

粘着テープにおける 摩擦ルミネッセンスの発生条件について

班員 飯井 咲希恵、丹後 真緒、辻口 歩実、中田 聡音
担当教諭 釜谷 智貴

キーワード：摩擦ルミネッセンス、摩擦発光、粘着テープ

We studied about Conditions in the occurrence of triboluminescence depending on the kinds of tapes used. The combinations which emitted light are the adhesive sides of cloth packing tape, the adhesive side of cloth packing tape and the non-adhesive side of PP tape, the adhesive side of cloth packing tape and the adhesive side of other tapes. So, the adhesive force is relate to wheter the tape emits light. Also, I think the adhesive type relate to it because of difference of adhesive ingredients.

1 はじめに

物質を擦ったり割ったりして、外からエネルギーを与えると発光する現象を摩擦ルミネッセンスという。この現象は布ガムテープの粘着面同士を貼り合わせてはがすと見られる（図1）。エネルギーを与えることで物質は励起状態になり、基底状態に戻るためエネルギーを光として放出する現象である。



図1 テープによる発光の様子

先行研究では、加える力の大きさと発光強度の間に関係があることが分かっている⁽¹⁾。しかし、摩擦ルミネッセンスの発生条件そのものは調べられていない。本研究では、粘着テープにおける摩擦ルミネッセンスの発生条件の解明を目的に実験を行った。

2 実験方法

実験では次の6種類のテープを用いた。布ガムテープ（（株）サンフレイムジャパン）、紙ガムテープ（（株）サンフレイムジャパン）、

セロハンテープ（ニチバン株式会社）、PPテープ（T.S企画）、ビニールテープ（（株）サンフレイムジャパン）、養生テープ（ニチバン株式会社）。

【実験1】貼り合わせたテープの一方を水平な面に固定し、水平方向に引っ張りをはがした（図2）。テープはすべて幅2cm、長さ15cmの帯に切りそろえた。下記の条件でそれぞれ10回ずつ試行を行った。



図2 実験の様子

はがす際、テープに加わる力の大きさを力センサー（PASC0）で測り、SPARKvueで記録した。実験の後、エクセルを用いてテープに加わる力の大きさの平均値を計算した。また、発光の有無を目視とiPadで撮影した動画で判断した。

実験1-1 発光するテープを見つけるために、同種のテープの粘着面同士を貼ってはがした。

実験1-2 はがす際のテープの伸びを防ぐために、テープを下敷きに貼ってはがした。

実験1-3 非粘着面にテープを貼ったと

きの発光を調べるために、布ガムテープの粘着面を他のテープの非粘着面に貼ってはがした。

実験1-4 粘着力を発光の関係を調べるために、布ガムテープの粘着面と他のテープの粘着面を貼ってはがした。

【実験2】テープの表面の様子を詳しく調べるため、走査型電子顕微鏡を用いて、テープの粘着面の様子を観察した。

【実験3】発光に影響する物質を特定するため、走査型電子顕微鏡を用いて、テープの粘着面の元素分析を行った。この実験では、PPテープ、紙ガムテープ、布ガムテープの3つのみを調べた。

【実験4】基材の繊維の方向（縦横）と発光の有無の関係、つまり発光における基材の影響を調べるため、テープ片を縦、横方向にちぎった（図3）。この実験では、布ガムテープ、紙ガムテープ、養生テープの3つのみを調べた。



図3 縦横のイメージ

3 結果

【実験1】布ガムテープの粘着面同士、布ガムテープの粘着面と他テープの粘着面、布ガムテープの粘着面とPPテープの非粘着面が発光した（表1）。

表1 実験の結果

	布	紙	PP	ビニール	養生	セロハン
実験1-1	○	×	×	×	×	×
実験1-2	×	×	×	×	×	×
実験1-3	×	×	○	×	×	×
実験1-4	○	○	○	○	○	○

発光した場合に加えた力の大きさは、最小8.6N（布ガムテープの粘着面とPPテープの非粘着面）、最大19N（布ガムテープの粘着面同

士）であり、発光しなかった場合は最小0.9N（布ガムテープの粘着面と紙ガムテープ非粘着面）、最大13.8N（養生テープの粘着面同士）だった（図4-7）。テープに加えられた力の大きさが8.6Nを超えても発光しない場合（セロハンテープの粘着面同士、ビニールテープの粘着面同士、養生テープの粘着面同士、下敷きとPPテープ）もあった。

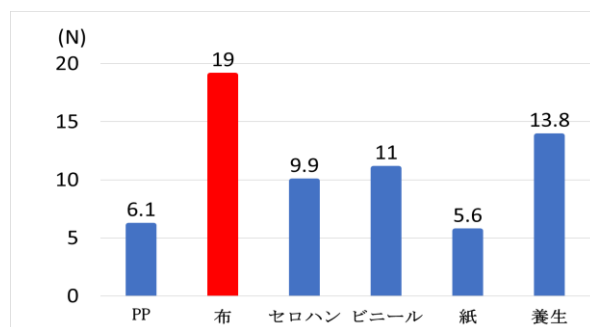


図4 実験1-1でテープに加えた力の平均値（赤色は発光した組み合わせ）

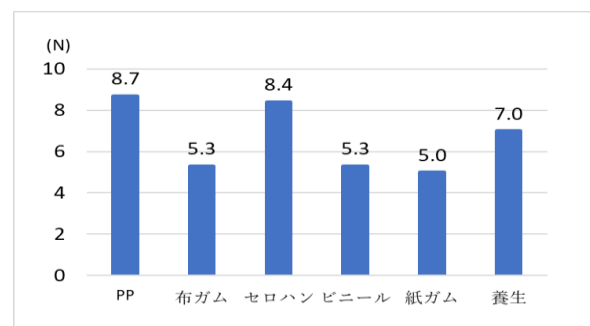


図5 実験1-2でテープに加えた力の平均値

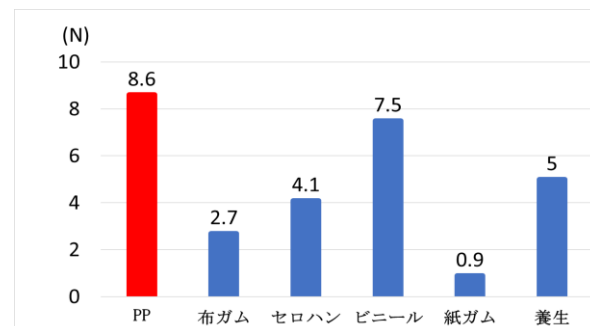


図6 実験1-3でテープに加えた力の平均値

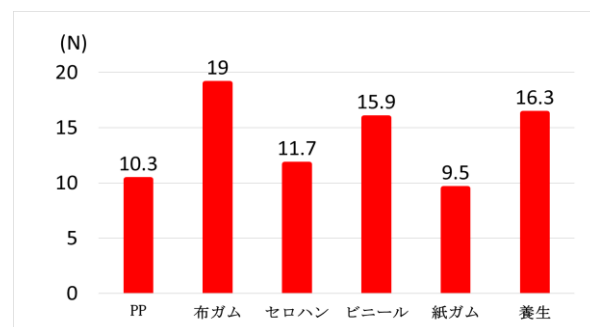


図7 実験1-4でテープに加えた力の平均値

【実験2】それぞれ90、1000、5000倍で撮影を行った。この実験においては電子顕微鏡内で与えられる電子の影響を考慮していない。布ガムテープには白い斑点のようなものが観察できた(図8)。また、紙ガムテープには穴のようなものが多くみられた(図9)。他の4種のテープにはほとんど違いがみられなかった(図10-13)。PPテープにおいて、電子顕微鏡が射出する電子によると思われる四角い跡がみられた(図14)。

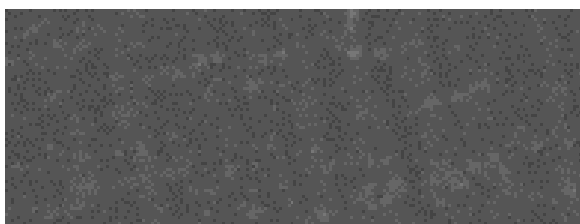


図8 布ガムテープ粘着面の表面の様子
(倍率は全て1000倍)

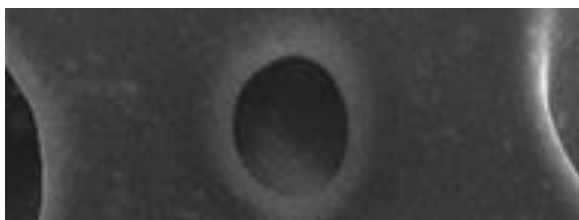


図9 紙ガムテープ粘着面の表面の様子

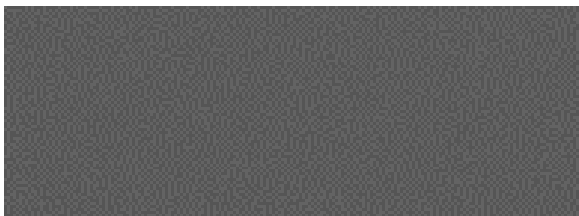


図10 PPテープ粘着面の表面の様子

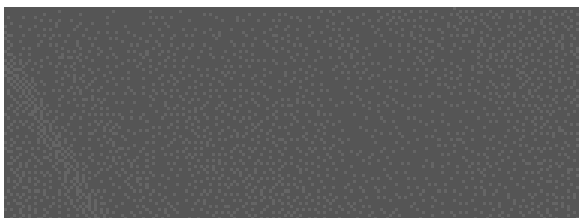


図11 ビニールテープ粘着面の表面の様子

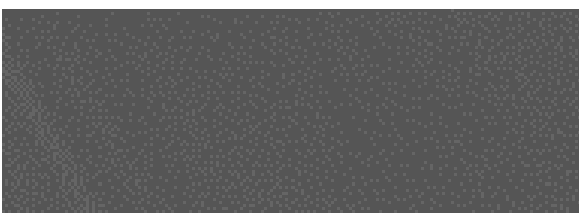


図12 セロハントープ粘着面の表面の様子

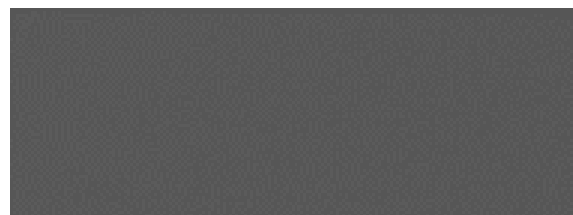


図13 養生テープ粘着面の表面の様子

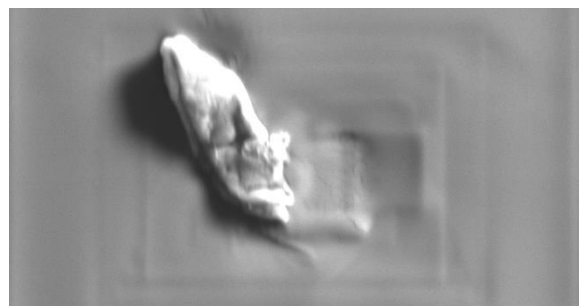


図14 PPテープ表面にみられた四角い跡

【実験3】3種類のテープすべてで炭素が最も多く見られた。布ガムテープの白い斑点にはCaとOが多く見られた(図15-18)。

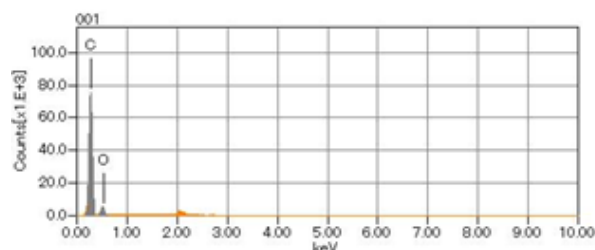


図15 PPテープの元素分析

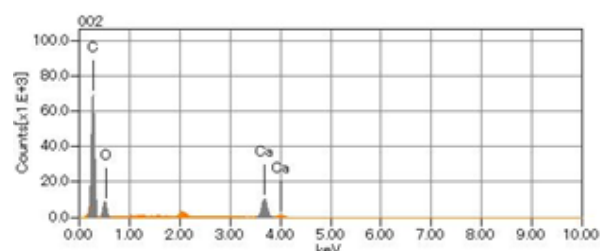


図16 紙ガムテープの元素分析

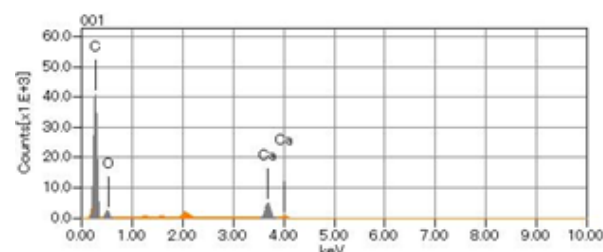


図17 布ガムテープの元素分析

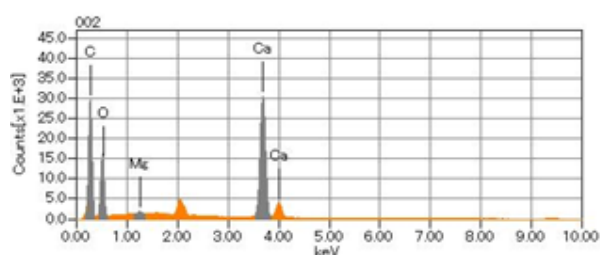


図18 布ガムテープの白い斑点部分の元素分析

【実験4】布ガムテープにおいて、縦横の方向いずれにおいても発光したものと発光しなかったものの割合はおよそ半分ほどであった。他2種においては発光がみられなかった。

4 考察

実験1の結果から、発光の有無はテープに加えた力に関係していると思われる。しかし、加えた力が8.6N(発光した組み合わせに加えられた力の最小値)を超えたにもかかわらず発光しなかった組み合わせがある(セロハンテープ粘着面同士、ビニールテープ粘着面同士、養生テープ粘着面同士、下敷きとPPテープ)。このことから、発光の有無にはテープに加わる力の大きさ以外の原因があると考えられる。具体的には、テープの基材や粘着面の表面の様子、粘着剤の成分の違いなどが考えられる。

実験2より、テープの表面の様子による明確なグループ分けはできなかったため、現段階では粘着面の表面の様子が発光の有無に及ぼす影響は不明である。

実験3より、実験に用いたテープはすべて有機物である。また、布ガムテープにPPテープ、紙ガムテープと比べCaとOが多くみられたことから、炭酸カルシウムまたは酸化カルシウムが含まれている可能性がある。カルシウムの第一イオン化エネルギーは、炭素の約1/2の大きさである。ここからカルシウムは電子が励起されやすいとすると、カルシウムを含む布ガムテープは発光が起こりやすいと考えられる。

実験4より、テープ同士を貼り合わせることなく発光が起こったテープが存在したため、実験1において基材と粘着剤の分離によりエネ

ルギーが発生していた可能性は低いと考えられる。また、実験の結果より縦横いずれの方向にちぎった際も発光の有無の割合はほとんど変化が見られなかった。これらのことから、発光の有無には粘着剤が主に影響していると考えられる。

5 結論

粘着テープにおける摩擦ルミネッセンスの発生条件には、加わる力の大きさと他の条件がある。具体的にはテープごとの粘着面の表面の様子、また粘着剤の成分の違いなどが考えられる。発光しやすい布ガムテープでは、カルシウムが含まれていた。

6 今後の展望

実験1でのテープの種類を増やしたいと考えている。また、実験3において養生テープ、セロハンテープ、ビニールテープでも元素分析を行いたい。さらに、大きい力が加えられても発光しない養生、セロハン、ビニールテープの粘着面にカルシウムを塗布し、発光するかどうか調査する予定である。発光の際に電気が発生するかどうか調査したい。

7 謝辞

本研究において、走査型電子顕微鏡をお貸しいただき、また実験について助言をくださった金沢大学のロバート・ジェンキンズ先生に感謝申し上げます。

8 参考文献

- (1) 愛知県岡崎高校, 摩擦ルミネッセンスの研究, 応用物理学会SC東海学術講演会, 2014
- (2) 山崎義弘, 2016, テープをはがして、考えるー「粘着の物理」に向けてー, 日本物理学会誌, Vol. 71, No. 5, p. 318~322