

A105 2色蛍光法を用いた 油膜厚さと温度計測における蛍光染料の特定

佐伯壮一 (山口大), Douglas P. Hart (MIT) and Carlos H. Hidrovo (MIT)

Spectroscopic Study on YAG(532) Laser Dyes using DELIF for Oil Film Thickness and Temperature Measurement

Souichi Saeki, Douglas P. Hart and Carlos H. Hidrovo

ABSTRACT:

This paper presents much information about YAG(532) laser dyes dissolved into oil which can be utilized to measure oil film thickness and temperature. A spectroscopy analysis was conducted to obtain fluorescence and absorptivity spectra using spectrofluorometer and spectrophotometer, respectively. Spectroscopic dependency of each single-dye on temperature was evaluated to discover the best indicator of temperature. Some promising combinations of two dyes were selected to be applied to Dual Emission LIF (DELIF) temperature measurement on the basis of this information. The possibility of DELIF were examined using a spectrofluorometer. Consequently, some of the best dye-combinations was recommended, which could make the most of DELIF and Emission Reabsorption LIF (ERLIF) film thickness measurement. The ratio-metric LIF technique was found to be very helpful for minimizing of photo-degradation errors originating from the dye-bleaching and oil-oxidation caused by high temperature.

Keywords: Double Emission LIF (DELIF), Emission Reabsorption Laser Induced Fluorescence (ERLIF), Temperature, Film Thickness, YAG(532) Laser Dye, Spectroscopy

1. 緒言

レーザ誘起蛍光法 (LIF) は、温度などのスカラー量の可視化計測法として注目されている。しかし LIF 温度計測法は、定量的計測法としては限界があると考えられている。その理由の一つとして、蛍光染料は非常に敏感であるため、レーザ励起光強度におけるノイズや計測流体内における励起光の減衰に、敏感に反応してしまうことがあげられる。そこで、Coppta ら⁽¹⁾や、Sakakibara ら⁽²⁾は、2色蛍光法 (DELIF) を開発した。この方法は2色の染料を用い、異なる周波数帯で発光した蛍光を2つのカメラで計測し、蛍光強度比を取ることによって、励起光によるノイズを取り除く方法である。ただし2色染料の発光・吸光分光分布の特徴が、本手法の精度を決定することは明らかである。一方、エンジンピストンリング部や回転軸受けのシール部における油膜厚さと温度計測に、LIF が最近利用されている。三田ら⁽³⁾や畔津ら⁽⁴⁾は DELIF を応用し、一次的に温度を計測している。Hidrovo ら⁽⁵⁾は DELIF の拡張として2色蛍光の再吸収を利用した油膜

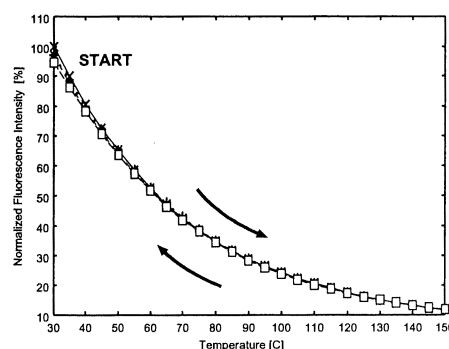


Fig.2 Temperature sensitivity at 610nm (Phenoxazone 660)

厚さ計測法 (ERLIF) を開発し、2次的・定量的に計測している。しかし、これらの研究では2色染料の分光分析とその温度依存性が詳細には行われていないため、DELIF の精度に関する考察が困難となっている。最近よく利用される YAG(532) レーザの蛍光染料にいたっては、分光分析、温度依存性だけでなく油溶解性も全く検討されていない。また、実際には油膜温度は200度程度になるため、高温における染料の脱色特性やオイルの酸化特性を把握する必要もある。本研究では、YAG レーザ染料の油溶解性・分光分析・温度依存性・脱色特性など、多くの項目に渡って蛍光染料特性を詳細に調べ、DELIF や ERLIF に適用可能な染料の特定を行った。

2. 実験方法

アミノ基など特定の化学基を持つ有機蛍光染料が、大きな温度依存性を持つことを考慮し、YAG(532) レーザに適用可能な22種類の蛍光染料を用意した。一般に、有機蛍光染料は直接エンジンオイルに融けないため、Dichloromethane を初期容媒とし、その溶液をオイルと混合し初期容媒を低温で揮発させることによ

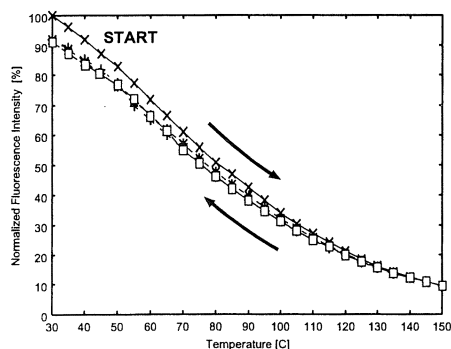


Fig.1 Temperature sensitivity at 570nm (Pyromethene 605)

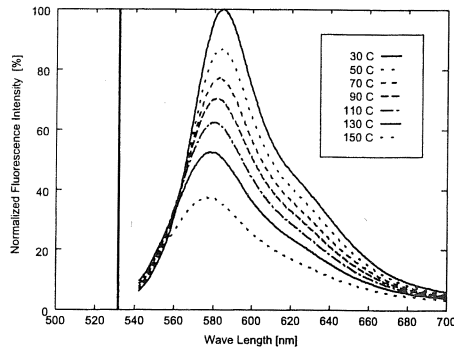


Fig.3 Temperature dependency of fluorescence spectra (Rhodamine B)

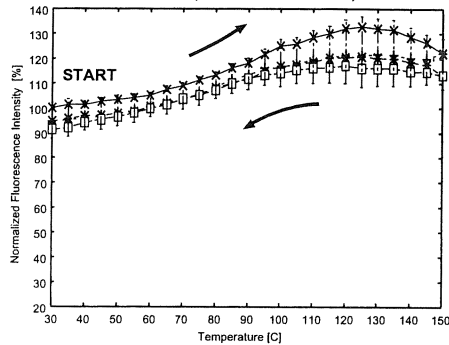


Fig.4 Temperature sensitivity at 550nm (Rhodamine B)

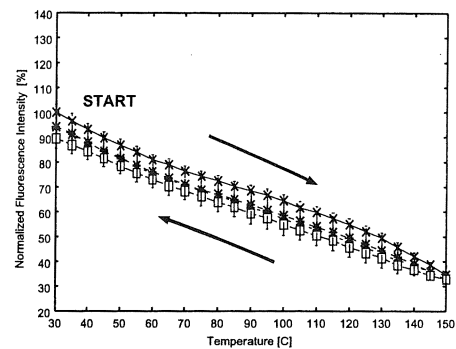


Fig.5 Temperature sensitivity at 600nm (Rhodamine B)

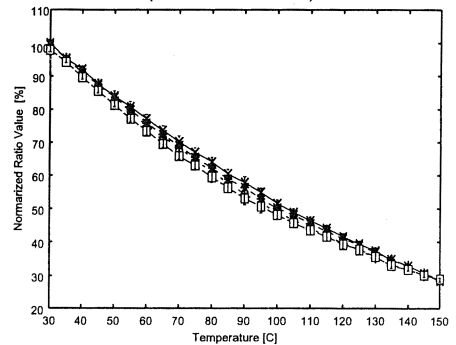


Fig.6 Ratio value of fluorescence intensities at 550nm and 600nm (Rhodamine B)

て、試験溶液を作成した。この際に、各染料の油溶解性を最大溶解度として調べた。各試験溶液を分光器にかけ、その蛍光分布と吸光分布、発光強度(量子収率)を調べた。更に、分光器内の試験溶液温度を 30 °C から 150 °C まで変化させ、5 °C 毎に蛍光分布の温度依存性を調べた。温度の上昇下降を数回繰り返し、温度ヒステリシスや耐熱性を観察した。揮発課程における温度を 30 °C から 150 °C に変えた試験溶液を用意し、両吸光分布から熱負荷による染料の脱色特性(脱色率)を求めた。エンジンオイルそのものの熱負荷による酸化特性も調べた。更に、2種類の染料を混合した溶液でも同様な実験を行った。

3. 実験結果・考察

本論文では、量子収率・油溶解度・脱色特性・温度依存性の考察結果から、特に優れていた3種類の染料を取り上げて説明する。温度依存性に大きなヒステリシスが存在する染料(Rhodamine 19 or 6G)は省いた。また2色混合溶液の特性についても割愛する。

Pyrromethene 605 蛍光強度が約 90%線形的に減少し、大きな温度依存性(-0.93[%/°C])を持つ(図1)。温度の対する脱色特性(3.7%)は比較的小さく、蛍光強度・油溶解度も大きく良好である。

Phenoxazone 660 蛍光強度が約 90%指数関数的に減少し、温度依存性を持つ(図2)。このため、30°C から 100°C の低温における温度依存性(-1.08[%/°C])に比べて、100°C から 150°C の高温における温度依存性(-0.25[%/°C])は、4分の一の温度計測精度となる。一方、温度の対する脱色特性は非常に小さいが、量子収率が Pyrromethene 605 の約 40%小さい。

Rhodamine B 図3に蛍光スペクトルの温度依存性

を示す。図4と図5に 550nm と 600nm における蛍光強度の温度依存性をエラーバーと共に示す。温度依存性は発光波長に大きく依存していることがわかり、低波長域と高波長域では全く逆に振舞う。そこで 550nm と 600nm における蛍光強度の比を取ることにより、1色の蛍光染料で DELIF が可能になると考えられる。図6に示すように、蛍光強度比は約 70%線形的に減少し、比較的大きな温度依存性(-0.53[%/°C])を持つ。また、Rhodamine B の脱色特性が 8.7%と比較的大きいことや、オイルの酸化に蛍光強度が反応することなどのため、図4、5に示すように、温度依存性に平均誤差約 15.4%のばらつきがある。これが LIF 温度計測における誤差の要因の一つとであるが、蛍光強度比を取った場合誤差を互いにキャンセルすることができるため、図6のように約 4.5%まで誤差を抑えることができる。また、この染料は量子収率、油溶解度共に非常に高く利用価値が高い。

4. 結論

YAG レーザ染料の油を容媒とした蛍光染料特性を詳細に調べ、DELIF や ERLIF に適用可能な染料の特定を行った。幾つかの高温温度依存性の染料や、Rhodamine B は1色で DELIF が可能にする染料であることを発見した。また蛍光強度比を取ることによって、染料特性によって生じる計測誤差を低減することが可能である。

参考文献

- (1) Coppeta, J., et al, 1998, Exp. Fluids., 25, 1, pp.1-25.
- (2) Sakakibara, J., et al, Exp. Fluids, 26, 1/2, pp.7-15.
- (3) 三田, 他, 機論, 64-623, C (1998), pp.2653-2658.
- (4) 畔津, 他, 機論, 64-621, C (1998), pp.1808-1813.
- (5) Hidrovo, C. H., et al, Meas. Sci. & Tech.,