29　海洋汚染監視システムの高度化について

装備部　＊樋富　和夫、山之内　博、田口　昇
山岸　　進、山口　良隆

1．まえがき

ロシア船籍「ナホトカ号」重油流出事故によって、日本海沿岸は大規模汚染に発展し、荒天時の海上における防除技術とその作業を支援するための監視技術の必要性が再認識された。

そのような開発研究の要望を背景として、実績を有する当所のレーザレーダ技術を海洋汚染監視システムに適応し、昼夜を問わない監視、汚染状態のリアルタイム情報の提供が可能な蛍光ライダのプロトタイプを開発した。[1)]

開発したシステムの検知性能を検証するため、小型船舶やビーチクラフトに搭載し海上観測実験を実施し、問題点が抽出された。[2)~4)]

本研究は、その問題点を解決し、より実用的なシステムとすることを目標として、平成１２年度から３年計画で船舶技術研究所指定研究として着手された。

本報では、実海域実験で得られた問題点に触れ、検討した対応策を実験結果をもとに考察する。

2．海上観測実験で得られた問題点

小型船舶搭載観測実験では、連続画像取得時に欠落画像が見られたが、これは同期の不一致とＣＣＤカメラの回路の不具合によるもので、その問題は解決済みである。システムの維持問題に当たるが、飛沫の塩対策は考慮しなければならない。

航空機搭載観測実験では、以下の問題点があった。

1）旋回等で高度が変わると蛍光等のスポット画像が得られない。
2）現システムでは、油の有無判定はできるが、油防除資機材の選定に必要な油性状の識別ができない。
3）高度３００ｍでスポットの直径は約１ｍであり、広域の監視を行うには折り返し飛行探査で時間を要する。
4）気圧変動によって、レーザ用冷却水が漏れ、レーザにインターロックが掛かる。

問題点４は気圧変動対応型レーザに換えることで解決し、問題点３は現システムに合ったスキャナー等の開発要素が含まれているため次期課題と位置付けている。

従って、本報では問題点の１と２について述べる。

3．受光開始時間制御の自動化

開発した蛍光ライダーシステムは、図１のＹＡＧパルスレーザと超高感度ＣＣＤカメラを基本として、図２に示す装置で構成される。この構成は航空機搭載時のシステムである。

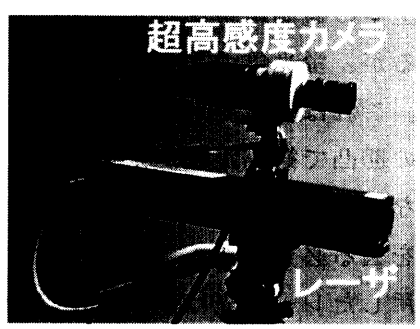


図１　蛍光ライダの概要

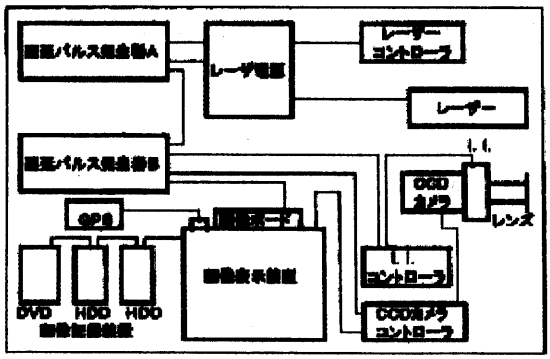


図2　システムの構成

このシステムを作動させた場合、まずパルス幅６ｎｓの紫外光（波長；約３５５ｎｓ）は０．１秒（１０Ｈｚ）の時間間隔でレーザから海面へ発射される。パルス光が当たった流出油は、分子が励起された後に蛍光を発する。その蛍光を超高感度ＣＣＤカメラで受光し、蛍光スポットを含むカメラ視野内の画像として、画像表示装置に連続的に記録される。

この一連の制御は遅延パルス発生器で行われる。レーザ光の発射から蛍光を受光するまでの時間は観測距離（高度）によって異なるため、観測距離が変わる場合は遅延パルス発生器で受光開始時間を手動で調整する必要があった。

航空機による観測実験前に観測距離と受光開始時間の関係式を求めておき、実験に際しては高度1,000ftの水平飛行で実施した。

図３に琵琶湖上空における観測結果を示す。

速度140knot、高度1,000ft水平飛行実験で、連続的スポットが観測された。図４に兵庫県香住町海岸上空の観測結果を示す。地形等は観測されているが、蛍光等のスポット画像は得られなかった。これは、観測地点が狭い区域で、旋回や地形の凹凸で観測距離が変化するためで、常に有効なデータを得るには受光開始時間調整の自動化を図る必要があることを示す結果であった。使用したレーザ光は基本波長（1064nm）の第３高調波（355nm）であるが、基本波長と第２高調波（532nm）も含まれている。パルス光が流出油に到達したとき、まず油面で反射光

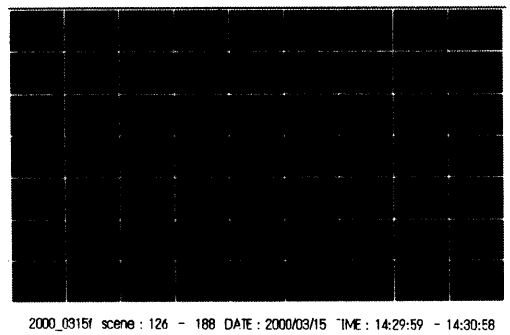


図３　琵琶湖における連続スポット画像

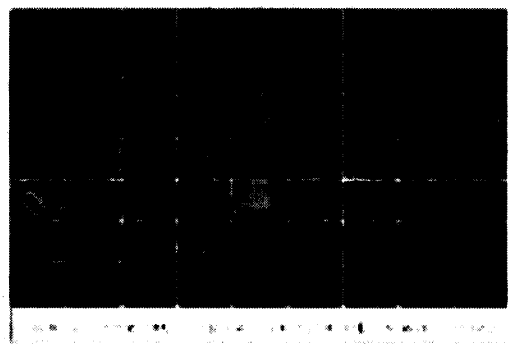


図４　兵庫県香住町における旋回時画像

と入射光に分かれ、反射光は受光側に進み、入射光は油膜と海水中に進入する。入射光は油膜通過時に油の分子を励起した後、蛍光を発生させる。蛍光は反射光より数１０ナノ秒遅れて受光側へ進む。すなわち、反射光は、蛍光よりも早く受光できることを利用し、受光開始時間制御のトリガ信号として、かつレーザの発射から受光までの時間計測によって高度計測信号として用いることができる。また、波長532nmの第２高調波光は海底地形のリモートセンシングに用いられおり、エリカ号重油流出事故による仏国海洋汚染で問題となった海水中に沈んだ油塊

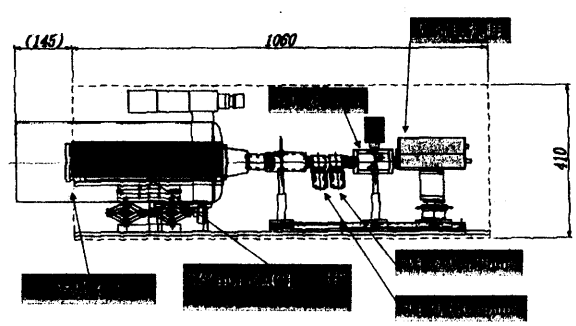


図5　新システム

の検知に利用できるため、図５に示すシステムを製作した。

図６にこのシステムを用いた実験例を示す。（ａ）はシステムを設置した三階実験室からターゲットの円筒タンクを見た風景である。（ｂ）は、レーザ発射８０ns前のＱスイッチ信号（下側）とフォトマルで受信した532nm反射光信号（上側）のオシロスコープ画像である。Ｑスイッチ信号と532nm反射光信号の時間差は約２５０ns、即ち反射光は８５ns｛=(250-80)/2｝で受光したことになり、システムからタンクまでの距離は２５．５mと計算で求まる。

タンクの縁に潤滑油を浸み込ませた紙ウエスを設置し、532nm反射光信号を受光開始時間のトリガー信号として夜間に取得した連続画像を図７に示す。潤滑油の蛍光観測に成功したが、バックグランドノイズの除去に有効なイメージインテンシファイアのゲートを掛けた場合、蛍光は観測できず、反射光信号利用法に更なる工夫を要することが分かった。

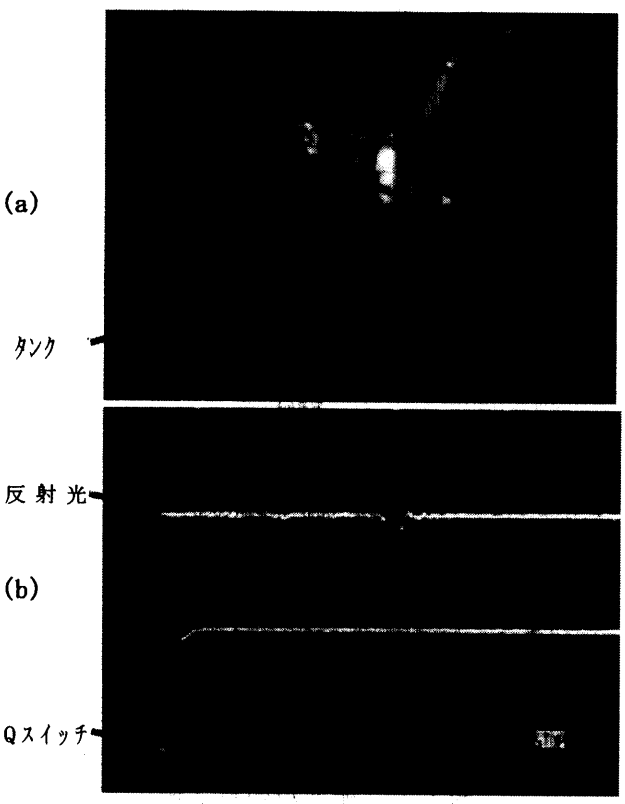


図６　新システムによる実験例

図７　反射光トリガによる取得スポット画像

４．油性状の識別

油性状の識別は防除資機材の選定や、タンカーの通常運航で油が微量流出したときに何処から漏れているかを判断し対処を行う場合に必要になっている。

識別を行う場合に油類等の蛍光スペクトルから比較する波長を決定する必要がある。

図８に蛍光スペクトル計測の概要を示す。

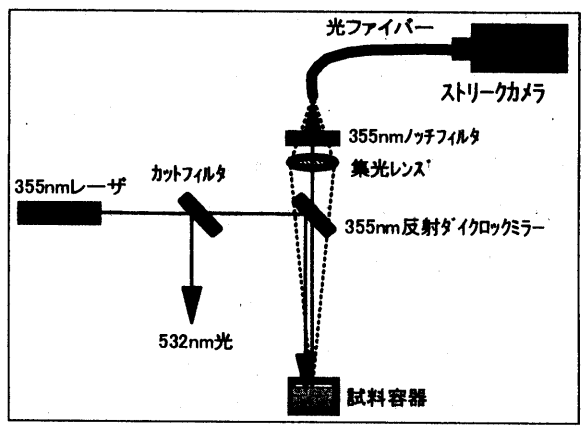


図８　蛍光スペクトルの計測概要

計測状態は、レーザ光の基本波と第２高調波を排除した以外は蛍光ライダーシステムと同じである。蛍光スペクトルは積算回数を２００回として求めた。図９に計測結果を示す。　計測した油類では３つのパターンが見られた。(a)は軽油と海水で台形状スペクトルの４２０nm付近に最大強度がある。(b)はシステム油、Ａ重油、船尾管潤滑油（システム油）で三角形状スペクトルの４３０nm付近に最大強度がある。(c)は廃油（軽油、Ａ重油、Ｃ重油）、原油、Ｃ重油で三角形状スペクトルの４９０nm付近に最大

強度がある。図10にＣ重油の注入量を変えた場合の蛍光スペクトルを示す。油量を増加、即ち油膜厚が増加した場合、蛍光強度は増加する。

図11にＣ重油（10ml）とＡ重油（0.05ml）の蛍光スペクトルを示す。４８０nm付近で蛍光スペクトルが交わっており、その波長付近のみでは識別は困難となる。従って、検知波長を増加させ、識別精度を向上させる必要がある。

５．あとがき

反射光をフォトマルで検知する機能を付加した本システムは、野外実験や実海域実験で検証し、改善を図った上で、より実用的な装置とする予定である。

また、識別精度を向上させるため、最適検知波長数を決定する必要がるが、決定に当たっては、油以外の物質も含めた蛍光スペクトル・データベースの構築が必要である。

蛍光ライダーシステムを微量流出油の油種簡易判定法への応用という課題提供並びにご協力を頂いたＮＹＫ輸送技研・藤田恒美氏及び各位に御礼申し上げます。

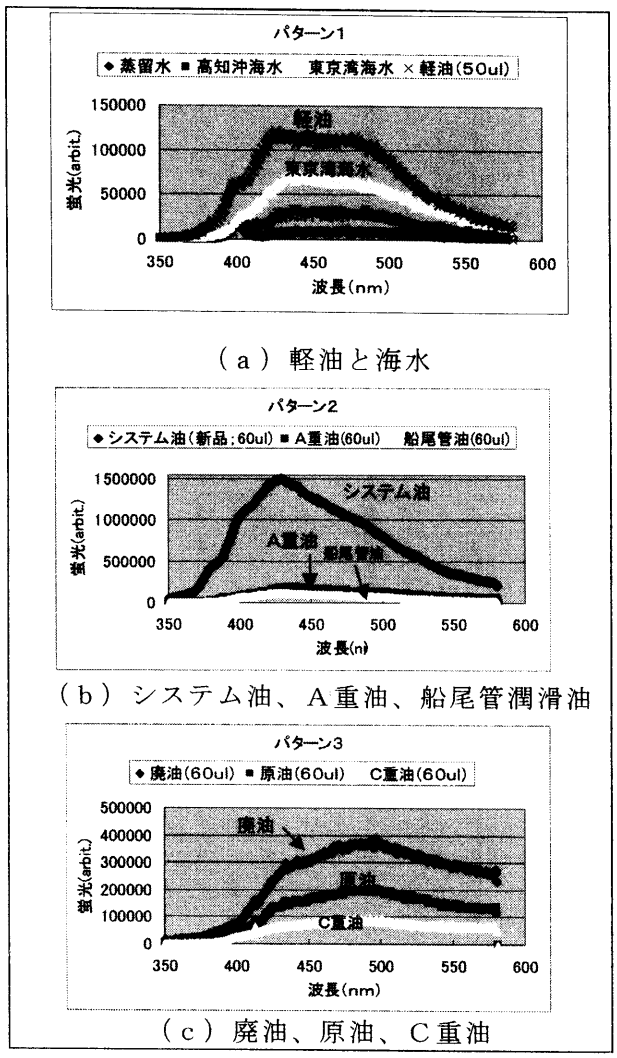
参考文献

１）蛍光ライダーによる海洋汚染の検知に関する研究
第１報：第６９回船舶技術研究所講演集、１９９７
第２報：第７１回船舶技術研究所講演集、１９９８

２）蛍光ライダーによる海洋汚染の検知に関する研究
第３報：第７３回船舶技術研究所講演集、１９９９
第４報：第７４回船舶技術研究所講演集、２０００

３）SPIE, Development and test of a compact lidar for detection of oil spills in water1, 2000

４）INTERNATIONAL OIL SPILL CONFERENCE, DETERMINATION OF LIDAR SIGNAL FROM IMAGES OF BACKSCATTERED NATURAL LIGHT ON WATER SURFACE, 2001



（ａ）軽油と海水

（ｂ）システム油、Ａ重油、船尾管潤滑油

（ｃ）廃油、原油、Ｃ重油

図９　油類の蛍光スペクトル

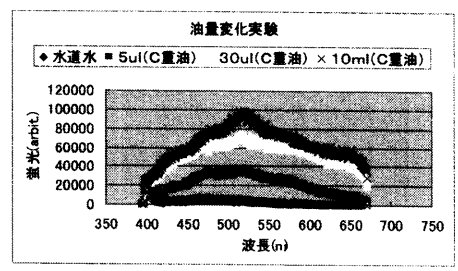


図１０　油量変化の蛍光スペクトル

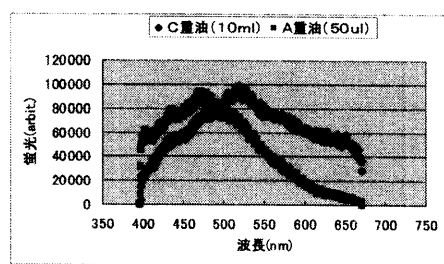


図１１　識別が困難な例