

Second Aerodynamics Prediction Challenge
(APC-II)



遷音速流れ場における非定常圧力計測 のための感圧塗料技術の現状

○杉岡洋介, 沼田大樹, 浅井圭介 (東北大学)
中北和之, 小池俊輔, 中島努 (JAXA)

金沢歌劇座 A会場 (大集会室)
2016年7月6日

発表の概要



高速応答感圧塗料を用いて, NASA CRM 主翼上の
遷音速バフエット現象に関連する非定常圧力場を計測
する.

- ◆ 塗膜が空力係数に及ぼす影響
- ◆ 非定常圧力センサ計測値との比較
- ◆ 時間平均・時系列圧力分布の計測

感圧塗料 (Pressure-Sensitive Paint)



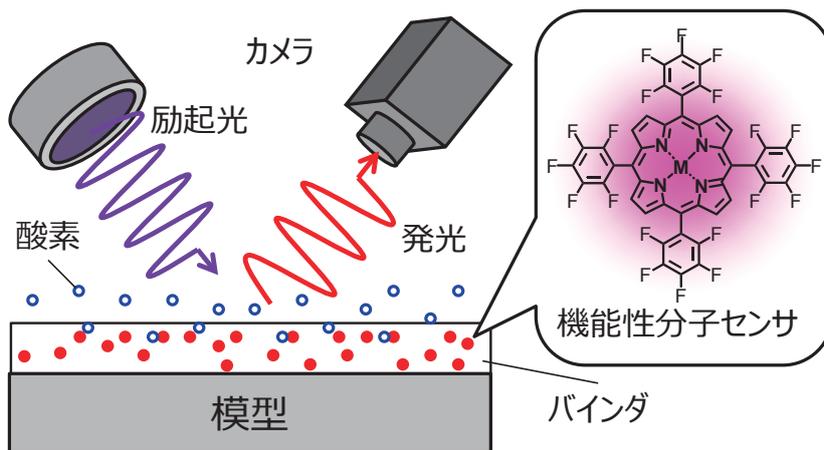
◆ 原理

- ✓ 酸素消光性を利用した圧力計測法
- ✓ 色素の発光を光学的に計測し、圧力を算出可能

Stern-Volmer relationship

$$\frac{I_{ref}}{I} = A(T) + B(T) \frac{P}{P_{ref}}$$

I : 発光強度
 P : 圧力
 A, B : Stern-Volmer 係数
 ref : 基準状態



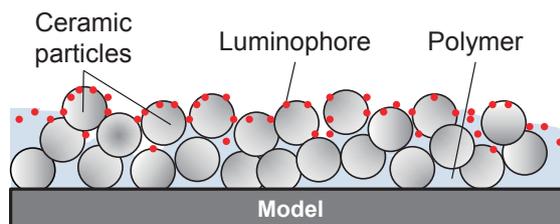
低表面粗さ高速応答感圧塗料 “TU-PSP”



Sugioka Y., et al., AIAA-2016-2018

◆ Polymer/Ceramic バインダ

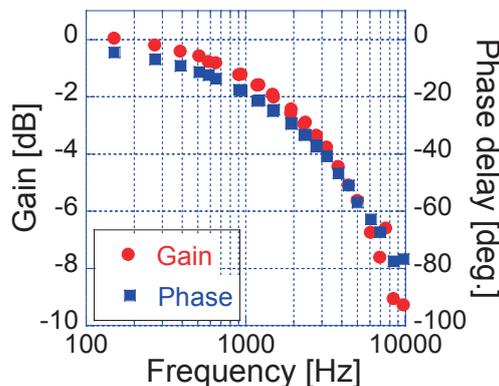
- ✓ ポリマーバインダに微小粒子を添加し、ガス拡散性を向上
- ✓ 模型表面にスプレーガンによる塗装が可能



◆ “TU-PSP MOD-2” の特性

圧力感度* [%/kPa]		0.85
温度感度** [%/K]		1.7
カットオフ周波数* [kHz]		2.2
表面粗さ [μm]	Ra	1.55
	k_{tech} ***	6.51

* $P_{ref}=100\text{kPa}$, $T_{ref}=313\text{K}$
 ** $P_{ref}=100\text{kPa}$, $T_{ref}=293\text{K}$
 *** technical roughness height

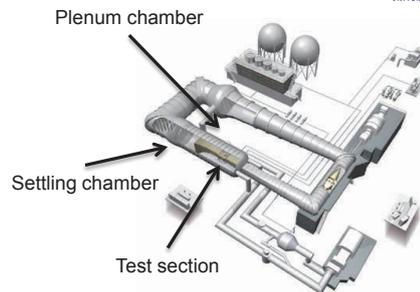


周波数応答性 ($P=100\text{kPa}$, $T=313\text{K}$)

風洞・模型および気流条件



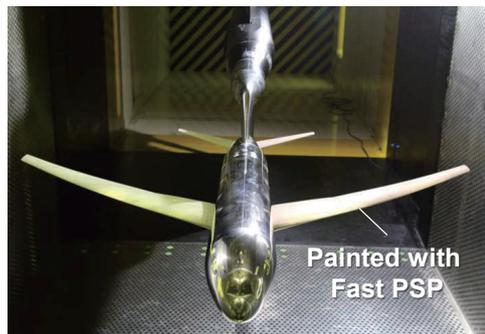
- ◆ JAXA 2×2m 遷音速風洞 (JTWT1)
- ◆ 80% scaled NASA Common Research Model (CRM)
 - ✓ 材質: SUS
 - ✓ 平均コード長: 0.1513 m
 - ✓ 主翼ラフネス高さ



JAXA 2×2m 遷音速風洞概要

Inner	Middle	Outer
99.06 μm	88.90 μm	78.74 μm

- ◆ 主流条件
 - ✓ Mach 数: $M_\infty = 0.85$
 - ✓ 総圧: $P_0 = 80 \text{ kPa}$
 - ✓ Reynolds 数: $Re_C = 1.5 \times 10^6$
 - ✓ 迎角 (補正有): $\alpha = 2.3 - 6.5^\circ$

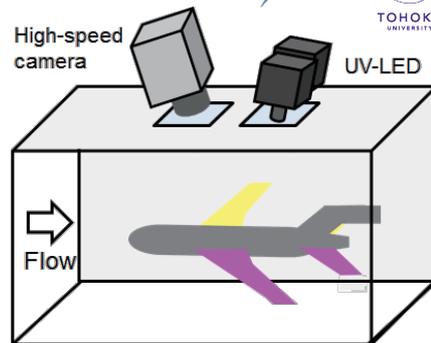


JTWT1 に設置された CRM

実験装置および計測条件



- ◆ 光検出器:
 - ✓ 高速度カメラ (Phantom V1211)
 - 解像度: 1280 × 800 pix
 - 階調: 12 bit
 - ✓ 光学フィルタ (バンドパス 590 - 710 nm + IR cut)
- ◆ 励起光源:
 - ✓ UV-LED (IL-106)
 - 中心発光波長: 395 nm



LED	Illuminated area	Left wing	
		Whole	Kink, Center
Camera	Frame rate [fps]	2000	7000
	Exposure time [sec]	499.646 μ	140 μ



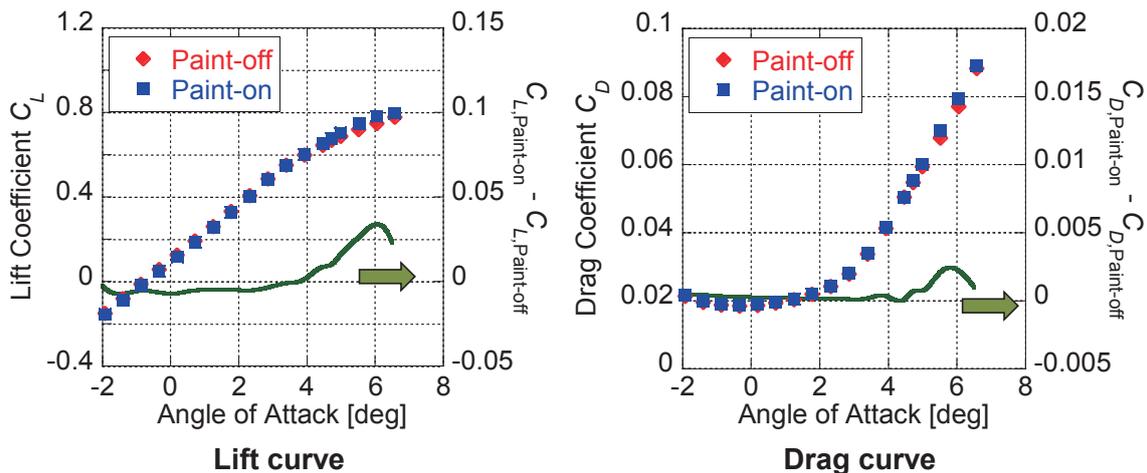
結果および考察

2016/7/6

Second Aerodynamic Prediction Challenge

6

PSP が空力係数に及ぼす影響



空力係数の比較 ($M = 0.85, Re_c = 1.54 \times 10^6$)

- ✓ 高迎角において、PSP を塗布した方が塗布しない場合に比べ揚力・抗力係数がわずかに大きくなるが、その原因としてディスクラフネスの影響が考えられる。

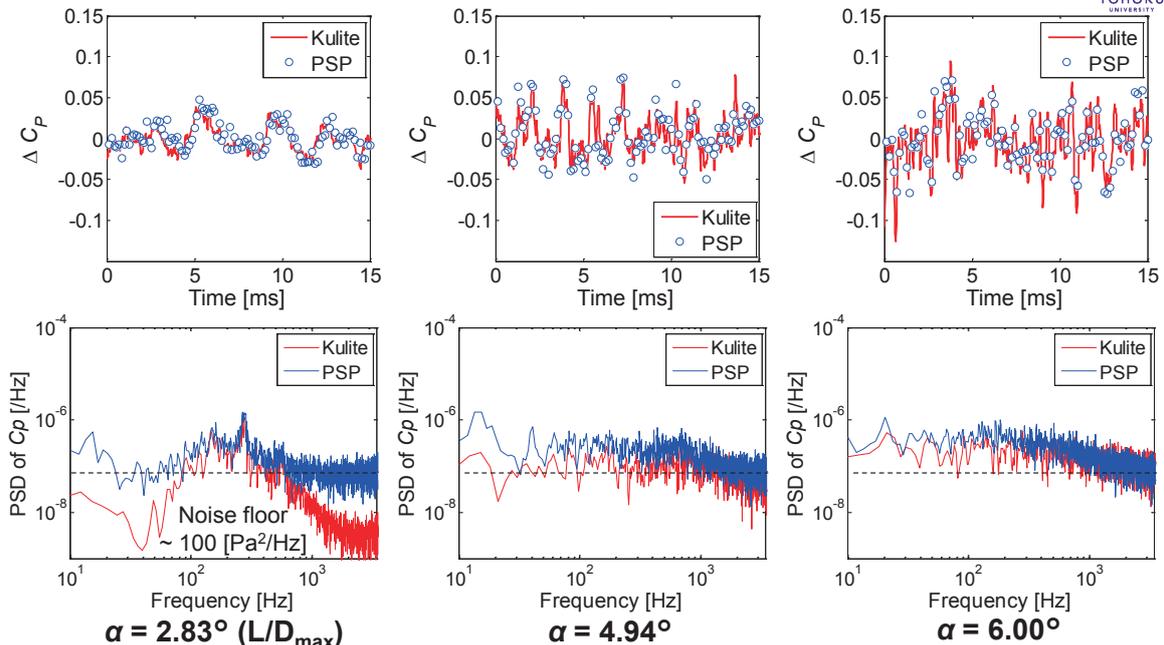
PSP の塗布は空力係数にほとんど影響を及ぼさない。

2016/7/6

Second Aerodynamic Prediction Challenge

7

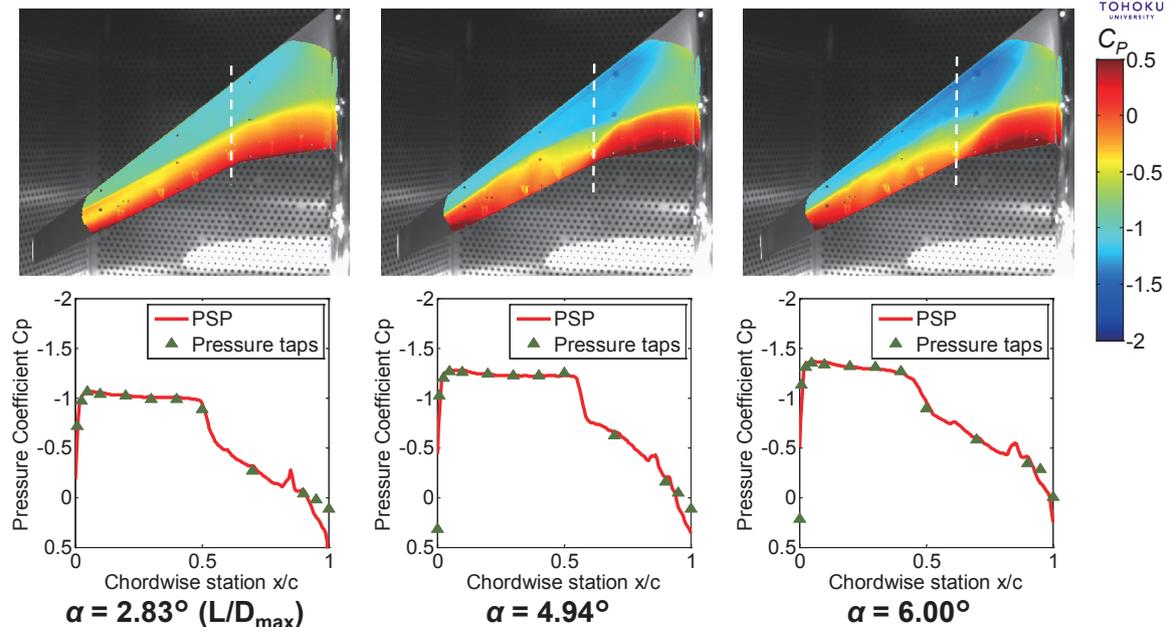
非定常圧力センサ計測値との比較



Kulite と PSP データの比較 (Kulite at $\eta = 0.716, x/c = 0.639$), $M = 0.85, Re_c = 1.54 \times 10^6$

✓ PSP の変動値は 2500 Hz 程度の変動まで Kulite センサと定量的に一致する。

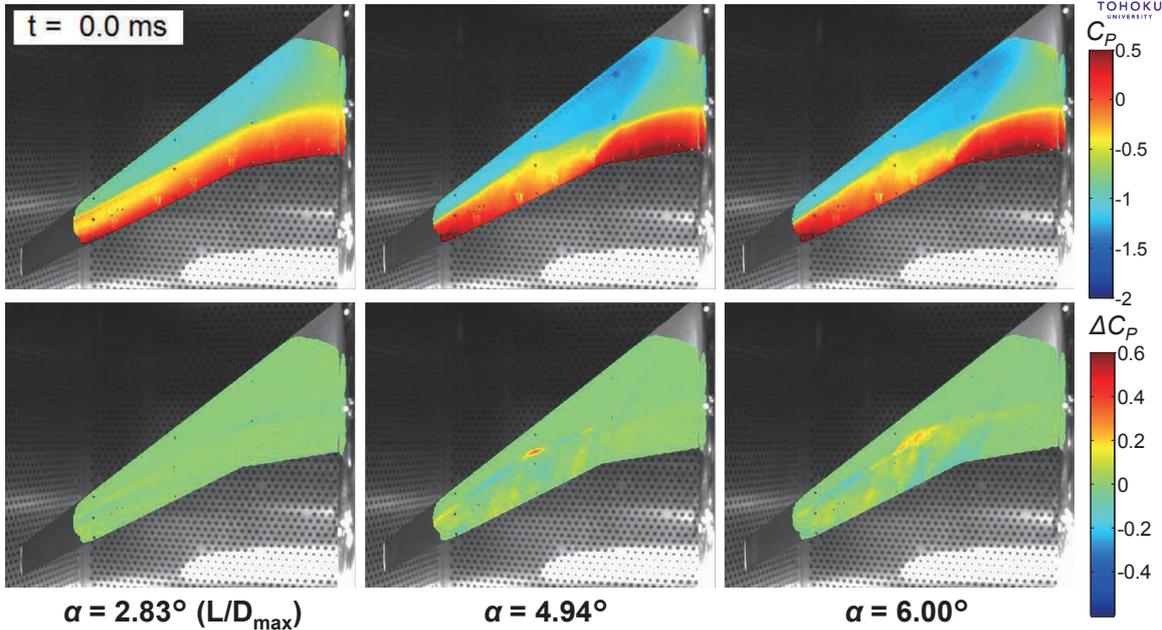
主翼上面時間平均圧力場の計測



C_p プロファイルの比較 (セクション D ($\eta = 0.3971$), *In-situ* 較正位置, $M = 0.85, Re_c = 1.54 \times 10^6$)

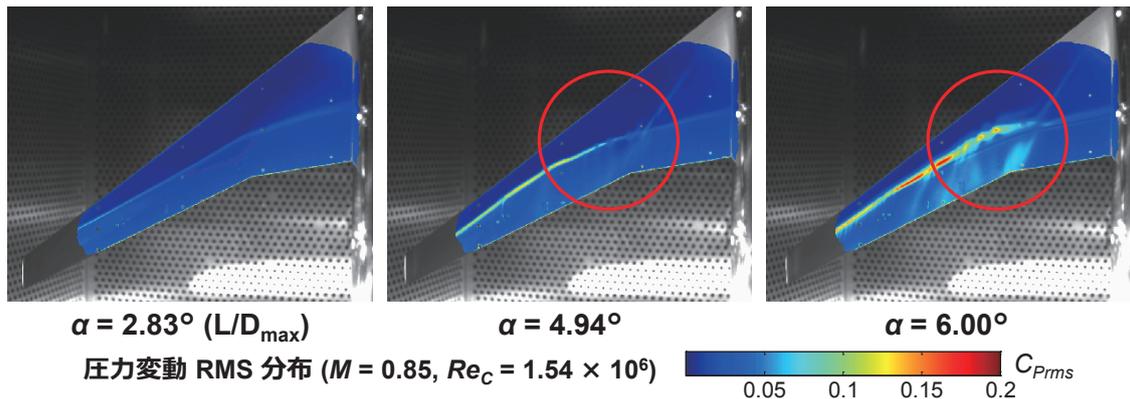
- ✓ PSP を適用することにより, 主翼上面の圧力場が詳細に可視化されている。
- ✓ 後縁及び翼端の圧力分布は, 温度の影響を受ける。

迎角ごとの時系列圧力場の比較



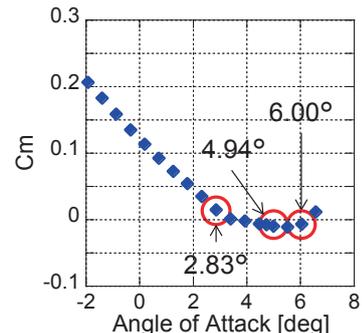
三次元翼上の遷音速バフェット現象は、スパン方向に伝播する成分を持つ。

迎角ごとの圧力変動 RMS の比較

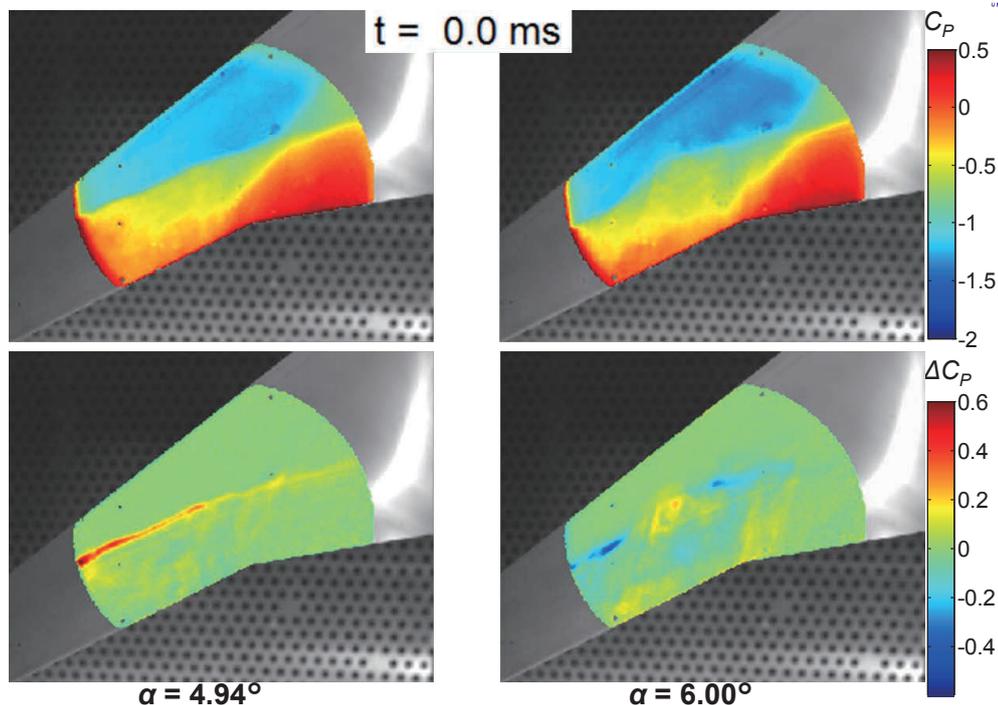


- ✓ $\alpha = 4.94^\circ$ の場合、外舷側の衝撃波位置における C_{Prms} が大きい。
- ✓ $\alpha = 6.00^\circ$ のとき、衝撃波位置およびその下流の C_{Prms} の値に特徴的な分布が現れる。

キंक付近において三次元翼上遷音速バフェットの要因となる現象が生じている。



バフェット条件下の時系列圧力分布



上：圧力係数值，下：圧力係数 AC 成分 ($M = 0.85$, $Re_C = 1.54 \times 10^6$, $f_s = 7$ kHz)

2016/7/6

Second Aerodynamic Prediction Challenge

12

まとめ



新たに開発した高速応答 PSP を用いて、NASA CRM 主翼上の遷音速バフェット現象に関連する非定常圧力場を計測した。

- ◆ 高速応答 PSP の適用により、主翼上の非定常圧力分布が明らかになった。
- ◆ キンク付近において遷音速バフェットの要因となる現象が生じている。
- ◆ 新たに開発した PSP は空力係数にほとんど影響を及ぼさない。

2016/7/6

Second Aerodynamic Prediction Challenge

13

関連発表



- ◆ 第48回流体力学講演会 先進流体計測技術 (1) 7月8日 15:10 : 杉岡洋介他, 「高速応答感圧塗料を用いた三次元翼上遷音速バフエットの解析」, **2D12**
- ◆ 54th AIAA Aerospace Sciences Meeting: Y. Sugioka, et al. “Polymer/Ceramic PSP with Reduced Surface Roughness for Unsteady Pressure Measurement in Transonic Flow” AIAA-2016-2018.