

超高速スプレー型 PSP の開発：溶媒の応答時間への影響

小西翔太, 江上泰広

愛知工業大学

感圧塗料(Pressure-Sensitive Paint: PSP)は発光強度の変化によって表面圧力を面情報で定量的に計測することができる分子イメージングセンサである。非定常現象の計測を行うためには PSP の高速応答性が求められる。一般的な高速応答 PSP に陽極酸化 PSP(Anodized Aluminum-PSP: AA-PSP)がある⁽¹⁾。しかし、陽極酸化処理は材質がアルミニウムに限定されてしまい、模型に多く使用されるステンレスや木材には適用することができない。また、複雑な形状の模型に一様な AA-PSP 層を形成することは困難である。そこで材質や形状を選ばずにスプレー塗装が可能な高速応答 PSP の開発が進められている。スプレー型の高速応答 PSP として、Polymer Ceramic-PSP (PC-PSP)⁽²⁾や超微粒子を使用した PSP⁽³⁾が開発されている。しかし、これまで開発されたスプレー型 PSP の応答時間は AA-PSP と比べると遅く、より高い応答性を示すスプレー型 PSP を開発する必要がある。

近年、まずポリマーに超微粒子を混合したバイндаを模型に塗装し、その上に感圧色素の溶液を塗装する方法で高速応答性を得る方法が開発されてきた⁽⁴⁾。本研究では、感圧色素溶液の溶媒に着目し、バイндаを溶解させずにバイнда表面のみに感圧色素を分散させることで、さらなる高速応答性を達成することを目指した。今回は、ポリマー poly(4-tert-butylstyrene) (PtBS)に Titanium silicon oxide (TiSiO₄) 粒子を添加したバイнда(ポリマー重量比 20 wt%)を模型に塗装後、その上から PtTFPP を 4 種類の溶媒(トルエン, メタノール, エタノール, ジクロロメタン)に溶解したものを塗装し、PSP の溶媒による応答時間, 発光強度, 圧力・温度感度の比較を行った。

図 1 に衝撃波試験装置の概略図を示す。PSP サンプルは衝撃波管のエンドウォールに設置した。発光強度変化は光電子増倍管(PMT)で測定し、同時に圧カトランスデューサ(PCB)で圧力の時間変化を測定した。図 2 にステップ圧力変動に対する応答時間を示す。ステップ圧力に対する PSP の発光強度が 90 % に達した時間を応答時間とした。その結果、色素溶媒にメタノール, エタノールを使用した PSP が 11.7, 17.6 μsec を示し、従来の色素溶媒として使用されるトルエン(239.4 μsec)よりも大幅に応答時間が高速化することを示した。これは色素溶媒のアルコール系がバイнда層のポリマーを溶解しないため、色素がバイнда内に入り込まず表面に分散した状態になるためであると考えられる。

図 3-a に圧力校正試験の溶媒による発光強度の変化を示す。その結果、アルコール系はトルエンと比べると約 1/10 の発光強度であることを示した。図 3-b は参照圧力 $p_{ref} = 100$ kPa における発光強度 I_{ref} で各圧力の発光強度 I を無次元化したグラフ(Stern-Volmer plot)である。発光強度の高いトルエンとジク

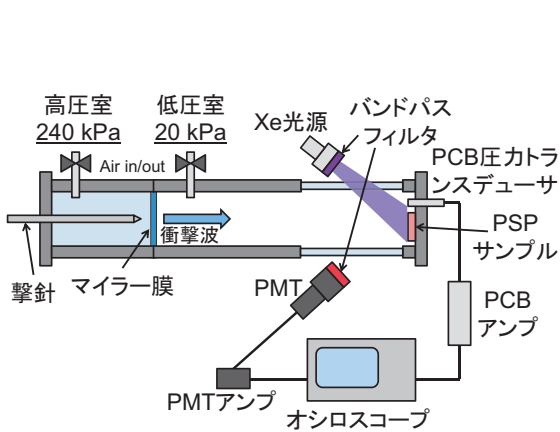


図 1 衝撃波管試験装置概略図

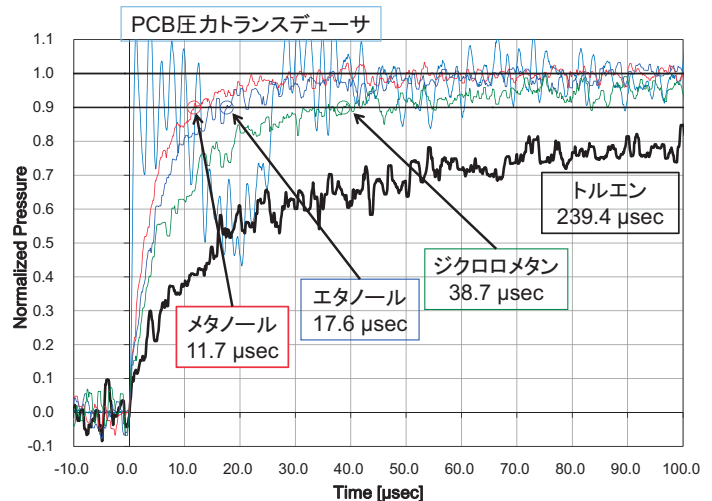


図 2 圧力変動に対する応答時間比較

ロロメタンがやや圧力感度が良くなる傾向が見られた。色素溶媒トルエンとジクロロメタンはバインダ層のポリマーに溶解するため、色素はポリマー内に沈殿する。色素がポリマー内に混在すると発光強度が高くなり、圧力感度も良くなると考えられる。図4は温度校正正試験の $T=20^{\circ}\text{C}$ における発光強度 I_{ref} で各温度の発光強度 I を無次元化したグラフである。温度感度は最大でトルエンの $1.78\ \%/^{\circ}\text{C}$ 、最小でエタノールの $1.11\ \%/^{\circ}\text{C}$ を示した。

以上のように色素溶媒にポリマーを溶解しないアルコール系を使用することで応答時間を大幅に高速化することができた。今後は、感圧色素のバインダ表面への分散状態を改善することで、さらなる高速応答性と高い発光強度の両立した超高速スプレー型PSPの開発を行っていく。

参考文献

- (1) Gregory, J.W. et al., "A review of pressure-sensitive paint for high-speed and unsteady aerodynamics", Journal of Aerospace Engineering, Vol. 222, (2008), pp. 249-290.
- (2) Sakaue, H. et al., "Characterization and Optimization of Polymer-Ceramic Pressure-Sensitive Paint by Controlling Content", Sensors 2011, 6967-6977. (2011).
- (3) Kameda, M. et al., "Unsteady measurement of a transonic delta wing flow using a novel PSP", AIAA Paper 2008-6418. (2008).
- (4) Sugimoto, T. et al., "Characterization of Frequency Response of Pressure-Sensitive Paints", AIAA Paper 2012-1185. (2012)

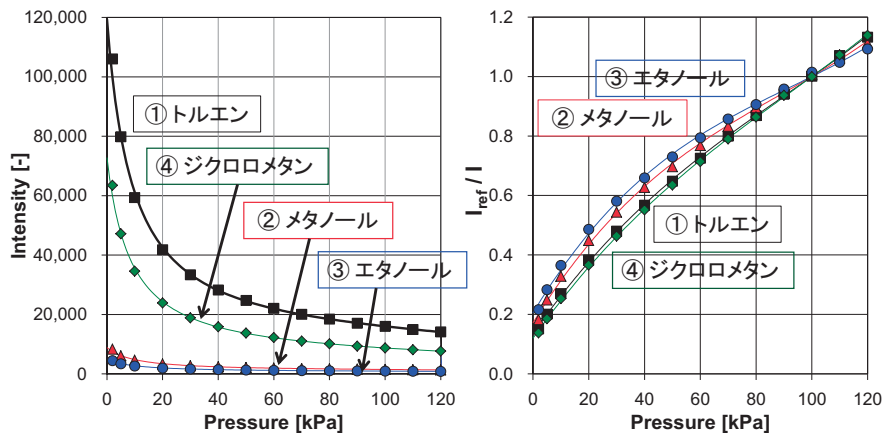


図 3-a : 発光強度比較, 図 3-b : 圧力感度比較

図 3 圧力校正試験結果

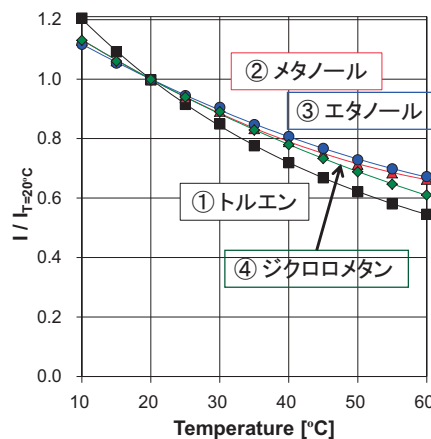


図 4 色素溶媒による温度感度比較