

イメージング蛍光ライダーによる航行船舶の前方海上監視

Marine Forward Looking by Fluorescence Imaging Lidar

篠野雅彦¹⁾、桐谷伸夫¹⁾、山之内博¹⁾、二木祥一²⁾、浅沼幸仁²⁾、
大津皓平³⁾、織田博行³⁾、浅沼貴之⁴⁾、前田克弥⁴⁾

M. Sasano¹⁾, N. Kiriya¹⁾, H. Yamanouchi¹⁾, Y. Futaki²⁾, Y. Asanuma²⁾,
K. Ohtsu³⁾, H. Oda³⁾, T. Asanuma⁴⁾ and K. Maeda⁴⁾

¹⁾ 海上技術安全研究所、²⁾ NTT コミュニケーションズ、

³⁾ 東京海洋大学、⁴⁾ 石油天然ガス・金属鉱物資源機構

¹⁾ National Maritime Research Institute, ²⁾ NTT Communications,

³⁾ Tokyo University of Marine Science and Technology,

⁴⁾ Japan Oil, Gas and Metals National Corporation

Abstract

Floating objects in the sea surface are obstacles for a cruising ship, especially for a seismic vessel which needs to tow probing cables in all-day and all-weather as an observational task. However, it is hard to find such nonluminous small objects in the night, or in the rainy weather by the conventional maritime surveillance technology; the eye observation and the marine radar.

In this paper, the development of the shipborne hybrid marine optical surveillance system is described including the fluorescence imaging lidar. This lidar system consists of a Nd:YAG(3) laser, a gated-ICCD camera and a gated-PMT.

By the shore experiment and ship-based experiments, the surveillance capacity of this system was confirmed up to 2 km distance day and night. Additionally, a nonluminous buoy was found and surveyed successfully by this system from a night cruising vessel.

1. はじめに

夜間や雨天時に、航行船舶から小型の海上非発光物体を監視することは、従来技術である目視及び船舶レーダーでは困難であった¹⁾。しかし、岩礁、漁業用無灯火ブイ、流木等の監視は、船舶の安全航行にとって極めて重要である。特に、海洋資源調査のための三次元物理探査船においては、広範囲に探査ケーブルを展張し、連続して観測作業を行う²⁾³⁾ため、その障害となる海上漂流物等の監視が、自船と探査ケーブルの両方にとって重要となる。

本研究では、航行船舶から前方海上監視を行う際の光学的検知感度の向上を目指し、イメージング蛍光ライダー技術を用いる。また、カラー暗視カメラおよび熱赤外線カメラのパッシブ光学監視技術も使い、それぞれを船体動揺の影響低減のための舶用水平安定旋回台に搭載して、様々な気象・海象条件に対応することのできる複合海上監視システムとする。本研究のライダー装置を含む複合海上監視システムの概観を Fig. 1 に示す。

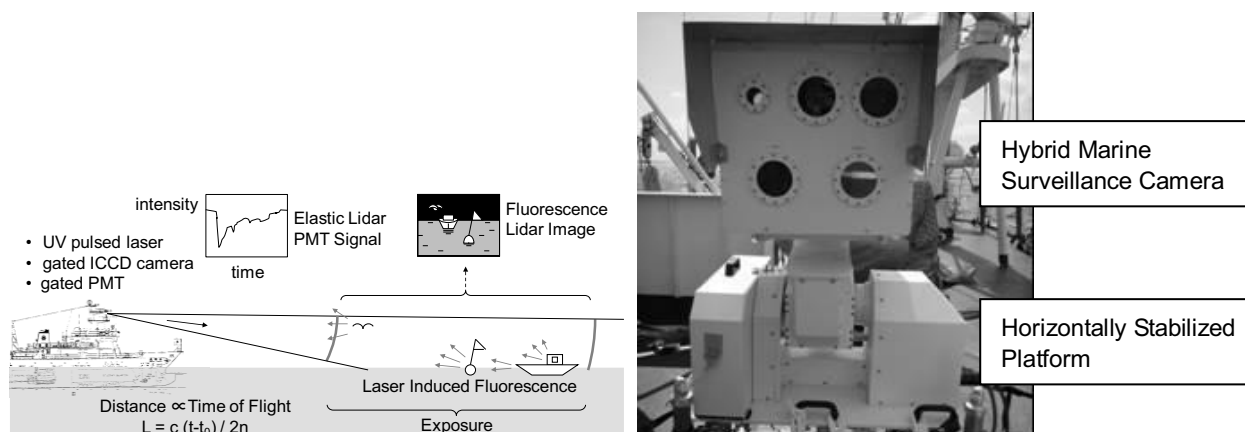


Fig.1 Overview of the hybrid marine surveillance optical system.

2. 海上監視用イメージング蛍光ライダー装置

船舶における従来の前方海上監視手法は、目視観測と船舶レーダーの2手法である。目視観測はパッシブ観測であり、夜間の非発光物体に対して検出感度が低下する。船舶レーダーはアクティブ観測であり、昼夜で検出感度に変化はないが、サイズが10m以下の小型海上物体を検知できないことがある。これらを補うための夜間の従来手法として探照灯（サーチライト）があるが、可視光を発光する観測手法は、自船操船者及び他船操船者の目視観測の障害となることがあるため、一般に通常航行時には用いない。

本研究では、夜間の通常航行時にも使用することのできる海上監視用アクティブ光学装置として、イメージング蛍光ライダーを開発した。この装置は、Nd:YAG(3)パルスレーザー、ゲート ICCD カメラ、ゲート PMT で構成されている。波長 355 nm レーザーの弾性散乱光は目視できず、大気中のラマン光・蛍光、及び海面での水ラマン光・蛍光のみが可視光となる。また、レーザー出力は 0.9 W 以下と小さいため、操船者の目視観測の障害となることがない。その上、ほとんどの海上漂流物は海面よりも紫外励起蛍光性が高いため、イメージング蛍光ライダーの観測で高コントラストの海上漂流物映像を得ることが期待できる。さらに、ライダーPMT信号の往復時間観測から、海上漂流物までの距離測定が可能である。本ライダー装置の諸元を Table 1 に示す。

Table 1 Specifications of the fluorescence imaging lidar.

Laser (Quantel CFR400 +ICE450)	Type	Nd:YAG(THG)
	Wavelength	355 nm
	Energy	90 mJ/pulse
	Pulse Width	7 ns
	Beam Spread Angle	10 mrad (with beam expander)
	Repetition	10 Hz (max)
gated ICCD Camera (Hamamatsu photonics C10054-22 +Fujinon C22x17A-M41)	Type	GaAsP, double MCP, usual OFF
	Image Resolution	640 * 480
	Gain	5×10^6 (max)
	Gate Time	>5 ns
	Field of View	17 * 13 mrad (zoom)
	Collecting Lens diameter	70 mm
gated PMT (Hamamatsu photonics H10304-00NF +Tochigi-Nicon UV10.5mm-F4.5)	Type	GaAsP, usual OFF
	Gain	2×10^6 (max)
	Gate Time	>100 ns
	Observation Wavelength	355 nm (with optical filter)
Combination devices with Lidar	Thermal Infrared Camera	8 – 13 um
	Color Night-Vision Camera	400 – 700 nm (with RGB color)
	Horizontally Stabilized Platform	three axis control stability < 7 mrad (st.dev.)

3. イメージング蛍光ライダーの海上監視性能評価

このライダー装置の海上監視性能を評価するため、千葉県館山市の東京海洋大学館山ステーション研究棟3階に本装置を設置し、館山湾の海上に断面積約 1 m² の疑似海上漂流物（海上ターゲット）

を設置して、距離 1 km から 2 km までの範囲で海上ターゲットの位置を変えてライダー観測を行った。設置した海上ターゲットは、発泡スチロール (1 m×1 m)、発泡スチロールの表面にベニヤ板を貼り付けたもの (0.5 m×2 m)、及び白布 (0.9 m×2.8 m) の 3 種類である。また、観測は日没約 1 時間後から 3 時間後までの月のない夜間 2 時間に行われた。この実験でライダーにより観測された蛍光イメージを Fig. 2 に示す。距離 1.0 km では、発泡スチロール及びベニヤ板は、蛍光イメージにより形状を確認することができる。距離 1.5 km から 2.0 km の範囲では形状確認は難しいが、海上ターゲットの検知は可能であることがわかる。一方、白布は紫外線励起蛍光性が高いため、距離 1.5 km から 2.0 km の範囲でも蛍光イメージによる鮮明な形状確認が可能である。

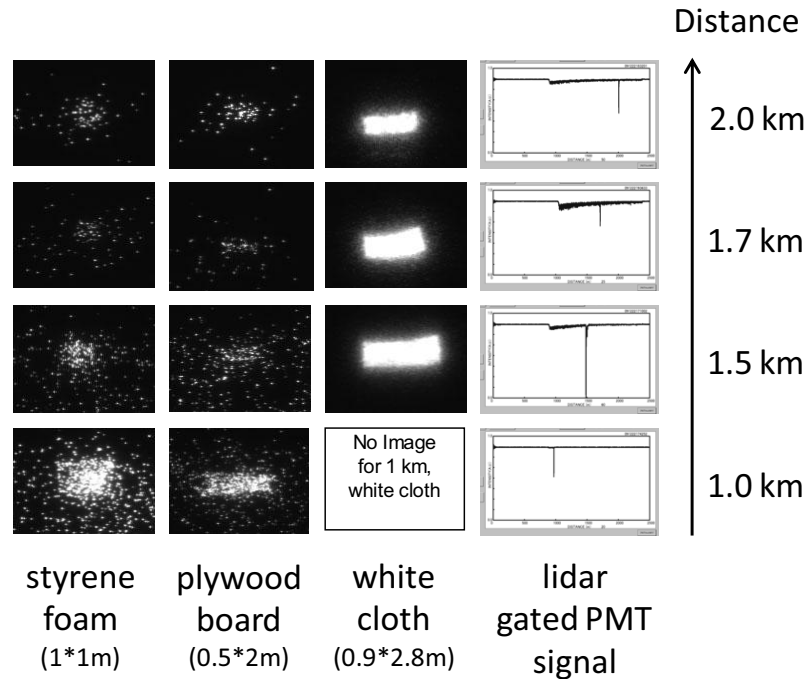


Fig.2 Night observation results of the shore test by the fluorescence imaging lidar.

4. 複合海上監視システムによる夜間航行中の前方海上監視実験

本研究で開発した複合海上監視システムを実験船のコンパステッキに搭載し、航行船舶からの前方海上漂流物監視実験を行った。2010年3月17日20:40、8.1ノットで夜間航行中に、熱赤外線カメラ及び船舶蛍光ライダーで海上漂流物を検出することに成功した。Fig. 3に、複合海上監視システムで捉えた画像例を示す。Fig. 3左下のイメージング蛍光ライダー画像から、対象物が無灯火ブイであることが確認できる。なお、船橋内操船者による目視及び船舶レーダーでは、無灯火ブイを確認することはできなかった。また、このときのPMT信号をFig. 4に示す。Fig. 4左のライダーPMT信号には、無灯火ブイからのピーク信号が現れており、その相対移動速度は、Fig. 4右に示すように約8.0ノットであった。これはこの当時の船速とほぼ同じであり、静止している無灯火ブイに対して本船が接近している状況と一致する。

5. まとめと考察

航行船舶の前方海上監視手法としてイメージング蛍光ライダー技術を適用し、他のカメラ等と組み合わせて複合海上監視システムを開発した。また、夜間の海上ターゲットを2 kmまで検出可能であることを示し、白布等の蛍光性の高い物体に対してはさらに検出感度が向上することを示した。加えて、実際の船舶に搭載して海上監視を行うことで、従来監視手法では見つけることの出来なかった無灯火ブイ等を発見・監視することに成功した。

イメージング蛍光ライダーは、ゲート機能を用いることにより近傍散乱光をカットできるため、雨や霧等の視界不良時の海上監視にも役立つものと期待される。

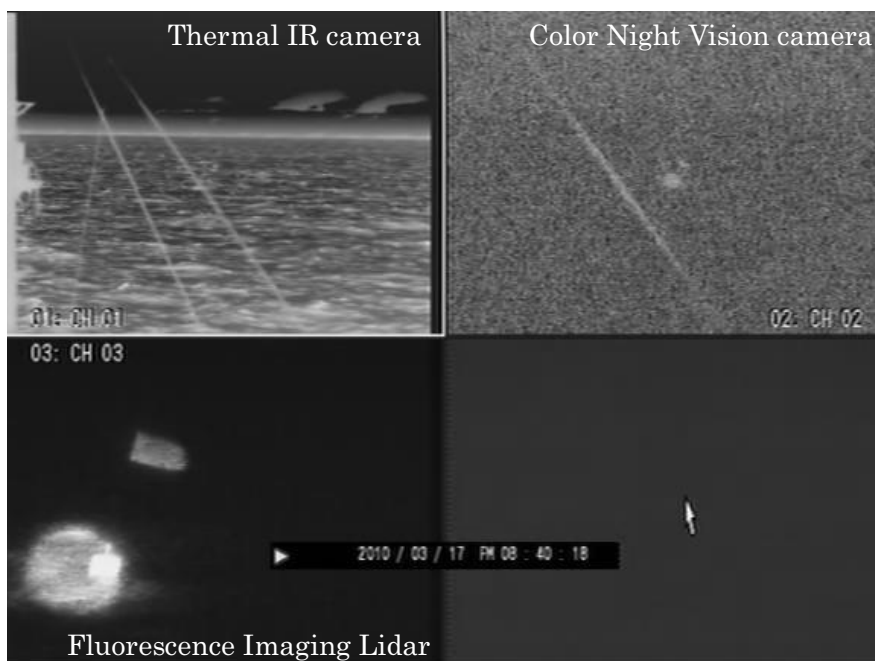


Fig.3 Nonluminous buoy surveillance result by the hybrid surveillance optical system (Mar.17.2010 20h40m). Upper Left(Ch01): Thermal IR camera, Upper Right (Ch02): color Night Vision camera, Lower Left (Ch03): Fluorescence Imaging Lidar

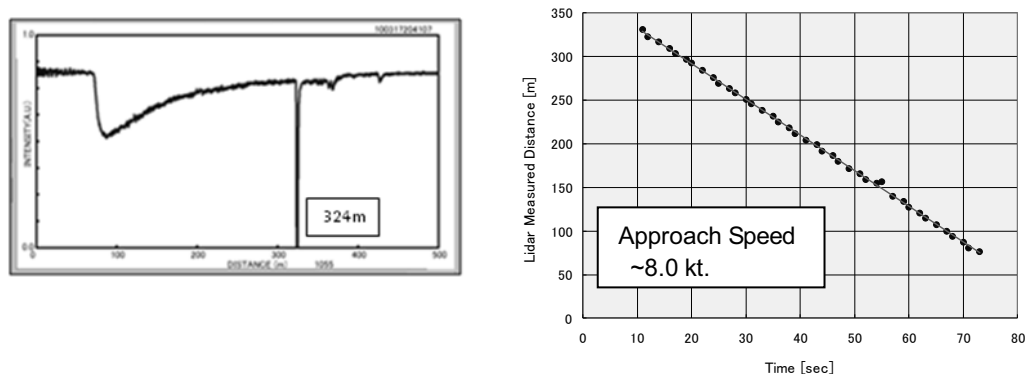


Fig.4 Nonluminous buoy surveillance result by the lidar PMT (Mar.17.2010 20h40m). Left: Lidar PMT data, Right: Time transition of the Lidar PMT peak position

謝辞 本研究は、(独)石油天然ガス・金属鉱物資源機構の平成20年度提案公募事業「船陸間高速大容量通信ネットワークを用いた物理探査船の安全・効率的運航を目的とした協調運航支援システムの研究 一昼夜全天候型海上監視技術の研究一」として実施しており、ご協力頂いている関係各位に感謝いたします。また、本研究の実験でご協力頂きました船舶の乗組員の方々に厚く御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 井出麻奈美・林尚吾、「FRP製小型漁船のレーダ断面積について」、日本航海学会誌第171号(2009) 54-59.
- 2) JOGMEC、「海の資源・エネルギー [海洋資源のしおり]」(2009) 10.
http://www.jogmec.go.jp/news/publish/docs/kaiyou_info.pdf
- 3) 海上保安庁、水路通報 H22 年 第 9 号 366 項 (2010) 7.