大阪公立大学
Osaka Metropolitan University
学術情報リポジトリ

パワー白色LEDモジュールの開発

メタデータ	言語: jpn 出版者: 公開日: 2013-12-13 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 松葉, 大剛, 臼田, 昭司, 森, 久雄, 鶴田, 信一郎 メールアドレス: 所属:
URL	https://doi.org/10.24729/00007643

パワー白色 LED モジュールの開発

松葉大剛*，臼田昭司**，森久雄***，鶴田信一郎***

Development for power white LED module

Daigou Matsuba*, Shouji Usuda**, Hisao Mori***, Sinichirou Tsuruta***

ABSTRACT

In these years, a development of power white LED is remarkable. Now, it is a main current of white LED to mix a yellow fluorescent material with blue light using blue LED chip. But, in our research, a new type power white LED module using RGB luminescence color LED chips and cup-light board was developed. We could measure the fundamental electric and optical properties using prototype LED module. It is scheduled that the thermal resistance of a power white LED module made for trial purposes and the measurement of the luminescence efficiency are examined, and the comparative study of empirical formula and theoretical formula is attempted, when engineering special is researched in the future.

Key Words: Large size RGB LED chips, Power white LED module, Cup-light board, Electric and optical properties

1. 緒言

数年来，注目を浴びているチップ LED の発光原理や種類の豊富さは，大きな興味を引き，今後も尽きないものである．信号機，ディスプレイなどに LED が多用されており，幅広い分野への応用が期待されている．特に，白色 LED は蛍光灯に代わる次世代型の照明機器として大きな期待を担っている[1]．

白色 LED の点灯は LED 自身がもつ固有の性質から低消費電力ですみ，蛍光灯を点灯させる複雑なバースト・ドライブ回路を用いない．直流ドライブ方式を採用するため，回路が簡略化され，部品点数が少なくてすむ．その結果，故障率(MTBF)が減少し信頼性も向上する．さらに，LED の寿命は，蛍光灯が数千時間であるのに比べて，５万時間に達しようとしている．特に，3W，5W クラスのパワー白色 LED は未来型の照明機器として実用化研究に拍車がかかっている．

現在，白色 LED の主流として市販されているものは，青色 LED の発光を黄色の蛍光体で波長変換して擬似的に白色を作り出す方式である．この方式で作り出される白色は，赤色や緑色の波長帯を発しないため，肉眼で捉えた場合，青みがかった白色となる．この発光色は寒色系の発光と呼ばれており，照明機器などに用いられている暖色系の発光色とは大きな差がある．

本研究ではこれらの問題点を解決するため，赤(R)，緑(G)，青(B)の発光色を混合させて白色とする新しい白色 LED モジュールを開発することを目指している．また，パワー系の白色 LED モジュールとしての用途開発の調査も行っている．

本研究の実施に際して，LED 実装作業に必要な設備を保有し，LED 実装に係る多くの技術情報をもっている基板メーカーの株式会社サトーセンと産学交流及び専攻科インターンシップの過程で共同研究し，パワー白色 LED モジュールの開発を行った[2]．以下に，これまでに得られた結果を報告する．

2. パワーLED チップ及びカップライト基板

近年開発されている 1mm 角の大サイズの LED チップは外観構造，内部の発光構造，発光効率，指向性，演色性など多種多様化している．本研究で使用した RGB 各 3 色の LED チップは台湾ベンチャー企業 IOM 社と共同開発した 1mm 角サイズのパワー LED チップである．図 1 に LED チップの配線側の表面写真を示す．N パッド（－電極），P パッド（＋電極）の表示部分が電極を示す．青色，緑色の LED チップの外観は同じで，電極（ボンディングパッド）はチップ下方向に分配されており，これらの電極部分に各 2 本ずつ金線ワイヤをボンディングする．赤色 LED チップについては図の下方の 2 箇所

2006 年 4 月 12 日受理

* 総合工学システム専攻機械工学コース
(Course of Advanced Industrial Systems Engineering: Mechanical Engineering Division)
** 総合工学システム学科メカトロニクスコース
(Dept. of Industrial Systems Eng: Mechatronics Course)
*** 株式会社サトーセン(Satosen Co., Ltd.)

がPパッドになる．

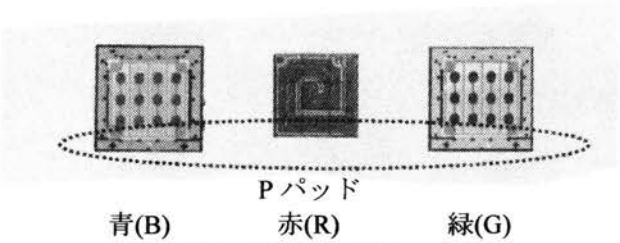

図1　パワーLED チップ(青，赤，緑)

LED チップを搭載する基板は，放熱性やリフレクタ機能を考慮したパワー白色 LED モジュールを実現させるために非常に重要なベース機材である．本研究では，“カップライト基板”と命名した専用のモジュール基板を開発した．カップライト基板の正面写真を図 2，拡大写真を図 3 に示す．基板のベース材は放熱性を考慮してアルミを使用した．基板の中央部はすり鉢型に成型されている．この成形は LED チップから発せられた光を前面方向に反射させるためのリフレクタの役割を果たしている．LED チップ搭載用の電極部分の筋は，RGB の各 LED チップの搭載電極を分割している絶縁部分を示す．

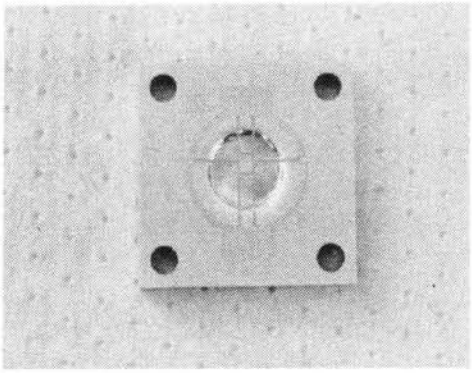

図2　カップライト基板

3. LED 実装工程

本研究で実施したパワー白色 LED モジュールの実装工程を以下に示す．RGB 3 色 LED チップとカップライト基板を使用した実装と配線、樹脂モールドの作業工程の流れを①～⑧の順で実施した．

①実装に関して，前処理として LED を実装するカップライト基板を超音波洗浄機にかける．具体的な作業としては，エタノールの入ったビーカーの中に基板自体を入れ，5 分間の超音波洗浄を行う．

②ディスペンサによる銀ペースト塗布を行う．ディスペンサの気圧は 0.1Pa，塗布時間を 2 秒に設定した．LED を実装する部分に塗布し，その上にピンセットを用いて LED チップをダイボンディングする．

③ダイボンディング後に実装した基板ごとに熱乾燥処理機に入れる．銀ペーストを硬化させる条件として 150℃で 1 時間を設定した．

④熱乾燥処理後の基板を，150℃の温度でプレヒーティングしたボンディング・マシーンのステージにセットする．セッティング終了後ボンディング作業を行う.金ワイヤは 30μm を使用した．その際，ボンディング強度は 40g とした．その後通電確認を行う．

⑥通電確認後，カップライト基板のリフレクタ部の周りにシリコン撥水インクを塗布する．エポキシ樹脂封止の際に，シリコンのエポキシ撥水性を利用し，エポキシ樹脂をドーム形状に形成するための工法である．これは白色発光のムラを改善するために行っている．シリコン撥水インクの主材と硬化材の重量配合比率はそれぞれ 1:1 である．シリコン撥水インクの乾燥条件としては 150℃，1 時間とした．

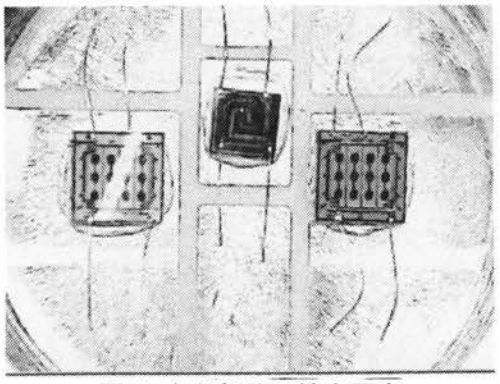

図3　中心部分の拡大写真

⑦拡散材を入れた封止樹脂により塗布を行う．本研究では封止材としてエポキシ樹脂を使用した．主材と硬化材は重量比 10：11 で攪拌し，攪拌後に 10%の重量割合で拡散材を入れ再度攪拌する．その後，撥水処理した基板のリフレクタ部にエポキシ封止樹脂を塗布し 80℃で 30 分，120℃で 6 時間の熱乾燥処理を行う．最初の 60℃での乾燥処理は，封止材が攪拌時に含んだ気体の脱泡除去のために行っている．主材は常温では固体であるため，80℃に熱した後，液体化してから使用した．シリコン撥水インクを塗布しない場合と塗布した場合のエポキシ樹脂封止の際のドーム形状の差異を図 4 と図 5 に示す．

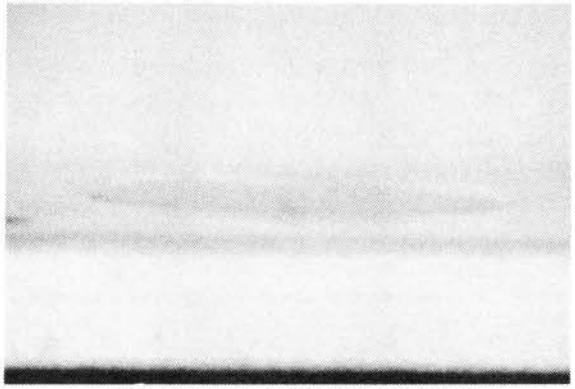

図4　撥水インクを塗布しない場合

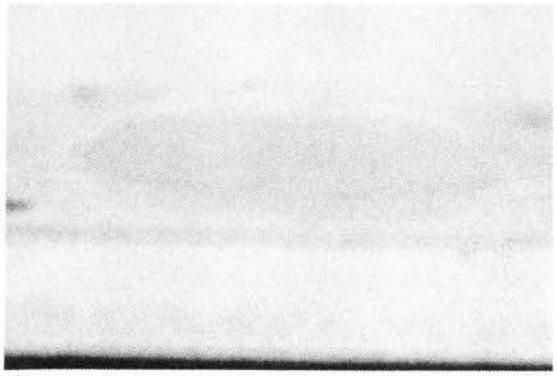

図 5 撥水インクを塗布した場合

⑧熱乾燥処理後，電極部の配線作業を行い，駆動回路を構成する．LED 駆動回路を図 6，LED 発光の様子を図 7 に示す．

RGB3 色の LED ベアチップを組み合わせることによって，白色発光を実現することができ，RGB の各チップに流す駆動電流を調整することによって，寒色系から暖色系の白色と自然光に近い白色発光を確認した．

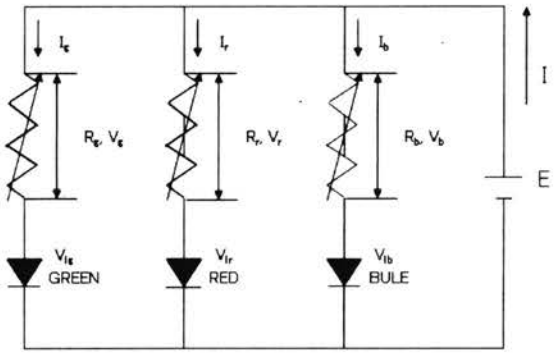

図 6 LED 駆動回路

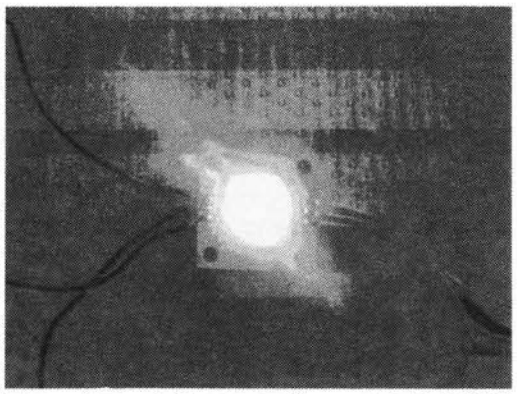

図 7 パワー白色 LED モジュールの白色発光

4. 電気・光学特性実験

試作したパワー白色 LED モジュールで取得した各種電気・光学特性を以下に示す．

（1）電圧－電流特性

パワー白色 LED モジュールの RGB 個々の LED チップについて電圧－電流特性を測定した．投入電力は最大 3W（駆動電流 MAX 700mA）とした．測定した電圧－電流特性を図 8 に示す．

赤色 LED チップは，緑および青色 LED チップと比較して V_F（順方向電圧）値が小さいことが分かる．測定結果から，赤色 LED チップの場合は V_F=1.5V，緑および青色 LED チップの場合は V_F= 2 V である．これの違いは，LED チップの製作工程と材料特性からくる LED 固有の特性で，一般に V_F が小さいことが望ましい．V_F が小さいほどチップ自体の発熱を低く抑えることができる．RGB 方式の白色 LED の場合は，RGB 個々の LED チップの V_F 特性を充分考慮して駆動させる必要がある．

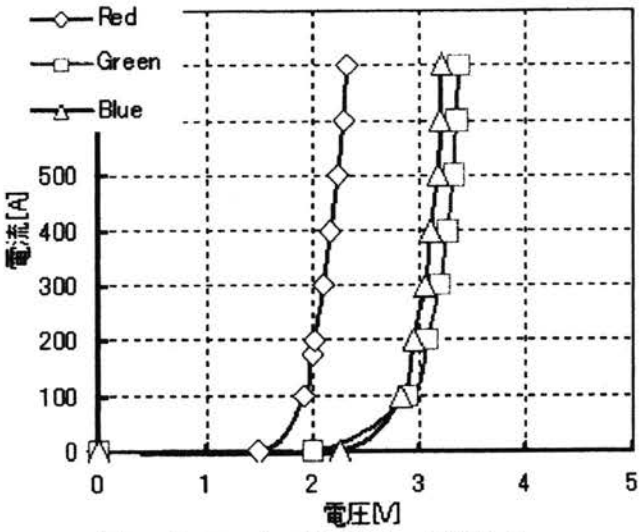

図 8 各 LED チップの電圧－電流特性

（2）指向特性

パワー白色 LED モジュールの RGB の 3 色 LED を同時点灯させ，白色発光時の指向特性を測定した．また，比較のために自転車の夜間ライトに使用されているキセノン豆電球の指向特性を測定した．測定は暗室で行った．照度測定にはハンディタイプの照度計を使用した．測定結果を図 9 に示す．また，測定時の写真を図 10 に示す．

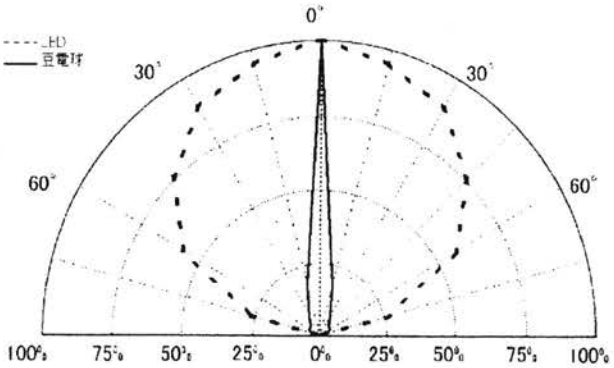

図 9 指向特性の比較

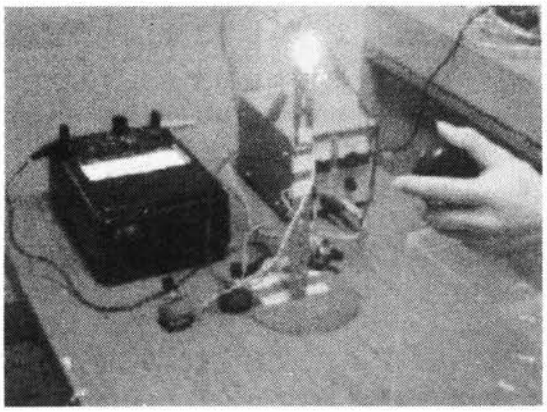

図10　指向特性の測定風景

測定結果から，パワー白色 LED モジュールの指向角は約 120° であった．これはカップライト基板のリフレクタ構造と封止したエポキシ樹脂の非球面構造からほぼ決まってしまう．一方，豆電球の指向角は約 8～10° であった．

直管型または丸型の蛍光灯は全方向の指向特性であるから，反射傘により前方向に照射するようにしている．そのため，全放射の一部を利用した形態になっており，放射の一部はロスになっている．

一方，白色 LED モジュールはモジュールの前方向に対してのみの放射となっている．試作モジュールにおいては指向角約 120° という結果が得られた．

（3）温度特性

パワー白色 LED モジュール用に使用したカップライト基板はアルミをベース材として製作されているが，アルミ基板との放熱特性の比較のために，ガラス基材エポキシ樹脂銅張積層板（通称ガラエポ基板）を用いた同一寸法のモジュール基板を試作し実験を行った．

実験に際して，LED 点灯の駆動電圧と電流は一定（4V，0.5A）になるように可変抵抗で設定し，LED 点灯時のベアチップの表面温度の測定を行った。また，LED 点灯開始後 1 分ごとにサーモグラフィの画像撮影を行った．実験ではガラエポ，アルミ共に中心温度を 42℃とし，5℃間隔で測定を行った．基板の表面温度が平衡状態になるまで測定を継続し，平衡状態に達した時点で測定を終了するようにした．図 11～図 13 に測定結果を示す．

また，サーモグラフィの温度分布の測定結果から，アルミ製カップライト基板はベアチップから発生した熱が基板全体に放熱されているのに対し，ガラエポ製モジュール基板では，温度上昇がベアチップの周辺に集中し，効率のよい放熱が得られていないことが分かる．

最も温度が高い表面部の時間推移を示したのが図 13 である．測定結果から，アルミ製カップライト基板は，ガラエポ製モジュール基板に比較すると，飽和温度で 25℃以上放熱効果があることが分かった．

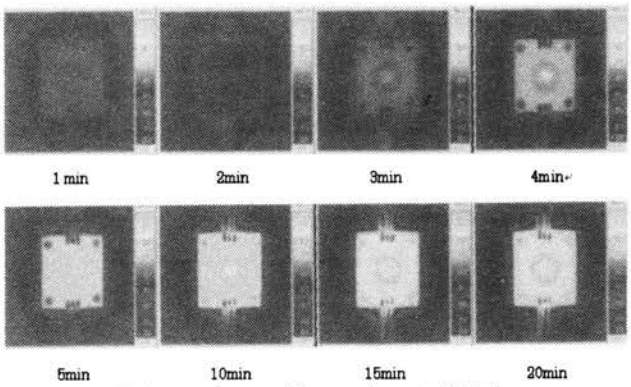

図 11　サーモグラフィ(アルミ基板)

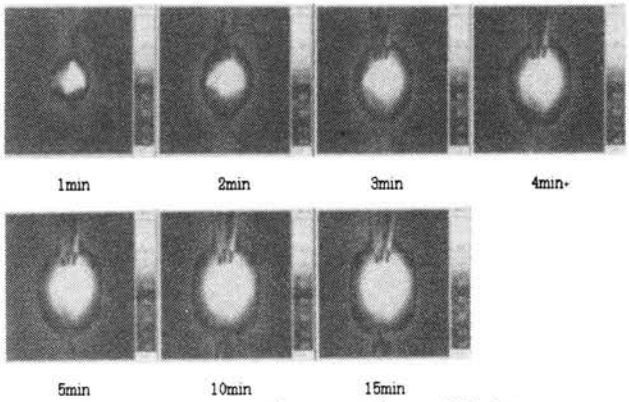

図12　サーモグラフィ（ガラエポ基板）

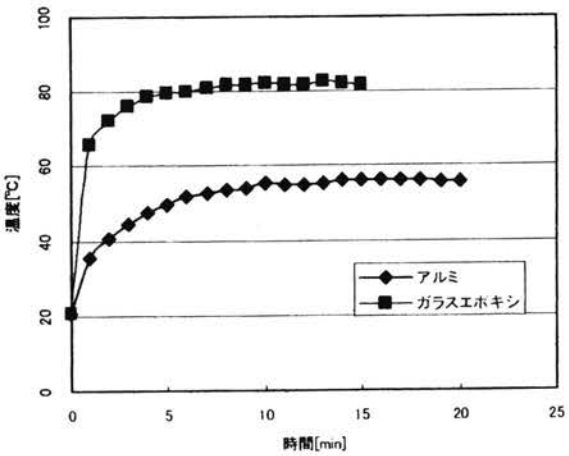

図 13　LED 搭載基板の温度比較

（4）光スペクトル特性

試作した白色 LED モジュールの白色発光の白色性を確認するために，光スペクトルアナライザを用いて，色度座標とスペクトル波形を測定した．　測定結果を図 14 に示す．

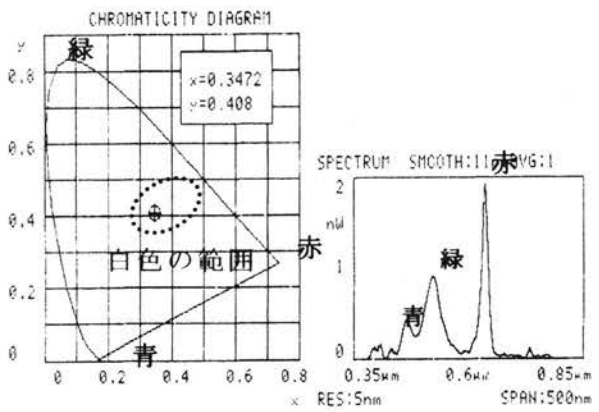

図 14　波長と色度座標

図 14 の左は，色度座標の測定で，試作した白色 LED モジュールの色度座標は「x＝0.3472，y＝0.408」の値が得られた．自然白色の色度座標は「x=0.30，y=0.40」であることが知られているが，試作した白色 LED モジュールは RGB の駆動電流の調整で自然光に近い白色を得ることができた．

同図右は，色度座標に対応した光スペクトル波形で，中心波長 R＝660(nm)，G＝530(nm)，B＝470(nm)付近に波形ピークが認められる．RGB3 色の LED チップそれぞれの発光スペクトルが表示されたもので，白色発光はこれらの混合色になる．

（5）X 線解析

試作したパワー白色 LED モジュールは連続点灯させていると，何らかの原因でベアチップ自体が点灯しなくなることがしばしば生じた．その原因究明のため，X 線解析器を用いて，拡散剤入り封止樹脂によって可視化できない封止内部のベアチップ表面の状態を X 線で観察した．観察結果を図 15，図 16 に示す．

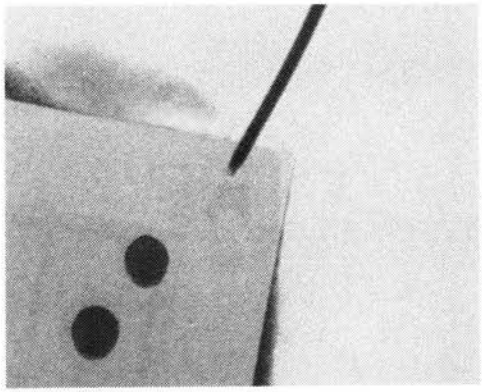

図 15　ボンディング不良

X 線解析を行った結果，大別して，ベアチップの電極パターンの断線不良とボンディング不良の 2 点が観察できた．ボンディング不良については，人的要因で引き起こるので留意すれば改善可能である．

断線不良に関しては，樹脂封止後の熱硬化による熱ストレスの影響や樹脂内の拡散材が及ぼす電極パターンへの影響なども無視できないが，断線の予測が不可能である．

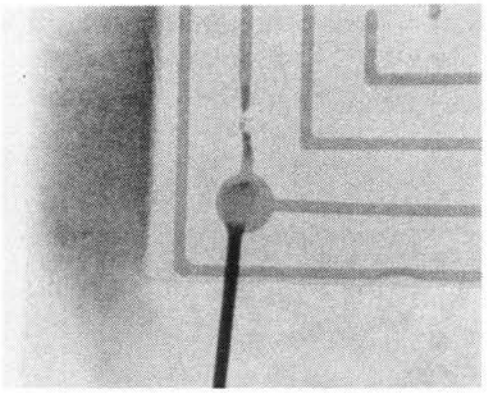

図 16　パターン断線

試作したモジュールでワイヤボンディング不良を起こしているものは，すべてベアチップ側から外れていた．カップライト基板側の電極部にボンディングされたワイヤは外れていなかった．設定したボンディング条件によるボンディング強度には問題ないことが確認できた．これより，樹脂封止硬化条件の最適化を検討することと，ボンディング以降の実装工程において通電確認する必要があると考えている．

5. 結言

カップライト基板を使用した RGB 方式のパワー白色 LED モジュールの開発を行った．以下に得られた結果を要約する．

（1）チップレベルからの実装作業において，各実装工程の最適条件を選定し，パワー白色 LED モジュールの実装工程を確立した．

（2）大サイズの RGB ベアチップと専用のカップライト基板を組み合わせて，3W クラスのパワー白色 LED のモジュール化を実現することができた．

（3）電圧－電流特性おいて，赤色 LED チップについては，青および緑色のチップに対して V_F が小さいことが確認できた．このことから，白色発光させるための RGB の３色 LED チップに流す電流を個々に調整する必要があることがわかった．

（4）指向特性については，基板のリフレクタ構造から比較的指向角が広い特性を得ることができた．

（5）温度特性については，白色発光時のカップライト基板に搭載された LED チップの表面温度をサーモグラフィにより測定することができた．また，カップライト基板はガラエポ基板に比べて放熱性が高いことが確認できた．

（6）試作したパワー白色モジュールの色度座標と光スペクトルを測定した．色度座標から自然光に近い白色発光の実現を確認することができた．

（7）試作したパワー白色 LED モジュールの X 線解析を行った．ベアチップのボンディング不良とパターン断線を確認することができた．これにより点灯不良時の原因を追求することができた．

今後，パワー白色 LED モジュールの発光効率の測定，モジュール基板の熱抵抗の測定，白色発光の色温度の測定，実測値の数式化を実施していく．

謝辞

本研究遂行に際して，終始，適切なご助言やご指導，試作のご協力をいただいた株式会社サトーセン電子部品事業部の諸氏に厚くお礼を申し上げます．また，本研究の実験や評価に際して，終始，協力していただいた本学システム制御工学科 2005 年度卒業生十河弘明氏に厚くお礼申し上げます．

本研究は，平成 17 年度校長奨励研究助成金によって行われたことを付記する．

参考文献

1）臼田昭司：“LED 照明に期待する”，設備と管理：P.22～23 (2005.11)

2）松葉大剛，臼田昭司，森久雄，鶴田信一郎：“パワー白色 LED のモジュール開発”：第 6 回（社）計測自動制御学会 SI 部門講演会論文集：P433～434 (2005.12.16)