E221

レーザー励起蛍光物質の特性評価と温度測定への応用

Evaluation of Characteristics of Laser-induced Fluorescence Phosphors and Its Application to Temperature Measurement

○学 土屋 敬(阪大院) 石橋 賢二(京セラ) 正 石田 秀士(阪大基)

正 桃瀬 一成(阪大基) 正 河原 源太(阪大基) 正 木本 日出夫

Kei TSUCHIYA, Kenji ISHIBASHI, Hideshi ISHIDA, Kazunari MOMOSE, Genta KAWAHARA and Hideo KIMOTO

Osaka University, 1-3, Machikaneyama, Toyonaka, Osaka, 560-8531

In this paper, a laser-induced fluorescence intensity method for the temperature measurement of metallic surfaces was studied. A two-color intensity approach was applied to improve the measurement accuracy. A mixture of two kinds of phosphors $Y_2O_3S:Eu$ and $ZnS:Ag$, was used to obtain the two color bands and it was excited by the third harmonic of a pulsed Nd:YAG laser($\lambda=355nm$). The ratio between the resulting fluorescence emissions was simultaneously measured using two linear image sensors with different optical filters. Using the two-color intensity method, we can dramatically reduce the measurement error due to the lack of uniformity of both the phosphor thickness and the excitation source power.

Key Words: Temperature measurement, Laser-induced fluorescence, Thermographic-phosphors Two-color Ratio

1. 緒言

温度計測は様々な局面で必要とされる技術であり、これまでに多くの方法が開発されてきた。代表的なものとしては直接測定法である熱電対測定法や、間接測定法の赤外線放射温度測定法などが挙げられる。しかし、これらの測定法は測定箇所の条件や周囲の環境に影響されやすいだけでなく、モータやタービンといった回転体における温度測定を考えた場合、応答特性や耐久性などに問題が生じる。そこでこれまでに新たな温度測定手法として、間接測定法の一つであるレーザー励起蛍光法(LIF法)が研究されてきた^{(1),(2)}。これは測定表面に塗布した蛍光物質に励起エネルギーを与えることで得られる蛍光の温度依存特性を利用する技法であり、主に減衰寿命および蛍光強度を利用する二種類の方法がある。蛍光強度を利用する場合、前者と比べ実機への導入も容易であり、蛍光物質の選択により幅広い温度範囲での高速温度測定が可能である。これまでの研究では、蛍光強度法による表面温度分布測定の有用性が示されている⁽³⁾。しかしながら、蛍光強度は励起光や蛍光物質の濃度による影響を受けやすく、温度と蛍光強度の相関にばらつきが生じるため、その較正が大きな問題となる。

本研究では、特性の異なる二種類の蛍光物質を混合し、異なる波長域の強度比を得ることにより、励起光のばらつきや蛍光物質の濃度による蛍光強度への影響を相殺し、測定精度向上を計った。

2. 実験装置および方法

実験装置概略図を図1に示す。蛍光物質の励起源としてパルス発振させたNd:YAGレーザーの第三高調波(波長355nm, エネルギー8mJ)を使用し、これを直接サンプルに照射した。テストサンプルには平行対面間距離12mmの黄銅製の六角棒を使用し、中心に内径6.4mmの穴をあけ、そこに金属ヒータを差し込むことで加熱を行った。また、ヒータはボルトスライダに接続されており、電圧を調整することによりサンプルの温度を変化させた。ここで蛍光物質は、六角棒の表面上にセラミック接着剤で混合固着している(直径3mm)。本実験で使用した蛍光物質は、 $Y_2O_3S:Eu$ (赤橙色発光)および $ZnS:Ag$ (青色発光)で、それぞれ622nmと440nmに特徴的なピークを持つ。また、温度推定を行う上での較正温度を測定するために、蛍光物質が固着されている面とは異なる面に幅1mm×深さ1mm

Fig.1 Schematic of experimental apparatus

の溝を切り、熱電対を沿わせてセラミック接着剤で固定した。

試料から放出される蛍光は、リニアイメージセンサを2台用いて強度を測定した。蛍光発光特性を分解するためにそれぞれのイメージセンサには620nmに透過特性を持つ狭帯域干渉フィルターと青色波長域(500nm以下)に透過性を持つダイクロイックフィルターを設置し、レンズで等倍に結像させた。ここで、イメージセンサ1で取り込んだ

Fig.2 Spectral distribution of $Y_2O_3S:Eu+ZnS:Ag$

Fig.3 Emission intensity versus temperature

Fig.4 Intensity ratio (I_A/I_B) versus temperature

500nm 以下の波長域を RangeA, イメージセンサ 2 で取り込んだ 620nm $\pm$ 10nm の波長域を Range B とする。なお、蛍光強度は電圧として測定でき、ここで RangeA の強度値を I_A , RangeB の強度値を I_B とする。蛍光の取り込みの際には YAG レーザからの Flash lamp 同期信号をトリガとして取り込むことでパルスレーザに対応する蛍光の取得タイミングを一致させ、蓄積時間を 200ms としている。

3. 実験結果および考察

図 2 は本実験で使用した $Y_2O_3:S:Eu$ および $ZnS:Ag$ の 1:1 混合について混合物のスペクトル分布を示している。この混合物についてはそれぞれの蛍光物質の単体での波長特性と一致した 440nm および 622nm 付近に特徴的なピークを持つ蛍光が確認された。両波長域の蛍光強度と温度の関係を図 3 に示す。これらは各温度において計測した 8 回のデータをすべてプロットしたものである。両波長域ともに、特に低温域にて、大きなばらつきが見られる。これは、励起光源であるレーザーの照射強度の不均一さが主な原因と思われる。図 4 は両波長域の強度の比(I_A/I_B)と温度との関係を示している。励起光の不均一さによる影響が両波長域に対して同じため、強度比を用いた場合に相殺されてばらつきがかなり小さくなっているのがわかる。つぎに、特性評価結果をもとに、それぞれの蛍光強度および強度比から温度を求める較正曲線を算出し、温度推定結果の 8 回の平均を図 5 に示す。ここで熱電対による温度測定の結果を真値と考え理想直線をグラフ上に示した。これらの結果から、推定温度の平均をとった場合、単独の蛍光強度からも、およそ 70°C から 250°C の幅広い範囲で測定が可能であることがわかる。また、推定結果の標準偏差を示した図 6 から、比をとることでばらつきが抑えられ、平均操作なしでも高

Fig.5 Results of temperature estimation by LIF

Fig.6 Standard deviation of temperature estimation

い精度を得られていることが確認される。

励起光の照射強度のばらつきより、蛍光物質の濃度のばらつきの方が蛍光強度へ深刻な影響を与える。本実験においては、蛍光物質を一ヶ所に固め、両イメージセンサのピーク値をとっているため、蛍光物質の濃度による蛍光強度への影響は比較的低いと考えられる。蛍光物質を薄膜化し表面温度分布測定へ応用する上で、蛍光物質濃度に起因する蛍光強度のばらつきはより深刻な問題であるが、この場合も比をとる本手法の有効性は顕著になると期待できる。また、本実験で用いた物質は両物質とも、およそ 100°C から 250°C にかけて温度依存が見られる物質であり、温度特性の違いがより大きい物質との組み合わせを考慮することにより、さらに精度を高め、幅広い温度範囲での測定が可能になると考えられる。

4. 結言

本実験の結果、異なる波長域の強度比をとることにより、それぞれの波長域のばらつきが抑えられ、高い精度が得られることを確認した。

文献

- (1) D.M.Cunningham, et al, *ISA*, (1993), 561.
- (2) B.W.Noel, et al, *Trans. ASME J.of Engineering for Gas Turbines and Power* 113,(1991),242
- (3) 石橋賢二, Chayut Nuntadusit, 石田秀士, 木本日出夫, 武石賢一郎, レーザ励起蛍光物質の特性評価とその応用, 第 40 回日本伝熱シンポジウム講演論文集, Vol.3, 2003, 823-824