

PSP 計測における模型材料及びコーティングの温度誤差に及ぼす影響

江上 泰広¹, 辰己 雄介¹, 外山 高由¹, 松田 佑², 山口 浩樹², 新美 智秀²

¹愛知工業大学

²名古屋大学大学院

PSP は通常 0.4% - 1.0% 程度の温度依存性を有するため、特に低速域での測定精度の向上のためには温度誤差対策が必須である。これまで温度依存性の低い PSP の開発⁽¹⁾や、IR カメラ⁽²⁾や TSP⁽³⁾⁻⁽⁴⁾ を用いた温度補正法の開発、測定手順の最適化⁽³⁾⁻⁽⁶⁾、校正式に対する考察⁽⁶⁾⁻⁽⁷⁾ などの対策が取られてきた。風洞試験にはアルミ合金やステンレス製の模型が使われており、経験的に温度変化の材質依存性は知られているが、系統だった報告はなされていない。本研究では、PSP 計測において模型材質やコーティングが温度誤差に及ぼす影響について詳細に調べた。アルミ合金(A2017)、ステンレス(SUS304)、木材の三種類の材質の模型(100 x100mm)に、白色下地(ポリウレタン:厚さ 60 μ m)と PSP(poly(IBM-co-TFEM) :5 μ m)の塗装を施し、図1のように風洞実験を模擬した熱風をドライヤーで加えた場合の模型表面温度の上昇と、停止後の温度下降の速度を IR カメラで測定して比較した。また、模型の厚みの影響を調べるため、2mm と 10mm の 2 種類の板厚で試験を行った。塗装は(1)塗装なしの模型のみの場合、(2)模型表面に PSP を直接塗布した場合(図 2(a))、(3) 模型表面にポリウレタンの白下地を塗布し、その上に PSP を塗装した場合(図 2(b))の 3 パターンを調べた。

加熱中の模型表面温度の変化を図 3~5 に示す。熱容量の大きい 10mm のステンレス製模型の表面温度の変化が一番小さく、熱容量が小さく熱伝導率も低い木材の温度変化が一番大きくなった(図 3)。また、PSP のみを模型表面に塗布した場合と比較して、下地と PSP を塗布すると、これらのポリマー層が断熱層として働き、温度変化率が 3~10 倍大きくなることが分かった(図 4,5,表 2)。また、熱容量が大きく温度上昇率が低いものは、加熱停止後の温度下降率も小さくなった(図 6, 表 3)。これらより、模型に熱容量の大きなものを用いて、断熱効果のある PSP と下地の部分をできる限り薄膜化することで、模型表面の温度変化を小さくすることができ、結果として PSP の温度誤差を低減できることが分かった。

(1) Liu, T., Sullivan, J.P.: Pressure and Temperature Sensitive Paints, Springer Berlin, (2005)

(2) 満尾和徳, 栗田充, 中北和之, 藤井啓介, 渡辺重哉, 伊藤正剛: 赤外線カメラを利用した感圧塗料温度補正法の研究:低速流れへの適用, JAXA-RR-06-028, (2007), pp 1-14

(3) Mistuo, I., Asai, K., Hayasaka, M., Kameda, M., "Temperature Correction of PSP Measurement Using Dual-Luminophore Coating", Journal of Visualization, Vol.6, No.3, (2003), pp.321-331.

(4) Bell, J. H., "Applications of Pressure-Sensitive Paint Testing at Very Low Flow Speeds," 42nd AIAA Aerospace Sciences Meeting & Exhibit, Reno, Nevada, (2004), AIAA-2004-0878.

(5) Yamashita, T., Sugiura, H., Nagai, H., Asai, K., Ishida, K.: Pressure-Sensitive Paint Measurement of the Flow around a Simplified Car Model, Journal of Visualization, Vol. 10, No.3, (2007), pp 289-298.

(6) 依田大輔, 永井大樹, 浅井圭介, 田中真悟, 石田圭太郎: 低速流における感圧塗料計測の計測誤差とその精度評価, 可視化情報学会誌. Suppl. 29(1), (2009), pp.269-274.

(7) 松田佑, 山口浩樹, 江上泰広, 新美智秀: 感圧塗料計測における誤差評価, 日本機械学会論文集, B 編, 77(777), (2011), pp.1189-1200.

(8) 理科年表 <http://www.rikanenpyo.jp/>

表1 模型材料及びポリマーの物性値⁸⁾

材料\特徴	熱伝導率 W/(m·k)	比熱 J / (kg·k)	密度 kg / m ³	体積熱容量 (kJ / K·m ³)	熱放射率
アルミ合金 (AL) A2017	237	900	2700	2430	0.1
ステンレス (SST) SUS304	16.7	590	7930	4680	0.35
木材 (Wood)	0.15 - 0.25	520	380	198	0.95
ポリマー	0.2 - 0.3	1000-1500	1100-1400	1100-2700	0.92 - 0.96

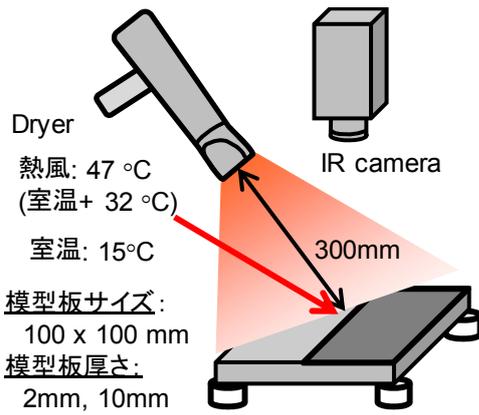


図1 実験装置の概略

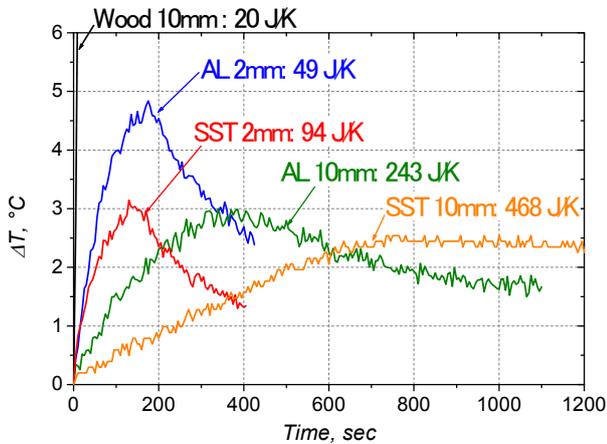


図3 模型表面の温度変化(塗装なし)

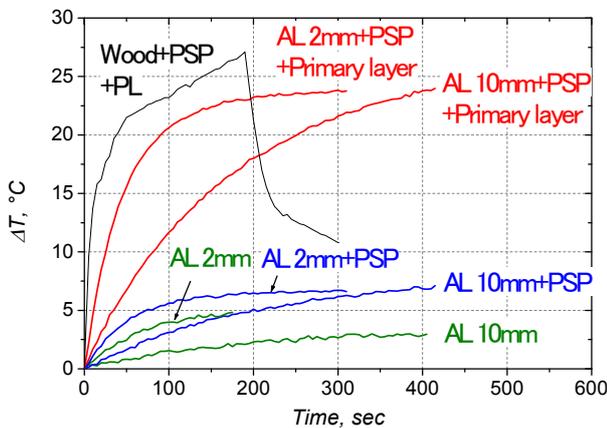
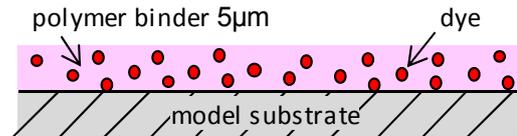
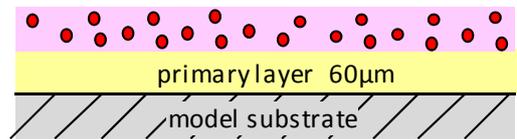


図5 模型表面の温度変化(アルミ合金模型+塗装)



(a) 模型表面への直接塗布



(b) 白色下地への塗布

図2 PSPの塗装方法

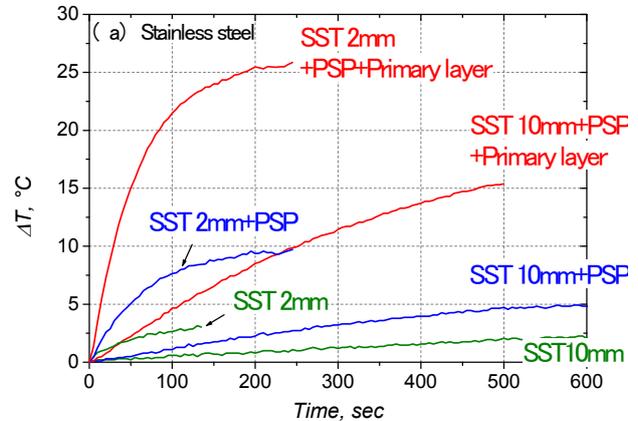


図4 模型表面の温度変化(ステンレス模型+塗装)

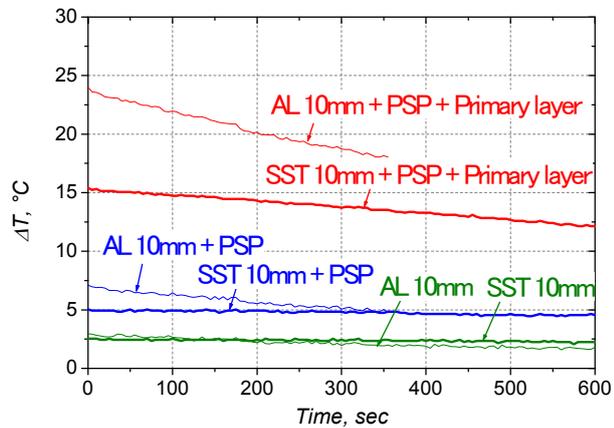


図6 模型表面の温度変化(加熱停止後)

表 2 模型表面の温度上昇率

	温度上昇率 °C / 分		
	模型のみ	模型 +PSP	模型 +PSP+PL
SST 10mm	0.24	0.68	2.6
SST 2mm	1.6	4.6	13
Al 10mm	0.71	1.5	5.4
Al 2mm	2.9	4.8	18.7
Wood	41	63	63

表 3 模型表面の温度下降率

	温度下降率 °C / 分		
	模型のみ	模型 +PSP	模型 +PSP+PL
SST 10mm	0.24	0.68	2.6
SST 2mm	1.6	4.6	13
Al 10mm	0.71	1.5	5.4
Al 2mm	2.9	4.8	18.7
Wood	41	63	63