

LED照明教材の開発及びこれを用いた教員向け研修会

Development of Learning Materials on LED Lighting
and a Workshop for Teachers using Them

武藤 浩二*

Cosy MUTO

Faculty of Education, Nagasaki University

現在、家庭における総消費電力の約1/6を照明が占めている。低炭素社会の実現や化石燃料からの脱却を背景に、低価格品の市場投入や白熱電球からの生産シフトといった状況を受けて発光ダイオード(LED)を用いた電球や照明器具が多数市販されるようになってきた。本論文では、エネルギー変換領域の授業で用いることを目的とした3種類のLED照明教材及びこれらを用いた教員向け研修について述べている。開発教材はLEDの一般特性を理解するもの、従来からある白熱電球や電球型蛍光灯とLED電球を一目瞭然で比較するもの及び商用電源を用いるLED電気スタンドであり、これらを用いて授業構成するための題材を提示する教員向け研修を実施した。

キーワード：発光ダイオード(LED)、LED照明、教材開発、教員向け研修

1. まえがき

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発光ダイオード(Light emitting diode, 以下、LED)を用いた電球を多く見かけるようになってきている。一部の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¹⁾。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²⁾、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、手回し発電機を利用したLEDライトの製作教材が数多く市販され中学校でも多数採用されている。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³⁾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。大学におけるLED照明の教材化についての先行研究例としては文献⁴⁾があるが、一般家庭における電気エネルギー源である商用電源を直接用いるものは見受けられない。

本論文では、エネルギー変換領域の教材として利用することを目的としたLED照明器具及び関連教材の開発ならびにこれを用いた教員向け研修会について報告する。まず第2章においてLEDの発光色種類と発光色による順方向電圧の違いを理解するための教材について述べる。次に電器店やホームセンター等で市販されているLED電球を用い、従来からある白熱電球や電球型蛍光灯との違いを比較する教材について述べる。第4章では通信販売で容易に入手可能な

電子部品を用いた商用電源を利用するLED電気スタンドについて述べ、第5章でこれらの教材を用いた教員向け研修会の実施状況について述べる。LED電気スタンドについては研修会に参加した各教員に実際に製作してもらい、学校に持ち帰って教材として活用することを狙いとしている。

2. LEDの色毎の特性の違いを把握する教材

現在市販されている表示用途のLEDには、旧来からある赤や黄緑をはじめ赤外線～紫外線領域にわたり様々な色のものがある。

本装置は入手の容易な赤・黄緑・黄色・橙色・ピンク・紫・青・白の8種類のLEDについて、その順方向電圧 V_F を測定することで色と V_F との関係を理解させるとともに、LEDの基本的な使用方法について学習させることを狙いとしたものである。また多様な種類のLEDが市販されていることを紹介するため、集積回路と3種類のLEDを内蔵したRGB自己点滅型についても参考として搭載している。

図1及び2にLEDの色別特性を評価する教材の実機写真及び回路を示す。回路はカレントミラー回路¹⁾で

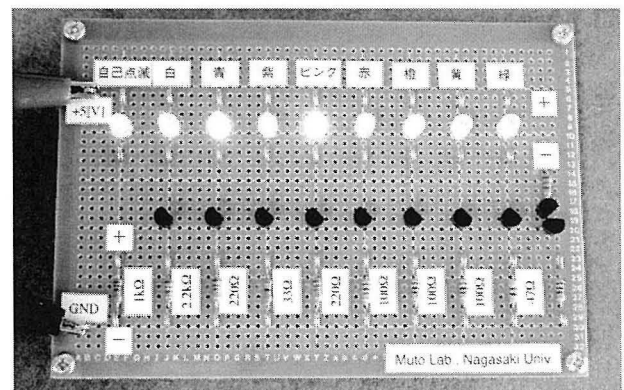


図1 LED色別特性評価装置

(2010年10月26日受付, 2010年11月29日受理)

*長崎大学 教育学部

2010年10月 第8回教材開発シンポジウムに発表

¹⁾カレントミラー回路の動作については付録1を参照。

表1 LEDの色別特性の測定例

	白	青	紫	ピンク	赤	橙	黄	黄緑
V_F [V]	2.61	2.97	3.06	2.67	1.72	1.80	1.83	1.91
I [mA]	0.53	1.0	5.4	1.0	2.1	2.1	2.1	4.0

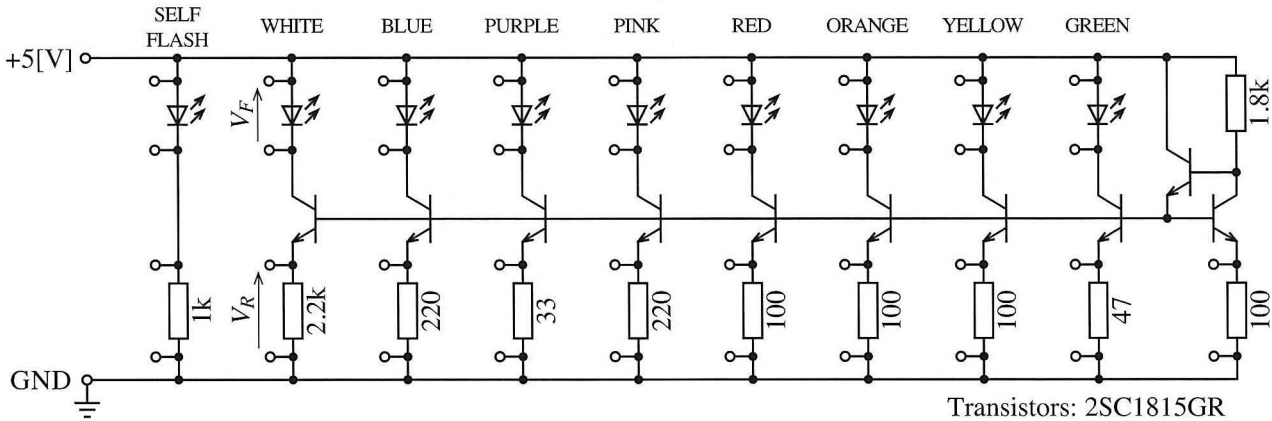


図2 LED色別特性評価装置回路図

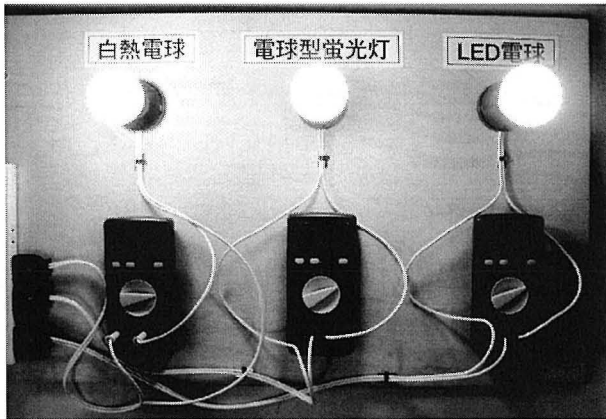


図3 各種電球比較装置

表2 各種電球の測定例

種類	消費電流 [A]	消費電力† [W]	表面温度 [°C]
白熱電球	0.50	52	>140
電球型蛍光灯	0.15	16	> 70
LED電球	0.078	8.2	40~50

†厳密には皮相電力

2本が、ピンクから左側にリストしたものは乾電池2~3本が必要であることを理解させることができる。

3. 各種電球の比較教材

本教材は図3に示すように、40×65[cm]の合板にE26ソケットと交流電流を測定可能なデジタルテスタをそれぞれ3基ずつ配置し、各ソケットに60[W]白熱電球、60[W]白熱電球相当とパッケージに記載された電球型蛍光灯及びLED電球を取り付けたものである。各電球は個別に、あるいは同時に点灯させることができ、デジタルテスタで電流値を読み取ることにより消費電力（皮相電力）を求めることができる。また熱電対温度計を用いて表面温度を測定することや本体の大きさを比べることで、三者の一般的な特性を把握することができる。表2に測定結果の一例を示す。この表において、表面温度は通電開始後30分以上経過した後に測定したものである。

また測定した値や各電球のパッケージに示された定格寿命、全光束等のデータから、各電球ごとの総

構成した定電流源で各LEDを駆動し、順方向電圧 V_F とLED電流を測定するものであり、138×95[mm]のユニバーサル基板に実装している。LED電流は、実際にはカレントミラー回路のエミッタ抵抗両端の電圧を測定し、その抵抗値で割算することにより算出する。エミッタ抵抗の値が色によって異なるのは、カタログデータに記載された光度特性と人間の視感度特性を考慮して同一の明るさとなるよう電流値を定めたためである。このため白、青及びピンクのLEDは電流値をかなり絞っており、これらのLEDの V_F はカタログ記載値（3.2~3.4[V]@20[mA]）に比べて大幅に低くなっている。

表1に順方向電圧 V_F とLED電流の測定例を示す。この表からわかるように、豆電球と異なりLEDを1.5[V]乾電池1本で点灯させることができないこと、実用的には表1の赤から右側にリストした色では乾電池

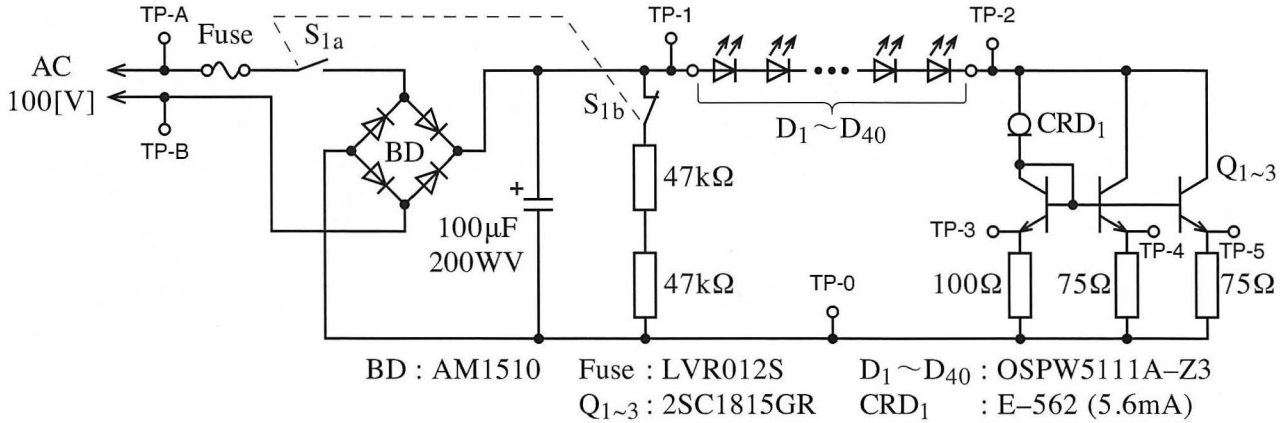


図5 LED電気スタンド回路図

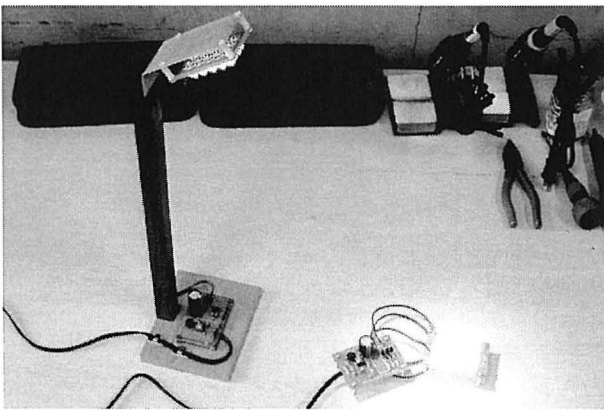


図6 LED電気スタンド試作機

電力量や時間単価，発光効率等を求め，エネルギー消費の観点からLED電球の特徴をとらえることで，照明技術の適切な評価を行うことができるようになるものと期待できる。

なお，本教材は希望により貸出しできるよう準備中である。

4. LED電気スタンド教材

電器店やホームセンターではLED電球の他にLED電気スタンドも販売している。本章では商用電源を直流に変換（整流）し，多数の白色LEDを発光させるLED電気スタンド教材について述べる。

4.1 回路

図5にLED電気スタンドの回路図を示す。回路の動作は以下のとおりである。

まず商用電源をブリッジ整流器で全波整流し平滑することで141[V]の直流電圧に変換する。この電源電圧を40個直列に接続した高輝度白色LED（LEDアレイ）に与え，定電流回路で駆動する。

LEDは定格電流20[mA]で輝度が30[cd]クラスのいわゆる砲弾型のものを用いた。順方向電圧 V_F はカタログスペックで3.2~3.4[V]，実測で3.0[V]であり，40個直列接続した際の全電圧は120~136[V]となる。これは商用電源を整流して得た前記の直流電圧で駆動

可能な値である。

電流制限回路は簡単な用途であれば抵抗1本で済ませることができるが，商用電源電圧が必ずしも100[V]一定ではなく数[%]程度のバラツキを持つこと，LED順方向電圧 V_F にバラツキが存在することを考慮すると，抵抗による電流制限ではLEDの定格を超えるおそれがある。そこで，本教材では定電流回路を用いたLED駆動を採用した。

定電流回路は定電流ダイオードで基準電流（5.6[mA]）を作り，これをカレントミラー回路で重み付けコピーし，全体として20[mA]の定電流源としている。本設計において，カレントミラー回路のエミッタ抵抗は100[Ω]/75[Ω]と小さめの値に設定したが，これから新規に製作する場合は1[kΩ]/750[Ω]とした方が，トランジスタの熱損失を抑えられるので都合が良い。

回路上の安全対策は，リセットブルヒューズによる過電流時の回路遮断（240[mA]で遮断）及び電源オフ時の平滑コンデンサの放電である。平滑コンデンサにはLEDが消灯するといつまでも120[V]程度の直流電圧が残留するので，これを除去するため電源オフ時に放電させている。図5に示したとおり，電源スイッチ S_{1a} はメーク接点， S_{1b} はブレーク接点としているので，主回路の通電時に S_{1b} は断となり放電用抵抗での余分な電力消費はない。放電用抵抗は100[kΩ]程度で良いが，最大で0.2[W]の電力消費となる。本機ではオーバースペック気味ではあるが，低コスト化のために1/4W級の47[kΩ]抵抗を2直列とし，耐電力，耐電圧とも十分な余裕を確保した。新規作成する場合は1/2W級の100[kΩ]抵抗1本で十分である。

4.2 試作機

図6に試作したLED電気スタンドの実装例を示す。回路はLEDアレイ部と電源部に分割し，それぞれを47×72[mm]の小型ユニバーサル基板上に製作した。これを木材とアルミ板で製作したスタンド部に取り付けている。

図6の試作例では基板をむき出しにしているが，各部端子電圧の測定時以外は電源スイッチ操作部以外

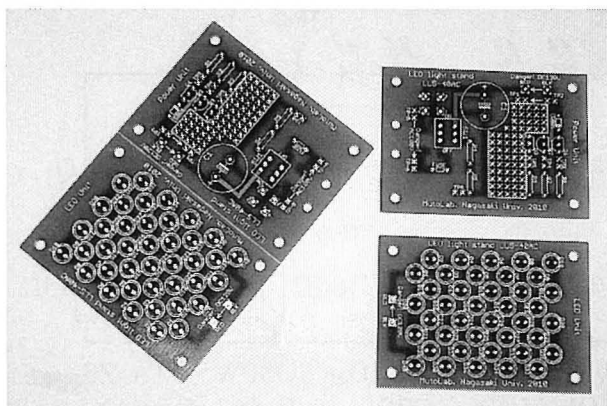


図7 LED電気スタンドのプリント基板（右側が分割後）

の部位が露出しないよう絶縁カバーをかける等、安全上の配慮が必要である。

試作機の特徴は次のとおりである：定電流回路の電流値は18[mA]、回路の消費電力は2.58[W]、LEDアレイの消費電力は2.16[W]であり、電力効率は83.7 [%]となった²。照度は測定していないが、読書灯やハンダづけ等の軽作業灯として十分実用になる明るさを得ている。

5. 教員向け研修会

第4章で述べたLED電気スタンドを教材化し、長崎県内の技術科教員向け講習会（50名規模）を実施したので、本章ではその状況について報告する。

5.1 教材化

LED電気スタンドの教材化はスタンドを除いた電子回路部分について行い、プリント基板設計、部品調達及び仕分けの3段階を研究室で実施した。

プリント基板設計にはEAGLEレイアウトエディタ[5]を用いた。基板のサイズは4.00×2.80[inch]（101.6×71.1[mm]）で中央にVカット線を入れ、左側にLEDアレイ部を、右側に残余の回路を配置し、図7のように分割できるようにした。主要な点の電圧が測定できるよう、基板上にはテストポイント（TP）端子を配置している。TP端子による各部の電圧測定結果から本機の消費電力、電力効率を測定したり、オシロスコープを用いた波形観測より整流回路の動作を理解できるよう配慮している。プリント基板はGerberデータを提供することにより外注製造した。

部品調達は主にRSコンポーネンツ及び秋月電子通商より行ない、一部を地元業者から調達している。部品の仕分け及びパッキングは研究室で行った。部品代としては1セットあたり約3,500円である。費用内訳の大きい物はLED（40個）が1,900円、次いでプリント基板の650円（75枚製造時の単価）、電解コ

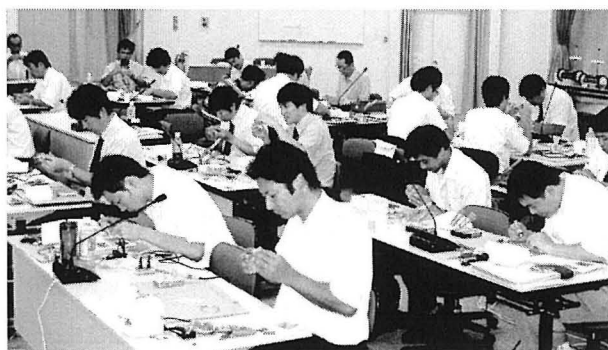


図8 研修会の状況

ンデンサの150円であった。

5.2 研修用テキスト

研修用テキストは

- (1) 我が国のエネルギー事情と民生部門（家庭・業務部門）における電力消費の動向
- (2) LEDの仕組み及び白色LEDの方式
- (3) LED電球普及の背景、白熱電球・電球型蛍光灯との比較
- (4) LED電球の内部構造
- (5) LED電球の課題
- (6) LED電気スタンドの製作要領
- (7) 授業実施時のヒント及び注意点

の7項目で構成し、開発した3種類の教材とあわせて授業を構成するための情報^{1), 2), 6)~12)}を提示した。

(2)では色別特性評価装置を用いた色毎の V_F の違いについて述べ、(3)では第3章に示した各種電球比較教材を用いて白熱電球、電球型蛍光灯とLED電球の比較を行った。(7)ではLED電気スタンドの消費電力及び電力効率の計算要領や波形観測上の注意点を示したほか、生徒に家庭で調べさせLEDについての関心を高める事項を解説した。

5.3 研修会実施状況

技術科教員向けの研修会を、平成22年8月11日に長崎大学教育学部において実施した。この研修会は長崎技術科教育研究会（同時開催：教師のためのエネルギー環境教育実践セミナー in 長崎）の一部として開催したものである。参加者は県内の中学校技術科教員を中心とした43名で、高校教員（工業）や大学院生も含まれている。

研修会は3時間で計画し、45分の座学（LED照明の現状と課題、製作要領説明、授業実施時のヒント等）を行った後、残りの時間を製作実習とした。図8に研修会での製作の様子を示す。ほぼ全員が時間内に製作を終えたが、LEDの取付ミスが3件、ハンダ付け不良による動作不良が1件あった。これらのミスは全て修復し、学校に持ち帰って教材として利用できるようにした。なお、LEDの取付ミスは基板設計時に全てのLEDを同一方向に配列しなかったことに起因している。研修テキストに図示し座学時に説明したにもかかわらず取付ミスが発生したのは、基板設

² 電流値、消費電力及び効率の計算については付録2を参照。

表3 アンケート調査結果からの自由記述 (抜粋)

中学教員 (技術)	教材作成を行うことができ、かつ作り上げたものを持ち帰ることができとても良かったです。生徒の立場で講義を受け実習することができました。
中学教員 (技術)	ワークショップも良かったです。多少の実費を出してもいいから、ぜひワークショップも毎回入れてもらえれば嬉しいです。
中学教員 (技術)	まず自分自身学習を深める必要を感じました。授業では視覚的なものや体験的な内容を更に盛りこんで分かりやすく指導していきたい。
院生 (技術)	LEDライトのワークショップは面白かったです。今回のワークショップのような座学や討論以外の内容は今後も取り入れていただきたい。

計段階における配慮不足であった。

表3に研究会実施後のアンケート調査から抽出した自由記述内容を示す。自分自身で最新の内容を盛り込んだ教材を一から開発していくのは非常に難しいが、このような研修会を通して教材そのものあるいは教材作成のヒントとそれらに付随する最新の技術動向を持ち帰ることができる機会が望まれていることがうかがえる。

6. むすび

本論文では、最近普及の始まったLED照明について、その基本的な動作を理解しエネルギー変換領域の教材として利用可能なLED電気スタンド及び関連する教材の開発ならびに教員向け研修会の実施状況について報告した。まずはじめにLEDの基本的な特性である順方向電圧がLEDの発光色により異なることを理解する教材について述べ、次に白熱電球・電球型蛍光灯・LED電球を比較する教材について示した。LED電気スタンド教材の詳細について述べた後、最後にこれらの教材を提示し学校に持ち帰って授業に反映してもらうための教員向け研修会の実施状況について報告した。アンケートの結果から、教材として活用できる最新の技術情報が望まれていることがうかがえた。

研修会を受講した教員がどのように本教材を活用しているのかについては、今後、追跡調査等を実施する等して検証したい。また、生徒用製作教材の開発にも着手したい。

文献

- 1) 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>，(2010)
- 2) 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，(2010)
- 3) 文部科学省告示第28号，中学校学習指導要領，(2008)
- 4) 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

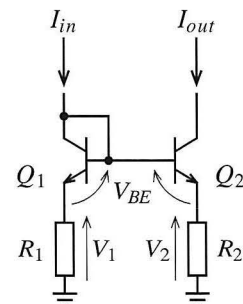
明機器の教材化—”，産技第21回九州支部大会講演要旨集，S05，(2008)，pp.89-90

- 5) <http://www.cadsoft.de/>
- 6) 資源エネルギー庁：平成20年度（2008年度）エネルギー需給実績（確報），(2009)
- 7) 資源エネルギー庁：エネルギー白書2009，WEB版，(2009)
- 8) 資源エネルギー庁：エネルギー白書2006，WEB版，(2006)
- 9) 経済産業省，Cool Earth—エネルギー革新技術計画，(2008)
- 10) NEDO：“地球温暖化防止に貢献する夢の発光ダイオード照明実現へ”，<http://app2.infoc.nedo.go.jp/kaisetsu/nan/nan09/p01.html>
- 11) NEDO：“信号機でおなじみ、普及する発光ダイオード”，<http://app2.infoc.nedo.go.jp/kaisetsu/nan/nan09/index.html>
- 12) 読売新聞：“LED電球で「受信障害」、街路灯交換へ”，2010年4月7日付，(2010)

付録1：カレントミラー回路

バイポーラトランジスタを用いたカレントミラー回路を図A1に示す。ここでは動作を容易に理解するため、エミッタ抵抗を挿入したカレントミラーについて説明する。

トランジスタ Q_1 及び Q_2 は同一特性であり、エミッタ接地電流増幅率 $\beta (=h_{FE})$ はベース電流が無視でき



図A1 カレントミラー回路

るほど十分に大きいと仮定する。Q₁のコレクタに電流I_{in}が流入したとすると、Q₁のエミッタ抵抗R₁には

$$V_1 = I_{in} R_1 \quad (A1)$$

という電圧が発生する。これによりQ₂のエミッタ抵抗R₂には

$$V_2 = V_1 + V_{BE} - V_{BE} = V_1 \quad (A2)$$

という電圧が発生することとなる。したがってQ₂のコレクタ電流I_{out}は

$$I_{out} = \frac{V_2}{R_2} = \frac{R_1}{R_2} I_{in} \quad (A3)$$

となり、I_{in}に抵抗比で決まる係数をかけた電流がQ₂を流れる。カレントミラー回路はこのようにして入力電流のコピーを生成する回路であり、集積回路内においてはバイアス回路や信号電流のコピー等、幅広く用いられている。

付録2：LED電気スタンドの電力効率

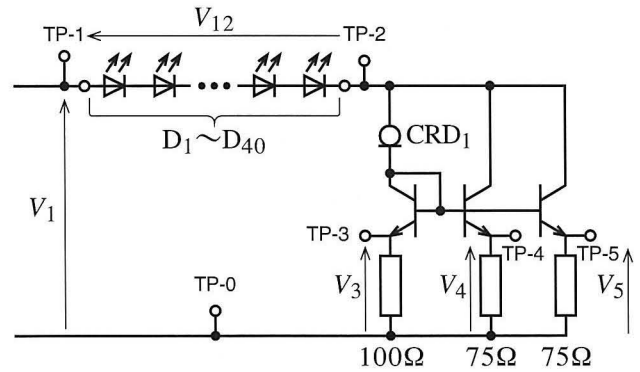
LED電気スタンドの電力効率は図A2を用いて次のように計算する：簡単のため、整流回路の損失及び平滑コンデンサの漏れ電流損は無視する。TP-1～TP-0間、TP-1～TP-2間、TP-3～TP-0間、TP-4～TP-0間及びTP-5～TP-0間の電圧をそれぞれV₁、V₁₂、V₃、V₄及びV₅とすると、消費電流Iは

$$I = \frac{V_3}{100} + \frac{V_4}{75} + \frac{V_5}{75} \quad (A4)$$

Abstract

Approximately one-sixth of electric power consumption in a standard household in Japan is occupied by lighting. Recently, the market share of LED lamps and related lighting equipment is increasing every year due to the expectation of low carbonized society. In this paper, we discuss three kinds of learning materials related to LED which includes a desk light and a workshop for teachers. The LED desk light consists of a rectifier, an array of 40 white LEDs in series and constant-current circuits made of current mirrors. Other materials are a test board for leaning characteristics of various color LEDs and a test board for comparing standard, fluorescent and LED bulbs. The most up-to-date information on LED lamps which includes regulations and a showcase of incompatibility problem are provided in the workshop.

Keywords: Light emitting diodes (LED), LED lighting, learning materials development, workshop for teachers



図A2 消費電力測定要領

で与えられる。式(A4)右辺各項の分母は、カレントミラー回路の各エミッタ抵抗値である。これより全消費電力Pは

$$P = V_1 I = V_1 \left(\frac{V_3}{100} + \frac{V_4}{75} + \frac{V_5}{75} \right) \quad (A5)$$

となる。

一方、LEDの消費電力P_{LED}は

$$P_{LED} = V_{12} I = V_{12} \left(\frac{V_3}{100} + \frac{V_4}{75} + \frac{V_5}{75} \right) \quad (A6)$$

となるので、電力効率ηは

$$\eta = \frac{P_{LED}}{P} \times 100[\%] \quad (A7)$$

として求めることができる。