

論文

ショーケース用 LED 照明への RP 技術の応用

長谷川 孝*¹⁾ 小金井 誠司*¹⁾ 酒井 日出子*¹⁾

Application of rapid prototyping to a LED luminaire for the showcase

Takashi Hasegawa*¹⁾, Seiji Koganei*¹⁾, Hideko Sakai*¹⁾

The present study aims to spread and expand the high-resolution modeling Rapid Prototyping (RP) business by developing a showcase for the display using RP. In the study, LED circuit design for low power consumption was investigated, and optimization of electronic components and circuit configuration was discussed. Moreover, the light diffusion plate, a part of the LED panels which was designed using RP, achieved inconspicuous glare. Although a showcase of the module type development was attempted, color unevenness of the light source occurred in the vertical plane. The prototype will be shown in an exhibition as a luminaire for base panels.

キーワード：RP，LED 回路，光拡散板，グレア

Keywords：Rapid prototyping, LED circuit, Light diffusion plate, Glare

1. まえがき

Rapid Prototyping (RP) は、精細な積層ピッチで基材成形ができることから、デザインモデルの製作ツールとして普及している。

RP 基材であるアクリル系樹脂は耐熱性に難があり、光源が発熱する照明器具用には適しておらず、照明器具としての応用例は見当たらない。しかしながら、光源に発光の高効率化・低発熱化が進んでいる LED を採用することで、照明器具用としての応用が期待できる。

本研究では、RP の LED 照明器具用デザインモデルへの応用の可能性について検討する。低消費電力化を目指した LED 点灯回路について検討し、展示用ショーケース向けの LED 照明器具を作製する。RP の微細成形機能や一体加工機能と、光を制御するデザイン技術を組み合わせ、不快グレアを抑制した LED 照明器具の開発を目指す。

2. LED の特性測定と LED 点灯回路の開発

2.1 AC-DC 電源回路の設計 LED を直流定電流駆動させるため、AC-DC 電源回路を作製した。定電流制御素子には LINEAR TECHNOLOGY 社製 2 端子電流源 LT3092 を、LED には ROHM 社製 SMLK18WBJCW1 (順方向電流：定格 150mA) を使用した⁽¹⁾⁽²⁾。整流方式は通常用いられるコンデンサインプット型とし⁽²⁾、ノイズレス回路にするために、トランスやスイッチング電源方式で電圧制御していない⁽³⁾。チョークコイル L と抵抗 R を挿入し⁽²⁾、低消費電力化を実現するために L の最適化を行うこととした。本研究で用いた

基本回路図を図 1 に示す。

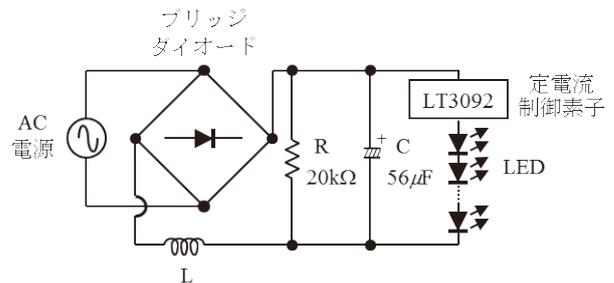


図 1. 基本回路図

2.2 チョークコイル L の検討 チョークコイル L の最適化を行うために、図 1 の回路において $L=100\text{mH}$ 、 15mH 及び 5mH とした時の、直列接続における LT3092 で定電流制御可能な最大 LED 個数を調査した。ただし電源電圧については、スライダックを用いて AC100V に調整した。また LED 通電電流については、DC60mA 以上に設定すると定電流制御素子である LT3092 が過熱したため、DC15mA、23mA 及び 46mA の 3 条件とした⁽²⁾。表 1 に結果を示す。

さらに、商用電源 100V、50Hz を印加して上記 LED 通電電流で最大 LED 個数を点灯させた時の、電源投入から約 10 分後の照度、1 時間平均の有効電力、及び 1 時間経過後の力率を測定した。照度については、室内を消灯状態 (0lx) にして LED 素子を上側に向けて点灯させ、デジタル照度計 (LUTRON 社製 LX-105) を用いて素子の上方約 40cm の位置で測定した。有効電力と力率については、プレジジョンパワーアナライザ (YOKOGAWA 社製 WT1800) を用いて測

表 1. 直列接続における LT3092 で定電流制御可能な最大 LED 個数

L のインダクタンス	LED 通電電流 (DC 定電流)	最大 LED 個数
100mH*	15mA	42 個
	23mA	40 個
	46mA	35 個
15mH	15mA	44 個
	23mA	42 個
	46mA	39 個
5mH	15mA	45 個
	23mA	43 個
	46mA	40 個

*100mH に関しては、参考文献(2)の記載値を引用

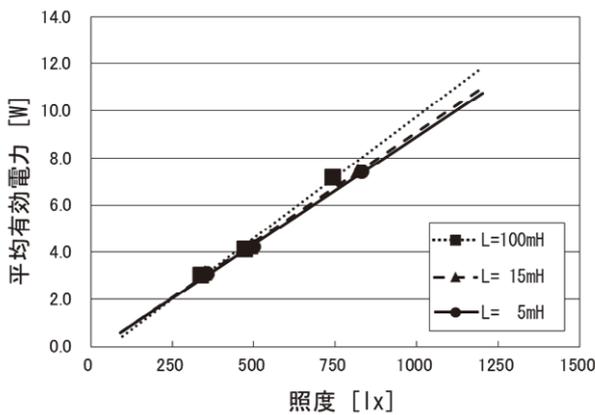


図 2. 照度と有効電力 (1h 平均) との関係

表 2. 力率測定結果

L のインダクタンス	力率		
	DC15mA	DC23mA	DC46mA
100mH*	0.73	0.75	0.80
15mH	0.66	0.67	0.69
5mH	0.58	0.60	0.61

*100mH に関しては、参考文献(2)の記載値を引用

定した⁽²⁾。照度と有効電力との関係を線形近似したグラフを図 2 に、力率の測定結果を表 2 に各々示す。

図 2 より、500lx 以上においては、L=5mH の時が最も有効電力が少ない。表 2 より、力率に関しては L が大きい方が高いが、本研究では低消費電力化を目指しているため、L=5mH を採用することとした。なお L=5mH に小さくしても、突入電流に起因する LED の損傷・動作不良等は発生しなかった。

2.3 LED 通電電流の検討 図 3 に示す並列回路において LED に DC15mA、23mA 及び 46mA の定電流を各々流した時の照度、有効電力及び力率を 2.2 項と同様にして測定した。回路は L=5mH とし、並列なしの状態から最大 5 並列まで並列接続して (図 3)、表 1 記載の最大 LED 個数で点灯させた。この時、46mA の定電流において平滑コンデンサ C が小さい状態 (C=56μF) で並列回路数を増やし続けると、リップル電圧が大きくなり定電流制御不能となるため、

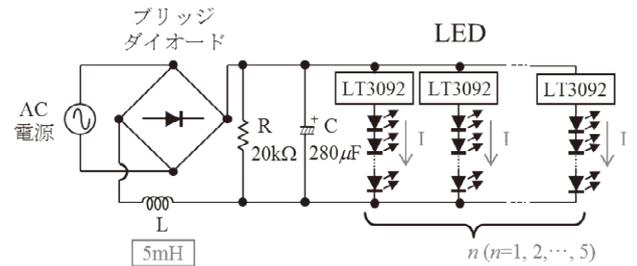


図 3. 実験回路図

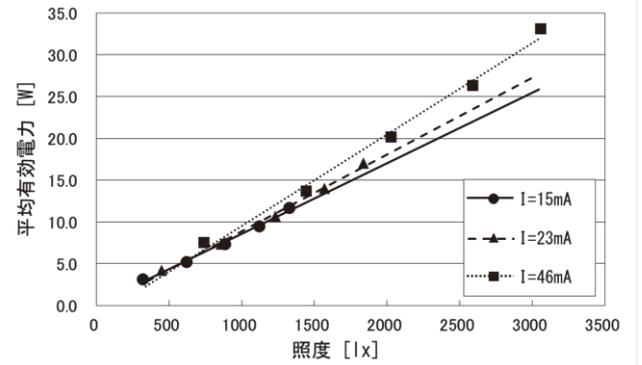


図 4. 照度と有効電力 (1h 平均) との関係

表 3. 力率測定結果

並列回路数	力率		
	DC15mA	DC23mA	DC46mA
並列なし	0.58	0.60	0.64
2 並列	0.62	0.63	0.67
3 並列	0.64	0.65	0.70
4 並列	0.65	0.67	0.70
5 並列	0.66	0.68	0.70

定電流制御できる C の容量を調査して、C=280μF (56μF×5) とした。測定結果を図 4 及び表 3 に示す。

図 4 より、LED 通電電流を小さくした方が有効電力は少なく発光効率が上昇する。これは「LED 素子の光束は駆動電流を大きくするほど大きくなるが、電流と光束とは比例せず、電流が大きくなるほど発光効率は低下する」ドループ現象によるものと考えられる⁽⁴⁾。力率については並列回路数を増やすことにより向上する (表 3)。上記結果を踏まえて、本研究では I=15mA とし、並列接続によって LED の個数を増やし明るさを確保することとした。

2.4 300×300mmLED 光源の試作 2.2 項と 2.3 項の結果を踏まえて 300×300mm の LED 光源を試作した。チョークコイル L を 5mH とし、表 1 記載の 45 個で直列接続した LED を 14 並列にして DC15mA で通電させた (630 個)。リップル電圧を抑制するために、平滑コンデンサ C を 392μF (56μF×7) とした。図 5 に試作光源の写真を示す。

試作光源の消費電力性能を確認するために、照度、有効電力及び力率について、試作光源と市販品との比較を行った。市販品は、同一メーカー品による 6W と 7W 仕様の LED

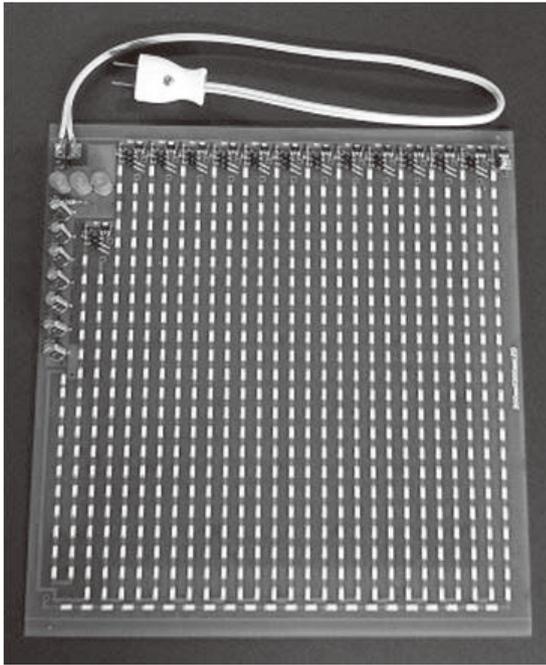


図5. 試作したLED光源

電球2種を選択した。電球の照度測定は、電球カバーを外して電球内のLEDを上側に向けた後、LEDの上方約40cmで測定した。測定結果を表4に示す。

表4. 照度・有効電力・力率の測定結果

測定物	照度	有効電力 (1h 平均)	力率
本研究試作光源	3560lx	27.6W	0.69
6W 仕様 LED 電球	1134lx	6.3W	0.55
7W 仕様 LED 電球	1480lx	7.8W	0.57

測定結果から、試作光源の照度である 3560lx における市販品の有効電力を推定すると、約 17W となり、試作光源と比べて 10W 以上少ない。本研究試作光源においては、部品の最適化や電流制御の工夫・改善を行うことで更なる低消費電力化が可能であると考えられる。

3. RP を使用したショーケース用 LED 照明の試作

3.1 RP 光拡散板と LED 照明パネルの試作

RP 技術とデザイン技術を組み合わせて RP 光拡散板の開発を行った。LED 照明パネル用光拡散板としての良し悪しを評価するために、半透明アクリル系樹脂を用いて、100×100mm の光拡散板を 10 種類試作した。試作品を 100×100mm 評価用 LED 光源を用いて発光させ、東京都城東地域中小企業振興センター（都産技研城東支所，公益財団法人東京都中小企業振興公社城東支社，来客等）20 代～80 代の男女 31 人にモニター調査（目視による感応検査）を行った。図 6 に試作し光拡散板の LED 受光面の形状を示す。LED 光源の色み

100×100mm用モデル

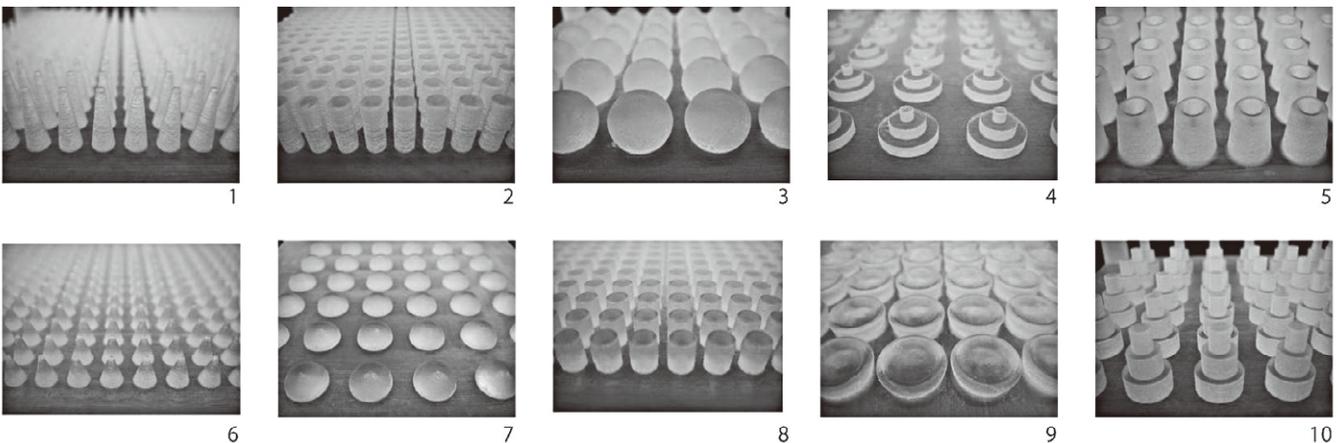
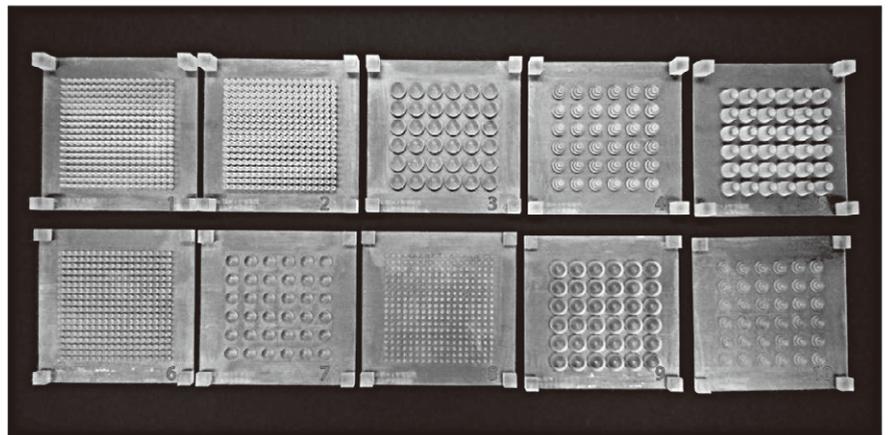
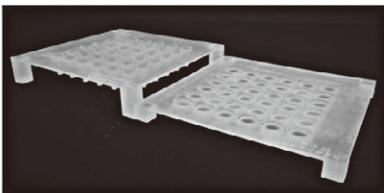


図6. モニター調査用 RP 光拡散板

ラ（明るさムラ）の発生について検討を加え、No. 1～No. 5 については高さ20mmとし、No. 6～No. 10 については10mm とした。

表5にモニター調査の結果を示す。No. 5 と No. 7 について良好な結果が得られているが、調査に用いた全ての光拡散板の光透過性が高いために、LED 光源の不快感が目立ってしまい、形状デザインを工夫しても改善できないことがわかった。そのため、新たに白色アクリル系樹脂を用いて、No. 5 と No. 7 の形状に検討・改善を加えて 300×300mm の光拡散板を試作した。図7に、試作した光拡散板のLED 受光面の形状を示す。

表5. RP 光拡散板のモニター調査結果

目視による感応検査 (最も良いと感じるものを選択)	No. 5	13人
	No. 7	11人
	No. 3	2人
	その他	5人



図7. 300×300mm 白色 RP 光拡散板

図7の光拡散板を2.4項の試作光源に装着して点灯させたところ、不快グレアは軽減できており、LED 照明パネルとして使用できることがわかった。本試作パネルの発光部の厚さは約15mmで、コンデンサ高さを入れた最大厚さは25mm以下である。また照度は約1200lxである。

3.2 ショーケース用 LED 照明器具としての検討 展示物に対する視線と試作パネルとのなす角が小さい場合には、LED 光源の色ムラが目立つ（図8）。試作パネルを使用して展示した時、視線の低い位置で展示物を鑑賞すると、LED 光源の色ムラが発生し問題となる。

光や熱による RP 基材の変色等については、連続点灯時間8時間経過後も異状はみられなかった。今後、更に時間をかけて評価する予定である。

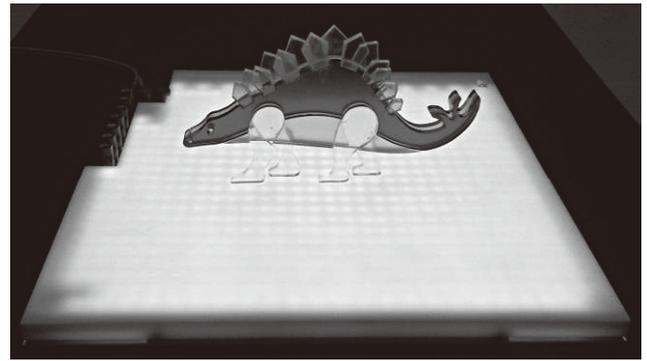


図8. LED 光源の色ムラの発生写真

4. まとめと課題

本研究では、RP の LED 照明器具用デザインモデルへの応用の可能性について検討した。

突入電流防止用チョークコイルのインダクタンス及び LED 通電電流はできるだけ小さく抑え、並列接続によって LED 個数を増やして明るさを確保した方が、消費電力を少なくできることがわかった。本研究試作光源では、部品の最適化や電流制御の工夫・改善を行うことで更なる低消費電力化が可能であると考えられる。

白色アクリル系の RP 樹脂を使用して、LED 受光面の形状を検討した結果、連続点灯時間が8時間以内であれば、本研究試作パネルは展示用ショーケース向けの LED 照明パネルとして使用できることがわかった。ただし視線の低い位置で展示物を鑑賞すると LED 光源の色ムラが発生するので、拡散板デザインの改良を行い色ムラを抑制することが今後の課題である。

(平成24年5月18日受付, 平成24年7月10日再受付)

文 献

- (1) 松浦日出子, 長谷川孝, 秋山正, 大森学: 「LED パネルを用いたノックダウン式ショーケースの試作」, 東京都立産業技術研究センター研究報告, No. 6, pp. 128-129 (2011)
- (2) 長谷川孝, 松浦日出子, 小金井誠司: 「ショーケースパネル用 LED 点灯回路の検討」, 東京都立産業技術研究センター研究報告, No. 6, pp. 126-127 (2011)
- (3) 加瀬正史: 「ノイズレス LED 照明用電源設計」, 電磁環境工学情報 EMC, Vol. 24, No. 3, pp. 74-83 (2011)
- (4) 別所誠: 「次世代照明技術」, はかる, No. 103, pp. 12-15 (2011)