

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 28 年 6 月 20 日現在

機関番号：54102

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2014～2015

課題番号：26889063

研究課題名(和文)配列型PSP・TSP複合センサのマーカ-としての利用

研究課題名(英文)Application of dual luminescent arrays sensor to position correction in PSP measurement

研究代表者

亀谷 知宏(Kameya, Tomohiro)

鳥羽商船高等専門学校・その他部局等・助教

研究者番号：70734854

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,100,000円

研究成果の概要(和文)：本研究ではPSP計測における「計測する対象の位置ずれ」の解消を目指した。位置合わせには配列型PSP・TSP複合センサのドットパターンをマーカ-として用いた。PSPドット及びTSPドットの任意の4点ずつ用いて射影変換を行うことで、通風画像と参照画像の位置合わせを実現した。しかしPSP画像とTSP画像の位置合わせにおいては、画像間の歪みが大きく完全に合わせるができなかったため、今後マーカ-として用いるドットの点数などを増やすなど、補正精度の向上を目指す。

研究成果の概要(英文)：This research aims to reduce measurement error caused by position difference between luminescence images in a pressure-sensitive paint (PSP) measurement. PSP and temperature-sensitive paint (TSP) dots in the dual luminescent arrays sensor were used as markers to register each image position. Luminescence intensity ratio images of PSP and TSP images were well calculated by the position correction method, the projective transformation. On the other hand, the registration between the luminescence intensity ratio images of PSP and TSP images could not archive enough accuracy because of large distortion. This research pursues higher correction accuracy by another correction method or by increasing the number of dots used for the correction.

研究分野：流体工学

キーワード：感圧塗料 感温塗料 配列型PSP・TSPセンサ 位置補正

### 1. 研究開始当初の背景

感圧塗料 (Pressure-Sensitive Paint: PSP) を用いた圧力計測法<sup>1)</sup>は、色素分子が光を照射された際に発するルミネッセンス (蛍光またはりん光) が、酸素分子との相互作用により消光される現象 (酸素消光) を利用した光学的可視化計測法であり、航空宇宙分野を中心に実用化されている。

PSP 計測は非接触で高空間分解能の圧力計測が可能な計測法であるが、「PSP の温度依存性」や「計測する対象の位置ずれ」などにより、その計測精度が圧力孔に比べて高くならないことが課題として挙げられる。「PSP の温度依存性」については、温度センサとして感温塗料 (Temperature-Sensitive Paint: TSP) を用いた、PSP・TSP 複合センサが研究されており、その中でも PSP と TSP を微細な配列状に塗布した配列型 PSP・TSP 複合センサ<sup>2)</sup>が有望なセンサとして挙げられる。

### 2. 研究の目的

本研究では PSP 計測における「計測する対象の位置ずれ」の解消を目指す。PSP 計測では圧力分布が生じていない場合の発光画像 (参照画像) と、実際計測したい圧力分布時の発光画像 (通風画像) を取得し、各画像の発光強度から発光強度比を計算する必要がある。このとき参照画像と通風画像の間では生じる圧力分布などにより、幾分測定対象が変形してしまう。従来この位置補正には、模型上に数点のマーカを別途配置し、その位置を検出し補正していたが、本研究では配列型 PSP・TSP 複合センサのドットパターンをマーカとして用いる位置補正法の確立を目的とした。

### 3. 研究の方法

本研究では、PSP と TSP を微細なドット状に塗布した配列型 PSP・TSP 複合センサを用いて、PSP 計測における位置ずれの問題の解消を試みた。ドットパターンの検出や位置補正には新たに作成したプログラムを用い、より補正の精度が高くなるように改良を加えた。その際、サンプルに励起光を照射し、サンプルから発せられる微弱な光をカメラで検出するため、暗幕、励起光、カメラからなる実験装置を構築した。位置補正実験の後、さらに PSP・TSP 複合センサの本来の目的である、圧力・温度場計測に向けて、圧力・温度校正試験装置、TSP 色素である ZnS-AgInS<sub>2</sub> (ZAIS) ナノ粒子の合成装置、そして実用性を検証する噴流試験装置の構築を行った。圧力・温度校正試験装置はサンプルからの発光強度と圧力・温度との関係式を算出するもので、PSP 色素として広く用いられ特性のよくわかっている Platinum tetrakis (penta-fluorophenyl) porphyrin (PtTFPP) の特性を計測することで、校正試験装置の妥当性を調査した。ここで ZAIS ナノ粒子はあらたに構築した装置により、自身で調製したものを用いた。

噴流試験装置は、位置補正及び温度補正の実用性を検証する装置であり、噴流により配列型 PSP・TSP サンプル上に圧力分布と温度分布を同時に形成し、位置補正及び温度補正を行った後に算出される圧力値と圧力センサの値を比較することで評価を行うものである。

### 4. 研究成果

以下に本研究で構築した実験装置について示し、さらにそれらによって得られた結果について示す。

#### (1) 位置補正プログラム

位置ずれの補正を行うためのプログラムを新たに作成した。プログラムの内容としては、参照画像と通風画像の PSP・TSP の各ドットの位置を検出し、そのドットをマーカとして、いずれかの画像を他方の画像に重ねるように変換するものである。

まず変換に用いる行列をマーカ3点から補正するアフィン変換とした。アフィン変換によって得られた補正の結果 (発光強度比画像) を図1に示す。このときマーカとして隅の3点を選んだが、図から3点のマーカから最も遠い位置 (図中右下部分) で参照画像と通風画像の間のずれが特に大きいことがわかる。原因として、ドットの位置がうまく検出できていない可能性が考えられる。ドットの位置は検出された各ドットの発光からその中心を計算して算出したが、このプログラムでは単純に発光の輝度に閾値を設け、その値より高い部分をドットと判断し中心位置を検出している。そのため、励起光の照射強度にむらがあったりすると位置によって検出の精度が異なる可能性が高い。

そこでまずドットの検出方法を、エッジを検出しその中心座標を算出できるようにした。またエッジにより抽出されたものの真円

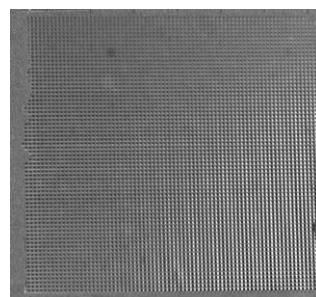


図1 アフィン変換による位置補正結果

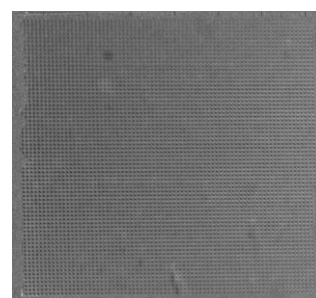


図2 射影変換による位置補正結果

度に閾値を設け、ドット以外の部分で検出されたエッジを除去した。さらに画像の各画素をより細かく分割したり、変換行列をアフィン変換からマーカー4点から補正する射影変換に変更したりすることで、より正確にドットの中心座標を算出できるようにした。図2に示したのが射影変換により位置補正を行った結果である。図から、マーカーとして4隅の点を指定することで、アフィン変換後の発光強度比画像と比較して図中右下部分のずれが小さくなっていることがわかる。以下の噴流装置試験などでは射影変換を用いて位置補正を行った。

### (2) 圧力・温度較正試験装置

本研究で圧力分布及び温度分布の定量計測を行うために、配列型PSP・TSP複合センサの発光強度がどの圧力値並びに温度値に相当するのかを調査する圧力・温度較正試験装置を構築した。較正試験装置の全体図は図3のようになっている。較正試験装置は、励起光やサンプルからの発光を透過するように、合成石英で作製した光学窓を有しアルミニウム製のチャンバーを設計し、圧力センサや温度センサを接続したものとなっている。チャンバー内の圧力はコンプレッサーにより乾燥空気を送ったり、ポンプによりチャンバー内の気体を排気したりすることで調整した。サンプルの温度はサンプル台である銅板の下にペルチェ素子を設置することにより、一様にサンプルの温度を調整できるようにした。またペルチェ素子の裏面の温度を管理するために、冷却水を循環させる機構とした。サンプルからの発光の検出には、今後の立体視の実験を見越して、モノクロカメラ2台にそれぞれ適切な光学フィルタを設置することにより、PSP及びTSPからの発光を別々に検出した。

作製した較正装置の妥当性を評価するために、特性が既知なPSP色素であるPtTFPPの圧力特性並びに温度特性を計測した(図4)。この図から圧力特性は0.63%/kPaであり、従来の計測の結果と一致した結果が得られたことから、本研究で構築した較正試験装置は正常に機能していることが確かめられた。

### (3) ZAIS ナノ粒子合成装置

量子ドットの一つであるZAISナノ粒子は、量子効率が高いだけでなく、吸収バンドが広波長域に渡ることや、前駆体(AgIn)<sub>x</sub>Zn<sub>2(1-x)</sub>(S<sub>2</sub>CN(C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>)<sub>2</sub>)<sub>4</sub>の組成比 $x$ を0.4から1.0まで変えることで発光波長が可変であることから、PSP・TSP複合センサのTSP色素として有望である。さらに、多くの量子ドットがCdやSeなどの有毒物質を含むのに対して、ZAISは比較的無害な元素から構成される。そこでZAISナノ粒子を合成するために、熱処理のためのオイルバスなどを構築した。

作製したZAISナノ粒子の発光の様子並びに発光スペクトルを図5に示す。図から組成比 $x$ を変えることにより、発光波長が変化し

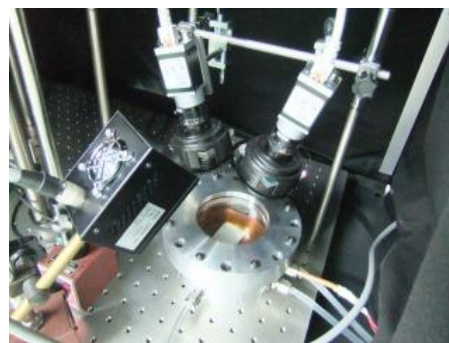
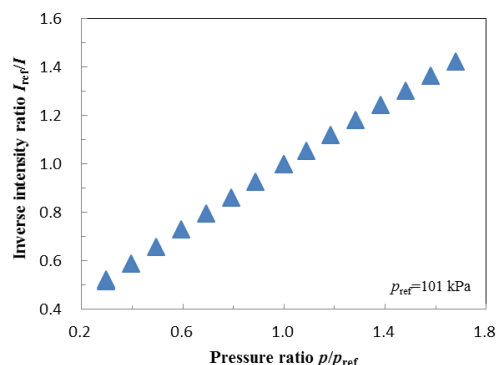
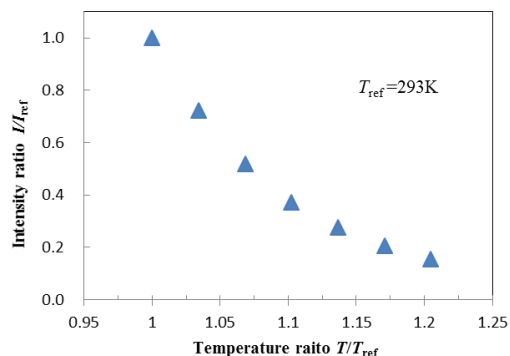


図3 較正試験装置



(a) 圧力特性



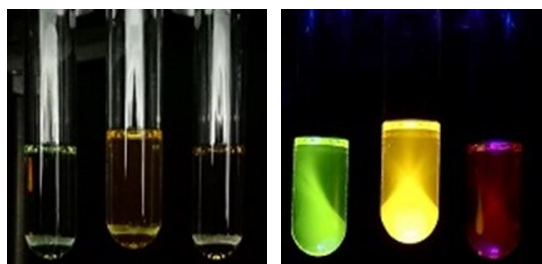
(b) 温度特性

図4 PtTFPPの静的特性

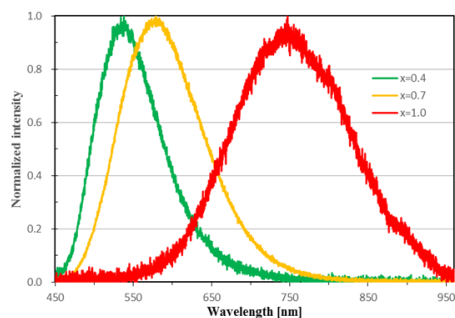
ていることや、ピーク波長が過去の結果<sup>[3]</sup>とほぼ一致していることがわかり、本研究で構築した合成装置でZAISナノ粒子の合成ができることが示された。

### (4) 噴流装置

(1)で述べたプログラムでの位置補正や、温度補正を行った後に得られる圧力分布の精度を評価するために、実際にサンプル上に温度分布と圧力分布が同時に生じさせる装置として、噴流装置を作製した。噴流装置はコンプレッサーに先細のノズルを取り付けたものである。また噴流とサンプルの位置によって生じる分布の様子が大きく異なるため、ノズルの高さや位置を細かく調製できるように、xyzステージを使用した。サンプルを載せる台には、3つの圧力孔を設け、それぞれに圧力センサを接続した。実証試験ではこの圧力孔によって得られた圧力値と、圧力孔の位置でのPSP・TSP複合センサによって得



(a) 励起光照射前 (b) 励起光照射中



(c) 発光スペクトル

図5 作製したZAISナノ粒子の発光の様子と発光スペクトル

られた圧力値を比較することで検証する。

図7, 8にそれぞれPSP及びTSPの通風画像及び参照画像を示す。ここでPSP画像とTSP画像は別々のカメラで撮影しているため、通風時のPSP画像とTSP画像、無風時のPSP画像とTSP画像でサンプルの位置は異なって撮影される。また通風時と無風時にサンプルの位置を変えたため、PSP画像の通風時と無風時の位置、TSP画像の通風時と無風時の位置も異なっている。作成したプログラムにより、各画像のドットの中心位置を算出し、マーカーとして任意の4点を選択した。ここでドットの無い部分はドットの発光強度から補間した。その後PSP画像及びTSP画像それぞれに対して通風画像と参照画像の位置を合わせる。算出されたPSP画像及びTSP画像の発光強度比画像はそれぞれ図7, 8に示す通りである。これらの結果から、通風画像と参照画像の位置補正が行えていることがわかる。

その後、このように算出したPSP, TSPそれぞれの発光強度比画像に対して、同様に位置補正を行い、PSP発光強度比画像とTSP発光強度比画像の位置を合わせた。図9に得られた圧力分布と温度分布を示す。図より局所的に圧力の高い部分と低い部分が確認できた。温度分布についても同様に局所的に高い部分と低い部分が確認できたが、それらの値は噴流によって生じる温度の範囲外であった。この原因としては、サンプルが局所的に劣化していたことが考えられる。一方で、噴流の衝突している部分では圧力分布及び温度分布を確認できた。これらから異常値が得られた部分においてはTSPドットがセンサとして機能していないが、それ以外の部分で

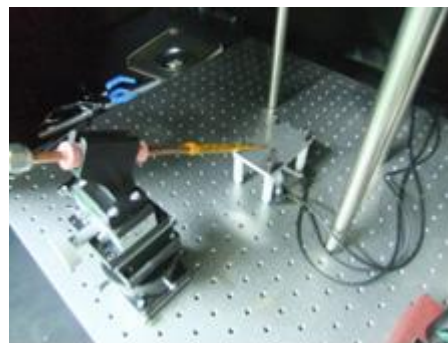
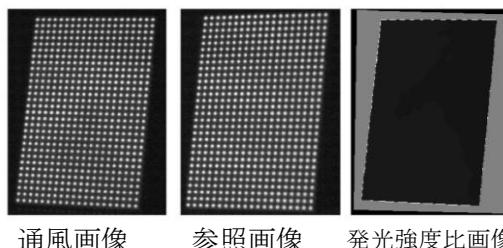
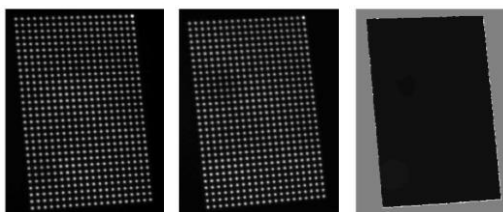


図6 噴流装置



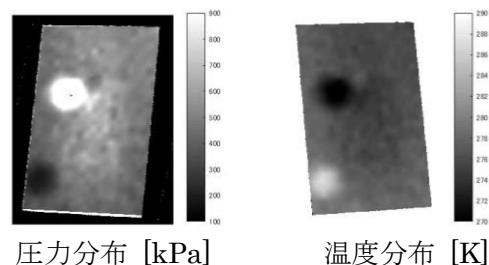
通風画像 参照画像 発光強度比画像

図7 PSP画像



通風画像 参照画像 発光強度比画像

図8 TSP画像



圧力分布 [kPa] 温度分布 [K]

図9 得られた圧力分布及び温度分布

は温度の定性的な計測ができていると考えられる。ただし画像下部において数ピクセルのずれが確認できたため、位置補正の精度について再検討し、改良を加える必要がある。今後、十分な精度で位置補正ができ次第、圧力孔による計測値と比較することで、圧力計測の精度を評価する。

#### <引用文献>

- [1] T. Liu, J. P. Sullivan, "Pressure and temperature sensitive paints", Springer (2005).
- [2] T. Kameya, Y. Matsuda, H. Yamaguchi, Y. Egami, T. Niimi, Sensors and Actuators B: Chemical, Vol.190 (2014) pp.70-77.
- [3] Y. Matsuda, T. Torimoto, T. Kameya, T. Kameyama, S. Kuwabata, H. Yamaguchi, T. Niimi, Sensors and Actuators B: Chemical, Vol.176 (2013) pp.505-508.

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 0 件)

〔学会発表〕(計 2 件)

- ① 亀谷知宏, 「配列型 2 色発光 PSP の位置補正への応用」, 日本機械学会 第 93 期 流体工学部門 講演会, 2015 年 11 月 7 日, 東京理科大学葛飾キャンパス (東京都葛飾区新宿)
- ② 亀谷知宏, 「配列型 2 色発光 PSP のドットパターンによる位置合わせ」, 日本機械学会 第 94 期 流体工学部門 講演会, 2016 年 11 月 12 日, 13 日, 山口大学常盤キャンパス (山口県宇部市)

〔その他〕

ホームページ等

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

亀谷 知宏 ( KAMEYA, Tomohiro )  
鳥羽商船高等専門学校・電子機械工学科・助教  
研究者番号 : 70734854