

低速流れ場解析への適用に向けた感圧塗料の時間応答性の検証および温度補正手法の開発に関する研究

文, 吉周

<https://hdl.handle.net/2324/1959126>

出版情報 : Kyushu University, 2018, 博士 (工学), 課程博士

バージョン :

権利関係 : Public access to the fulltext file is restricted for unavoidable reason (3)

氏 名 : 文 吉周

論 文 名 : 低速流れ場解析への適用に向けた感圧塗料の時間応答性の検証
および温度補正手法の開発に関する研究

区 分 : 甲

論 文 内 容 の 要 旨

本研究では、低速流れ場解析への感圧塗料(Pressure Sensitive Paint: PSP)および感温塗料(Temperature Sensitive Paint: TSP)の適用を目指し、低速流れ場で高い圧力感度を有するポリマー型 PSP の薄膜化による時間応答性の向上および PSP と TSP の複合による PSP の温度補正を通じた圧力計測精度向上に取り組み、その効果の検証について述べる。

実験流体力学的解析における従来の圧力および温度分布計測では、計測対象表面に多数の電子式圧力センサーおよび温度プローブを設置して計測する点計測手法を用い、得られた離散的なデータから補間法を通じて圧力および温度場を得る方法がとられてきたが、これに対し PSP および TSP を用いた計測手法は、計測対象表面上に PSP および TSP を塗布してカメラで計測を行うため、二次元の連続的な圧力および温度分布を得ることが可能である。一方で、PSP は絶対圧センサーであるため、大気圧下における微小な圧力差の測定には不利であることや、従来のセンサープローブに比べて時間応答性が低いことが短所として挙げられる。さらに、PSP は圧力依存性だけでなく温度依存性を有するため、温度分布を有する流れ場における高精度の圧力測定にはその分布が僅かであっても温度補正が必要不可欠である。そこで本研究では、PSP および TSP を低速流れ場へ適用するにあたって、これらの課題点の改善方法を提案する。

本論文は全7章からなり、各章の概要は以下のとおりである。

第1章では、PSP および TSP の開発背景や先行研究を紹介し、PSP および TSP を低速流れ場へ適用するにあたっての課題点を挙げた上で、研究目的と研究内容について述べた。

第2章では、PSP および TSP の発光プロセスや計測原理および計測方法について述べた。本研究で用いた計測方法は、光の強度が圧力および温度に依存する現象を利用した発光強度法と色素の発光寿命が圧力および温度に依存する現象を利用した寿命法である。

第3章では、本研究で用いた PSP と TSP の有機色素分子とバインダー構成や特性について紹介した上で、PSP と TSP の複合方法の一つである重ね塗り PSP/TSP(Dual-Layer PSP/TSP : DL-PTSP)システムについて述べた。

第4章では、ポリマー型 PSP を用いて低周波数低振幅の非定常圧力計測を行い、その特性について述べた。周波数応答性の向上を目的にポリマー型 PSP の塗布量を低減させて薄膜化した結果、ポリマー型 PSP の膜厚は $1\mu\text{m}$ 以下であり、塗布量を減量することで PSP 層が薄膜化していることを

確認できた。薄膜化した PSP により円柱表面上の時間平均圧力分布を計測した結果、レイノルズ数 1.56×10^5 (円柱直径 $\phi 66\text{mm}$ 、主流速度 37m/s) の条件において円柱表面に生じる 1.5kPa の圧力差を有する時間平均圧力分布に対し、PSP による圧力計測結果は圧力プローブによる測定値と全域にわたって概ね一致していることが確認できた。また、非定常圧力については、薄膜化 PSP による計測結果は、 90Hz 以下の圧力変動に対して周波数のピークおよび振幅スペクトル強度が圧力プローブによる測定結果と非常に良く一致することを確認した。

第 5 章では、温度分布が不均一な低速流れ場で PSP を適用するために、低速流れ場に適した DL-PTSP を開発し、その圧力および温度感度など特性を検証した上で平板衝突噴流実験を実施し、PSP の温度補正効果について述べた。計測には DL-PTSP の PSP 層、TSP 層の発光強度を圧力、温度に直接変換する発光強度法を適用し、PSP 層と TSP 層の発光を分離するため、各色素の発光波長を考慮して適切な光学フィルターを選定した。DL-PTSP の圧力感度を検証した結果、単層 PSP に比べて圧力感度が約 32% 低下したが、線形の圧力感度を有するため実用性には問題ないと判断された。一方で温度感度については単層 TSP とほぼ等しいことが確認できた。DL-PTSP を衝突噴流に適用したところ、温度補正を行うことで、約 0.8kPa の圧力差を計測することができた。

第 6 章では、DL-PTSP を用いた圧力と温度の同時計測をカメラ 1 台で行うことを可能とするため、DL-PTSP へ寿命法を適用し、2 種類の色素の発光寿命の違いを利用した PSP と TSP の発光分離法を提案した上で、圧力と温度の同時計測の実現可能性について検証した。まず、寿命法の適用を想定した DL-PTSP の各色素層の発光強度の最適化を行った。さらに、励起光の照射タイミング遅延を用いる「シフト照射計測法」を考案し、本手法を用いて、DL-PTSP を構成する PSP と TSP の特性を調査した。単層 TSP について、発光減衰を評価する時間幅を $3\mu\text{s}$ としたときに発光減衰率の温度感度が最も高くなり、圧力依存性は無視できるほど小さいことが確認できた。一方で、単層 PSP は圧力および温度両方の感度を持ち、かつ発光減衰を評価する時間幅を $25\mu\text{s}$ としたとき発光減衰率が最高感度を示した。よって DL-PTSP は、単層 TSP と同様に発光減衰を評価する時間幅を $3\mu\text{s}$ としたときの発光減衰率を解析することで温度計測が可能であるとともに、TSP 層の発光が完全に消滅する時刻 $26\mu\text{s}$ の発光強度を基準とすることで、PSP 層のみを解析することができる。すなわち、発光減衰を評価する時間幅を $25\mu\text{s}$ としたときの発光減衰率のデータに、TSP 成分によって得られた温度情報を利用した温度補正を行うことで正確な圧力を算出することができた。以上の通り、色素の発光寿命の違いを利用して TSP の発光成分と PSP の発光成分を分離することができ、一台のカメラで温度と圧力の同時計測が可能であることを立証した。

最後に第 7 章では本研究で得られた結果を総括した。