

応力発光材料を用いた応力分布の可視化

今井 祐介、山田 浩志、安達 芳雄、西久保 桂子、寺崎 正、徐 超男

産業技術総合研究所 九州センター

我々は、弾性変形領域の微小な力学的エネルギーにより可視光域での発光が励起される新規な発光材料である“応力発光材料”を開発し、計測技術への展開を図っている⁽¹⁻⁴⁾。代表的な応力発光材料としては、緑色の発光を示すユウロピウム添加アルミン酸ストロンチウム(SAOE)が挙げられる(図1)。SAOEは図2に示すような結晶構造上の特徴を有している。これらの特徴が高い応力発光特性に寄与していると考えられる。図3aに典型的な応力発光の様子を示す。圧縮および引張りの印加荷重および歪み速度を種々変化させて応力発光強度を測定した結果(図3b、c)、発光強度は応力および歪み速度のいずれにも比例することが確認された。すなわち、応力発光強度は印加される歪エネルギーの時間変化率に比例する。また、体積変化を生じないずり変形に際しても応力発光が観測された(図3d)。このような応力発光材料の特徴を生かした計測技術の一環として、リアルタイムに応力分布を可視化する技術への適用を試みた。セラミックス粉体として得られる応力発光材料を樹脂と混合し、円柱状の成形体試料片を作成した。この試料に圧縮応力を加えた際の発光強度の分布は、有限要素法シミュレーションの結果と良い一致を示した(図4)。また、応力発光粉体を顔料として添加した塗料を調製し、試験対象に塗布することによっても、応力分布の可視化を行なうことが可能である。3点曲げ試験や、人工骨等複雑な形状を有する試験片の場合も、光弾性・熱弾性効果を利用した応力分布解析の結果とよく一致するデータが得られている。

参考文献

- (1) C. N. Xu et al. “Appl. Phys. Lett.” 74, 2414, American Institute of Physics (1999).
- (2) C. N. Xu, in: “Encyclopedia of smart materials” vol.1, John Wiley & Sons, Inc., (2002), p.190.
- (3) 徐超男, “セラミックス”, 39(2), 130 日本セラミックス協会 (2004).
- (4) 徐超男, “産総研 TODAY”, 5(10), 8 産業技術総合研究所 (2005).

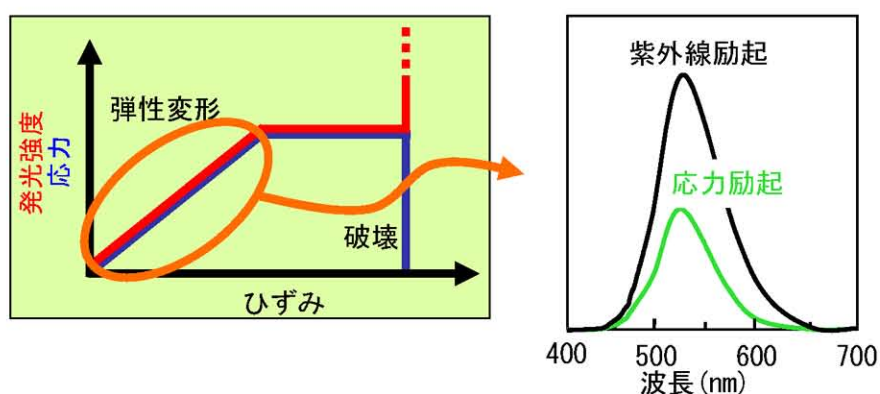
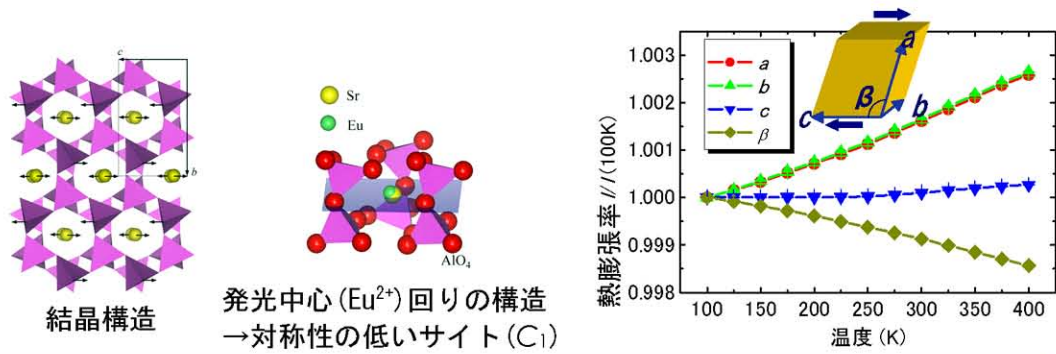
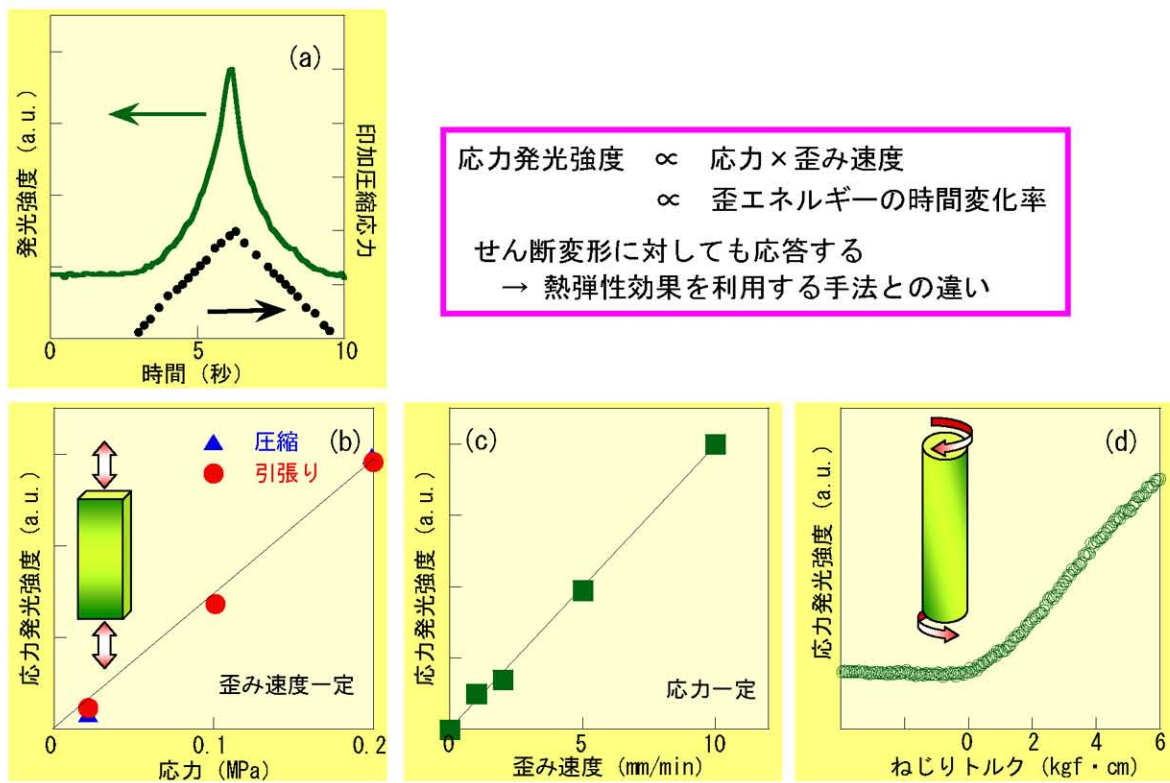


図1 (左)応力発光材料の力学的応答と応力発光挙動(右)ユウロピウム添加アルミン酸ストロンチウム(SAOE)の発光スペクトル



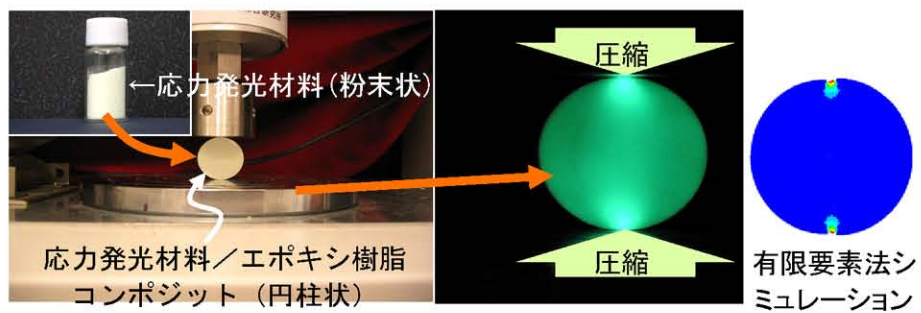
- | | | |
|--------------------------------|---|--|
| 緑色発光 | → | Eu ²⁺ の 4f ⁶ 5d ¹ → 4f ⁷ 遷移に由来 |
| フレキシブルなフレームワーク構造 | → | 歪み易い構造 |
| 反転対称性がない (空間群P2 ₁) | → | 自発分極をもつ (圧電性) |
| 結晶の歪み易さに異方性が存在する | → | ずり応力 (σ ₁₃) に対して歪み易い |

図2 ユウロピウム添加アルミン酸ストロンチウム (Sr_{1-x}Al₂O₄:Eu_x, SAOE) の構造と特徴



応力発光強度 ∝ 応力 × 歪み速度
 ∝ 歪エネルギーの時間変化率
 せん断変形に対しても応答する
 → 熱弾性効果を利用する手法との違い

図3 SAOEの応力発光挙動。(a) 典型的な応力印加時の応答曲線。(b) 発光強度の応力依存性(歪み速度一定)。(c) 発光強度の歪み速度依存性(応力一定)。(d) ねじり変形に対する応答性。



光弾性・熱弾性効果を利用した応力分布解析や有限要素法シミュレーションの結果と良い一致を示した。

図4 応力発光材料による応力分布の可視化