシステムの前面 1000m のタンカーの排出位置からの漂流パターンを調査し、FLIR システム（前方監視赤外線カメラ）の観測に基づき、OSC/OILREC 船に油膜への着手法を指示した。

NOFO の基本 2 ポートシステムは、以下から構成されていた。

- クロスブライドルで支えた 100cm フリーボード（円筒形）を持つ長さ 420m のガイドオイルフェンス、及び 1.5m のフリーボードと水中型水平ネットボトムを持つ V 字型オイル

フェンスに分けられた、統合油包囲システム。

- 1985年6月以来基準となったNOFOの浮動式350m³/時の油回収システム
- この装置は、OSC/OILREC船《Far Turbot》で操作した。

NOFOの第1バックアップ2ポートシステムは、以下から構成されていた。

- 上記と同一の装置。

SFTの第2バックアップ3ポートシステムは、以下から構成されていた。

- U字型に曳航した長さ200mの80cmフリーボードオイルフェンス(円筒形)
- クレーン操作の85m³/時の垂直ロープモップ回収機(このシステムはU字の広頂部に横付けした3番目の船で操作する)

NOFOの第2バックアップシステムが使用されたが、新しいオイルフェンスの充気ホースに欠陥があり、稼動しなかった。

《Far Turbot》は、FLIRやその他の空中監視受信装置だけでなく、1985年のパッケージと比較して改良された測定機器を持つNOFOのラボコンテナを40基持っていた。演習を補佐し監視するその他の方法としては、以下のものが挙げられる。

- 海洋ブイから無線発信された海流や漂流の予測
- 夜間双眼鏡
- 飛行機のSLAR(側面監視機上レーダー)及び赤外線装置。

排出No6。

タンカーはおよそ250m³のエマルジョンを120m³/時の割合で、19時35分から22時30分の間排出した(完全な暗闇の中)。

天候。

快適というにはほど遠い天候で、以下の通りであった。

- 平均風速6m/秒の北西の風
- 最高2.7mHの1.5mHsの波
- 波周期5秒
- 平均海流0.1ノット

油回収と油回収結果：

タンカーが排出を始めてからほぼ 2 時間後に油回収を開始し、21 時 28 分から 22 時 53 分までの 85 分続けた。

《Far Turbot》に搭載のラボコンテナで測定した基本システムの油回収結果は、以下の通りであった。

- 流量計による全量（海水を含む）：	322m ³
- このうちエマルジョン（海水 76%）は：	162m ³
- 逆算した原油の回収率	61.1%
- 3 分間の最大ポンプ速度	310m ³ /時
- 15 分間平均の最大ポンプ速度	300m ³ /時
- 3 分間の最大エマルジョン速度	263.6m ³ /時
- 15 分間平均の最大エマルジョン速度	235.2m ³ /時

ポンプのパルプが閉じていたため、第 1 バックアップシステムは何も回収しなかった。SFT の第 2 バックアップシステムは、81%の海水を含むエマルジョン 4m³ を回収した。

ポンプ速度（合計及びエマルジョン）の説明については図 No6 を参照のこと。

討論：

これは、初めて暗闇で NOFO の水面油演習を FLIR の指揮で実施し成功したものであった。オイルフェンスシステムに入る前に、曳航ラインの下から逃げる油エマルジョンがあることが、FLIR のヘリコプタのビデオから明らかになった。油膜は恐らく比較的穏やかな天気
で弱い海流のため、かなりの幅に広がった。よって、油 OILREC 船《Far Turbot》のポート側からも逃げた。FLIR ビデオでは、基本システムのオイルフェンス（ガイドオイルフェンスでも V 字型オイルフェンスでもない）の下からの漏れは大したことはなかった。

FLIR が操縦するヘリコプタが高性能に補佐していても、明るい日光の下で行なうよりも、気づかないうちに油エマルジョンが漏れ出す暗闇で行なう方が、よりロスが多いことは疑いない。

この夜間演習の詳細を考慮すると、最初の上空飛行は高度 1000 フィートから 1500 フィートで、FLIR カメラをズームせずに行なうべきであるといっているだろう。そうすれば概要を掴むことができる。その後のフライトでは低空飛行を行ない、カメラのズームを行なうこととする。

- 海面の茶色がかった部分で測定したエマルジョンの厚さは、1.3 ~ 2.1mm の間で変化していた。しかし、油膜の中では厚さの変化が重要である。夜間排出（No6）のエマルジョン量を推定するために、小さく浮動性の油膜の平均の厚さは 1mm であるとみなした。

主な油膜で厚さを計算した結果、平均約 3mm であった。これらの計算は、36,000m³ で赤外線測定された油膜、及びエマルジョンの排出量 110m³ に基づいている。この推定は、NOFO による完全な暗闇での油回収作業から得られた最初の経験によっているため、多くの制限を考慮すべきである。

最後に異なる物質についてのコメント。油膜の漂流予測が非常に有益であることが分かった。演習中には表の形で与えられたが、オペレータは油膜地図で提示する方がよかったと思われる。

4.5 1995 年、NOFO の水面油演習。

背景：

この演習は 8 月に Frigg 油田で実施し、天候は 2.7m/秒の偏西風で、1mHs の波条件であった。海流は非常に緩やかで 0.1 ノットであった。

NOFO の船隊は、OILREC 船 1 隻と曳航船 1 隻をそれぞれ持つ 2 つのシステムから成っていた。SFT は、沿岸警備隊船《Nordsjobas》を OILREC 船として、F/V 《Smaragd》を曳航船と OILREC 船として演習に参加した。

NOFO の OSC 船には、以下が搭載されていた。

- クロスブライドルで支えられ、J 字形で曳航した長さ 400m の頑丈なオイルフェンスシステム (1.3m フリーボード)
- 350m³/時の浮動式油回収システム
- 40 フィートラボコンテナ
- 現場監視用軽航空機 (軽航空機は甲板から飛び立ち、高度 300 フィートで係留し続けた)
- ヘリコプタダウンリンク送信用受信局
- 環境データ (ブイから送信) の測定用装置
- 油漂流モデルプログラム

監視飛行機 (w/SLAR/IR/UV) 及び FLIR カメラを搭載したヘリコプタから、航空支援も得られた。

本論文では演習計画の排出 3 に的をしぼっている、(初めの 2 回の排出では油処理剤テストを行ない、暗闇での排出 No4 はエマルジョンの不安定性による問題のためかなり減らした。)

排出 3 は SFT の沿岸警備隊船《Nordsjobas》の、システム全体のテストを目的とした。

- V 字型オイルフェンスセクションを持つ、直径 800mm、長さ 235m の完全統合油包囲システムの曳航テスト (0.5-1.0-1.5 ノット)

- V 字型オイルフェンスセクションの頂部の油厚を連続的に測定するための新高周波変換器のテスト

- 250m³/時の浮動式油回収機システムのテスト

- 回収した油を船上のマニホールドを通して、曳航式一時油貯蔵囊まで汲み上げる。

- 後にいる OILREC 船に、曳航式一時油貯蔵囊の中身を海上で排出する。

SFT がこの種の完全なテストを実施したのは初めてであり、OILREC 船のタンク能力に潜在的不足がある場合は、外洋航行一時油貯蔵囊に排出する必要がある。

NOFO の船舶のうちの 1 隻が、油エマルジョンを CG/V Nordsjobas のおよそ 400m 前方に排出した。航海日誌の記録は以下の通りである。

開始：16 時 05 分

停止：16 時 26 分 (全排出時間 21 インチ)

総排出量：50m³ (143m³/時で)

油エマルジョン：29m³、海水 52%*

粘度：900cst

正味油量：14m³

分離海水：21m³

*エマルジョンは前回の 67.5% よりも不安定になった。

オイルフェンス曳航：

オイルフェンスシステムは 12 時 30 分に展開され、ログデータによると、オイルフェンスは、以下のように油エマルジョン中を曳航された。

油中曳航テスト：16 時 26 分～16 時 40 分 (14 分)

オイルフェンスの頂部からの油回収：16 時 40 分～17 時 39 分 (59 分)、250m³/時の油回収機を使用

オイルフェンスからの最後の油回収：18 時 30 分*

*250m³/時の油回収機を停止した時には、まだ頂部の中に油エマルジョンが多少残っており、これは約 1 時間後他の SFT 船の垂直ロープモップ回収機で回収した。

オイルフェンスから一時油貯蔵囊に汲み上げられた量：

測定は CG/V Nordsjobas 上のマニホールドで実施した。

全量	97m3 このうち
分離水	56.4m3
油エマルジョン	40.6m3
含水率	66% (ラボコンテナにてチェック)
正味の油回収	13.8m3 (40.6 × 34/100)
排出量	14.0m3
回収率	98.5%

注：測定値の正確さにはプラスマイナス 10%の誤差がある！

一時油貯蔵囊から OILREC 船に汲み上げた量：

全量 78m3	このうち
分離水	47.4m3
油エマルジョン	30.6m3
含水率	66%
汲み上げた油	10.4m3 (30.6 × 34/100)
回収率	74%

CG/V Nordsjobas 上に回収されて囊に汲み上げられた量と、NOFO の OILREC 船上に汲み上げられた量との差は、2つの点によって説明できる。

CG/V Nordsjobas の不適切な取扱が原因で一時貯蔵囊に小さな亀裂があったこと、また囊を空にする間に間違った取扱をしたため船尾の過重によって連結部が破損していたことである。

曳航速度と油厚測定：

新しい変換器を油回収機ヘッドと接続し、頂部の油厚を測定した。添付の図 No.8 は、海洋を走る船の曳航速度と V 字型オイルフェンスの頂部で測定した油厚の間の関係を示している。

データは 3 分ごとに記録した。曳航速度が 1 ノットから 1.3 ノットに上がった 17 時 01 分から 17 時 24 分までのピーク期間が、最も興味深い期間である。ピーク期間以前の油厚は 0.5 ノットで 11cm 未満であったが、ピーク期間の油厚は平均で 30cm を大幅に超えるまで

に厚くなった。曳航速度を速くすると、より多くの油がV字型オイルフェンスの頂部に押しやられ、より多くの油が油回収機に送られた。汲み上げられた分離水の量の記録にも、まったく同様の現象が見られた、回収する油エマルジョンの量が最高であったこの23分間は、分離水はかなり減少した。

まとめ：

最初の24分（16時37分～17時01分）： 11.2m³ エマルジョンが回収された。

次の23分（17時01分～17時24分）： 19.4m³ エマルジョンが回収された。

最後の15分（17時24分～17時39分）： 10.0m³ エマルジョンが回収された。

最初の期間にはオイルフェンスシステムはまだ満たされつつあったが、最終期間には空になりつつあった、-回収速度は、16時37分から17時01分の平均で100m³/時、次に17時01分から17時24分は80でm³/時に減少し、その後、平均110m³/時になった。

最終結論：

不安定なエマルジョンの取扱いの困難さのために演習全体が妨げられたが、演習のこの部分は計画通り実施された。しかし、決定的結果を与えるはずのエマルジョンの量は少かった。SFTは、油包囲、回収、及び一時貯蔵システム全体の性能には満足した。

5. 1977年のEKOFISK BRAVO以来今日までのノルウェーの油流出対応準備の進歩。

ノルウェーの油流出準備は20年以上を経てかなり進歩したが、NOFOの水面油演習に多大な功績があることは疑いない。この種の実体験は、流出中に何が起きているのかについて理解する上で絶好の機会を与えてくれる。しかし、ノルウェーの努力の多くが原油流出に焦点を合わせているところに、潜在的な弱さがあるのかもしれない。これは全く同じ流出が繰り返されることはないためである。重質油（例えばバンカー重油）の流出は、原油流出と比較するとずっと費用がかかり、扱いが難しいのである。そのため近年のSFTは、有効な外洋能力と沿海・沿岸の防除能力の両方を含む油流出対応策の開発に、より積極的な役割を果たしているのである。