

大型低速風洞における PSP 計測システムの開発

満尾 和徳*、栗田 充*、口石 茂*、藤井 啓介*、渡辺 重哉*、伊藤 正剛**

*宇宙航空研究開発機構 総合技術研究本部

**IHI エアロスペースエンジニアリング

宇宙航空研究開発機構(JAXA)では低速における航空機性能向上を目的として、実験的研究と CFD による研究の両面から研究に取り組んでいる。特に、航空機の離着陸特性の改善に大きな効果がある高揚力装置に注目して研究を行なっている⁽¹⁾。その研究の一環として、JAXA6.5m×5.5m 低速風洞(LWT1)において、感圧塗料(PSP)による高揚力半裁装置模型の表面圧力場計測を実施した。PSP 計測は模型全体の詳細な圧力場(流れ場)情報を得ることができるため先進風洞計測ツールとして注目されている。すでに、超音速/遷音速域の高速流れ場における PSP 計測は多くの実績があり、実用化されつつある。しかし、低速風洞における試験では PSP の発光が弱く、また圧力の変化が小さいため計測が困難であり、まだ実用レベルには達していない。さらに、PSP は圧力感度を有するだけでなく温度によっても発光強度が変化するため、圧力変化の小さい低速では温度の影響を強く受ける⁽²⁾。そこで、本研究では大型低速風洞に PSP 計測システムを適用するため高出力 LED 励起照明を開発し、さらに温度感度の低い PSP を使用することにより計測精度向上を図った。

高迎角をなす高揚力装置模型の上面全体を計測するため、カートの上流と下流に CCD カメラを 2 台設置し、PSP 計測を行なった。図 1 の模式図が示すように、16bit-CCD カメラ 2 台と高出力 LED 励起照明 2 台をカートに配置した。通風時と無風時における取得画像枚数はそれぞれ 64 枚で、計測に要した時間は各々 8 分程度であった。本実験で使用した PSP の励起帯は 380-530nm にあり、発光ピークは 650nm にある。PSP の発光のみを捉えるため CCD カメラの前面に 650±20nm バンドパスフィルタを設置して計測した。PSP の発光を強めるため高出力 LED 励起照明(@405nm)を作製した。LED が発する熱による発光特性の変化を抑えるためファンを用いて LED 基板の背面を空冷した。

PSP 画像から圧力画像を得るためには通風中の PSP 画像と無風時の PSP 画像が必要である。先にも述べたように PSP は温度感度を有するため通風時と無風時の間に温度差がない方が良い。そこで、本試験では通風画像取得後直ちに風洞を停止し、通風直後の無風画像を計測することで PSP の温度依存性を軽減した^(2,3)。

風速 $V=60\text{m/sec}$ 、迎角 $AoA=15\text{deg}$ の実験結果を図 3 に示す^(3,4)。カラーバーの赤色が高圧、青色が低圧を表している。赤褐色の部位は胴体などデータのない領域を表している。スラット後方の母翼前縁に強い負圧領域がみられ、外舷フラップ外側や翼端に剥離による低圧パターンが確認できる。PSP 画像から圧力への変換は、静圧孔を参照した In-situ 法を用いた。その In-situ 曲線を図 4 に示す。フィッティングカーブは 2 次式を用いた。フィッティングの精度(RMS:Root-Mean-Square)は C_p 換算で約 0.18 であった。風速 60m/sec における他の迎角のケースも約 0.2 であった。データのバラつきは主として PSP の温度依存性によるものである。HLD 模型の主翼は複数の部位から構成されており、構造が複雑であるため温度分布の不均一を生じやすい。そのため、In-situ 曲線に主翼全体の静圧孔を用いると、温度による計測誤差の影響を受けることになる。翼面上の圧力分布は C_p 換算で 5 程度の範囲で分布するので、0.2(C_p 換算)の分解能があれば十分に圧力分布を把握することができる。

本研究では 6.5m×5.5m 低速風洞用 PSP 計測システムを開発し、その実用性を評価した。PSP 塗装系、光源/カメラを含む光学系は適正に機能し、画像処理手法も有効であることが確認できた。また、高揚力装置模型特有の圧力場を鮮明に可視化することができ、低速における空力特性把握のための風洞計測ツールとして有用であることが実証された。

参考文献

- (1) Ito, T., Yokokawa, Y., Ura, H, Kato, H., Mitsuo, K. and Yamamoto, K., "Height-Lift Device Testing in JAXA 6.5m x 5.5m Low-speed Wind Tunnel," 25th AIAA Aerodynamic Measurement Technology and Ground Testing Conference, AIAA 2006-3643, San Francisco, California., 5-8 June 2006.
- (2) 満尾和徳, 栗田充, 中北和之, 渡辺重哉 "感圧塗料計測の低速風洞試験への適用" 第33回可視化情報シンポジウム, 工学院大学 2005年7月27日.
- (3) 満尾和徳, 栗田充, 口石茂, 藤井啓介, 渡辺重哉, 伊藤正剛 "JAXA 高揚力形態旅客機模型の低速風洞試験 (低速PSP計測システムの開発)" 第44回飛行機シンポジウム, 大宮ソニックシティ, 2006年10月19日.
- (4) Kazunori Mitsuo, Mitsuru Kurita, Shigeru Kuchi-Ishi, Keisuke Fujii, Takeshi Ito, Shigeya Watanabe, Kazuomi Yamamoto, "PSP Measurement of a High-Lift-Device Model in JAXA 6.5m x 5.5m Low-Speed Wind Tunnel," AIAA-2007-1065, Nevada, Reno, 8-11, Jan. 2007.

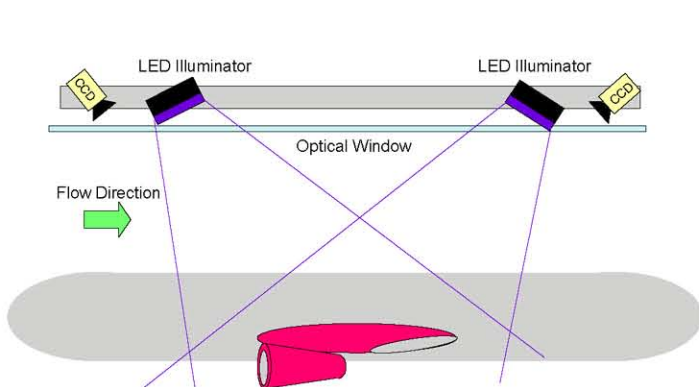


図1 PSP光学系システム@JAXA-LWT1



図2 高出力LED励起照明の写真

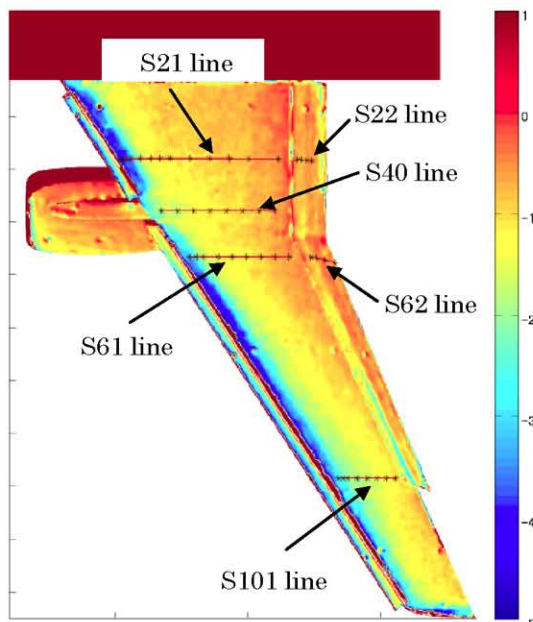


図3 Cp分布(60m/sec、AoA=15deg.)

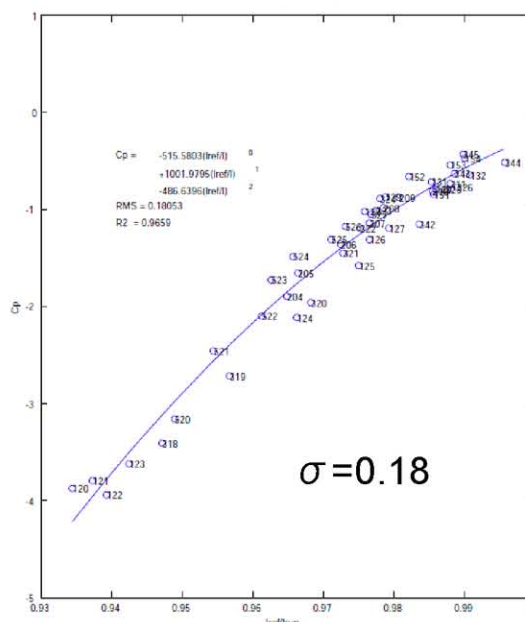


図4 In-situ 曲線(60m/sec、AoA=15deg.)