

高等学校物理における「偏光」の取り扱いⅡ

～偏光板のしくみと透過光の特性を理解するための教材開発とその活用実践～

家永 展寛^{*1}・重松 宏武

Handling of “Polarization” in High School Physics II :
Development and Application of Teaching Materials for Understanding
the Structure of Polarizing Plate and the Characteristics of Transmitted Light

IENAGA Nobuhiro^{*1}, SHIGEMATSU Hirotake
(Received August 3, 2020)

キーワード：偏光板，スリットモデル，定量的理解，教材製作

はじめに

我々は高等学校理科物理分野の『波』の単元において学習する「偏光・偏光板」に関するアンケート調査を通じて、理科の教員を目指す大学生（山口大学教育学部理科教育選修）の偏光板の特性や偏光の原理に関する理解度調査を行った¹⁾。解答者数 51 名に対して「偏光」を理解している学生が 29 名 (56.9%)、さらに「偏光の分解」（定義は引用論文 1 参照）についても理解している学生が 5 名 (9.8%) という高いとは言いがたい結果を得た。そこで、理解度向上のために、偏光板 1 枚、もしくは 2 枚 3 枚と重ねた場合における偏光・透過度の考え方を具体的な数式展開を用いて定量的な解説を行った。本論文においては、さらなる理解度向上を目指して開発した補助教材を紹介し、さらに、この補助教材を活用した実践指導について報告する。

1. 教材「回転偏光板装置」の設計方針

偏光板に関連する『教育的基礎』研究として、偏光板とセロハンテープを用いた干渉色の発色に関する定量的考察²⁾、セロハンテープを用いた 2 視点表示偏光アート³⁾、セロハンテープの光学特性と干渉色のシミュレーション⁴⁾などのセロハンテープによって引き起こされる複屈折のしくみに関する多数の報告がなされている。先人研究の多くは、これら報告同様に偏光板と他の物体との間で起こる現象に注目しており、本研究のように偏光板自体の特性に特化したものは少ない^{5,6)}。さらに活用可能な教材も少なく、例え存在したとしても高価なため班単位での実践を行うことは現実的に容易ではない⁷⁾。そこで、安価かつ構造的にシンプルで簡単に実験ができる装置の開発を行った。具体的には大学や学校、研修の場などでの活用を考え、「安い（材料費）、安全（けがの防止）、壊れにくい（高耐久、長寿命）」の他、製作を容易にするために加工しやすい材料を用いる、小型化するなどを配慮し、試行を重ねた。以上の点を考慮して最終的に開発した教材「回転偏光板装置」の概略図を図 1 に示す。図 1 中の①、②、③はそれぞれ、入射光側を基準に 1 枚目の偏光板（縦方向）、2 枚目の回転偏光板（0° のとき横方向）、3 枚目の偏光板（横方向）を表している。ここで縦方向または横方向とは引用文献 1 で述べたスリットモデルにおける偏光板のスリットの方向を指している。また、右側（受光側）のデジタルマルチメーター MS8902（MASTECH 社製）は照度計として用いるが、その他電流計、電圧計、温度計などの機能も備えたマルチメーターであり、学校の備品として活用度の高い製品を採用した。「回転偏光板装置」を用いることで、引用文献 1 の理解度調査により示された「偏光を知らない学生と、偏光は知っているが偏光の分解を明確に理解していない学生」の両方に対して、「偏光」と「偏光の分解」を理解させることができると期待される。また、偏光板を最大 3 枚活用できる構成を採用した理由

* 1 美祿市立大嶺中学校（令和 2 年度山口大学教育学部附属教育実践総合センター共同研究員）

は、アンケート調査¹⁾の考察において、偏光板2枚の場合では「偏光の分解」を理解しているかどうかの判断が難しく、偏光板3枚の場合においてはじめて「偏光の分解」を理解している、またはしていないと断定できたからである。なお、装置の製作方法の詳細については、付録1に記載する。

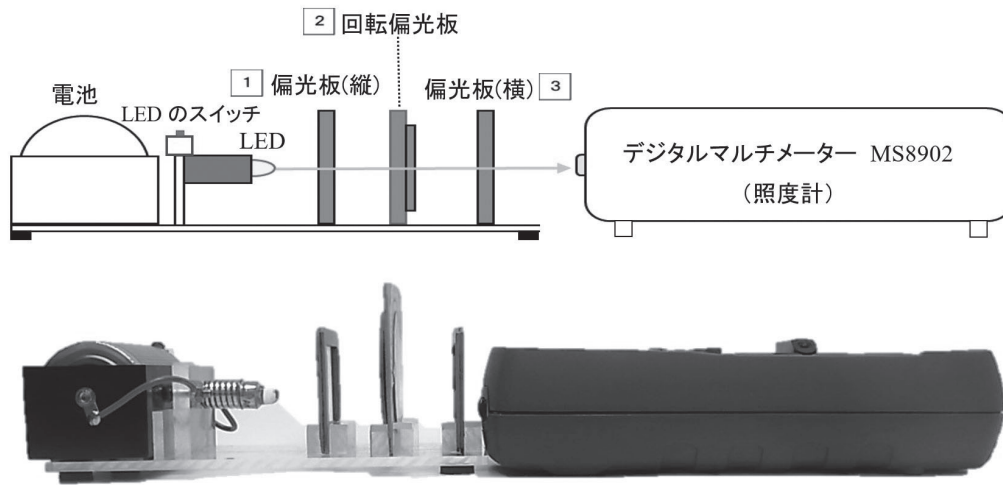


図1 開発した教材「回転偏光板装置」の概略図と実物

左側から、電源（単1乾電池）、LEDのスイッチ、LED、①固定偏光板（偏光軸は縦方向、固定）、②回転偏光板（ $\theta = 0^\circ$ のとき偏光軸は横方向、可変）、③固定偏光板（偏光軸は横方向、固定）、デジタルマルチメーター MS8902（照度計）を表す。

2. 教材の性能評価（偏光板の回転角度による透過光の照度変化の原理と視覚による定性的検証）

本章においては製作した教材「回転偏光板装置」（付録1参照）の性能評価、具体的には偏光板の回転角度による透過光の照度変化に関する検証を数式による理論的解釈¹⁾と対比しながら行う。はじめに、偏光板が無い状態における光の照度を考える。図2に示す通り、ある特定距離において観測される光の照度を I_0 と定義する。この場合、通過する障害（偏光板）が無いことより照度 I_0 は固定値をとる。



図2 偏光板が無い場合

次に、図2を基準にして、偏光板1枚を光路の間に入れた場合における光の照度を考える（図3）。このとき、観測される光の照度を I_1 、偏光板の回転角度を θ とそれぞれ定義する。なお、偏光軸が垂直な状態を角度の基準（ $\theta = 0^\circ$ ）とする。この場合、透過光の照度変化 I_1 は照度 I_0 、透過度 T_s を用いて

$$I_1 = T_s I_0 = \frac{1}{2} I_0 \quad (1)$$

と表され、偏光板の回転角度 θ の変化と関係なく I_0 の半分の値を示す（図4）。なお、図4には図2に示した偏光板無し状態における照度値 I_0 も示した（偏光板が存在せず、角度 θ に関係なく一定値 I_0 をとる）。

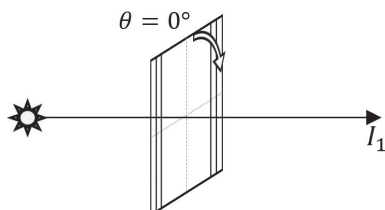


図3 偏光板1枚の場合
偏光板の偏光軸は一部のみ記載

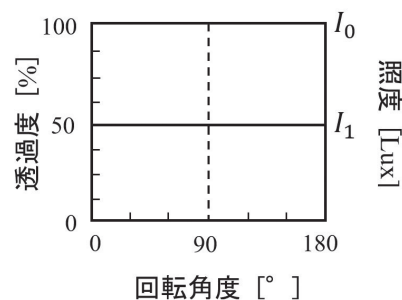
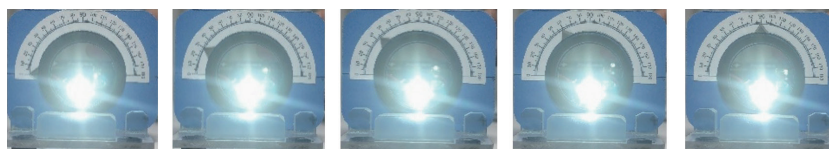


図4 偏光板1枚の場合における偏光板の
回転角度 θ と照度 I_1 の関係

ここで、偏光板が無い（図2）または偏光板1枚の場合（図3）において、実際に観測される様子をそれぞれ図5、図6に示す。図5と図6の $\theta = 0^\circ$ の場合を比較すると、偏光板1枚の場合は、偏光板が無い場合と比較して明るさが減少したことが読み取れる。これは図4に示すように照度 I_0 から $I_0/2 (= I_1)$ へ減少したことを反映した結果である。さらに、図6の5つの写真を比較すると視覚的に変化は観測されない。これも図4に示された照度 I_1 が角度に依存しないことを証明したものである。



図5 偏光板が無い状態（図2）の明るさの様子



[θ] 0° 30° 45° 60° 90°

図6 偏光板1枚の場合（図3、4）の代表的な各回転角度 θ における明るさの様子

次に、偏光板2枚を光路の間に入れた場合の光の照度 I_2 を考える（図7）。これは図3（偏光板は固定）にもう一枚偏光板（偏光軸は基準値 $\theta = 0^\circ$ のときに横方向、赤色で記載）を追加した状態である。追加された偏光板の回転角度 θ と透過光の照度 I_2 は

$$I_2 = \frac{1}{2}I_0 \sin^2 \theta \quad (2)$$

で表され、その変化を図8に示す。偏光板2枚が直交している場合（ $\theta = 0, 180^\circ$ ）の照度0であり、平行な場合（ $\theta = 90, 270^\circ$ ）は最大値 $I_0/2$ をとる。なお、ここでは偏光板自体の透過度は無視する⁸⁾。

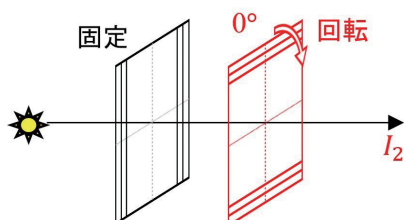


図7 偏光板2枚の場合
偏光板の偏光軸は一部のみ記載

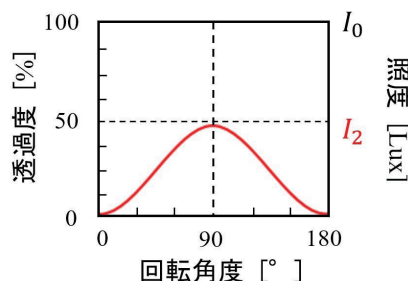
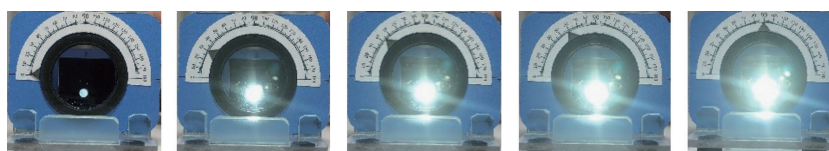


図8 偏光板2枚の場合における偏光板の
回転角度 θ と照度 I_2 の関係

図7の偏光板2枚の場合に、実際に観測される様子を図9に示す。偏光板2枚が直交している場合（ $\theta = 0^\circ$ ）、明るさは最小となり、片方の偏光板を回転させると徐々に明るさが増し、平行となった場合（ $\theta = 90^\circ$ ）に明るさが最大となった。この結果は図8を支持するものであった。また、 $\theta = 0^\circ$ の直交する場合において、実測として照度はバックグラウンドレベルであったが、肉眼からもLEDの光が見えることから、直交の場合においても光が少なからず透過する場合があることが示された。これは引用論文1に記載された課題の1つであり、その原因は光源の輝度が大きく、偏光板に吸着配向されているヨウ素化合物では光を吸収しきれなかったからと考える。この現象からも偏光板の特性として光を遮蔽しているのではなく、吸収していると考えた方が理解しやすく、遮蔽をイメージさせる「スリットモデル」の問題点とも言える。



[θ] 0° 30° 45° 60° 90°

図9 偏光板2枚の場合（図7、8）の代表的な各回転角度 θ における明るさの様子

最後に、偏光板3枚を光路の間に入れた場合の光の照度 I_3 を考える（図10）。これは図7（黒色は固定、赤色は回転）にさらにもう一枚偏光板（偏光軸は平行で固定、青色で記載）を追加した状態である。真ん中に置かれた偏光板の回転角度 θ と透過光の照度 I_3 は

$$I_3 = \frac{1}{2}I_0 \sin^2\theta \cos^2\theta \quad (3)$$

で表され、その変化を図11に示す。偏光板3枚のうち「いずれか2枚が直交している場合（ $\theta = 0, 90, 180, 270^\circ$ ）は照度0であり、(3)式より $\theta = 45, 135, 225, 315^\circ$ の場合最大値 $I_0 / 8$ を取る。なお、偏光板2枚の場合同様に偏光板自体の透過度は無視する。

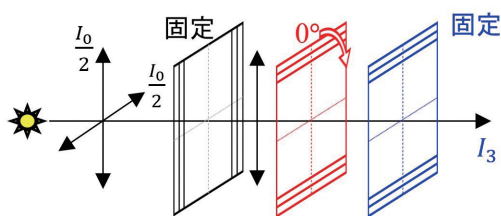


図10 偏光板3枚の場合
偏光板の偏光軸は一部のみ記載

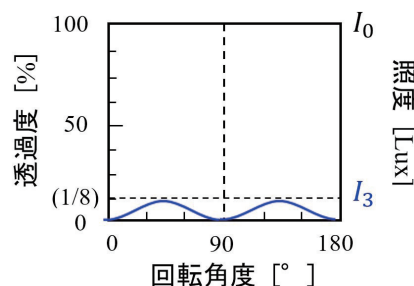


図11 偏光板3枚の場合における偏光板の
回転角度 θ と照度 I_3 の関係

偏光板3枚の場合に、実際に目視で観察した写真を図12に示す。図11に示す計算値を支持し、 $\theta = 45^\circ$ のときに最も明るくなり、2枚目では最大の明るさであった $\theta = 90^\circ$ のときの明るさが最小になることが観測された。また、図9と同様に偏光板のいずれか2枚が直交している状態の $\theta = 0, 90^\circ$ においてもLEDの光が観測された。



[θ] 0° 30° 45° 60° 90°

図12 偏光板3枚の場合（図10、11）の代表的な各回転角度における明るさの様子

以上が、偏光板を通過する光の量（照度）に関する理論的解釈及び、肉眼による定性的評価である。製作した教材を用いることで、視覚による定性的な理解とともに、偏光板の回転角度と透過光の強度（照度）の関係を定量化し、そこから理論的解釈へつながることを期待した。製作した教材を活用した実践とその結果を次章に示す。

3. 教材を活用した実践（照度計を用いた定量的検証を含む）

事前に行ったアンケート（偏光板の回転角度と透過光の照度との関係をグラフとして表現させる）結果より、偏光や偏光板で起こる現象について理解されていないことが明らかとなった¹⁾。偏光を知らない学生と、偏光は知っているが偏光の分解を明確に理解していない学生の両方に対して、我々は「偏光」と「偏光の分

解」を理解させるための教材「回転偏光板装置」を製作した（付録1参照）。本章では、山口大学教育学部理科教育選修の学生 51 名¹⁾のうち以下に示す 26 名を対象に実験を行い、開発した教材を用いることにより偏光板のしくみと透過光の特性（偏光の分解）の理解が向上するかどうかの検証結果を報告する。なお、事前のアンケート結果¹⁾から、実験者 26 名は、「偏光を知らない」が 13 名、「偏光を理解している」が 13 名、「偏光を理解している学生 13 名の内、偏光の分解も理解している」が 1 名という構成である。はじめに、3-1 節で実験の概要と実際の様子を写真で紹介し、続く 3-2 節で実験結果を示し、さらに考察を行う。最後に 3-3 節では、これらの結果を踏まえたまとめ及び今後の活用方法について述べる。

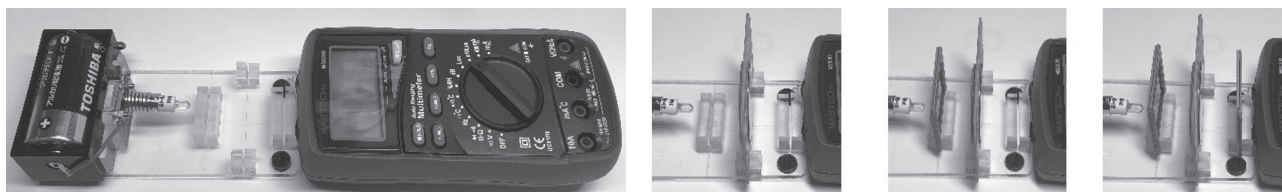
【実践について】

実施日時 2019 年 10 月 8 日（火）（2、4 年生）、17 日（木）（3 年生）
 対象者 山口大学教育学部理科教育選修の学生 26 名
 （2 年生 15 人、3 年生 9 人、4 年生 2 人）

3-1 検証のための実験について

以下に実験の手順①～③を示す。

- ① 引用文献 1 において紹介した事前のアンケート調査では、偏光板の回転角度と透過光の照度との関係を直線または曲線を用いて回答している。しかし、なぜそのような変化（または傾きの変化）が起こるのかという理由については問うていなかった。そのため、実験を行う前に、26 名に対して「偏光板 2 枚を重ねて片方の偏光板を回転させたとき（図 7）に通過する光の明るさが変化する理由を、図を用いて具体的に説明せよ」という課題を与えた。
- ② 「回転偏光板装置」を用いて、偏光板 0 枚～3 枚の場合の照度測定を行った（図 13、写真 1）。
- ③ 得られた結果と実験前の予想との違いを比較し、なぜ実験結果が示す変化が得られたのかを改めて検討させた。続いて事後指導として、「偏光の分解」¹⁾という概念を簡単に説明し、詳細な現象や理論については各自、自己学習するよう指導した。これらのまとめを後日、レポート提出するよう指示した。



偏光板 0 枚の場合

偏光板 1 枚

偏光板 2 枚

偏光板 3 枚

図 13 検証実験で用いた教材。左から偏光板 0、1、2、3 枚時の偏光板の設置状況を示す。

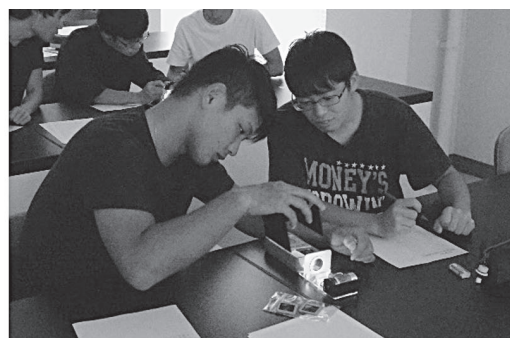
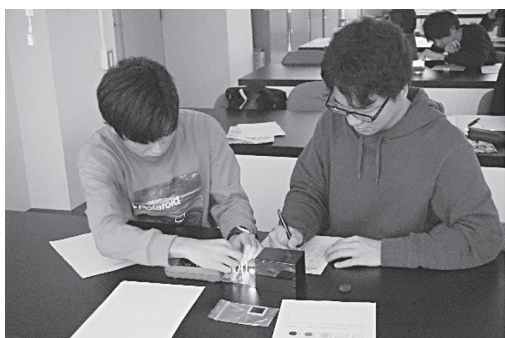


写真 1 検証実験の様子

3-2 検証実験の結果及び考察について

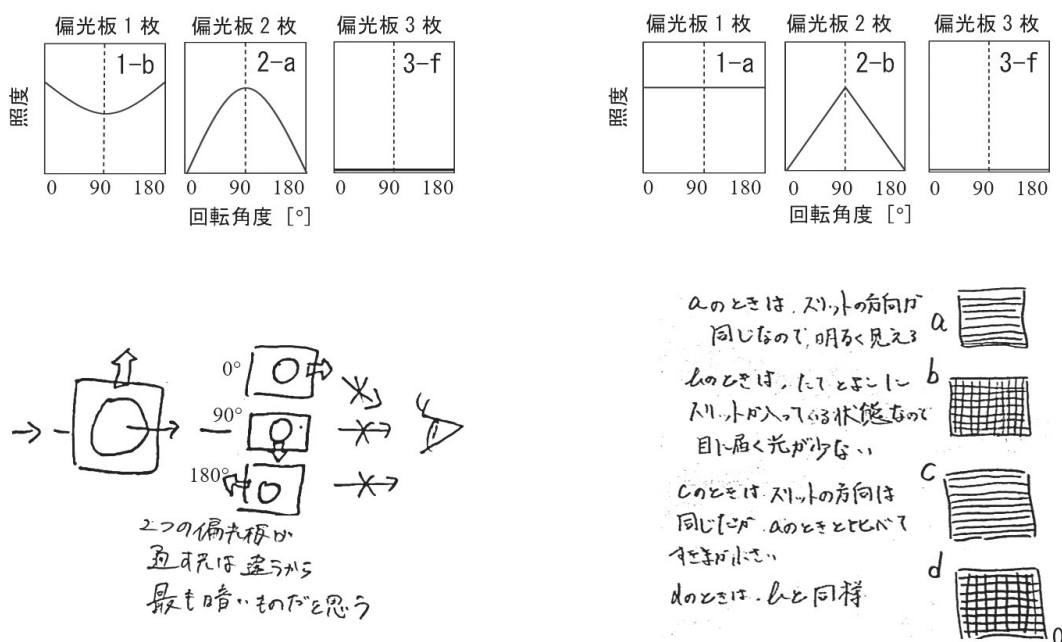
前で示した通り、検証実験に参加した学生 26 名の内、事前調査で「偏光を知らない」または「偏光を知っている」学生はそれぞれ 13 名であった。後者には「偏光の分解も知っている」学生が 1 名含まれる。本節においては「偏光を知らない」または「偏光を知っている」学生それぞれ 13 名の内、本実験を通じて顕著

に成長が見られた学生 A と学生 B に注目しながら全体の考察をおこなう。

1) 実験前の課題「偏光のしくみについての図説」について（3-1 節項目①に対応）

事前アンケートと実験前の課題について、学生 A、B の記述の一部を図 14 に示す（事前調査における解答は引用文献 1 第 3 章を参照）。偏光を知らない学生 A は事前アンケートの偏光板 1 枚（上図、1-b）の解答の時点で誤っており、さらに実験前の課題（下図）においてもアンケート（上図）と矛盾した結果を記述した。具体的にはアンケート（上図）では 2 枚の偏光板が平行ならば光を通すため明るく、平行状態からずれることによって暗くなると説明していたにもかかわらず、課題（下図）では 180° （向きは異なるが平行）は光は通さないと解答している。一方、偏光を知っているが偏光の分解は知らない学生 B は、事前アンケートの偏光板 1 枚（上図、1-a）の解答は正しいが 2 枚目（2-b）において特徴は掴んではいないが正解を導き出していない。しかし、スリットの向きが同じ（平行）のときに光を通し、直交のときにスリットの隙間が小さいため光が減衰するという解釈は正しいと言える（図 9 及び図 12 において示されたように直交時に光が通過しても良い）。ちなみに前調査において「偏光を知っているが偏光の分解は知らない」学生 12 名のうち、直交時に透過光の照度が最小になり、平行時に最大となると正しい解答をした学生は 8 名（66.7%）であった。一方、正しく説明できていなかった 4 名は、 0° と 180° で明るさが異なるという対称性の不一致が 3 名（25.0%）、記述なしが 1 名（8.3%）であった。

なお、全体として、「偏光を知らない」13名の学生は学生 A のように、完全に同一の方向の場合のみ透過すると考える傾向があり、これは知識よりむしろ予想により回答されたものと推測する。一方、「偏光を知っているが偏光の分解は知らない」12名の学生は学生 B のようにある角度とその角度から 180° 回転した状態は同じ照度は得られると考える傾向がみられ、正しい知識として身に付けていると考える。



「偏光を知らない」学生 A
「偏光を知っている」学生 B
図 14 実験前の学生 A、B の偏光のしくみについての図説。上図は引用文献 1 に示した事前アンケートの結果（1、2、3 枚時）を、下図は本実験の前に課した課題（2 枚時のみ）をそれぞれ示す。なお、学生 A の下図中の角度（ 0° 、 90° 、 180° ）は上図 2-a との角度対応を分かりやすくするために著者が追記したものである。

2) 実験結果について（3-1 節項目②に対応）

学生各々が解答した事前課題の検証として、教材「回転偏光板装置」を活用し、図 3、4、7、8、10、11 に関する検証実験を行った。透過光の照度に関する偏光板の角度依存性について、理論式 (1)、(2)、(3) 式から導かれた計算値を示した図 15(a) と共に、「回転偏光板装置」を用いた実測値を図 15(b) にそれぞれ示す。さらに、実測値の一部（ $0 \sim 90^\circ$ ）を表 1 に示す。見た目の形状は (a) 図に示す理想的

な曲線及び直線と同じ結果、特に曲線に関しては傾きの凹凸も忠実に反映した結果が得られた。しかし、強度自体は理想値より小さい値（1枚時89.0%、2枚時72.7%、3枚時62.3%）が実験値として得られた。偏光板の枚数が増えることにより、減少率が大きくなることから、照度の減衰が偏光板の「偏光」効果のみならず、「フィルムとして持つ透過度 T_s 」が影響しているものと推測する⁸⁾。

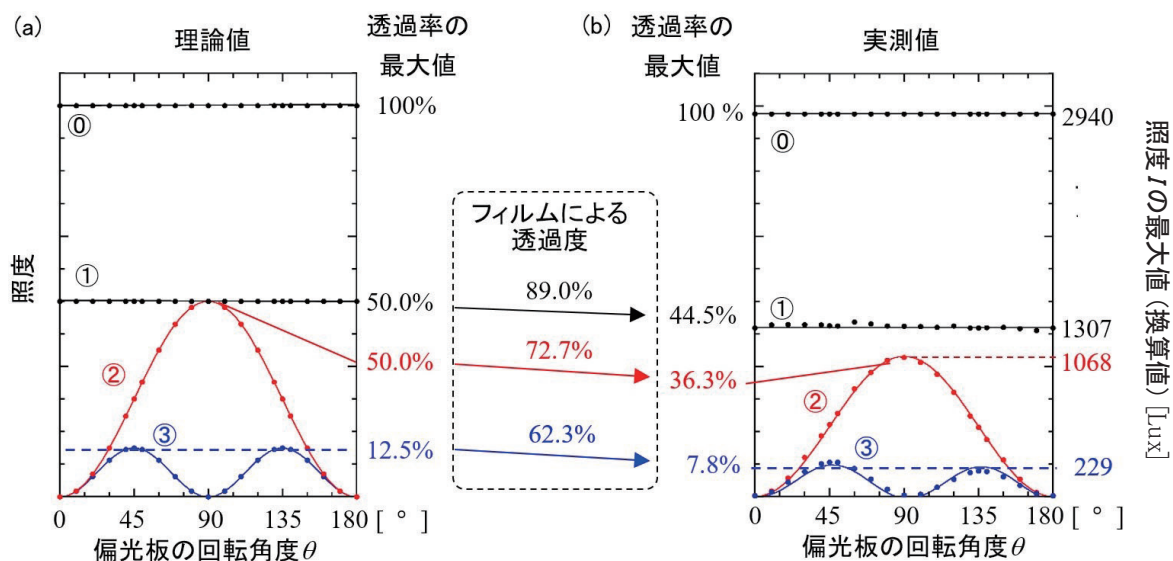


図 15 透過光の照度 I に関する偏光板の角度依存性

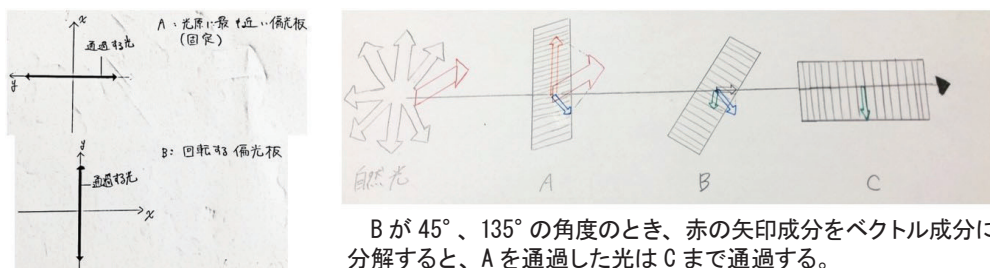
左図に理論値、右図に実測値を示す。実測値については縦軸を照度 [Lux] とし、偏光板 0 枚、1 枚のときを黒色、2 枚のときを赤色、3 枚のときを青色で表した。実測値については、偏光板 0 枚の場合の照度である 2940 Lux を照度の最大値とした。中央部分に、偏光フィルム自体による透過率（実測の透過率 / 理論値の透過率）を示した。

表 1 偏光板の回転角度と透過光の照度変化の関係（図 15(b) より）

角度 θ [°]	0	10	20	30	40	45	50	60	70	80	90
① 偏光板 0 枚 [Lux]	2940										
② 偏光板 1 枚 [Lux]	1295	1318	1322	1320	1318	1312	1311	1340	1326	1310	1308
③ 偏光板 2 枚 [Lux]	7	42	141	300	465	553	639	827	954	1048	1068
④ 偏光板 3 枚 [Lux]	5	34	110	190	251	263	262	21	134	55	11

3) 実験後レポートの「偏光やそのしくみについての図説」および考察（3-1節項目③に対応）

実験後のレポートの記述内容から理解度の変化を考察する。図 16 に学生 A、B の実験後レポートの一部を示す。学生 A は、偏光について記述した後（左図）に、偏光板 3 枚では大小関係が明確では無いが、どの様に偏光の分解が起こるのかを概略図（右図）として図示しており、実験前と比較すると偏光や偏光の分解に対する理解度の向上が見られる。一方、学生 B は、学生 A 同様の記述もなされていたが、透過する光以外が吸収されることや通過する光と元の光との大小関係も示しており、前者よりも理解が進んでいることが読み取れる。



B が 45°、135° の角度のとき、赤の矢印成分をベクトル成分に分解すると、A を通過した光は C まで通過する。

「偏光を知らない」学生 A

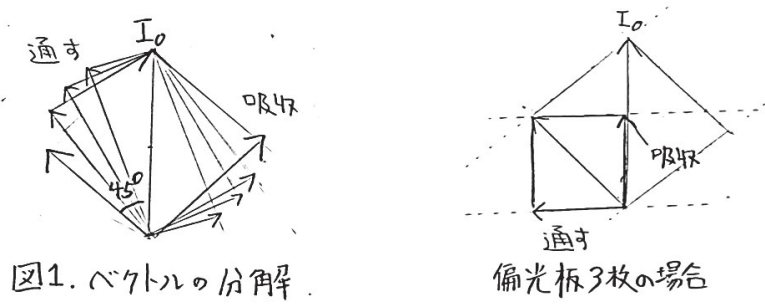


図1. ベクトルの分解 偏光板3枚の場合

「偏光を知っている」学生B

図16 実験後に提出された課題レポート

以上の結果から実験前後の理解度の変化を図17(a)にまとめる。左から偏光を理解していない学生数、偏光を理解している学生数、偏光・偏光の分解を共に理解している学生数をそれぞれ示し、各カテゴリーの左側が実験前、右側が実験後を表している。実験を行ったことにより、「偏光板を知らない」学生は13名から3名(50.0%→11.5%)、「偏光を理解している」学生は13名から23名(50.0%→88.5%)に変化した。また、「偏光・偏光の分解を理解している」学生が1名から17名(3.8%→65.4%)に飛躍的に増加していることが明らかとなった。この結果から、「回転偏光板装置」を活用することにより、「偏光」や特に「偏光の分解」について理解度を向上させること効果があることが証明された。これらの結果より、本論文の前論文である引用文献1の第1章に記載した項目①「偏光板で起こる現象の理由や原理」については、各自が考察をする過程で予想や既有知識と実測との矛盾に気付き、偏光の「分解」を含めた偏光の現象・原理について理解が深まったものであると推測できる。

なお、実験後レポートにはさまざまな自己学習に関する記述もなされていた。引用文献1第1章の項目①に関連した「透過率について」、「照度変化の数式化」といった偏光板の特性や、項目②に関連した「偏光板のしくみ」、「吸収限界について」といった内容を記述した学生数を図17(b)に示す。

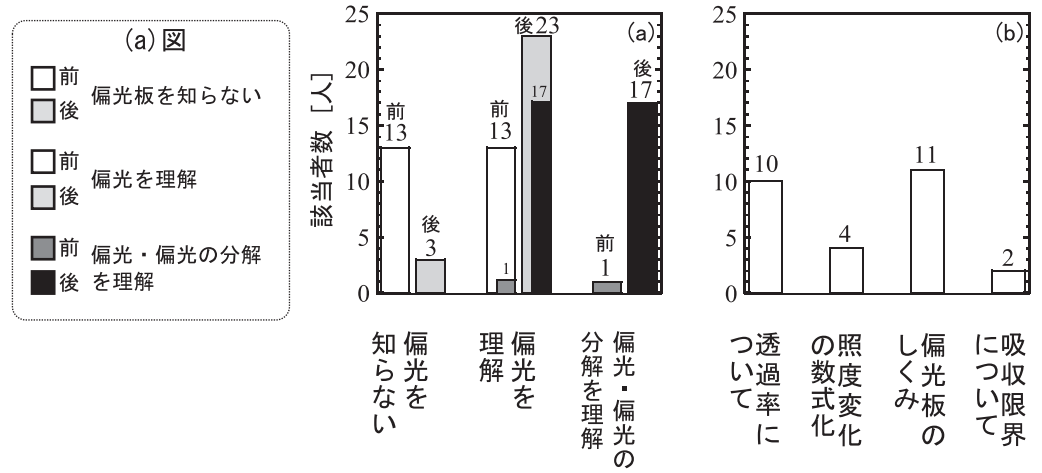


図17 (a) 実験前後の理解度の変化と (b) 自己学習の度合い
(a) 図各項目において左側に実験前、右側に実験後の該当数を記載

項目①に関連しては、偏光板がフィルムとして持つ透過度について10名(38.5%)が話題に触れており、偏光の特性により生じた照度変化を具体化・数式化して4名(15.4%)が解説を行っていた。一方で項目②「照度の強い光源を用いた場合、光を通さないと指導を受ける偏光板2枚を直交させた場合においても光は通る場合がある。この現象をどう説明するのか」については、装置の不都合を理由に上げる学生が多く、偏光板のしくみ(スリット状の遮蔽物ではなく、ヨウ素化合物による吸収軸による構成)について記述している者は11名(42.3%)、内少数の2名がその吸収帯には光の吸収に限界があると明記していた。自己学習における全ての項目で過半数を超えない結果となったことから、偏光や偏光板の現象や原理について自己学習のみで理解するには困難とわかった。この課題については、実験ではなく

教員が講義として偏光の現象と原理について詳細な指導を行うことで補うことが可能と考える。実験を行う前に偏光の現象と原理について指導を行うことにより、実験において注目すべき変化を見出し、自己学習をする上でのヒントとなるため、考察においてより理解が深まることが期待される。

3-3 実践のまとめと今後の活用方法

本教材「回転偏光板装置」は、偏光を知らない者、偏光や偏光の分解の知識がある者の両方が、第一に偏光板の特性について視覚により定性的理解することができ、第二に偏光板を通過する光の照度変化を数値として可視化することができる教材である。偏光の原理・特性の講義と合わせて本教材を用いた実践を行うとより定量的理解度が向上することが期待される。特に、理科の教員を目指す大学生の指導や、高等学校の授業、あるいは研修の場などを対象に活用することにより、教科書では示されていない偏光板の詳細な特性についてより正しく理解が進むことを期待したい。

また、第1章において述べた通り、偏光や偏光板の特性に特化した教材として「回転偏光板装置」の開発を行ったが、光路にセロファンを置くことにより複屈折についても定量的に議論できる教材へ発展する可能性を含んでいる。さらには偏光板の代わりに透過性のある物質を複数枚置くことにより、その物質の透過率も測定可能となる。このように「回転偏光板装置」の機構を活用した“光”をテーマとした新たな活用方法を見だし、継続して研究を続けたい。

引用文献

- 1) 家永展寛・重松宏武：高等学校物理における「偏光」の取り扱い I ～偏光板のしくみと透過光の特性を考えるための教材製作とその活用実践報告～」山口大学教育学部附属教育実践総合センター研究紀要 50, 301-310, 2020.
- 2) 三野弘文・三好真央：「偏光板とセロハンテープを用いた干渉色の仕組みと応用」, 千葉大学国際教養学研究 2, 69-79, 2018.
- 3) 菅原詩織・酒井大輔・原田健治：「セロハンテープを用いた2視点表示偏光アート」, 応用物理教育39, 19-23, 2015.
- 4) 井上祥史・伊藤敏・菊池洋一・武井隆明・村上裕：「セロハンテープの光学特性と干渉色シミュレーション」, 化学と教育 51, 186-189, 2002.
- 5) 千葉芳明：「学生物理実験の新しい試み ー偏光 ー 3枚の平面板の重ね順を変えると透過量が変わる」, 物理教育 33, 112-115, 1985.
- 6) 室谷心：「立体視メガネと偏光板で重ね合わせの原理を考える」, 物理教育 61, 141-144, 2013.
- 7) 3Bサイエンティフィック：「マリユスの法則」物理実験道具
(<https://www.3bs.jp/physics/experiment/waveopt-expt/ue4040100.htm>) (2020年8月3日)
- 8) 濱木雄二：「LCD用偏光板の技術動向」, 日本ゴム協会誌 84, 237-241, 2011.

付録 1

【材料及び準備物】

教材「回転偏光板装置」製作のための材料及びその費用を付表 1 に示す。なお、長さの単位はすべてmmである（完成品とその概略図は本誌図 1 参照）。

付表 1 材料及び準備物（1 台分）

材料名	価格	材料名	価格
アクリル板（厚さ 3mm）	¥50	電池ホルダー（ナリカ：P70-0340-10）	¥230
アクリル板（厚さ 5mm）	¥50	豆電球型 LED（ケニス：1-124-0345）	¥880
アクリル板/黒（厚さ 2mm）	¥200	豆電球型 LED（アテック：69816）	¥530
アクリル接着剤	¥700	電球ソケット（215Y-1001）	¥60
ボール紙（厚さ 1mm）	¥60	導線（秋月電子通商にて購入：P-06756）	¥10
偏光板（偏光フィルム） （ケニス：1-115-0820）	¥130	タクトスイッチ（Cosland 社製 TS-0606-F-N-RED）（秋月電子通商にて購入：P-03646）	¥10
コピー用紙	¥5	貼付ゴム足（タカチ電気工業：B-P21）	¥48
塩ビ管（VP30、外径 38mm）	¥20	5in1 デジタルマルチメーター MS8209 （後継機 MS8229）（共に Mastech 社製）	¥3950
M3×10mm ネジ・ナット 2 ペア	¥10		

【製作方法】

「回転偏光板装置」は学校の備品工具を用いて製作可能であり、必要なパーツの設計図及び組み立て方法を、パーツ A（偏光板関連部品）、パーツ B（架台部品）、C（その他部品）に分けてそれぞれ説明を行う。

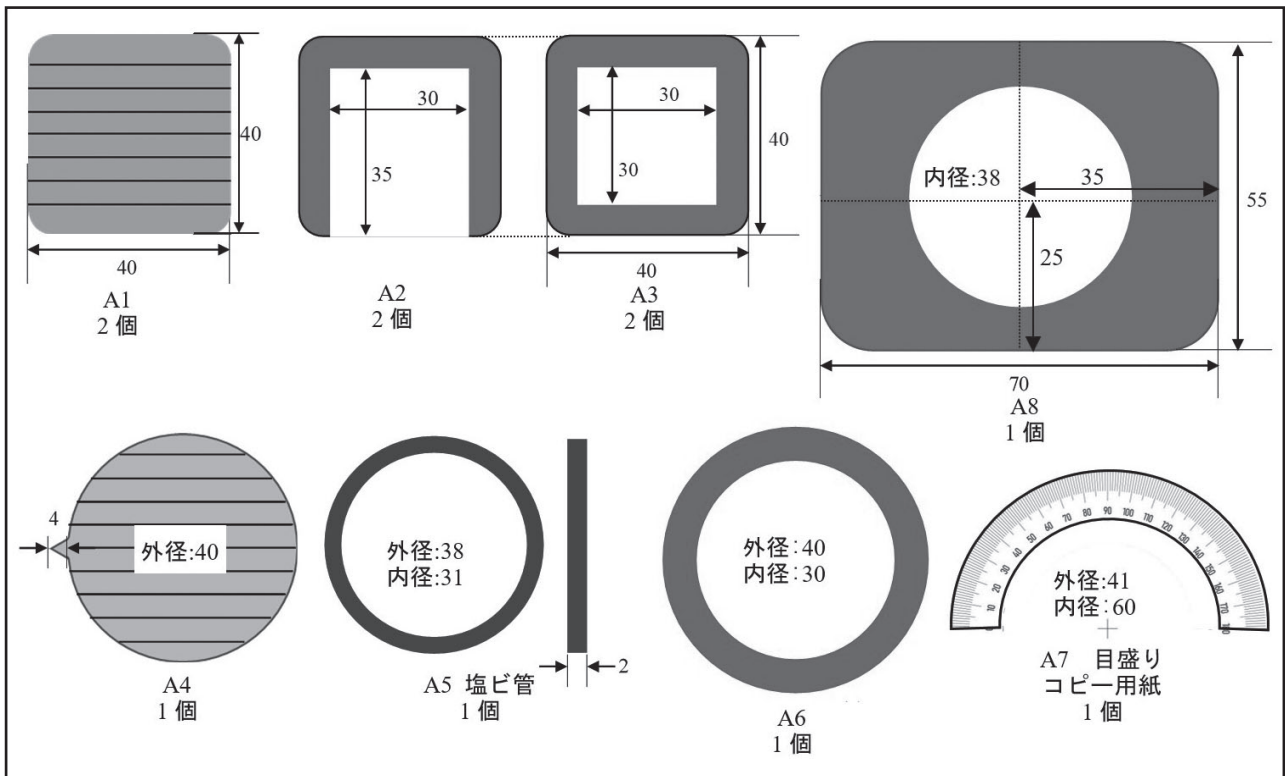
パーツ A 類（偏光板関連部品）

本教材は 3 枚の偏光板を用いており、この 3 枚の偏光板並びにこれらを固定、回転させるための補強材が必要である。これらの部品を付図 1 に示す。A1～A3 が角度固定用偏光板の部品、A4～A8 は角度可変用偏光板の部品である。それぞれの部品に関する情報を以下に示す。

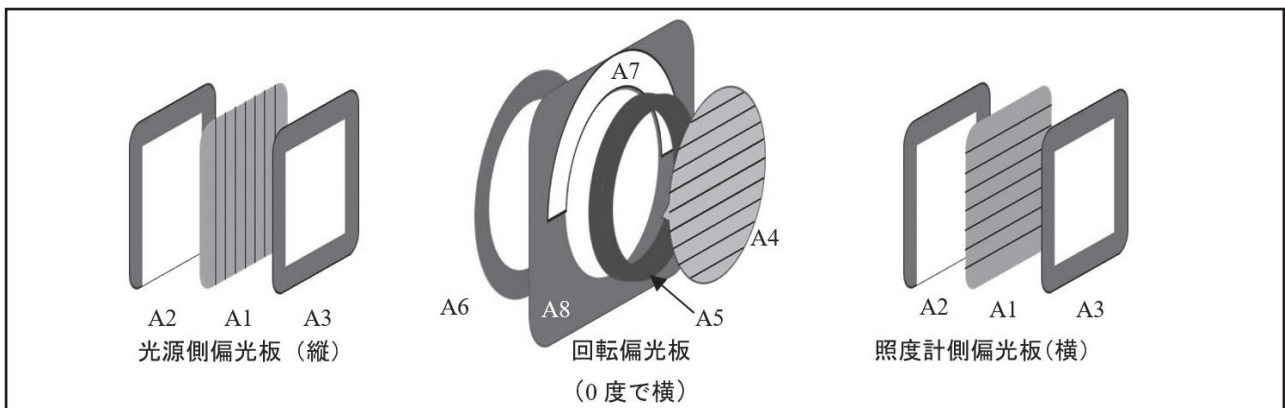
- ・ A1、A4： 偏光板
線は偏光軸を表している。偏光板については材料の状態では縦か横かわからないため、切り出す前に基準となる方向を決める必要がある（任意の方向でよい）
- ・ A2、A3、A6、A8： ボール紙（青色で表示）
偏光板の補強に使用。
- ・ A5： 塩ビ管 VP30
偏光板を滑らかに回転させるために使用。厚さ 2 mm にカット。
- ・ A7： 角度表示（角度を印刷したコピー用紙）

これらのパーツを以下の手順に従って組み合わせる。なお、各パーツの組み合わせの概略図を付図 2 に示す。

- 手順 1. A1～A8 の部品をカッター、サークルカッター等を用いて切り出す。A8 は円の中心が縦方向のみ下から 25 mm となっているので注意する。A5 については、目盛りの矢印と偏光板を一体化しているため、矢印の部分を残すように注意する。
- 手順 2. 付図 2 に示す組み合わせで、各パーツを両面テープで貼り合わせる。偏光板 A1 については、貼り合わせの際に光源側と照度計側で直交する（暗くなる）ように取り付ける。
- 手順 3. 爪切り等を使用して、各部品の R 加工を行う。ボール紙の剥離を防止するために、ボール紙のフチに瞬間接着剤を浸透させる。



付図1 パーツAの外観と寸法



付図2 パーツAの各部品の組み合わせ

パーツB類（架台部品）

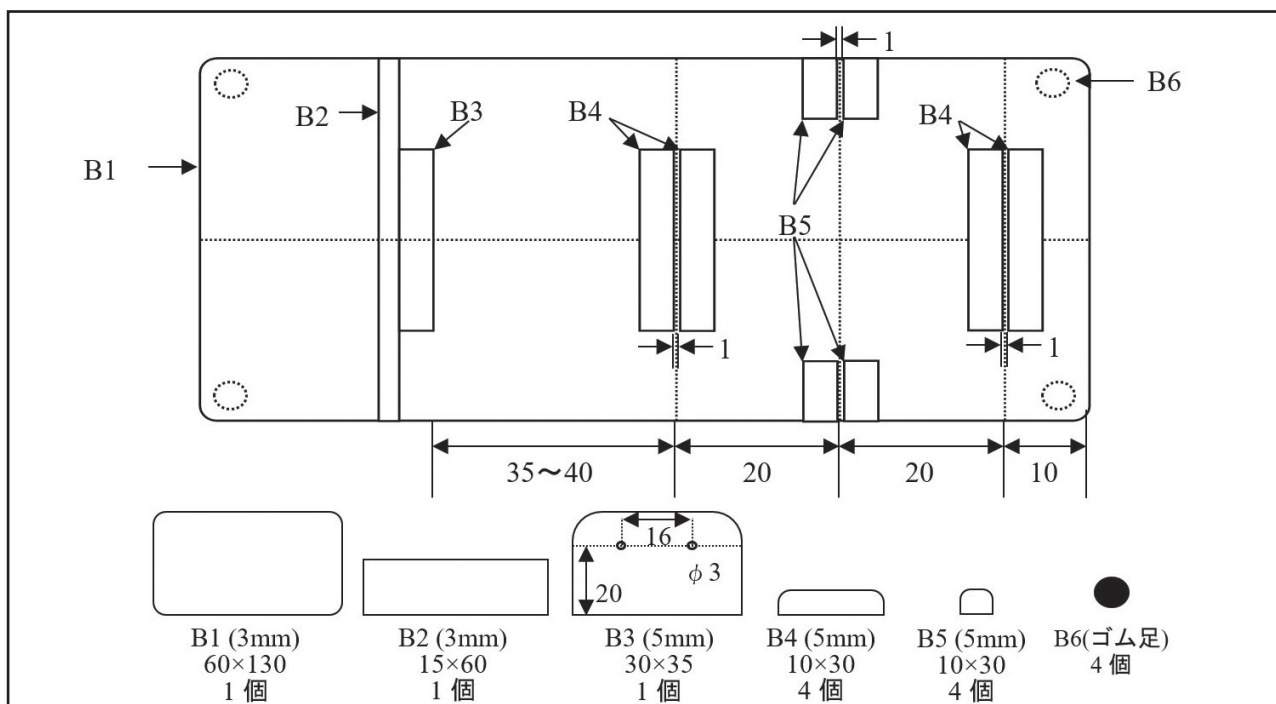
教材の架台を構成するそれぞれの部品に関する情報を以下に示す。

- B1～B5: アクリル板
B1、B2（スペーサー）は厚さ3mm、B3（ソケット台）、B4、B5は厚さ5mmのアクリル板を使用した。
- B6: 貼付ゴム足（タカチ電気工業：B-P21）

これらのパーツを以下の手順に従って組み合わせる。なお、各パーツの寸法と設置位置の概略図を付図3に示す。

- 手順1. B1～B5をアクリルディスクカッターで切り出し、棒ヤスリなどでR加工を施す。
- 手順2. B3において、付図3中に示す位置にφ3mmのドリルでLEDソケット取り付け穴をあける。
- 手順3. B2～B5の部品をアクリル接着剤で付図3に記した場所に接着する。B4とB5の取り付け間隔は約1mmであるが、使用した偏光板やボール紙の厚みで異なるので、先に片一方を接着して、出来上がったAパーツをはさみながらもう片方を接着する。

手順4. B1の裏面にB6を取り付ける。



付図3 パーツBの寸法と取り付け位置

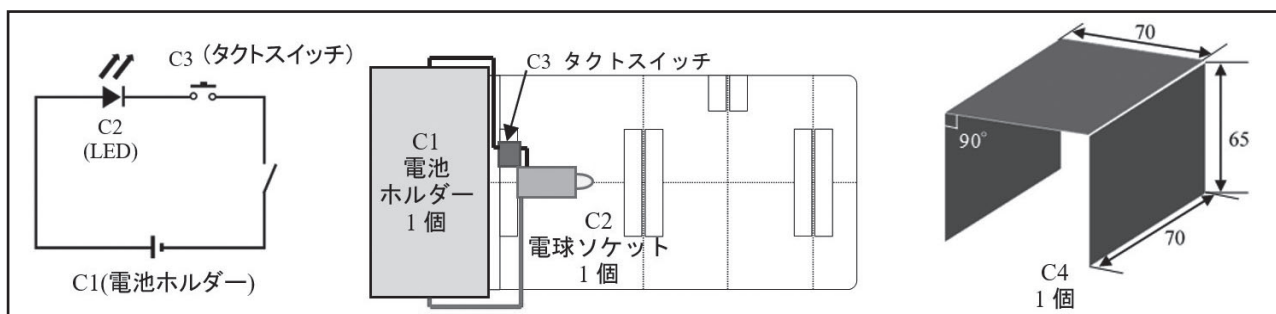
パーツC類 (その他部品)

光源を作り出す回路を構成する部品と、より正確な照度を測定するために作製した遮光用カバーに関する情報を以下に示す。なお、遮光用カバーは「回転偏光板装置」本体を覆い、外部からの光が照度計に入らないようにするためのものである。

- ・C1: 単1用電池ホルダー
- ・C2: 電球ソケット、豆電球型LED
- ・C3: タクトスイッチ
- ・C4: アクリル板 (黒色)

これらのパーツを以下の手順に従って組み合わせる。なお、各パーツの寸法、回路図、設置位置の概略図を付図4に示す。

- 手順1. M3のネジ・ナットで電球ソケットをB3(ソケット台)に取り付ける。
- 手順2. 回路図に従ってはんだ付けにより配線を行う。
- 手順3. 接着剤を使って、タクトスイッチをA3の上部に取り付ける。
- 手順4. 電球ソケットに豆電球型LEDを取り付ける。
- 手順5. 黒色のアクリル板をパイプヒーターを用いて折り曲げ加工する。



付図4 パーツCの寸法と取り付け位置