

## Xバンドレーダを用いた流出油検出\*

Cathrine N.Egset\*\* Elisabeth Nost\*\* 原 裕 英\*\*\*

### Automatic Oil Spill Detection by Marine X-Band Radars -New System Based on Processing of Digitized Radar Images

The OSD(Oil Spill Detection) system's main objective is to detect oil spills on the sea surface, and to track the oil spill over time. The system provides help both for those supervising oil fields, and those in charge of clean-up operations. The OSD system has been thoroughly tested during several field trials in the North Sea. During these trials the spill size, sea state and wind conditions varied throughout, thus enabling realistic real time testing. The OSD system may operate in complete darkness or fog, and for 24 hours per day. This greatly enabling recovery and skimming operations when visibility is poor.

The Miros AS Company has developed the OSD system in close co-operation with the Norwegian Clean Seas Association for operating companies, thus complying with the NOFO practical and operational requirements. To identify an oil spill, the OSD system uses advanced image-processing algorithms on radar images and extracted by the Miros Wavex System. The OSD system is based on the fact that areas covered with oil will reflect less microwave power. This is due to the damping of capillary waves on the sea surface.

#### 1. はじめに

海上で原油流出事故が発生した場合、環境への被害を最小限に食い止めるために流出油防除作業を効率よく行う必要がある。そのためには、精度の高い流出油に関する情報が必要である。海面を漂流する流出油の正確な位置、範囲、移動方向に関する情報は機材や油処理剤を用いた油濁防除作業時に大変重要である。

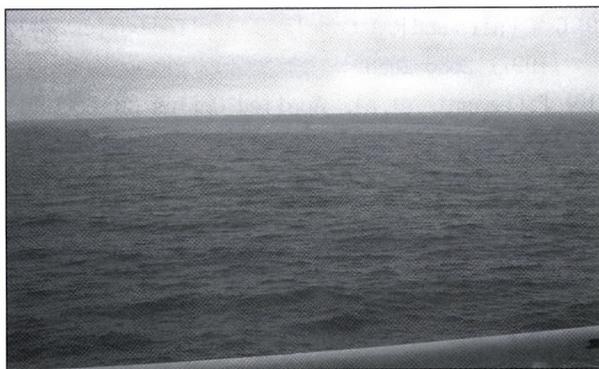


図1 海面を漂流する流出油(ブリッジより)



図2 海面を漂流する流出油(航空機より)

通常、流出油情報とその精度は現場の視界と照度に大きく影響される。(図1、図2)

効率的な油濁防除作業を行うためには、現場からの情報とリモートセンシングで得られた情報を統合し運用することが重要である。なぜならば低視界時には現場から視覚的にもたらされる情報は非常に限定されるからである。そのような状況下では、人工衛星や航空

\*原稿受付 平成 19年 6月 20日.

\*\* MIROS 社 (ノルウェー)

\*\*\* 三興通商株式会社

機から最新のセンサを用いて観測した流出油情報といえども防除作業を行ううえで十分とはいえないケースが散見する。ノルウェーのミロス社で開発したOSD (Oil Spill Detection) システムはビューフォート風力階級2から6の気象条件下で現場の視界と照度の影響を一切受けず、霧の中や夜間でも連続的に検出可能な船舶搭載型の流出油検出システムである。OSDシステムはセンサとして船舶用Xバンドレーダを使用し、受信した後方散乱波を最新のデジタル技術で処理し流出油の漂流位置や拡散等の情報を表示する。図3に実際の流出油検出状況の表示画面を示す。

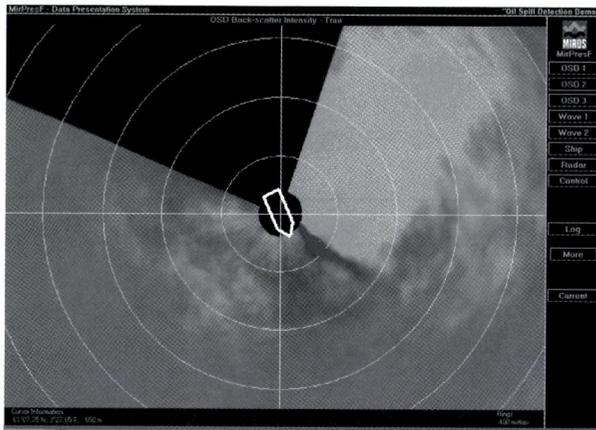


図3 流出油検出状況表示

## 2. ミロス社WAVE Xレーダ波高計

ミロス社はノルウェー政府機関との共同研究により、1996年に船舶用Xバンドレーダの受信信号から有義波高その他の波浪状況のモニターが可能な、船舶や石油リグ等の海洋沿岸構造物に搭載可能なレーダ波浪検出システムWAVE Xを開発した。OSDシステムは、WAVE Xレーダ波高計をベースに開発されている。図4にWAVE Xの構成を示す。

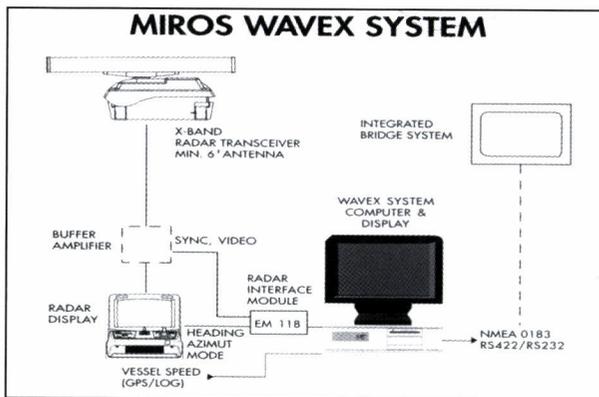


図4 WAVE Xシステム図

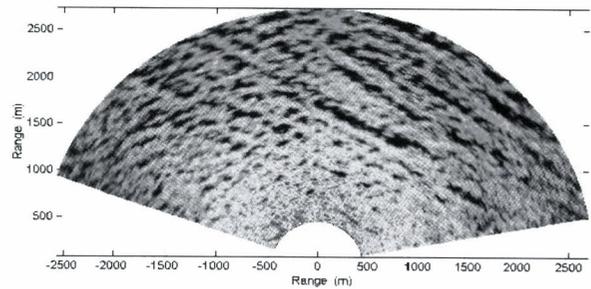


図5 海面の波浪パターン

最近ではほとんどの船舶に搭載されている航海用のXバンドレーダは、波長3cm、9GHz帯の電波を短時間発射する。電波が物体にあると反射するため、物体の有無と往復に要した時間より物体までの距離がわかる。アンテナは一定速度で回転し電波を次々に発射するため船舶周囲の状況が把握できる。9GHz帯の電波は海面の波でも反射する(Sea Clutter)。航海中には海面反射は不要信号として除去されるが、WAVE Xレーダ波高計では海面反射波を利用し波浪計測を行う。図5にWAVE Xが海面反射波を処理して作成した波浪パターンを示す。WAVE Xはほとんどの船舶用Xバンドレーダをセンサとして使用できるように設計され、船舶用波浪モニターシステムとして安全で効率的な運行管理に貢献している。WAVE Xは開発最終段階の評価プログラムで、北海で1年間に及ぶ長期実用性評価テストを行い、高い実用性と測定精度(波高0-30mにて測定誤差5%)が実証されている。WAVE Xシステムはノルウェー船級協会より形式承認(A-7338)をうけている。(図6)

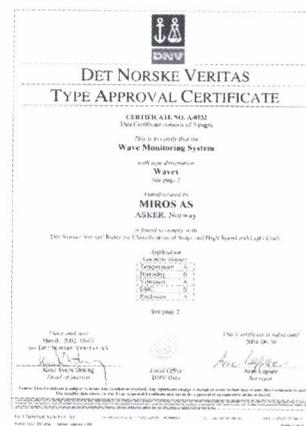


図6 DNV型式承認書

WAVE Xは現在の波浪状況、過去に遭遇した波浪データを乗組員にビジュアルに提供し安全な航行のための有効な手段となっている。図7にWAVE Xレーダ波高計の計測中の表示画面を示す。

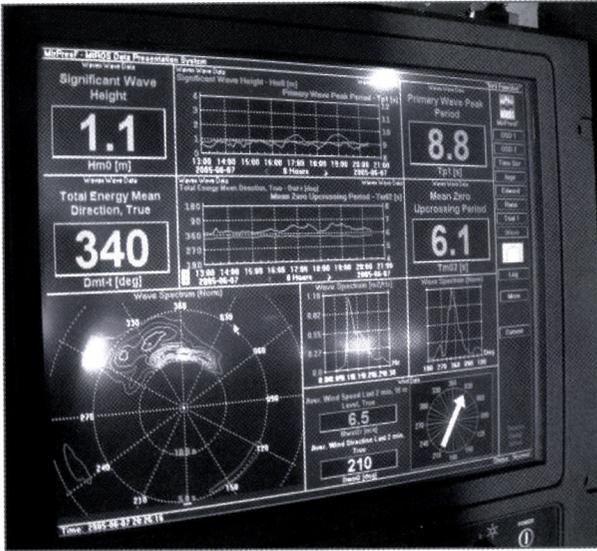


図7 WAVEX表示画面

特に荒天時や日没後等、視界のきかない環境の中で乗組員がリアルタイムで海面の状況をモニターでき、波浪計測が可能である。従って乗員は夜間でも常に最適な航行速度や方位を決定できる。高速船ではWAVEXの有義波高データにより、常に耐航性能を超えない安全でスムーズな運航が可能になり、定時性の維持や乗客の快適性に貢献している。タンカー、コンテナ船、LNG船、自動車運搬船、FPSOでも波浪による船体・貨物への損害を低減するために単独もしくは、気象センサや物理センサと組み合わせて航行支援システムとして使用されている。

WAVEXで使用可能なレーダの仕様は以下の通りである。

- ◎ 水平ビーム幅 : 1.3度以内
- ◎ アンテナ長 : 6フィート以上
- ◎ 回転数 : 24-48回転/分
- ◎ パルス幅 : 50-80ns
- ◎ 繰返周波 : 1000-2000Hz
- ◎ アンテナ設置高度 : 海面上15-45m

WAVEXの精度は以下の通りである。

- |        | 範囲     | 分解能  | 誤差         |
|--------|--------|------|------------|
| ◎ 有義波高 | 0-5m   | 0.1m | 0.25-0.50m |
| ◎ 有義波高 | 5m以上   | 0.1m | 10%以内      |
| ◎ 波浪周期 | 3-18秒  | 0.1秒 | 10%以内      |
| ◎ 波向き  | 0-360度 | 1度   | 20度以内      |

### 3. OSDシステム

OSDシステムは前章で説明したWAVEXをベースに開発された。通常、風速が2m/sを超えると海面にリップル(Ripple, さざ波)が発生する。海面を流出油が漂流しているとその部分だけはリップルが発生しないため電波の反射が弱まる現象を応用し流出油を検出している。今までの観測では外洋で海面上の風速が2m/s以下になることはたいへん稀であった。

OSDシステムの流出油検知可能範囲は、アンテナの高さに依存する。表1にアンテナ設置高さに対応した流出油検出範囲を示す。アンテナは海面上15m以上へ設置することが実用的な流出油検出範囲を確保するため必要である。

表1 アンテナ設置高さとして流出油検出範囲

Antenna height	Radius	Area
15 m	1,7 km	9 km <sup>2</sup>
18 m	2,1 km	13km <sup>2</sup>
20 m	2,3 km	16 km <sup>2</sup>
25 m	2,9 km	25 km <sup>2</sup>
30 m	3,4 km	37 km <sup>2</sup>
35 m	4,0 km	50 km <sup>2</sup>
40 m	4,6 km	66 km <sup>2</sup>

Xバンドレーダからの情報は専用ソフトで処理されレーダカバーエリア内の海面情報が抽出される。データ処理中にレーダの動揺は自動的に補正され、方位情報も記録される。航行中の船舶やその他のノイズはデータ処理中にノイズ低減技術を駆使したプログラムにより削除される。図8のローデータイメージでは、波浪のパターンは識別できるが、この段階ではまだ流出油については明確に識別できない。左上に船舶からのエコーが見られる。

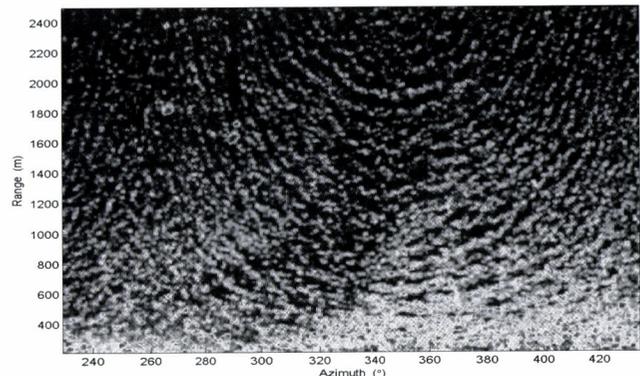


図8 ローデータイメージ

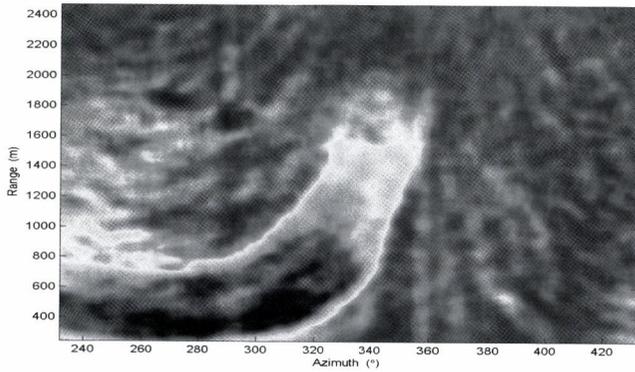


図9 後方散乱イメージ画像

画像処理とノイズ低減処理を行った図9の後方散乱イメージ画像では流出油をはっきりと確認できる。

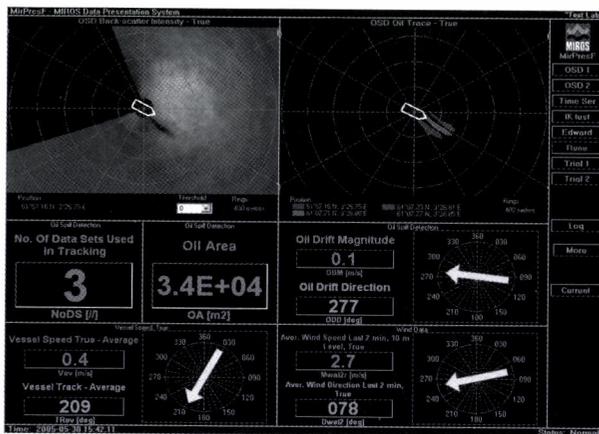


図10 OSD流出油表示画面

OSDシステムが海面上の流出油を検知すると、自動的に追跡を開始し位置、漂流、拡散情報を通報する。

流出油の追跡は連続的に行われ、漂流や拡散の状態は現在の本船位置に対して相対的な位置で履歴表示される。図10に示したとおりOSD表示画面には風向、風速、流向、流速、波高、波向等の情報も同時に表示される。表示画面左上は後方散乱イメージ画像、右上は流出油追跡画像である。

#### 4. OSD海上試験

ノルウェー沿岸では、石油資源の開発が盛んに行われ、また常時多数の外国船が航行している。ノルウェー政府は原油流出災害時の油濁防除技術は大変重要であると認識している。2000年以降OSDシステムはノルウェー政府の特別な許可の下に、海上での実油を用いた評価試験が行なわれている。図11に海上試験時の風景を示す。

実際の海上試験はNOFO (Norwegian Clean Seas Association for Operating Companies) が主体となり、油濁防除機材、油回収機の評価、乗員の訓練を兼ねて行なわれ、油濁防除機材の開発や訓練に大変役立っている。ノルウェーは、油濁防除機材の開発評価及び関係者の訓練のために実際に実油を使用しての海上試験が認められている数少ない国のひとつである。原油を使用しての海上試験は、環境に与えるダメージを最小限に抑えるため、実施に際して海域と時期は厳しく制限され、また十分な事前準備をしている。

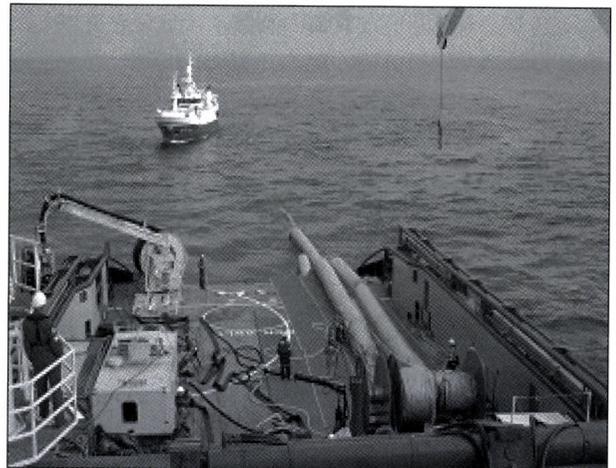


図11 海上試験風景

表2 試験時の放出油量と気象条件

Release	Quality	Amount	Average values of 10 min. Wind Speed <sup>1</sup> in m/s during observation of the oil spills		
			Mean	Min	Max
2000-1		60 m <sup>3</sup>			
2004-1	Diesel	400 l	3.2 m/s	2.2 m/s	4.9 m/s
2004-2	Crude <sup>2</sup>	200 l	3.1 m/s	2.2 m/s	3.7 m/s
2004-3	Crude <sup>2</sup>	100 l	2.8 m/s		
2004-4	Crude <sup>2</sup>	100 l	6.7 m/s	4.9 m/s	9.9 m/s
2004-5	Crude <sup>2</sup>	100 l			
2004-6	Crude <sup>2</sup>	100 l			
2005-3	Crude <sup>2</sup>	5 m <sup>3</sup>	7 m/s	4 m/s	9 m/s
2005-4	Crude <sup>2</sup>	5 m <sup>3</sup>	5 m/s	1.5 m/s	8 m/s
2006-2	Crude <sup>2</sup>	30 m <sup>3</sup>	4.7 m/s	3.3 m/s	5.6 m/s
2006-8A	Crude <sup>2</sup>	10 m <sup>3</sup>	2.2 m/s	0.1 m/s	2.1 m/s
2006-8B	Crude <sup>2</sup>	10 m <sup>3</sup>	2.7 m/s	0.2 m/s	3.3 m/s
2006-dA	Disp <sup>3</sup>	-	2.9 m/s	2.0 m/s	3.8 m/s
2006-dB	Disp <sup>3</sup>	-	4.6 m/s	2.6 m/s	7.0 m/s

過去に行った海上試験の時期、放出油量、風速を表2に示す。2004年の海上試験時には6回で合計1000リットルの原油を放出した。OSDシステムは、目的どおり船舶用レーダの信号からビューフォート風力階級2から6の気象条件下においてほぼリアルタイムで連続的に1海里以内を漂流する流出油の検出および拡散状況を追跡することができた。OSDシステムは、風速が2m/秒以下では海面にリップルが出来ないため測定できないが、外洋では海面の風速が2m/秒以下になることはまずないので実用上の問題はないと考えている。試験中、OSDシステムは常に油濁がはっきりと確認可能な良質の画像イメージを提供した。OSDシステムは評価のために連続的にデータを記録した。アンテナを海面上28mに設置した場合には、3.5km先を漂流する100Lの原油が明確に検出できた。図12に2004年に行った海上試験時の流出油を航空機から撮影した写真を示す。図13に同時に測定したOSD流出油検出表示画面を示す。



図12 2004年海上試験時の流出油を航空機より撮影

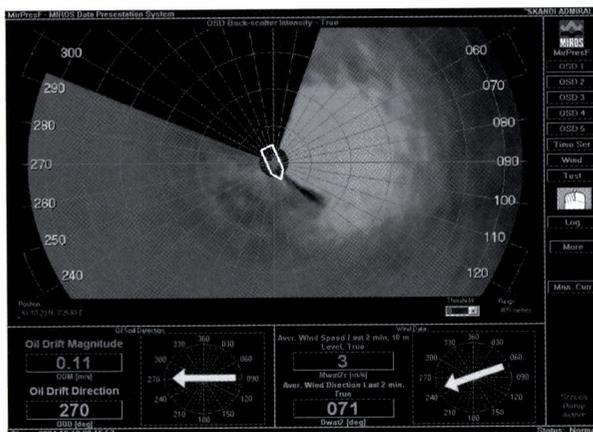


図13 2004年海上試験時(図12)の流出油をOSD画面表示

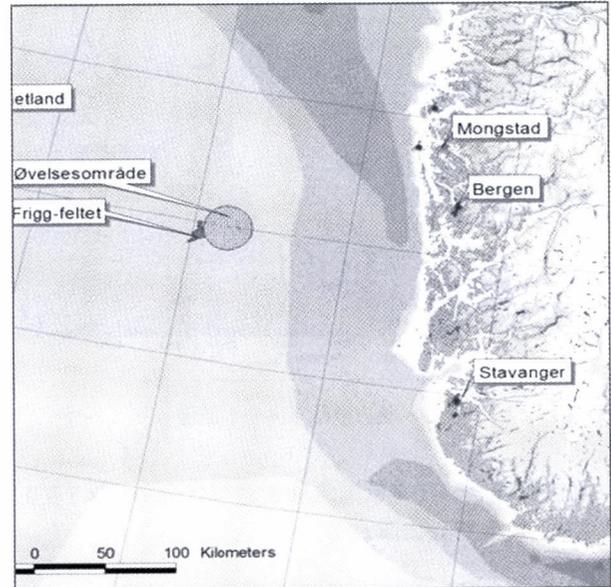


図14 海上試験実施海域

2005年の海上試験では、リアルタイムに全自動で流出油検出と追跡を行うミッションに関する評価試験を行った。2005年と2006年の海上試験はベルゲンの西方100マイルの海域で行われた。図14に海上試験実施海域の地図を示す。試験期間中、システムは期待通りの満足すべきデータを提供した。高品質の画像イメージにより流出油の自動検出は十分機能し、スクリーンに時間毎の漂流、拡散状況を表示した。



図15 航空機による上空からの観測

2006年の海上試験では異なる仕様のレーダを搭載した救助船3隻を同時に使用してOSDシステムの比較試験を行った。試験中は合計4機の航空機とヘリコプター1機(図15)を使用して空中から同時観測、撮影を行い海上試験終了後にOSDシステムの流出油データと比較検討を行った。試験中3隻のOSDシステムで検出した流出油データ、また試験後の航空機との比較データは驚くほどよく一致していた。

ビューフォート風力階級2から6の気象条件下でほぼ予想通りの測定結果が得られた。

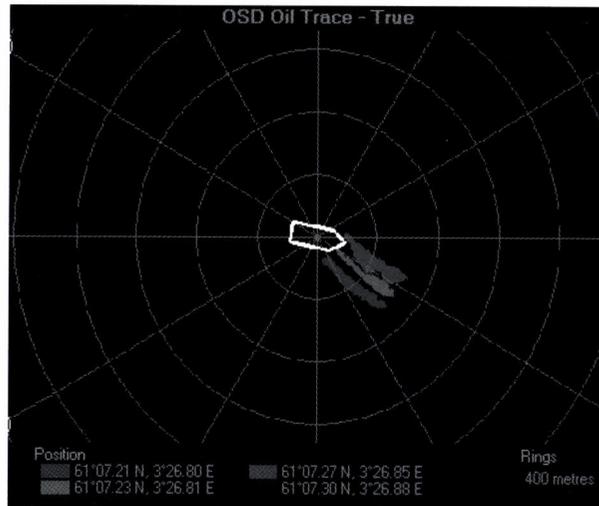


図16 時間毎の漂流、拡散状況表示

また2006年の海上試験で、OSDシステムは目視での監視が不可能な状況下でも十分に有益な情報を供給することを証明した。最終段階では数回の原油放出をあえて運用の有効性を確認するために薄暮中に行った。OSDシステムは視界不良の状況下においても何らの問題もなく図16の通り流出油を検出し、刻々移動する流出油の位置情報イメージを表示し、オペレータの効率的な操船を助け、OSDシステムの最大の開発目的である夜間の流出油回収作業を無事遂行した。(図17)



図17 流出油夜間回収作業風景

## 5. おわりに

油濁防除作業は大変複雑であり場合によっては大変長期間にわたる作業である。油濁防除資機材は高価であり、重量もあり、維持管理も必要である。少しでも早く流出油防除作業を開始して汚染被害を最小限に抑えるためには、機材が現地に到着する前にすばやく流出油の位置を正確に把握しておく必要がある。それにより油濁防除機材を最大限有効活用することが可能となる。経験豊富なオペレータが信頼できるリモートセンシング情報を利用した場合、効率的な油濁防除作業をおこなうことが可能となる。OSDシステムは正確な流出油の位置、サイズ(面積)、漂流方向の予測情報を提供する。海洋での実地テストにおいて信頼できる情報をリアルタイムで表示することが実証されている。さらに昼夜を問わずごく少量の流出油でも検知することも証明された。海上試験の良好な結果によりNOFOでは9セットをノルウェー沿岸に配備することを決定し、順次運用を開始している。通常はWAVEXのみを機能させ、航行中はリアルタイム波浪計として使用されている。また最近、ブラジルでも評価のために試験運用が開始されている。

## 参考文献

- [1] J. H. S. Andersen, "Oil Detecting Radar onboard Supply Vessels – Objectives and Functional Requirements," Report No. 4005100-150, NOFO, Norway, March 2004, in Norwegian, unpublished.
- [2] R. Gangeskar, "Automatic Oil-Spill Detection by Marine X-Band Radars," in *Sea Technology*, August 2004.
- [3] Ø. Grønlie, *User Manual – WAVEX Marine Radar Wave Extractor, Version 4*, Miro Document 1300/TH/005, rev. 01, November 2005, unpublished.
- [4] R. Gangeskar and E. Nost, "Oil Spill Detection System: Results from Field Trials October 2004," *Environmental Problems in Coastal Regions VI, Including Oil Spill Studies*, Editor C. A. Brebbia, WIT Press, ISBN: 1-84564-167-1, pp. 377-386, 2006.
- [5] E. Nost and C. N. Egset, "Oil Spill Detection System: Results from Field Trials," *Conference Proceedings MTS/IEEE Oceans '06 Boston*, 18-21 Sept. 2006, ISBN 1-4244-0115-1.