

研究論文

発光ダイオードを用いた教材の開発及び授業等の実践

武藤 浩二*

横尾 仁甚†

1 まえがき

近年、交通信号の多くが従来の電球式から発光ダイオード (Light emitting diode, 以下, LED と省略する.) 方式に交換されている。東京や大阪をはじめ、各国の大都市圏では歩行者用信号も図 1 に示すように逐次 LED 方式に交換されている。また最近、電器店やホームセンター等の照明器具売場では白熱電球に代わって LED を用いた電球を多く見かけるようになってきている。(社)日本電球工業会の自主統計 [1] によると、2010 年 11 月度の白熱電球生産個数は前年同月比でマイナス 16 ポイントであるのに対し、LED 電球はその減少分を上回る生産量となっている。ある総合電気メーカーは一般用白熱電球の製造を中止し、LED 電球に生産をシフトしている [2]。LED 電球は今年度中に電気用品安全法の対象品目に指定される予定であり [3]、照明用光源として今後重要な役割を担うことが期待されている。

現在、中学校技術科向けに、手回し発電機を利用した LED ライトの製作教材が各社から市販されており、多くの中学校で採用されている。そのほとんどが単なる製作実習の域を出るものではなく、学習指導要領 [4] でねらいとしている「エネルギー変換に関する技術が社会や環境に果たす役割と影響について理解を深め、それらを適切に評価し活用する能力と態度を育成する」ことにまで踏み込んだ学習内容を提供しているとはいえない。一方今年度から実施される新しい小学校学習指導要領の解説では、3 年生の理科で「乾電池 1 個と豆電球 1 個を導線でつなぎ、回路ができると電気が通り、豆電球が点灯することをとらえるようにする」と記述されているが [5]、LED の普及と電球生産減少という状況を考えると、豆電球に変わる教材を早急に開発する必要がある。LED 照明の教材化についての先行研究例とし

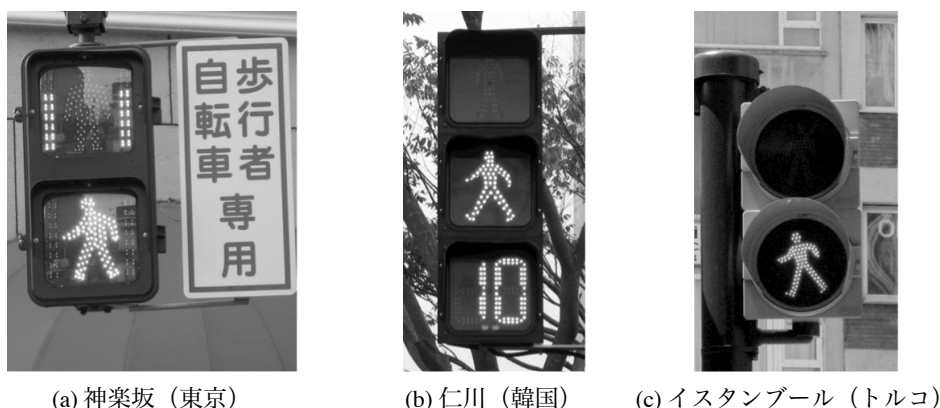


図 1 LED 化された歩行者用交通信号の例 (著者撮影)

*長崎大学 教育学部 生活健康講座 (技術教育)

†長崎大学 教育学部 学校教育教員養成課程 中学校教育コース 技術専攻

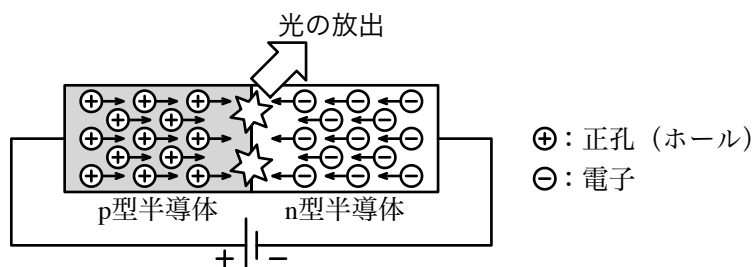


図2 LEDの動作原理

ては文献 [6, 7] があるが、これらは中学校技術科の授業用あるいは教員研修用に開発されたものであり、小学校児童や一般市民向けに用意された教材は現在のところ見当たらない。

本論文では、児童生徒から現職教員、一般市民までの各段階における教育・研修に適用可能なLEDを用いた教材の開発とその実践例について述べる。まずLEDの概要、動作原理及び特性について述べ、次に開発した教材について説明する。この教材を用いた工作教室ならびに小学校授業での実践状況とアンケート調査の分析結果 [8] について述べる。最後に結論として、本研究から得た知見及び今後の課題を述べる。

2 発光ダイオード

2.1 概要

LEDは半導体素子の一種で、1962年に赤色のものが最初に発明されて以降、1970年代後半までに黄緑及び黄色のLEDが開発された。1993年には当時日亜化学に在籍していた中村修二氏（現カリフォルニア大学サンタバーバラ校教授）が青色LEDを開発し、その後純粋な緑色のLEDが発明されることにより光の三原色が揃うこととなった。1996年には白色LEDが開発され、照明への適用が検討されるようになった。

LEDの動作原理を図2に示す。LEDは電子の欠乏したp型半導体及び電子が過剰に存在するn型半導体を接合して構成する。電源の正極をp型半導体側電極（アノード、記号“A”）に、負極をn型半導体側電極（カソード、記号“K”）に接続すると、p型中の正孔とn型中の電子は外部電界に引かれてそれぞれカソード側、アノード側に移動し、接合面付近で再結合する。この際、正孔及び電子が持っていたエネルギーの一部が光に変換されて発光する。発光色は半導体材料により異なり、赤外線から紫外線にいたる様々な波長のものが生産・販売されている。

2.2 LEDの基本的な使用方法

LEDの回路図記号、形状・電極及び基本的な使用方法を図3に示す。同図(b)に示すような砲弾型の場合、電極リード線は長短があり、長い方が電源の正極を印加するアノード、短い方が負極を接続するカソードとなる。このため、アノードとカソードを逆に接続しても点灯しない。また一般に5[V]以上の電圧を逆接続すると焼損する。LEDは豆電球と異なり、電源（電池）に直接接続してはならない。図3(c)に示すように、必ず抵抗Rを直列に接続して、回路に流れる電流を制限する。電流制限をしない場合、寿命が極端に短くなるほか、

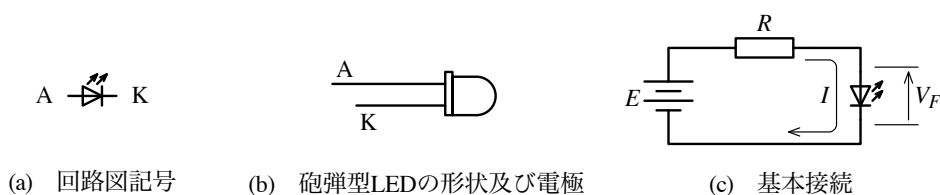


図3 LEDの基本的な使用方法

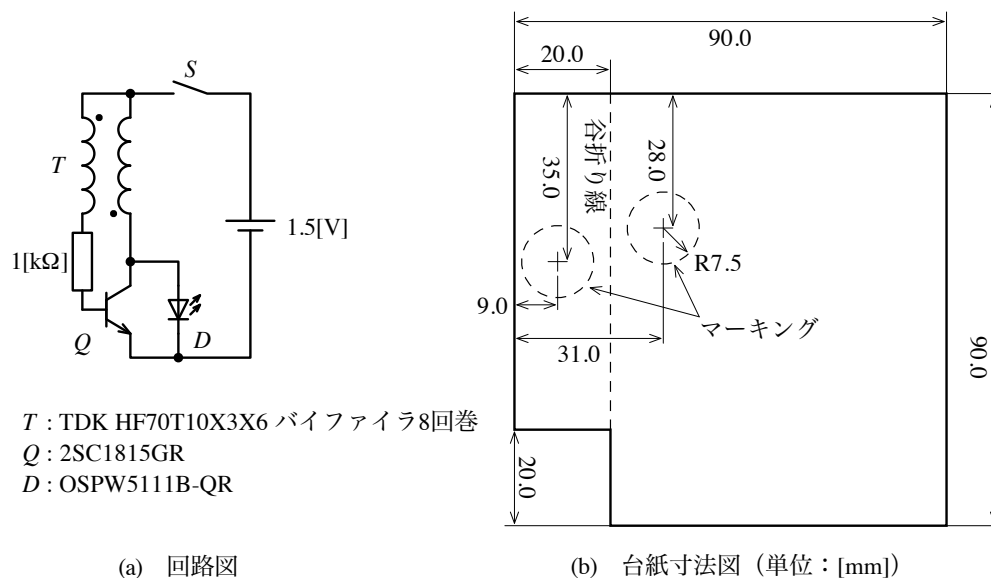


図4 単三乾電池1本で動作するLEDライト

場合によってはLED自体を焼損するだけでなく、回路全体を故障させる等の悪影響を与えることとなる。

電流制限抵抗 R の値は、電源電圧を E 、点灯時のLED両端の電圧（これを順方向電圧という）を V_F 、LEDに流す電流を I として

$$R = \frac{E - V_F}{I} \tag{1}$$

により計算する。順方向電圧 V_F はLEDの発光色により異なり、赤色が約1.7[V]、黄緑・黄色が2.0～2.1[V]、青・緑・白系のLEDが3.0～3.4[V]である。このため、豆電球のように電池1本で点灯させることができず、最低でも電池2本の直列接続（3[V]）が必要である。例として赤色LEDを3[V]、2[mA]で点灯させる場合を考えると、式(1)より $R = (3.0 - 1.7)/2.0 \times 10^{-3} = 650 \approx 680[\Omega]$ となる¹。

3 単三乾電池1本で動作するLEDライトの教材開発

本章では児童生徒から一般市民までの各段階に適用可能なLED教材について述べる。開発した教材は「単三乾電池1本で動作するLEDライト」（以下、「本教材」）である。市販されているLEDライトは前述の順方向電圧 V_F の制約から、電池3本を直列接続し4.5[V]電

¹650[Ω] という抵抗部品はないので、最も近い680[Ω]を用いる。このため、実際の動作電流は1.9[mA]に減少する。

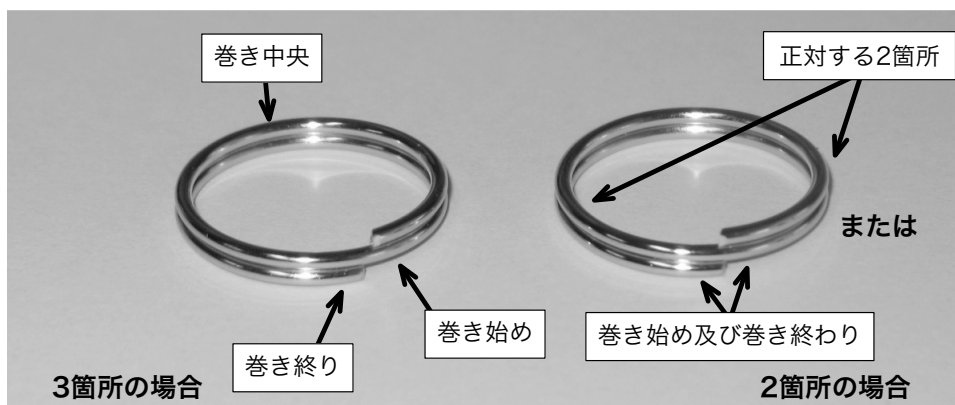


図5 二重リングと電線等をはさむ場所

源で動作させるものがほとんどである。本教材は、白色LEDを使い古した単3乾電池1本だけで点灯させようとするものである。

本教材の回路図及び台紙寸法図を図4に示す。回路はトランス T 、 $1[k\Omega]$ 抵抗及びトランジスタ Q で構成するブロッキング発振回路で振幅 $3[V]$ の矩形波信号を作り、信号振幅が $3[V]$ の時だけ LED D が点灯する。矩形波の周波数は約 $200\sim 300[kHz]$ であり、人間の目の追従速度 (約 $30[Hz]$) をはるかに上回るので、常時点灯しているように見える。

回路はハンダづけではなく、鍵をまとめるのに使う二重リングを用いて結線し、台紙にテープで貼り付ける。図5に示すように、二重リングはそれ自身がバネの構造と性質を持つので、電線や部品リード線をしっかり保持することができる。同図に示すように、3箇所に電線や部品リード線をはさむ場合はリングの巻き始め、巻き終りと巻線の中央の3箇所を利用する。2箇所の場合は、互いにリングの反対側となるような位置またはリングの巻き始め・巻き終わりにはさみ込む。こうすることで、線径の異なる電線やリード線を確実に接続することができる。差し込んだ電線やリード線は折り返し、抜けないようにする。

台紙は白表紙等の厚紙を図4(b)のように切る。台紙上、破線で示した2箇所の円はスイッチとして使用する二重リングの取付位置マーキングを示すが、絶対的なものではないので精度はそれほど問わない。また台紙左下の切り欠きは谷折りするスイッチ部分が電池ボックスに干渉するのを防止するために設けている。この切り欠きは台紙寸法を $100 \times 100[mm]$ にすれば必要ないが、その場合低学年児童の手には大きく操作性が悪くなる。

製作手順を以下に示す。

(1) トランスの製作

トランスは外径 $10[mm]$ の高透磁率フェライトコアに色違いの電線2本を撚ったものを7~8回巻いて作る。使用する電線は線径 $0.32[mm]$ の被覆の薄い単線 (ラッピングワイヤ) が良い。

(2) 回路の製作

まずトランジスタのリード線を広げ、各リード線に二重リングを取り付ける。次いでLEDをトランジスタのコレクタとエミッタに接続された二重リングに取り付ける。トランジスタとLEDの電極には極性があるので、図6に示すようにトランジスタの置き

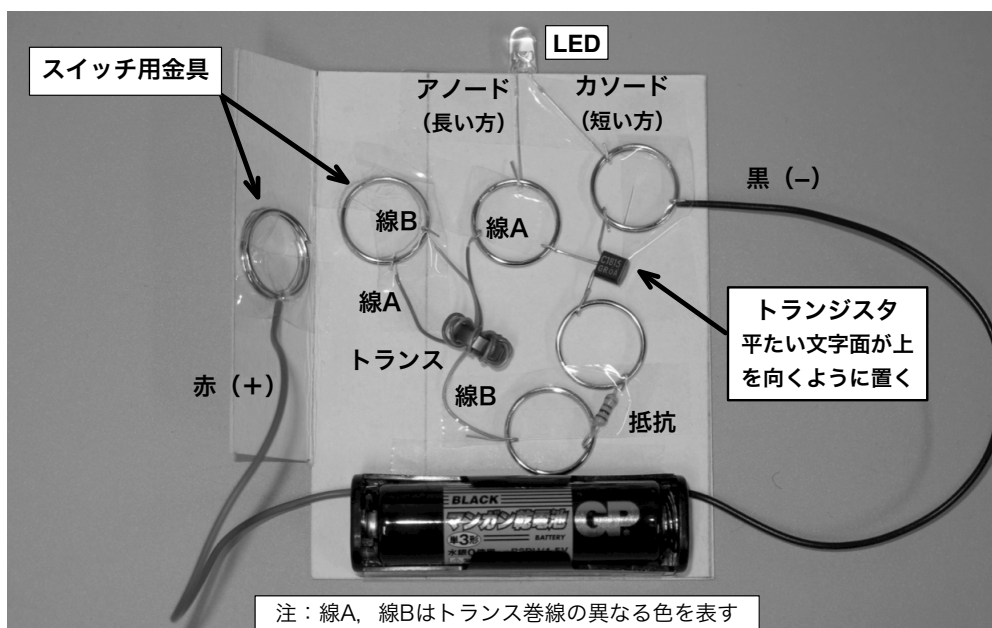


図6 LED ライトの実機写真及び接続上の注意点

方と LED のリード線を間違えないように注意する。その後抵抗，トランスを接続する。

トランス電線のスイッチ用二重リングへの接続にあたっては，図6に示すようにフェライトコアの穴から出た2色の電線を互いに異なる出口から引き出さないと回路が発振しないので注意する。

(3) 動作確認

回路を組み終えたら，電池ボックスに電池を入れて動作を確認する。スイッチを入れても点灯しない場合は，トランジスタ・LEDの極性，トランスからの電線の引き出し方を誤っていないか，また二重リングが互いに接触していないかどうかをチェックする。

動作確認を終えたら，二重リングに差し込んだ電線やリード線を折り返し，余分な線をニッパーで切り落とす。

(4) 台紙への貼付け

動作確認を終えたら台紙にテープで貼り付けていく。スイッチ用の二重リングは接触箇所をテープで覆ってしまわないように注意する。電池ボックスは両面テープを用いて貼り付けるか，電池交換ができるようにテープ貼りする。

高学年以上の授業等で本教材を用いる場合，最初に1.5[V]乾電池1本でLEDが点灯しないことを示した上で工作を行わせ，工作後に点灯時の本教材のLED両端電圧をテスタや電圧計で測定させると児童・生徒の関心を引き起こすことができる。本教材の点灯時におけるLED両端電圧はテスタ・電圧計を用いた場合，電源電圧とほぼ等しく約1.5[V]であり，事前に行った1.5[V]でLEDが点灯しないという実演と矛盾する。これはテスタや電圧計が「時間平均値」を指示するためであり，オシロスコープを用いて電圧測定すると振幅3[V]以上の矩形波で高速に点滅していることがわかる。中学校以上の学校種や一般・教員研修向けにはオシロスコープによる波形観測やブロッキング発振を含めた全体の動作を説明することが

表1 工作教室における授業及び製作の難易度アンケート結果 (単位: [%])

項目	難しい	やや難しい	やや易しい	易しい	無回答
授業難易度	21.5	33.8	26.2	15.4	3.1
製作難易度	13.8	50.8	15.4	16.9	3.1

表2 製作で面白かったところ及び難しかったところのアンケート調査結果

面白かったこと	LED点灯	トランス製作	二重リング	その他	無回答
回答割合 [%]	27.7	24.6	15.4	23.1	9.2
難しかったこと	二重リング	トランス製作	製作全体	その他	無回答
回答割合 [%]	41.5	27.7	6.2	15.3	9.2

考えられる。

4 実践例

4.1 工作教室

本教材を用いた工作教室を、2010年9月23日、10月30日及び11月14日に長崎大学、上五島町及び雲仙市小浜町でそれぞれ実施した。対象は子どもから大人までの市民一般であるが、参加者のほとんどが小学生であり、総参加者数は65名である。

工作教室は1時間30分の時間を用い、授業前半30分、製作45分、授業後半15分の時間配分で計画・実施した。授業前半はLEDの利用例・発光の仕組み・特徴を説明するとともに、豆電球と異なり電池1本では点灯しないこと及び極性を有することを実演によって理解させることを中心に展開し、その後製作要領の説明と二重リングへの部品接続の実演を行った。製作中は講師及び補助学生が巡回し、製作指導を行うようにした。後半の授業では、本教材のLEDにかかっている電圧を電圧計で測って参加者代表に読み上げてもらい、1.5[V]となっていることを確認した後で本教材の仕組みを説明した。

各回ごとに参加者に対してアンケート調査を実施している。調査項目は学年、授業難易度(4件法)、製作難易度(4件法)、製作で面白かったところ(複数自由回答)、製作で難しかったところ(複数自由回答)、再参加の意向(4件法)、希望アイテム(自由記述)、及び自由記述(保護者記入可)である。

表1及び2に工作教室の難易度、製作で面白かったところ及び難しかったところの調査結果を示す。参加者の中心が低学年～中学年にあつたため、難易度としては全体的に難しいとする回答が多い結果となっている。また製作では二重リングへの部品接続が難しいという回答が多い。

4.2 小学校授業

本教材を用いた小学校授業の実践例を示す。対象を高学年(5・6年生)とし、座学及び工作を一連で行う90分連続の授業構成とした。本授業は2010年11月18日に壱岐市立志原小学校で「総合的な学習の時間」を利用していただき、5・6年生複式学級(児童数17名)

表3 授業展開案の要旨

児童の取組み	教材・教具	教師のかかわり	時間 [分]
LED の利用箇所を知る	写真	日常での利用箇所を知らせる 写真, 教室にあるものを用いて提示	5
利用される理由を考え発表	ワークシート	予想を立てさせ発表	5
LED の特徴について知る (ワークシートに記入)	ワークシート	LED の特徴を知らせる 省電力・長寿命・低発熱・ 省スペース	10
教師の実演から電池 1 本では 光らないことを知る	電池・LED	電池 1 本では光らず, 2~3 本 が必要であることを知らせる	5
部品の確認及び接続要領の 理解	テキスト	製作の準備 (部品の配布及び接続要領の説明)	10
テキストにしたがって製作	テキスト	製作の開始 (途中で休憩を挿む) (巡回しながら児童への補助)	40
LED にかかっている電圧を 知る	テスター (電圧計)	テスターを用いて LED にかかる 電圧を測定する	5
単三電池 1 本で光る仕組みを 知る	回路図	回路を工夫していることを説明し, 電池 1 本で光る仕組みを知らせる	5
感想・わかったことを記入	ワークシート	感想・わかったことをワークシート に記入させる	5

表4 授業でわかったこと・学んだことのアンケート調査結果 (複数回答, 単位: [人])

1.5[V] で光る仕組み	LED の特徴	日常での利用	エコ	利便性
14	11	5	5	3

に対して 2 時限連続で実施した。

授業展開案の要旨を表 3 に示す。工作教室と異なり、ワークシートを準備して記入させるとともに、児童に考えさせ発表させる等の活動を通して主体的に学習できるよう授業を組み立てている。

表 4 に授業でわかったこと・学んだことの集計結果を示す。17 名中 14 名が「電池 1 本で光る仕組み」をあげており、電池 1 本だけでは光らなかった LED が電子回路を用いることで光ることに対し大きな関心を寄せて学習したものとする。授業ではブロッキング発振の細部には触れずに説明を行ったが、1.5[V] の電池で 3[V] と 0[V] を行き来する電圧を作り、3[V] の時だけ LED が点灯するという概念は十分に伝わったものと判断できる。一方、LED の特徴については 2/3 程度の児童しか理解できておらず、この点については授業での説明にさらに工夫が必要であるとする。低消費電力という特徴を活かして近年 LED 電球が普及し始めていることを伝え、白熱電球と LED 電球で消費電力に大きな差があることを実際に提示することでこの点は達成できるものとする。しかしながら工作教室と比較すると児童の理解度は高く、本教材は高学年以上の児童・生徒向けであるということが出来る。

表 5 に授業・製作で難しかった箇所についてのアンケート結果を示す。ここでも工作教室と同様に半数近くの児童が二重リングへの接続が難しかったと回答している。このことは、

表5 授業・製作で難しかったところのアンケート調査結果 (単位:[人])

二重リング	製作全体	トランス製作	確認作業	無回答
8	5	1	1	2

電線・部品同士を確実に接続できる利点を有するものの、部品点数が多くなると児童には製作が難しくなるという欠点を持つものとする。

5 むすび

本論文では、照明用光源として普及し始めた LED の仕組みや利用を児童・生徒に理解させるための教材開発と工作教室ならびに授業での実施結果について述べた。

開発した教材は、トランジスタ回路を用いることで乾電池 1 本で白色 LED を点灯させるライトであり、ハンダづけを行わず二重リングを用いて部品接続を行うことにより作業の安全性と製作の確実性を狙ったものである。本教材を用いた工作教室と小学校授業を実施しその評価を行ったが、本教材は高学年以上の児童・生徒に向いていること、部品点数が多い場合に二重リングを用いた接続は難しいことが明らかとなった。

今後の課題として、低学年向けの簡単な教材の開発、二重リングに代わる部品接続方法の検討、中学生から一般市民を対象とする授業・公開講座の開発があげられる。

謝辞

本研究の実施にあたり、壱岐市立志原小学校の山田芳弘校長先生及び篠崎薫教頭先生からは授業実施について便宜を計っていただくとともに指導・助言を頂いた。また本学教育学部プロジェクト「サイエンスワールド」、(財)日本生産性本部の支援を受けた。ここに記して感謝する。

文献

- [1] (社)日本電球工業会, “日本電球工業会自主統計 2010 年 11 月次”, http://www.jelma.or.jp/03tokei/pdf/JELMA_jishuTokei.pdf, 2010
- [2] 東芝ライテック, “一般白熱電球の製造中止について”, プレスリリース, <http://www.tlt.co.jp/tlt/topix/press/p100317a/p100317a.htm>, March 2010
- [3] 経済産業省, “事件事例等を受けた電気用品安全法の政省令改正について”, 産業構造審議会消費経済部会製品安全小委員会 (第 15 回) 資料, May 2010
- [4] 文部科学省告示第 28 号, 中学校学習指導要領, 2008
- [5] 文部科学省, 小学校学習指導要領解説 理科編, 2008
- [6] 東 徹, 竹中晃子, 柳田まゆ, “電気より光へのエネルギー変換教材の開発—LED を使用した照明機器の教材化—”, 日本産業技術教育学会第 21 回九州支部大会講演要旨集, S05, pp.89-90, 2008
- [7] 武藤浩二, “LED 照明教材の開発及びこれを用いた教員向け研修会”, 日本産業技術教育学会九州支部論文集, vol.18, pp.95-100, Feb. 2011
- [8] 横尾仁甚, “発光ダイオード (LED) を用いた工作教室及び授業づくりに関する研究”, 長崎大学教育学部卒業論文, Jan. 2011