

高温感温塗料の開発に関する研究

[研究代表者] 江上泰広 (工学部機械学科)

研究成果の概要

最高 1600°Cにも達する航空用・産業用ガスタービンの熱効率を向上させ、二酸化炭素や NOx を低減するには、高温領域における複雑な流れ場の温度分布や衝撃波や渦、剥離の発生、加えられる熱流束分布を高い空間分解能で計測することは重要な課題の一つとなっている。高温領域の温度分布計測法には熱電対や赤外線カメラなどの方法があるが、その一つとして、無機蛍光体（フォスファ）を温度センサとして用いる温度の面計測法の研究が進められている。可視光を発する無機蛍光体を用いた感温塗料(TSP)は、赤外線カメラでの温度計測に必要な、赤外線を透過するような特殊な素材の観測窓やレンズが必要でなく、高い空間・時間分解能を持つ通常の高速度カメラでも計測が可能であるという長所がある。

物体温度が高温になるほど赤外線放射が強くなり、可視光領域にまでその影響が及ぶようになる。これまでも蛍光体を用いた高温域（～1300°C）での温度計測を試みた論文はいくつか発表されているが、可視域で発光する蛍光体の発光波長と赤外線放射が重なるためその補正方法が常に問題となっていた。

これまで、赤外線放射を補正する方法として、発光寿命の変化や、蛍光体の温度感度の差の異なる複数の発光ピークの発光強度比を用いる方法が提案されている。しかし、発光寿命の変化を用いる方法は高速の非定常計測には不向きである。また複数の発光ピークの発光強度比を用いる方法は、温度感度が単体のものと比較してかなり低くなることが問題として報告されている。

本研究では、様々な蛍光体の特性を調査し、異なる発光波長ピークを持つ蛍光体を組み合わせた 2 色高温 TSP を作成した。青色発光の BAM と緑色発光の YVO₄:Dy を組み合わせた 2 色高温 TSP を作成したところ、200~350°C、350~550°C の範囲で従来よりも高い S/N で高い温度感度が得られた。

研究分野：機械工学、流体工学、航空工学

キーワード：高温計測、可視化、非定常計測、高時間空間分解能

1. 研究開始当初の背景

最高 1600°Cにも達する航空用・産業用ガスタービンの熱効率を向上させ、二酸化炭素や NOx を低減するには、高温領域における複雑な流れ場の温度分布や衝撃波や渦、剥離の発生、加えられる熱流束分布を高い空間分解能で計測することは重要な課題の一つとなっている。高温領域の温度分布計測法には熱電対や赤外線カメラなどの方法があるが、その一つとして、無機蛍光体（フォスファ）を温度センサとして用いる温度の面計測法の研究が進められている。

無機蛍光体を用いた温度測定には、寿命法、強度法、波長の異なる 2 つのピークの発光強度の比を測定する分光強度比法などがある。寿命法は、赤外線の影響を受

けにくい、高温での温度測定に広く用いられてきた。しかし、測定原理上高い時間分解能を得ることが困難である。そこで、本研究では、高速度カメラを用いた時空間分解能の高い温度計測に適した、分光強度比法を含む強度法による温度計測に着目した。分光強度比法は、異なる波長の燐光強度の比を利用するため、励起光源の強度の揺らぎや燐光濃度の不均一性を低減できる。従来の分光強度比法では、1 つの蛍光体の異なる 2 つの波長における燐光強度の比を用いることが多い。しかし、使用する発光ピークの強度が必ずしも十分でないため、S/N の面で不利となる。そこで本研究では、2 種類の蛍光体を混合し、それぞれの蛍光体の主発光ピークの強度比を用いることで、S/N の良い分光強度比法の確立を試みた。

2. 研究の目的

本研究では、様々な蛍光体の特性を調査し、異なる発光波長ピークを持つ蛍光体を組み合わせた 2 色高温 TSP を作成した。明るい 2 つの発光ピークを利用した発光強度比法を開発することで、赤外線の影響の補正を試みた。また、800 °C を超える温度域における、蛍光体を用いた温度計測法についても調査を行った。

3. 研究の方法

(1) 9 種類の無機蛍光体の単体の 800 °C までの温度感度特性を調べた。無機蛍光体を耐熱塗料に混合し、耐熱性のあるサファイア基盤のスプレー塗装することでサンプルを作成した。作成したサンプルは 1500 °C まで加熱できるチャンバ内に設置し、温度による発光強度変化を CCD カメラと分光器で計測した。

(2) 次に、これらの無機蛍光体の中から、発光波長と温度感度の異なる 2 種類を組合わせた 2 色 TSP を作成し、発光強度比法による温度較正曲線を求め、従来の無機蛍光体との比較を行った。

4. 研究成果

特性を評価した無機蛍光体の中で BAM や BAM-G は非常に高い発光強度を持ち、広い温度域で低い温度感度を持つことが分かった (図 1)。そして YVO₄:Eu と YVO₄:Dy は常温域では低い発光強度を持っているが、高温になるにつれて非常に高い発光強度を持つようになり、非常に高い温度感度を持つことが分かった(図 2)。このなかで青色発光の BAM と緑色発光の YVO₄:Dy を組み合わせた 2 色発光 TSP を作成した。それぞれの一番発光強度の強いピークを使用するため従来の発光強度比法と比較して S/N を向上させることができた。それぞれの色素を組み合わせた 2 色 TSP の発光強度比の温度較正曲線を Fig.5 に示す。この組み合わせでは 200~350 °C、350~550 °C の範囲で高い温度感度が得られた。しかし 800 °C 以上では赤外線放射が蛍光体の発光と比較して強く、蛍光体を使用する温度計測法の困難さも確認できた。今後は赤外線放射の可視光域への影響自身を利用したカラーカメラによる 800-1500° C の温度計測法を検討する。

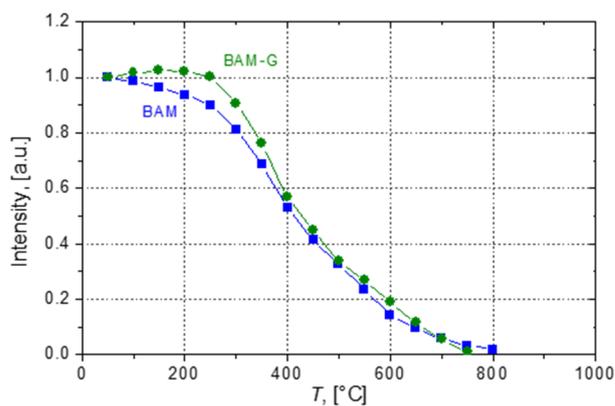


図 1 BAM と BAM-G の温度較正曲線

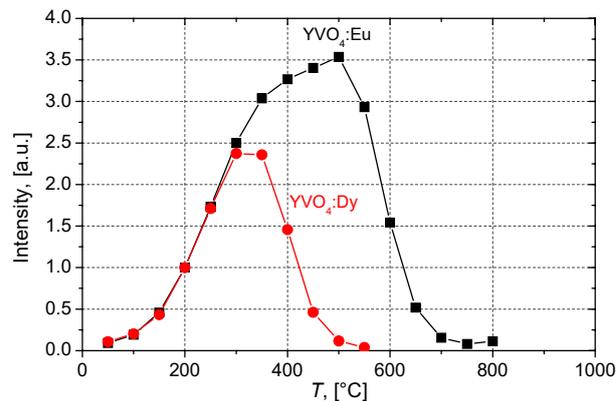


図 2 YVO₄:Dy と YVO₄:Eu の温度較正曲線

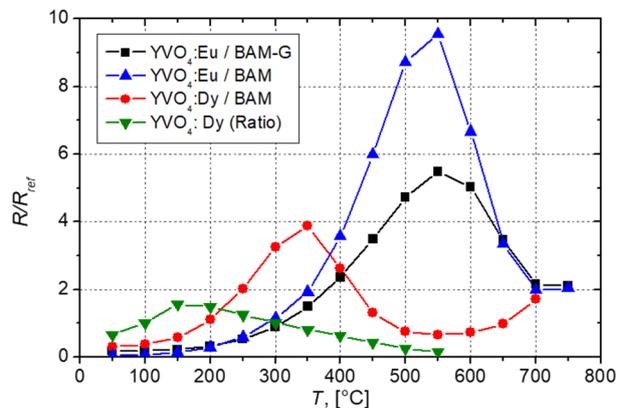


図 3 2 色 TSP の発光強度比法による温度較正曲線

5. 本研究に関する発表

(1) Y. Egami, Y. Matsumura, et al., “Investigation of Thermographic Phosphors Properties for High-Speed Aerodynamics,” AIAA SciTech 2023 Forum, (2023.01), AIAA 2023-2258.