

スプレー型感圧コーティングの最適化

*垣迫卓馬 **石川仁 ***坂上博隆

*東京理科大学(JAXA 研修生) **東京理科大学 ***宇宙航空研究開発機構

物体表面の圧力分布を計測する手法として、感圧塗料(Pressure-Sensitive Paint: PSP)を利用した計測手法が、主に航空宇宙分野で研究開発されている。PSP は酸素消光作用を利用した光学的酸素濃度センサである。その中で特に高速応答型の PSP と高速カメラを用いることにより、近年、非定常流現象の表面圧力の面計測が注目されている。

高速応答型 PSP は、多孔質基盤に色素を適用することで高速応答性を有する。AA-PSP (anodized-aluminum pressure-sensitive paint) は、高速応答型 PSP の中でも最速の応答性を示し、非定常計測に多く用いられている。しかしながら AA-PSP は、アルミ素材への適用に限定され、AA-PSP の模型適用性が大きな課題である。

本研究では、あらゆる素材・形状に適応することができるスプレー型の感圧コーティングの開発を目的とする。また、構成要素の違いによってセンサの特性が変化することが知られており、4 つの評価項目(圧力感度、温度依存性、発光強度、圧力応答性)から最適な構成要素を導出する。

PSP の感圧色素が空気中の酸素分子と反応する時間は、バインダの酸素透過性に依存する。高速応答型 PSP の知見から、多孔質バインダにすることにより、従来のポリマバインダよりも速い応答性を示すことが知られている。図 1 にバインダイメージ図を示す。本研究では、ポリマバインダに固体粒子を埋め込むことにより、バインダを多孔質構造にする。多孔質として、SiO₂ の超微粒子(平均粒子径 25 [nm])を分散させたスラリーをバインダに用いた⁽¹⁾。この超微粒子は、粒子径が一般的な SiO₂ 粒子の約 1/1000 である。超微粒子を用いることで、表面粗さの改善に期待ができる。図 2 に超微粒子を用いた感圧コーティングと、一般的な粒子径の微粒子を用いた感圧コーティングを示す。

バインダには、ポリマ(RTV)と多孔質粒子(SiO₂)と溶媒(トルエン)を用いた。色素には、PSP に代表的に用いられる色素であるバソフェンルテニウム(Ru(dpp))と、溶媒(ジクロロメタン)を用いた。バインダと色素の溶液をスピコーティングすることにより供試体を作製した。バインダのポリマ含有割合が 35 [w%]~75 [w%]まで変えた供試体を 7 種類、それぞれ 3 つ作製した。

静的較正試験として、温度と圧力を制御できる蛍光分光光度計(図 3)を用いて圧力感度、温度依存性、発光強度を計測した。温度一定(25 [°C])、圧力を変化させたときの発光スペクトル(図 4)から、圧力感度を算出した(図 5、図 6)。同様に圧力一定(100 [kPa])、温度を変化させたときの発光スペクトルから温度依存性を算出した。また、大気圧条件下(圧力 100 [kPa], 温度 25 [°C])の発光スペクトル(図 7)から、発光強度を算出した(図 8、図 9)。発光量は、作成した PSP の発光ピーク波長である 620 [nm]から±50 [nm]の範囲を積分することにより算出した(図 10)。

動的較正試験として、圧力を制御できる応答性試験装置(図 11)を用いて圧力応答性を計測した。圧力はバルブを解放させることにより、1 [kPa]から 100 [kPa]にステップ状に変化させた。また、比較として Kulite の計測を行った。Kulite が圧力変化を計測し始めた時間を基準とし、Kulite と PSP が圧力変化後の圧力に対する 90 [%]の圧力を計測した時間の時間差を応答時間とした。実験結果を図 12、図 13 として以下に示す。

4 つの評価項目(圧力感度、温度依存性、発光強度、圧力応答性)から、この系における最適なポリマの値を導出した。各特性のセンサとして最も性能が優れている値を $f=1$ として規格化した。また、各特性の重要性から、重み係数 w_i を以下のように設定した。最適値 F は以下の式(1)を用いて評価した。

$$F = \sum_{i=1}^4 w_i \cdot f_i \quad (1)$$

本実験における最適値は、ポリマの含有割合が 50 [w%]前後のときと考えられる。感圧コーティングを用いる用途に応じて、各特性の重要性が変化するので最適値は変化しうる。また本実験では、スピコーティングの際、バインダとして用いたポリマ・多孔質粒子・溶媒の混合溶液の滴下量を均一にして感圧コーティングを作製した。しかしながら、遠心力で溶液を均一に分散させるスピコーティングの性質上、溶液の粘度の違いから、膜厚が異なってしまったと考えられる。今後の研究課題として、膜厚を考慮して取り組む必要がある。

参考文献

(1) Kameda, M., Seki, H., Amai, Y., and Nakakita, K., "A fast-responding pressure sensitive paint using ultrafine ceramic powders," Sensor and Actuators B, 2008 (in preparation).

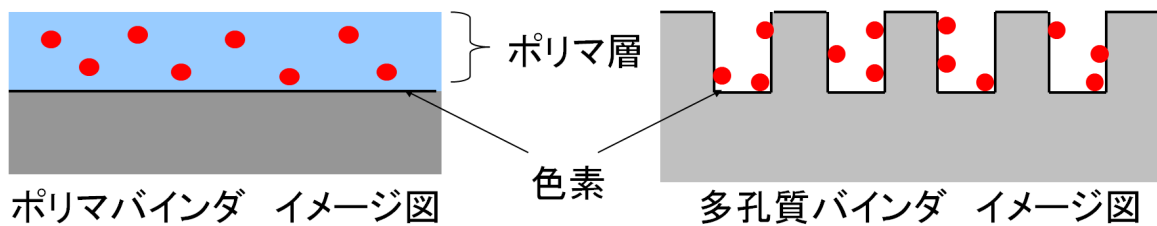


図 1: バインダイメージ図。

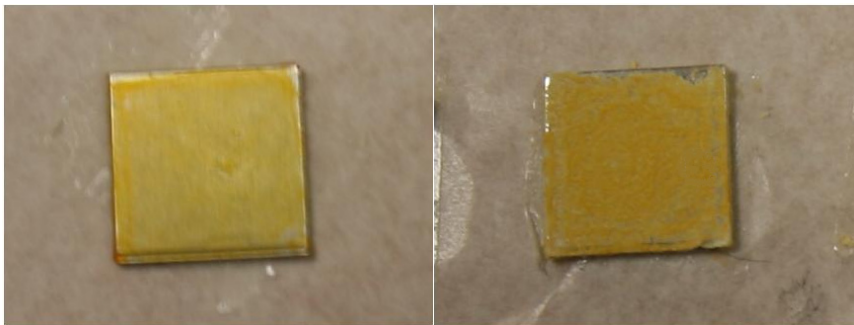


図 2: 超微粒子を用いた PSP(左)と一般的な粒子径を用いた PSP(右)。

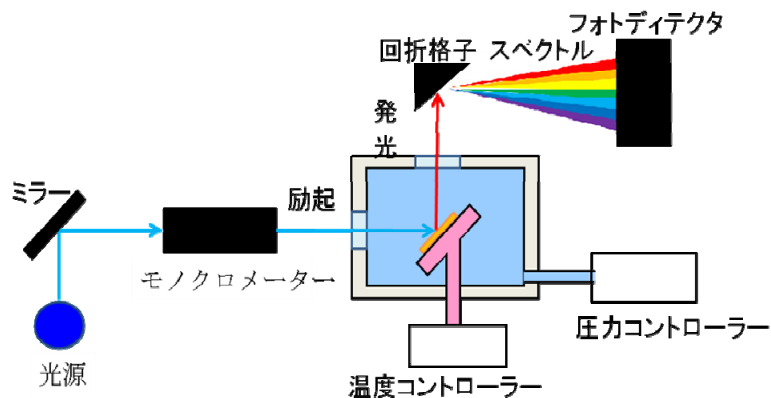


図 3: 蛍光分光光度計計測システム概略図。

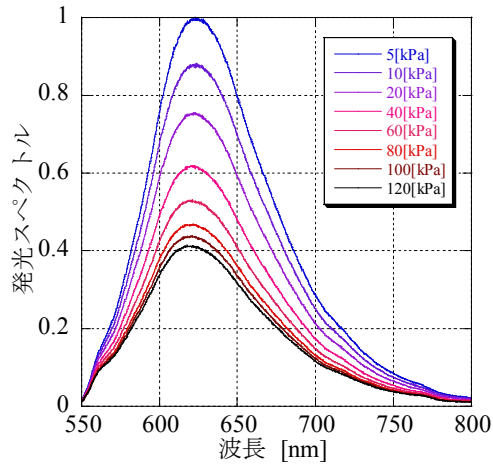


図 4: 圧力変化における発光スペクトル変化 (ポリマ含有割合 35 [w%])。

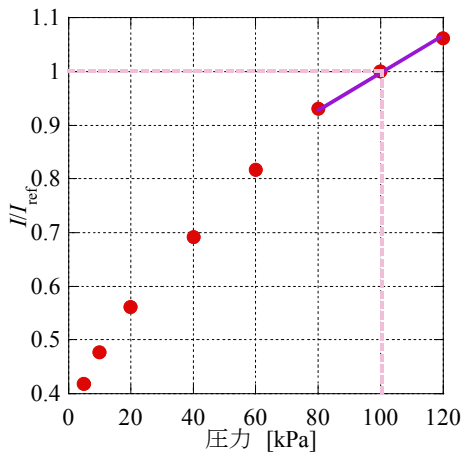


図 5: 圧力感度導出方法。

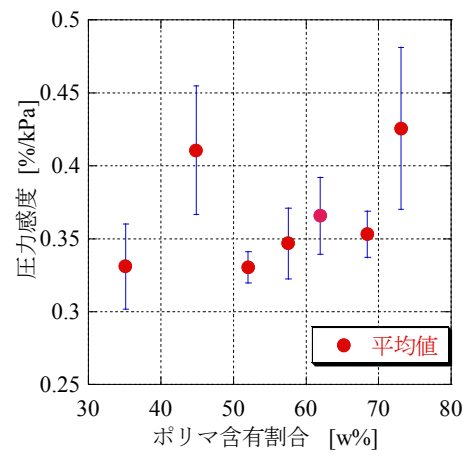


図 6: 圧力感度。

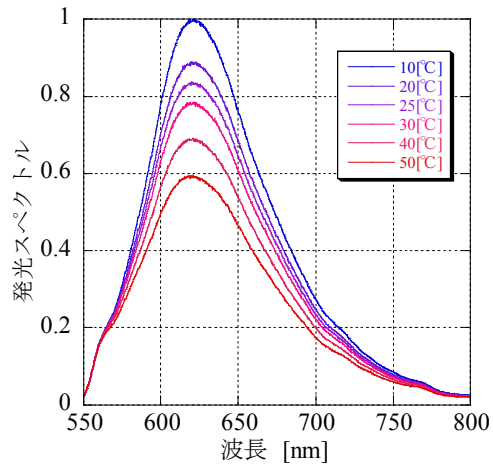


図 7: 温度変化における発光スペクトル (ポリマ含有割合 35 [w%])。

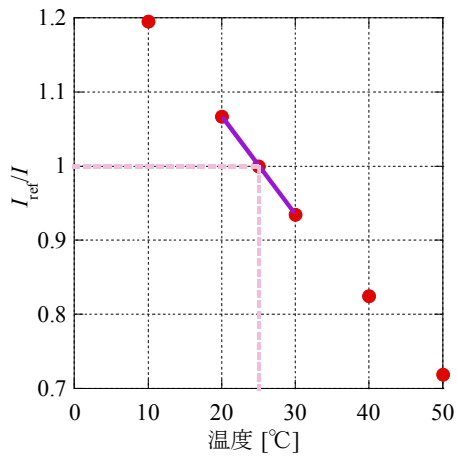


図 8: 温度依存性導出方法。

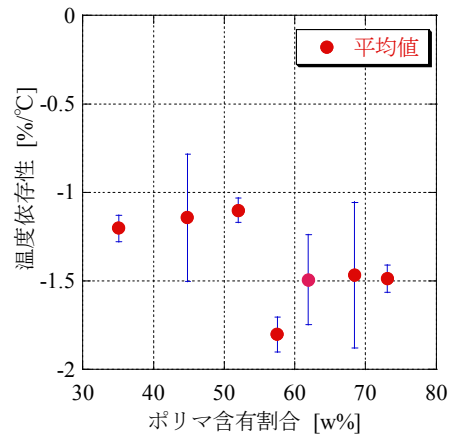


図 9: 温度依存性。

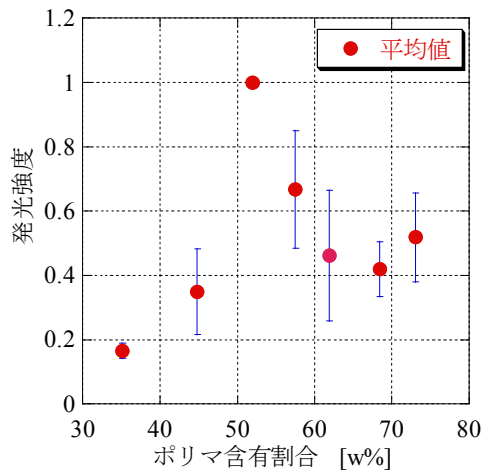


図 10: 発光強度。

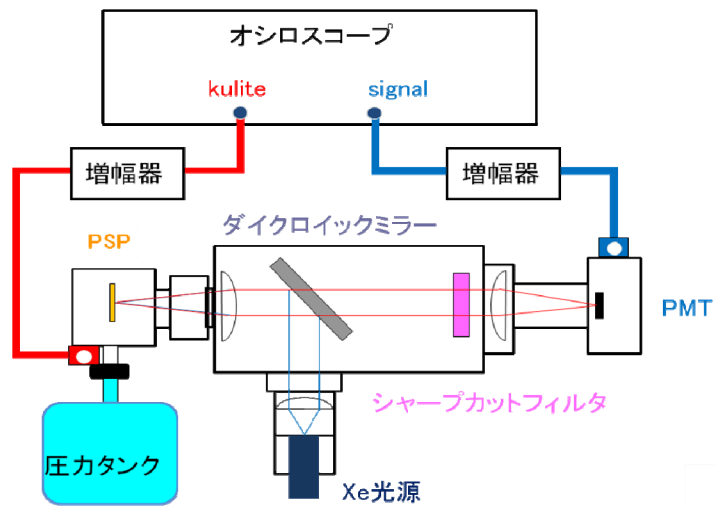


図 11: 応答性試験装置概略図。

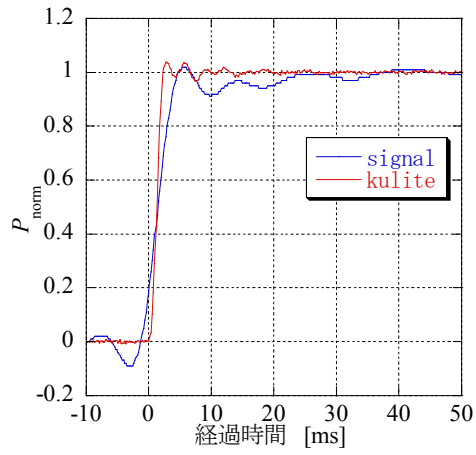


図 12: 応答性試験結果 (ポリマ含有割合 35 [w%])。

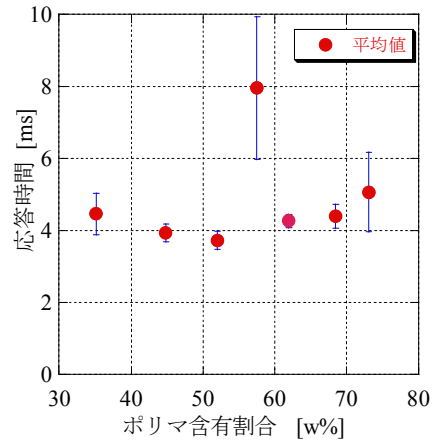


図 13: 圧力応答性。

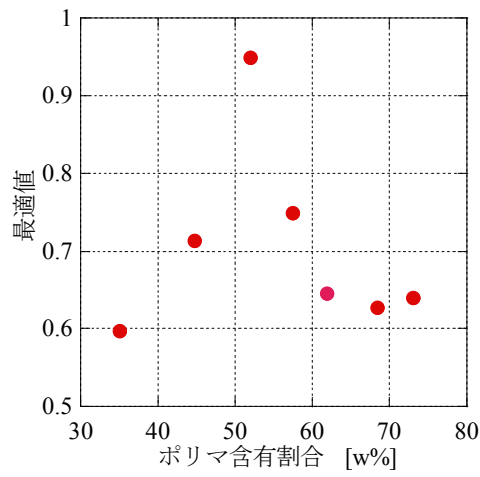


図 14: 最適化。