

機関番号：33903

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2009～2010

課題番号：21860040

研究課題名（和文） 感圧・感温色素のマイクロドット配列による圧力・温度同時計測法の開発

研究課題名（英文） Development of simultaneous measurement of pressure and temperature by PSP and TSP arranged in a micro-dot pattern

研究代表者

江上 泰広 (EGAMI YASUHIRO)

愛知工業大学・工学部・准教授

研究者番号：80292283

研究成果の概要（和文）：

感圧(PSP)・感温塗料(TSP)は光学的に CCD カメラなどの光センサを用いて模型表面の圧力、温度情報を高空間分解能で二次元面測定することができる分子イメージングセンサである。従来、PSP と TSP を混合すると分子間干渉が生じるため、複合化できずにいたが、本研究ではインクジェット技術によって PSP と TSP をマイクロドット配列に塗り分けることで分子間干渉を生じさせず、センサの複合化を図り、圧力と温度の同時計測を実現した。

研究成果の概要（英文）：

The simultaneous measurement of pressure and temperature distributions on a model surface has been realized by PSP (Pressure-Sensitive Paint) and TSP (Temperature-Sensitive Paint) arranged in a micro-dot pattern. A conventional mixed PSP / TSP paint cannot work well because the mixed PSP and TSP luminophores cause mutual interference. In this study, PSP and TSP were separately printed on a model surface in a micro-dot pattern using inkjet technology to avoid the mutual interference between sensor luminophores. This novel complex PSP/TSP paint enables us to simultaneously measure pressure and temperature distribution on a model surface with high-spatial resolution.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	1,080,000	324,000	1,404,000
2010年度	980,000	294,000	1,274,000
年度			
年度			
年度			
総計	2,060,000	618,000	2,678,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：流体工学

キーワード：流体工学，感圧塗料，感温塗料，非正常計測，複合センサ

1. 研究開始当初の背景

感圧塗料(PSP)と感温塗料(TSP)はそれぞれ酸素消光，温度消光の光化学現象を応用した機能性分子センサである。感圧・感温色素分子をバインダ（高分子ポリマ）に溶解したこ

れらの特殊な塗料を航空機などの模型上に薄くコーティングし PSP, TSP からの光強度の変化を, CCD カメラなどの光センサを用いて光学的に測定することで模型表面の圧力と温度を測定することができる。従来の圧

力・温度センサの多くがポイントセンサであるのに対してPSP, TSPは圧力や温度を非侵襲かつ面(二次元)情報として高空間分解能で計測することができるため, 航空機を開発するための風洞試験をはじめ多分野で用いられ始めている。複雑な熱流体现象を解明するためにこのPSPとTSPを複合化させ, 圧力と温度を同時計測する試みがNASAをはじめとする国内外の研究機関で盛んに行われている。しかし従来の複数の機能性分子を単一のバインダと溶媒に単純に混ぜて混合塗料を作成する方法では, 混合した感圧・感温色素の相互干渉によりセンサ特性の劣化が生じ, 実用に耐える混合複合塗料は未だ開発されていない。また, 感圧塗料と, 感温塗料を重ね塗りするなどの手法がとられることもあるが, 2つの層の境界面でポリマーやセンサ色素が溶解・混合すると, その部分だけ異なる酸素透過性になり, センサ特性が変化し測定精度に大きな影響を与えてしまう。そのため, センサ色素間の干渉を生じさせない複合化方法の創出が長年の課題となっていた。

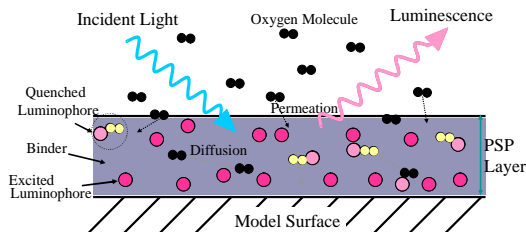


図1 PSPの測定原理

2. 研究の目的

本研究では, 従来の混合型の複合PSP/TSP塗料で問題となっていたセンサ分子間の干渉の問題を解決するために, インクジェットの微細描画技術に着目した。PSPとTSPを混合せず, インクジェットによって微細なマイクロドット配列に塗り分け物理的に完全に分離することで, センサ分子間の干渉問題を解決してセンサの複合化を図った。また, PSP, TSPを分離して塗布することで, それぞれに適したポリマーと溶媒を使用することができ, この点でも高精度化を図ることができる。また塗布パターンをマイクロ化することでPSP/TSPの分子イメージングセンサとしての高空間解像度という従来の長所を維持したセンサを開発し, 圧力と温度の同時計測を実現することを目的とした。

3. 研究の方法

大きく2つの段階に分けて研究を推進した。

(1) PSP/TSP プリントシステムの開発と作成した複合センサの基礎特性の評価。

近年のインクジェットプリンタは最少5000dpi (5 μ m 間隔)で印刷をすることが可能

である。一滴あたりの塗料は最1pL(10-12L)~10pLと非常に少量であり, マイクロレベルで任意のパターンを形成することができる。しかし一般にインクジェットノズルでは粘度が大きく揮発性の高い溶媒を使用するPSP, TSPのような溶液の吐出が難しく, パターン描画を安定して行うのは容易ではない。そのため適切なインクジェットノズルを選定し, 塗料の配合や塗料吐出時の様々なパラメータを最適化する必要がある。そのためのインクジェットのプリントシステムを構築し, 安定したパターン描画ができるようになったら, PSP/TSP複合センサを作成し(図2), 圧力と温度を変化させた校正試験を行い, 従来の混合型PSP/TSPと比較をした特性の評価を行う(図3)。また, PSP/TSPのドット配列パターンや間隔が及ぼす空間分解能や発光強度など測定精度への影響を調べる。

(2) 衝突噴流を用いた圧力/温度同時計測の実証試験の実施

PSP/TSP プリントシステムで作成されたPSP/TSP複合センサを実際の模型に塗布し, 圧力分布と温度分布の同時計測の実証試験を行う。試験を通じて実用化の上での問題点を抽出すると共にその解決方法を探る。実証試験には基礎的で研究報告例の多い, 噴流を平板上に衝突させた衝突噴流を用いる。この様な流れ場では圧力と温度の大きな変化が得られるため, 圧力/温度同時計測の実証試験としては適切であると考えられる。また, 実証試験の結果を(1)のPSP/TSP複合センサの開発へもフィードバックさせ, 複合センサの特性のさらなる向上を図る。

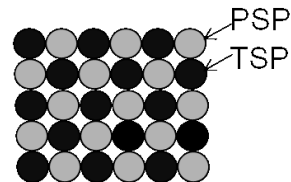


図2 PSPとTSPのマイクロドット配列

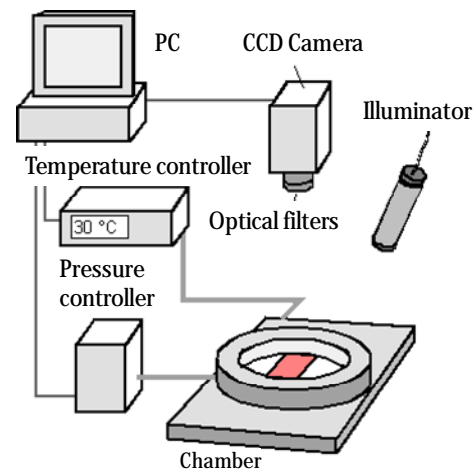


図3 サンプル校正試験装置の概略図

4. 研究成果

研究は、まずインクジェット技術を用いたPSPとTSPの安定塗布条件の調査を行った。通常の沸点の高い水溶性のインクジェットプリンタ用のインキとは異なりPSP、TSPは揮発性の高い有機溶媒にポリマーと蛍光色素を溶解したものであるため、インクジェットによる溶液の吐出は非常に困難であったが、その溶液を希釈することでインクジェットノズルからの安定した吐出が可能であることを確認した。またインクジェットノズルをx-yステージに組み込み、PSPをマイクロドット配列に塗布したものが図4である。PSPの色素にはPtTFPP、ポリマーバインダーにはpoly(TMSP)を用い、溶媒にはトルエンを使用した。前述のとおり、溶液濃度を濃くするとノズル出口を塞いでしまい、安定した吐出ができないため、希釈した塗料を使用している。そのため、1点に吐出する液滴数や重ね塗り回数を調整することで、計測に十分な発光強度を持たせることを試みた。一点に30滴を塗布し、充分乾燥したところで、再び塗布するという工程を10回繰り返した。これにより従来のスプレーを用いて作成したサンプルとほぼ同等の発光強度を得ることができた。また、一度塗布した後、時間間隔を置いたのは、連続塗布を一定時間以上すると、基板上に形成されたPSP層が溶媒によってふたたび溶解されてしまい、上手く積層することができなくなるためである。そのために溶媒が蒸発するための、時間間隔を置いて塗布を行った。

次にこれらインクジェットを用いて塗布したPSP、TSPの圧力感度、温度感度を試験するため校正試験装置を作成した。作成された試験サンプルは校正試験チャンバー内に設置され、LED光源励起された。試験サンプルからの蛍光強度の圧力や温度による変化をCCDカメラによって計測した。その際、LEDとCCDカメラには光学フィルタを装着し、適切な光だけを透過させるようにした(図3)。図5に校正試験の結果を示す。従来のスプレー塗装によるPSPと比較してほぼ同等の圧力感度を得ることができた。また、圧力を増加させる方向と、減少させる方向の両方で校正試験を行ったが、圧力によるヒステリシスは生じなかった。

図6は各マイクロドットにおける圧力感度を調べたものである。異なる4点において圧力感度の校正試験を行ったが、場所による圧力感度の差は見られず、インクジェットによるPSP、TSPの塗装に問題がないことが示された。

またPSP、TSPを同一面に分離塗布した複合センサを作成し、両者を混合しないで分離することでPSP、TSPの干渉による特性の劣化が生じないことを確認した。塗布間隔を密にすることで、大きな模型においては空間分解能にも従来のものと比較して大きな差が生じないことを明らかとした。このように、本研究では従来の混合法とは異なる、プリンタシステムによるマイクロドット配列化した複合センサを作成することに成功した。また複合サンプルの校正試験を完了し、その有効性が確認できた。現在、引き続き実証試験を進めている。

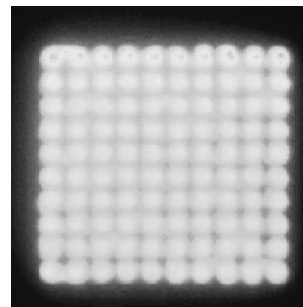


図4 PSPのマイクロパターン

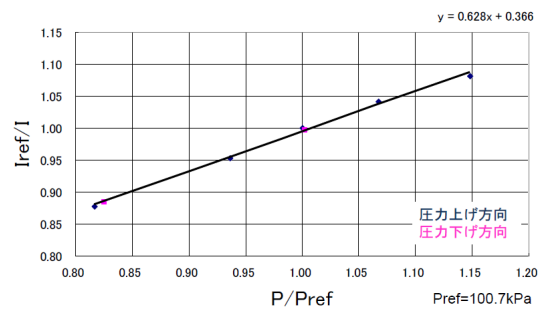


図5 PSPの校正曲線

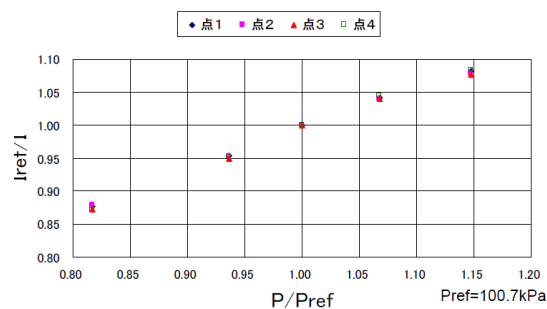


図6 マイクロドット間の圧力感度の比較

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計5件)

H. Yamaguchi, T. Hanawa, O. Yamamoto, Y. Matsuda, Y. Egami, T. Niimi, "Experimental

measurement on tangential momentum accommodation coefficient in a single microtube”, Microfluidics and Nanofluidics, Online First™, 4 February 2011, (2011) 査読有

C. Klein, W. E. Sachs, U. Henne, Y. Egami, H. Mai, V. Ondrus, Y. Beifuss, “Application of Pressure Sensitive Paint for Determination of Dynamic Surface Pressures on a 30Hz Oscillating 2D Profile in Transonic Flow”, New Results in Numerical and Experimental Fluid Mechanics VII, Vol.112, Springer Verlag Berlin, Heidelberg, New York, (2010), pp.323-330. 査読有

亀谷知宏, 松田佑, 山口浩樹, 江上泰広, 新美智秀, “感圧塗料を用いた高速回転ディスク表面の圧力分布計測”, 日本機械学会論文集, 第 76 巻第 771 号 B 編 (2010), pp.3002-3007. 査読有

江上泰広, 飯島由美, 浅井圭介, “低温風洞における感圧塗料のヒステリシスに関する研究”, 日本機械学会論文集, 第 76 巻第 762 号 B 編 (2010), pp.254-258. 査読有

江上泰広, 飯島由美, 浅井圭介, “10 度円錐体に発達する超音速境界層遷移の可視化に関する研究”, 日本機械学会論文集, 第 76 巻第 762 号 B 編 (2010), pp.259-265. 査読有

[学会発表] (計 24 件)

Ch. Klein, U. Henne, W. Sachs, R. H. Engler, Y. Egami, H. Mai, V. Ondrus, U. Beifuss, “Application of PSP for Determination of unsteady Surface Pressures in Transonic Flow”, Seminar an China Aerodynamics Research and Development Center (CARD), Mianyang, Sichuan, China, (2010 年 10 月 26 日)

T. Kameya, Y. Matsuda, H. Yamaguchi, Y. Egami, T. Niimi, “Pressure-Sensitive Paint Measurements on Co-rotating Disks”, Proceedings of ASME 2010 3rd Joint US-European Fluids Engineering Summer Meeting and 8th International Conference on Nanochannels, Microchannels, and Minichannels (FEDSM2010-ICNMM2010), Montreal, Canada, (2010 年 8 月 2-4 日)

江上泰広, 高斯, 松田佑, 山口浩樹, 新美智秀, “感温塗料の温度感度に対するポリマー特性の影響”, 第 38 回可視化情報シンポジウム, pp.165-168, 新宿, (2010 年 7 月 20-21 日)

Y. Egami, S. Gao, Y. Matsuda, H. Yamaguchi, T. Niimi, “Change of TSP properties by polymer characteristics”, 14th

International Symposium on Flow Visualization, CD-ROM, Daegu, Korea, (2010 年 6 月 21-24 日)

T. Streit, G. Schrauf, I. S. E. Din, U. Cella, U. Fey, Y. Egami, “The TELFONA Pathfinder Model, a Second Look”, Vth European Conference on Computational Fluid Dynamics (ECCOMAS CFD 2010), CD-ROM. Lisbon, Portugal, (2010 年 6 月 14-17 日)

U. Fey, Y. Egami, R. Konrath, T. Kirmse, T. Ahlefeldt, J. Kompenhans, “Advanced Measurement Techniques for High Reynolds Number Testing in Cryogenic Wind Tunnels”, 48th AIAA Aerospace Sciences Meeting, Orlando, Florida, (2010 年 1 月 4-7 日), AIAA-2010-1301

J. Perraud, G. Schrauf, I. Archambaud, R. Donelli, T. Streit, A. Hanifi, U. Fey, Y. Egami, S. Hein, J. Quest, “Transonic High Reynolds Number Transition Experiments in the ETW Cryogenic Wind Tunnel”, 48th AIAA Aerospace Sciences Meeting, Orlando, Florida, (2010 年 1 月 4-7 日), AIAA-2010-1300

J. Perraud, J.-P. Archambaud, G. Schrauf, R. S. Donelli, A. Hanifi, J. Quest, T. Streit, U. Fey, Y. Egami, “High Reynolds Number Transition Experiments in ETW (TELFONA project)”, Seventh IUTAM Symposium on Laminar-Turbulent Transition, Volume 18, Springer, Netherlands, Stockholm, Sweden, June (2009 年 6 月 23-26 日), pp.553-556.

[その他]

ホームページ等

<http://aitech.ac.jp/~egami/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

江上 泰広 (EGAMI YASUHIRO)

愛知工業大学・工学部・准教授

研究者番号：80292283

(2) 研究分担者

()

研究者番号：

(3) 連携研究者

()

研究者番号：