

海洋汚染監視システムの高度化について（第2報）

環境・エネルギー研究領域

リモートセンシング研究グループ *樋富 和夫、山之内 博、田口 昇

海洋汚染防止研究グループ 山口 良隆、山岸 進（日本造船研究協会）

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。

第1報⁵⁾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示した。本報では、確立した対策や水中探査性能について考察する。

2. 海上観測実験で得られた問題点と対策

航空機搭載観測実験では、解決しなければならない問題点が判明した。問題点に対して講じた対策について以下に示す。

2. 1 高度変化に対する対応

これは、旋回等で高度が変わると蛍光等のスポット画像が計測できないという問題である。

この問題に対する対策は、第三高調波（355nm）

m) YAGレーザのレーザ光に含まれる基本波（1,064nm）が海面で反射されるため、その散乱光をイメージインテンシファイア（以下、I. I. と表す）のゲート操作のトリガ信号として利用する方法である。

第1報では、観測実験によってトリガ信号として利用できることを示したが、ゲート操作を行う場合はI. I. の遅延（55ナノ秒）により蛍光寿命とのタイミングが合わず、信号受信法に工夫を要することを指摘した。

この対策法として、1回前のレーザ発射から海面反射光受光までの時間を記憶し、その時間を減算によって、次のゲート操作のトリガ信号に反映させる回路を考案（特願2001-273331号）した。

2. 2 気圧変動に対する対応

これは、離陸時における気圧変動によって、レーザ用冷却水が漏れ、レーザにインターロックが掛かりレーザが停止する問題である。

表1 気圧変動対応型レーザ仕様

・レーザ:	YAGパルスレーザ(BIG SKY)
・エネルギー:	32~ 72mJ(355nm) 90~140mJ(532nm)
・パルス幅:	13ns以下
・ビーム広がり角:	4mrad以下
・繰り返し周波数:	10Hz
・寸法と重量	
ヘッド部:	84×94×323, 3.63kg
電源部:	216×290×457, 19kg
・使用環境:	10~40℃

この対策として、気圧変動対応型レーザが13年度に整備された。その仕様を表1に示す。

2. 3 油類の高精度識別に対する対応

第1報では、現システムが油の有無判定に使用できるが、油防除資機材の選定に必要な油性状の高精度識別ができないため、蛍光検知波長の増加によって高精度識別が可能であること、を示した。検知波長の増加法として、リアルタイム観測構想を堅持して4波長を同時に観測できる図1の受光装置を考案（特願2000-243403号）した。

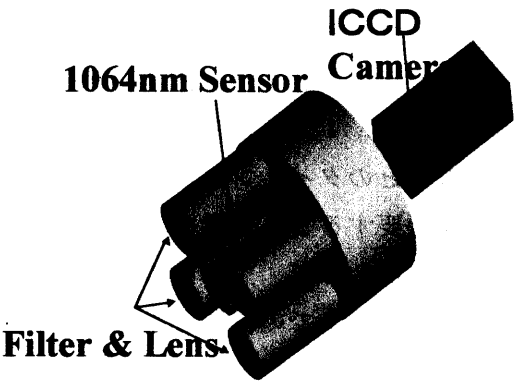


図1 4波長受光装置

3. 沈んだ油塊の検知

使用したレーザ光は基本波長（1064nm）の第三高調波（355nm）であるが、基本波長と第二高調波（532nm）も含まれている。

基本波長光は、2. 1節で述べてようにゲートのトリガ信号、更に観測距離（高度）の算出に利用される。

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ている。

1999年に発生した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の検知に、355nmレーザ光に含まれる第二高調波が利用できるか否かを調査するため、ストリークカメラ及び新受光システム

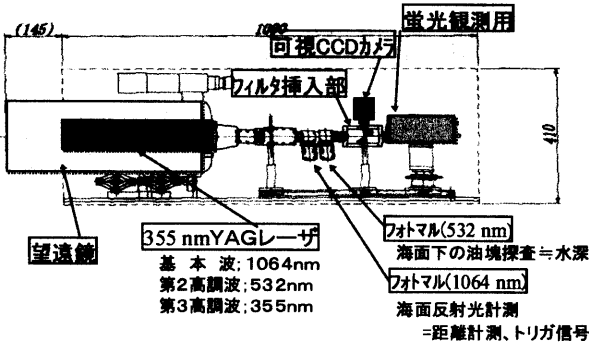


図2 新受光システム

（図2）を用いて水中探査性能実験を行った。

3. 1 水中散乱光等のスペクトル

水中散乱光のスペクトルを把握するため、レーザ（旧小型YAGレーザ）と反射光を光ファイバを介したストリークカメラにより野外に設置したFRP製タンク内の水道水、濁水、油膜に関する散乱光が観測された。図3に計測状態を示す。水面からFRPタンクまでの水中光路長は1. 68 m（空气中換算）、往復に要する時間は約11. 2 nsである。

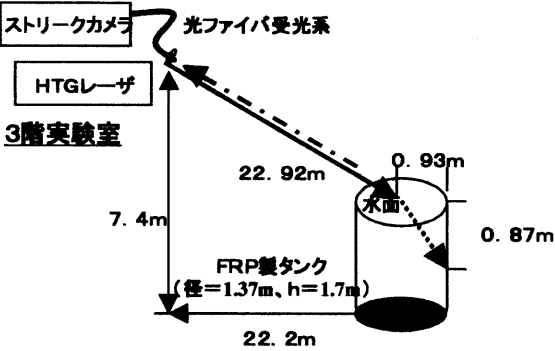


図3 計測状態

計測結果を図4～図6に示す。図4は水道水のスペクトルであり、横軸の波長405nmに355nm光のラマン散乱光が縦軸時間6～17nsの間に観測された後、FRPタンクの蛍光が波長380～600nm（縦軸時間17～50ns）に計測されている。また、横軸の波長532nmに第二高調波の水中散乱光（縦軸時間6～17ns）とFRPタンク側面の反射光（縦軸時間16～28ns）が観測され、

355nmレーザー光に第二高調波光が含まれている

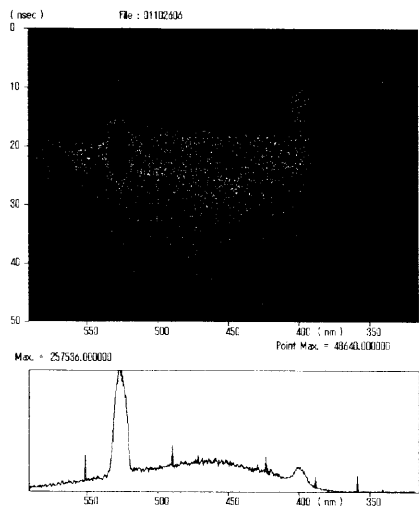


図4 清水の散乱光スペクトル

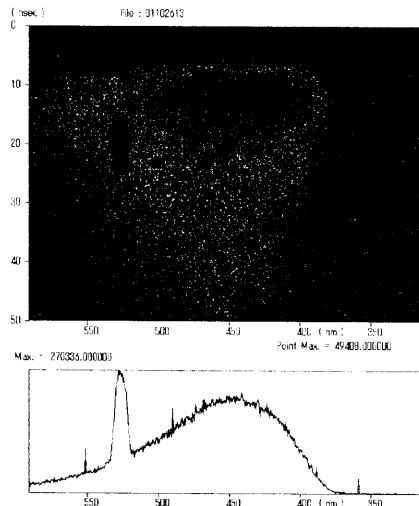


図5 A重油等のスペクトル

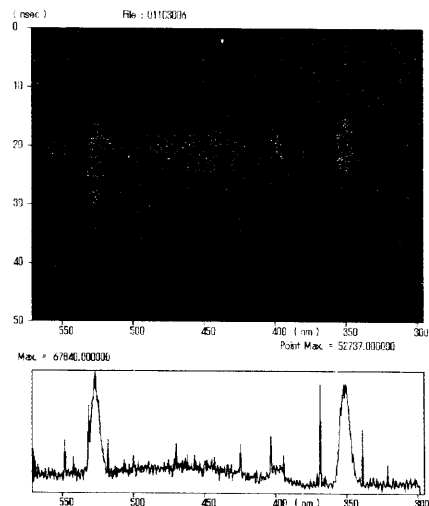


図6 濁水の散乱光スペクトル

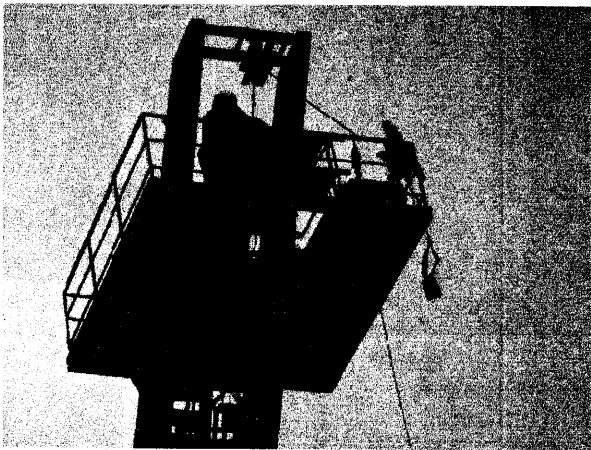
水面位置
↑
↓
11ns
FRP側面
位置

ことが可視化されている。

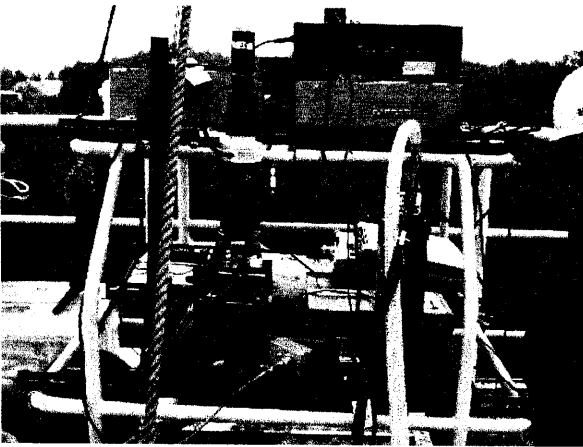
図5は、その表面にA重油100mlを浮かべた場合で、水面からの蛍光と第二高調波反射光のみが観測されている。図6は落下試験水槽の濁水の散乱光スペクトルを示したもので、図4の清水に比べ散乱光強度が減少し、濁度の程度によって第二高調波反射光が観測されない場合があることを示している。

3. 2 第二高調波光による水槽底面観測

航空機による観測を模擬するため、落下試験水槽の観測塔から水槽底面を新受光システム（図2）及びレーザー（気圧変動対応型）による

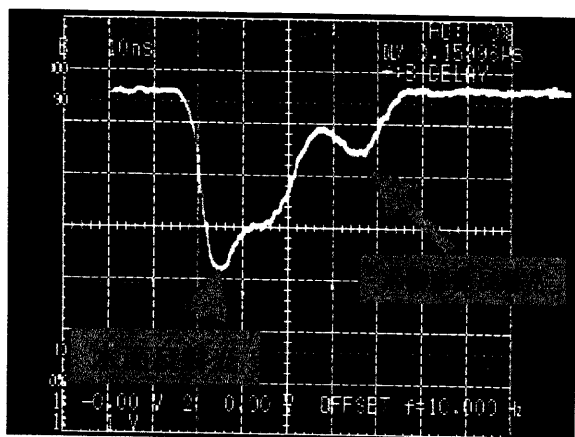


落下試験水槽の観測塔

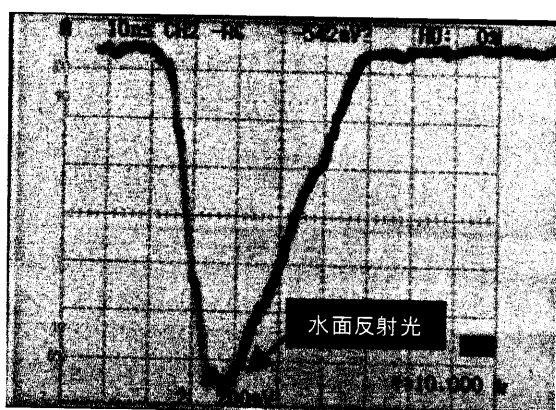


観測塔における設置機器

図7 落下試験水槽における観測状態



(a) 清水の水中散乱光(濁度100cm以上)



(b) 濁水の水中散乱光(濁度60cm)

図8 新受光システムの第二高調波による
水中散乱光観測

観測が行われた。散乱光の記録はアナログオシロスコープを介してコンピュータ等に記録された。観測装置から水面までの高さは約19.5 m、水深は3 mである。観測状態を図7に示す。図8(a)に清水(清掃後、地下水)の場合の水中散乱光を示す。532nmフォトマルはマイナス側の出力とされている。従って、マイナス方向の最大値が水面からの反射光で、それから約26.6 ns(空气中換算値; $1.33 \times 3 \text{ m} \times 2 \div 0.3 \text{ m/ns}$)に底面の反射信号が得られている。図8(b)に水槽の清掃前の濁水(濁度80 cm)の水中散乱光を示す。この場合は

底面の反射光が明確でなく、濁度(消散係数)をリモートセンシングで求める方法を検討し、観測可能な水深との関係を明らかにしたいと考えている。

4. あとがき

本研究は、3年計画の海上技術安全研究所指定研究を2年間で終了させ、本年度より地球環境保全一括計上費(3年計画)に移行した。観測対象物を有害液体物質に拡大し、2件の特許申請物品を組み入れたシステムを再構築し実用化を図りたいと考えている。また、水中探査に関しても、国土交通省総合政策局・建設技術及び運輸技術の研究開発費(3年計画)に移行した。この研究でスキニング法等に関して検討するため、航空機による観測実験で得られた問題点の1つである広域探査(高度300 mでスポットの直径は約1 mであり、広域の監視を行うには折り返し飛行で探査時間を要する。)に、その成果を活用し、オプションの技術として確立したいと考えている。

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
- 5) 海洋汚染監視システムの高度化に関する研究、第1回海上技術安全研究所講演集、2001