

紫外レーザー励起による流出油の蛍光検知

Fluorescence Detection of Spilled Oil by UV laser

*山岸 進、山之内博

S. Yamagishi, H. Yamanouchi

船舶技術研究所

Ship Research Institute

Abstract: The fluorescence lidar could positively discriminate oil on most backgrounds. Rugged systems mounted in ships and airplanes with real-time display could be significant extension of characterization of pollution detection. The time resolved fluorescence of oils excited by the 355nm of the YAG laser have been obtained with the streak scope. The fluorescing organics, which are part of oil, may be resolved into components according to their decay times. Gated operation will help to distinguish oil characteristics and to reduce back ground noises.

1. まえがき: ナホトカ号海難事故の経験から、輸送中の大量の油または化学物質の流出防除作業を支援する監視技術の重要性が再認識された。我々は、パッシブ手法やマイクロ波による方法を補うものとして、汚染画像を実時間表示する蛍光ライダーに関する研究を始めた。本報では、この蛍光ライダーの概要と室内実験結果について報告する。

2. 蛍光ライダーの概要: 紫外レーザーにより生ずる蛍光をバンドパスフィルターと高速ゲート操作可能なイメージンシファイア付 CCD を用いて観測し、実時間画像表示するシステムであり、Fig. 1 にその概要を示す。海水のラマン散乱光またはクロロフィルの蛍光にバンドパスフィルターの通過波長を合わせておけば、油膜部分が影として表示され、この減光度合いから膜厚さを推定することも可能となる¹⁾。水を対象とする蛍光ライダーの受光強度²⁾ は (1) 式で表すことができる。

$$E(\lambda, R) = E_L T(R_0) K_0(\lambda) \xi(R_0) \frac{A_0}{R^2} N_0 \frac{\sigma^F(\lambda_L, \lambda)}{4\pi} \frac{c \tau_d}{2} \gamma(R) \exp\{-k_T(R-R_0)\} \quad (1)$$

ここで、E は受光エネルギー、 E_L はレーザーエネルギー、T は大気透過係数、 K_0 はフィルター関数、 ξ はレーザー光と受光視野の重なり、 A_0 は受光面積、 λ は蛍光波長、 λ_L レーザー波長、R は距離、 R_0 は汚染物質までの最短距離、 N_0 は濃度、 σ^F は蛍光断面積: $\sigma^F = \sigma^A F(\lambda_L, \lambda)$ 、 σ^A は吸収断面積、F は蛍光量子効率、c は光速、 τ_d は観測時間、 k_T は汚染物質の消散係数、 $\gamma(R)$ は蛍光減衰特性の補正項を表す。液体資料の光学距離が厚いのでかなり大きな影響を与える。蛍光時間に比してパルス幅が十分長く、ゲート開放時間がさらに長い場合は $\gamma \equiv 2 / (k_T c \tau_d)$ で近似される。²⁾ いま想定したシステム (レーザー出力 1MW、広がり角 1mrad、受信望遠鏡の口径 20cm、 $\Delta \lambda = 10\text{nm}$ 、イメージンシファイア (I. I.) のゲイン $=10^4$) で、太陽光強度 $1.57\text{W}/\text{m}^2/\text{nm}$ 、視程 1km の条件のもとで算定すると有効距離は約 350m が得られる。液体への光の浸透度が必ずしも明確でないため、成分の濃度を直接測定することは困難であるが、成分識別情報は保持されており、昼間でも実用的な計測が可能と考えられる。現在、野外実験に便利な小型 YAG レーザーのパルス幅は数 nsec であり、市販のゲート時間 3 nsec の I. I. を用いれば、背景光雑音の除去と蛍光減衰時間特性を利用した成分識別が大きく改善できると考えられる。このためレーザーパルスと蛍光の時間特性についてさらに詳しく検討する必要がある。流出直後の高濃度油から海水とエマルジョンを形成した油等の多様な試料についての YAG レーザー THG(355 nm) 励起の資料は極めて少なく、実験を行った。

3. 蛍光特性の計測: YAG レーザーの 3 倍波 (THG) で試料を照射して、蛍光を入射方向に対して垂直方向から観測した。ストリークカメラ (HAMAMATSU) の時間計測レンジは 200nsec で分解能 50psec である。試料は人工石英セルに入れ、常温大気圧下で測定した。希釈溶媒として 355nm に対して無蛍光である n-ヘキサンを用いた。上記の方法で燃料油の分析を行った結果を Fig. 2 に示す。図中の等高線は相対的信号強度である。軽油、A 重油、C 重油それぞれ特徴が見られ、スペクトルはブロードなため単独でフィンガープリントとすることは困難であるが、同定の指標に用いることはできる。減衰の時定数は次式で示す 2 成分 EXP 項で近似して、繰り返し最小自乗法で求めた。

$$F(t) = \sum_{i=1}^N A_i \exp[-t/\tau_i] \quad (2)$$

スペクトル間隔 10 nm 毎の積分強度について減衰時定数を算出したものが Fig. 3 である。ただし、最も小さい第 1 項は数 nsec であり、励起レーザの影響が現れており、第 2 項がここで必要な減衰時定数に相当すると考えられる。短波長側の時定数は非常に小さく、長波長側の減衰時間はこれに比べて大きく約 25 nsec を示していることから、2つの蛍光特性が混合しているものと見なせる。

4. まとめ：小型軽量で実時間画像表示する蛍光ライダーのフイージビリティスタディを行い、実用性を確認した。YAG レーザ THG(355 nm) 励起による蛍光の実験により、燃料油や輸送量の多い化学物質についての成分識別及び検知感度についての資料を得た。軽油、A 重油、C 重油それぞれ特徴が見られ、同定の指標に用いることができる。蛍光特性を利用したゲート操作により雑音除去と成分識別能力をさらに改善できるであろう。

参考文献：1) Hoge, F. E. and Swift, R. N. (1980) Appl. Optics, vol. 19, p3269, 2) Measures, R. M. (1977) Appl. Optics, vol. 16, p1092, 3) Pleil, S et al., (1987) SPIE, vol. 743, p36, 4) Rosen, D. L., and Gillespie, J. B. (1992) Appl. Optics, p4214

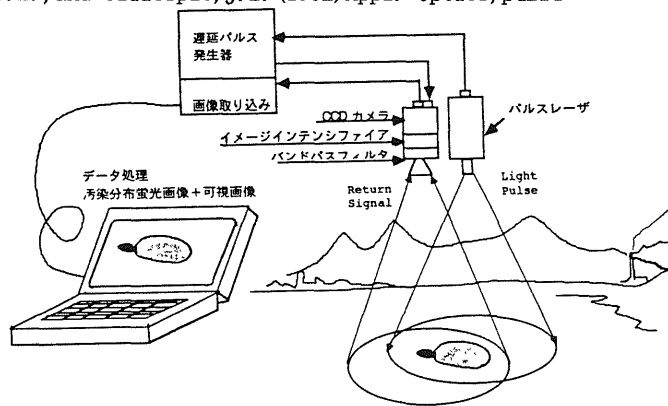
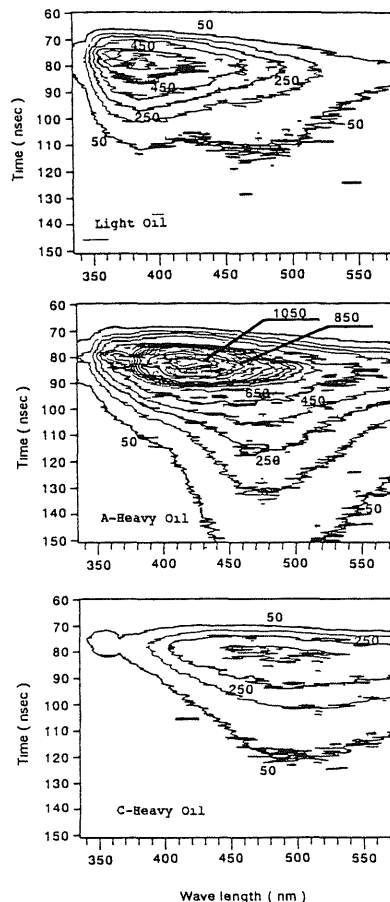


Fig. 1 蛍光ライダーシステム



← Fig. 2 油の蛍光時間分解スペクトル
試料は n-ヘキサン希釈
YAG THG 励起

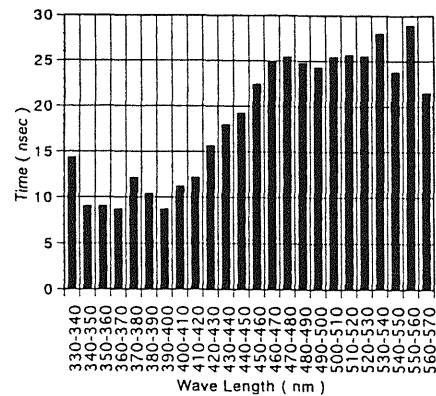


Fig. 3 蛍光減衰時間の波長依存性
軽油: n-ヘキサン希釈
YAG THG 励起