

# 時系列画像を用いた非定常圧力場の感圧塗料計測

依田大輔, 山崎真一, 杉本珠生, 沼田大樹, 永井大樹, 浅井圭介  
東北大学

本研究では、高い空間・時間分解で、高信号雑音比の圧力変動画像を得ることができる非定常感圧塗料 (PSP) 技術として、参照信号を用いた条件付き画像抽出法を提案する。この手法では、高速度カメラで取得した多数枚の PSP 画像を、同期して計測した参照センサ信号を用いて位相平均することで、時間分解された高 SNR の圧力変動画像を得ることができる (図 1, 2)。参照センサ信号にバンドパスフィルタや信号微分を施すことで、ゆらぎを有する現象に対しても適用することができる。計測システムや画像処理が簡易であるという利点も有する。ここでは、3次元角柱を設置した平板上に生じる周期圧力変動場に適用した例を紹介する。図 3 は 1 周期を 12 等分して PSP 画像の条件付き抽出を行うことで得られた位相平均圧力分布である。PSP の基準画像には通風中の時間平均画像を用いている。この結果では、角柱の側面から一対の負圧と正圧の領域が現れ、後流へと発達していく様子をはっきりと可視化できている。これらは渦の通過による負圧領域と渦通過後の圧力回復領域であると考えられる。圧力変化は 1%程度であり、従来の計測手法ではノイズに埋もれてしまうような小さな圧力変動を提案手法により捉えることができている。加えて本手法では、1 周期を時間分解した圧力分布画像から圧力変動の平均振幅および位相分布を算出することができる。図 4 は画像のピクセルごとに圧力変動を正弦波近似をすることで得られた振幅・位相分布である。2つの渦の通過を考慮して、2倍波成分までを近似式に含んでいる。振幅・位相分布の可視化により、圧力変動の最大値が角柱背後の少し離れた位置に現れることや角柱の両側面で位相が 180 度反転していることがわかる。

同時に我々は、周波数応答性試験装置を用いた非定常 PSP の動的較正を行っている。我々の試験装置は閉管内の共鳴現象を利用しており、特定周波数において閉管内に強い正弦圧力変動を作り出すことができる (図 5)。PSP のゲインおよび位相特性は、高応答型圧力変換器の出力と比較することで求めている。図 6 は上記の風洞試験でも用いた Polymer-ceramic PSP (PC-PSP) の動的較正結果である。圧力変動が 1 kHz を超えたあたりからゲインの減衰や位相遅れが現れ、約 3.8 kHz でゲインは 3 dB 減衰する。これらの結果はすなわち、1 kHz を超えるような高周波数の現象に PC-PSP を適用する際には静的較正の結果は適用できず、ゲイン・位相特性を考慮した動的較正を用いる必要があることを意味する。今後は、この装置を用いて AA-PSP をはじめとした様々な高応答型 PSP の特性を調べていく予定である。

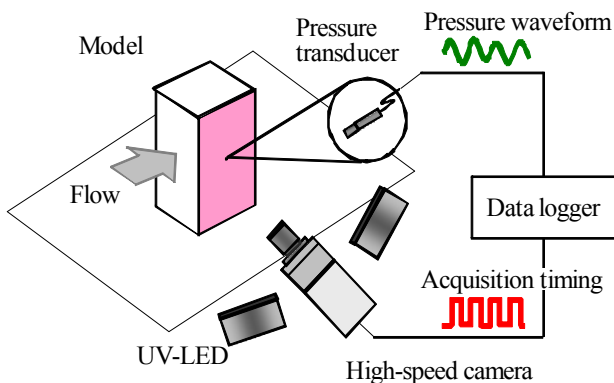


図 1. 風洞試験における試験セットアップの一例。基準信号 (ここでは圧力変換器) と PSP の時系列画像を同期計測する。

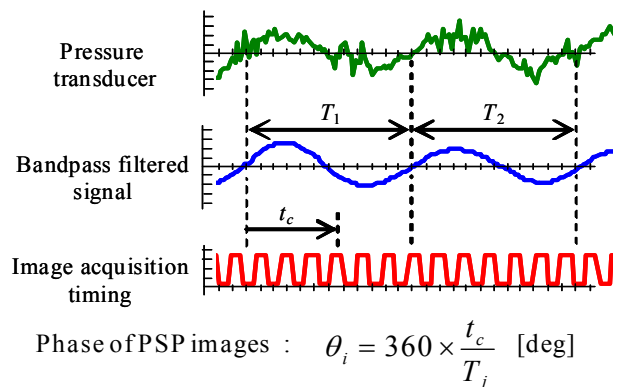


図 2. 画像の条件付き抽出の概念図。風洞試験で計測した基準信号を利用して、時系列 PSP 画像から同一位相帯に含まれる画像群を抽出し平均する。

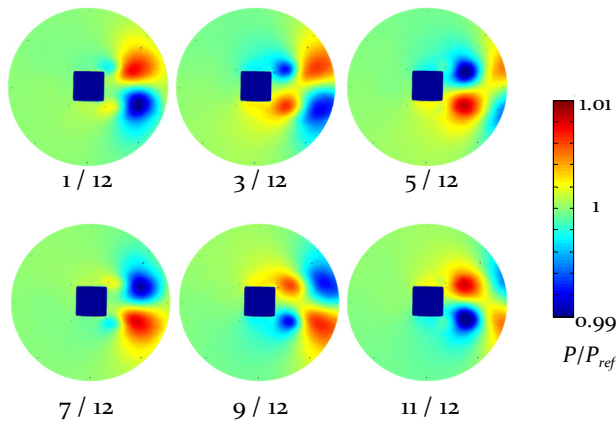


図 3. 条件付き画像抽出法により得られた角柱周囲に生じる周期圧力変動場. 圧力変動の周波数は約 150Hz であった.

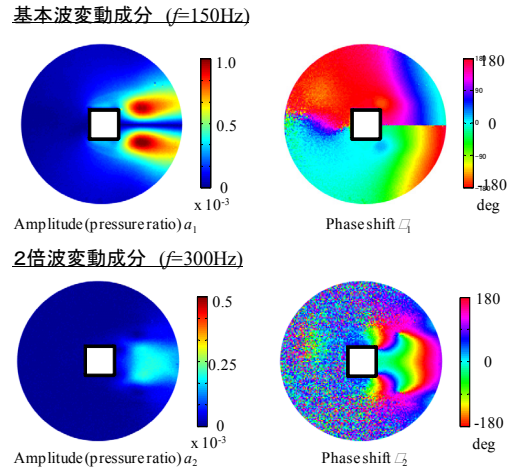


図 4. 圧力変動の平均振幅および位相分布. 以下の近似式により2倍波成分までを考慮して算出した.

$$P/P_{ref} = a_1 \cdot \sin(\omega t + \phi_1) + a_2 \cdot \sin(2\omega t + \phi_2) + b$$

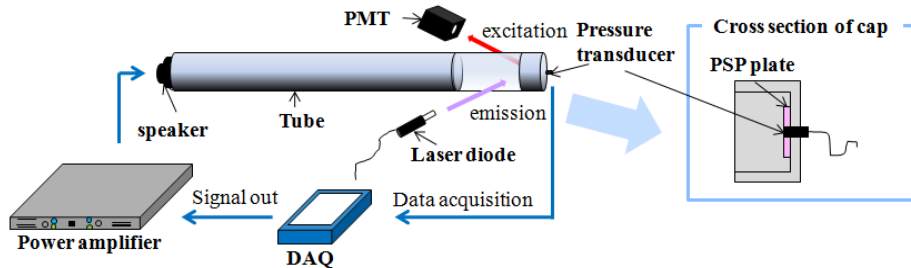


図 5. 周波数応答性試験装置の概略図. 円管内での音響共振を利用することで強い圧力変動を作り出すことができる. PSP の周波数特性は高応答型圧力変換器と PMT の出力の比較により調べる. 本研究では広い圧力変動帯をカバーするため, 低周波共鳴管(0.1 ~ 2 kHz), 高周波共鳴管(1 ~ 10 kHz)の2つを製作し, 動的較正を行った.

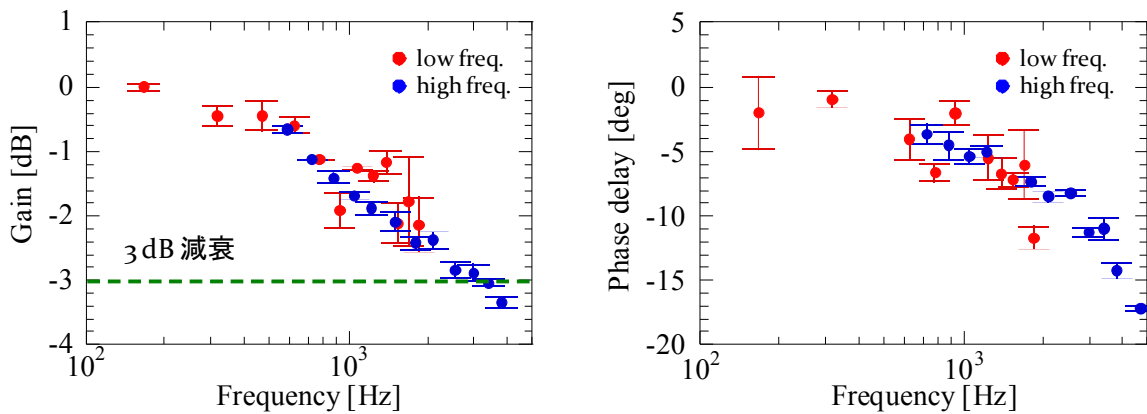


図 6. Polymer/Ceramic PSP のゲイン特性(左図)および位相特性(右図). 高周波数になると PSP の応答にゲインの減衰や位相遅れが現れることがわかる.