

1. 研究概要

破壊する際に発光する固体材料は古くから知られています(氷砂糖など)。破壊に至らない弾性変形領域の荷重でも肉眼で観察できる程度の発光を示す材料が、1999年に初めて報告されました[1]。以下では後者を「応力発光体」と呼びます。これは、あらかじめ短波長の光を照射してエネルギーを蓄えておき、荷重によるひずみが生じた際に蓄えていたエネルギーを光として放出するものです。この発光特性についての基礎的な研究を行いました。

2. 研究成果

最初に開発された応力発光体で、かつもっとも代表的な応力発光体であるアルミン酸ストロンチウム($\text{SrAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{2+}$)を実験に用いました。アルミン酸ストロンチウムの粉末を液状のエポキシ樹脂に混ぜ、一片が約 6 mm の方体状の型に流し込み、硬化させたものを試料としました。この際、アルミン酸ストロンチウム粉末を均等に分布させることは難しく、一つの面付近に偏った分布となりました。

次に、この試料に光(波長 405 nm の青色レーザー光)を照射し、荷重を印加し、応力発光強度を測定する装置を作製しました。この写真を下の図 1 に示します。

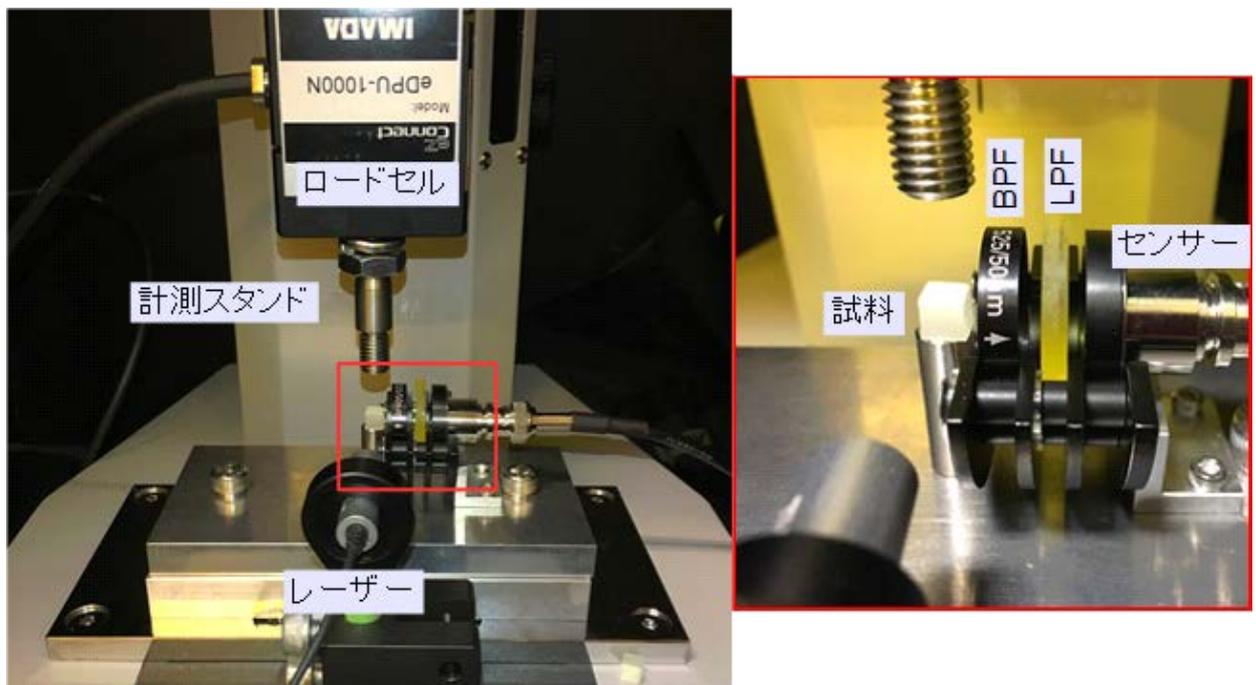


図 1 応力発光測定装置

試料の上部から荷重を印加し、側方からレーザー光を照射、それに直交する方向で発光を検出する配置になっています。ロードセルは eDPU-1000N を用いました。試料と光センサ(フォトダイオード)との間にはフィルターを置き、レーザー光をカットし発光だけを検出するようにしています。発光強度は電圧として測定されます。応力発光強度測定のための荷重印加は、『70 mm/min で接触部を降下させ、所定の荷重を 0.3 秒保持し、300 mm/min で初期位置に戻る』というサイクルを 3 回繰り返しました。計測スタンドを含めて装置全体を覆う暗箱も作製しました。

最初に基本的な測定を行い、試料は粉末が多く分布している面を上面または下面にすると荷重印加時の発光強度が強くなることがわかりました。これはシミュレーションによる応力分布の解析とも整合しています。また、応力印加前のレーザー光照射は、10 秒で十分であり、それ以上の長時間照射しても強度はほぼ増加しないことがわかりました。

次に、レーザー光照射を停止してから 10 秒後に上記のサイクルを開始し、保持する荷重と発光強度との関係を調べる実験を行いました。発光強度の時間変化を示すグラフを図 2 に示します。2 秒付近の山が、1 回目の荷重印加による発光を示します。

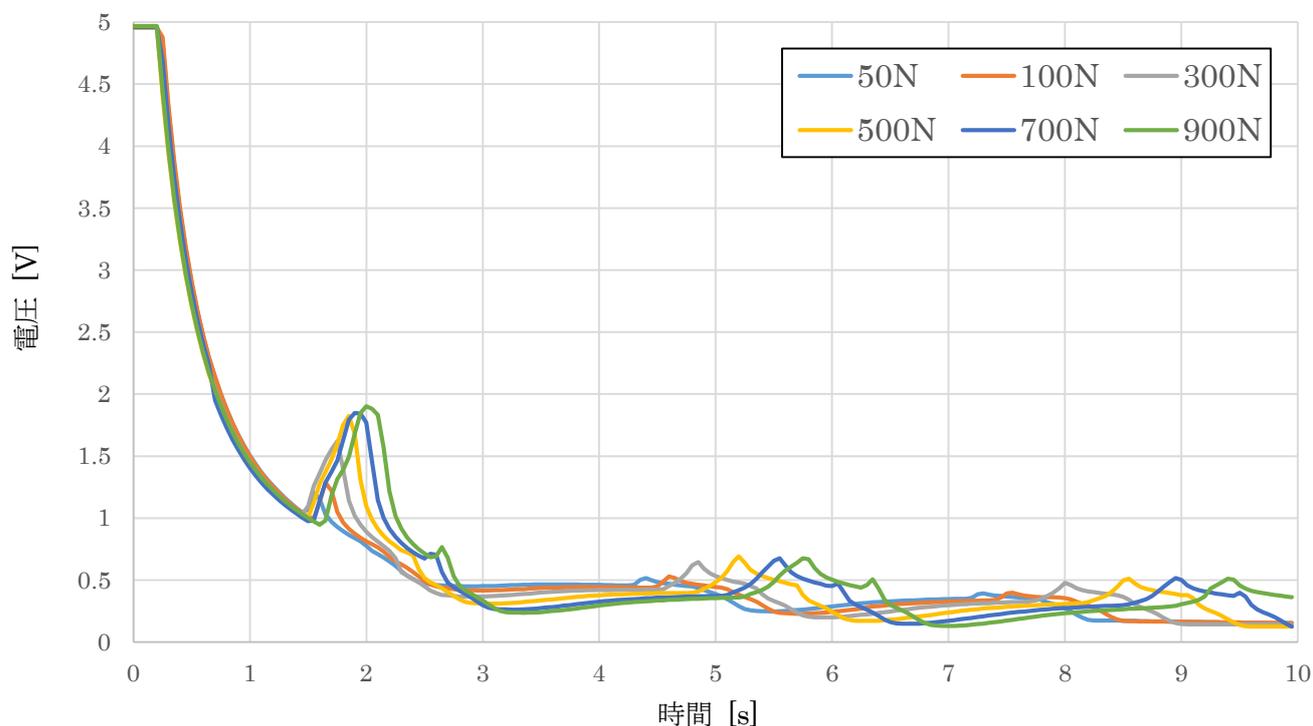


図 2 発光強度の時間変化

このグラフから得られた、荷重と発光強度(1 回目のサイクル)との関係を図 3 に示します。

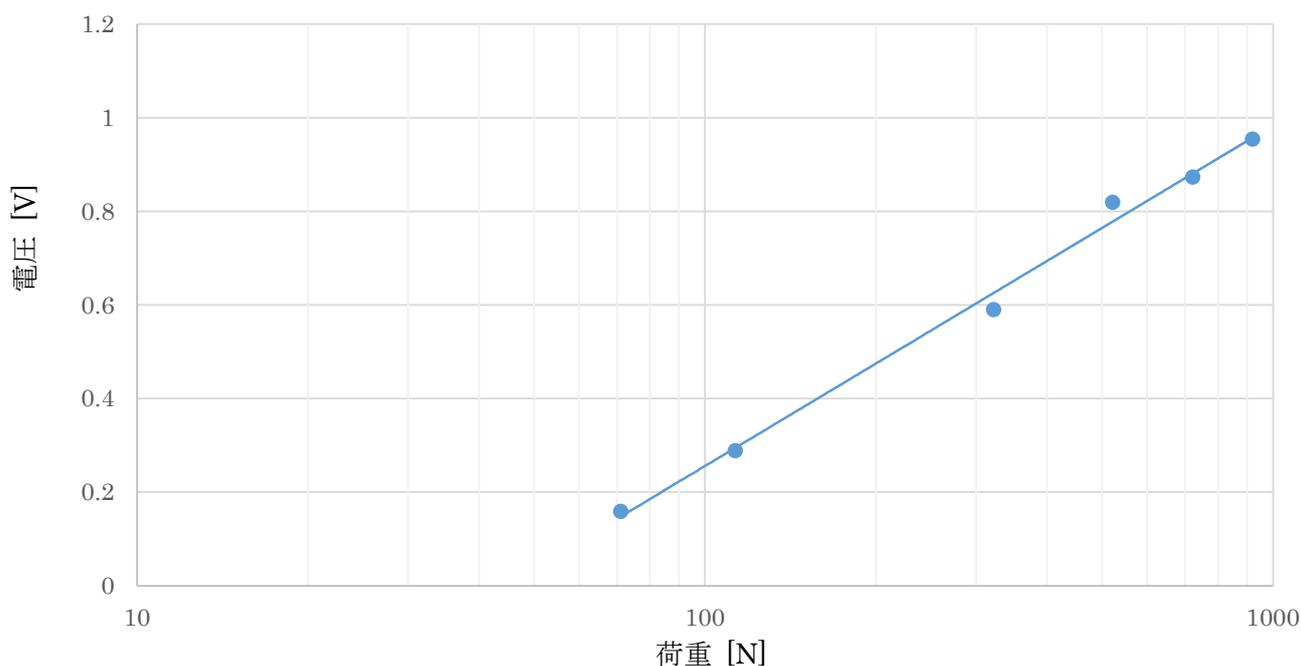


図 3 発光強度（発光直前とピーク時の電圧値の差）と荷重との関係

図 3 のとおり，荷重の対数に対して線形に発光強度が大きくなるという結果が得られました。対数をとったのは理論的なものではなくデータに合わせたものです。

3. 計測スタンドの導入による進歩

本研究では，応力の印加に株式会社イマダの計測スタンド EMX-1000N を用いました。従来は，てこを用いる自作の装置(図 4)により荷重を印加していました。しかし，発光させるのに十分な荷重がなかなか得られず，てこの支点から最も遠い位置におもりをつけて落下させ，瞬間的な撃力を利用して発光させていました。これだと，発光していることは観測できるものの，長時間の荷重印加ができない(荷重の時間軸での制御が困難)，いろいろな点でばらつきが生じる，装置にかかる負荷が大きい(てこの棒が変形する)，自動化に向かないなどの欠点がありました。本装置を導入することで，時間を正確に制御し，定量的に応力を印加できるようになりました。



図 4 従来の荷重印加装置。横長の棒がてこ。

4. 今後の展開

この実験では，荷重の印加に加えて，照明(応力発光体への光照射)の制御と発光

強度の測定を行う必要があります。これら全てを一台のパソコンから制御・測定できるようにし、自動化するのが現在の課題です。また、一般に低温になると発光はスペクトルの広がり狭くなり、発光波長等を精密に測定できるようになります。そのため、低温化で荷重を印加できる装置を組み立てたいと考えています。

5. 謝辞

本研究を遂行するにあたり、計測スタンド・フォースゲージ・ロードセル等をご提供いただいた株式会社イマダ様に感謝申し上げます。

本研究で用いたアルミン酸ストロンチウム粉末試料は、徳島大学工学部の森賀研究室にて作製していただいたものです。記して感謝申し上げます。

本研究には歴代の多くの学生が関与していますが、本報告書に記載した研究成果は主に設楽陽氏によるものです。記して感謝いたします。

参考文献

- [1] C.-N. Xu, T. Watanabe, M. Akiyama, and X.-G. Zheng, "Direct view of stress distribution in solid by mechanoluminescence," *Appl. Phys. Lett.*, vol. 74, no. 17, p. 2414, Apr. 1999, doi: 10.1063/1.123865.