

## 応力発光材料とその応用研究 -ひずみ分布可視化が拓く設計・予測の革新と新機能：静電気発光の開拓まで-

(産総研・センシング RC<sup>1</sup>) ○寺崎 正<sup>1</sup>

Mechanoluminescence (ML) and Static-electricity induced luminescence (SEL): Material, Application and new frontier -Visualization drives innovative design and prediction-

(<sup>1</sup>Sensing system research center, National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST)) ○Nao Terasaki,<sup>1</sup>

Mechanoluminescence (ML) material is ceramic functional material (10 nm – 100 μm) and can emit intense during mechanical stimuli light repeatedly. When dispersed them into coating on structure, each particles acts as sensitive mechanical sensor, and the emission pattern of whole assembly reflects dynamic strain distribution through emission pattern and intensity. In this presentation, I will introduce the features of ML materials and its sensors, then discuss the innovative application and values on visualizing originally invisible mechanical information, such as [1] structural health monitoring (SHM) and conditioning based monitoring (CBM), [2] Design and prediction on light weight mobilities and [3] rulemaking in international standards.

In addition, As the new frontier of functional emission material, following to ML materials, I will introduce world first static electricity induced luminescence (SEL), which we respond to invisible static-electricity and it distribution.

*Keywords : Mechanoluminescence (ML); ceramics; visual sensing; static electricity induced luminescence (SEL)*

応力発光 (Mechanoluminescence: ML) とは、力学的な刺激にตอบสนองし、本来は見えない“動的なひずみ情報”を発光で可視化する技術である (図 1)。応力発光技術の核は、応力発光粒子 (セラミックス、代表的材料は  $\text{SrAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{2+}$  : 緑色発光、様々な発光色の開発あり) である 1)。構造体表面に応力発光塗料を塗布して発光を調べれば、その面分布から構造体の動的なひずみ分布が可視化され、表面はもとより内部に存在する構造欠陥、亀裂、破壊の現状や進行方向を瞬時に把握することができる<sup>1)</sup>。



図1 応力発光材料、センサの特徴(塗料型・シート型)、アプリケーション例

このアドバンテージを活かし、我々の生活を支えるインフラ構造物診断、風車・水素タンクなどのグリーンインフラ設計、カーボンニュートラル推進への軽量化モビリティ設計に貢献してきた<sup>2)</sup>。これらの構造物は、使用期間に、外力や荷重に耐える必要な力（ちから）が得られるか、極めて重要であるが、“力の情報”は見えない。経験や知見から適切に予測して設計に反映し、経験を蓄積したデータベースを基に“強度予測・シミュレーション”を行う。しかし、過去の知見やシミュレーションは、本当に正しいのか？思い込みは無いのか？気づいていない情報は無いのか？常に疑問は残る現状である。この課題に対して、ダイナミックなひずみ分布・破壊挙動を可視化することで、応力発光技術を活かしてきた。

その中で、応力同様に見えない“静電気”について、可視化の相談を得た。静電気は身近な現象だが、近年は、半導体業界での微細化する電子素子、その静電気破壊や誤作動、軽量化電動モビリティの燃費・操作性にも関連し、注目が高い。従来の静電気センサは、表面に凹凸のある対象物、移動している状態、測定環境が変化する状態での測定は、難しい。何より、目で見ると、カメラで撮るなど、直感的に分かる手段がない事が、静電気を課題困難なものにしてきた。多くの産業ニーズもこの点にあった。そこで、応力発光の様に、電荷・電荷移動が発光に関与する既知物質

(蛍光、EL、残光、応力発光、化学発光など)を系統的に探索したところ、“ある種”の  $\text{SrAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{2+}$  (セラミック粒子) が空気中のイオンや帯電粒子などの微弱な電気に反応して発光する静電気発光 (SEL : static electricity induced luminescence) 材料として機能することを世界で初めて見だし (図 2)<sup>4)</sup>、新たな展開が開け始めた。

本講演では、応力発光センサの特徴を紹介した後、“力（ちから）の情報が見える事で何が変わるか”、つまり構造物の状態基準保全 (CBM)、軽量化モビリティなどの設計・予測、国際標準<sup>3)</sup>への取り組みについて紹介する。更に、応力発光材料を研究する中で新たに発見した、世界初の静電気発光する静電気発光 (Static electricity induced luminescence: SEL) 材料についても紹介する。

1) (応力発光の総説 open access) N. Terasaki, *Interfacial Phenomena in Adhesion and Adhesive Bonding* 2023, p209. [Direct Visualization of Mechanical Behavior During Adhesive Bonding Failure Using Mechanoluminescence \(ML\) | SpringerLink](#)

2) (応力発光動画視聴可能) NHK world, Science view, [Protecting Infrastructure by Visualizing Stress - Science View | NHK WORLD-JAPAN](#)

3) ISO8065:2024, Composites and reinforcements fibres — Mechanoluminescent visualization method of crack propagation for joint evaluation.

4) K. Kikunaga and N. Terasaki: “Demonstration of Static Electricity Induced Luminescence”, *Scientific Reports*, **12**, 8524 (2022). <https://www.nature.com/articles/s41598-022-12704-5>

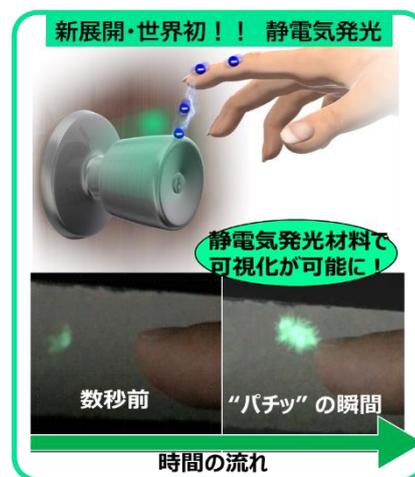


図 2 世界初、静電気発光の発見