

## モーションキャンセリングを可能とした非定常面圧力計測法の開発

\*宮本健輔 \*\*宮崎武 \*\*\*坂上博隆

\*電気通信大学(JAXA 研修生) \*\*電気通信大学 \*\*\*宇宙航空研究開発機構

感圧塗料(Pressure-Sensitive Paint: PSP)は光学的酸素センサである。これを用いた光学的面圧力計測が、航空宇宙分野において行われている。この PSP 計測には強度法と寿命法の二つの計測法が存在する。強度法を用いた PSP 計測システムは、計測模型となる試験体と、励起光源、CCD カメラなどの光検出器からなる画像収集系、画像処理系により構成されている<sup>(1)</sup>。一般的な風洞試験では、試験体表面に PSP を塗布し、これを風洞に設置し、励起光源を用いて、試験体表面を照射し、PSP からの発光画像を計測する。得られた発光画像を圧力較正することにより試験体表面圧力分布を得る。強度法では、試験体表面圧力を得るために、試験体表面の圧力分布を含んだ通風下の発光画像(シグナル画像)と、無風下で、試験体表面が一定圧力での発光画像(リファレンス画像)を用いて発光画像比を作る。これにより得られた発光画像の圧力に依存しない、幾何学的要因を除去する(図 2)。幾何学的要因とは試験体—励起光源間距離、試験体—光検出器間距離により増減させられる発光分布である。これは試験体、励起光源、光検出器の位置、形状が一定であれば発光画像比からキャンセルすることができる。定常現象においては通風時における試験体位置の移動がなく、試験体の変形はないため、その条件は満たされる。非定常現象の通風時に試験体位置の移動、試験体の変形が時系列で生じる場合は発光画像比を用いて幾何学的要因をキャンセルすることができない(図 3)。本研究では、シグナル画像とリファレンス画像を同時取得することにより、上記の時間依存性による幾何学的要因を除去できる非定常面圧力計測法の開発を行い、その実証実験を行った。

本研究で開発した非定常面計測法は 2 色発光 PSP と高速カラーカメラ(Phantom V7.3)により構成される(図 4)。2 色発光 PSP は 2 つの発光ピークをもつ PSP である。一方の発光ピークには圧力感度をもち(シグナル)、もう一方の光は圧力感度を持たない(リファレンス)。シグナルとリファレンスは同じ励起波長帯を持つ。リファレンスには poly[1-(trimethylsilyl)phenyl-2-phenylacetylene]を用いた。またシグナルにはバスマフェニルテニウムを用いた。2 色発光 PSP の発光スペクトルを図 5(a)に示す。多孔質基盤の一つである TLC プレートを用いることにより高速応答性を持たせた。本試験では少なくとも 3msec の応答性を持つことが分かった(図 6)。高速カラーカメラを用いて得られた 1 枚の画像は画像処理することにより 3 つの R、G、B 画像に分けられる。これら RGB 画像には波長感度特性を持つ(図 5(b))。R で得られる画像と 2 色 PSP のシグナルは 620nm において波長ピークを持つ。R で得られる画像をシグナル画像とした。また G で得られる画像と 2 色発光 PSP のリファレンスは 550nm において波長ピークを示した。G で得られる画像をリファレンスとした。同時に得られた、シグナル画像、リファレンス画像を用いて発光画像比をとることにより、時間変化する幾何学的要因を排除し、面圧力計測を行うことを可能とした。ロングパスフィルター 530nm を用いることにより励起光の光を除去した。

実証実験には再現性のない非定常な動きをする装置を用いて試験を行った。吊るされた磁石の下に複数の磁石を置き、吊るされた磁石は磁場の影響により、再現性のない非定常な運動をする。吊るされた磁石に 2 色発光 PSP を取り付けた。これにより、再現性のない非定常運動をする 2 色発光 PSP となり、試験体—励起光源間距離、試験体—光検出器間距離は時間依存し変化する。それに励起光(Xe ランプ 400±50nm、LED400±100nm)を用い照射した。2 色発光 PSP 表面に窒素ガスを簡潔的に噴射し、酸素濃度を変化させた。その様子を高速カラーカメラで撮像した。カメラフレームレートは応答性より 3.3msec で行った。

非定常運動をする前のシグナル画像とリファレンス画像を図 8(a)に示す。非定常運動中におけるある時間でのシグナル画像とリファレンス画像を図 8(b)に示す。非定常運動中におけるある時間でのシグナル画像では

右のカラーバーよりジェットが良く見てとれる。リファレンス画像では若干であるがジェットが見られる、これはカラーカメラの分光感度特性上 G で得られる画像は少なからずシグナルを取得してしまうためである。G と R の比で得られた結果と、従来法との比較を図 9 に示す。従来計測法は非定常運動をする前のシグナル画像をリファレンス画像として用いた。非定常面計測法を用いて発光画像比をとったものは、時間変化する試験体—励起光源間距離、試験体—光検出器間距離に依存した発光をキャンセルし窒素ジェットを可視化できている。従来計測法を用いたものは非定常な動きをする前の画像と一致する画像のみしか試験体—励起光源間距離、試験体—光検出器間距離に依存した発光をキャンセルすることができない。右のカラーバーにより、酸素濃度の強弱が分かる。非定常面計測法を用いて窒素ジェットの可視化を行うことができた。

参考文献

- (1) T.Liu J.P. Sullivan, “PRESSURE AND TEMPERATURE SENSITIVE PAINT”.

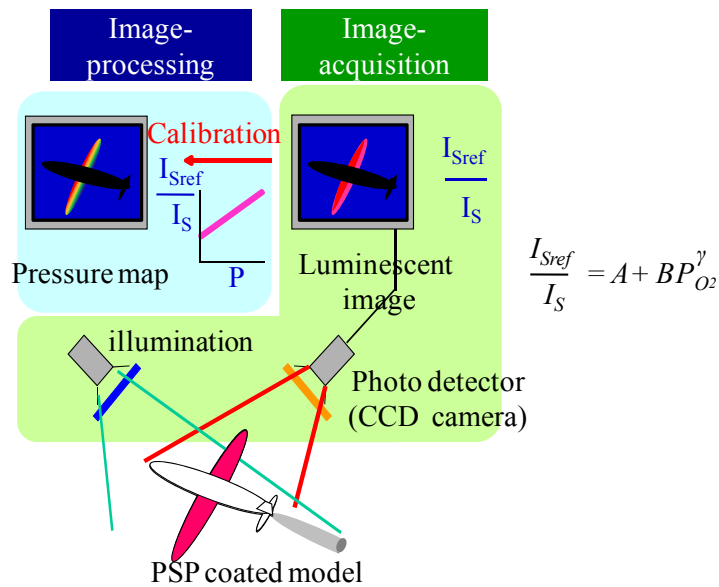


図 1: PSP 計測システム概念。

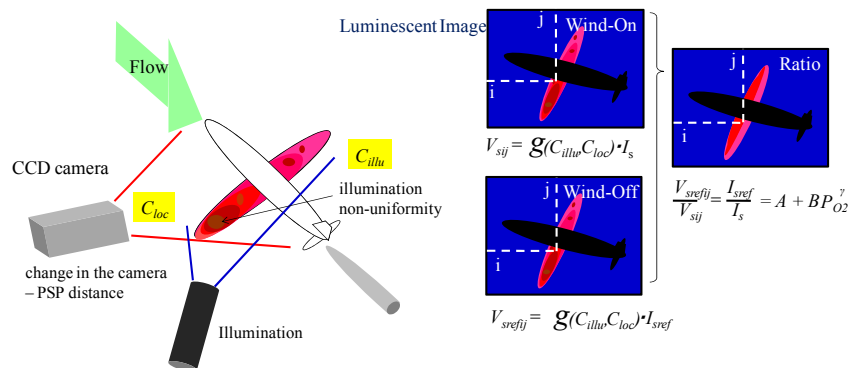


図 2: PSP 計測(定常現象)。

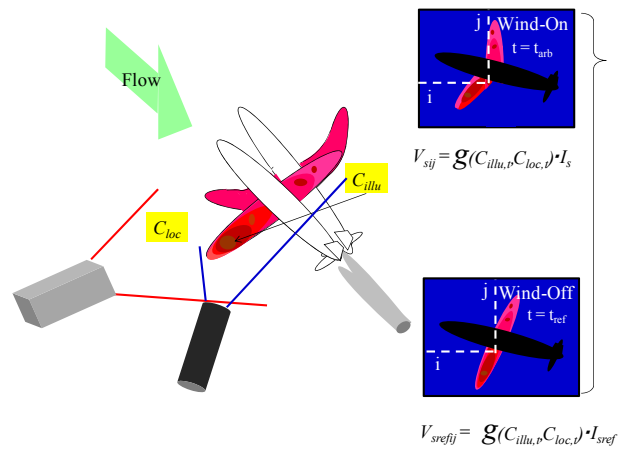


図 3: PSP 計測(非定常現象)。

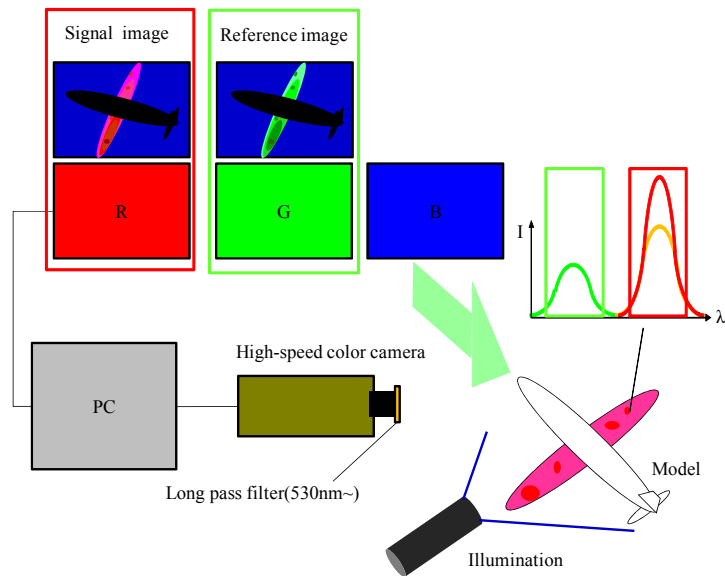


図 4: 非定常面圧力計測法。

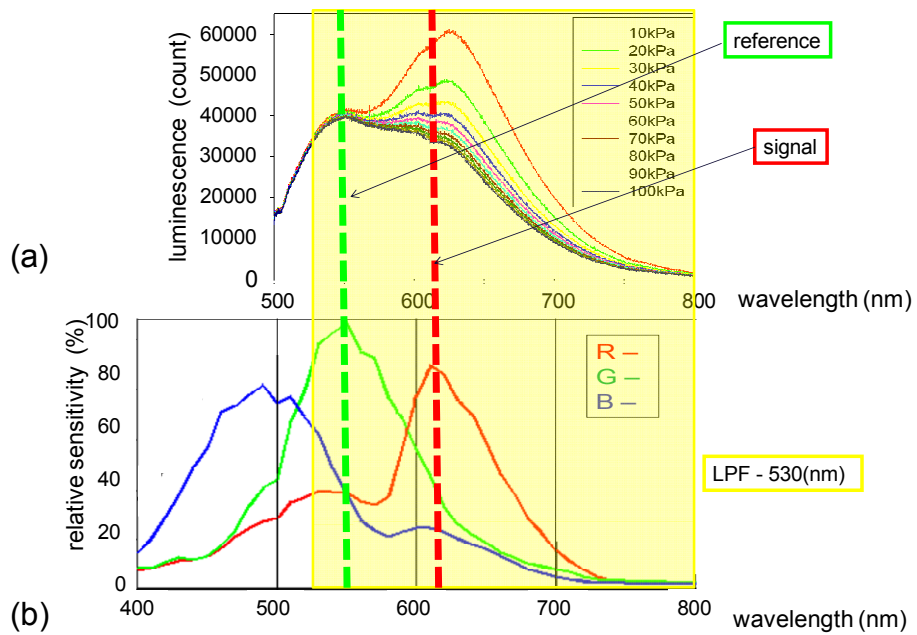


図 5: 2 色発光 PSP の発光スペクトル(a)と高速カラーカメラの分光感度特性(b)。

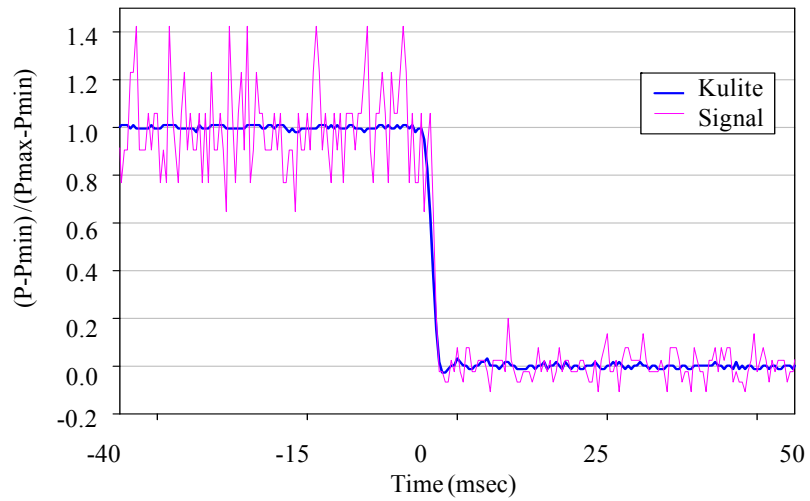


図 6: 2色発光 PSP 応答性評価

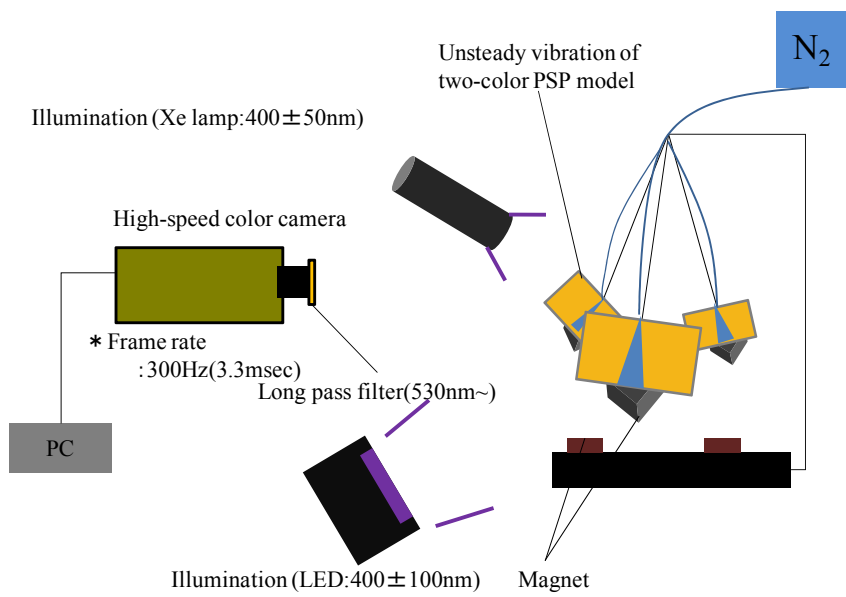


図 7: 実証実験概念図

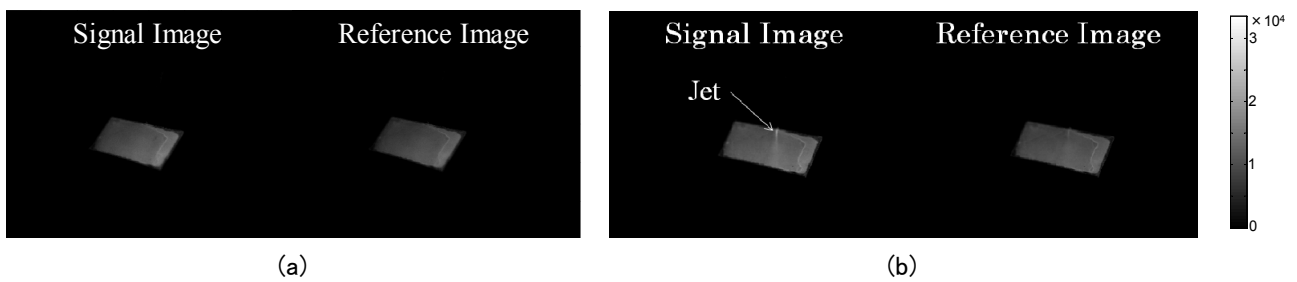


図 8: 非定常運動前(a)と非定常振動中(b)におけるシグナル画像とリファレンス画像

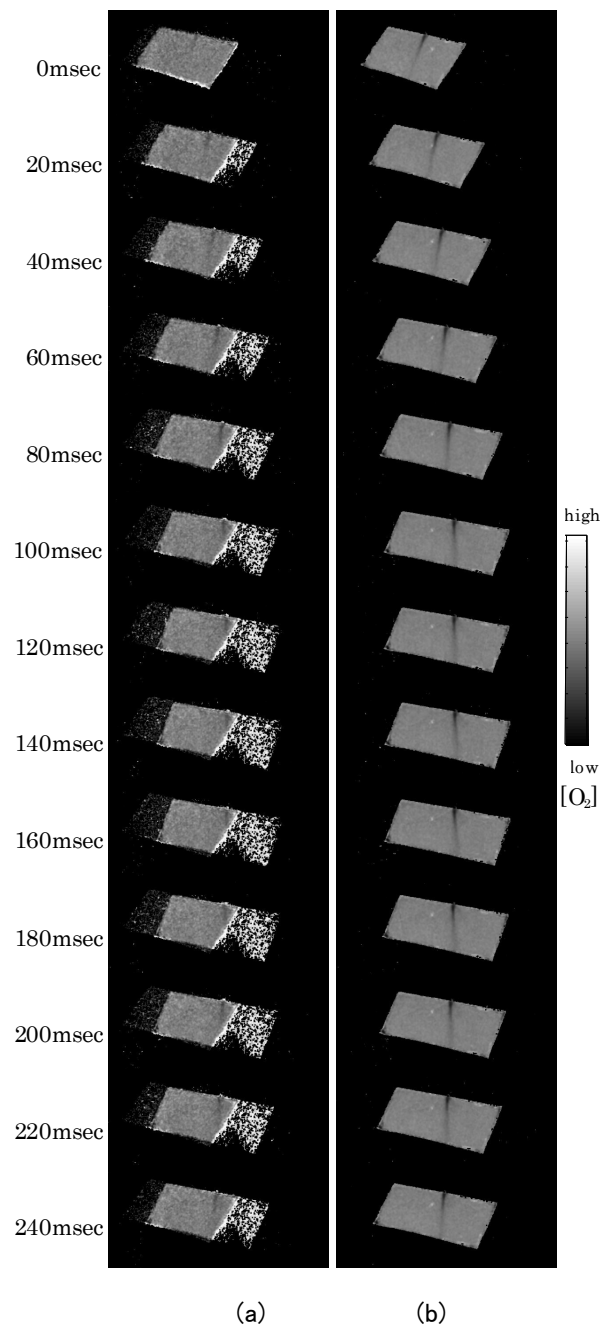


図 9: 従来計測法(a)と非定常面圧力計測法(b)の比較