

セロハンテープを用いた2視点表示偏光アート

Polarization art with dual views using cellophane tapes

菅原詩織, 酒井大輔, 原田建治

Shiori Sugawara, Daisuke Sakai and Kenji Harada

北見工業大学情報システム工学科, 〒090-8507 北海道北見市公園町 165 番地

Department of Computer Science, Kitami Institute of Technology

165 Koencyo, Kitami, Hokkaido 090-8507 Japan

Abstract

A cellophane tape with birefringence exhibits polarization colors when observed using a polarizer. We have produced polarization art with dual views using cellophane tapes and polarizers. We superposed and pasted up to three cellophane tapes, with each tape pasted in an orthogonal direction to the previous one. This device is simple and can be easily made. The transmittance changes with the viewing angle, and different images can be observed from the front and side views.

Keywords: cellophane tape, polarizer, polarization art, coloration phenomena, polarization color

(受理 2014年10月27日)

1. はじめに

一般に光を用いた教材は、高価な機器を必要とすることが多く、光を専門的に扱う教育機関以外では実施が困難なのが現状である。また、レーザ光源等を使用する際には危険が伴うため、実験には細心の注意が必要となる。一方、偏光による着色現象(偏光色または干渉色)を用いた教材は白色光源、偏光板および複屈折性材料のみで実験が可能であるため、安価かつ安全な光の実験教材であり、現在までに数多くの教育機関で偏光実験が実施されてきた。

これまでに、透過率の波長依存性を、複屈折性材料である高分子シートの配置とその屈折率の異方性を用いて説明する実験教材^{1,2)}、補色と白色光との関係を示す演示教材³⁾、有機結晶の偏光特性を利用した新しい教材⁴⁾、鏡像を用いて複数の着色を同時に観察できる教材⁵⁾、図形や数字の形に切り抜いた高

分子シートを利用した教材^{6,7)}、など様々な教材が報告されている。複屈折性材料として身近なセロハンテープを用いた教材も複数報告されている⁸⁻¹⁰⁾。セロハンテープは粘着層を有しており、偏光板への貼り付けが可能である。そのため、高分子シートを使用するよりも実験が容易である。偏光色を観察する際は、2枚の偏光板に挟まれた複屈折性材料を真正面から観察する。それ以外の方向から観察すると、正面から観察した場合とは違う色合いに見える。本論文では、セロハンテープを十字になるように複数枚規則的に貼り重ねることにより、正面から観察した画像と斜め方向から観察した画像が異なる新しい偏光アートの提案、作製方法ならびに実演結果について報告する。

2. セロハンテープと偏光色

図1のように、セロハンテープなどの複屈折性材料を2枚の偏光板の間に貼りつけたり挟んだりすることにより、偏光色を簡単に観察することができる。

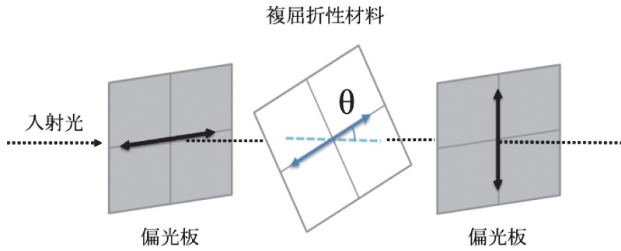


図1 偏光色を観察する光学配置

複屈折性材料の遅相軸の方向を回転すると観察される色の明るさが変化する。その時の透過光強度 I は以下の式で表すことができる。

$$I = I_0 \sin^2 2\theta \cdot \sin^2 \left(\frac{\pi R}{\lambda} \right), \quad (1)$$

ここで、 λ は波長、 I_0 は平行ニコル時の透過率、 θ は複屈折性材料の遅相軸の角度、 R はリターデーション量である。(1)式より、偏光板の軸に対してセロハンテープの遅相軸を45°傾けて貼り付けることで、透過光強度が最大となることが分かる。

本論文ではセロハンテープとして、ニチバン製のセロテープ®を用いて実験を行った。ランダムに重ね合わせて偏光板を通して観察すると、図2のようにきれいな着色が観察される。

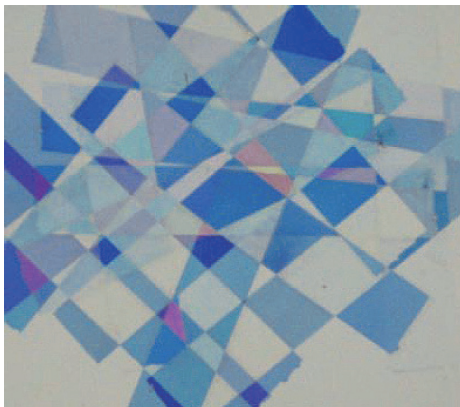


図2 セロハンテープの着色例1

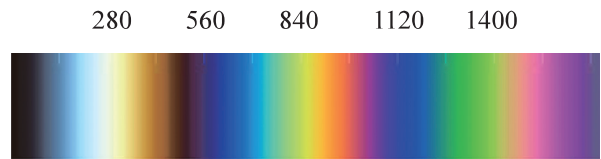
また、同じ方向に6枚まで重ねて貼り合わせ、偏光板を通して観察すると図3のように観察される。



1枚 2枚 3枚 4枚 5枚 6枚

図3 セロハンテープの着色例2

この着色を、図4に示す干渉色チャートと呼ばれる複屈折性材料のリターデーション量と干渉色の関係を表したものの比較することにより、およそそのリターデーション量を推定することができる。この場合、6枚重ね合わせたときの緑色が図4の干渉色チャートの1400nm付近の色と一致しており、今回用いたセロハンテープ1枚あたりのリターデーション量はおよそ230nmであることがわかった。これは、一般的な1/2波長板のリターデーション量である280nmに近い値であった。



リターデーション量 (nm)

図4 干渉色チャート

3. 複屈折性材料の直交貼り合わせによる2視点からの観察

本論文では、セロハンテープを十字になるように貼り合わせることで、見る角度により観察像が異なる偏光アートを作製する。図5に示すように、2枚目のセロハンテープは1枚目に対して直交に貼り合わせ、3枚目は2枚目と直交になるように貼り合わせる。このとき、図5(a)のように、長辺方向の屈折率を n_x 、短辺方向の屈折率を n_y 、厚さを d として、

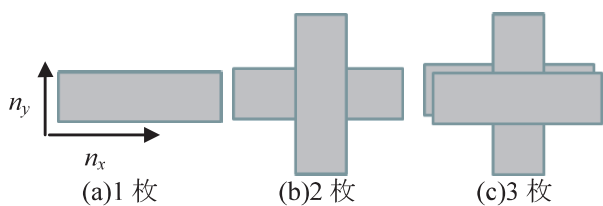


図5 セロハンテープの貼り方

45°の直線偏光が垂直に入射したときのリターデーション量 R は

$$R = (n_x - n_y) \cdot d \quad (2)$$

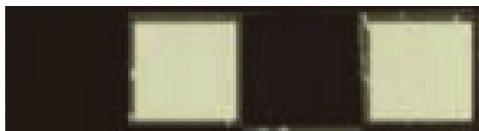
と表せる。また、図 5(b)のようにセロハンテープを2枚貼り合わせたときのリターデーション量は2枚のセロハンテープが補償し合い

$$R = (n_x - n_y) \cdot d + (n_y - n_x) \cdot d = 0 \quad (3)$$

となる。さらに、図 5(c)のように3枚重ねた場合は、2枚分の位相差が補償されるため、1枚の時と同様に

$$R = (n_x - n_y) \cdot d \quad (4)$$

となる。このことから、真正面からクロスニコル配置で透過光を観察した場合、図 6(a)のようにセロハンテープの重ね合わせ枚数が奇数枚のときは白に、偶数枚の時は黒に観察されることが分かる。



0枚 1枚 2枚 3枚

(a) 垂直方向から観察



0枚 1枚 2枚 3枚

(b) 斜めから観察

図 6 セロハンテープの観察例

次に図 7 のように角度 α だけ斜めの方向から観察した場合を考える。セロハンテープ内の屈折角を β として、このときのリターデーション量 R は

$$R = (n' - n_y) \cdot \frac{d}{\cos \beta}, \quad (5)$$

と表せる。ここで屈折率 n' は

$$n' = \frac{n_x n_z}{\sqrt{n_x^2 \sin^2 \beta + n_z^2 \cos^2 \beta}},$$

である。斜めから観察した場合は、垂直方向から観察した場合とはリターデーション量が異なることが分かる。2枚、3枚重ね合わせたときも同様にリターデーション量が異なることにより、およそ 40° 斜めの方向から観察した場合は、図 6(b)のように、正面から観察した場合と比べてセロテープを2枚、または3枚貼った画素の色が白黒反転して観察されるこ

と分かる。この特性を利用することで、正面から観察した画像と斜め方向から観察した画像が異なる偏光アートの作製をおこなった。

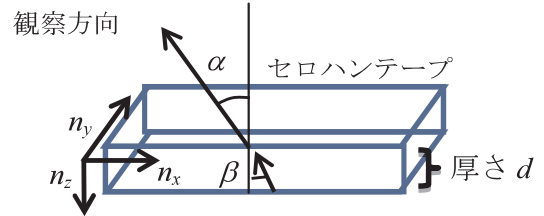


図 7 セロハンテープの斜め方向からの観察

4. 2 視点偏光アートの作製方法

実際に 25×25 画素の偏光アートの作製を行った。1画素のサイズは 12mm×12mm とした。前述のとおり、セロハンテープを貼り合わせる枚数により、正面から観察したときと、斜めから観察したときの光の透過率が異なる。例えばセロハンテープを2枚重ねた場合では、正面から観察すると黒に、斜めから観察すると白の画素になる。

図 8 に設計図を示す。正面から観察すると QR コードとなり、斜めからでは“北見工大”の文字が観察できる偏光アートとなっている。設計図に書かれた数字の枚数のセロハンテープを重ね合わせると、簡単に偏光アートを作製することができる。実際の観察例として、図 9(a)に偏光板を配置しないで観察した例を、図 9(b)(c)に偏光板を配置して観察した例を示す。観察しやすいように LED バックライトを後方から照明した。偏光板を配置しない場合は、何も観察されないが、偏光板ありでは正面と斜めからでは別の画像が観察できることが確認できた。QR コードは携帯電話等で読み取り可能であり、北見工業大学の web サイトにアクセスすることができる。

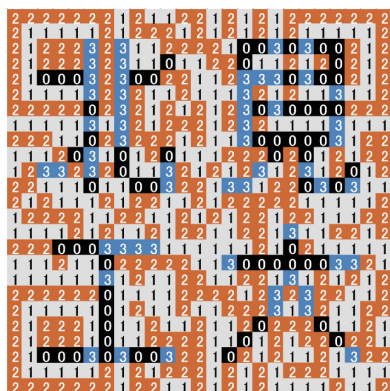


図 8 偏光アート的设计図

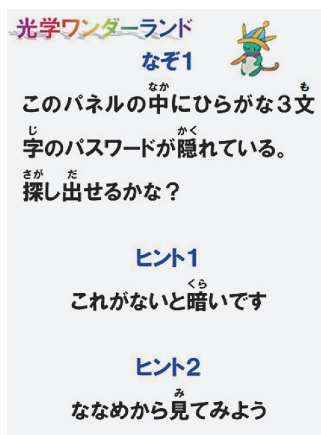
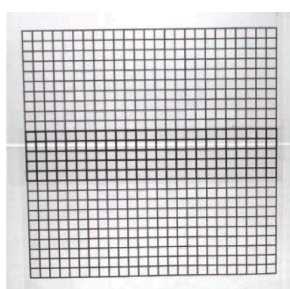
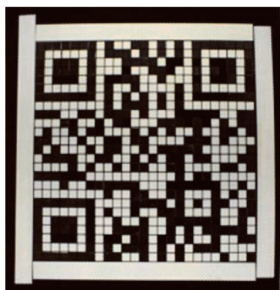


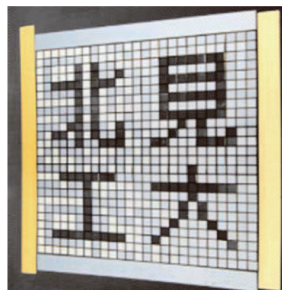
図 10 実施したクイズ



(a) 正面から観察
(偏光板なし)



(b) 正面から観察
(偏光板あり)



(c) 斜めから観察
(偏光板あり)

図 9 偏光アートの観察例



(a) 正面から観察 (b) 斜めから観察

図 11 偏光アートの観察例

5. 演示および考察

2012年6月に実施した大学祭の研究室公開「光学ワンダーランド」において、偏光アートの展示をおこなった。本偏光アートは案内板も兼ねており、さらにクイズ形式にすることで展示に注目してもらえるように工夫した。図10に出題したクイズを、図11に作製した偏光アートの写真を示す。

正面から観察すると会場の案内板になっているだけで、クイズの答えが分からないが、斜め方向から観察すると、答えの「ひかり」の文字が読めるようになっている。今回の論文で報告した偏光アートは従来の偏光アートと異なり、案内板やQRコード等の広告機能を持たせることができる。QRコードを用いて、大学のwebサイトや偏光について学べるwebサイトに誘導する等の使い方も可能となる。

参加した子どもたちは、角度によって変わる画像を不思議そうに観察していた。単にクイズの正解を知りたいというだけでなく、『なぜ画像が変わるのか?』との質問が多くの子供たちやその保護者からあった。上部の偏光板は取り外しできるようになっており、参加者に偏光やセロハンテープのしくみを説明した。このように単に参加者が観察するだけで終わらず、参加者の興味を喚起すること成功し、効

果的な教材に成りえることを実感した。

小学生や中学生に対しては、「なぜ、見る角度によって表示が変わるのか?」といった素朴な疑問から、光の性質について興味を喚起する有効な教材になるであろう。高校生に対しては、物理を選択した生徒であれば、偏光や光の性質についての基礎知識を有しており、教科書には載っていない面白い現象を観察することで、勉学の意欲向上や進学への動機付となることが期待される。大学生に対しては、より高度な知識による理解が期待される。観察する角度によって見える画像が変化する現象を説明するためには、偏光や複屈折の知識を有している必要がある。さらに複屈折性材料の特性、斜め方向から観察した際に複屈折性材料の光学距離等を計算できなければならぬ。理工系の学生にとっては、光学について、より深い理解を得るための良い実験教材や研究対象となるであろう。

6. おわりに

セロハンテープを用いた2視点偏光アートの作製および演示をおこなった。正面から観察した画像と、斜め方向から観察した画像が異なる、新しい偏光アート表示が可能となった。現状では、白黒の2値の

みしか表示することができないため、少々地味ではあるが、演示実験や科学実験の案内板に用いることで、大きな教育効果があることが確かめられた。今後は、演示実験のみだけでなく、体験型で学べる教材になるように改良を進めていく予定である。

参考文献

- 1) 本田 亮, 佐藤 浩, 千葉 芳明: 応用物理教育 **26** (2002) No. 1, 21.
- 2) 千葉芳明: 物理教育, **35** (1987) No.4, 255.
- 3) 千葉 芳明, 佐藤 浩, 本田 亮: 応用物理教育 **27** (2003) No. 1, 87.
- 4) 金蓮花, 大矢敏史, 高和宏行, 近藤英一: 応用物理教育 **36** (2012) No.2, 21.
- 5) 千葉 芳明, 本田 亮: 応用物理教育 **29** (2005) No. 2, 17.
- 6) 原田 建治, 酒井 大輔, 亀丸 俊一: 応用物理教育 **30** (2006) No. 2, 25.
- 7) 原田 建治, 酒井 大輔, 曾根宏靖, 原田康浩, 亀丸 俊一: 応用物理教育 **34** (2010) No. 1, 35.
- 8) 沓沢 謙一郎: 日本物理教育学会誌 **10**(1962) No. 1, 31
- 9) 井上 祥史, 伊藤 敏, 菊池 洋一, 武井 隆明, 井上 祐: 科学と教育 **51**(2003) No. 3, 186.
- 10) 漢那哲二, 小柳元彦: 化学と教育 **47**(1999) No. 3, 200.