

# 豊田合成技報

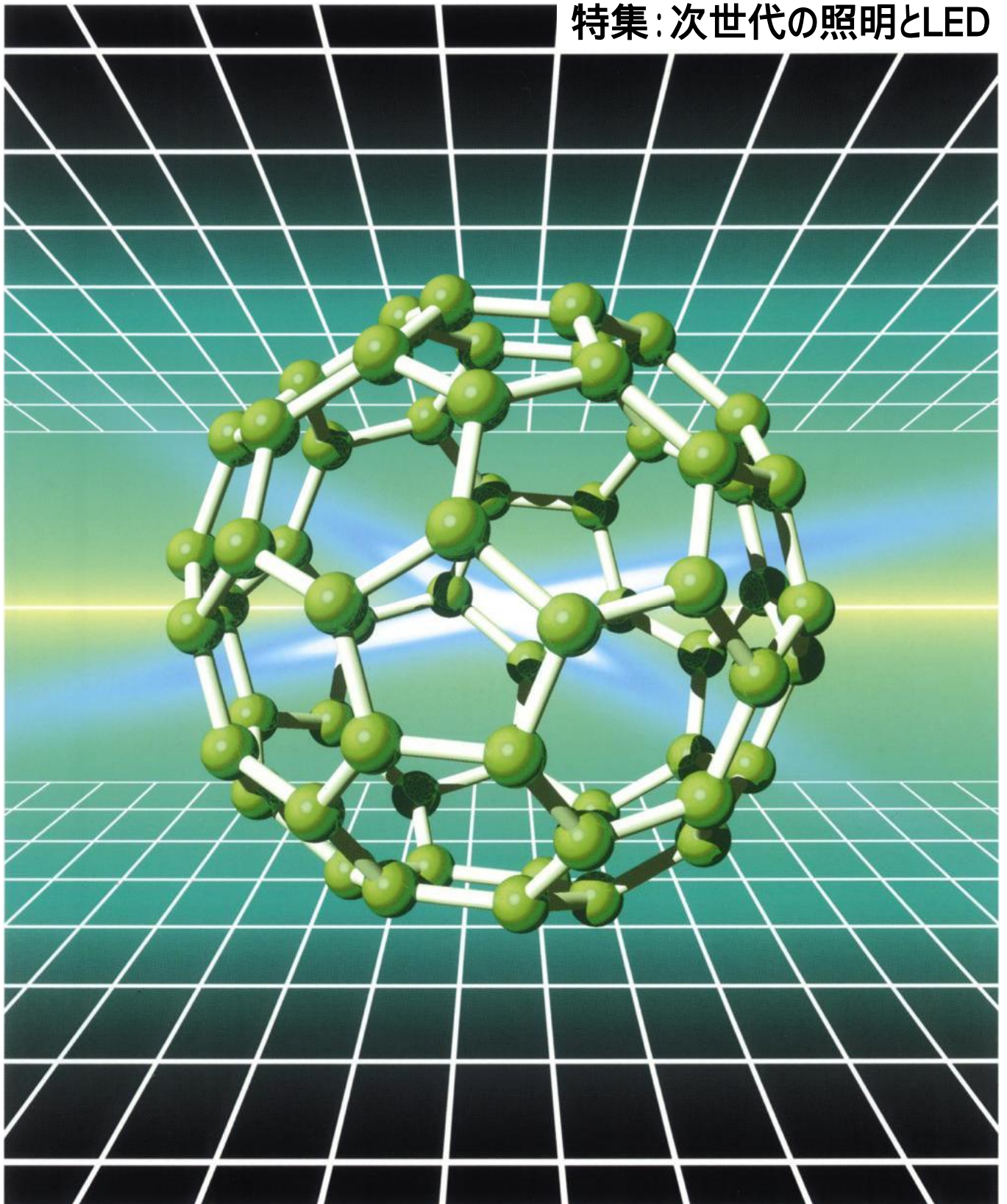


TOYODA GOSEI TECHNICAL REVIEW

TOYODA GOSEI

VOL. 53, 2011

特集：次世代の照明とLED



巻頭言	LED 事業運営から学んだこと	市川 昌好	1
<b>特 集 次世代の照明と LED</b>			
特別寄稿	これからの光源開発	名古屋大学 赤碕記念研究センター 天野 浩	2
総説	LED 照明の高効率化の概況	山口 寿夫 石田 真	7
報告	照明用 LED チップの開発	長谷川 恭孝 神谷 真央	15
	LED 照明パッケージの開発とその応用	田嶋 博幸 出向井 幸弘	22
	LED チップの生産性向上技術	小西 茂輝 前田 将	30
一般報告	助手席乗員の前突時腹部傷害についての検討	井田 等 獨協医科大学 法医学教室 一杉 政仁	36
新技術紹介	高触感インパネ用低飛散性ウレタン開発	村井 浩章 三輪 靖, 宮嶋 康宏	42
新製品紹介	軽量ラジエータホース	小野 実具 夫馬 孝夫	44
	軽量運転席エアバッグ	廣瀬 修 笹木 健治	46
	新加飾ハンドル	横井 隆二 水野 孝則	48
特許紹介			49
社外発表文献一覧表			52

---

# TOYODA GOSEI TECHNICAL REVIEW VOL.53 2011

---

## CONTENTS

Foreword ..... Masayoshi Ichikawa .....1

### Special Feature : Next Generation's Lighting and LED

#### Special Contribution

How to Build a Brilliant Future ..... Hiroshi Amano .....2

#### Technical Review

Review of Efficient Improvement for LED Lighting ..... Hisao Yamaguchi .....7  
Makoto Ishida

#### Technical Reports

Development of LED -chip for Lighting ..... Yukitaka Hasegawa .....15  
Masao Kamiya

Development of LED-Package for Lighting Applications ..... Hiroyuki Tajima .....22  
Yukihiro Demukai

Productivity Improvement Technology ..... Shigeki Konishi .....30  
Susumu Maeda

#### Technical Report (General)

Analysis of the Abdominal Injuries in Front Seat  
Passengers at Frontal Impact ..... Hitoshi Ida .....36  
Masahito Hitosugi

#### New Technology

Low-scattering Urethane for Soft-touch Instrument Panel ..... Hiroaki Murai .....42  
Yasushi Miwa, Yasuhiro Miyajima

#### New Products

Lightweight Radiator Hose ..... Mitsugu Ono .....44  
Takao Fuma

Lightweight Driver Side Air Bag Module ..... Osamu Hirose .....46  
Kenji Sasaki

New Decoration Steering Wheel ..... Ryuji Yokoi .....48  
Takanori Mizuno

Introduction of Patents .....49

List of Published Papers .....52

## 巻 頭 言



常務取締役 市川昌好

### 「LED事業運営から学んだこと」

昨今の日本のビジネスで、開発した製品を世界中の皆さんに販売させていただくグローバルなビジネスでは、自動車産業界でよく言われている6重苦「円高、労働規制強化、法人税、FTA、温暖化対策、電力不足」を乗り越えて、グローバル競争の中で必死に戦っていかねばならない環境下にあるのは、皆さんご承知の通りであります。

弊社のLEDビジネスに関しても、ドル建てビジネスが80%を越し、韓国や台湾の国を挙げての税制優遇等の支援体制の中でのLED競合先とグローバルに戦っていかねばならないのは、輸出依存型ビジネスに携わっている日本企業の共通の喫緊の課題と言えます。こういった環境を乗り越えていくためには、経営的にも、技術的にも何を実践していけばいいのだろうか？よく自問自答し、部下にも問いかけるわけでありまして。成功するためのビジネスは、1つは、お客様ニーズをつかんだ開発を、誰よりも早く実践すること。2つめは継続的なコストパフォーマンスを成立させること。ここ数年間勉強させていただいて実感しておりますし、ますます必要性を感じております。

お客様のニーズをつかむというのは、言うのは簡単ですが大変難しい仕事であります。LEDビジネスでは、お客様の欲する製品概要から、われわれ部品メーカーは自社開発製品で、具体的な性能、コスト、達成時期をお客様に提示し、1年以内に量産化しなければなりません。また、継続的なコストパフォーマンスを達成させるためには、年間10%以上のコストダウンに対応できる生産技術開発力を、中期的に考え、毎年着実に実践していかなければ、お客様ニーズに追従できていけないのがLEDビジネスの現状であります。

このLEDビジネス環境での技術開発の進め方は、まさに新興国市場を拡大していくビジネスには必須条件ではないかと考えております。そのために、営業、技術者が演繹的に課題を解決していかなければいけない考えかたをご紹介します。

- ・技術者自らがお客様に接し、グローバルで戦える性能目標を関連部署と協議しベンチマークも踏まえ技術課題を明確にする。
- ・スピード感のある開発目標達成のためには、コアとなる技術開発を継続的に平行して育成し、効率的に組み合わせるスピード感を持って技術開発を進める。
- ・営業と連携をとり、販売コストトレンドと製品ライフを予測しながら、それに追従した生産技術開発と製品開発を同期化し、お客様要求コストに対応していく。

こういった活動を通じて、経営目線、技術目線を持ちながら技術者を育てお客様に貢献していくことを地道に続けていくことが、「世界のお客様にうれしさをお届けし選ばれる真のグローバルサプライヤー」になる近道と信じてマネジメントしていきたいと考えております。

今回は、次世代の照明とLEDの特集号として掲載させていただいており、名古屋大学大学院工学研究科 赤崎記念研究センター長の天野教授にもご執筆いただいております。最近のLED開発について興味を持ってご一読いただければ幸いです。

## ≡≡≡ 特別寄稿 ≡≡≡

### これからの光源開発 How to Build a Brilliant Future

天野 浩\*

#### 1. はじめに

私が豊田合成の方と初めてお会いしたのは、当時名古屋大学赤崎研究室の修士の学生であった1985年であるから、既に4半世紀以上経過した。ありがたいことに、それ以来継続してお付き合い頂いている。現在のLEDの隆盛を見抜いた先見性と持ち上げるまでも無く、光源としての堅牢さ及び駆動の容易さによる移動体光源としてのLEDの優位性、及び青色の重要性をいち早く見出した当時のご担当者の卓見に敬意を表するばかりである。また、御社経営ビジョンを読ませていただくと、高分子とともにLEDが挙げられており、その製造と研究開発に対する強い意志と信念が伝わってくる。

今回、御社技報総説のお話を頂き、何を書けば皆様のお役にたてるのか大変悩んだ、結晶成長技術・LED技術については、現在現場で取り組んでいる方々の方がよっぽど深く理解されている。ここでは、寧ろ、自分が現場にいた若いころの経験の一部を紹介し、数多くの失敗及び得た教訓を紹介して反面教師としていただくのが少しでもお役にたてるものと思い、思いつくままに筆を進めることとした。

#### 2. LED概略

多くの方にはご存じのことで恐縮だが、最初にLEDの歴史を紹介する。LEDが文献に登場するのは1907年、カーボランダム(SiC)の両端に10Vの電圧を加えると黄色く光ったという記述が最初とされている<sup>1)</sup>。実用化は1962年、General ElectricのコンサルタントをしていたN. HolonyakとS. F. BevacquaによるGaAsPの赤色

LEDが最初である<sup>2)</sup>。III族化合物半導体を用いたLEDの1チップからの出力は年と共に向上し、今でも10年で20倍と言う驚異的な開発スピードが続いている。この絶え間ない性能向上は、アメリカサンディア国立研究所のHaitzらによって指摘され<sup>3)</sup>、IC・LSIにおけるMooreの法則に準え、Haitzの法則と呼ぶ人もいる。作る側の立場に立てば、その開発競争を勝ち抜くため、オリンピック選手の様な努力が必要という過酷な分野である。

2000年以降、1チップからの出力向上の牽引役はAlGaInPの赤色からAlGaInNの白色に移り、Haitzの法則を超えるほどのスピードで出力が向上し、同時に効率も向上している。

株式会社富士キメラ総研出版 LED Market 2011:Comprehensive Survey (Vol.1) Feb.14, 2011によれば、2015年には1WクラスのLEDにおいて、チップレベルで演色性85、効率160lm/W、照明器具として120lm/W、2020年にはチップレベルで演色性95、効率200lm/W、照明器具として150lm/Wとのロードマップが示されている。照明器具として150lm/Wと言うのは、白熱電球の約8倍、蛍光灯の1.5~3.5倍程度の効率である。Haitzらは、2025年には全世界で光源の55%程度はLED電球が用いられ、年間の電力消費低減量は1,100TWh (Tera=10<sup>12</sup>)、化石燃料では年間9.5兆円もの節約に相当すると試算している<sup>4)</sup>。日本の年間電力消費量が2009年度約960TWhであるから、世界中の灯りの約半分をLED電球にすれば、日本の総電力使用を賄って余りあるほどの効果となる。

さて、それではLEDチップの生産者は誰か、であるが、世界で生産されているLEDのチップ数に関する限り、残念ながら日本での生産量はトップでは無い。同じく株式会社富士キメラ総研 2011

\* Hiroshi Amano 名古屋大学大学院工学研究科電子情報システム専攻 赤崎記念研究センター長



LED関連市場調査によれば、LEDチップ総量の60%は台湾で生産されており、日本の企業は13%である。GaN系LEDチップ数に関しても、日本は台湾の約半分の約2割、今年度はさらに下がると予想されている。半導体、結晶、構造力学、熱力学や流体力学を知らなくても、生産性の高い大型装置を扱うメーカーから装置導入すれば、ある程度の性能を示すLED生産はできる。安易な大量生産に特化すれば、これまで日本のエレクトロニクス産業が歩んできた道と同じ末路をたどるのは誰でも予想できる<sup>5)</sup>。現在、日本のメーカーに求められていることは、未来の技術開発、他ではできない高水準の開発、即ち未来のビジョンを示すことである。そのような高度な期待・要求に応えるために、多くの苦悩や新たな発見が連綿と続いていると想像される。今後どのように未来ビジョンを実現化させるか、過去の例を知っていると、判断の一材料になるかもしれないとの思いから、窒化物青色LED開発の歴史を振り返り、今後の開発指針を探る。

### 3. GaN系青色LEDの開発の歴史

AlN, GaN, InNのなかで、合成された歴史はGaNが最も浅く1932年に最初の報告がある<sup>6)</sup>。最初の単結晶作製はハロゲン輸送(HVPE)法により1969年<sup>7)</sup>、その2年後の1971年にGaNを用いた青色LEDがPankoveによって初めて試作された<sup>8)</sup>。Zn添加の高抵抗GaNと故意に不純物を添加していない低抵抗n型GaNのmin型が用いられた。この成功を知った松下電器産業の赤崎先生は、赤外レーザダイオードの室温連続発振で著名なNECの林巖雄氏と共に、1975年より通商産業省の青色発光素子プロジェクトを始められた。赤崎先生はGaN、林巖雄氏は二次高調波結晶により開発をスタートさせた。赤崎先生は最初分子線エピタキシー法でGaN結晶の成長を始められ、後にHVPE法で青色LEDの実現を目指した。PankoveのLEDから10年後の1981年に、同じ発光原理に基づく青色LEDが松下電器産業、現在のパナソニックよりサンプル出荷された<sup>9)</sup>。電力効率は最大で0.12%であった。更にその10年後の1991年には、軸上光度を格段に高めたLEDが御社豊田合成において試作・サンプル出荷されている<sup>10)</sup>。

これらの構造ではp型GaNが使われていない。1970年代よりp型化を目指した研究は数多くなされており、例えばMaruska等は1973年にZnの代わりにMgドープ層を用いた紫色LEDをHVPE法を用いて試作している<sup>11)</sup>。しかしp型では無かった。当時、もし丹念にMg濃度を少しずつ変えて試料を作り、評価を繰り返す行えばp型GaNを見出すことはできたかもしれない。それが実際にはできなかったのは、主に二つの原因が考えられる。ひとつは“自己補償効果”という概念による心理的束縛、もう一つは結晶成長の不安定性である。当時、GaN系及び一族ワイドギャップ半導体はp型を作るのが難しく、その原因としてアクセプタ不純物をドーピングすると、同じ数だけドナー性欠陥が生成され、自的に補償してしまうためにp型結晶ができないという考え方、いわゆる自己補償効果という概念が浸透していた。正確でない理論に基づいて“やっても無駄”という概念に捉われていると、成功を確信して開発を遂行することはできない。更に、思うように単結晶成長ができないのであれば、尚更遂行が困難であろうことは想像に難くない。ここで強調したいことは、1.“理論的に無理”、“やっても無駄”という言葉や概念は、物理的に本当に正しいかどうかよく検証する必要がある、及び2.丹念な検証が必要な開発テーマは、実験のスピード及び再現性の確保に努めるべき、ということである。

現在の白色LED作製は、良くご存じの通り族原料ガスとして有機金属化合物を用い、窒素原料ガスとしてアンモニアを用いる有機金属化合物気相成長(MOVPE)法が用いられる。1971年、ManasevitらがサファイアおよびSiC基板上へのGaNおよび窒化アルミニウム(AlN)の成長を行っている<sup>12)</sup>。MOVPE法は単一箇所の加熱であり、ガス流量のみで膜厚制御できるため、薄膜多層構造作製に適している。赤崎先生は1981年に松下電器産業東京研究所から名大に移り、翌々年卒業研究生として赤崎研究室に加わった私は、一から、即ちMOVPE装置の組み立てから勉強させていただいた。1985年には有住研のころから続いていた伝統の古い研究室から引っ越して、新しいクリーンルームで実験できるようになった。結晶成長に関するスピード及び再現性に関しては、実験を繰り返す中で1986年に偶然見出された低温AlN堆積層の導入により確保され、物性評価には十分の

結晶品質を有する GaN をサファイア上に再現性よく成長させることができるようになった<sup>13)</sup>。ここで、大きな失敗を経験した。特許明細の素案を書かせてもらったのであるが、低温堆積層として AlN のみに限定し、GaN 低温緩衝層は外してしまった。勿論 GaN 緩衝層の実験も行ったのであるが、1回やって AlN 緩衝層の場合の様な平坦な GaN が得られなかったので直ぐに止めてしまった。特許の準備の際、あまり範囲を広げ過ぎると通りにくくなるという話を聞いて、実験もそれに合わせて1回の失敗のみでやめてしまい追求を怠ったのが、理由である。

AlN 緩衝層を使って再現性よく GaN の結晶成長ができるようになってレーザダイオードの実現を思うようになり、そのためには p 型の実現が必須と考えた。J. C. Philips の "Bonds and Bands in Semiconductors" を読んでおり、Zn よりも Mg の方が可能性が高いことが分かっていたので、1988 年当時貴重な  $\text{Cp}_2\text{Mg}$  を購入して頂き、当時修士の学生と共に Mg 濃度を丹念に変えて試料を作り評価を行ったが、p 型伝導性を示す結果を得ることは出来なかった。

博士課程2年の時、インターンシップの機会があり NTT 武蔵野研究所で GaAs のカソードルミネッセンス (CL) の評価をテーマとして実験を行った。そのインターンシップの最後に、持参した試料を測定させていただく機会を与えられ、昔作った Zn 添加 GaN の CL を評価中、青色発光強度が非可逆的に増大する現象が見出された。ひょっとして、と思い、Hall 効果測定も行ったが、残念ながら Zn 添加した試料は高抵抗のままであった。インターンシップから大学に戻り、その修士の学生が多くの Mg 添加試料を作っていたので、Zn 添加の時と同じように電子線を当て処理した。ホットプローブで伝導性を調べてみると p 型の徴候が見られるとの報告であった。ホットプローブでは信頼性に欠けるため、より大面積を電子線処理し、van der Pauw 法による Hall 効果測定を実施し、間違いなく p 型であることを確認した<sup>14)</sup>。更により確実な電子線励起電流測定でも、GaN:Mg と GaN の界面で空乏層ができていることを確認している。ここでも大きな失敗をおかしている。最初この効果は電子線照射による温度上昇が原因と考えた。しかし、それではあまりに単純で物理的興味に欠けると思い、熱処理実験は行ったものの、温度設定を高くしすぎて熱的に劣化するなど1、2回程度行っただけで丹念に追及しなかった。その後もレーザ照射処理など一応確かめてはいるものの、真摯な態度とは程遠く、当然 p 型の確認は

得られなかった。もし、p 型化の物理の本質を理解し、熱処理実験を丹念に行っていたら、青色 LED の歴史も少し変わっていたかもしれない。

n 型伝導性制御に関しては、1989 年当時の豊田合成研究開発グループは非常に大きな業績を残している。低温堆積緩衝層による結晶成長技術の進歩や原料の高純度化により、故意に不純物をドーブしない場合、残留ドナー濃度は  $10^{15} \text{ cm}^{-3}$  以下にまで減少した。このように高純度 GaN の成長が可能な状態で Si をドーブすることにより、 $10^{19} \text{ cm}^{-3}$  に至るまで Si 原料の供給量に比例して幅広く自由電子濃度、あるいは抵抗率を制御することが可能となった。

青色発光や緑色発光のための InGaN 混晶は、青色 LED のなかで最も重要技術の1つである。GaN の禁制帯幅は室温で約 3.43 eV であり、紫外域である。従って、青色発光させるには、前述のようにバンドギャップ内に青色発光準位を形成するために Zn や Mg などの不純物をドーブする必要がある。その場合の発光効率は発光準位の再結合速度と濃度に依存し、高注入では発光が飽和する。赤色 LED などと同水準の高輝度 LED を実現するには、禁制帯幅を青色光付近の 2.6 ~ 2.8 eV 程度に制御すること、すなわち InN との混晶である InGaN 発光層が必須である。MOVPE 法による GaN の単結晶成長温度は 1000 以上であり、一方、InN の成長温度は 600 以下と大きな差がある。しかも、GaN の格子定数と InN の格子定数は約 11% 程度異なる。この InGaN に関する取り組みでも失敗があった。1988 年に、一緒に実験を行っていた修士の学生が InGaN の成長を試みている。しかし、GaN と InN の格子定数差があまりに大きいことから非混和性の影響で混晶はできないという心理的束縛に捉われてしまい、非常に In 組成の低い InGaN しか実験を行わなかった。その1年後、NTT の吉本・松岡等は、成長温度および族原料に対するアンモニア供給量の比を GaN の成長時と比べて1桁以上極端に高くすることが重要であることを実証し、InGaN からの強い青色フォトルミネッセンス発光を観測している<sup>15)</sup>。もし、非混和性について、その物理をより深く理解していれば、もっと実験を繰り返していたかもしれない。

以上、修士及び博士の学生として実験を行っていた 1980 年代後半を振り返ると、多くの新しい発見に巡り合ったにもかかわらず、その大多数を生かしきれずに終わっている。今現場で仕事をしているみなさんには、このような失敗例を頭に入れ、是非それぞれの開発テーマに真摯に取り組み、

最大限の成果を上げるために邁進して頂きたいと願う。

残りの紙面を用いて、光源の未来展望について書かせていただく。

#### 4. これからのLED開発と日本の役割

現在の青色 LED + 蛍光体による白色 LED は発売当初、演色評価数が低く特に赤色成分が少ないことが問題視された。しかし使用されながら改善され、白色光源として日常生活に利用しても問題ない水準に達している。LED 電球としての総合効率も 100 lm/W を超え、蛍光灯を凌駕するまでに達した。しかし潜在能力からするとまだまだ開発の余地を残している。

今後は、一つのチップからどれだけの光束を取り出せるかが重要となる。電流密度が数 A/cm<sup>2</sup> 程度と少ないうちは、内部量子効率も 80% 以上になるが、電流密度の増加とともに効率が低下する、いわゆる効率ドループ現象は大きな問題の一つである。これは発熱の問題ではなく、活性層内で注入キャリア密度が増加すると再結合割合の減少や活性層からのキャリア、特に電子の漏れが増加するため、欠陥を生じない範囲内で活性層厚を厚くするなど、素子構造の工夫が必要である。同じ出力の LED で比較すると、チップ面積では日本の企業の白色 LED は、他国で生産されたものより小さい。これは、効率ドループに対する対策が進み、電流密度を上げて効率が低下が少ないことを示している。チップ面積が小さくて済むことは、コストの点で非常に重要であり、今後更に効率ドループの改善に対する開発が求められている。

白色用光源の指標として用いられる値は、スペクトルとしては平均演色評価数 Ra、及び相関色温度 CCT である。平均演色評価数は 8 個の参照プレートへの反射スペクトルの差の平均のため、当然のことながら、同じ Ra でもスペクトルが同じとは限らない。また、一般照明用光源として見た場合、LED は白熱電球の様な黒体輻射と発光原理が異なるため、相関色温度を用いざるを得ない。色温度が同じでもスペクトルが同じとは限らないため、相関色温度が同じでも、異なる色目の白色が存在することになる。現状の指標だけでは、標準化するのは容易ではないと思われる。LED や有機 EL が照明の主流を占めるようになれば、その光源に合わせた規格作りが急がれる。

更に、効率の理想を追求するならば、現在の方式では、青色の光子をエネルギーの小さい黄色の光子に変換するためにストークスシフト損があり、

250 lm/W 程度が理論極限である。最も理論極限効率が高いのは多色 LED の組み合わせであり、内部量子効率、注入効率、光取り出し効率が全て 100% の青、緑、黄、赤の LED が実現できれば、理論上は 360 lm/W 程度までの効率の光源の実現が期待される。図 - 1 に大学が考えている今後の開発目標・ロードマップの一例を示す。混色が難しいことに加えて、緑や黄の LED の外部量子効率が現状では 20% 以下に留まっていることから、現状の多色混合白色 LED の効率は 50 lm/W に満たない。今後、究極効率の白色光源を目指し、緑色から黄色領域の LED の効率の大幅な向上が囑望される。

これまで、日本におけるエレクトロニクス産業、例えば LSI、LCD、PV、カーナビゲーションなど多くの製品において、市場の立ち上がり期では 50% を超える市場占有率を示しながら、殆どが数年で 10% 以下に落ちている。日本において LED 製品の製造に携わる人々がこの循環に陥ることなく、常に LED 分野で世界に貢献されるよう応援している。

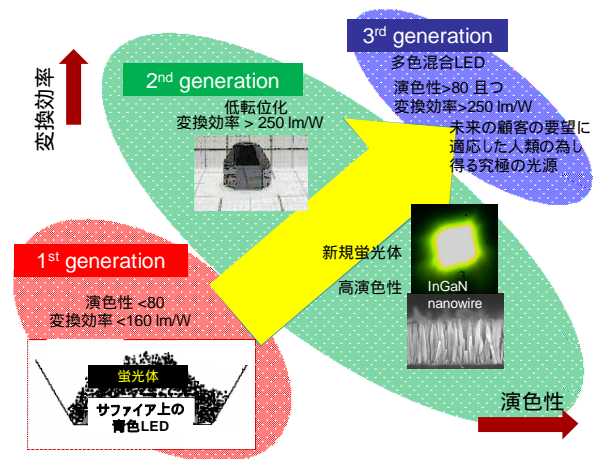


図 - 1 開発目標ロードマップの一例



## &lt;参考文献&gt;

- 1 ) H. J. Round, *Electrical World*, 49(1907)309.
- 2 ) N. Holonyak and S. F. Bevacqua, *Appl. Phys. Lett.*, 1(1962)82.
- 3 ) R. Haitz and J. Y. Tsao, *phys. stat. sol. (a)*, 208(2011)17.
- 4 ) R. Haitz and J. Y. Tsao, *phys. stat. sol. (a)*, 208(2011)17.
- 5 ) 小川紘一著 国際標準化と事業戦略 白桃書房.
- 6 ) W. C. Johnson, C. Warren, J. B. Parsons, M. C. Crew, *J. Phys. Chem.*, 36(1932)2651.
- 7) H. P. Maruska and J. J. Tietjen, *Appl. Phys. Lett.*, 15(1969)327.
- 8 ) J. I. Pankove, *RCA Rev.*, 32(1971)383.
- 9 ) Y. Ohki, Y. Toyoda, H. Kobayashi and I. Akasaki, *Inst. Phys.*, 63(1982) 479.
- 10) N. Koide, H. Kato, M. Sassa, S. Yamasaki, K. Manabe, M. Hashimoto, H. Amano, K. Hiramatsu and I. Akasaki, *J. Crystal Growth* 115(1991)639.
- 11) H. P. Maruska, D. A. Stevenson, J. I. Pankove, *Appl. Phys. Lett.*, 22(1973)303.
- 12) H. M. Manasevit, F. M. Erdman and W. I. Simpson, *J. Electrochem. Soc.*, 118(1971)1864.
- 13) H. Amano, N. Sawaki, I. Akasaki and Y. Toyoda, *Appl. Phys. Lett.*, 48(1986)353.
- 14) H. Amano, M. Kito, K. Hiramatsu and I. Akasaki, *Jpn. J. Appl. Phys.*, 28(1989)L2112.
- 15) N. Yoshimoto, T. Matsuoka, T. Sasaki and A. Katsumi, *Appl. Phys. Lett.*, 59(1991)2251

# 総 説

## LED照明の高効率化の概況

### Review of Efficient Improvement for LED Lighting

石田 真<sup>\*1</sup>，山口 寿夫<sup>\*2</sup>

#### 1. はじめに

近年，炎（第1のあかり）・白熱電球（第2のあかり）・蛍光灯（第3のあかり）に続き，LED（Light Emitting Diode）を始めとする固体光源が“第4のあかり”として，技術開発およびビジネスの両面から強く脚光を浴びている。

豊田合成として，GaN系LED（青色LED）を事業化してから，早くも15年の月日が経過した。青色LEDの誕生および実用化というイノベーション（技術革新）が，地球上に新たなる白色光を生み出すことになった。豊田合成の事業化当初と比較して現状は，明るさは10倍，コストは1/10以下となり，信号機・携帯バックライト・ノートパソコン・テレビのバックライトを始めとした様々な用途に対して世界中で想像以上のスピードで急激に普及し，メジャーな工業部品の一つとして認知されつつある（図-1参照）。軽量・小型・割れ難くさや，長寿命および環境負荷物質を含有していないという側面も，LED光源が普及する際のうれしさとして見逃せないポイントでもある。

近年普及が進みつつあるLED照明は，LED光源として最後で最大のアプリケーションと称されており，現在特に注目を浴びている半導体光源である。現在の世界的な地球環境保護と省エネの流れに載り，我々が手にした“LED”という革命的な技術が，従来の“あかり”に取って代わる，まさに絶好のビジネスチャンスに遭遇しようとしている。

本総説では，LED照明のメリットおよび適用事例を紹介した上で，同じ固体照明である有機ELの

技術動向紹介も交えながら，LED照明の技術開発の取り組み事例について概論を説明したい。本技報では詳細として，チップ・パッケージおよびその生産技術開発動向についても，特集として報告する。

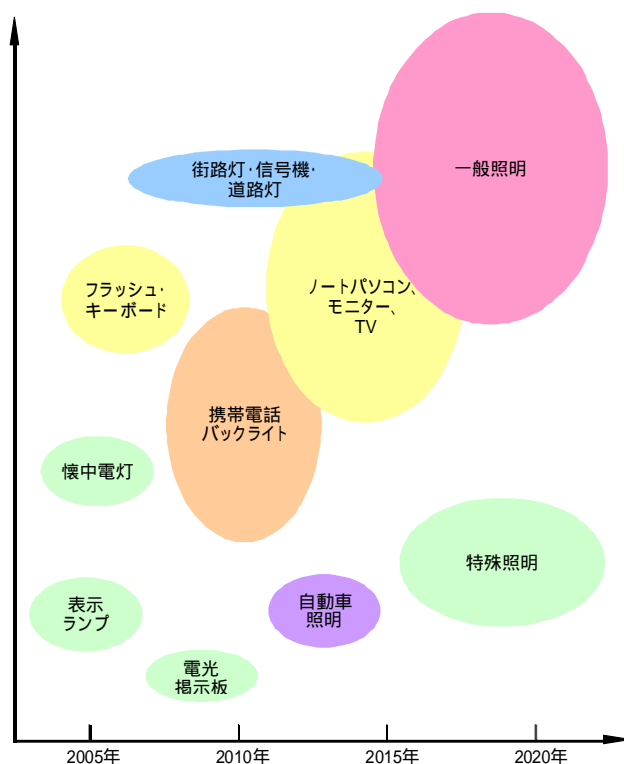


図 - 1 LED光源の普及拡大  
LED光源の普及が広がり，液晶バックライト用途の需要が大きく伸びた。今後は照明用途での普及拡大が見込まれる。

<sup>\*1</sup> Makoto Ishida オプトE事業部 第2技術部

<sup>\*2</sup> Hisao Yamaguchi オプトE事業部 開発部

## 2．LED化による省電力化インパクト

日本における照明の年間電力消費量は、家庭部門が382億kWh（家庭用電力消費量の13%）、業務部門が891億kWh（業務用電力消費量の33%）、

表 - 1 現在使用されている電球・ランプの  
個数および電力使用量（推計）[ 1 ]

日本における照明による年間の電力消費量は合計1,506億kWhで、総電力消費量の16%を占めている。

	家庭部門	業務部門	産業部門	合計
蛍光灯	4.6 億 個	4.2 億 個	1.5 億 個	10.3 億 個
電球型蛍光灯	1.5 億 個	0.6 億 個	-	2.1 億 個
白熱灯	2.5 億 個	0.8 億 個	-	3.4 億 個
HID (水銀灯など)	-	0.1 億 個	0.1 億 個	0.2 億 個
合計	8.7 億 個	5.8 億 個	1.6 億 個	16.0 億 個
電力消費量	382 億 kWh	891 億 kWh	233 億 kWh	1,506 億 kWh

産業部門が233億kWh（産業用電力消費量の6%）、合計1,506億kWhで、総電力消費量の16%を占めている（表 - 1 参照）。仮に日本全体の白熱灯、蛍光灯およびHID（高輝度放電）ランプを、全てLED照明に置き換えた場合、年間照明用電力消費量の61%にあたる922億kWhの電力消費量を削減できると試算されている（図 - 2 参照）。これは、日本の総電力消費量の約9%に相当する。なお、LED照明による省電力ポテンシャル922億kWhは、原子力発電所13基（1,300万kW）に相当するとの試算もある[ 1 ]。

一方で照明のLED化によるメリットは、使用電力量の削減だけでなく、寿命も4万時間程度と長いこと交換費用の節減にも効果がある。LED照明への期待は、国内外限らず今後ますます強くなっていくものと予想される。

## 3．照明向けLED

LEDは従来からあるあかりと比較しても、赤外線領域などの熱的放出をしておらず、効率の高い光源である。例えば、代表的な白色LEDは、青色LEDと黄色の蛍光体を組み合わせたものであり、赤外成分での発光がない。LED光源は普及が拡大しており、近年ではノートパソコンやテレビの液晶バックライト用途の需要が大きく伸びた。今後は照明用途での普及拡大が見込まれる。

白色LEDの発光方式としては、

青色LEDと黄色蛍光体の組合せ（高演色を狙って2種類以上の蛍光体を組合せる場合もある）

高演色を狙った、発光波長が400nm程度の短波長LEDと複数の蛍光体の組合せ

赤色単色・緑色単色・青色単色の3つのLEDの組み合わせ

が挙げられるが、現状最も効率が高く、最も普及しているものは青色LEDをベースとした白色LEDであり、現在も各社が特に開発注力している領域である。

LEDを使った照明器具の効率も近年高くなってきており、更に改善させる余地は大きい。照明器具としての発光効率は、優れた製品では既に90lm/Wを凌駕しており（図 - 3 参照）、昨今の普及に寄与している。ハロゲン電球や白熱電球の発光効率と比較すれば、既に明確な差をつけて凌駕しており、直管形蛍光灯やメタルハライドランプと

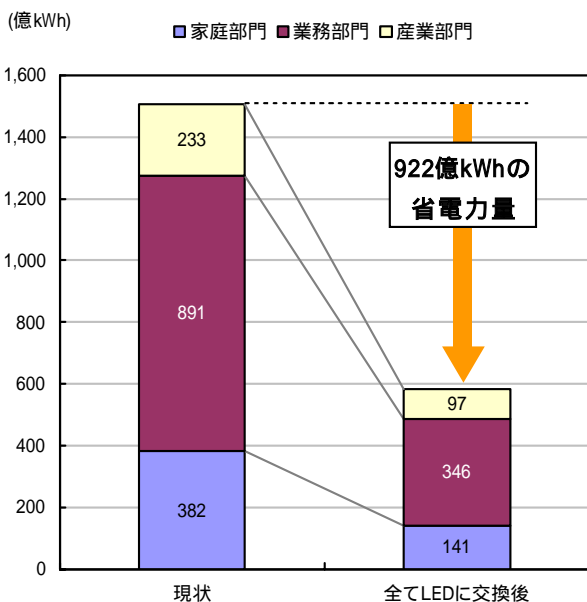


図 - 2 LED照明に全て置き換えた時の  
最大省電力ポテンシャル [ 1 ]

日本全体のランプを、全てLED照明に置き換えた場合、年間照明用電力消費量の61%にあたる922億kWhの電力消費量を削減できる。

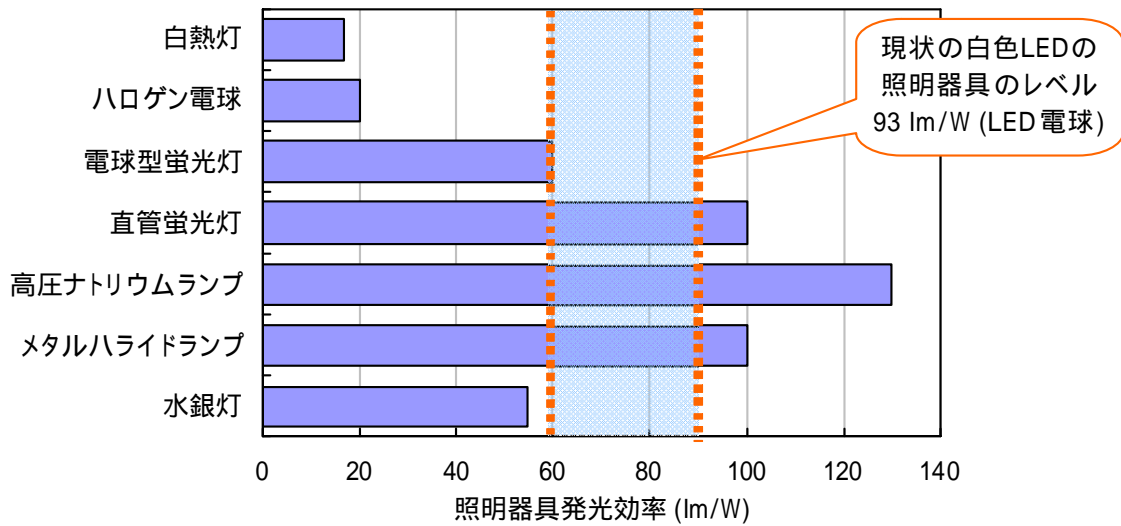


図 - 3 各種光源の発光効率  
 現状の白色LEDを用いた照明器具は、  
 90 lm/Wを超える水準にまで効率が向上した

既存光源とLEDの位置付け

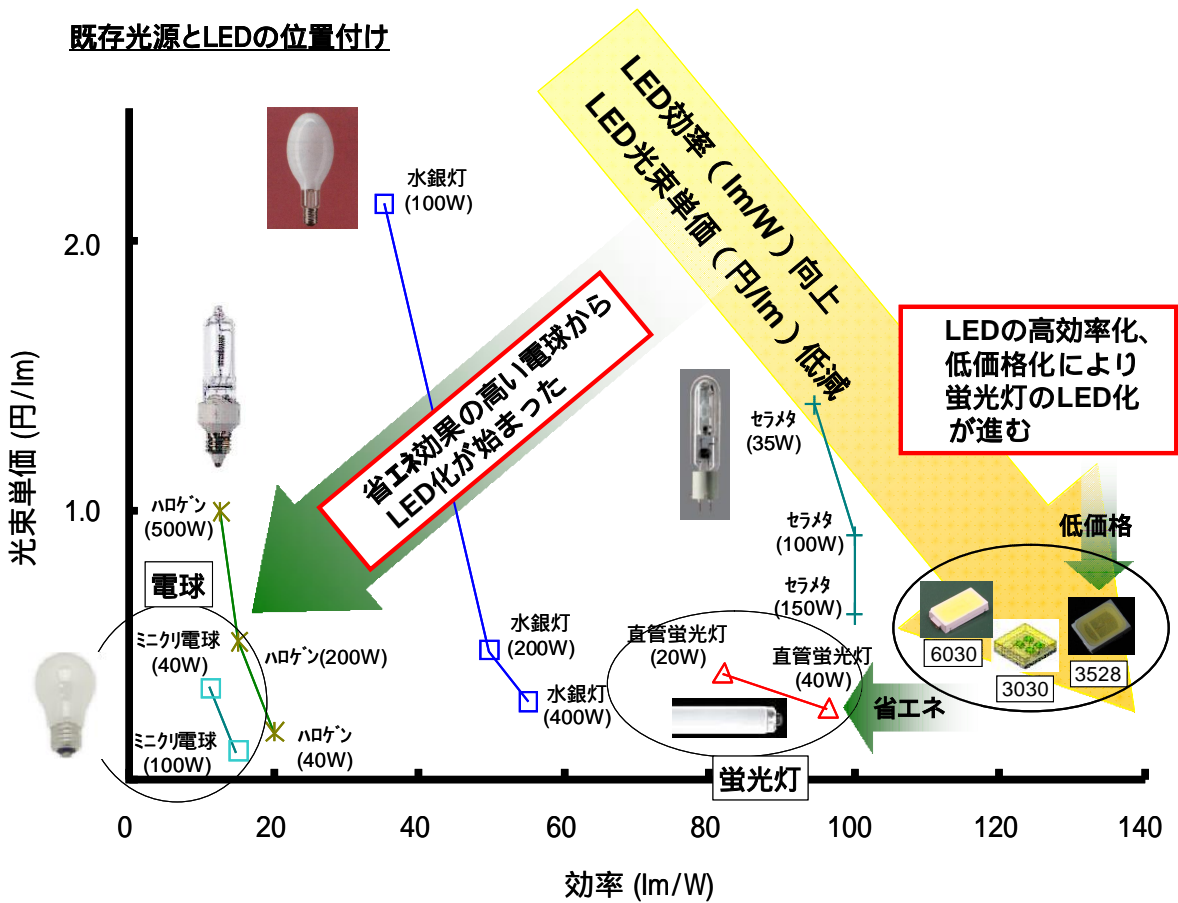


図 - 4 既存照明光源の位置づけとLED化 (効率と光束単価)  
 LEDの効率向上とコスト (光束単価, 円/lm) 低減により、電球  
 から始まったLED化の波が、蛍光灯にも訪れつつある。

いった発光効率の高い光源にもLEDは到達しつつある。

電球・蛍光灯などの既存光源とLED光源について、効率とコストを踏まえた位置づけを図 - 4 に示す。効率面で最も低い電球が、昨今の環境問題・法令・各国の諸政策の後押しも受けつつ、他光源と比較していち早くLED照明への置換えが始まった。LED電球の普及と拡大は、その後の急激な低コスト化も相まって、現在も加速している。比較的明るさを必要としない領域のハロゲン球においてもLED電球と同様に置換えが始まっているが、市場規模自体は比較的小さい。次にLED化の波が訪れつつある光源領域は蛍光灯である。蛍光灯自身は既に高い効率を持ってはいるものの、水銀を使用していること、LEDと比較して交換頻度

が高いことから、電源や口金形状などの規格や保証の面で議論の余地を残しつつも、置換えが起こりつつある。最後に、水銀灯やセラミックメタルハライドランプに代表されるHID (High Intensity Discharged lamp) が残るが、電球や蛍光灯以上に小さな面積から大光束を得る必要があり、各社様々なアプローチを試みているところである。いずれの分野においても、更なる高効率化・低コスト化により、LED化の領域は広がっていくものと期待する。

別視点として、大光束光源領域における、光源サイズと光束を踏まえた位置づけを図 - 5 に示す。横軸を光源サイズであらわしており、左側が小型光源（点光源）、右側が大型光源（面光源）の位置づけとなる。左側の点光源の領域においては、前述のHIDやヘッドランプ向けの光源が位置づけ

### 既存光源とLEDの位置付け

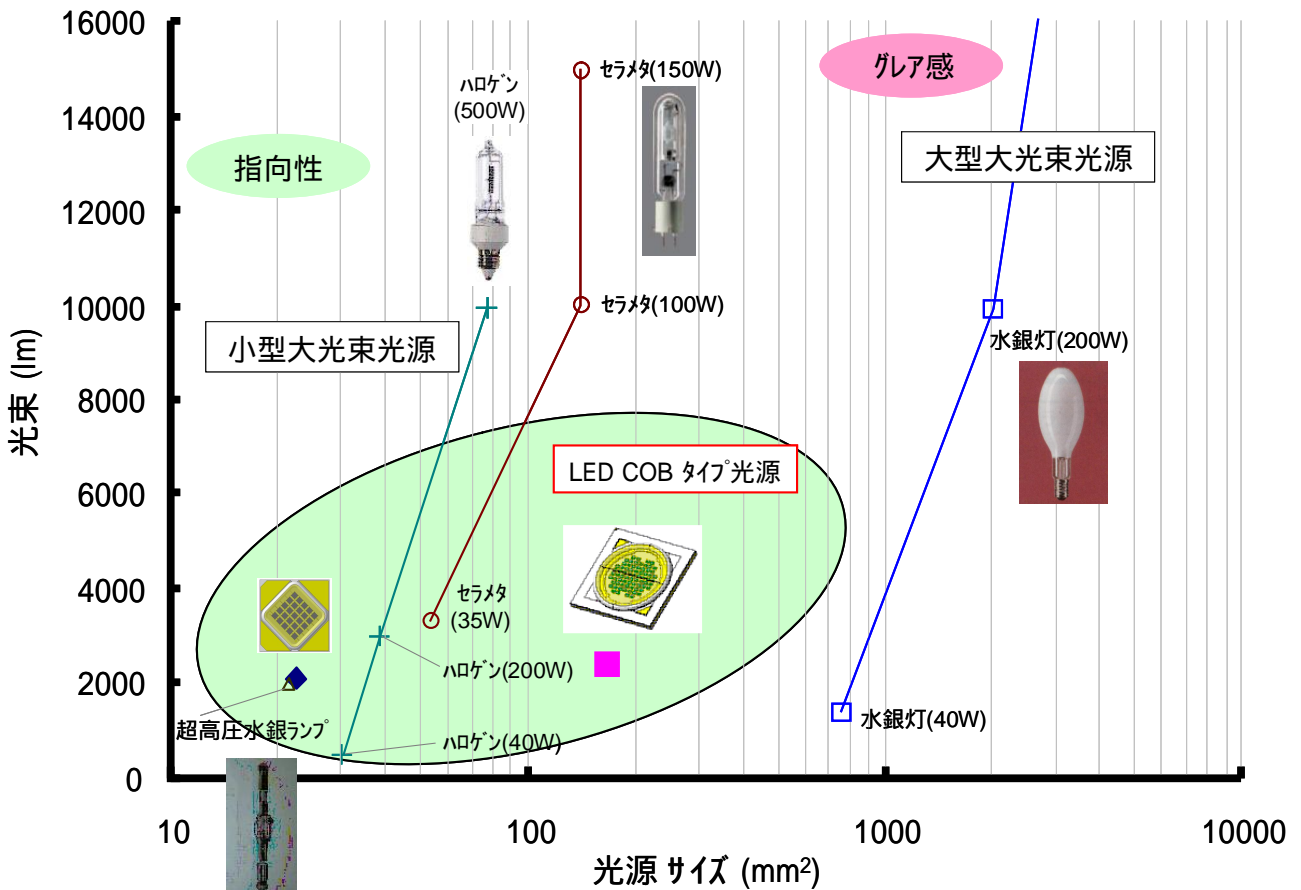


図 - 5 既存照明光源の位置づけとLED化（光源サイズと光束）  
点光源から面光源まで、各種既存光源が持つ光源サイズに対して、LEDは使用個数を変更することで、同レベルの位置づけのものを柔軟に提案することができる。



られる。

図 - 5 右側のLEDの面状光源という点、LED信号灯（砲弾タイプLEDパッケージを複数並べている）の粒々感を真っ先にイメージしてしまう方も多いためか、LEDは一般論として、短絡的に点光源の代表として否定的に位置づけられることが多々ある。しかし器具・灯具として使用する場合は、光束・配光の制御や導光板・拡散板を使用するなど、まぶしさ（グレア感）や粒々感に配慮する処方が既に提案がされており、LED蛍光灯やシーリングライトを始めとするLED面光源器具も市場には出回りつつある。また、LEDはその実装個数を可変させることで、目標とする光束を自由に設計できるという利点もあり、使用するLEDパッケージが普及し汎用性を増すことで、面光源の領域においても、LEDが活躍する場がますます増えていくと考えている。

LEDパッケージとしての製品カテゴリについては、豊田合成は投入電力に応じて小電力側からレギュラーサイズ（0.1W程度）、中電流サイズ（0.5W程度）、大電流サイズ（1W以上）という三つに区分をしている（表 - 2）。

白色LEDの開発において、最終製品を意識する

ことも重要である。電球なのか、それともダウンライトなのか、もしくはオフィス等のベース照明や看板照明なのか、用途、経済性、環境性能、顧客ニーズを踏まえてチップ開発やパッケージ開発をしていくのが基本的な進め方になる。開発の中で念頭に置かねばならないことは、製品のカテゴリとコスト・パフォーマンスである。

製品カテゴリが異なると、構成材料も大きく変わる。好例がパッケージ材料である。レギュラーパッケージは多くの場合、樹脂材料が使われている。一方で大電流になるに従い、無機材料に変化する。無機材料を使用する大きな理由の一つに耐熱性がある。大電流領域になるほど発熱量が大きくなり、パッケージの耐熱性の重要度が増すので無機材料を用いることが必要になる。一般的に樹脂材料は、セラミックスといった無機材料よりもコストは安い。樹脂材料の耐熱性があと10以上上がれば、樹脂材料を活用できる製品範囲は大きく広がると考えている。

パッケージ材料と共に大電流になるほど放熱設計の重要度が増す。投入電力が1W以上となる状況を考えると、材料選択だけでなく放熱設計での工夫が信頼性確保を左右する。

表 - 2 製品タイプごとの特徴と課題

発光効率や光束の改善、インシヤルコストの低減、これらと信頼性確保を両立することなどが課題となる。

	投入電力	効率	光束	灯具への実装性			信頼性	
				面状光源	線状光源	小型光源 (点光源)	パッケージ材料	放熱設計
レギュラー	0.1W ~					~ x	樹脂材料	
中電流	0.5W		~					
大電流	1W > 1W						無機材料	高放熱設計

個別の技術としては、LEDチップの効率改善や効率向上につながるパッケージ技術の進展、LEDを組合せてモジュール化する技術の改良、低コスト化など、LEDに用いる各技術でブレークスルーが起こることで、様々な照明LEDの普及が加速されていくものと考えられる。

#### 4. 大光束 照明向けLED

照明用LEDパッケージとして最近様々な用途に普及が進んでいる1W級の大光束パッケージについて、豊田合成の製品・開発品の紹介も含めて触れておきたい。

光源のコスト・パフォーマンスとしては、1lm(ルーメン：光束)を得るためのコストを目安として、光束単価(円/lm)を用いる。光束単価は、特に照明用途で非常に重要な目安であり、白色LEDの開発として、如何に発光効率が高く、かつ安いものを作ることが求められる。0.5円/lmの領域に達すると既存光源と光束単価が同等となり、かつ効率も優れるということになる。こうなると蛍光灯やHIDなども次々にLEDへと切替っていると考


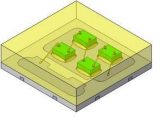
えられる。

1W級の大光束LEDパッケージは、大きくわけて2通りの達成手段がある(表-3)。一つ目は1mmサイズ程度の大電流対応チップを通常1個実装したパッケージ、二つ目は数百μmサイズの小電流から中電流対応チップを複数個実装したパッケージである。構成が大きく異なる両者ではあるが、投入電力と効率を比較すると、ほぼ同レベルである(図-6参照)。

大電流対応チップを搭載する前者のパッケージの特徴は、セラミックスなどの無機物を多用することで、耐熱性・耐久性を重視した設計を目指している。チップも大電流仕様であり、2W以上の更なる大電力投入・大光束化にも耐えうるものとなる。ハロゲンランプ・HIDランプ・ヘッドランプなどの、小サイズと大光束の両立が必要とされる市場領域での拡大が見込まれる。

一方の複数チップ搭載する後者のパッケージは、樹脂を使用することが特徴で、無機パッケージと比較して1~2割程度の低コストで、大光束となることがうれしさになる。また、電球や蛍光灯などの照明器具は100VなどのAC電源から、電源回路を用いて整流・変圧させて、LEDパッケージへ電力投入させている。LEDに投入する電圧が、AC

表-3 大光束パッケージの比較  
豊田合成の製品・開発品の事例。同程度の光束(100lm以上)のパッケージながら、異なる設計アプローチと用途を目指した。

	ラージパッケージ	マルチパッケージ
チップ搭載数	1個	4個(例)
パッケージ外観		
IF (mA)	350 mA	90 mA
VF (V)	3.1 V	11.8 V
投入電力 (W)	1 W	1 W

\* 数値は参考値

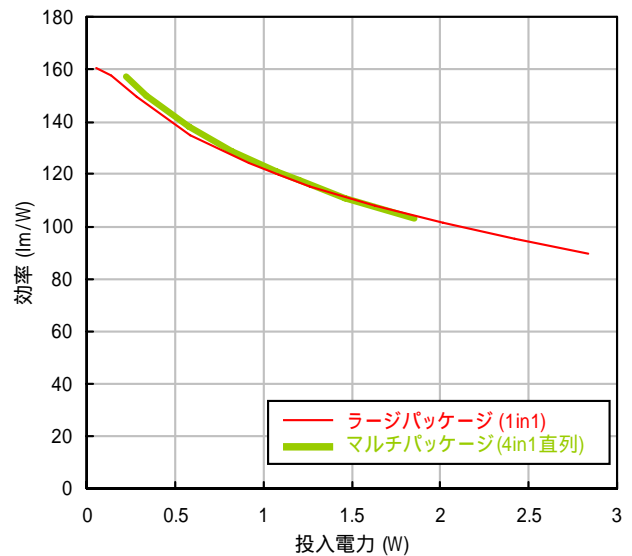


図-6 大光束パッケージの効率  
豊田合成の製品・開発品の事例。投入電力に対する効率は、ラージパッケージとマルチパッケージ(4in1)で同レベルである。

電源に近い高電圧である程，変圧ロス・変換ロスが少なく，電源回路を効率的に活用できる．複数チップを直列実装したパッケージでは順方向電圧(VF)が高くなるため，ラージパッケージ(チップ1個搭載)よりも，最終製品では電源の効率的な活用に向いているという一面もある．

### 5．発光効率 190 lm/W 達成

パソコン液晶バックライト光源として使用されているサイドビューパッケージは現在の豊田合成のLED事業の柱であるが，その高効率と長寿命を特徴とすることにより，画面表現の繊細さ，鮮やかさ，長いバッテリー駆動に貢献して，着実なビジネス拡大を進めている．効率改善および長寿命設計においては，SQC・QCなどの手法に加え，ロバスト設計，材料技術力を駆使することで，顧客要求に応えている(図-7)．

サイドビューパッケージで培った高効率化技術・長寿命化技術をベースに照明用パッケージも技術開発が進んでおり，例えば3.5 x 2.8 mmサイズのパッケージにおいては，その発光効率も190

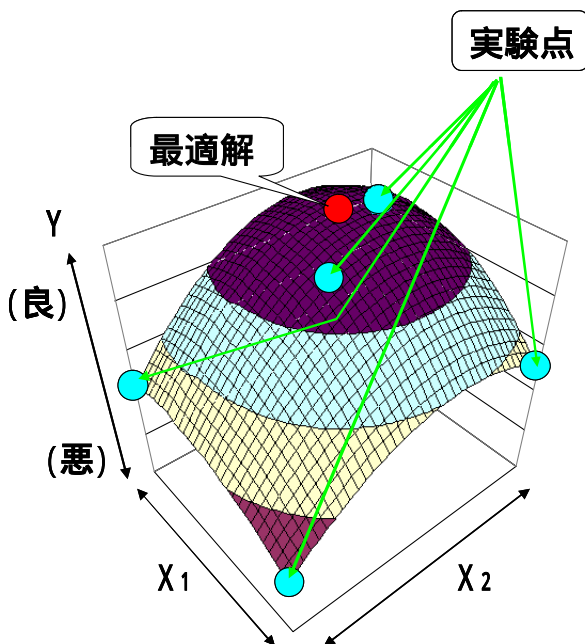


図-7 SQC手法の例  
 応答局面解析を用いて，高効率化と長寿命を両立させるパッケージ形状の最適化を図る．

lm/Wを達成するものも現れており，実用領域においても170 lm/Wの実力を持つ．既存光源を凌駕する発光効率により，今後ますますLEDの普及が加速するものと期待する．

### 6．固体照明としての有機EL

有機ELの技術動向についても，LEDと同じ固体照明に分類されるという立場から，一部触れておきたい．

電極から注入された電荷を有機材料内で再結合させることにより発光させる有機ELの誕生は，1960年代に遡る．1980年代での真空蒸着および高効率材料の採用，1990年代での新規材料開発(多色化・高効率化)や素子構造の改善(多層構造・光学設計など)が図られることにより，現在の基本構造が確立された．

ディスプレイ分野としては，1995年頃から動きが活発となり，封止技術，画素パターニング技術，駆動回路，量産装置などの具体的な製品化技術が蓄積され，近年の携帯電話やスマートフォンの画面として採用が拡大しつつある有機ELディスプレイとして花開くことになる．液晶ディスプレイと比較して遅れを取っていた大画面化や高精細化についても，着実に技術開発が進められ，課題を克服しつつあり，テレビやタブレット製品向けにも有機ELディスプレイの発売を翌年以降に計画しているメーカーもある．液晶がメインプレーヤーであるディスプレイ市場の位置づけには大きな変化

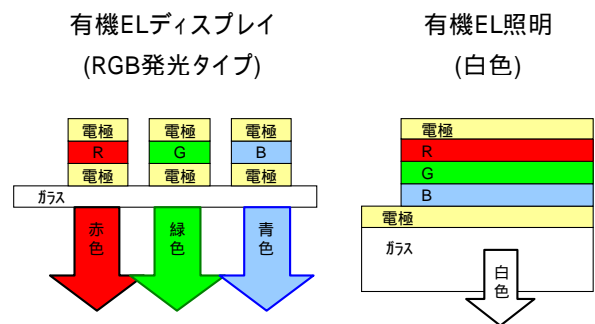


図-8 有機ELの模式図

ディスプレイおよび照明用途の有機EL構造の模式図．ディスプレイでは一般的に画素毎にRGBの各色の素子を配置する．照明では，ディスプレイの素子と比較して大きな面積の白色素子を形成する．

はないものの、有機ELは着実にその用途を拡大し、その存在感を徐々に増しつつある。

照明分野としては、2009年以降に一部のメーカーからサンプルが開始され、量産製品としては2011年に国内数社から出荷発表がなされたことが記憶に新しく、ディスプレイ分野と比較して10年程の遅れはあるものの、少しずつではあるが立ち上がりを見せている。ディスプレイが200～500 cd/m<sup>2</sup>程度の輝度で成立するのに対し、照明用途では1000～5000 cd/m<sup>2</sup>程度の輝度が必要とされる。有機ELにおいては、単純に電流密度を上昇させて輝度向上を目指すことは、長寿命化との両立の面で難しさを伴う。また、1 mm以下の素子形成をおこなう有機ELディスプレイとは異なり、面光源を特徴とする有機EL照明は数cmの素子が必要であり、ITO製膜技術を始めとして電極や封止の形成に課題を残している。照明用途における輝度と信頼性の両立に対しての技術的なブレークスルーとして、素子の多層化やマルチ化（直列配置）が提案・検討されている。

現時点では発光効率・コストの両面でLEDが先行してはいるものの、デザイン性や・単一面光源をメリットとする有機ELは今後とも固体照明のひとつとして、大きく期待されているものと考えられる。

有機ELはLEDと同様、電球や蛍光灯などの既存光源では使用する環境負荷物質を含んでいないという側面も持ち、LEDと同様に省エネだけでなく環境側面からも期待されている光源である。以上から、二者択一でLEDか有機ELのどちらかが生き残る、勝ち残るといったものではなく、用途に応じて両者が共存していくであろう。

## 7. 最後に

以上に示してきたように、LED照明の普及は、我々が抱えている省エネ、CO<sub>2</sub>排出抑制に貢献できると考えられる。特に効率・コストの面で、同じ固体照明である有機ELと技術的に切磋琢磨しつつ、我々はLEDチップ・パッケージおよびモジュールの更なる効率改善の技術開発に邁進すると共に、最終製品にマッチングするLEDパッケージを製品化することで、より環境に優しい社会の実現にむけて、LED照明を更に幅広く普及させて貢献していきたい。

### 【参考文献】

- [ 1 ] LED照明の省電力ポテンシャル，財団法人日本エネルギー経済研究所 ホームページ掲載資料，（2011年5月）

# 報 告

## 照明用LEDチップの開発

神谷真央<sup>\*1</sup>，長谷川恭孝<sup>\*2</sup>

### Development of LED-Chip for Lighting

Masao Kamiya<sup>\*1</sup>，Yukitaka Hasegawa<sup>\*2</sup>

#### 要 旨

「20世紀中には実現しない」と言われた青色LED。当社は、世界に先駆けて青色LEDの開発をスタートし、1991年に開発に成功、1995年から販売を開始した。

販売当初、青色の発光が世界で初めて実現をしたため、フルカラーディスプレイや信号機など青色を必要とする製品の実現に貢献した。その後、蛍光体との組み合わせにより白色光を実現すると、LEDの持つ、小型、低消費電力という特徴との組み合わせにより、携帯電話、ノートパソコンなどの液晶バックライト光源として今日の生活に必要なものとなっている。

最近では、地球環境保護が大きく取り上げられると、LEDはCO<sub>2</sub>削減を実現する省エネ商品としての期待が高まり、照明分野への商品開発が進み、その普及が始まっている。

本報告では、より高輝度開発された照明用LEDチップについて紹介する。

以下、照明用途で重要となる開発要件を示し、そこからLEDチップの種類、構造、応用製品について述べる。さらにチップの特徴を活かした照明ならではのチップ活用方法について提案した。

#### Abstract

It was believed that it was not possible to achieve the blue LED in the 20th century. Toyoda Gosei started the development of blue LED in advance of the world of technology, succeeds in its development in 1991, and then began marketing it in 1995.

When it was first marketed, it was applied to products with a full color display and traffic signals due to the blue luminescent color. After a white light was achieved by combining it with phosphor, the LED became a crucial technology as a light source for the liquid crystal panel. Today, LED is indispensable to cellular phones and notebook computers.

In recent years, LED is widely acknowledged as an energy-saving technology that achieves the CO<sub>2</sub> reduction in the global environment.

In this report, we describe the LED developed for high luminance lighting. First, the development requirement of the lighting is shown; and a type, a structure, and applied product of the LED chip are described. In addition, we propose a method of mounting the lighting chip that makes the best use of the chip's features.

\*1 Masao Kamiya オプトE事業部 第1技術部

\*2 Yukitaka Hasegawa オプトE事業部 第1技術部



## 1. はじめに

急拡大するLED照明市場において、光源であるLEDには光束アップの要求が高まっている。更に、既存光源仕様からLEDに置き換えるメリットとして、従来からの長寿命に加え「省エネ」が挙げられ、高い発光効率も同時に求められている。

このような光束アップ・高効率という要求を満たすため、LED照明では1つの光源に対し、LEDチップを複数個搭載する製品も多い。

照明分野の中には、“光源サイズ”を規定される場合がある。光源サイズはLEDチップを配置できる部分の大きさを示しており、チップサイズとその搭載数に制約を加える。図-1は照明分野でLEDが使用される主な5つの分野と、それぞれが要求する特性を示している。図の右側へ向かうほど小さな光源サイズと、大光束が必要となる。

一定の光源サイズの中で大光束を得るためには、1チップあたりへの投入電力を高めれば良い。しかし、LEDチップは自らが発する熱のため、投入電力が高いほど発光効率が低下する。従って、発光効率を上げるために発熱を抑える、または放熱性を向上させるという開発が必要になる。

加えて、近年はコストダウンのニーズが強まり、チップの原価低減に加え、搭載する個数やサイズを最小限にすることも重要になっている。

### 各種の照明分野

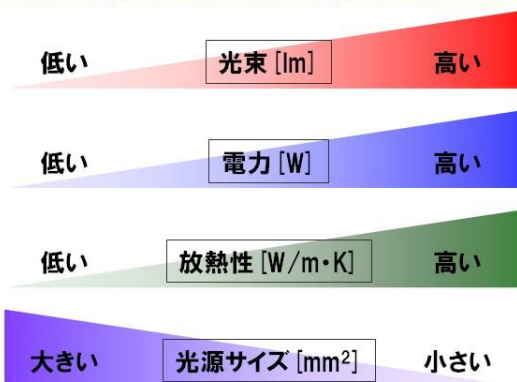


図 - 1 照明分野と要求される特性

## 2. 照明用LEDチップの開発要件

LEDチップの特性には、光学特性、電気特性、耐久品質特性などがあり、用途ごとに要求される特性の重要度合いがそれぞれ異なる(表-1)。ここでは、照明で特に必要とされている全放射束、発光効率、放熱性、チップサイズについて述べる。

表 - 1 要求される特性の重要度合い

項目	液晶バックライト			照明
	携帯電話	ノートPC	液晶TV	
光学特性	全放射束	◎	◎	◎
	波長	○	◎	○
	色純度	○	○	○
電気特性	発光効率	◎	◎	◎
	駆動電圧	◎	◎	◎
	逆電流	○	○	△
信頼性 耐久品質	放熱性	△	△	◎
	静電耐圧	○	○	○
	寿命	◎	◎	◎
外形	チップサイズ	○	○	△

重要度：◎>○>△(顧客ヒアリングによる)

### 2-1. 全放射束(明るさ)

白色パッケージでは、明るさ指標として光束 [lm] を用いる。人間の目の感度を含む単位 [lm] を用いるのは、同じ白色でも暖色系と寒色系では感度が異なり、感じる明るさも異なるためである。

一方、LEDチップでは明るさの指標として全放射束 [mW] を用いるのが通例である。

### 2-2. 発光効率

発光効率(%)は、発光させるために入力する電力と、LEDで光になった全放射束との比で表される。投入した電力がどれだけ光の放射エネルギー(明るさ)に変換されたかで定義される。

従って、発光効率は次式で表すことができる。

$$\begin{aligned}
 \text{発光効率} [\%] &= \frac{\text{全放射束} [\text{mW}]}{\text{投入電力} [\text{W}]} \times 100 \\
 &= \frac{\text{全放射束} [\text{mW}]}{\text{投入電流} [\text{A}] \times \text{駆動電圧} [\text{V}]} \times 100
 \end{aligned}$$

この式は、発光効率の向上には全放射束を向上させるほか、駆動電圧を下げることも有効であることを示している。

### 2 - 3 . 放熱性

LEDチップに投入された電力のうち、光に変換される以外のエネルギーは熱に変換される。LEDチップは高温になるほど発光効率が低下する性質を持っている（図 - 2，ジャンクション温度はLEDチップの発光部の温度）。照明分野では前述のとおり，大光束と低コストの両立のため，1チップへの投入電力を高くすることがある。また光源サイズの制約から高密度に実装され，熱の負荷が高い条件で使用される場合もある。そのため，照明分野では熱の影響を考慮していかなければならない。

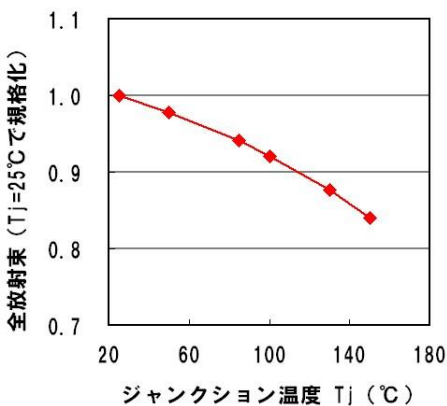


図 - 2 ジャンクション温度と全放射束の関係

### 2 - 4 . チップサイズ

照明分野で使用するLEDパッケージでは，LEDチップを配置できる部分の大きさ（光源サイズ）に制限がある。特にヘッドライトなど集光レンズと組み合わせて設計されるものでは，光源が“点”であることが求められる。

チップサイズと実装方法によってパッケージの光源サイズが決まる。

### 2 - 5 . コスト

パッケージにおけるチップコストはチップ単価と搭載数で決まる。そのためチップコストを下げるには 搭載数を削減する方法 チップの原価を低減する方法がある。

チップの発光効率を高めた場合，パッケージあたりの搭載数が削減できる。または，その特性アップ分だけチップサイズを縮小でき，チップの原価低減が可能となる（図 - 3）。

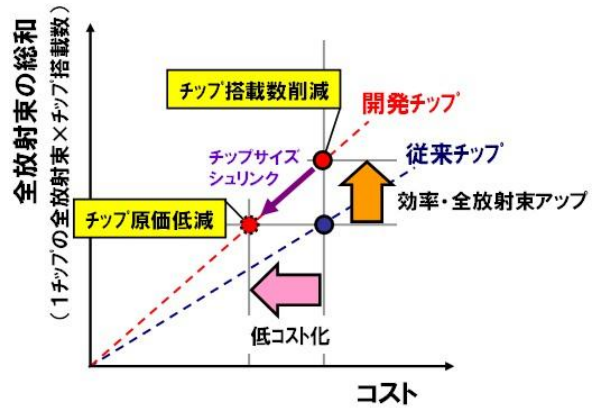
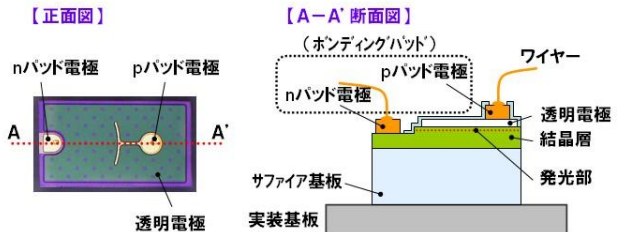


図 - 3 コストと発光効率の関係

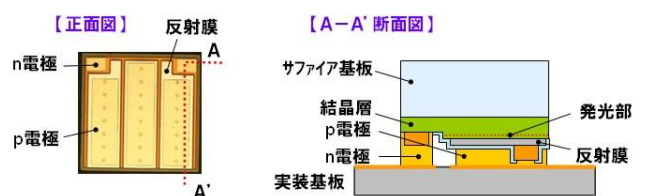
## 3 . LEDチップの種類と構造

LEDチップには，その実装方法の違いからフェイスアップチップ（以下，FUと表記）とフリップチップ（以下，FCと表記）が存在する。以下にこの2種類のチップについて説明する（図 - 4）。

#### フェイスアップチップ(FU)



#### フリップチップ(FC)



	フェイスアップチップ (FU)	フリップチップ (FC)
長所	<ul style="list-style-type: none"> <li>ワイヤーボンダーで実装可能</li> <li>チップ化工程がシンプル</li> <li>低コスト</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>放熱性能が高い</li> <li>大電流を投入で高い全放射束</li> <li>高密度搭載が可能</li> </ul>
短所	<ul style="list-style-type: none"> <li>放熱性能が低い</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>チップ化工程が複雑</li> <li>実装方法が特殊</li> </ul>

図 - 4 FUとFCの比較

FUはチップ発光面上に透明電極とボンディングパッド電極を形成したものである。チップを実装基板とペースト接合した後、ワイヤーボンディングと樹脂封止をする工程で済むため、白色LEDにとって一般的な構造である。また、チップ化工程がシンプルなので低コストで製造でき、多くのチップメーカーがこの構造を採用している。

一方、FCはチップ発光面上に反射膜を形成し、実装基板には電極部の全面で直接接合される。ワイヤーが不要で、チップを高密度に実装でき光源サイズを縮小できるメリットがある。

またFUと異なり、放熱を妨げるペーストを介さないため放熱性能が高く、大電流を投入できる。

## 4. フェイスアップチップ (FU)

### 4 - 1 . FUの課題

これまでに当社で開発されてきたFUチップは、ボンディングワイヤーと接続するための機能を持たせたp/n対のパッド電極と透明電極を備えたものである。このパッド電極は、透明電極と電氣的に接合しているものの、この構造ではパッド電極部分での光吸収が大き（光取り出し効率の低下） p/nパッド電極の電極間距離が大きい（駆動電圧の増加） 電極付近に電流が集中し発光が偏る（耐久品質の劣化）という課題が存在する。

### 4 - 2 . 課題解決の方法と新電極設計の提案

以上の3点の課題を解決するため、ドット電極という新電極設計を提案した。

ドット電極とは、 p/nパッド電極からボンディングワイヤーとの接続機能を分離し、電極をチップ内にドット状に配置したものである。電極間は配線によって電氣的に接続させた。

この設計は、電極の均等配置によって電流集中を緩和できる。またドット状にすることで面積を最小限にし（図 - 5 ）、光取り出し効率の低下も抑えられる。

さらにこの設計ではp電極とn電極の間隔が短くなっている。よって、チップ内の直列抵抗を抑え、駆動電圧を下げることができ、発光効率を上げる効果がある。

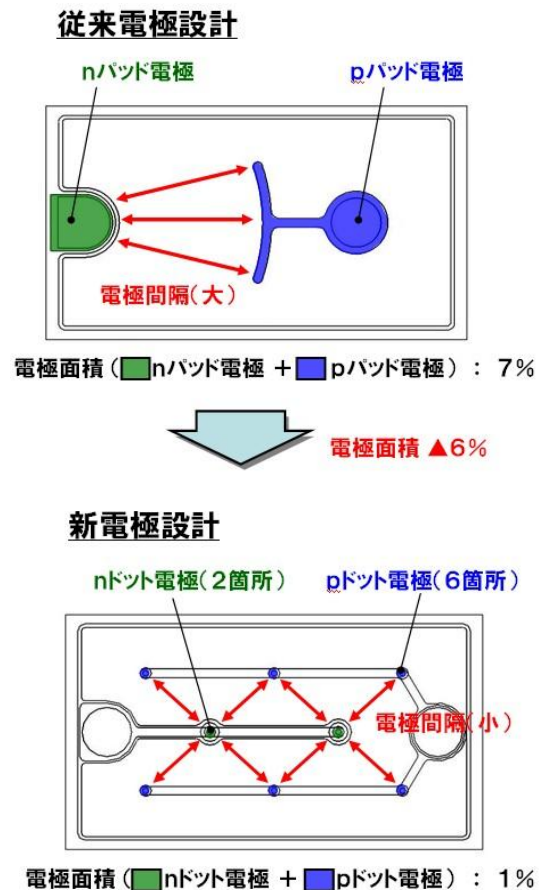


図 - 5 従来電極設計と新電極設計

### 4 - 3 . 新電極設計の効果

新電極設計を従来の設計と比較すると、発光効率は80mAで約17%向上している（図 - 6）。これはチップ内部での光吸収が減り全放射束が向上したことと、駆動電圧を下げられたことによる。

また、新電極設計では高電流を流しても駆動電圧が上がりにくい。そのため“Droop”（高電流にするほど発光効率が低下すること）が小さくなる。従って、従来電極設計からの発光効率の上がり幅は高電流になるほど大きい。

その他、電極をチップ全体に均一に分散したことで、発光面内における電流の集中が緩和され、発光の偏りが軽減した。



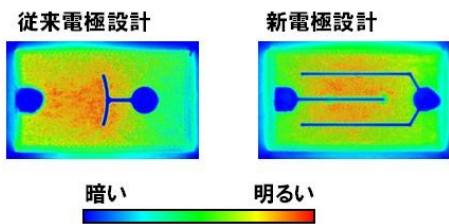
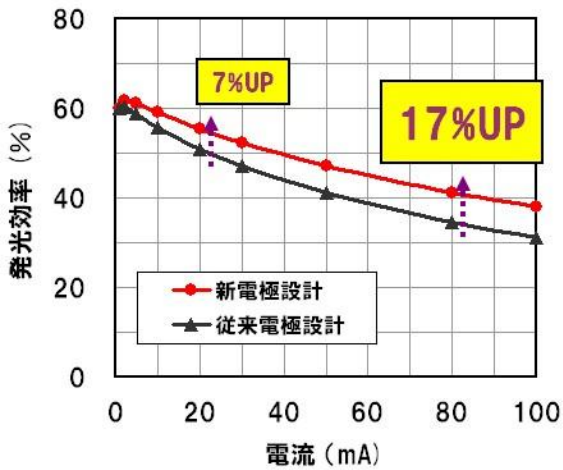


図 - 6 発光効率，発光均一性の比較

4 - 4 . 応用製品の紹介

本開発で高効率化を達成したことにより採用された製品の一部を写真 - 1 に示す。応用製品としてはLED電球が挙げられ，照明分野の中でも特にコストダウン要求の強い製品，光源サイズに余裕のある製品に使われている。



写真 - 1 FUの応用製品例

5 . フリップチップ (FC)

5 - 1 . FCの特長

FCの主な長所は放熱性能が高く，高電流で高い全放射束が得られることと，高密度実装が可能なことである (図 - 4) 。

放熱性能を評価するため，チップとその実装方法以外の条件を揃え，電流ごとのジャンクション温度 (以下， $T_j$ と表記) を測定した結果を図 - 7 に示す。投入電流が高くなるとFU，FCともに $T_j$ が高くなるが，その変化量は異なる。電流に対する $T_j$ の上昇度合い  $T_j / I_f$ は，FUが1.3，FCが0.5でありFCの方が低い。つまりFCは投入電流を上げて使用しても温度上昇が抑えられる。

放熱性能の差は，高電流での全放射束に影響する。図 - 2 で示したように $T_j$ が高くなると全放射束は低下するため，FUに比べ温度上昇しにくいFCは，特に高電流で高い全放射束が得られる (図 - 8) 。

加えて，第4項で述べたようにFCはワイヤーが不要なため，チップを高密度に実装できる。

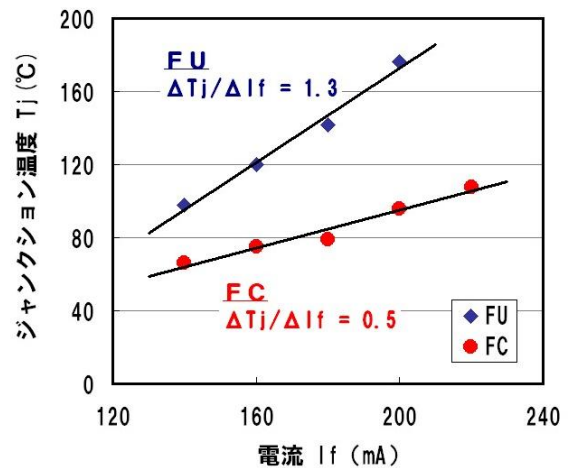


図 - 7 同条件におけるジャンクション温度比較

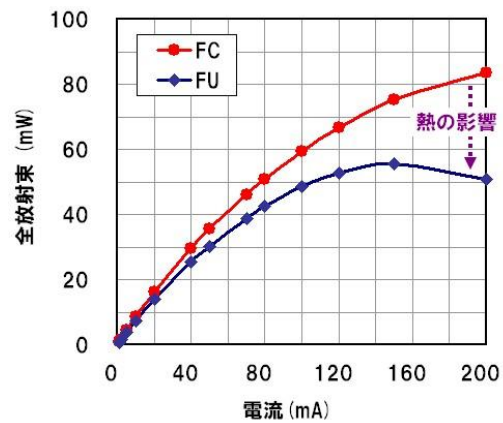


図 - 8 小型サイズチップ，同条件における全放射束の比較

### 5 - 2 . 応用製品の紹介

FCの特長を活かした製品の一部を写真 - 2 に示す。応用製品としてはダウンライトが挙げられ、照明分野の中でも特に光源サイズが小さく大光束が必要な製品に応用されている。



写真 - 2 FCの応用製品例

これはFCの特長である放熱性の優れていること、構造上ワイヤーボンディング無しに、高密度に実装できるためである。製品の光源サイズが小さい場合にはFCを用いたパッケージを適用することでその特徴を活かせる。

#### 提案 「コスト」重視の場合

上記と同様にFU 1個のコストを”1”に指数化し、両者を比較するとFU (4個) : FC (1個) = 4.4 : 6.3となる。FCは光源サイズの点で有利だが、大型で部材費を要することや、特殊な実装工程を必要とするため高コストになる。これに対し当社の高光度FUを用いれば、わずか4個で明るさを満足できるため、FCよりも30%コスト低減した光源を実現できる。コスト重視の製品にはFUを複数適用することでメリットを出せる。

## 6 . 照明用チップの活用方法

4, 5項において当社の高光度照明用チップ (新電極設計) について解説した。本項ではFCおよびFUの特徴を活かした、照明への活用方法について提案する。

図 - 9に、FC (大型サイズ, 1個) とFU (中型サイズ, 1~5個) の光度比較を示す。図のX軸は搭載個数, Y軸を全放射束 (明るさ) とし、パラメータとなる投入電力は0.25~1.5Wである。この図より、FUはいずれの投入電力においても搭載数を増すことで高光度化できることがわかる。ここで、製品の必要とする光度を450mWに仮定すると、その条件を満たすのは投入電力1WにおけるFC1個とFU4個となり、同等の明るさで2つの形態が成り立つ。どちらの形態を選択するかは開発要件で示した「光源サイズ」と「コスト」の重要度により決定される。

2つの要件におけるFUとFCの比較を表 - 2にまとめた。以下、それぞれの重要度に対する我々の提案について説明する。

#### 提案 「光源サイズ」重視の場合

製品の光源サイズが小さいと、その重要度は高くなる。サイズ比較のためにFU1個の光源サイズを”1”に指数化すると、FU (4個) : FC (1個) = 1 : 0.7となり、同じ明るさにおいて、FCはFUよりも30%も小さい光源サイズで適用可能である。

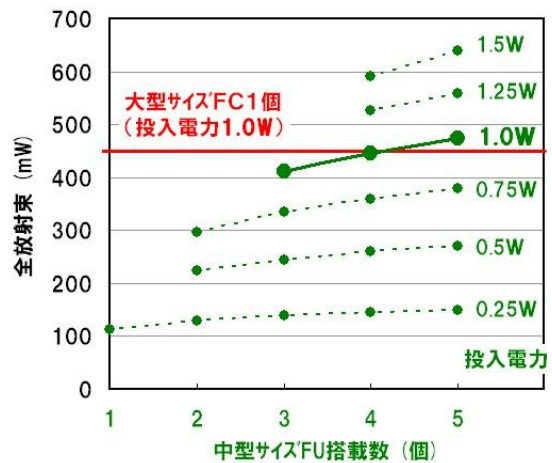


図 - 9 FC 1個搭載とFU複数個搭載の全放射束比較

表 - 2 大型サイズFCと中型サイズFUの光源サイズ, コストの比較

	中型サイズFU 1個搭載	中型サイズFU 4個搭載	大型サイズFC 1個搭載
投入電力	0.25W	1.0W	1.0W
全放射束	112.5mW	450mW	450mW
チップ効率	45%	45%	45%
光源サイズ指標 (試算)	-	1.0	0.7 <span style="border: 1px solid black; padding: 1px;">光源サイズ小</span>
チップコスト指標 (試算)	1.0	4.0	6.0
実装コスト指標 (試算)	0.1	0.4	0.3
トータルコスト指標 (試算)	1.1	4.4 <span style="border: 1px solid black; padding: 1px;">低コスト</span>	6.3



この例では光度450mWを用いたが、もちろん他の光度条件においても成立し、製品仕様によりチップの特徴を活かした照明用チップを提案可能である。

## 7. おわりに

本報告では、照明用LEDチップに採用している新電極設計を例に挙げ、当社の優れたチップ設計による高光度化技術について解説した。また、照明用途で特に重要となる開発要件「光源サイズ」、  
「コスト」に視点を置き、FCおよびFUの有する特徴が、製品のメリットになる活用方法を提案した。これらの技術はいくつかの製品に採用され、一般家庭や店舗照明などに応用されている。

最後に、今後ますますLED照明が普及していく過程において、これまでの概念を超えた新しい照明が次々に派生するものと考えている。我々チップ開発者は技術的視点だけでなく、照明の最終形態に関する情報にアンテナを張り、ニーズを先取りした、顧客に満足頂ける照明用LEDチップを開発し、市場へ提案していきたい。

# 報 告

## LED照明パッケージの開発とその応用

出 向 井 幸 弘 <sup>\*1</sup> , 田 嶋 博 幸 <sup>\*2</sup>

### Development of LED-Package for Lighting Applications

Yukihiro Demukai<sup>\*1</sup>, Hiroyuki Tajima<sup>\*2</sup>

#### 要 旨

LED照明の普及が始まってきた中で、豊田合成として照明用のパッケージ開発を進めている。まずは既存光源の置き換えが進む中、電球、蛍光灯といった既存光源に対応したパッケージ開発を進め、ラインナップを揃えてきた。

その中でも、高効率、信頼性の高いパッケージ開発を行い、技術ポテンシャルの高い製品により他社との差別化を図ろうとしている。この技術について報告する。

まず一つ目の高効率については、豊田合成の高効率チップの使用はもとより、パッケージ設計においてもSQC手法を駆使したパッケージの最適設計を行っている。また、信頼性の向上については、他社にない独自の技術開発により放熱性の高い設計とそれを造り込む生産技術により具現化した。

#### Abstract

While LED lighting had begun to increase and spread, TOYODA GOSEI has been developing LED package design for general lighting. Replacement of conventional lighting source has already started, we had created LED package line-up to replace conventional light bulb, fluorescent lamp, and so on.

Improving efficiency and reliability have been focused especially, which would differentiate us in the technical point of view. In this report, we would like to show some points of these technologies.

Improving efficiency had been progressed not only by integrating our high-efficient LED chips, but also by combining our SQC techniques to make optimum LED package design. Improving reliability contains our unique heating management design and its manufacturing technique to achieve higher heat release.

<sup>\*1</sup> Yukihiro Demukai オプトE事業部 第2技術部

<sup>\*2</sup> Hiroyuki Tajima オプトE事業部 第2技術部

## 1. はじめに

LEDが開発された当時、「将来的には照明用にLEDを！」というような夢がLEDメーカーで語られていたが、昨今ではLED照明が当たり前のように使われる時代になった。LED照明の立ち上がり初期はデザイン面の斬新さを狙って懐中電灯、テーブルランプ、ダウンライトなどの分野が主体に始まった。次に、白熱電球の置き換えから一般家庭へのLED化が一気に進み、更には蛍光灯などの光源がLED化され始め、LED照明は身近な存在になってきている。

LED照明は大きく、LEDモジュール（光源部）、電源部に分かれている。LEDモジュールは、半導体デバイスとしてのLEDパッケージが使われているものが主流である。LEDパッケージとは、図-1に示すような構造をしており、LEDチップを保護し、電気的接合を安定的に保持するために、金属や樹脂、セラミックなどを用いて設計・製造されたものである。パッケージングには、

- 1) 光取り出し性の向上（高効率）
- 2) 構造安定性の向上（高信頼性）

が求められ、要求性能を継続的に高めるために、LEDパッケージング技術開発を日々進めている。本報では、その設計技術や応用事例について報告する。

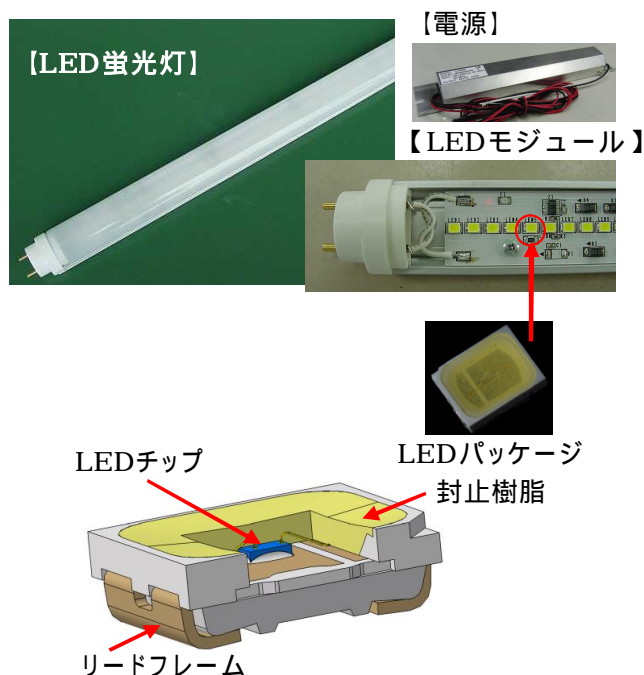


図-1 LED照明の例

## 2. LEDパッケージのラインナップ

照明には、これまでの歴史のなかで様々な光源が使われてきた。古代～近代にかけての木、油、ガスの燃焼から、現在は電気によるフィラメントの発光、放電（アーク）による発光および蛍光体の発光が主流であり、白熱電球、蛍光灯、ハロゲンランプ、水銀灯、HIDのように明るさや発色など特徴の異なった光源が、それぞれの用途に応じて使用されている。現在、これらの既存光源に対しLEDが置き換わるという動きが世界中で進んでいる。効率、寿命、点灯開始時間（スイッチを入れたと瞬時に明るくなる）、水銀レスなど、それぞれの光源の弱点を補える特色がLEDに備わっているからである。既存光源の明るさと、豊田合成の各既存光源に対応するLEDパッケージのラインナップ全体像を表したものを、図-2に示す。

白熱電球は、最初にLED化が先行した光源である。発光効率 約15%と低いことがLED化を加速した要因で、LEDの特徴である高効率と長寿命をうれしさとして置換えが一気に進んだ。ただし、依然として価格差は大きく、低価格化が更に求められる領域ではある。LEDパッケージとしては、ミドルクラス（投入電力 0.5～0.8W程度）のものが主流で用いられ、その効率と価格のバランスが重視されている。

現在LEDが次に進みつつある光源が蛍光灯である。白熱電球よりも効率が高い蛍光灯をLEDに置き換えるために、LEDも高効率のものを搭載することを求められることが多い。そのため、高効率化に有利なレギュラークラス（投入電力 0.1～0.5W）のパッケージが使われることが多い。これらのパッケージは、1個の明るさ（光束、lm）は小さいものの、器具内に多数実装することで、求められる明るさを達成させる。蛍光灯は、白熱電球と比較して、LEDを配置できる（実装できる）面積が大きいため、このような設計が可能となる。

蛍光灯用LEDモジュールの低コストを目指してLED個数を極端に低減させる考え方も勿論存在はするものの、パッケージ1個1個を明るくさせる必要がある。最終製品としては、LED発光の粒々感が強く既存の蛍光灯とは異なる見えとなり、感性面で嫌厭される場合がある。

ハロゲンランプは小サイズで一定の明るさを確保する必要があるため、ハイパワークラス（投入電力 1～3W）のパッケージを使用することが多

い。ハロゲンランプには光に指向性を持たせたい用途が多く存在し、レンズやリフレクターの光学設計をより容易にさせる点からも、小型で出力の高いパッケージが好まれる。ただし、小型でありながら投入電力も高いため、耐熱・耐光に対しての要求も高い。

水銀灯，HIDランプにおいては，二千～数万lm程度の，前述の既存光源とは桁の異なるレベルの明るさが必要である。レギュラークラスあるいはミドルクラスのLEDチップを数十～数百個搭載したCOB（Chip on board）と呼ばれるパッケージを使用することで，LED化が可能となる。店舗用のスポット光源では1個のCOBで対応させる場合が多く，高天井照明，道路等など更に明るさを必要とする用途では複数個のCOBを使用することで対応させている。明るさ以外のLED化メリットとして，点灯応答性の良さや調光可能な点も，実際の顧客の声として挙がっている。

### 3．LEDパッケージの開発

LEDパッケージ開発の主体は高効率化および高信頼性化であるが，代表事例をそれぞれ一つずつ説明する。

高効率化は，パッケージ形状設計による効率の向上についてであり，試作レス化の開発ツールとして，CAE，光学シミュレーションおよびSQC手法の積み重ねにより，近年その予測精度は格段に向上した。開発期間の短縮を図ることが出来た一方で，高効率化のための適切な形状設計を実施できた事例である。

後者の高信頼性化は，フリップチップ実装設計および生産技術開発による寿命向上の事例である。豊田合成ならではの高出力フリップチップを用い，断線の原因となりやすいワイヤーボンディングをチップ実装から廃止し，AuSn共晶はんだを用いた独自の接合技術を開発することにより高放熱化および長寿命化を実現させた事例である。

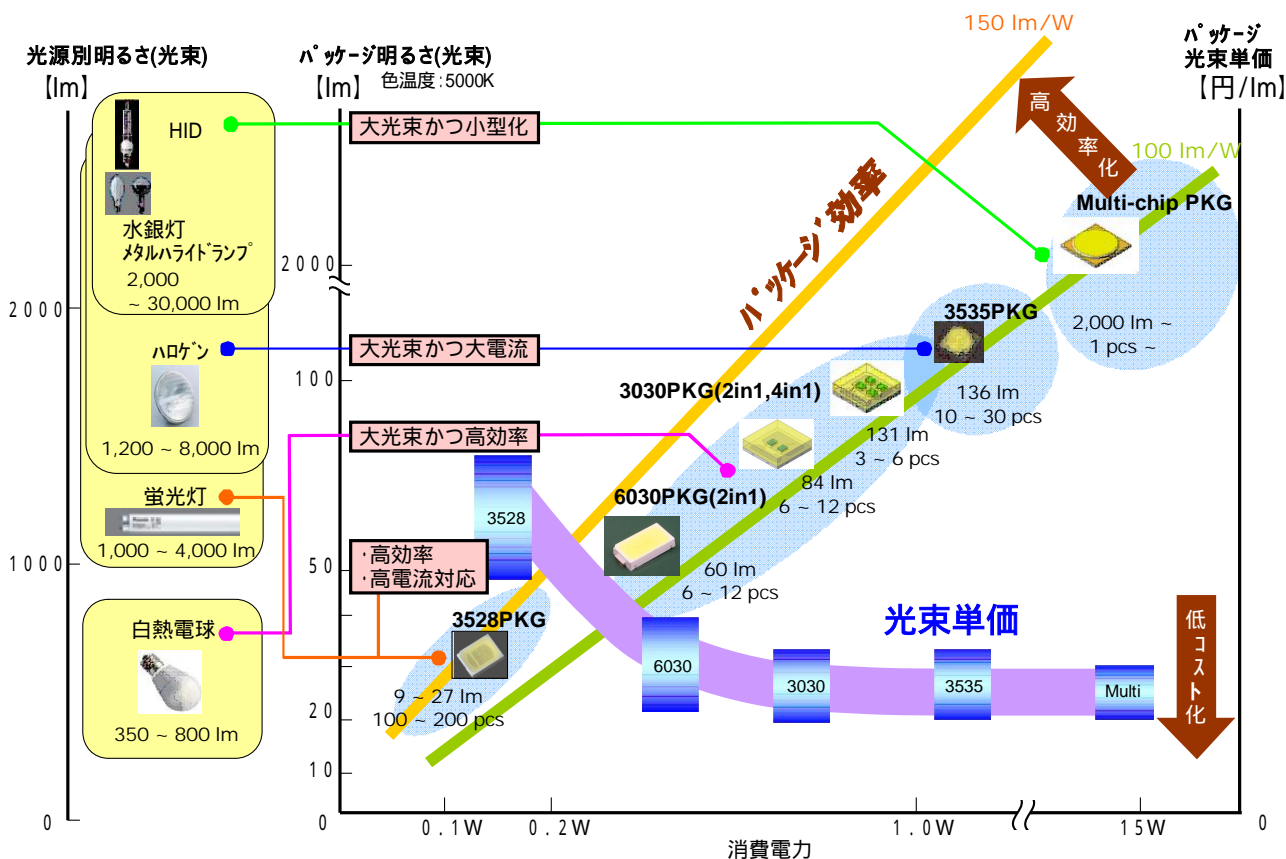


図 - 2 LEDパッケージラインナップ  
既存光源の明るさと，豊田合成の各既存光源に対応するLEDパッケージのラインナップ全体像

### 3 - 1 . 高効率SMDパッケージ開発

一般的な白色LEDパッケージは図 - 3 の構成をしている。電流はリードフレーム及びワイヤを経由してLEDチップへ供給され、LEDチップは青色発光する。発光した青色光の一部は蛍光体により黄色光へと変換し、青色光と黄色光が混合することで擬似的に白色光が発せられる。これらの混合光を如何に効率良く外に取り出すかを考慮して、パッケージの構造および部材配置を設計する。

効率は投入電力あたりの光束（明るさ）であり、次式で示される。

$$\text{効率} = \frac{\text{光束 [lm]}}{\text{投入電力 [W]}}$$

効率の値が高い程、少ない投入電力で所望の明るさを得ることが出来、各LEDメーカーは高効率化を目指した技術開発を継続して鋭意推進している。一般的に最終的な照明器具製品としての効率は100lm/W以上が必要とされる。LEDパッケージやLEDモジュールは照明器具に組み込まれるため、照明器具での取り出しロスを考えて、LEDとして更に高い150lm/W以上を求められている。

以下、実装面積 3.5 x 2.8mmのパッケージ（以下 3528パッケージ）を実例として、150lm/W以上の効率を達成したパッケージ開発事例を示す。

#### 3 - 1 - 1 . パラメータの選定

高効率化の方策主体は、如何に光束を高めることが出来るかであり、パッケージ設計面では、如何に多くの光をパッケージから取り出すかがポイントになる。過去の検討によりパッケージの種類の違いによってパッケージからの光取り

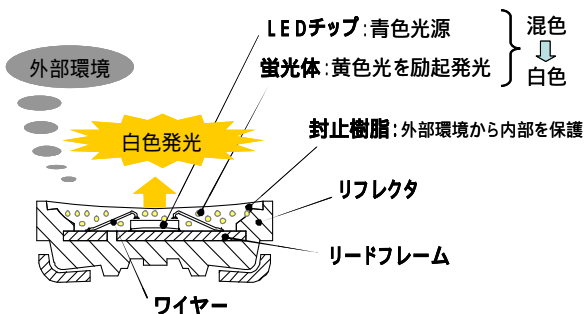


図 - 3 白色LEDパッケージの構成

出し量が異なっていることが確認されているので、光の挙動はパッケージ形状と大きく関わっていると考えられる。光取り出しについての推定メカニズムを図 - 4 に示す。光はその進行経路によって、パッケージ内での減衰を伴った反射や、封止材/空気（パッケージ外部）界面での屈折や全反射が生じ、各過程において光量の損失が発生すると考えられる。

形状を決定する幾つかのパラメータの中から、推定メカニズムを元に、図 - 5 に示す4つの因子A~Dに絞り込んだ。

#### 3 - 1 - 2 . 中心複合計画と応答曲面解析

本検討はパラメータの最適化を目的としており、最適値の探索に適している、中心複合計画と応答曲面解析を用いた。中心複合計画は、3水準系の実験において、1次の主効果と1次×1次の交互作用、および2次の効果が分かる実験計画の手法である。図 - 6 に示すように、角の実験点、軸点、中心点に配置することで、直交実験にくらべて実験点を少なくできるメリットがある。

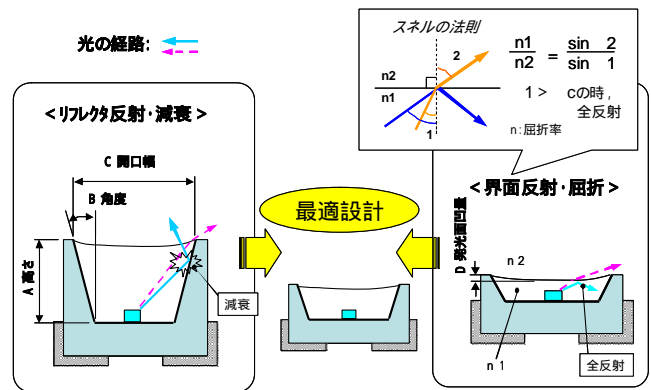


図 - 4 推定メカニズム

実験条件	
特性	: 光束[lm] (望大特性)
因子	: A)高さ A <sub>1</sub> ~A <sub>2</sub> [μm] B)角度 B <sub>1</sub> ~B <sub>2</sub> [°] C)開口幅 C <sub>1</sub> ~C <sub>2</sub> [mm] D)発光面凹量 D <sub>1</sub> ~D <sub>2</sub> [μm]
計画	: 中心複合計画(直交計画)
点	: 1.41
	中心点での繰り返し:1回

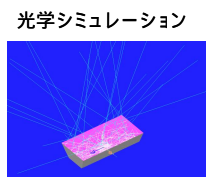


図 - 5 実験計画とパラメータ



応答曲面解析は予め設定したモデルにおいて、パラメータの影響度を定量的に評価したり、最適条件を探索し予測値を導いたりする手法である。図-7に示すように、得られた予測式より、実験水準以外にも最適条件が探索できるメリットがある。

### 3-1-3. 実験計画の立案

選定したパラメータA～Dについて、中心複合計画にて実験計画を立案した。中心複合計画には直交計画や面中心計画などの手法があるが、計画の直交性を持たせるため直交計画を選定し

た。今回、計画の立案および結果の計算は解析ソフトにて行った。なお、実験はCAE（光学シミュレーション）で計算するため繰り返し誤差はなく、全25回の実験となる。

### 3-1-4. 解析結果

25回の実験について光学シミュレーションを行い、アウトプットした光束値で解析を行った。図-8に示すように、分散比より各パラメータの影響度は定量化される。

因子B「角度」と因子C「開口幅」、因子D「発光面凹量」には1次の主効果が認められ、因子A「高さ」には2次の効果と他因子との交互作用が確認された。

応答曲面解析の結果を図-9に示す。図中の望ましき関数D(x)は0～1の値をとり、応答の値と対応している。この値は1に近い方ほど応答が望ましいことを示すものであるが、本解析では応答である光束は望大特性のであり、光束が大きくなるほど望ましきは1に近づいている。今回、新たに因子A「高さ」には極大点が存在し、とくに因子D「発光面凹量」によって極大点が移動することがわかった。A「高さ」の極大点が移動することについて、発光面凹量が小さくなれば入射角が小さくなるので、全反射し

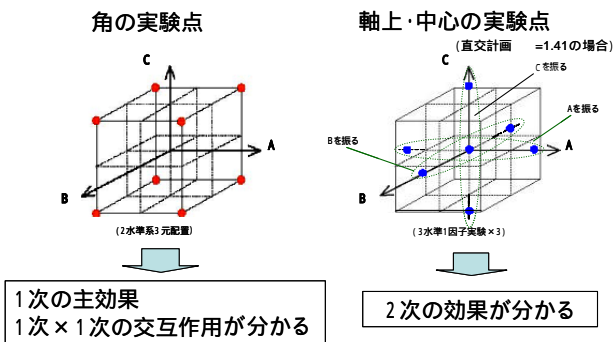


図-6 中心複合計画

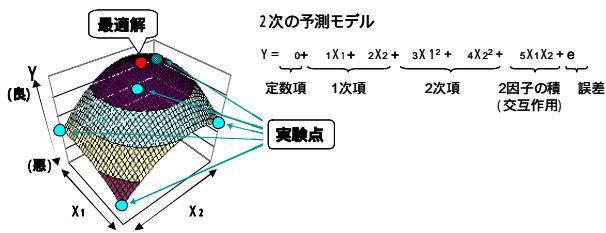


図-7 応答曲面解析

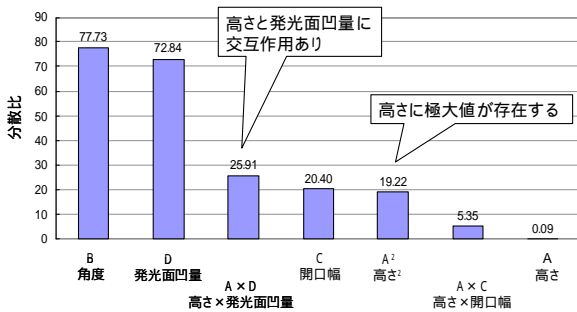


図-8 各パラメータの影響度

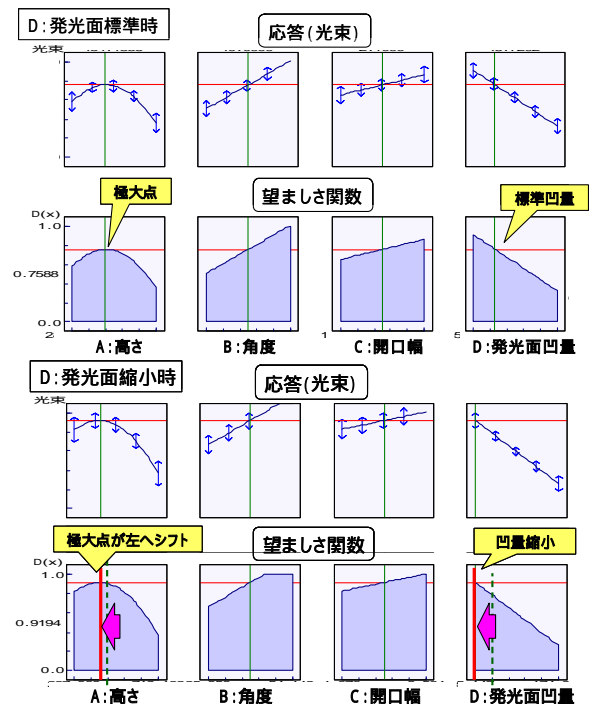


図-9 応答曲面解析結果

難しくなるといった図 - 4の「スネルの法則」に基づく推定メカニズムは正しいと考える。

### 3 - 1 - 5 . 検証および設計展開

以上の解析結果をもとに、一部の代表的な水準で試作を実施し、効果の確認を実施した。B「角度」とC「開口幅」は交互作用がなく、単独での効果であることから、本検討ではA「高さ」とD「発光面凹量」の関係に着目して試作実施し結果を得た。

図 - 10の試作結果により、発光面凹量により光束の極大点は移動し、解析結果と同様の傾向であることが現物確認できた。CAEおよびSQC手法を組み合わせた解析による事前検討の結果の有用性が立証された。

実際に製品設計を行う際は、成形性や封止精度などの要件を考慮する必要があるため、それぞれの値を微調整しながら更なる最適化を行い設計へと反映した。結果として、154lm/Wの効率（従来比 19.1%の効率向上）を得ることにより、目標とする効率150lm/Wを達成することができた。（図 - 11）

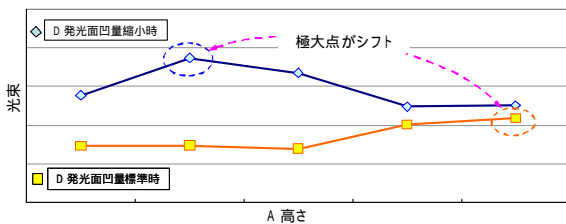


図 - 10 試作確認結果

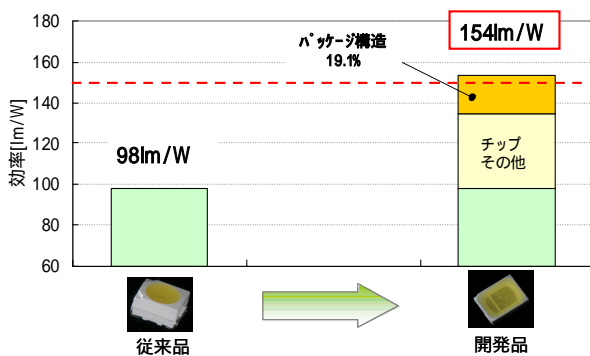


図 - 11 達成状況

### 3 - 2 . 高信頼性セラミックパッケージ

LEDパッケージの劣化要因として、光による劣化と、熱による劣化の2つが挙げられる。この2要因を如何にマネジメント出来るかが設計的なポイントである。このためには、劣化部位や構成部材の特性を正確に把握し、劣化モードを詳細に解析することが重要である。解析結果を元にして、高信頼性（長寿命化）に向けたアプローチとして、適切な構造設計および部材選定による放熱性や耐光性を高めることが挙げられる。

前述の3528パッケージのようなレギュラークラス領域およびミドルクラス領域のLEDにおいては、長寿命化を過度に追及しすぎることなく、高効率化とコスト成立を念頭に、顧客での実使用領域での寿命確保を目指した設計を心がけている。使用する樹脂材料や、放熱に寄与するリードフレームの材料、パッケージ構造設計などをポイントとして目標寿命の達成を継続的に図っている。

一方、大電流（ハイパワークラス）領域においては、図 - 12に示すようなセラミック基板を用いたフリップチップパッケージを開発しているが、AuSnによるLEDチップのフリップチップ実装技術による長寿命化が技術的なポイントである。



パッケージ	3.5×3.5×2.0mm
光束	136lm
効率	122lm/W
駆動電流	350mA/chip

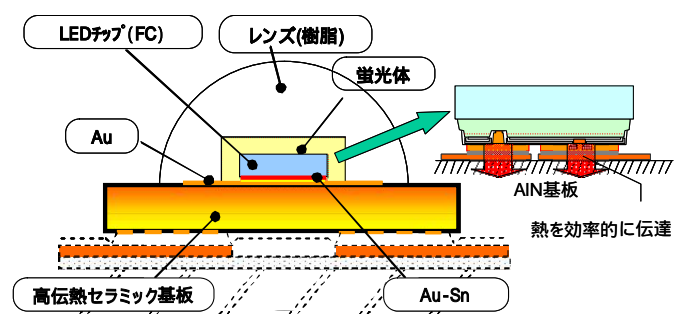


図 - 12 フリップチップパッケージ

構成としては、セラミック基板の上にLEDチップが実装されている。LEDチップは蛍光体含有のシリコン樹脂、および、レンズ状に成形したシリコン樹脂で囲われている。セラミック基板にはAuメッキ層を設けており、LEDチップ電極に蒸着したAuSnを介して、LEDチップは発光層をセラミック基板側に近い位置に実装

している。このようなフリップチップ実装により、発光層とセラミックが近接することで高放熱性を確保できた。本パッケージは、LEDチップの温度 ( $T_j$ ) が140 程度と高温な状態であっても、図 - 13に示すように、2万時間連続点灯後の光度低下は5%程度に留まる。光度残存率70%での予測寿命は6万時間以上であり、非常に長寿命なパッケージに仕上がっている。

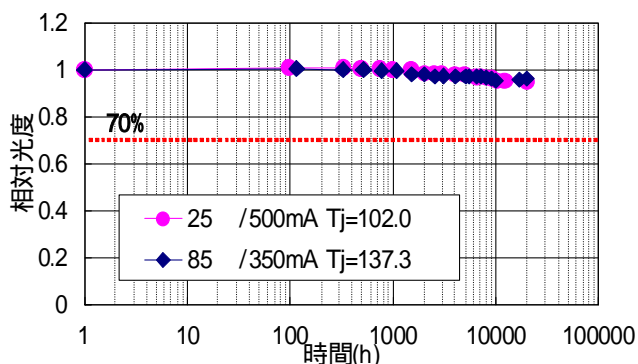


図 - 13 信頼性試験結果

LEDチップは電流密度を高くしていくことで明るさが高まっていく。一般的なLEDチップの実装方法であるフェースアップ (LEDチップの発光面を上向きにして、ワイヤーボンディングによって電氣的な接合をする：FU) では、電流密度を増しても、ある領域から次第に明るさの高まりが小さくなっていく。FU実装は、LEDチップの放熱性が低いため、LEDチップの温度上昇により発光効率が下がってしまうためである。

フリップチップ (FC) は、LEDチップの発光部分を直接セラミック基板と接合させることによって、放熱性を上げている。そのため、FUチップでは明るさ低下が起こるような電流密度領域であっても、図 - 14に示すように明るさを高め続けることができる。LEDチップの表面温度を評価すると、図 - 15に示すように、フリップチップの方が温度の面内分布が均一かつ温度自体が低いことが確認された。

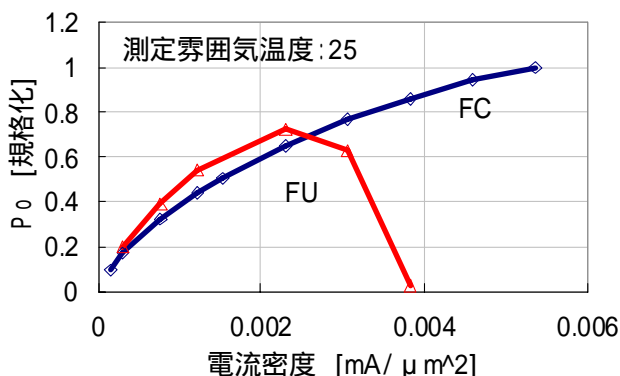


図 - 14 FUチップとFCチップの特性の違い

以上のようにLEDチップに対するストレスが少なく済む放熱性・実装方法を確保した、高信頼性を確保できる高い設計となっている。更に構成部材に無機材料を採用することにより、前述の十分な長寿命を確保した。

#### 4 . LED照明への応用

前述の高効率パッケージを用いて、LED照明に用いた例をご紹介します。2009年初頭から、主に事務所や工場での使用数量の多い、40W形直管蛍光ランプの置き換え用として、約1200mmの蛍光灯形LEDランプを検討している。

図 - 16に構成を示すが、高効率3528パッケージ192個を、プリント基板上に動作用ICとともに実装する。アルミの筐体は放熱性を兼ねており、その他にポリカーボネート製のカバー、口金部品でモジュール部が構成されている。電源部は別置きタイプであり、蛍光灯の駆動用電源と丁度置き換わるように配置できる。

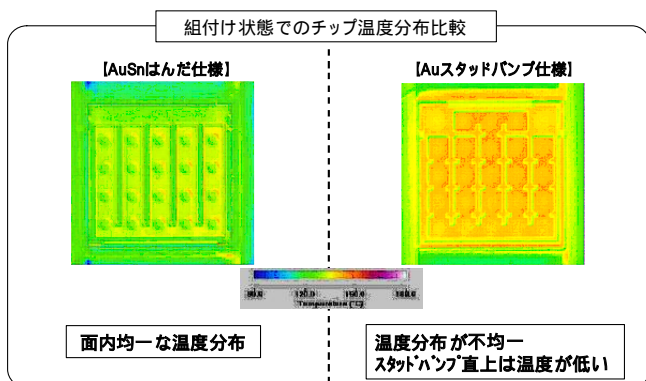
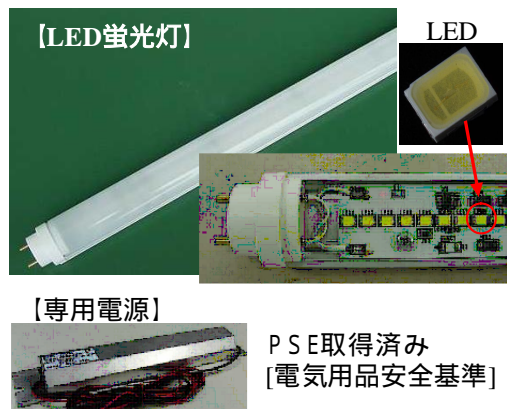


図 - 15 チップの表面温度分布

LEDの駆動用として交流から直流へ変換する回路であり，PSE（電気用品安全法）の取得もしている．性能面では，光束は約2000～2300lm，照度は450～500lx程度確保でき，約24Wで駆動する．ラピッド式の蛍光灯に対しと比較して十分性能があり，省費電力も約60%で省エネ効果（40%）も得られる．（図 - 17）



蛍光灯、電源はサンケン電気株式会社にて製造

図 - 16 LED蛍光灯

項目	開発品	蛍光灯
	40W型LED蛍光灯	ラピッド式 FLR40SN/M
光束	2,300 [lm]	1,800 [lm]
発光色	昼白色	昼白色
消費電力	24 [W]	41.7 [W]
寿命	40,000 [H]	10,000 [H]
コスト	6,000 [円]	500 [円]

図 - 17 LED蛍光灯とラピッド式蛍光灯との比較



図 - 18 豊田合成 森町工場設置の例

この蛍光灯形LEDランプはすでに1,000本を越えて設置されており，事務所や工程内でも違和感なく使用されている．図 - 18に実施例を示す．今後，弊社の第5次環境取り組みプランにうたわれている照明のLED化の一環として増設していく計画である．

## 5. おわりに

照明として使用されるためにLEDに求められる性能は，ある一定の部分は既にほぼ満足できるものとなっているが，省エネ化に向けて更なる性能向上を求められている．一方で，現状のLED化は，従来の既存照明光源または既存照明器具などの置き換えに留まってしまう場合が非常に多い．LEDの本来の特徴である，小面積で発光でき，電気応答性も高く，調光特性も併せ持っているという点を，残念ながら十分に生かされていないのでは，というのがLED開発担当者としての思いである．今後，LEDが更に普及していく一方で，従来存在し得なかったデザイン性の高い照明など，「LEDらしさ」をより生かしたLED照明が現れてくると，LED照明は更に面白い分野になるものと期待する．

### 【参考文献】

- 1) 森 輝雄「タグチメソッドの応用と数理」  
トレンドブック
- 2) 山田 秀「実験計画法方法論 - 基礎的方法から応答曲面法，タグチメソッド，最適計画まで」  
日科技連
- 3) 立松 和夫「入門タグチメソッド」  
日科技連



# 報 告

## LEDチップの生産性向上技術開発

前田 将<sup>\*1</sup>，小西茂輝<sup>\*2</sup>

### Productivity Improvement Technology Development of LED Chip

Susumu Maeda<sup>\*1</sup>， Shigeki Konishi<sup>\*2</sup>

#### 要 旨

LED照明の市場が急速な拡大を見せており，2009年では，電球全体に占めるLED電球の数量比率は5%以下であったのに対し2011年には40%以上と月間で白熱電球を上回った月もあった。

今後，LED照明の普及は更に進む事が予測され，照明用のLEDチップに求められる性能として特に重要なキーワードは，高効率と低コストである。

LEDの発光効率（ルーメン/ワット）は，現状の蛍光灯と比較しても十分なものとなってきており，大きな課題はコスト（円/ルーメン）である。現状では蛍光灯が0.1円/ルーメン，LEDは，0.5円/ルーメンと蛍光灯に比べると大きな差があり，これを蛍光灯並の価格に下げることがLEDに求められる次の技術課題である。

そこで，豊田合成ではLEDチップの生産性向上を目的とし大口径基板（6インチ）によるLEDチップの生産技術開発を実施し2011年から生産を開始した。

本報告では，その中でも大口径基板の研磨・割断技術についての技術開発とその効果について報告する。

#### Abstract

The market of the Light Emitting Diodes (LED) and its applications has been rapidly expanded. In 2009, the ratio of the LED lamps to the entire lamps was less than 5%; in 2011 it was more than 40%. In future the spreading of the LED lamps is expected to advance. The LED chips for the general lighting, it is required the low cost and the high efficiency, and we think that these terms are the most important keywords.

The luminous efficiency of the LED lamps (lm/W) become enough compared with a conventional fluorescent lamps, however, the cost per brightness (yen/lm) is the serious issue. The cost per brightness of a fluorescent lamp is 0.1(yen/lm), on the other hand, the LED one is 0.5(yen/lm), so the decreasing the cost of LED is required.

To improve the productivity of LED-chip, TOYODA GOSEI started the large diameter wafer (6inch) manufacturing technology development and has begun production in 2011.

In this paper, we report about the large diameter sapphire substrate grinding-polishing and LED-chip separation technology developments and its efforts.

\*1 Susumu Maeda オプトE事業部 生産技術部

\*2 Shigeki Konishi オプトE事業部 生産技術部

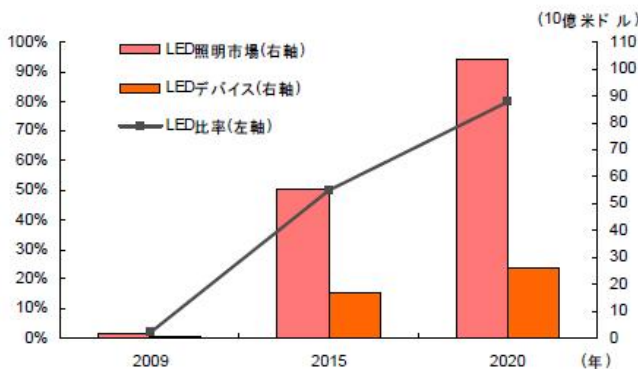


## 1. はじめに

### LED照明の価格動向

LED照明の市場が急速な拡大を見せており（図 - 1），2009年では，電球全体に占めるLED電球の数量比率は5%以下であったのに対し2010年には20%，2011年には震災による省エネ意識の向上もあり40%以上と月間で白熱電球を上回った月もあった．その普及拡大に大きく貢献したのは価格の低下である．

2009年前半ではLED電球の平均価格が7,000円以上であったのに対し，白熱電球（60W）では200円台，電球型蛍光灯でも800円台と価格では大きな乖離があった．その後3,000～4,000円台の価格に抑えられたLED電球が発売され急速に販売数量が拡大し，2011年現在では2,000円台にまでなっている．



出所：野村証券金融経済研究所

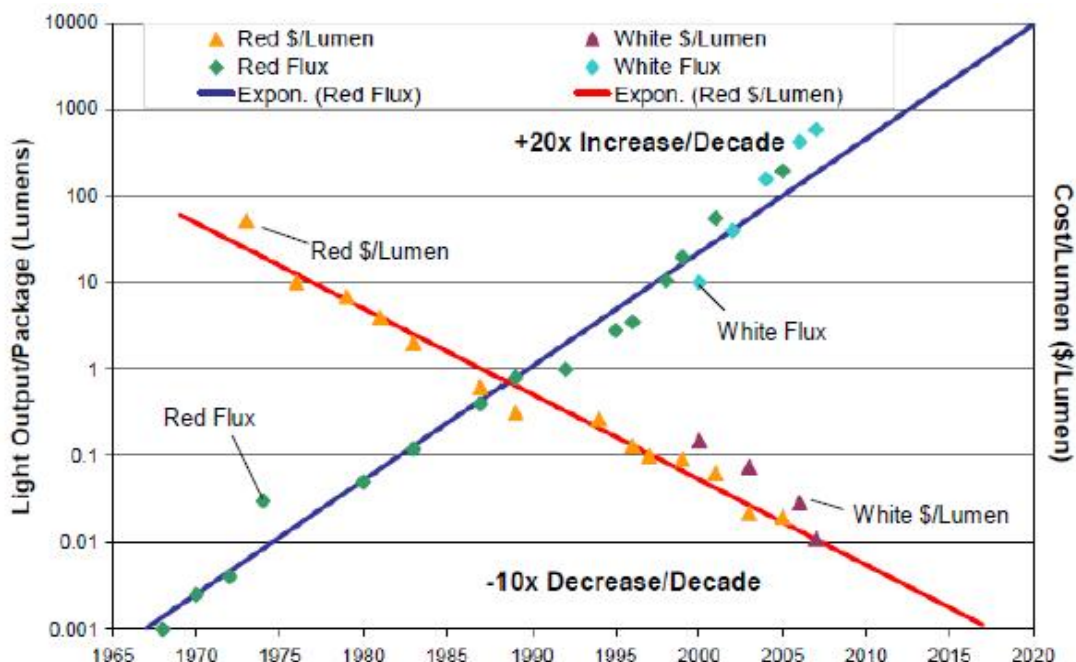
図 - 1 LED照明およびデバイス需要の予測

LEDの発光効率（ルーメン/ワット）は，現状の蛍光灯と比較しても十分なものとなってきており，大きな課題は先にも述べた価格（円/ルーメン）である．現状では蛍光灯が0.1円/ルーメンであるのに対し，LEDでは0.5円/ルーメンと蛍光灯に比べると大きな乖離があり，これを蛍光灯並の価格に下げることがLEDに求められる次の技術課題である．（図 - 2）

### 半導体生産性向上の歴史

シリコン半導体で代表される生産性向上方策の1つとして基板の大口径化がある．大口径化技術の発展により基板1枚から取り出せるチップ数が増え，生産効率を上げることが可能なためである．1990年台では基板の直径150～200mmのサイズが主流であったが，2002年から300mmがスタートし，2015年に至っては450mmになると予測される．それに伴い，シリコン半導体チップの単価も大幅に減少した．

LEDでは，発光層に使用されている窒化ガリウム（GaN）と結晶構造が類似しているサファイヤ（Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>）またはシリコンカーバイド（SiC）を基板として製作するが，その中でも特にサファイヤ基板が主流である．

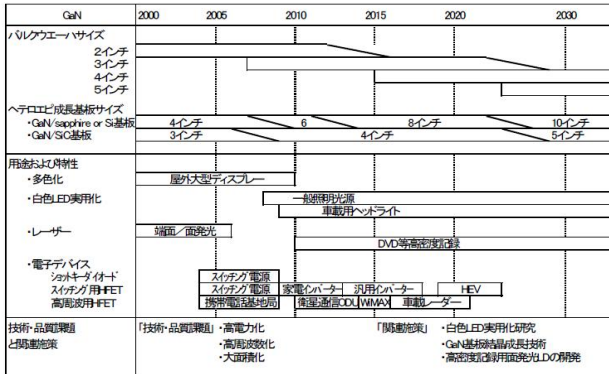


出所：Ronald Heitz, and Lumi LEDs, 米国エネルギー省

図 - 2 LEDパッケージの発光量と発光コストの推移

サファイヤ基板に於いても基板製造メーカの大口径化技術の発展に伴い、LED元年の1995年では2インチ(1インチ 25mm)、2006年では3~4インチが主流であったが近年では6インチ(150mm)化が進んでおり、2013年以降には8インチになると予測されている。(図-3)

しかし、8インチ以上の大口径基板になるとLEDで求められる仕様を満たす為にはまだ多くの技術課題が残されている。



出所：窒化物化合物半導体に係る技術戦略マップ作成に関する調査報告書  
図-3 サファイヤ基板の口径推移

サファイヤ基板製造メーカの技術開発により6インチ基板の供給が安定化されたのを受け、LEDチップ製造メーカでも各社6インチ基板の採用が進んでいる。

豊田合成においても、従来の3インチ基板から2011年には佐賀工場にて6インチ基板の本格生産が開始された。

本報告では、大口径化によるLEDチップの生産性の向上技術について報告する。

## 2. 大口径化による効果

LEDチップの市場価格は、2010年から海外LEDメーカのTV用チップの過剰供給もあり、急激に低下している。

豊田合成の大口径化(6インチ)技術では、基板1枚当たりのチップ取れ数の拡大による生産性が従来比の2.7倍に加え、基板1枚当たりに従事する生産人員数の削減が生産性向上に大きく貢献しており、生産人員数は従来比の約60%減を実現している。

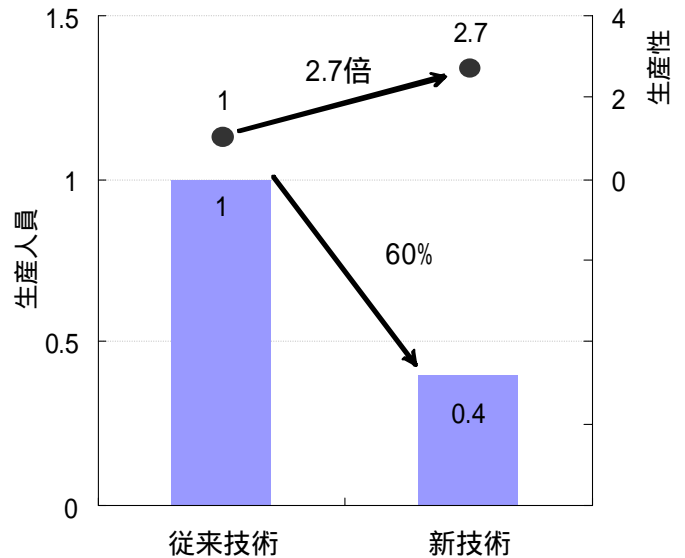


図-4 大口径化による生産性/人員削減の効果

大口径化に向けての課題：LEDチップは、発光層の結晶成長工程、電極形成工程、研磨・切断工程、電気光学特性の検査・配列工程と大きく4工程で製作するが、電極形成工程と検査・配列工程においては、先に述べたシリコン半導体で既に完成された150mm基板の装置技術をベースに工程を作りこんだ。

それ以外の工程では、LED特有の工法や使用材料の違いで大口径化による技術課題が残る。

一つは結晶を作りこむ結晶成長工程である。結晶工程では、電極から電流が均一に流れるよう各結晶層を均一に作成する必要があるが、これが大口径になればなるほど難しくなる。豊田合成では、高温下での基板温度均一化技術の開発により、この課題を解決した。

二つ目の課題は、大口径基板を薄く研磨し、チップに切断する技術。パッケージに搭載するためには、高精度に個片化されたチップが求められる。

今回は、その中でも二つ目の課題である大口径基板の研磨・切断技術について紹介する。

## 3. 従来の研磨技術

研磨工程では、結晶成長後に電極が形成されたサファイヤ基板を設計値の厚さ(100μm程度)まで薄く仕上げる工程である。

従来工法では、基板をワックスと呼ばれる接着材で保持用の基台に固定するボンディング工程、所定の厚さまで薄く削る為の研削工程、基板

の研削面を鏡面に仕上げるラッピング工程，基板を保持している基台から基板を剥し，洗浄する工程と多くの工程を経ており（図 - 5），リードタイムが長く生産性も悪い．それに加え各工程に人を配置する必要がある為，生産人員数も多くかかる．特に研削・ラッピング工程では，砥石やラッピング定番の管理が難しく，所定の厚さに仕上げる為には，各工程毎での検査・再加工を繰り返す必要があった．

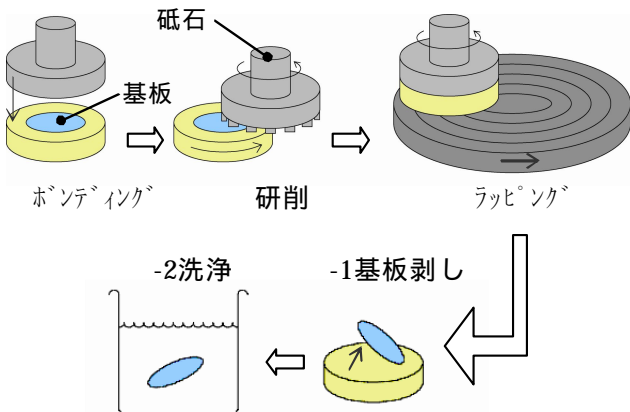
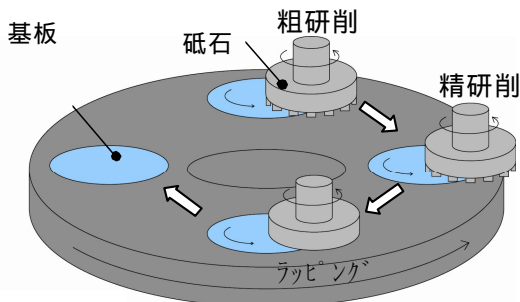


図 - 5 従来研磨工法の概要

#### 4．新研磨工法

生産性の向上と生産人員数削減を目的とし6インチの研磨工程では，自動化工法を採用した．

基板の固定方法を従来のワックスから，紫外線を照射することにより硬化し，基板を剥離できる保持テープに変更し，基板を剥し洗浄する工程を削減．研削工程とラッピング工程を連結（図 - 6.1）させ研削中にリアルタイムで基板厚さが管理可能な仕様にする事で，基板厚さの仕上がり精度を向上，更にはCtoCによる自動化工程を具現できた．（図 - 6.2）



スペース:1/4  
人員=1/6

図 - 6.1 新研磨工法の概要

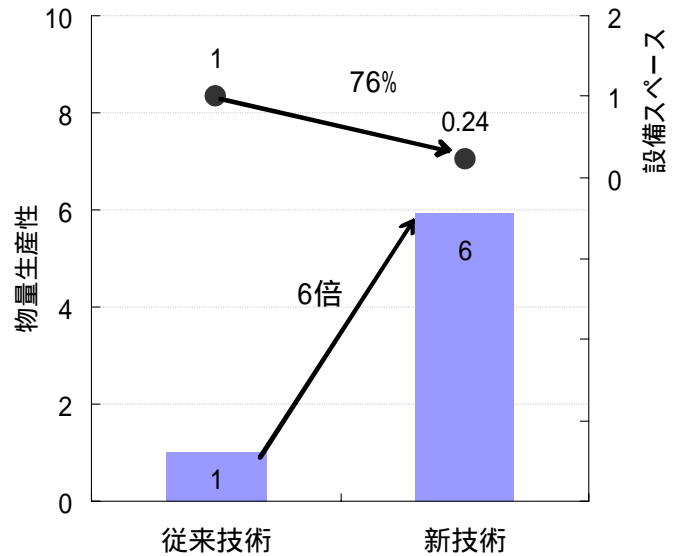


図 - 6.2 新技術の物量生産性と設備スペース

#### 5．従来の切断技術

LEDの切断工程では先述の研磨された基板の切断予定ラインに沿ってレーザーによる改質領域を形成する．（図 - 7）

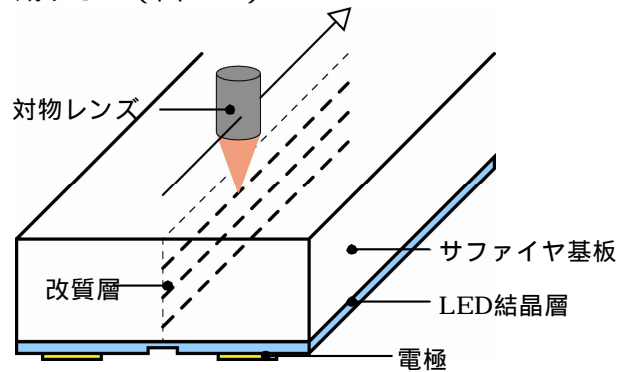


図 - 7 従来の切断工法概要

レーザーによる改質層形成後，切断予定ラインに沿って押し刃により押し割る事で個片化する．（図 - 8）

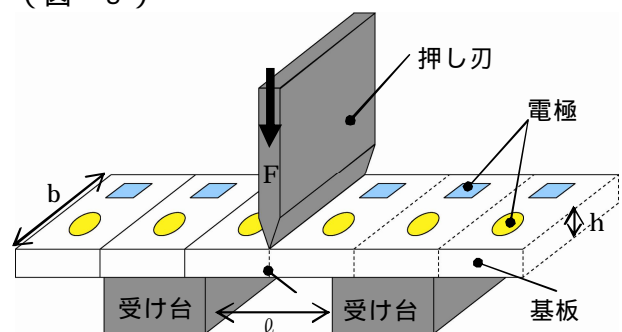


図 - 8 個片化工法の概要

豊田合成のチップ仕様は、サファイヤ厚が他社より厚い為、レーザによる改質層が多く必要でリードタイムが長い事も課題の1つである。

### 6. 新切断工法

大口径化による課題は、基板の直径が2倍になった為、押し割り時の荷重も2倍必要となり(式-1)、予定外のラインで割れてしまう事と、基板が厚く改質層が短い事により多くの層を加工する必要がある。このためリードタイムが長い。

$$\sigma = \frac{3lF}{2bh^2}$$

応力= (N)  
 荷重=F(N)  
 基板サイズ=b(m)  
 基板厚さ=h(m)  
 受け台幅=l(m)

3インチから6インチになる事で基板サイズb 2bとなり、切断できる応力をとすると荷重F 2Fとなる為、切断する為に必要な力が2倍必要となる。

式 - 1 個片化時の応力の式

そこで、改質層を延伸する事で切断荷重を低く且つ、改質層数を減らし、リードタイム短縮による投資抑制を目的として切断技術の開発を進めてきた。

レーザ加工は、発振器から出力されたレーザビームをアッテネータと呼ばれる光学系で出力調整した後、各種光学系を用いビーム形状を形成し反射ミラーで伝播させ集光レンズで集光する事でサファイヤ基板に多光子吸収を起こし基板の切断予定ラインに改質層を形成する。(図-9)

改質層の長さは、レーザの出力を上げる事で延伸する事は可能であるが、レーザによる結晶層へのダメージ、高エネルギーにより切断予定ラインから外れたクラックの発生等も背反効果で発生する。

そこで、改質層の長さは対物レンズによって集光されたレーザビームのエネルギー分布と相関がある事から、レーザビームの形状と対物レンズに着眼しSQC手法による光学系の最適化を実施した。

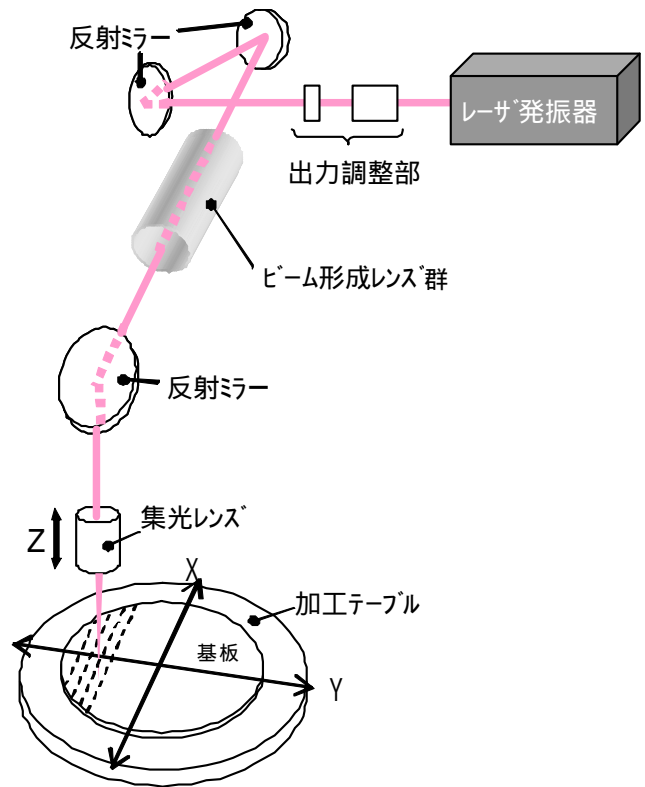


図 - 9 レーザ加工機概要

改質層を延伸する為に、先に述べた各種光学系のパラメータで実験計画法を用いた光学系の最適化を光線追跡シミュレーションにより実施し、改質層の延伸メカニズムを解明した。(図-10)

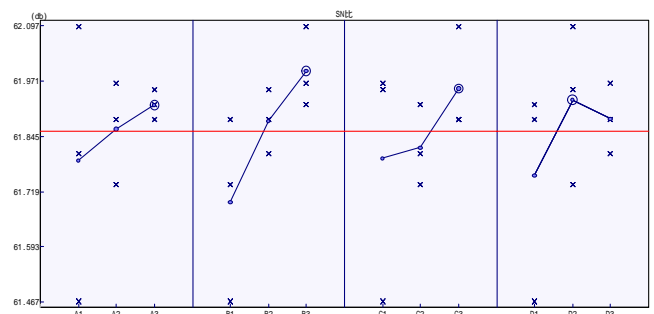


図 - 10 要因効果図

次に、実際の加工機に搭載可能な光学設計を実施し効果を確認した結果、改質層を20%延伸する事ができた。

改質層数に於いては43%削減できリードタイムを33%短縮できた為、生産性も向上し切断工程の投資額を40%削減且つ、省スペースで切断できるようになった。(図-11)



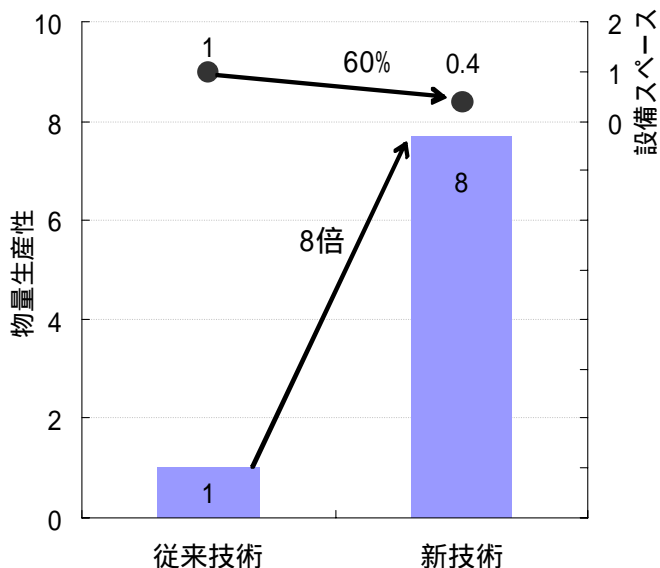


図 - 11 新技術の物量生産性と設備スペース

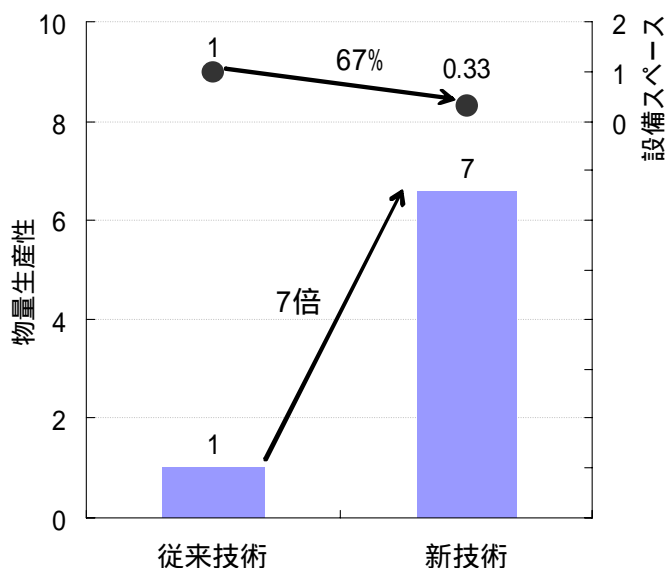


図 - 13 新研磨・割断工法の6インチ化による生産性と設備スペース

### 7. 研磨・割断工法の開発による効果

新研磨・割断工法によりLEDチップの生産リードタイムが62%減となり設備投資額も40%減、更に人員は85%減とする事が可能となった。(図 - 12)

生産性については、従来技術と比較し7倍となり、設備スペースも67%減になった。(図 - 13)

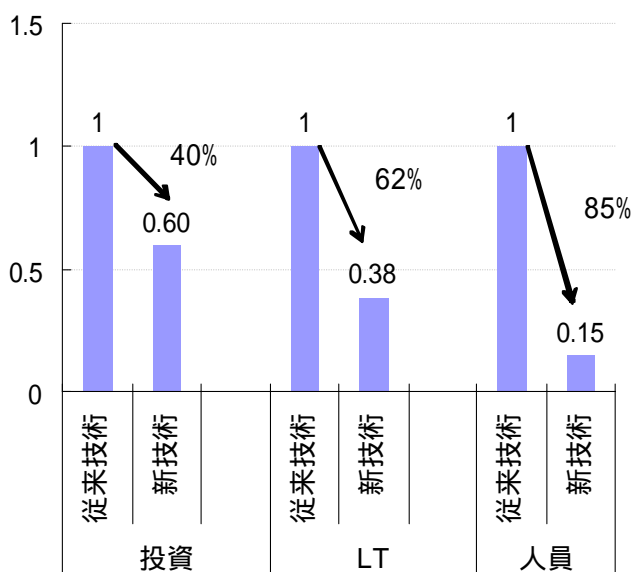


図 - 12 新研磨・割断工法の効果

### 8. おわりに

本報告では、サファイヤ基板の大口径化(6インチ)によりLEDチップの生産性向上による低コスト化が可能な技術開発について報告したが、今後もLED照明の低コスト化は更に加速される事が予測できる。このため、更なる大口径基板でも高精度に研磨・割断が可能な技術開発を推進していきたい。

#### 【参考文献】

- 1) 林 哲史「LED2011」 巨大市場の見通しから成長支える技術動向まで 日経BP社
- 2) 徳田 達彦「中部産業レポートVol7 LED関係産業」財団法人 中部産業・地域活性化センター
- 3) 横山 恭一郎 テーマ調査：LED照明～LED最後の、そして最大のアプリケーションの登場～ 野村證券 金融経済研究所
- 4) 社団法人 日本機械工業連合会 財団法人 金属系材料研究開発センター「窒化物化合物半導体に係る技術戦略マップ作成に関する調査報告書」



## 助手席乗員の前突時腹部傷害についての検討

井田 等<sup>\*1</sup>，一杉正仁<sup>\*2</sup>

### Analysis of the Abdominal Injuries in Front Seat Passengers at Frontal Impact

Hitoshi Ida<sup>\*1</sup>, Masahito Hitosugi<sup>\*2</sup>

#### 要 旨

近年，STAPP会議などで交通外傷の研究として腹部傷害やサブマリン現象が注目されているが，現在，前突用のHybrid ダミーでは腹部荷重の測定ができないため，拘束装置が腹部傷害にどのような効果を及ぼすかは十分に分かっておらず，頭部や胸部，下肢傷害に対する腹部傷害の社会的な位置付けも明確になっていない．また体型が腹部傷害に及ぼす影響も十分に研究が進んでいない．

よって本研究では，北米自動車事故データベース（NASS/CDS）の1996年～2006年の11年間における前突事故における普通乗用車及び商用車の助手席乗員3994人を対象に傷害の分析を行い，腹部傷害の現状と課題を明確にするとともに，腹部傷害の受傷要因，受傷臓器の分布を分析し，肥満体型が腹部傷害の分布に及ぼす影響について分析を行った．

その結果，助手席拘束乗員の腹部傷害の約6割はシートベルトで受傷しており，その傷害臓器は肝臓，脾臓，消化管が84%を占めていることが分かった．これらの傷害の発生臓器は乗員体型に大きく依存し，痩せ型の乗員では上腹部の傷害が，肥満乗員については中下腹部の傷害が有意に増大する傾向があることが分かった．

#### Abstract

Studies in abdominal injuries and submarine phenomenon of occupants in crashes have been frequently reported at meetings such as STAPP recent years. The mechanism of abdominal protection by occupant restraint systems is, however, not yet known adequately, as Hybrid dummy, which is currently used for frontal crash tests, is not capable of measuring abdominal load. Comparing with head and thorax injuries, the abdominal ones are less clearly recognized in the world and there are few studies in the effects of occupant obesity on these injuries

Considering above situations, we tried in this study to clarify on the present state of the abdominal injuries and tasks in the future, by analyzing injuries of 3,994 front-seated passengers for 11 years from 1996 through 2006 on the NASS/CDD database. We studied causes of the injuries and the effects of the obesity on the distribution of injured organs.

About 60 percent of the abdominal injuries that frontal passengers suffer are caused directly by seatbelts, and liver, spleen and digestives account for 84 percent of injured organs. Injuries of organs largely depend on the body mass index of occupants. Leaner occupants tend to suffer from injuries of organs located in upper abdomen, while obese ones in mid and lower one.

\*1 井田 等 セーフティシステム事業部 第1技術部 実験室

\*2 一杉正仁 獨協医科大学 法医学教室

## 1. はじめに

近年、交通外傷の研究として腹部傷害やサブマリ現象が注目されており、交通外傷研究の場で腹部のベルト傷害に関する市場事故の研究報告がいくつかなされている<sup>1)</sup>。

しかし現在、衝突用のHybrid ダミーでは腹部荷重の測定ができないため、シートベルト、エアバッグ等の拘束装置が腹部傷害にどのような効果を及ぼすかは十分に分かっておらず、頭部や胸部、下肢傷害に対する腹部傷害の社会的な位置付けも明確になっていない。

また米国人と日本人では体型が大きく異なっており<sup>2)</sup>、日本人においても年々肥満化が進んでいるが<sup>3)</sup>、肥満体型が腹部傷害に及ぼす影響も十分に研究が進んでいない。

よって本研究では、北米自動車事故データベースを用いて腹部傷害低減の現状と課題を明確にするとともに、腹部傷害の受傷要因、受傷臓器の分布を、助手席乗員の衝突事故を対象に分析した。

さらに、肥満体型が腹部傷害の分布に及ぼす影響についても分析を行ったので報告する。

## 2. 対象および方法

データソースにはNHTSAの統計管理センターNCSAが公開している北米自動車事故データベース(NASS/CDS)を用いた。

1996年～2006年の11年間における衝突事故における普通乗用車及び商用車の助手席乗員3994人を対象に傷害の分析を行った。

(なお、NASS/CDSのデータセットは毎年全米で約一万人の交通事故死傷者を扱っており、これは全米の事故死傷者320万人(1999年)<sup>4)</sup>の約0.3%に相当する。)

また、本報告での衝突とは11時～1時の衝突方向、車両前面の損傷事例を指し、一般成人の傾向を評価するため身長140cm以上の乗員を対象に傷害傾向の分析を行った。

## 3. 助手席乗員の衝突時腹部傷害の分析

### 3-1. 助手席乗員の衝突時傷害部位と重症度

衝突時、腹部傷害が外傷全体に占めるウェイトを明確にするため、上記3994人に生じた外傷を、傷害発生部位と重症度(AIS)の両面から分析した。

なお、AIS1(軽症)には軽度の擦過傷も全て含まれるため、より精度の高い解析を実施するべくAIS2(中等症)以上の傷害3416件について分析を行った。

まず、部位別、重症度別の腹部傷害の発生頻度を示す。(Fig.1)

下肢(689件)頭部(613件)胸部(611件)上肢(528件)よりも腹部(330件)は少なくなるが、AIS4(重篤な傷害)以上の傷害は頭部、胸部、腹部の3箇所にしか発生していないことが分かった。

また、これらの傷害のうち、直接死因となった傷害部位は、胸部(132件)頭部(98件)腹部(28件)に対し、下肢(2件)上肢(0件)であった。

以上より、助手席衝突において腹部は傷害発生数では上位に位置しないものの、乗員救命の観点では決して軽視できないことがわかる。

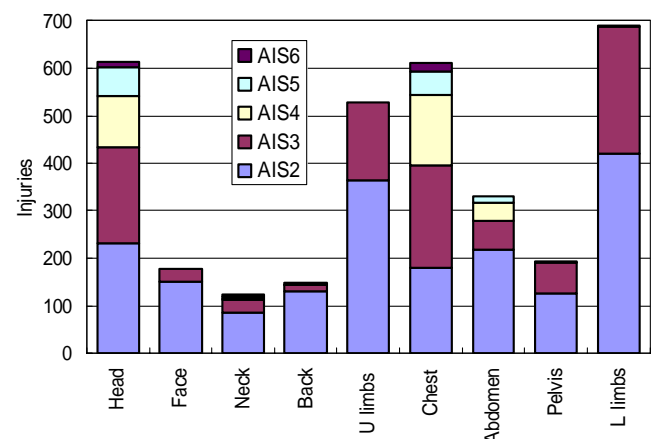


Fig.1 Distribution of injuries by AIS

### 3 - 2 . 腹部傷害と乗員拘束装置の効果

次に乗員拘束装置の効果を明確にするため、シートベルト有無による助手席前突傷害の変動について分析した。

なお前述の3994人中、ベルト非着用乗員865人、着用乗員2640人（拘束不明489人）であり、母数が異なるためAIS2以上の各傷害発生数を対象乗員数で割り、一人当たりの各部位の傷害発生率で分析を行った。

その結果、ベルト着用乗員では全ての傷害について非着用乗員にくらべ傷害発生率の低減効果が見られ、特に頭部で76%減、顔面で82%減、頸部で70%減、骨盤で74%減、下肢で63%減と、頭頸部と下半身に大きな効果が見られた。（Fig.2）

一方、腹部はベルト拘束による傷害低減率が47%であり、頭頸部や下半身ほど顕著な効果は現れない。

次にベルト着用乗員を対象にエアバッグ展開時の効果を分析する。ベルト着用乗員中、助手席前突エアバッグ非展開乗員は1569人、展開乗員は1071人であったため、AIS2以上の各傷害発生数をこれらの対象乗員数で割り、一人当たりの各部位の傷害発生率で分析を行った。

その結果、前突エアバッグ展開時は頭部で36%減、胸部で27%減の傷害低減効果が認められたが、腹部ではカイ二乗検定での偶然性の確率 $p>0.05$ と統計的有意差が認められなかった。（Fig.3）

これらの結果は、助手席前突事故においてシートベルト、前突エアバッグ使用による腹部傷害の低減が、他の部位よりも難しいことを示唆している。

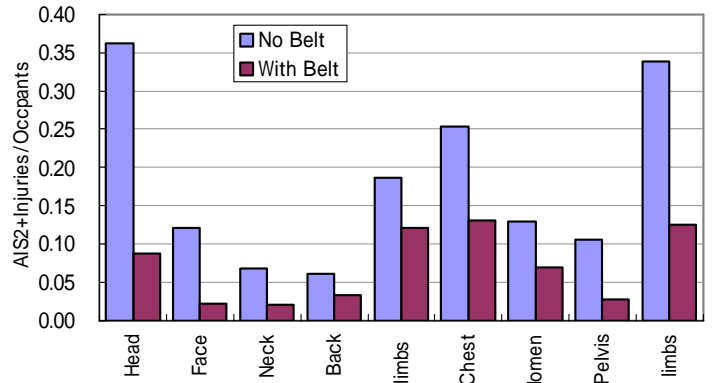


Fig.2 Incidence of AIS2+ Injuries by seatbelt

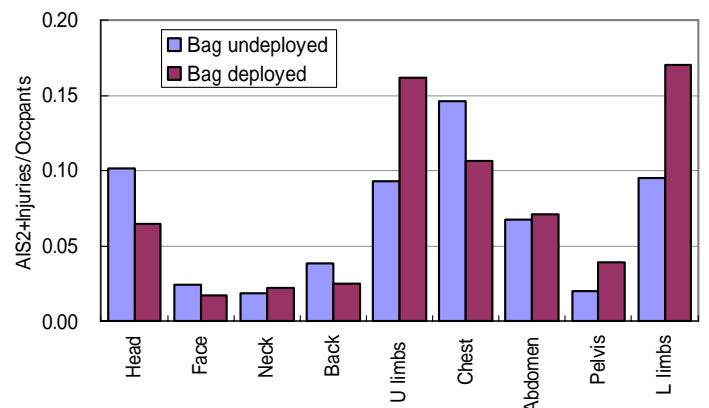


Fig.3 Incidence of AIS2+ Injuries by airbag deployment

Table.1 (Fig.3) Accident Data detail

Airbag Deployment	Undeployed	Deployed
Occupants	1569	1071
AIS2+Injuries	950	725
Average of Age	33.0	33.9
Barrier Equiv. Speed	25.7km/h	25.7km/h
Number of death	50	22
Rate of death	3.2%	2.1%

### 3 - 3 . 腹部傷害の臨床上的課題

前突助手席乗員の各傷害の死亡事例を，事故後死亡に至るまでの時間で分析すると，頭部では一時間以内の死亡が46％，胸部では45％を占めており，多くは短時間で死亡していた．（Fig.4,5）

一方，腹部傷害では一時間以内が25％，4～6時間以内が25％と，事故後数時間後に死亡している例が多い．（Fig.6）

また死因となった傷害の平均AISを比較すると，頭部が4.3，胸部が4.4であるのに対し，腹部は3.8と重症度が低い傾向にある．

以上より，腹部傷害は頭部や胸部と比較すると早期に適切な治療を行うことで救命の可能性が高まると推測される．

よって腹部傷害の要因と傾向，発生部位を明確にすることは，前突事故の死亡者を低減する上で重要であると考えられる．

### 3 - 4 . ベルト装着乗員の腹部傷害の受傷要因

3 - 1 節で報告したベルト拘束乗員の腹部傷害182例について，その成傷器（受傷の起因）を調査した結果，シートベルトによる圧迫が約6割を占めていた．（Fig.7）

ベルト以外の成傷器としてはドアトリムやコンソールなど，斜め前方や横に投げ出されたと思われる事例が含まれているが，本研究では前面衝突の傷害を分析するため，約6割を占めるベルト傷害に絞ってその傾向を分析した．

この腹部ベルト傷害107例を損傷臓器別に分類すると，肝臓25例（23％），脾臓37例（34％），消化管（小腸，大腸，腸間膜等）29例（27％）であり，肝臓，脾臓，消化管の3臓器で腹部ベルト傷害の84％を占める．（Fig.8）

また，腹部ベルト傷害には腎臓が6％，横隔膜が6％含まれているが，腎臓は後腹膜臓器であること，横隔膜は胸部圧迫でも受傷しうる為，以上の検討対象からは除外し典型的なベルト腹部傷害として肝臓，脾臓，消化管の3臓器91例の発生傾向を分析することとした．

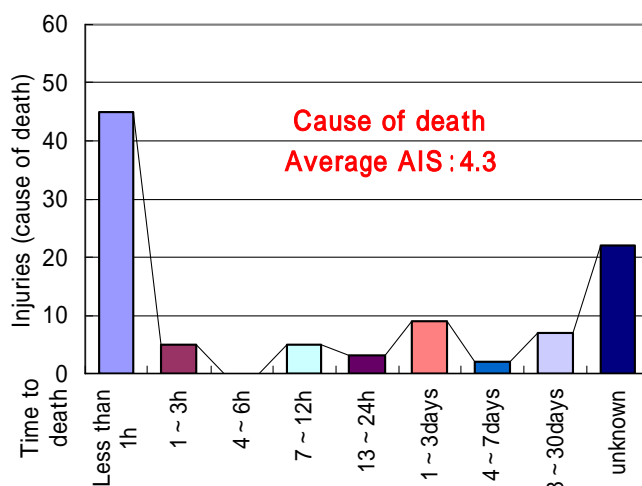


Fig.4 Distribution of survival time  
(The cause of death was *head* injuries)

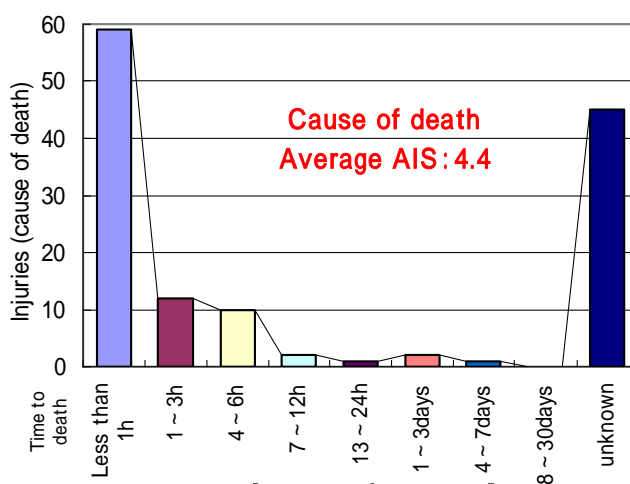


Fig.5 Distribution of survival time  
(The cause of death was *Chest* injuries)

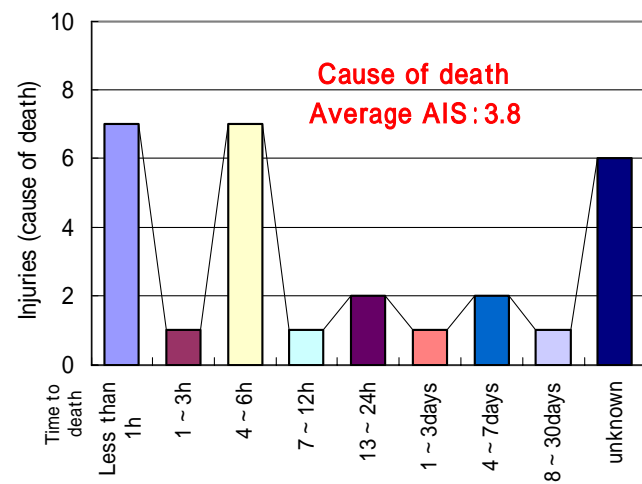


Fig.6 Distribution of survival time  
(The cause of death was *Abdominal* injuries)

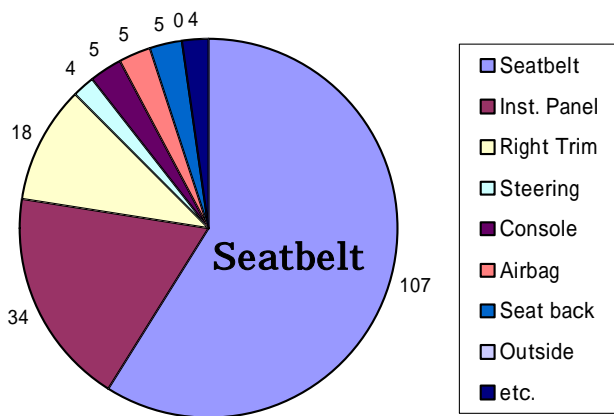


Fig.7 The source of abdomen AIS2+ Injuries (Belt used)

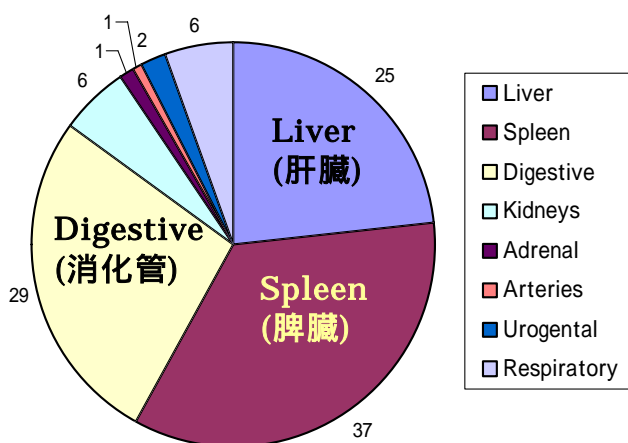


Fig.8. Distribution of abdomen AIS2+ Injury with seatbelt

### 3 - 5 . 体型と腹部ベルト傷害

腹部傷害と肥満体型の関係を分析するため、3 - 4 節の腹部ベルト傷害90件（体重不明の1件除く）について、肥満度の指標であるBody Mass Index（以後BMIと呼称）により分析を実施した。

BMIは体重を身長<sup>2</sup>で割ったもので、日本では25以上を肥満と定義しているため<sup>5)</sup>、上記90件についてBMI25未満56件、BMI25以上34件に分けて、腹部臓器の傷害傾向を調べた。

その結果、標準～痩せ型であるBMI25未満の乗員の傷害分布では、肝臓32%、脾臓43%、消化管25%となり、肥満体型であるBMI25以上の乗員については、肝臓21%、脾臓35%、消化管44%と、肥満体型では消化管の受傷率が增大することが分かった。（Fig.9）

これを臓器の位置で見ると、肝臓と脾臓は上腹部に位置するが、消化管は主に中下腹部に位置することがわかる。（Fig.10）

よって本データを上腹部と中下腹部に分けて分析すると、標準～痩せ型では上腹部が42件（75%）、中下腹部が14件（25%）と上腹部に偏るのに対し、肥満体型では上腹部が19件（56%）、中下腹部が27件（44%）と中下腹部で増大し、肥満化による中下腹部の突出が如実に傷害の傾向に現れていることが分かる。（Fig.11）（偶然性の確率  $p < 0.001$ ）。

よって痩せ型の乗員では上腹部の傷害、肥満乗員については中下腹部の傷害に留意することが腹部傷害低減へのアプローチになると思われる。

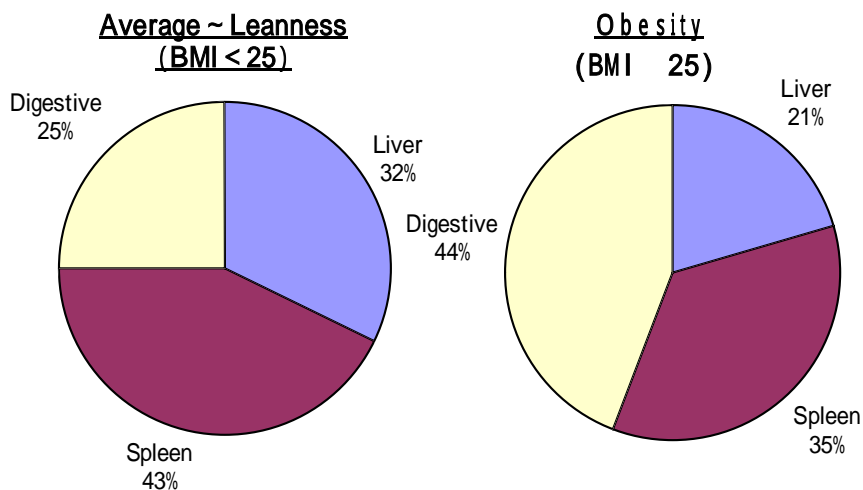


Fig.9 Abdomen AIS2+ Injury with seatbelt (BMI < 25, BMI ≥ 25)



#### 4. まとめ

NASS/CDSの助手席前突事故データの分析を行い、傷害部位と重症度、拘束装置の有無、損傷臓器分布をもとに医学・工学的知見を加えた。

1) 腹部傷害は頭部、胸部に次いで重度傷害の多い部位である

2) 助手席拘束乗員の腹部傷害の約6割はシートベルトで受けており、シートベルトによる腹部傷害を検討することは臨床医学上有用と思われる

3) シートベルトによる傷害臓器は肝臓、脾臓、消化管が84%を占める

4) 腹部ベルト傷害は体型に大きく依存し、痩せ型の乗員では上腹部の傷害が、肥満乗員については中下腹部の傷害が有意に増大する傾向がある

#### 5. 今後の課題

本稿では体型について主に述べたが、体型に加えて身長、衝突速度、着座位置や衝突形態等の影響についても、今後さらに検討を進める。

#### 6. 参考文献

- 1) STAPP CAR CRASH JOURNAL, Vol.50 (2006)
- 2) OECD, Health at a Glance (2005)
- 3) 国民栄養調査 (厚生労働省) (1947-2004)
- 4) NHTSA 「Overview99」
- 5) 日本肥満学会「肥満研究」Vol.11, No.1, (2005)
- 6) 越智順三訳「分冊 解剖学アトラス」文光堂

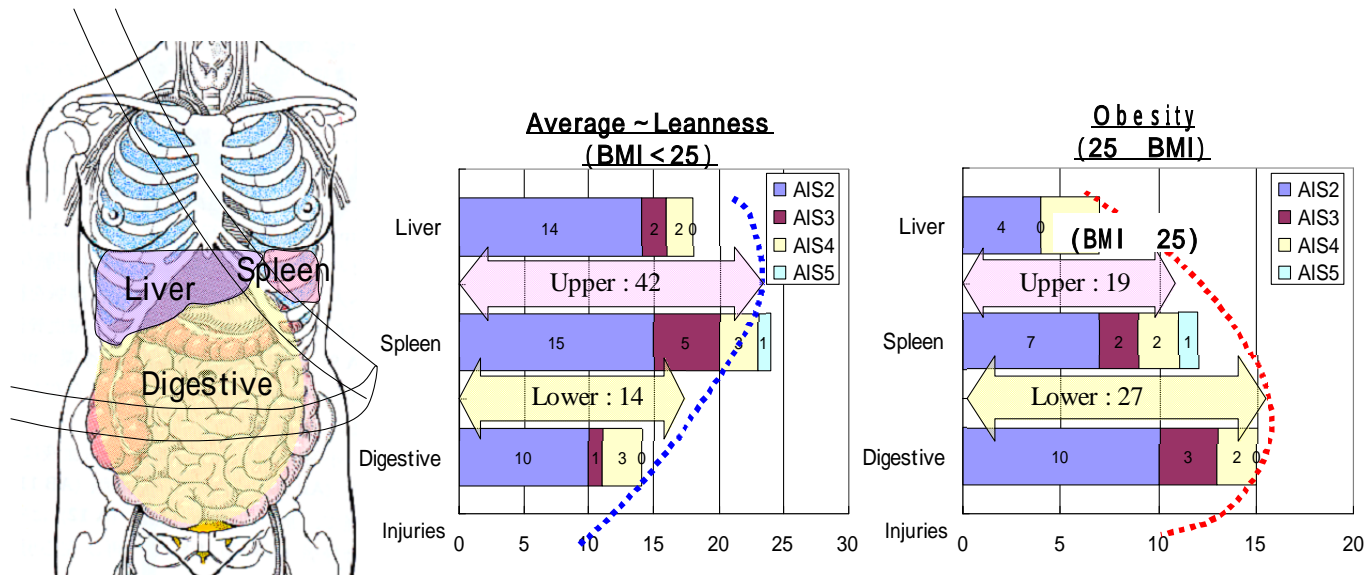


Fig.11 Abdomen AIS2+ Injury at Liver, Spleen, Digestive by seatbelt (BMI < 25, BMI ≥ 25)

# 新技術紹介

## 高触感インパネ用低飛散性ウレタン開発

### Low-scattering Urethane for Soft-touch Instrument Panel

村井浩章<sup>\*1</sup>，三輪 靖<sup>\*2</sup>，宮嶋康宏<sup>\*3</sup>

#### 1. はじめに

近年，ウレタンフォーム材の軟質化（低硬度化）による「ソフトインパネ」が開発されるなど，自動車用内装部品に高触感性能が求められるようになってきている．しかし，ウレタンの低硬度化に伴い，エアバッグ展開時にウレタンフォーム材の飛散量が増加する傾向であり，乗員への影響が懸念される．重要保安部品として更なる安全性を確保するために，ウレタン飛散性を向上しなければならない．

今回，ソフトインパネの硬度維持とウレタン低飛散性向上という，相反する特性の両立を目指し，検討及び製品適用を行ったので紹介する．

#### 2. 製品の概要

ソフトインパネ製品は，表皮層 - ウレタンフォーム材層 - インパネ基材層の三層構成から成る（図 - 1）．成形工法は，表皮と基材を発泡金型内上下にセットし，型閉め後その中間にウレタンフォーム材を反応射出成形機（RIM）によって注入する，クローズド成形法である．また使用する表皮の裏面には，エアバッグ展開時に破断開始点となるテア加工が施されている．

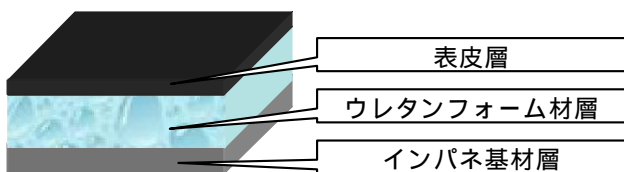


図 - 1 ソフトインパネ製品の構成

#### 3. 技術の概要

##### 3 - 1. ウレタンフォーム材開発経緯

インパネ表皮の代表的仕様としてPUスプレーとTPO表皮があるため，まず両仕様について表 - 1 の組み合わせエアバッグ展開時のウレタン飛散性を確認した．その結果，表皮材質の違いによるウレタン飛散性の差はなかった．このことからウレタン飛散性は，ウレタンフォーム材の物性に寄与することが大きいと考えられる為，低飛散性ウレタンフォーム材の開発に着手した．

表 - 1 インパネ仕様組み合わせ

表皮仕様		PUスプレー	TPO
ウレタンフォーム材	硬度 (AskerC)	60	60
	伸び率 (%)	45	45
	強度 (kPa)	500	500

##### 3 - 2. ウレタンフォーム材の軟質化

ウレタンフォーム材は，主としてポリオールとイソシアネートが型内で反応し，任意の形状を得る．ウレタンフォーム材の硬さは，使用する上記原料の主骨格，添加剤種及び添加量によって決定される（表 - 2）．多くは架橋剤を減量して架橋密度を減少させることで硬度を低減し，軟質化を実現している．

<sup>\*1</sup> Hiroaki Murai 内外装事業部 第2技術部 材料技術室  
<sup>\*2</sup> Yasushi Miwa 内外装事業部 第2技術部 材料技術室  
<sup>\*3</sup> Yasuhiro Miyajima 内外装事業部 第1製造部 マテリアル課

表 - 2 ウレタンフォーム材の配合内容

ポリオール混合溶液	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ ポリオール</li> <li>・ 架橋剤</li> <li>・ 発泡剤</li> <li>・ 触媒</li> </ul>
イソシアネート	

### 3 - 3 . ウレタンフォーム材の低飛散性向上

エアバッグ展開時のウレタン低飛散性は、ウレタンフォーム材の伸びを向上させることで向上が見込める。しかし通常、ウレタンの伸び向上には架橋点を減らす手法をとるため、目標硬度の維持が困難となる。そこで硬度維持と伸び向上を両立するため、次の処方確立した。

ウレタンフォーム材の伸び向上のために、イソシアネート側で従来の直鎖分子と伸縮性を持つ分子を併用した。更に、ポリオール側で従来の架橋剤と分子の短い架橋剤を併用し、架橋点数を変えずに架橋点間距離を一部短くすることで分子間の動きを拘束し硬度維持を達成した。(図 - 2)

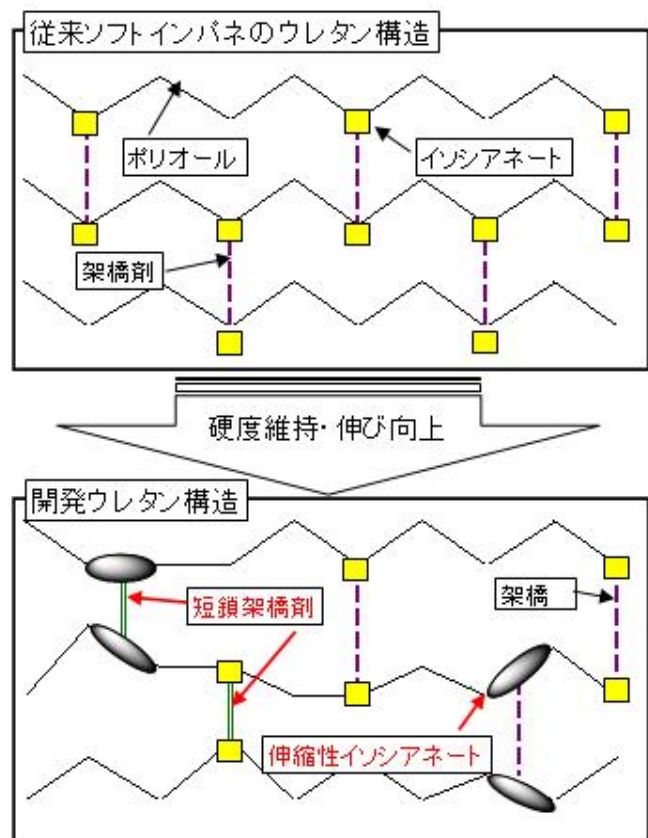


図 - 2 低硬度と伸び両立のイメージ図

### 3 - 4 . 軟質ウレタンフォーム材の性能

開発したウレタンフォーム材の主な性能を表 - 3 に示す。表に示すように開発材料は、従来ウレタンフォーム材と比較して同等以上の性能を有するものである。

表 - 3 軟質ウレタンフォーム性能

	従来材	開発材
硬度 (AskerC)	60	60
伸び率 (%)	45	75
引張強度 (kPa)	500	700

### 4 . 効果の確認

開発材を適用したインパネのエアバッグ展開性能試験を実施し、ウレタン飛散量を計測した。その結果、開発材の飛散量は従来材に対して68%減少し、目標を達成できた。(図 - 3)

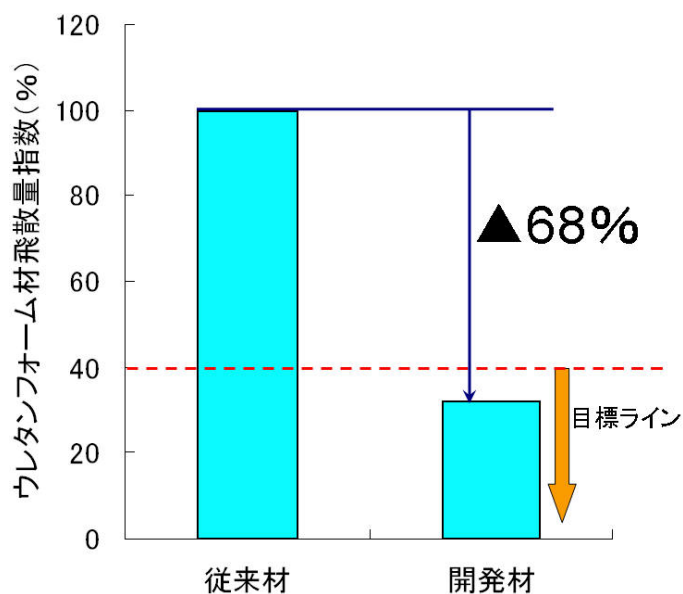


図 - 3 ウレタン飛散量低減割合

### 5 . おわりに

今回開発したウレタン低飛散性高触感インパネは欧州車へ適用され、2011年12月より量産中である。

# 新製品紹介

## 軽量ラジエータホース

### Lightweight Radiator Hose

小野実具<sup>\*1</sup> , 夫馬孝夫<sup>\*2</sup>

#### 1. はじめに

近年、自動車の高性能化に伴い、エンジンルーム内で使用される部品に対して、雰囲気温度の高温化に適応できる耐熱性要求や燃費向上の観点から部品の軽量化ニーズが高まってきている。これらの背景の中、当社では、2006年に耐熱ラジエータホースを量産化した。今回、ゴム肉厚を低減した軽量ラジエータホースを開発し、製品ラインアップしたので紹介する。

#### 2. 製品の概要

ラジエータホースは、エンジン冷却液をエンジン本体からラジエータへ供給し、再びエンジンへ戻す回路に適用されるゴムホースである。実際にエンジンルーム内では、周辺部品を避けるよう経路保持させる必要があるため、適度な肉厚を有する加硫成形ホースが使用されている。図-1には、ラジエータホースの取り付け部位を示した。

また、ラジエータホースは、冷却液の内圧に耐えるために中間補強繊維層を備えている。図-2にラジエータホースの材料構成を示す。ゴム材料としては、耐候性、耐冷却液性に優れたEPDMが用いられ、補強繊維としては、耐加水分解性に優れたPA66が使用されている。また、特に耐熱性を高めるためには、アラミド繊維を適用する。  
(耐熱ラジエータホース)

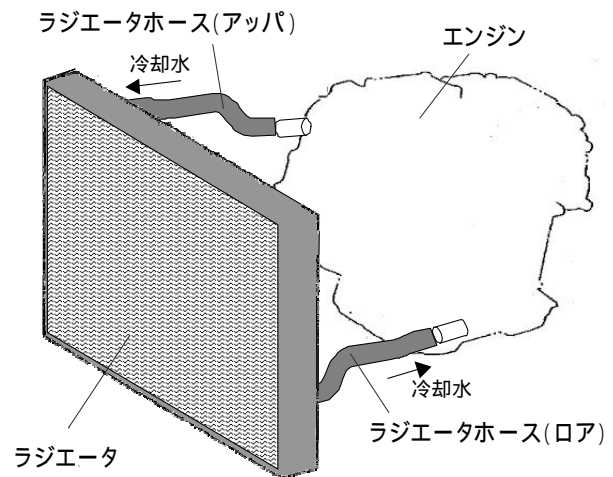


図-1 ホース取り付け部位

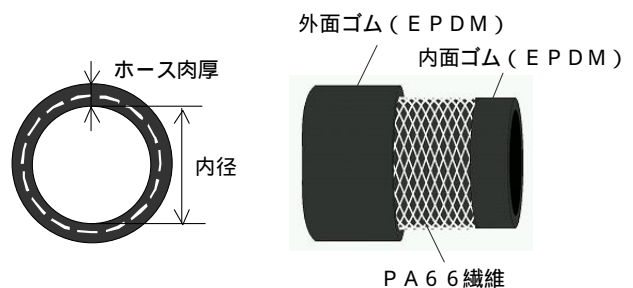


図-2 ラジエータホース構成

\*1 Mitsugu Ono 機能部品事業部 ブレーキホース部 ブレーキホース技術・品技室

\*2 Takao Fuma 機能部品事業部 ブレーキホース部 ブレーキホース技術・品技室

### 3 . 新製品の特徴

新製品は、ゴム肉厚を低減することにより軽量化を図っている。表 - 1 に従来品と新製品との質量比を示す。

表 - 1 肉厚および質量

内径( )	ホース肉厚(mm)		質量低減率(%)
	従来品	新製品	
27	4.0	3.0	- 21
30	4.0	3.0	- 21
33	4.5	3.2	- 25
37	5.0	3.5	- 25

新製品では、ホース肉厚を従来品に対して、1.0～1.5mm薄肉化することにより、21～25%の軽量化を実現している。しかしながら、ホース肉厚を低減することで、ホース剛性が低下するため、ラジエータタンクやエンジンパイプなどの相手部品への組付け作業性が低下する。この不都合に対応するため、新製品ではゴムの高硬度化を実施し、適度なホース剛性を確保した。この際、ホースの振動吸収性を変化させないようゴム肉厚とゴム硬度の最適設計を図り、軽量化と組付け性を両立した。

また、本製品では、冷却液の内圧に対するホース破裂圧性能の最適設計も実施している。ホース破裂圧の大小は、補強繊維種が決まっている場合、繊維の線径、編込み構造および繊維層のホース内面からの位置が支配的因子となる。今回、従来品に対して線径の細い繊維を使用しているが、繊維層位置を小径化することにより、製品として必要な破裂圧を確保している。図 - 3 にホース破裂圧を示す。

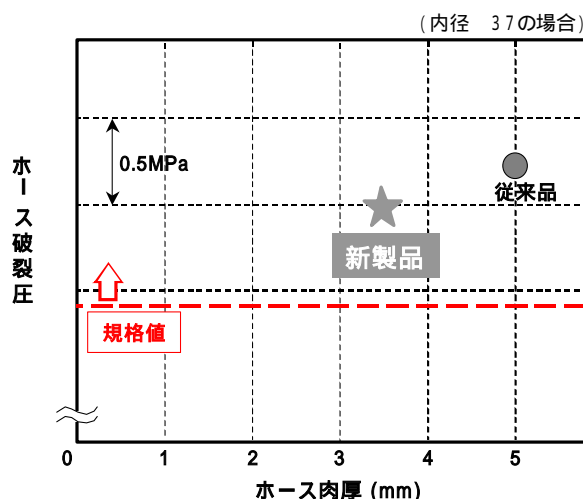


図 - 3 ホース破裂圧

以上のような設計上の工夫をすることにより、適正な要求性能を損なうことなく、使用材料を低減し、製品の軽量化と低コスト化を図り、新製品として量産化を開始している。(内径 37品を 2011 / 11 より生産中)

### 4 . おわりに

最後に、本製品の開発、量産化に際し、ご支援、ご指導いただいたトヨタ自動車株式会社 第1 ボデー設計部 冷却系設計室、および有機材料技術部 有機材料室の方々に厚くお礼申し上げます。



# 新製品紹介

## 軽量運転席エアバッグ

### Lightweight Driver Side Air Bag Module

廣瀬 修<sup>\*1</sup> 笹木 健治<sup>\*2</sup>

#### 1. はじめに

近年、各カーメーカーにおいて部品レベルでの軽量化による燃費向上に力が注がれており、エアバッグモジュールにおいてもそのニーズは例外ではない。そのため、エアバッグモジュールにおける軽量化競争は激化し、受注を得るための重要項目となっている。今回、機能（性能）、サービス性（カーメーカーでの組付け性、意匠自由度）を損なうことなく、大幅な部品点数の削減、及びそれに伴う軽量化を実現した運転席エアバッグモジュールを開発したので紹介する。

#### 2. 開発品の概要

従来品と開発品の構成部品を図-1、及び図-2に示す。【機能の集約化による部品削減】に着眼しパッドカバーの締結方法の見直し、及びホンユニットの新規開発を実施。その結果、軽くてシンプルなエアバッグモジュールを実現した。



図-1 従来品の構成部品



図-2 開発品の構成部品

#### 3. 開発品の特徴

##### 3-1. パッドカバー締結見直し

従来品は図-3に示すようにインナープレート、アウタープレートの2枚の板金によるサンドイッチ構造によりパッドカバーの締結を実施しており、組付け性及び質量増が課題であった。これに対し、開発品は図-4に示すようにパッドカバーに設定したツメ形状と板金の開口を引っ掛け、板金の開口を大きく設定し、パッドカバーを挿入後に板金を後曲げする新たな構造することにより締結強度と組付け性を両立している。



図-3 従来品のパッドカバー締結

\*1 Osamu Hirose セーフティシステム事業部 第2技術部 第2技術室

\*2 Kenji Sasaki セーフティシステム事業部 第2技術部 第2技術室



図 - 4 開発品のパッドカバー締結

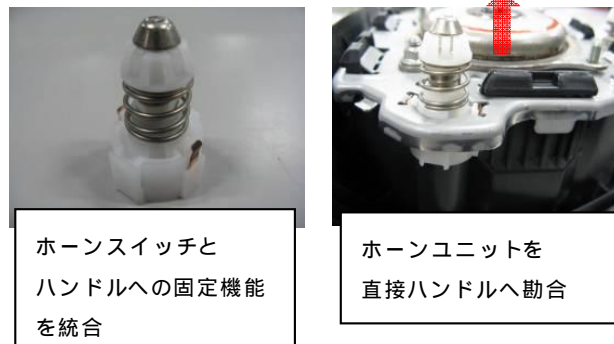


図 - 6 開発品におけるハンドルへの締結方法

### 3 - 2 . ホーンユニット

従来品は図 - 5 に示すようにホーンユニットはホーンの吹鳴のみの機能であり、他にハンドルへの固定用ピン及びガタ防止のゴム、それらを固定するホーンプレートが必要であった。これに対し図 - 6 に示す開発品は、ホーンユニットにホーン吹鳴とハンドルへの固定機能を集約した新ホーンユニットを開発。結果、ハンドルへの固定性能を損なわずに大幅な部品削減を実現した。

### 4 . まとめ

開発品において、従来サイズ及び性能を確保しながら図 - 7 に示す大幅な質量、部品点数の削減を実施した。

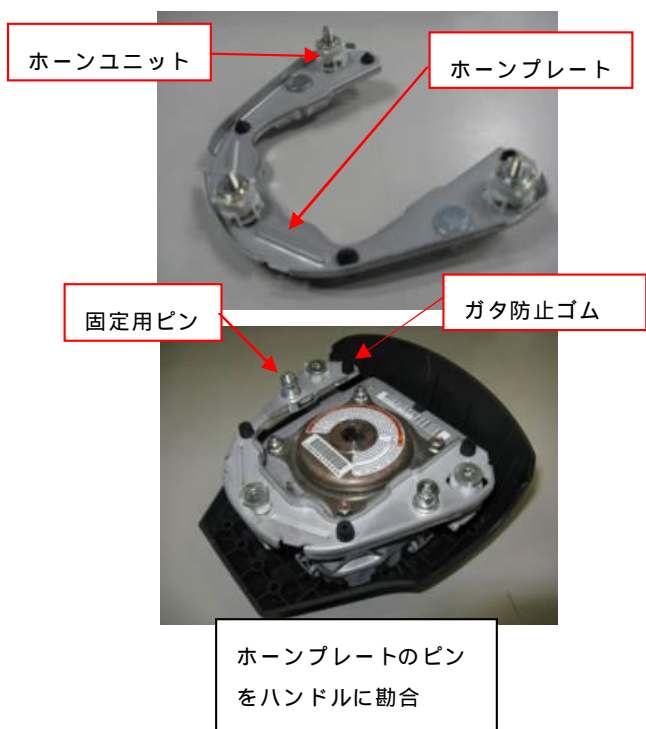


図 - 5 従来品におけるハンドルへの締結方法

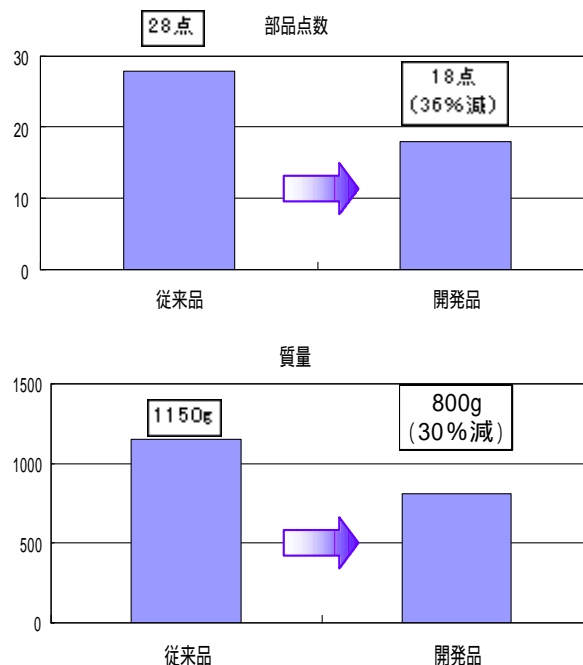


図 - 7 部品点数と質量の比較

### 5 . おわりに

今回紹介したエアバッグモジュールについては2010年12月より生産開始、現在採用車種は拡大展開中、最後に今回の開発に際しご協力いただきました関係者の皆様に深く謝意を表します。

# ≡≡≡ 新製品紹介 ≡≡≡

## 新加飾ハンドル

### New Decoration Steering Wheel

横井隆二<sup>\*1</sup> , 水野孝則<sup>\*2</sup>

#### 1 . はじめに

近年，車室内の高級感を目的とした加飾品は，高品位，新規性，独創性といった新規の表現技術へのニーズが高まってきて，従来の技術ではこれらの要求に応えられなくなってきている。

今回，従来加飾技術の欠点を補い，難しいとされてきた曲面形状の加飾ハンドルを開発，量産化したのでその概要について報告する。



写真 - 1 新加飾ハンドル

#### 2 . 製品の概要

製品の概観を写真 - 1 ~ 3 に示す。

従来の水圧転写工法では，水性フィルムを使用するため柄の伸び，流れにより転写精度が低く高意匠表現が課題であった。

今回，フィルムを使用せずにハンドル樹脂基材の上にインキ（柄）を密着させる表面処理技術確立することにより，リング裏面にまで高品位な意匠表現が可能となった。

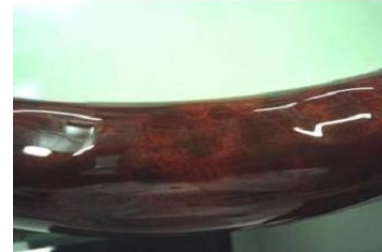


写真 - 2 リング裏面側

#### 3 . 製品の特徴

##### 3 - 1 . 内装部品との統一感

毎回柄の位置が同じにする事が可能になったため，室内の統一感が得られ高級感を増すことができる。

##### 3 - 2 . パリエーション

柄の均一性が求められる幾何学模様や部品の加飾等，新規表現が可能となる。また，特別車などの新柄，新色ニーズに迅速に応え



写真 - 3 幾何学模様

ることができる。

#### 4 . おわりに

今回紹介した「新加飾ハンドル」は現在，トヨタ カムリに採用されており，今後もこの技術を応用し，他車種にも展開していきたいと考えている。

\*1 Ryuji Yokoi セーフティシステム事業部 生産技術部 試作室

\*2 Takanori Mizuno Toyota Gosei Australia Pty. Ltd.

# 特許紹介

## 車両用ホイール

特許 4091093

発明者 竹田和生，西川友和，川島大一郎，大庭達也，荒川哲也，村上浩司，坂ノ下賢一

[ 発明の属する技術分野 ]

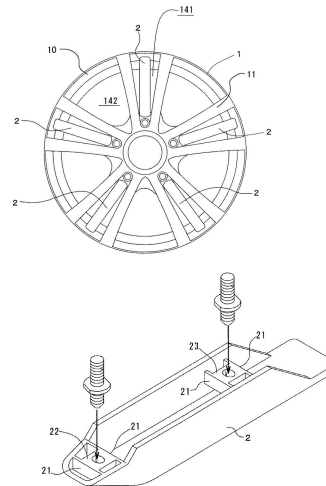
本発明は，樹脂製の加飾部材をもつ自動車用のホイールに関する．

[ 発明の構成 ]

リム部 10 とディスク部 11 とよりなり，飾り穴 141，142 をもつホイール本体 1 と，ディスク部 11 に保持され飾り穴 141 に表出する樹脂製の加飾部材 2 からなり，加飾部材 2 は中空部をもつ断面略 U 字形状をなし，中空部を横断するリブ 21 を備え，固定部はリブ 21 に形成されたボス部 22，23 から突出し，リブ 21 及びボス部 22，23 は中空部の底部から離間していることを特徴とする．

[ 発明の効果 ]

ホイール本体を減肉する必要が無く，ホイールとしての強度を維持しつつ，意匠の自由度が高まる．



## ウエザストリップ，その製造方法及びその金型装置

特許 4140522

発明者 久保嘉久，伊藤雅彦

[ 発明の属する技術分野 ]

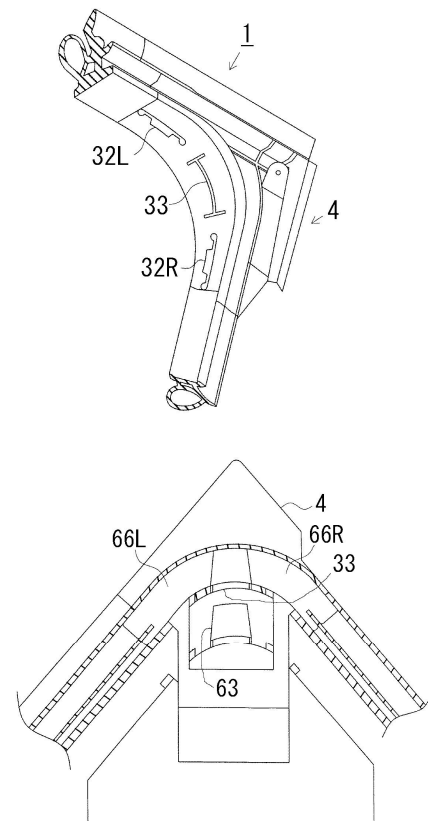
本発明は，型成形部を有してなるウエザストリップ，その製造方法及びその金型装置に関する．

[ 発明の概要 ]

中空部を具備する型成形部 4 を有してなるウエザストリップ 1 の製造に際し，該型成形部 4 からコア金型を取り外す際，H 形のセンタスリット 33（上図参照）からセンタコア本体 63（下図参照）を抜き出した後，サイドスリット 32L・32R（上図参照）からサイドコア本体 66L・66R（下図参照）を抜き出すことを特徴とする．

[ 発明の効果 ]

スリット 1 本あたりの長さが短くなるため，型成形後のスリットを閉じる接着が不要となり，接着作業工数の低減が図れるとともに，接着による形状変形を見込んだ製品及び金型の設計が不要となり，設計工数の低減も図れる．



## エンジンカバー

特許 4062524

発明者 前田逸郎，野々垣晴彦，尾形正裕

[ 発明の属する技術分野 ]

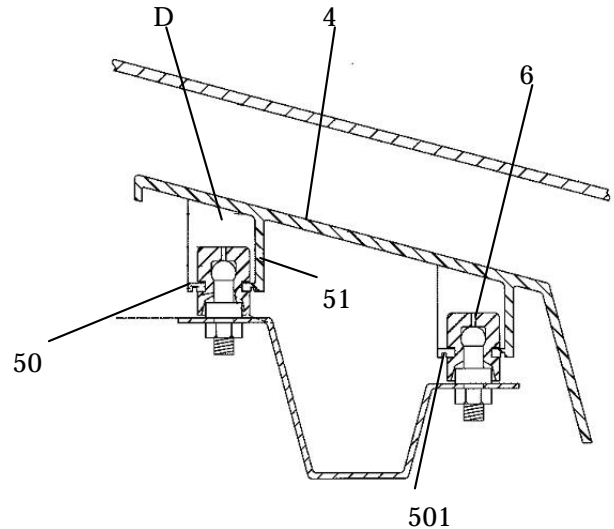
本発明は，エンジン表面を覆うエンジンカバーに関する．

[ 発明の概要 ]

カバー側係合部6は弾性変形可能なキャップであり，カバー側係合部6とカバー本体4裏面との間には，カバー本体4の表裏方向に所定値以上の衝突荷重が加わった場合に，圧縮される圧縮スペースDが区画されており，座本体50および連結部51のうち少なくとも一方は脆弱部501を有することを特徴とする．

[ 発明の効果 ]

カバー本体の表裏方向に所定値以上の衝突加重が加わると，圧縮スペースの圧縮や脆弱部の破壊により衝突エネルギーを吸収する．



## エアバッグ装置

特許 4604930

発明者 石黒直彦，飯田仁

[ 発明の属する技術分野 ]

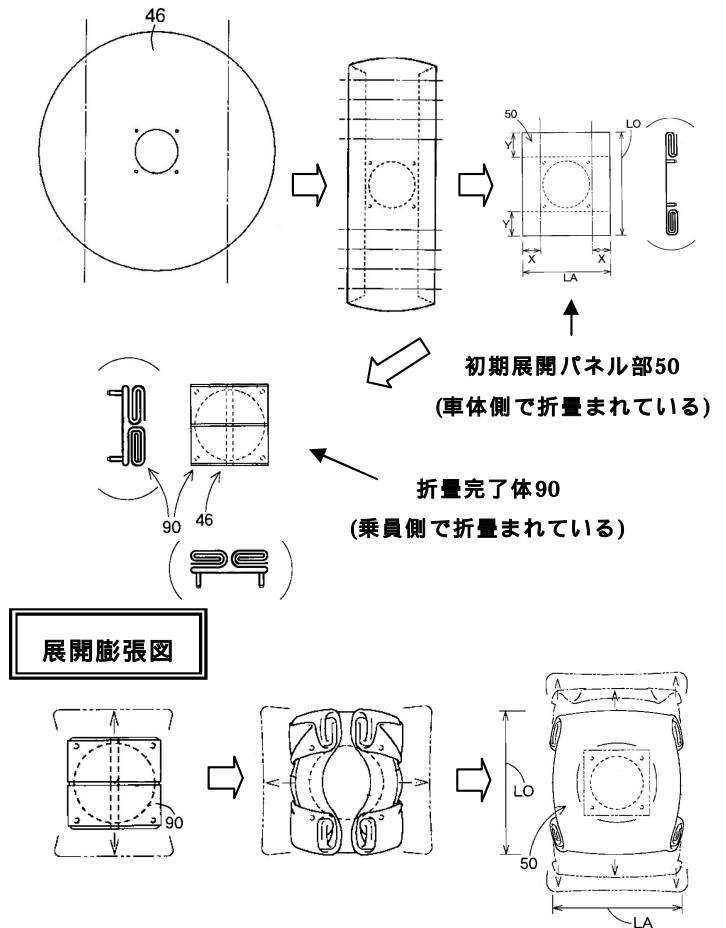
本発明は，運転席用のエアバッグ装置に関する．

[ 発明の概要 ]

まずエアバッグ46の上下左右の端部から中心へ車体側（車両前方側）で折畳んだ初期展開パネル部50（ $LA \times LO$ の領域）を形成し，次に上下左右のXY領域部分を乗員側（車両後方側）中心へ折畳んで折畳完了体90とするエアバッグ装置．

[ 発明の効果 ]

膨張初期時，折畳完了体90から露出した初期展開パネル部50の膨張により，乗員の初期拘束性を確保し，その後，車体側（車両前方側）で折りを解消させ乗員側への突出を防止することで，接近した乗員の頭部付近を不必要に押圧することを防止する．





## LEDランプ及びその製造方法

特許 4514413

発明者 塚本弘子，森英基，都築敦，山口寿夫，濱田直仁，上川俊美

### [ 発明の属する技術分野 ]

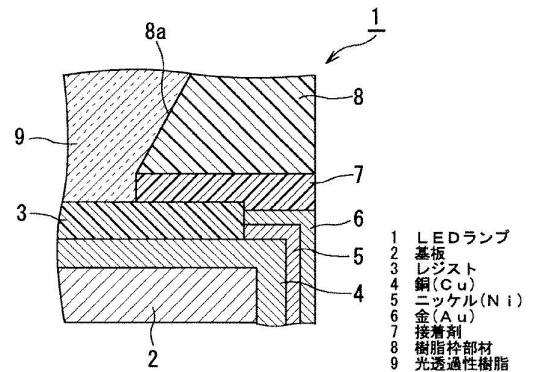
本発明は，発光素子と金属パターンとの導通不良が発生するのを防ぐことができるLEDランプに関するものである．

### [ 発明の概要 ]

基板 2 上に銅 4 ・ ニッケル 5 ・ 金 6 の順に形成された金属パターンと，樹脂枠部材 8 と，樹脂枠部材 8 内に金属パターンと導電するように固定された発光素子と，基板 2 と樹脂枠部材 8 に挟まれたレジスト 3 と，樹脂枠部材 8 内に充填され発光素子を封止する光透過性樹脂 9 とを具備し，樹脂枠部材 8 は，金 6 の上面に接着剤 7 を介して固定され，かつ，銅 4 の上面にレジスト 3 及び接着剤 7 を介して固定されていることを特徴とする．

### [ 発明の効果 ]

高温工程下でも熱応力による剥離を生ぜず，信頼性の高いLEDランプとなる．



## 社外発表文献一覧表

### List of Published Papers

(2010年11月～2011年10月発表分)

\*印：社外共同発表者

表 題	発表者	発 表 先
架橋ゴムリサイクル技術 工業化の現状	福田 政仁	化学工学会 第76年会 化学産業技術フォーラム (2011.3.23)
プラズマ酸化法で形成した極薄金属酸化膜の成長と絶縁特性	豊田中央研究所 伊藤 忠* 山田 登* 加藤 直彦* 元廣 友美* 豊田合成 上野 幸久 宮崎 毅	2011年春季第58回応用物理学関係連合講演会 (2011.3.9)
Growth mode of high temperature GaN on a- and c-plane sapphire substrates using low temperature AlN buffer technique by MOCVD	奥野 浩司	Asia-Pacific Workshop on Widegap Semiconductors 2011 (2011.5.22)
自己形成光導波路と光通信デバイス応用	豊田中央研究所 各務 学* 豊田合成 伊縫 幸利	最新フォトリソポリマー材料と応用技術 (2011.5.31)
SOI 基板の炭化処理によるグラフェン成長	九州工大 挾間 健太* 中尾 基* 豊田合成 岩武 泰徳 宮崎 毅	2011年秋季第72回応用物理学会学術講演会 (2011.8.29)
印刷物の見え方による良好な白色LED照明の検討	金沢工業大学 山岸 未沙子* 豊田合成 久保 千穂 日本福祉大学 山羽 和夫*	日本色彩学会視覚情報研究会 (2011.10.1)
熱分解 GC/MS に多変量解析を用いた EPDM の共重合組成分析	北瀬 恵	第16回高分子分析討論会 (2011.10.26)

## 編集後記

2008年のリーマンショック、それに続く金融危機や不況を乗り越え一息つくも束の間、2011年は更なる出来事が続いた。未曾有の大災害である東北地方太平洋沖地震が発生、これにより福島第一原子力発電所事故が起き日本の電力事情の悪化、そしてタイ王国の大洪水による日本産業界のサプライヤーチェーンの寸断でした。このような状況下にも、私たちはその環境変化に対しタイムリーに適応して生き残らねばなりません。

豊田合成技報においても、その構成を従来の形で踏襲するのではなく、今回弊社で第2の事業の柱となったLEDに焦点をあて、『次世代の照明とLED』の特集号を発刊するにいたしましたことをご紹介します。

<b>豊田合成技報編集委員会</b> 編集委員長 竹内勝政（技術管理部） 編集委員 中村正（技術管理部） 松浦元司（材料技術部） 岡峰正直（施設環境部） 佐藤高宏（内外装部品事業部） 堀田昌利（オートモーティブシーリング事業部） 波多野克也（機能部品事業部） 丹羽実（セーフティシステム事業部） 伊藤均（オプトE事業部） 山口秀明（特機事業部） 藤本徹（金型機械センター）	<b>豊田合成技報 第53巻</b> (禁無断転載)  2012年 3月23日発行 発行所 豊田合成株式会社 発行人 市川 昌好  © 豊田合成(株) All Rights Reserved.
---	---



本社	〒452-8564 愛知県清須市春日長畑 1番地	Tel (052) 400-1055
北島技術センター	〒492-8540 愛知県稲沢市北島町西の町 30番地	Tel (0587) 34-3303
美和技術センター	〒490-1207 愛知県あま市二ツ寺東高須賀 1番地 1	Tel (052) 449-5612
春日工場	〒452-8564 愛知県清須市春日長畑 1番地	Tel (052) 400-5141
稲沢工場	〒492-8542 愛知県稲沢市北島町米屋境 1番地	Tel (0587) 36-1111
森町工場	〒437-0213 静岡県周智郡森町睦実 1310番地の128	Tel (0538) 85-2165
西溝口工場	〒492-8452 愛知県稲沢市西溝口町第二沼 1番地の1	Tel (0587) 36-5761
尾西工場	〒494-8502 愛知県一宮市明地字東下城 40番地	Tel (0586) 69-1811
平和町工場	〒490-1312 愛知県稲沢市平和町下三宅折口 710	Tel (0567) 46-2222
岩手工場	〒029-4503 岩手県胆沢郡金ヶ崎町西根森山 1番地 1 サテライトショップ	Tel (0197) 41-0661
北九州工場	〒805-0058 福岡県北九州市八幡東区前田北洞岡 1-2	Tel (093) 663-1820
岩手水沢工場	〒023-0841 岩手県奥州市水沢区真城字北野 1番地	Tel (0197) 28-1260
神奈川工場	〒259-1146 神奈川県伊勢原市鈴川 19番地 5	Tel (0463) 91-0670
瀬戸工場	〒489-0843 愛知県瀬戸市惣作町 141番地	Tel (0561) 97-3602
佐賀工場	〒843-0151 佐賀県武雄市若木町大字川古 9966番地 9	Tel (0954) 26-2678
福岡工場	〒823-0017 福岡県宮若市倉久 2223番地 1	Tel (0949) 34-7167