A103

405nm CW 光源を用いた燐光による温度計測

○倉健太郎(東大), 染矢聡(東大), 岡本孝司(東大)

Advanced temperature measurement technique using phosphorescence excited by a CW light source of 405nm

Kentaro KURA, Satoshi SOMEYA and Koji OKAMOTO

ABSTRACT

LIF have been developed to measure the temperature, pH and the oxygen concentration in the fluid. However, the frequent excitation of the fluorescent dye causes the quenching effect. In addition, two color LIF should be applied in order to cancel the effect of non-uniform light intensity of excitation.

The phosphor emitting the phosphorescence for a few milliseconds by an excitation was measured at the high time resolution, while the phosphorescence life time is the function of the temperature. As the phosphorescence dyes, PtT975 and PdT975 were tested. Those mixed with Coumarin30 were also demonstrated. These dyes were excited by a CW laser with the wavelength of 405nm. As a result, it was clarified to be able to measure the temperature using this laser and these dyes.

Keywords: Temperature measurement, phosphorescence, intensity, lifetime, PSP, TSP

1. 緒 論

従来、水などの透明流体の速度・温度計測では、二次元 PIV 法や蛍光染料を用いた LIF 法が開発されてきた。一方、蛍光染料を用いた LIF 法によるスカラー(温度)計測は、測定系の不安定や、水中溶存物質などによるクエンチング現象などにより、高精度に測定することが容易ではない。さらに LIF 法では高周波で蛍光染料を励起すると、過励起によるクエンチングが生じ、いっそう精度が低下する。そこで本研究では、一度の励起で長時間発光する燐光を、高時間分解能で測定することにより、温度の関数である燐光寿命(減衰率)を測定し、温度を評価することを目的としている。今回は、405nm の CW 光源を用いることにより、寿命法による温度計測の評価を行ったので、その結果について報告する。

2. 実験装置および方法

本研究で用いた実験装置の概略を Fig.1 に示す。試料に半導体 CW レーザを照射し、試料から発生する燐光を上方に設置してある PIN フォトダイオードにより検出する。燐光は、PIN フォトダイオードにより電圧に変換され、オシロスコープ上にデジタル情報として保存される。PIN フォトダイオードの抵抗は可変になっているので、燐光寿命の状態によりゲインを変化させることができる。試料と PIN フォトダイオードの間には光学フィルタを設

置しており、PIN フォトダイオードが燐光のみを検出できるようにになっている。また、試料はホットプレート上に設置してあり温調操作が可能であるため、燐光寿命の温度依存性を計測することができる。

レーザには RICOH 製の半導体 CW レーザを用い、波長および出力は 405nm, 1W である。このレーザをパルスジェネレータで操作し、レーザ光を試料に 10msec ほど照射した直後の燐光寿命を測定した。

染料には PtT975, PdT975, PtT975/Coumarin30 混合染料, PdT975/Coumarin30 混合染料を用い、それぞれをろ紙またはアルミ板に塗布し、試料の作成を行った。

Fig.1 Experimental apparatus

3. 実験結果および考察

PSP/TSP では 405nm で励起した例がないため、まず 405nm 励起による発光スペクトルの温度依存性を測定した。染料には PtT975 を使用し、酸素不透過性のアクリル樹脂に混入してアルミ板に塗布した。空気中でこの試料の温度を変化させた場合の結果を Fig.2 に示した。

図から PtT975 を 405nm で励起した場合、約 25°C から 60°C の範囲で類似のスペクトル形状を保ちつつ、発光強度が徐々に低下し、燐光強度が温度の関数になることがわかった。燐光寿命も温度の関数であると考えられる。また、同じポルフィリン系の染料である PdT975 の燐光寿命の温度依存性も計測した。試料はそれぞれの染料を酸素不透過性のアクリル樹脂に混入し、これをろ紙に吸着塗布したものを使用した。温度は約 25°C から 50°C の間で変化させ、それぞれの染料の温度に対する燐光寿命の変化を測定した。その一例として PdT975 の測定結果を Fig.3 に示す。実験の結果、いずれの染料においても温度に依存して寿命が変化し、PdT975 の寿命は 200 μ sec から 20 μ sec の広い範囲で変化することが明らかとなった。Fig.3 において、初期の燐光強度が異なっているが、いずれも励起光遮断後、1 μ sec 後から測定しており、これは温度によって燐光強度が異なるためである。

次に、これらの染料を PIV 用のトレーサ粒子に吸着させ、速度と温度の同時計測を想定する。この場合、Fig.3 では排除した励起光を含む光を利用する PIV 計測では燐光以外の蛍光が含まれても問題ないため、PtT975・PdT975 とは全く出力波長の異なる蛍光染料を混入させ、蛍光または複合光で PIV を、燐光で温度計測をする方法が考えられる。そこで PtT975・PdT975 同様、400nm あたりで強い吸収帯を持つ蛍光染料として Coumarin30 を用意し、それぞれの混合染料で燐光寿命の計測を行った。PtT975 および PdT975 と Coumarin30 との混合染料を酸素不透過性のアクリル樹脂に混入してろ紙に塗布し、空气中で温度を 25°C から 50°C まで変化させて燐光を測定した。前者の場合、25°C から 50°C の範囲で、寿命が 150 μ sec から 50 μ sec の広い範囲で変化し、減衰率の差も大きかった。後者の場合も 25°C から 40°C の範囲で寿命が 200 μ sec から 70 μ sec の広い範囲で変化した。しかし、この PdT975/Coumarin30 混合染料の場合、高温状態(45°C, 50°C)では燐光寿命が急激に減少してしまった。これは、高温状態で、試料のろ紙が焼き付いてしまったため、別のアルミ板試料を用いてデータを取得したことによる影響である。

以上の結果から、PtT975 や PdT975 と 405nm の CW 光源を用いて寿命計測が行えることを確認できた。これまでは CW 光は一般的に出力が小さいため、CW 光源で過渡的な寿命計測を実施できた例は少なかった。また、405nm という波長は、PSP としても有用な PtT975 などにとって最適な光源であり、今後の可能性を示せた。更に、この光源と PtT975 や PdT975 といった染料や、これらとクマリン 30 との複合染料を用いて、酸素濃度だけでなく、温度計測を行うことができることを示した。

4. 結論

本研究では、燐光寿命/強度の測定により温度計測を行う研究の一環として、405nm の CW 光源を用いた場合にお

ける燐光寿命の温度依存性を評価した。その結果、PtT975, PdT975 およびこれらとクマリン 30 との混合染料を用いて、寿命法/強度法により少なくとも室温～50°C の範囲で温度計測可能であることを明らかにした。

5. 謝辞

本研究は、旧電源開発促進対策特別会計法に基づく文部科学省からの受託事業として、東京大学が実施した平成 18 年度「液体金属熱流動評価のための高速度 3 次元直接計測技術開発」の成果の一部です。

Fig.2 CW 光源(405nm, 1W)利用時の PtT975 染料の発光スペクトル温度依存性 (空气中, アルミ板に塗布, バインダ: アクリル塗料)

Fig.3 CW 光源(405nm, 1W)利用時の PdT975 燐光寿命温度依存性 (空气中, ろ紙に塗布, バインダ: アクリル塗料)

参考文献

- 1) Oguri K, Kitazato H and Glud R.N., Platinum octaethylporphyrin based planar optodes combined with an UV-LED excitation light source: An ideal tool for high-resolution O₂ imaging in O₂ depleted environments, Marine Chemistry, 100 (2006) 95-107.
- 2) Amao Y., Asai K. and Okura I., Optical oxygen sensing based on platinum porphyrin- polystyrene film using time-resolved spectroscopy., J. Porphyr. Phthalocyanines, 4-3 (2000), 292- 299.
- 3) Papkovsky, D.B., Luminescent porphyrins as probes for optical (bio)sensors., Sens. Actuators B, 11, 1- 3, (1993), 293- 300.