

寿命法による圧力・温度同時計測光ファイバーセンサーの開発

須貝直之 依田大輔 沼田大樹 永井大樹 浅井圭介
東北大学

次世代の発電装置として注目を集める燃料電池の高効率化と長寿命化には、媒層や拡散層での酸素分子の挙動および濃度分布の把握が欠かせない。感圧塗料は塗布された測定対象面上の酸素濃度(分圧)を定量的に計測できる技術であるが、画像計測機器を導入できない狭い場所や閉じた空間における計測は行えない。さらに、測定精度向上のためには測定面の温度分布が必要である。そこで本研究では感圧塗料を用いた光ファイバーセンサーの開発を行った。ファイバー先端の PSP(図 1)の励起、ルミネセンスの検出はファイバーを介して行われるため、上記のような装置の格納による問題は解消される(図 2)。さらに、信号を寿命法で処理することで圧力と同時に温度も計測できる可能性がある。

較正試験では 293K から 343K までの 5K 間隔の温度下において、10kPa から 100kPa まで 10kPa 毎の発光減衰を計測した(図 3)。この減衰過程に 3 つの積分区間(Gate1: 0.0 – 0.90 μ s, Gate2: 4.7 – 6.05 μ s, Gate3: 40.0 – 51.55 μ s)を設け積分し、発光強度比 I_1/I_2 、 I_1/I_3 を求めた結果、(図 4)に示すようになった。このデータを非線形関数にフィッティングし、測定された発光減衰のデータを用いて圧力と温度を再構成した。設定値と再構成値との誤差は(図 5)に示すとおりである。20kPa から 40kPa で圧力・温度共に誤差が大きくなっている。そこで圧力と温度を最小自乗法で算出するため 4 つ目の積分区間(Gate4: 20.0 – 23.7 μ s を追加し、同様に圧力と温度を再構成した(図 6)。圧力の RMS 値は 1kPa 以下となり、温度の RMS 値も大幅に減少した。しかし、所々では逆に精度が悪化するため、さらなる高精度化に向けてゲートの決定方法を最適化する必要がある。

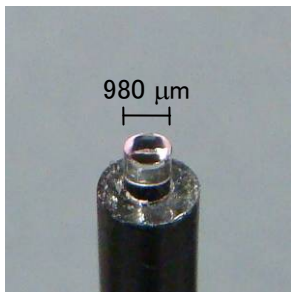


図 1: 光ファイバーセンサーの先端
PSP*中に先端を浸し乾燥させることで付着させた。

*PtTFPP:10 mg、 poly(IBM-co-TFEM):0.5 g、 Toluene:20

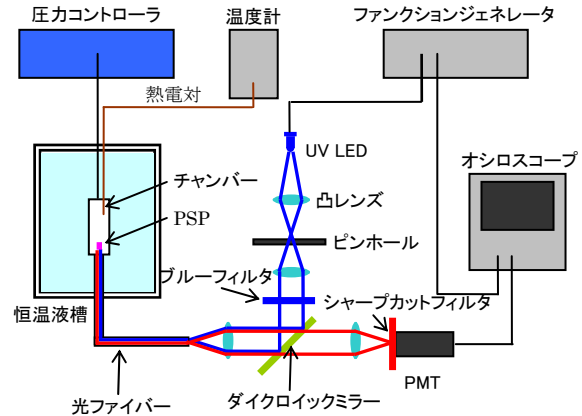
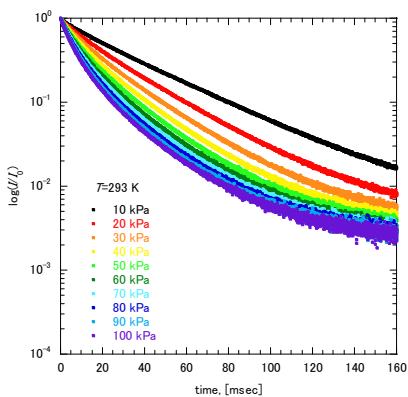
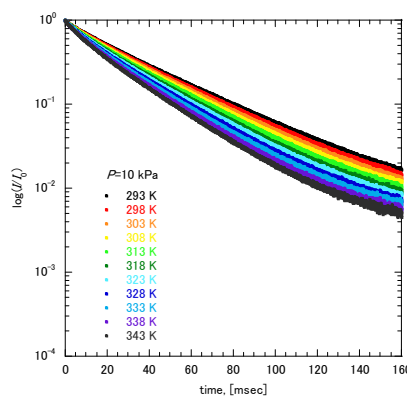


図 2: 較正試験装置の概念図

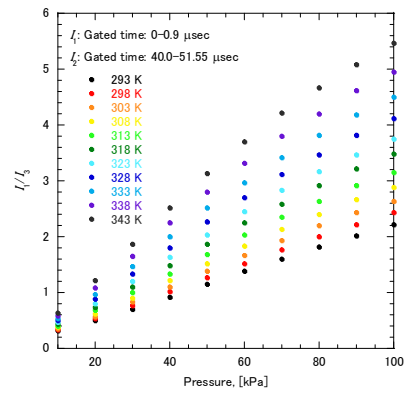
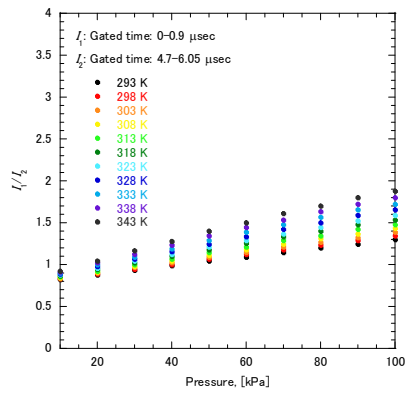


(a) 圧力の増加に伴い寿命は減少。



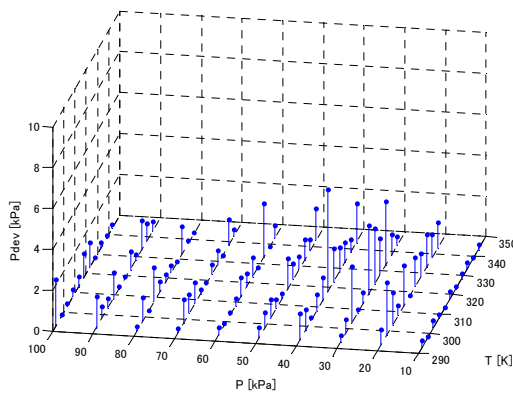
(b) 温度の増加に伴い寿命は減少。

図 3: 発光減衰曲線



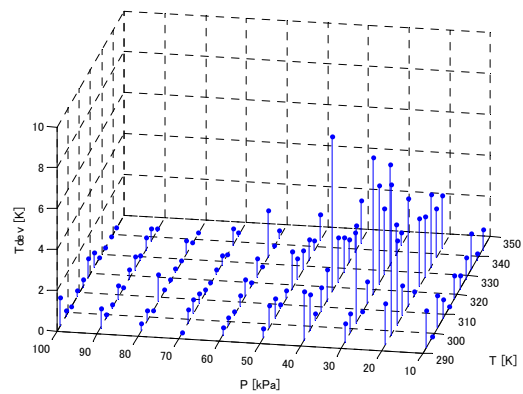
(a) I_1/I_2 圧力・温度に対する依存性が小さ (b) I_1/I_3 圧力・温度に対する依存性が大き

図 4: 発光強度比



(a) 圧力の誤差分布

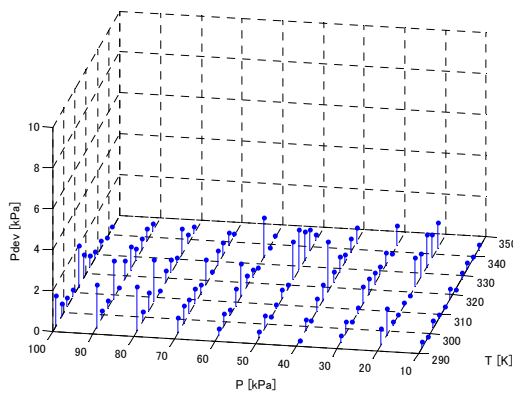
$$\Delta P_{RMS}=1.18、\Delta P_{MAX}=4.99$$



(b) 温度の誤差分布

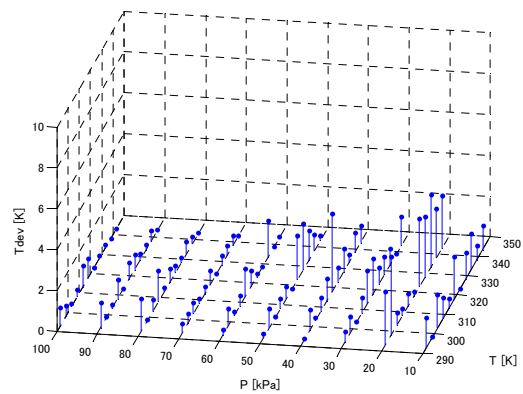
$$\Delta T_{RMS}=1.93、\Delta T_{MAX}=7.58$$

図 5: 3 ゲート法による再構成結果



(a) 圧力の誤差分布

$$\Delta P_{RMS}=0.87、\Delta P_{MAX}=2.44$$



(b) 温度の誤差分布

$$\Delta T_{RMS}=1.18、\Delta T_{MAX}=3.84$$

図 6: 4 ゲート法による再構成結果

参考文献

Kazunori Mitsuo et al, "Advanced lifetime PSP imaging system for pressure and temperature field measurement" Measurement Science and Technology 2006 pp 1282 - 1291