

システム技術開発調査研究

15 - R - 17

環境・省エネ型LED照明機器システムの  
総合的普及戦略に関する調査研究  
報告書

- 要旨 -

平成16年3月

財団法人 機械システム振興協会  
委託先 財団法人 金属系材料研究開発センター

KEIRIN



この事業は競輪の補助金を受けて実施したものです。

## 序

わが国経済の安定成長への推進にあたり、機械情報産業をめぐる経済的、社会的諸条件は急速な変化を見せており、社会生活における環境、防災、都市、住宅、福祉、教育等、直面する問題の解決を図るためには、技術開発力の強化に加えて、ますます多様化、高度化する社会的ニーズに適応する機械情報システムの研究開発が必要であります。

このような社会情勢に対応し、各方面の要請に応えるため、財団法人 機械システム振興協会では、日本自転車振興会から機械工業振興資金の交付を受けて、経済産業省のご指導のもとに、機械システムの開発等に関する補助事業、新機械システム普及促進補助事業等を実施しております。

特に、システム開発に関する事業を効果的に推進するためには、国内外における先端技術、あるいはシステム統合化技術に関する調査研究を先行して実施する必要がありますので、当協会に総合システム調査開発委員会（委員長 放送大学 教授 中島尚正 氏）を設置し、同委員会のご指導のもとにシステム技術開発に関する調査研究事業を民間の調査機関等の協力を得て実施しております。

この「環境・省エネ型LED照明機器システムの総合的普及戦略に関する調査研究報告書」は、上記事業の一環として、当協会が財団法人金属系材料研究開発センターに委託して実施した調査研究の成果であります。

今後、機械情報産業に関する諸施策が展開されていくうえで、本調査研究の成果が一つの礎石として役立てば幸いです。

平成16年3月

財団法人機械システム振興協会

## はじめに

本報告書は、財団法人機械システム振興協会より、財団法人金属系材料研究開発センターが平成 15 年度事業として受託した「環境・省エネ型 LED 照明機器システムの総合的普及戦略に関する調査研究」の成果をまとめたものである。

LED は、携帯電話を始めとして、様々な分野で活用されている。また LED 照明機器システムについても、交通信号機を始めとして、自動車用ランプ、そして将来的には一般照明機器として活用されることが期待されている。

しかし、今後の普及に向けては、発光効率の向上や演色性の問題、樹脂といった周辺技術開発など、さらなる技術課題の克服はもちろんのこと、価格の低下など、市場面でも克服すべき課題は大きい。交通信号機といった公共分野での導入促進によって、LED の優位性を PR しつつ、さらなる技術課題、市場課題への挑戦が求められている。

ところで、我が国のみならず世界各国でも、次世代の照明として LED は注目を浴びている。特に米国や台湾、韓国、中国といった国々では、国を挙げてのイニシアティブを計画し始めている。我が国でも、LED の技術開発はもちろんのこと、社会システムとして普及させていくための戦略を検討する必要がある。

本報告書は、我が国オリジナルの技術による LED 製品の普及を促進し、今後の市場拡大に寄与することを目的として、調査研究を行い、その成果をまとめたものである。

この調査研究が、今後の LED 照明産業の新しい方向性を示し、未来の照明として LED が用いられる省エネ型の社会の構築に向けて、一助となれば幸いである。

平成 16 年 3 月

財団法人金属系材料研究開発センター

## 目次

序

はじめに

1 . 調査研究の目的.....	1
2 . 調査研究の実施体制.....	2
3 . 調査研究成果の要約.....	5
3 - 1  L E D照明機器システムの用途拡大に関する調査検討.....	5
3 - 1 - 1  L E Dの全般動向に関する調査.....	5
3 - 1 - 2  普及動向.....	12
3 - 1 - 3  用途拡大に関する調査研究.....	33
3 - 2  L E D照明機器システムの環境的側面からの調査.....	38
3 - 2 - 1  一般照明における環境負荷に関する調査.....	38
3 - 2 - 2  L E D照明機器における環境負荷に関する調査.....	40
3 - 3  L E D照明機器システムの標準化戦略の検討.....	43
3 - 3 - 1  L E D照明機器システムの標準化に関する調査.....	43
3 - 3 - 2  自動車用L E Dの国際標準化の動向.....	45
3 - 3 - 3  L E Dの安全性に関する議論.....	47
3 - 4  L E D光源・照明機器システムの評価システムの検討.....	49
3 - 4 - 1  L E Dを一般照明用光源として用いる際の問題点.....	49
3 - 4 - 2  寿命の評価.....	53
3 - 5  知的財産権の保護システムの検討.....	54
3 - 5 - 1  L E Dにおける特許紛争.....	55
3 - 5 - 2  知的財産権に関する周辺動向.....	56
3 - 5 - 3  知的財産権の保護システムの検討.....	59
4 . 調査研究の今後の課題と展開.....	61

## 1. 調査研究の目的

LED 素子に代表される化合物半導体技術は我が国が世界をリードする技術である。とりわけ、窒化ガリウム (GaN) は我が国が基本技術を有する化合物半導体である。また、LED は、電光変換効率が高く、応答時間が短い、長寿命で有害物質を含まない等の優れた特色を持ち、省エネルギーや環境問題等の観点から、21 世紀の照明機器システムとして今後の普及が期待されている。

しかしながら、日亜化学工業と豊田合成との間の 6 年越しの特許紛争の間に、欧米からの技術の追い上げが急ピッチで進み、一方、台湾等近隣の国においては我が国の知的財産権を無視した生産が行われていると伝えられている。

こうした状況の中、我が国が本分野での優位性を確保していくためには、技術開発と併せ、照明機器システムの標準化や評価システムの確立、我が国の知的財産権の保護等、普及利用を促進するための政策を展開することが必要である。

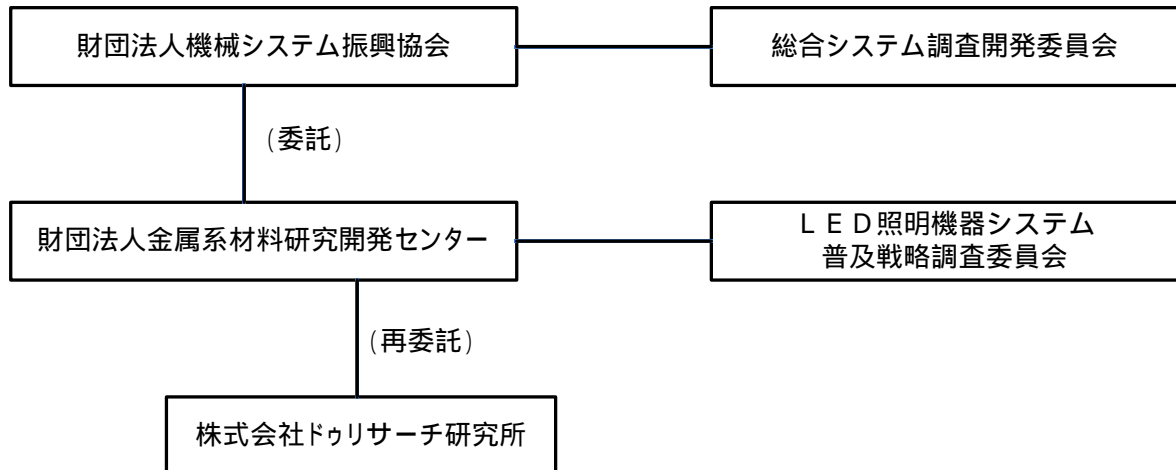
このため、新技術の社会的浸透を図る観点から公的規制、公共調達も含め、日本発のオリジナル技術である LED を使った照明技術の知的財産権保護を図りつつ、内外へ普及させるための総合的戦略を確立することが喫緊の課題である。

なお得られた成果は、経済産業省が主導している「LED 照明推進協議会 (仮称)」の行動戦略として活用する。

本調査研究は、LED 照明機器システムの用途拡大に対応した輸送機械システム等への応用の課題を明らかにするために、総合的な普及戦略の調査研究を行うことを目的とする。

## 2 . 調査研究の実施体制

本調査研究は、財団法人機械システム振興協会の委託を受けて、財団法人金属系材料研究開発センターが、センター内に学識経験者および専門家で構成される「LED照明機器システム普及戦略調査委員会」を設置し、以下の体制で実施したものである。なお調査研究の一部は、株式会社ドゥリサーチ研究所に再委託した。



## 総合システム調査開発委員会 委員名簿

(順不同・敬称略)

委員長	放送大学 教授 東京多摩学習センター所長	中 島 尚 正
委 員	政策研究大学院大学 政策研究科 教授	藤 正 巖
委 員	東京工業大学 大学院総合理工学研究科 知能システム科学専攻 教授	廣 田 薫
委 員	東京大学 大学院工学系研究科 助教授	藤 岡 健 彦
委 員	独立行政法人産業技術総合研究所 つくば中央第2事業所 管理監	太 田 公 廣
委 員	独立行政法人産業技術総合研究所 産学官連携部門 シニアリサーチャー	志 村 洋 文



## LED照明機器システム普及戦略調査委員会 委員名簿

(順不同・敬称略)

委員長	埼玉大学 名誉教授	中川 靖夫
委員	東京理科大学 理工学部 教授	池田 紘一
委員	慶應義塾大学 理工学部 情報工学科 教授	中川 正雄
委員	産業技術総合研究所 計測標準研究部門 室長	斉藤 一郎
委員	松下電工株式会社 情報渉外部 部長	伊藤 英太郎

### 3 . 調査研究成果の要約

#### 3 - 1 LED 照明機器システムの用途拡大に関する調査検討

本章では、発光ダイオード（Light-emitting Diode：以下、LED）について、現状における生産動向や市場動向、普及動向、研究開発動向についての調査検討を行った。

また農・漁業、交通運輸、医療、情報技術分野等、家庭業務用照明以外の用途で、LEDの特徴を活用出来る機械システムについて調査検討の結果をまとめた。

##### 3 - 1 - 1 LED の全般動向に関する調査

###### ( 1 ) LED の概要

LED は、我が国のオリジナル技術で、電気を流すと発光する半導体の一種である。発光する色自体は、半導体の材料で決まる。

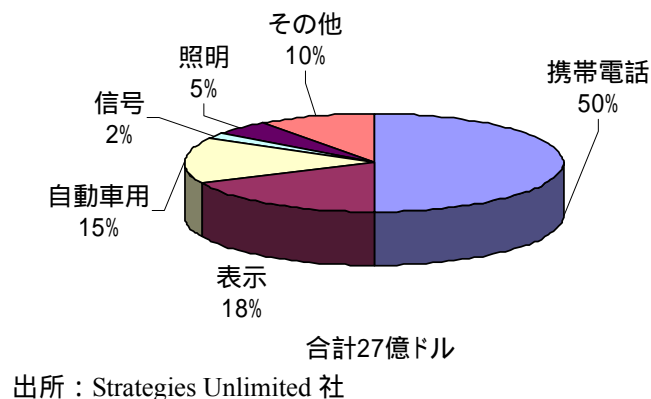
LED は、既存の光源に比べて、様々なメリットを有している。長寿命性、省エネなどの環境性、視認性が良いなどの安全性、デザインの自由度などが高いなど、環境意識や価値観の多様化といった現代社会のニーズにマッチする、次世代の光源として期待されている。

###### ( 2 ) 市場動向

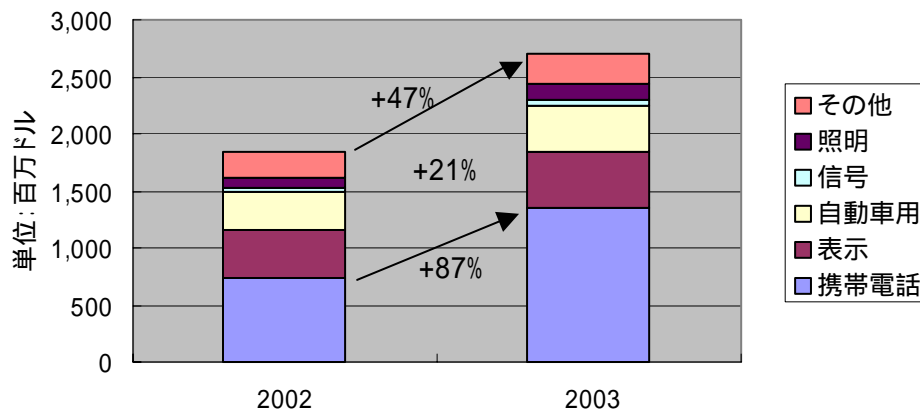
従来 LED は、携帯電話のキーパッド、着信ランプといったものに多く用いられてきたが、青色が開発されたことにより、白色 LED の生産が可能になったことから、現在では幅広い分野で用いられている。

図表 1 によると高輝度 LED の市場規模（世界市場）は、2003 年度において約 27 億ドル（日本円換算約 2,970 億円：1 ドル = 110 円）と推定されている。2002 年度と比較すると、約 47% も市場が拡大していることになる（図表 2）。

図表 1 LED 市場規模（用途別）



図表2 LED市場規模の推移



出所：図表1に同じ

現在、特に多く用いられているのが、携帯電話向けのもので、需要の半数を占めている。携帯電話においては、キーパッド、着信ランプ、液晶パネルのバックライトなどに用いられている。最近はカラー液晶化の進展により白色LEDの増加が目立っている。表示機器については、道路表示器や電車バスなどの行き先案内板、各種サインボード、交通信号機などに用いられている。

車載用途には内装光源として、インパネや操作ボタン、外装光源としては、ハイマウント・ストップランプが中心である。既に数年前より、これらの用途ではLEDの採用が始まっているため、現行性能のLEDでもコスト的な折り合いが付いており、今後は、モデルチェンジのタイミングとともに、LED化がさらに進むと考えられる。

遊戯機器は、パチンコやパチスロ器に用いられているもので、その他アミューズメント機器においてもLEDは用いられている。パチンコでは1台あたり少ない場合でも数10個、多い場合では300個程度のLEDが使われている。これらの遊戯機器については派手な明るさが求められるため、高輝度のものを中心に採用が進んでいる。

白色LEDは、将来的に一般照明用光源として期待されているが、従来の白熱灯や蛍光灯と比較すると明るさやコストの面で、一般照明として用いるには、まだ劣っているのが現状である。しかし白色LEDへの期待は大きく、今後の研究開発とともに更なる市場の拡大が予測されている。

青色や白色以外のLED価格については、既に台湾メーカー製などが市場に多く出回っており、大きな価格低下圧力を受けている。また青色についても、同様な状態になりつつあり、今後急速な価格低下が進むと考えられている。これら台湾メーカーなどの青色LEDについては、製品の信頼性など見劣る部分もあるが、低価格により、使用用途によっては既に受容されているものもある(図表3)。

白色 LED についても青色と同様、価格低下の圧力が強まると考えられる。特に一般照明用市場として用いられるためには、素子改善や蛍光体改善、高出力化による明るさのアップはもちろんのこと、代替品とのコスト競争に勝たなければならない。現状では、図表 4 にあるように他の光源と比べても、一桁以上高く、競争にならない。そのため、現行では 55～65 円/個である価格も、徐々に低下していくものと思われる。

図表 3 LED 種類別価格動向予測

(単位:円/個)

	2003年	2005年	2010年	備考
白色	55～65	40～50	30～40	今後は特性アップ 価格は低下傾向
青色	40～50	25～35	25～35	当面は大きく 低下が進む
他高輝度	20～50	20～40	20～40	特性で格差大
他汎用	5～10	5	5	5円以下の場合も

注：現行素子での通常パッケージベース

出所：矢野経済研究所「拡大する LED 市場の現状と将来展望 2003 年版

図表 4 光源の価格比較

	40W 白熱灯	蛍光灯 (電球型)	LED
円/lm	0.1～0.2	1.4～2.0	30～60

注：1) 光源の売価ベース

2) 光束は白熱灯 500lm、蛍光灯 700lm、LED1～2lm として試算

出所：図表 3 に同じ

ところで照明機器メーカーの意見では、現行の明るさで価格が一桁安くなったとしても一般照明用途への普及は厳しく、LED の特徴がトータルコスト（初期導入コスト+ランニングコスト）を含めて受け入れられている限定分野での採用が見込める程度と考えられている（図表 5）。

一方では、他の光源では、LED の有している特徴を満たさないなど、コストを超えた魅

力があることも確かで、コスト低下とともに、性能のアップを総合的に図っていく必要がある。

図表5 LED化普及の目安・対応状況

照明機器メーカー	
山田照明	<ul style="list-style-type: none"> <li>・現行LEDの明るさであれば価格10円以下が目安。</li> <li>・製品展開ではメンテナンスフリーメリット中心から薄型化などのLED固有特性を生かした製品展開へ。</li> <li>・室内全体を漫然と照らす今の照明文化から必要なところだけを照らせるLEDにより光に対する用途分けが進むと考えている。</li> </ul>
松下電工	<ul style="list-style-type: none"> <li>・現行LEDの明るさでベースでは価格が一桁ダウンでも一般照明用途には厳しい。単純比較では対蛍光灯比で二桁の価格差。よってLEDメーカーへの要求は価格が最優先。</li> <li>・自社技術による高出力LEDユニットの開発やLED事業に強い独メーカーの買収でLED製品の2002年度までの累計81品番に対し、2003年度では100品番を計画。</li> </ul>
LEDメーカー	
日亜化学工業	<ul style="list-style-type: none"> <li>・独自開発の赤色蛍光体をプラスした電球色LED発売や紫外LEDベース(RGB蛍光体)のLED開発</li> </ul>
豊田合成	<ul style="list-style-type: none"> <li>・明るさと演色性を両立させた紫色LEDベース(RGB + 新蛍光体)の白色LEDの発売</li> </ul>

出所：図表3に同じ

図表 6 は、高輝度 LED の供給と需要の地域的ギャップを示したものである<sup>1</sup>。

LED については、消費ニーズに応える形で、白色 LED を中心とした、高輝度のものに生産が移行している訳であるが、世界の高輝度 LED の生産と消費の地理的なギャップは極めて大きく、北米と日本が供給超過で、特に日本の供給超過分が大きい。これは日本が高輝度 LED の世界の供給基地になっていることを示しており、その他の国では技術水準の高い、高輝度 LED の供給が国内で十分に行えない状況にある。

図表 6 高輝度 LED の供給と需要の地域的ギャップ (2002 年)

	供給 (百万ドル)	需要 (消費) (百万ドル)	供給 - 需要 (百万ドル)
北米	364	330	+34
日本	974	598	+376
ヨーロッパ	227	413	-186
アジア太平洋	280	448	-168
その他	0	53	-53
世界全体	1,843	1,843	0

出所：Strategies Unlimited “High-Brightness LED Market Review and Forecast 2003” (2003)より作成

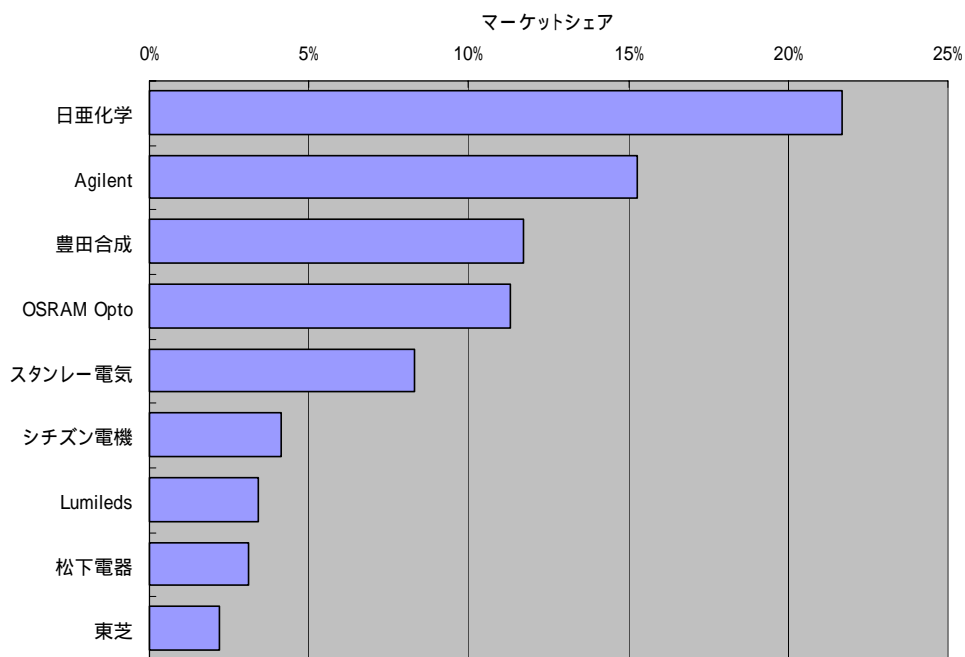
図表 7 は、高輝度 LED における世界マーケット・シェアを示している。この図表からも明らかのように、日本企業のマーケット・シェアは、世界の半数を占めており、国際競争力の高い産業と言える。また日亜化学、豊田合成、スタンレー電気の 3 社で世界全体の 4 割のシェアを持っているものと推定されている。

<sup>1</sup> 高輝度 LED の定義：Strategies Unlimited 社では、InGaAlp、AlGaAs、InGaN を半導体材料として用いているパッケージについて、高輝度 LED として定義している。その中には下表のような製品セグメントがされている(Strategies Unlimited “High-Brightness LED Market Review and Forecast 2003” (2003))。

Product Segment	Input Current (mA)	Input Power (W)	Luminous Flux (lm)	Luminous Efficacy (lm/W)
<u>Standard Lamp Packages</u> (3mm, 5mm, SMD)	10-20	0.04-0.08	0.1-5	2-60
<u>High-Curent Packages</u> (e.g., Lumileds SuperFlux, SnapLED, OSRAM Power TOPLED)	30-150	0.08-0.40	0.2-8	2-26
<u>Power Packages</u> (e.g., Lumileds Luxeon, Nichia “High Power”)	350-700	1.0-4.8	4-120	4-55
Multichip Packages	Variable	Variable	Variable	Variable

図表7 高輝度LEDランプにおける世界マーケット・シェア（2002年）

地域 / サプライヤー	収入(100万ドル)	構成比
日本		
日亜化学	400	21.7%
豊田合成	216	11.7%
スタンレー電気	153	8.3%
シチズン電機	76	4.1%
松下電器	57	3.1%
東芝	41	2.2%
シャープ	11	0.6%
ローム	3	0.2%
三洋電機	3	0.2%
その他	13	0.7%
小計	974	52.9%
北米		
Agilent	282	15.3%
Lumileds	62	3.4%
その他	20	1.1%
小計	364	19.8%
欧州		
OSRAM Opto	208	11.3%
その他	19	1.0%
小計	227	12.3%
アジア太平洋		
台湾	128	6.9%
韓国	112	6.1%
その他	40	2.2%
小計	280	15.2%
合計	1,843	100.0%



出所：図表 6 に同じ

### 台湾 LED 産業の概要

AlGaInP LED 生産で高いシェアを誇る台湾は、InGaN ベースの LED においてトップ供給者として急激に成長してきている。台湾には多くのチップを出荷している企業があるが、中でも UEC、Epistar、Arima や Formosa Epitaxy は大手で、少なくともこれ以外に 10 企業が異なったレベルの発展段階にある<sup>2</sup>。Steele 社は 80 以上の InGaN MOCVD リアクターが台湾にあるとしており、チップ生産能力は全体で 25,000 ダイス/月を超えると見ている（ただし、実際の生産レベルは、それ程は高くない）。これらは中ぐらゐの品質の青色 LED で主として携帯電話のキーパッドの光源として利用されている。台湾の主要な LED メーカーのひとつである Opto Tech 社によれば、台湾の光電子産業は 1999 年に 85 億ドルであったものが、2002 年には 140 億ドルに成長した。世界の他の国と比較すると台湾は IT やディスプレイには強いが通信関連では弱いという。また、台湾は現在 LED チップ生産では世界の 64% を占め、200 近い数の MOVPE リアクター（少なくとも 17 社）が国全体にわたって設置されている。この MOVPE リアクターの 2/3 は LED 生産用で、残りは HBT や HEMT のエピウエファーやレーザーダイオードを開発している。

### 韓国

韓国における LED 生産については、Samsung や LG といった日本モデルと呼ばれる大手

<sup>2</sup> Compound Semiconductor.net 2003 年 4 月、Tim Whitker から抜粋



中心のものであった。しかし近年では 1997 年の IMF ショックもあり、アメリカ型の専門性の高い研究開発型企業による取り組みが見られる。このように Samsung は大規模のパッケージを中心に、その他個々の分野に特化した企業によって構成されるのが韓国の特徴である。

韓国の高輝度 LED の需要は携帯電話生産の成長によって高まっている。しかし、こうした高輝度 LED の国内供給は限られており、主として台湾からの供給に依存している。

#### 中国

中国でも、北京大学と企業を中心に、青色、緑色 LED の実用化、2001～2007 年間で照明用白色 LED の開発を目指しているが、他の産業と同じように国内企業の LED 技術は世界的に見ても遅れており、実際の生産は、台湾や中国、日本の外資系企業となっている。これらの企業が安い労働コストを武器に、輸出向け製品を生産しているのが現状である。

#### ヨーロッパ

西ヨーロッパは LED の供給と需要面では供給が少ない、輸入超過である。西ヨーロッパでの地域別の生産量を見るとドイツが最も多く、次いで英国となっている。

### 3 - 1 - 2 普及動向

本節では、著しい普及が進む交通信号機を始めとして、自動車用ランプ、一般照明について海外調査の事例を交えながら、現在進められている LED 照明の普及動向について検討する。

#### (1) 交通運輸部門

交通運輸部門は、交通信号機を始めとして、比較的 LED 化が進んでいる分野である。これは LED のもつ特徴（環境性、安全性）が生かされる分野であること、また公的な機関の関与が高いことなどが理由として挙げられる。

#### 交通信号機

交通信号機は、LED の持つ省エネ、視認性の良さといった特徴を生かしたアプリケーションとして、世界各国でその普及が進められている。

Strategies Unlimited 社の調べによると、交通信号機の市場は現在、規模は小さいものの急速に伸びてきている。特に米国でその普及が進んでおり、2002 年の高輝度 LED 交通信号機の世界市場における市場規模は 4,350 万ドル（高輝度 LED 市場全体の約 2.4%）であるが、米国での市場規模は、約 3,610 万ドルと、世界市場の 82% を占めている。

LED を用いた交通信号には大きく、車両用交通信号機、歩行者用交通信号機、矢印などの指示器などがある。LED 信号の特徴は従来の白熱ランプのものと比較して視認性、省エネルギー性、長寿命性、作業性や環境性等が高いという特徴をもっている。

LED 交通信号機の導入の大きな障害は、初期コストの高さである。例えば、LED 交通信号機のコストが LED、灯器、アーム全体で 16 万円であるのに対し、白熱電球交通信号機の場合、11 万円となり、約 5 万円の開きが存在する。この初期コストの差を埋めるものとして、電力コストの削減部分や年一回実施する白熱電球交換作業費の削減がとりあげられる。こうしたコスト削減分を勘案した総コストでみると LED 交通信号機の方が従来の白熱電球信号機よりも小さくなるとしているが、将来における費用削減分を現在価値評価法によって割り引くという通常の投資判定基準に照らし合わせると、すぐに転換するに十分な差が出にくい状態である。

世界的に見ると、交通信号機の LED 化は、積極的に進められており、シンガポールやストックホルムでは、全ての交通信号機が LED のものとなっている（図表 8）。

図表 8 世界で普及が進む LED 交通信号機



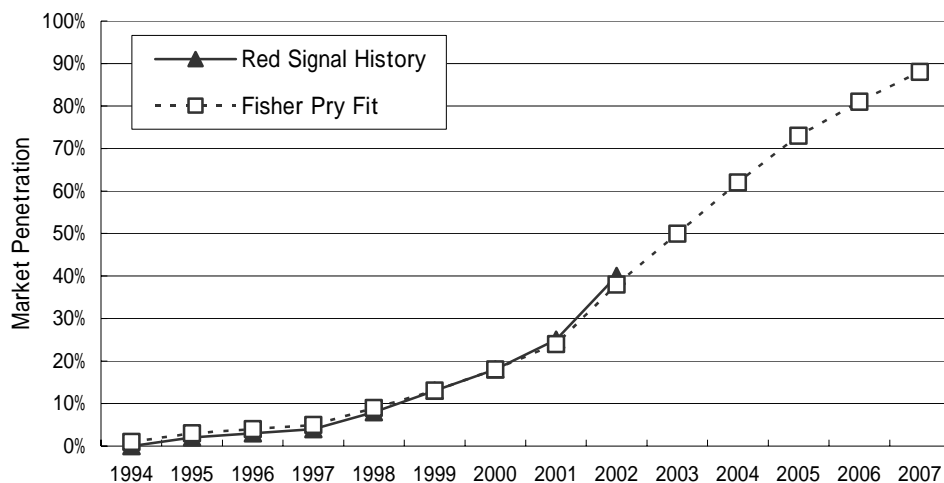
< 米国 >

北米では、2001年の電力危機を契機に交通信号機のLED化が進められている。米国大手の照明メーカーである、Lumiledsによると、米国の交通信号機のうち20~25%がLEDに変わっている。このうち色によって導入率が違っており、赤が最も変わっている。その理由は省エネの効果が一番大きいため、交通信号機の色による点灯率は赤60%、緑35%、黄色5%程度であり、赤から変えるのが最も省エネ効果がある。黄色は点灯時間が短く、費用の回収が遅い。交通信号機の3色のうち、赤色信号機は赤色LEDのコストが安かったこともあって、電力危機以前から経済性をベースに交通信号機に導入されてきていた。ちなみに、米国では設置ベースで赤信号の38%、青信号の29%がLED化されていると言われる。

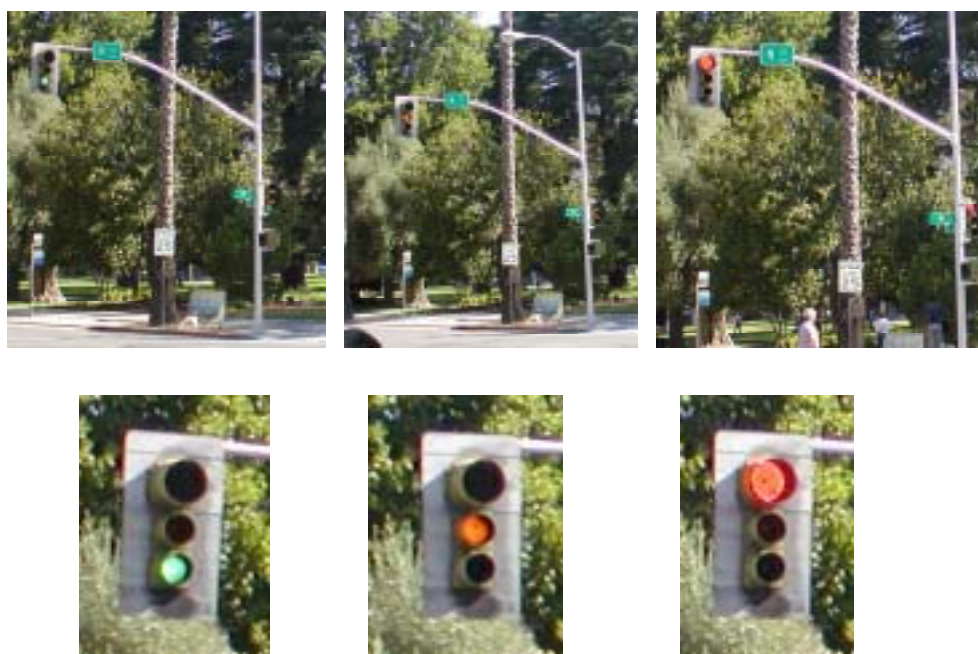
LED交通信号機導入の先進地域であるカリフォルニア州では2年以内に50%以上転換を目標にしており、米国全体でも年5%の転換が見込まれている。

図表9は、米国の赤色信号機のLED化率の進展と普及カーブを示したものであるが、2002年には約40%がLED化されている。2003年には50%の普及率が見込まれ、これ以降、年間設置台数は減少していくものと考えられている。そして、2007年には90%の普及率に到達すると想定される。赤色LED以外の色に関しても同様の成長カーブを1年から数年の遅れてたどると思われる。

図表9 米国における赤色信号機の普及カーブ



出所：図表6に同じ



(写真 サクラメントの交差点 (赤信号が LED になっている。下段は拡大したもの))

#### <台湾>

台湾では、国内で LED を製造していることから、比較的多くの分野で LED の普及が進められている。現在、台湾での LED の用途としては、おもちゃ、携帯電話などのバックライト、LED 交通信号機、自動車用各種機器、照明が主なものである。特に需要が高いのは、おもちゃ用とバックライト用である。

台湾では、青色 LED の製品化が本格化した 1995 年あたりから LED 交通信号機の採用が始まった。現在では約 25% 以上が LED 交通信号機に変換されている。これは、シンガポールが政府自ら計画的に導入したのと対照的に、メーカーの売り込み努力と交通部および自治体の LED 交通信号機採用の姿勢によるところが大きい。

当初、LED 交通信号機が導入された経緯としては、メーカーが自治体（台湾でも日本と同じように自治体が交通信号機の設置主体である）に対して、これまでの交通信号機用の電気代金相当の代金を支払ってくれば、先に LED 交通信号機を設置するという申し出を行い、これを自治体が了承するといった方法による普及が進んだという。

1995 年当時は、赤は台湾製であったが、ブルー（グリーン）はすべて日亜化学から輸入していたが、2000 年あたりから購入チップのアSEMBリーにより徐々に内製化率を上げてきている。

交通信号機は入札で購入するので当初は、LED 方式の方が高価で導入に消極的な自治体が多かったが、技術進歩により、大分安くなってきていて自治体側の姿勢も一層前向きになってきている。6 年前に比べて現在の LED コストは 1/5 ~ 1/6 である。



(写真 台北市内の交通信号機)

#### <シンガポール>

シンガポールでは、1999年4月より2001年4月まで二年間にわたって、LED Signals Program と呼ばれる、通常のパルプ式交通信号機から LED 交通信号機への交換プログラムが行われた。これによってシンガポール全土の約 1,700 の交差点、約 67,000 個の電球が存在していたが、これを全て LED に交換したことになる(図表 10)。

この計画を実質的に運営したのは、シンガポールの交通政策を担う陸上交通庁(Land Transport Authority、以下 LTA)である。LTA にとってこのプログラムを実行する最大の目的は、交通信号機運用にかかる費用を削減することであった。LTA はこのプログラムを行うにあたって、入札行い、最終的にシンガポール・テクノロジー・エンジニアリング(Singapore Technology Engineering、以下 STE(現在、シンガポール・テクノロジーの一部門として吸収合併))が LED 交通信号機の納入、設置を行うことになった。

STE が提示した入札金額は、2,211 万シンガポールドルである(図表 11: 日本円で約 15.5 億円、ただし 1 シンガポールドル = 70 円で換算した。なお一つの交差点あたりで計算すると約 91 万円という計算になる)。なお STE はあくまで LED 交通信号機の納入業者であり、交通信号機器そのものの製造は台湾の業者が行い、赤とオレンジ色の LED チップは米国 HP 社が、また緑については日本の日亜化学から購入されたものである。

図表 1 0 LED Signals Program

	開始年月日
契約	1999年04月30日
初期設計	1999年06月24日
最終設計	1999年09月17日
製造開始	1999年10月18日
設置工事	
フェーズ1	1999年11月19日
フェーズ2	2000年01月26日
フェーズ3	2000年03月27日
フェーズ4	2000年05月08日
フェーズ5	2000年07月18日
フェーズ6	2000年09月18日
フェーズ7	2001年01月16日
完成	2001年04月29日

出所：Land Transport Authority 提供資料

図表 1 1 LED Signals Program の費用内訳（STE 社提示金額）

	S\$	構成比	(日本円換算) 1S\$=70円
設計、テスト、事務経費など	2,211,000	10%	154,770,000
機器代金	16,582,500	75%	1,160,775,000
労働費	2,211,000	10%	154,770,000
保証費	1,105,500	5%	77,385,000
総合計金額	22,110,000		1,547,700,000

出所：Land Transport Authority 提供資料



(写真 シンガポール国内の交通信号機)

#### <ストックホルム>

欧州でも、国を挙げてという訳ではないが、交通信号機における LED 化は進んでいる。特にストックホルムでは、1998 年から 2001 年にかけて、市内の全ての交通信号機（自動車用 11,000 ユニット、自動車 + 歩行者用 28,000 ユニット）を LED 化している。これは国と市の予算で実行されたもので、カナダの Gencore 社のものが 90%、スウェーデンの ITAB 社が 5%、オーストリアの SWARCO 社のものが 5%という比率で導入されている。

ストックホルム市では、今後 SWARCO 社のものに順次、取り替えていくとのことである。これは、LED の性能が向上（高輝度化）したことで、素子をたくさん並べるのではなく、2~3 個程度の LED チップを並べて、以前の交通信号機のように、各色のフィルターによって色を変えるものが開発されているためである（ただしこの場合、フィルターを通すことで効率は悪くなると考えられる）。



(写真 スtockホルム市内の交通信号機)

ストックホルム以外にも、ドイツでは交通信号機（自動車、歩行者ともに）はもちろんのこと、道路やアウトバーン（高速道路）の交通標識として用いられている。アウトバーンは、制限速度がないことで有名であるが、（渋滞など）一定の条件では速度制限がされる場合がある。状況に応じて、表示内容を変えることができ、視認性の高いLEDは規制情報をドライバーに的確に伝えるという、安全性の面からも高い評価を得ている。またレーンライトと呼ばれる、道路の側道を照らすライトもLED化が進んでおり、霧などが発生すると見にくかった道路の進行方向が明るく照らされている。

イギリスでもロンドン駅構内の電光表示がLED化されていたり、新型の2階建てバスでは、テールランプにLEDが装着されているなど、いくつかの公共的な場所や乗り物で導入が進んでいる。

#### <日本>

2003年3月時点の日本の交通信号機は380万基（車両用300万基、歩行者用80万基）あり、その内の4万基がLED化されていると言われる<sup>3</sup>。LED化率で見ると1%程度で、シンガポール、米国、中国、欧州のLED化率よりもかなり低い。

2002年にシンガポールを訪問した石原・東京都知事が10年間で全ての交通信号機をLED化するLED化プログラムに着手し、銀座、靖国通りなどの主要な地区での大量導入を図っている。しかし、交通信号機に関しては各県の県警がLED化の鍵を握っており、徳島県、三重県、神奈川県などが県単位での決断でLED化を推進している状態にある（図表12）。

図表12 世界の交通信号機設置数とLED化状況との比較

	交通信号機数(万基)	LED化数(万基)	LED化率(%)
北米	1,200	220	18%
欧州	1,000	70	7%
中国	100	13	13%
その他	100	1	1%
シンガポール	6.5	6.4	98%
日本	380	4	1%
合計	2,786.5	314.4	11%

1) 3色灯器数

例；北米：360万×3（車両用3色灯器）+120万（歩行者用）

日本：100万×3（車両用3色灯器）+80万（歩行者用）

2) 2003/3時点の推定数

<sup>3</sup> 警察庁交通規制課によると、LED信号機は95年に徳島、愛知両県で初めて導入され、2001年度末時点では全国約180万基のうち、約8,500基で使われていたという。



既に車両用 LED 交通信号機は警察庁で仕様が決まっている<sup>4</sup>が、歩行者用 LED 信号に関しては、平成 13 年の実証実験において、歩行者用信号灯器の LED 化を望む声が多かったことを踏まえ、平成 14 年 12 月に交通安全施設としての標準仕様及び整備方針を策定している。さらに、平成 15 年度を初年度とする次期交通安全施設等整備事業長期計画の中で、道路交通のバリアフリー化に資する事業と明確な位置付けを与え、都道府県警察において積極的な整備が推進されるよう指導することになっている。

こうした LED 信号の普及率を日本の市場規模という観点から見ると、2002 年時点で 140 万ドル（1 億 6,800 万円）と推定されている（Strategies Unlimited 社による）。世界市場全体では 4,400 万ドル（52 億 8,000 万円）で 2007 年には 9,700 万ドル（116 億 4,000 万円）となると予測されている。

世界の中で最も LED 化が進んでいる米国とは異なり、日本はまだ市場が初期段階であるので、これからの成長が期待出来る市場である。また米国市場と異なり、電球を個別に置き換えるのではなく、アームだけをそのままにして 3 色灯を筐体ごと置き換えるのが一般的であるので、市場への浸透が始まればその速度は速くなると思われる。

#### <その他>

その他諸外国の動向としては、2000 年に中国が全国的プログラムとして交通信号機の LED 転換を始めている。2002 年には 10 万を超える交通信号機（青、赤、黄色）の交換が終了している。

ヨーロッパの交通信号機の LED 化は散発的である。ストックホルムのように、いくつかの大都市で LED 交通信号機転換プログラムが最近実施されているものの、大きな流れになっているとは言えない。

インドでは 6 市で、太陽電池を用いた LED 交通信号機に転換した。この交通信号機には台北市内の歩行者用交通信号機と同様に、信号が何時変わるかを知らせるカウントダウンタイマーが付いている。

#### 自動車用ランプ

交通運輸部門で、交通信号機に次いで普及が進んでいる、また普及が期待されているものとして、自動車用ランプが挙げられる。

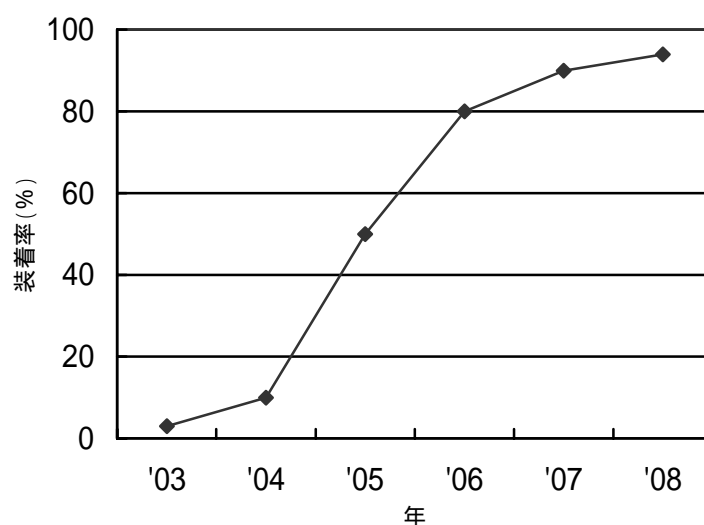
自動車用照明・表示装置については、大きくは外装用（エクステリア）と内装用（インテリア）に分かれる。外装用の自動車用ランプは、自動車の運転を安全にかつ容易にする

---

<sup>4</sup> 警視庁交通局交通規制課、警視庁情報通信局通信施設課「U 形車両用交通信号灯器仕様書」警交仕規第 245 号「版 1」制定 2000-09-08、警視庁交通局交通規制課、警視庁情報通信局通信施設課「交通信号灯器共通仕様書」警交仕規第 246 号「版 1」制定 2000-09-08

ために、主として進行方向を照らすことを目的とした「照明灯」、第三者に対して自動車の存在を示し、注意を与えることを目的とした「表示灯」、第三者に対して運転者の意思を示し、注意を与えることを目的とした「信号灯」の 3 種類に分けることが出来る。また、内装用として、LED の応用対象となるものとして、インスツルメントパネル（ダッシュボード）などの表示機器がある。

図表 1 3 新型乗用車の LED ランプ装着予想



出所：小嶋伸一「自動車用照明の技術（1）」照明学会誌、Vol.86 No.12 2002

内装用の高輝度 LED は 1997 年から使用され、2002 年では 255 百万ドルの市場を形成している。当初、ヨーロッパから始まった自動車内装用照明への LED の応用は、その後、日本、米国に波及した。欧州ではかなり進んでいるが、日本では採用が始まったばかりである。米国でのインスツルメントパネルへの LED 適用はヨーロッパ、日本より遅れている。米国では 2002 年に初めてリンカーン・ナビゲータに白色 LED が使用された。2003 年にはリンカーン・アビエータのインスツルメントパネルに白色 LED が使用されている。

自動車用として高輝度 LED の採用が進んでいる欧州市場では、当初、シーメンスの Opto Semiconductor Group（現在の OSRAM Opto Semiconductors）が開発、市場開拓を行った。1997 年には内装関係で LED を装備した車は生産台数の 30%であったものが、2000 年には 50%、そして、2002 年には 80%に達している。最大の LED 供給企業は OSRAM であるが、それに追随している企業としては日本の東芝、豊田合成、スタンレー電気、日亜、シチズンが挙げられる。

Strategies Unlimited 社の調べでは、2002 年における日本の自動車内装関連 LED の市場規模は 3,640 万ドルとなっている。

2000 年にトヨタ自動車アジア向けにインスツルメントパネルのバックライトに

LED を使用し、2001、2002 年においてはレキサスにと適用車種を拡大してきた。ホンダは 2003 年の新型アコードにインストルメントパネルと制御部分に白色 LED を使用しており、本格的な大量市場向けの車種に搭載された最初のものとなっている。

外装関連では、既に欧州では飽和状態になり始めているハイマウント・ストップランプの LED 化は、日本市場でこれから急速に拡大すると見られている。また、燃費の向上のためにターンシグナルランプ、サイドターンランプ、ストップランプ、尾灯に関しても同じように市場が拡大する。ヘッドライトは要求事項が多く LED 化は遅れる可能性があるが、2006 年頃には最初の採用車が登場する可能性がある。デイトタイム・ランニングランプやフォグランプに関しては 2004 年には LED 化した新車が登場すると推測されている。Strategies Unlimited 社の調べでは、2002 年における日本の自動車外装関連 LED の市場規模は 960 万ドル（11 億 5,200 万円）となっている。

図表 1 4 日本における自動車用 LED 市場規模（2002 年）

自動車用 LED	市場規模（億円）	市場規模（百万ドル）
内装用	43.68	36.4
外装用	11.52	9.6
全体	55.20	46.0

注：1 ドル = 120 円で換算

出所：図表 6 に同じ

普及率（2002 年）をみると、CHMSL が最も高く、世界全体では 34.4% であるが、最も普及しているのはヨーロッパで 75.0% である。米国は 12.3% に留まっている。ブレーキ・方向指示・テールランプは 4.1% しかなく、ヨーロッパ、日本がそれぞれ 8.4%、8.0% と高いが、米国は 1.1% に留まっている。サイドミラー搭載方向指示器は 1.1% でヨーロッパ、日本のみで使用されており、米国での実績はない<sup>5</sup>。

外装用についてのメリットとしては、図表 15 に示されるように点火までの反応時間が通常のランプよりもかなり短いこと、エネルギーの消費量が少ないこと、そして寿命が長いことである。

応答性ならびに視認性の良さという LED の長所によって、リアクションタイムが約 0.2 秒短縮され、認識のタイミングが早まる。これによって時速 100km の走行では 5～7m の差が生まれ、追突が回避される率が高くなり、安全面での貢献も大きいと評価されている。

ストップランプで言えば LED 化によって、10・15 モード走行で 1.0% の燃費向上があると想定される。ストップランプ以外のランプに関しても LED 化が進めば、燃費の向上が期待される。また、省スペース性によって、自動車の設計にとって重要なトランクルームの容

<sup>5</sup> Strategies Unlimited (2003)

積拡大やデザインの自由度が高まるという付随的な効果も得られる。

図表 1 5 ストップランプ LED 化による効果

効果項目	バルブ（現在の ストップランプ）	LED	LED 化効果
消費電力	42W	6.6W	10・15 モードで 1.0%の燃費向上
応答性	200～250ms	0.1ms 以下	認識距離が 100Km/h で 5～7m短縮
寿命	1,000 時間	10,000 時間以上	10 倍以上の寿命向上

## （ 2 ）一般照明用

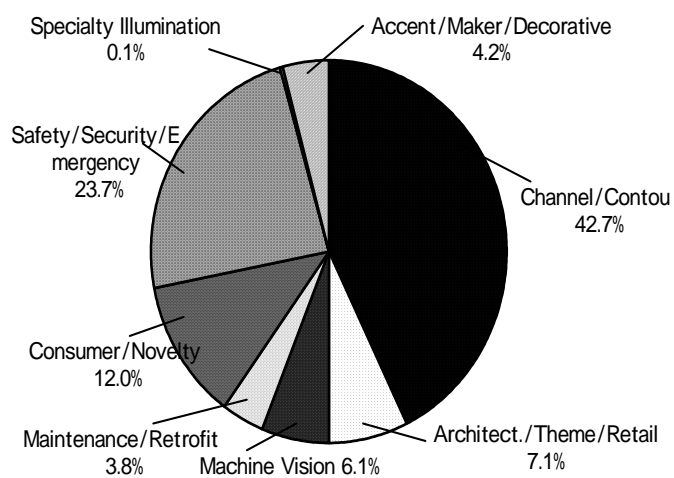
現在、LED メーカーでは LED の短所である初期費用が高いこと、ルーメン出力が低いことを克服するために技術開発を進めているが、市場への普及にはまだ年月がかかると考えられている。白熱電灯や蛍光灯、ハロゲンランプの使用されている市場の多くは、メンテナンスや取り替えコストが安く、初期コストの安さが受けている市場であるため、市場規模としては大きい。これを LED 化していくにはコストや時間がかかることを覚悟しなければならない。むしろ早期に立ち上げるためには、従来の照明光源では難しかった新たな応用分野を攻めていくことが必要と思われる。

図表 1-2-22 はそうした LED 照明分野における 2007 年ごろまでの LED 化の可能性をまとめたものである。白熱灯はワットあたり 17ルーメンで、最高の LED で 25ルーメン、蛍光灯では 80ルーメンであるので、発光効率では蛍光灯がはるかに高い能力をもち、世界中の照明に使われている。コスト面においても従来型の照明に比べて 10 倍も高いため、現在のところは限られた用途にしか応用されていない<sup>6</sup>。

Strategies Unlimited 社によれば、こうした照明分野の LED 市場規模は 2002 年では 8,500 万ドル（102 億円）となっているが、日本は 210 万ドル（2.52 億円）でしかない（図表 16）。分野別では図表 17 に示すように、文字広告、輪郭照明が半分近くを占めており、次いで安全・セキュリティが 1/4 弱となっている。

<sup>6</sup> ここで注意すべきは、以下の LED 照明の市場を示している図表が、いわゆる一般照明（白熱灯や蛍光灯など）の代替を示していない点である。Strategies Unlimited 社では、2007 年までには LED が一般照明にとって代わるまでには技術的にも至っていない、と予測している。これは米国内でも同様の見方がされている。従って市場予測についても通常いわれているものよりも少ない、応用分野が中心となっている。

図表 1 6 照明 LED 市場での応用分野別売上高割合

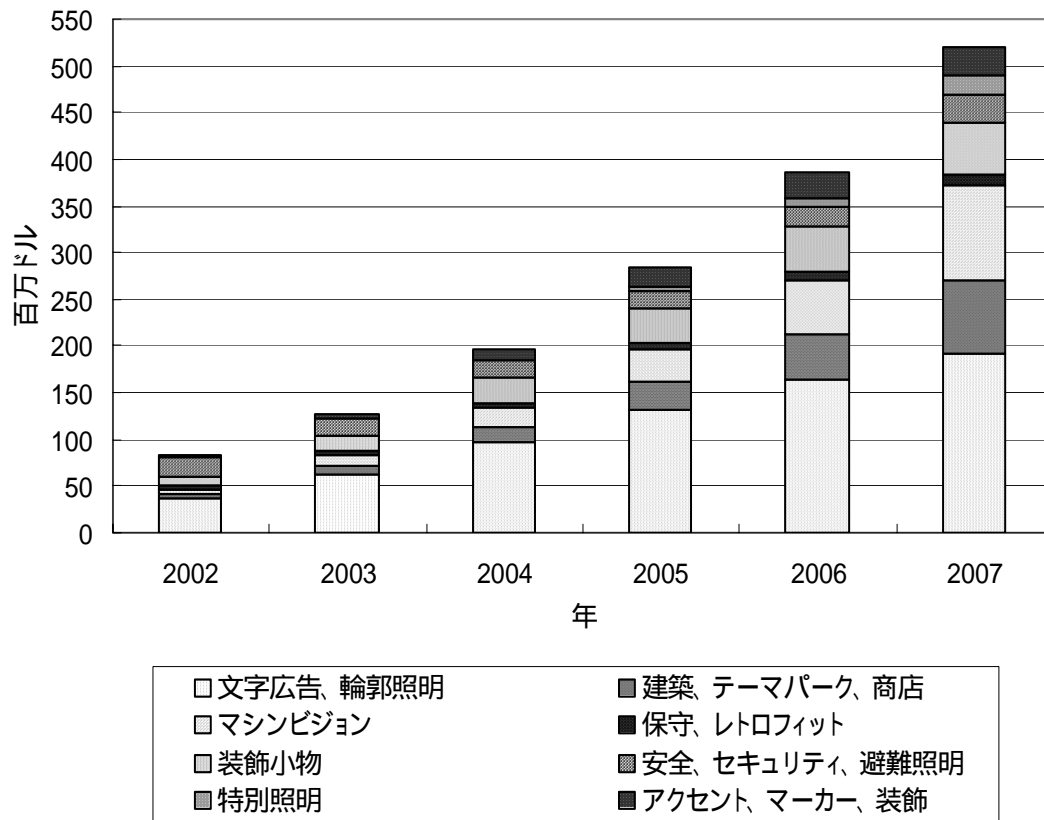


( Total : \$85 Million )

出所：図表 6 に同じ

2007 年のこの分野の市場は 5 億 2,200 万ドル ( 626 億円 ) と年率平均 43.8% の伸びが期待されるとしている。特に市場規模の大きい分野は文字広告・輪郭照明とマシンビジョンで、この二つで 2 億 9,200 万ドル ( 350 億円 ) を占めると予測している。一方、最も成長率の高い分野は特殊照明で、2007 年までの平均成長率は 219.4% と極めて高い ( 図表 17 )。

図表 1 7 照明用 LED の分野別市場予測



出所：図表 6 に同じ

<台湾>

台湾では、一部、公共施設の一般照明として LED 照明が導入されている。また新しいショッピングモールなどでは、エスカレーターの誘導灯や下から照らす装飾用として LED が用いられている。

台北市立社会教育館 (Taipei Cultural Center) は一部の照明を LED 化している公共の施設である。一般照明用として LED が用いられているのは台湾ではここが初めてである。

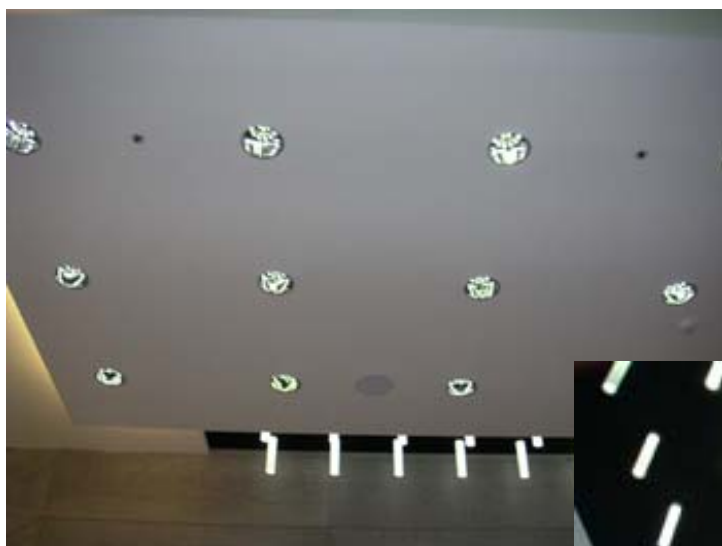
一般照明用として LED を導入する際には、台湾政府のプロジェクトとして予算が計上されている。昨年度は約 10 万ドルで、この台北市立社会教育館 (Taipei Cultural Center) への導入には約 2.5 万ドルが充てられた。またそのほかにもいくつか公共施設での導入が行われている。

社会教育館のメイン舞台の玄関ホールは、昨年から改築が進められており、その際に白色 LED の導入をおこなった。改築自体は 2002 年 10 月に終了している。

従来はメタルライトが用いられてきたが、Lumileds が 300mA の明るさを持つ LED 照明の開発が進んだことで、明るさも問題なく、寿命の長い LED 照明に切り替えることになった。LED の最大の利点は、やはり省エネである。やはり初期コストは、通常のものに比べれば、何倍もしてしまうのであるが、ここ数年で徐々に低下してきており、今後も低廉化が進むと考えられる。

一般的に蛍光灯などでは 80 ルーメンの明るさが必要と言われているが、蛍光灯の光は拡散しており、照明効率で考えると 20%程度しかない。これに対して LED であれば、光のコントロールが可能のため、本当に必要とされる光量を満たすことができる。

このメイン舞台の玄関ホールに設置された LED 照明は、2 つの違うワット数からなっている。奥が 4W (以前は 120W、約 80%の省電力) のもので、手前が 18W (以前は 120W、約 85%の省電力) のものである。



(上は 18W のもの、右が 4W の白色 LED)

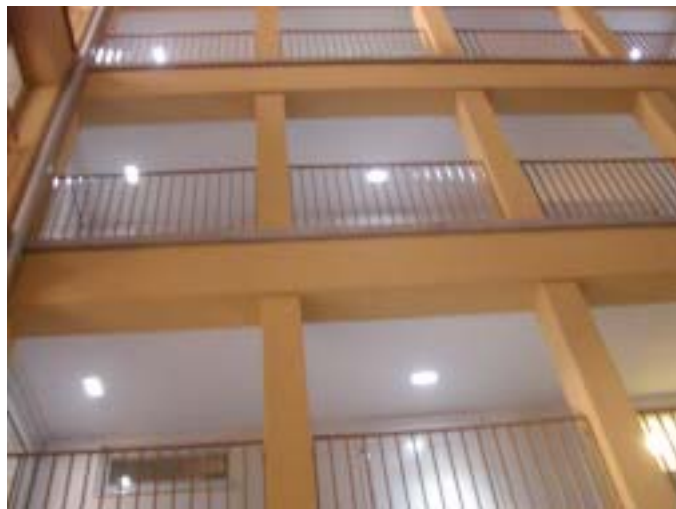


(写真 台北市立社会教育館 (Taipei Cultural Center) 内の一般照明用 LED)

#### <ストックホルム>

ストックホルムでは、一般のアパートメントの照明システムとして LED が使われている。一般照明用として LED が住宅で用いられている事例はまだ少ない。このアパートでは、廊

下などに設置された照明に LED を用いている他、ドアの上に、鍵のある場所を効果的に照らすような LED 照明を配置し、必要なところを明るく照らすシステムを採用している。



(写真 ストックホルム市内のアパートにおける LED 照明)



(写真 出入口付近を照らす LED 照明 (鍵穴の場所を照らしている))

### (3) 研究開発動向

ここでは現在、まだ白熱灯や蛍光灯といった既存光源に対して劣位にあり、研究開発の



中心となっている白色 LED について検討する<sup>7</sup>。

白色 LED を研究している研究機関としては、日本は、21 世紀のあかり研究体、日亜化学工業(株)、豊田合成(株)、ドイツは、オスラム社、米国は、Cree Lighting、GE Lighting、Lumileds である。1997 年以降の白色 LED 研究開発の流れをまとめたものが図表 1-2-27 である。現状では外部量子効率最高で 43% となっている。また、発光効率も 30 ~ 40lm/W となっている。いずれも日本の「21 世紀のあかりプロジェクト」の研究結果である(図表 18)。

図表 1 8 白色 LED 研究開発の流れ

年代	開発 内容	企業・研究機関
1997	青色 LED ( ~ 465nm ) と YAG : Ce 黄色蛍光体による擬似白色	日亜化学工業
1998	近紫外 LED ( ~ 400nm 前後 ) と 3 原色 ( RGB ) 蛍光体による本当の白色 外部量子効率 : 40% 白色 LED の発光効率 : 60 ~ 80lm/W ( 2003 ) 120lm/W ( 2010 ) 平均演色評価数 ( Ra ) : 90 以上	“21 世紀のあかり”
2001	RGB 白色 LED ( 382nm、24%、10lm/W )	“21 世紀のあかり”
200 ~ 2002	RGB 白色 LED ( 近紫外 LED 励起 )	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 豊田合成</li> <li>・ GE ( Gelcore, Gelighting )</li> <li>・ Osram Opto Semiconductor</li> <li>・ 日亜化学 ( 365 ~ 380nm )</li> </ul>
1 月	31% ( 399nm )、30lm/W	“21 世紀のあかり”
8 月	35%	日亜化学 ( 405nm )
12 月	43% ( 405nm )	“21 世紀のあかり”
2003 年	43% ( 現在、世界最高値 30 ~ 40lm/W、Ra > 90 ) 60% ( 目標値 ) ( 現状は 25%、Sic 基板 )	“21 世紀のあかり” オスラム社

( 最新データは Photonics West ( 2003 年 1 月 28 - 31 日 ) San Jose )

出所 : 田口常正、内田裕士「白色 LED 照明システム技術の応用と将来展望 ( 第 1 章白色 LED 研究開発の状況 : 歴史的背景 )」CMC 出版、2003 年 6 月

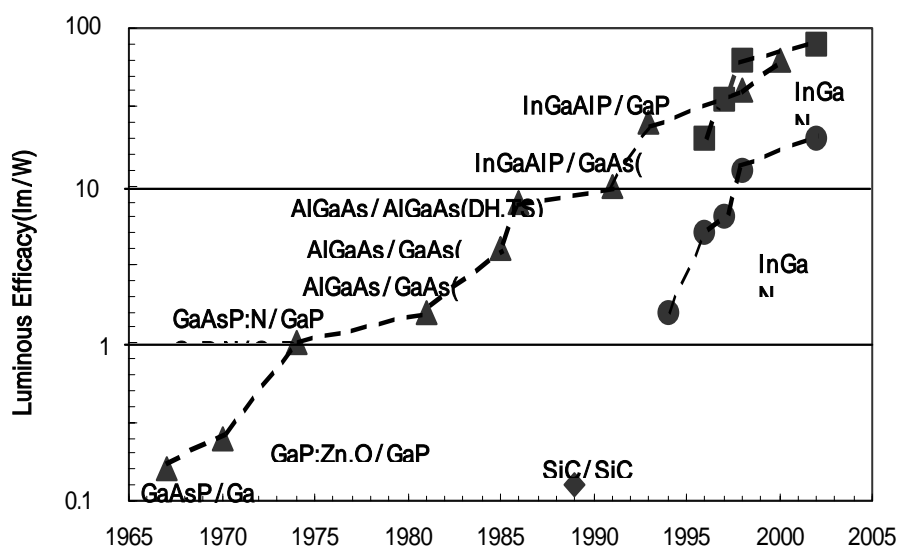
図表 19、図表 20、図表 21 は、これまでの LED 開発の軌跡に関して発光効率の推移として示したものである。長年の LED の技術開発の歴史は赤色と黄色の LED の性能向上に向け

<sup>7</sup> 本節は、主に田口常正「白色 LED 照明システム技術の応用と将来展望 ( 第 8 章海外の動向、研究開発予測および市場性 )」CMC 出版、2003 年 6 月による。

られており、10年間で1桁弱の発光効率の上昇を経験してきた。InGaNによる緑色、青色LEDが開発されたのは、つい最近であり、1997年に日亜化学が青色LEDとYAG（Ce黄色蛍光体）による擬似白色を創り出した。2002年時点では緑色LEDは既に赤色と黄色LEDと並ぶ効率を達成している。図表20で見られるように、InGaNの緑色と白色は、青色と比較するとかなりの発光効率を示すようになっている。

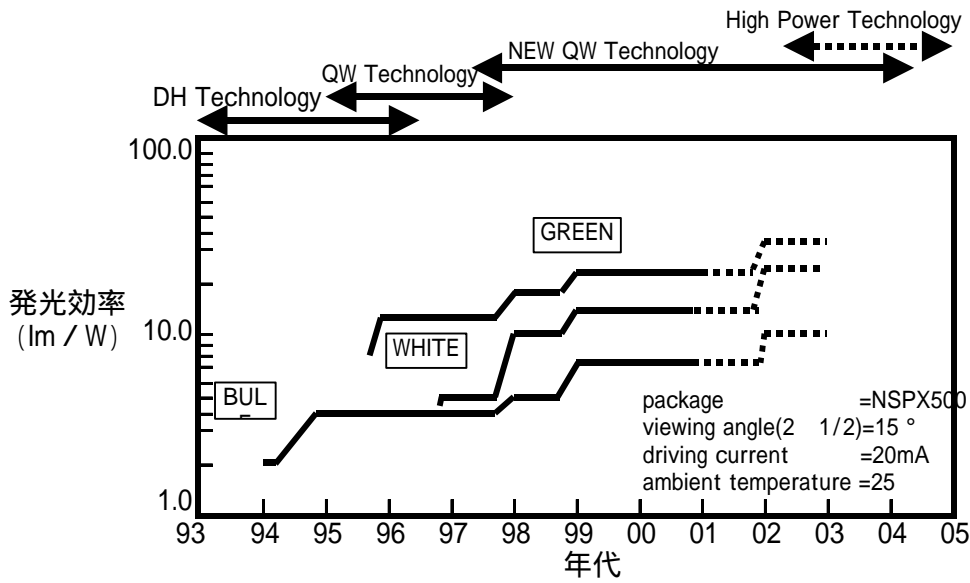
また図表21には、既存の光源である白熱灯との比較を示した。黄色や赤色の照明は白熱灯ではフィルターをかけることで、必要な色を出すことになるため、裸のままの白熱灯よりも効率は悪くなる。そのため、赤や黄色のLEDと比較して発光効率面で劣ることになっている。一方、白色LEDは青色LEDが必要であり、1999年時点ではその発光効率はまだ十分に競争出来る状態にはなかった。その後、図表21に示すように改善が進み、2002年においては白熱電灯であれば、効率面で競争することが可能となっている。

図表19 LEDの発光効率の推移



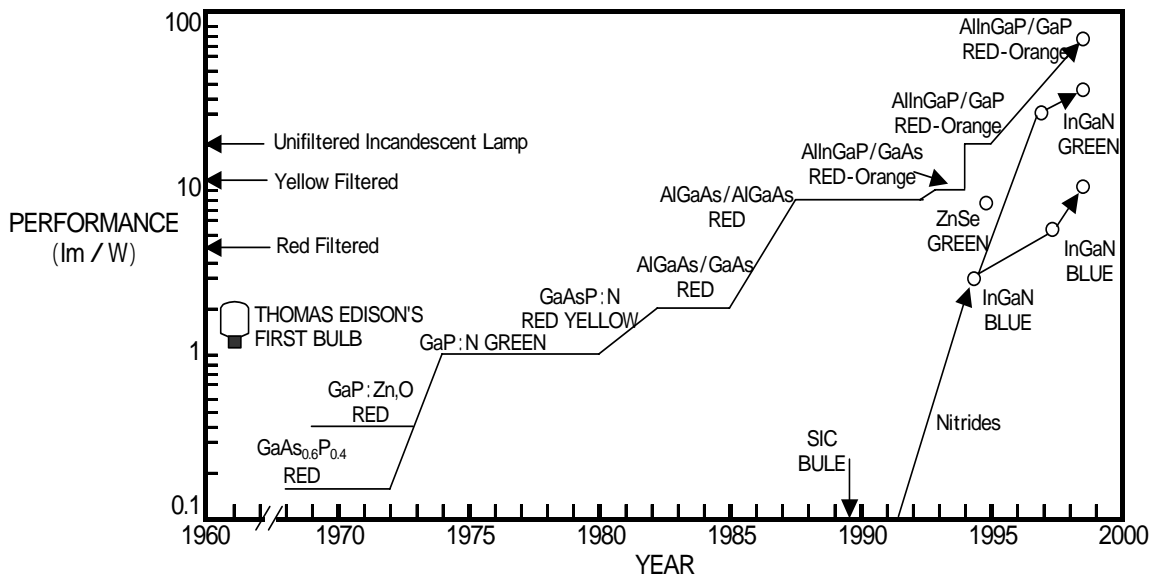
出所：図表6に同じ

図表 2 0 InGaN 系 LED の発光効率の変遷



出所：照明学会誌 Vol.85 No.4 2001

図表 2 1 可視光 LED の効率の進歩



出所：照明学会誌、Vol.86 No.1、2002

< 米国 >

米国の Sandia 国立研究所、OIDA ( Opto electronic Industry Development Association ) が中心になって、1999 年に National Research Program on Semiconductor Lighting プロジェクトを

立ち上げようとした。DOE ( department of energy ) が DARPA を通じて予算を振り分け、総額 500 億円を支出し 2025 年で発光効率 200lm/W を実現しようということで、2001 年立ち上げの計画になっていた。日本の「21 世紀のあかり」プロジェクトと異なっているところは、蛍光体励起用の光源は VCSEL 型の UV レーザーを考えている<sup>8</sup>。しかしながら、このプロジェクトは結果的に予算がつかなかった。その後も Sandia 国立研究所を中心に 1999 年以降毎年国家予算の要求を行ってきている。

最近、SEMATECH コンソーシアムモデルと DOE ビジネスモデルに基づいた Solid State Lighting ( SSL ) プロジェクトの立案が図られている。これは 2001 年 7 月 11 日に Senate Bill S.1166 ( The Next Generation Lighting Initiative ) として提出されたものであるが、総合的なエネルギー法案の一部として組み込まれ米国議会で議論されている。日本の「21 世紀のあかり」プロジェクトと同様のものと考えており、産業界と国立研究機関、大学等のコンソーシアムを作り、プリコンペティティブな研究開発には 20% を参加者が負担、残りをエネルギー省が資金供給し、事業化に立ちはだかる「死の谷」を回避するために応用研究に対しても政府がコンソーシアムを通じて資金供与するというものである<sup>9</sup>。

もし、この「次世代あかりイニシアティブ」が存続すれば、4 億 8,000 万ドルの研究資金がこれから 10 年間に獲得出来ることになる<sup>10</sup>。図表 22 は、2020 年までの米国のテクノロジーロードマップである。2007 年に白熱電球を代替、2012 年に蛍光灯を代替し、2020 年にすべての光源を置き換えようとする戦略的な値である。専門家の一部は、2012 年には、白熱灯、蛍光灯市場の 1/4 が LED に置き換わっていると予測する。

現在、カリフォルニア大学サンタバーバラ校では政府からの資金で次世代照明のプロジェクトを実施している。これは従来のアプローチとは異なった方法をとっており、2007 年には白色 LED の発光効率 200lm/W を狙っている<sup>11</sup>。これは米国の国家プロジェクトで想定されているロードマップと比較しても極めて高い値である。

---

<sup>8</sup> R. Haiz, F. Kish, J. Tsao and J. Nolsm, "The case of for a national research program on semiconductor lighting", presented at the 1999 to OJDA forum in Washington DC, Oct., 6 ( 1999 )

<sup>9</sup> Jeff Bingaman, Supporting the Next Generation of White Lighting Technology, Draft of Article submitted to Issues in Science and Technology Apring, 2002

<sup>10</sup> Paul Eng, "Bright Lights, Tiny Bulbs", ABC News.com, May 21, 2003

<sup>11</sup> Yoshio Hara, "White L E D lamp market brightens", EE times, July 18, 2002, <http://www.eetimes.com/story/OEG20020718S0013>

図表 2 2 米国における 2020 年までの固体照明 (SSL) 技術開発ロードマップ

TECHNOLOGY	SSL-LED 2002	SSL-LED 2007	SSL-LED 2012	SSL-LED 2020	白熱電灯	蛍光灯
発光効率 (lm/W)	25	75	150	200	16	85
	25	50	150	200		
寿命 (khr)	20	> 20	> 100	> 100	1	10
	> 1	10	> 10	> 10		
光束(lm/lamp)	25	200	1,000	1,500	1,200	3,400
	20	200	1,000	1,500		
コスト (\$/klm)	200	20	< 5	< 2	0.4	1.5
	500	50	< 15	< 5		
演色性インデックス (CRI)	75	80	> 80	> 80	95	75
	60	80	> 80	> 80		
設計の目標とする市場	低フラックス	白熱電灯	蛍光灯	すべての照明		
	-	白熱電灯の代替	蛍光灯の代替			

出所： 上段 ... 田口常正「白色 LED 照明システム技術の応用と将来展望(第 8 章海外の動向、研究開発予測および市場性)」CMC 出版、2003 年 6 月、P.252

下段 ... “Next Generation Lighting Initiative’s Tentative Program Objectives”, High Brightness LEDs shine in Novel lighting Applications, May 27, 2002, Electronic Design, ED online ID #2254

#### <台湾>

産業技術研究所 (ITRI: Industrial Technology and Research Ind.,) を中心として“次世代照明 (Next generation lighting)”プログラムを 2002 年に立ち上げ、R/D コンソーシアムを組織した<sup>12</sup>。2002~2005 年の 3 年間で 50lm/W の白色 LED を実用化する計画である。R/D としては 100lm/W が目標である。「21 世紀のあかり」プロジェクトと同じ様に、エピタキシー、プロセス、製造、パッケージング、モジュール、デバイス、応用が出来る企業を集めている。中でも、LED で実績のある Epistar 等が参加している。

#### <韓国>

Kwangju(光州)にある Korea Photonics Technology Institute(KOPTI)が中心になって“White LED industry of Solid State illumination”プロジェクトを立ち上げようとしており、2003 年 3

<sup>12</sup> Y. S. Liu, Proc. of First Asia-Pacific Workshop on Widegap Semiconductors (9-12 March, 2003, Awaji Hyogo, Japan) 205 (2003)

月までにロードマップ作りが完了している<sup>13</sup>。

#### < 中国 >

LED の生産について、アジアでは台湾、韓国での生産が大きいですが、今後中国の成長が見込まれる。特に、2003 年の 6 月に成立した「国家半導体照明工程協調」では、中国科学技術部、情報産業部、建設部、軽工業連合会、中国科学院などが集結して、中国全土における LED 照明市場の拡大が宣言され、今後、強力な政府の産業支援、開発費の援助、優遇策などが設けられる予定になっている。

中国では、政府が目指す「小康生活（食を確保出来る最低限度の生活レベルと豊かな生活との中間ステップを示す言葉）」を実現するためには、LED の省電力性は大きな魅力で、電力資源の弱い僻地向けとしても有利とされている。また都市部では、逆に消費電力が増大することで慢性的な電力不足になっており、照明電力の省エネ化は大きな期待をされている。

### 3 - 1 - 3 用途拡大に関する調査研究

#### ( 1 ) 農漁業分野

農漁業分野では、比較的 LED を光源として活用している事例が存在する。特に植物の栽培用の光源としては、他のランプと比較しても優れた特徴を持っている。

一般に、地上の植物には太陽から、紫外から赤外まで幅広い波長の光エネルギーが照射されている。しかしながら植物はその全ての波長のエネルギーを利用している訳ではないため、LED を用いることで植物の生育に有効な特定の波長を選択して照射することが可能となっている。

また LED の特徴である省電力を生かして、他の照明ランプを用いた植物栽培に比べて、省電力・低コストでの植物栽培が可能となっている。

静岡県豊田町の農事組合法人サンフィールドが、世界で初めて LED 野菜工場を稼働させている。24 時間赤い光を照射することで、通常二ヶ月半かかるレタスの成長を 1 か月に縮めており、季節や天候に関係なく、毎日約 5,000 株出荷出来る。生産量は 125 平方メートルの工場で 3 ヘクタールの畑に匹敵する。

ここで作られた野菜は新野菜「コスモリーフ雅」という商品名で、「LED 光源を利用した野菜工場（全自動水耕栽培プラント）で生産された農薬を使わない安全で安心出来る野菜」

---

<sup>13</sup> H. J. Lee, C. H. Hong, E. -K. Suh, C. R. Lee, Y. S. Lee, E. Yoon, B. M. Jung and Y. S. Liu, Proc. of First Asia-Pacific Workshop on Widegap Semiconductors ( 9-12 March, 2003, Awaji Hyogo, Japan ) 53 ( 2003 )

として販売されている。



(写真左：「コスモリーフ雅」、写真上：野菜工場の様子)

出所：コスモプラント株式会社コスモファーム事業部HP (<http://www.cosmofarm.com/>)

栄養面でも一般のレタスに比べて、ビタミンA、C、Eの含有量が高く、ビタミンAについては露地物に比べ14倍強もの効力を有している。

またハウス栽培のイチゴやトマトにLEDを照射すると糖度が増すという傾向があることが分かっている。

漁業分野での事例としては、水産庁研究指導課が平成14年度より「青色発光ダイオード集魚灯によるイカ釣り漁業革命事業」として、青色LEDの最大発光波長(450~500nm)が海中での光力減衰が著しく少ないことやイカ類の視感度の最大値(470~490nm)とほぼ一致していることから、集魚灯高原として極めて優れた特性を備えているとされている。

このプロジェクトでは、上記のようなLEDの理論的な効果を確認するための実証実験を行うこととしている。イカ釣り漁業では、漁業支出の約2割を燃油代が占めており、これをLED化による燃料代の削減によって、ランニングコストの軽減を図ることを一つの目的としている。

## (2) 情報通信分野

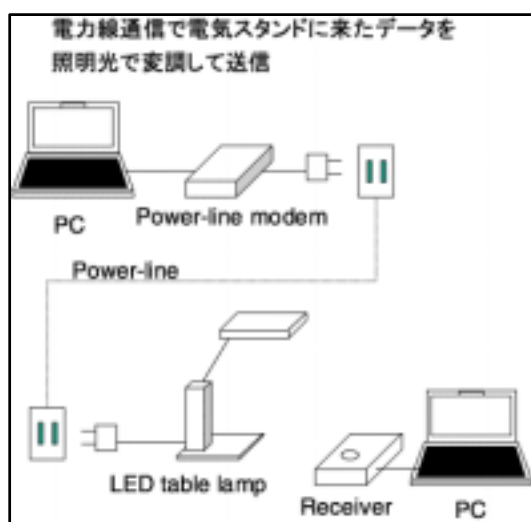
慶應義塾大学の中川研究室では、白色LED照明を用いた可視光通信の研究を行っている。これはLEDが有している特徴、応答速度が速く、電気的な制御が可能である点に注目し、光強度変調を行うことで通信手段(信号電送方法)として応用しようというものである。

従来、IrDAなどによる赤外線を用いた光無線電送技術や携帯電話や無線LAN等で広く用いられている電波を利用した無線電送技術が中心であったが、電磁波への人体への影響から送信電力を上げることが出来ない、電波法による制約から広帯域な無線周波数を自由に使うことが出来ない、病院や宇宙船内では機器への影響から無線は使用出来ない、といった問題がある。

可視光と赤外線はどちらも数100THz帯という周波数で、性質としては非常に似ている。

IrDA を搭載したノートパソコンや携帯電話の登場によって、小容量のデータ転送に用いられている。しかしながら、通信速度の向上を図るには、いくつかの問題がある。一つはアイ・セイフティの点で、赤外線は目への危険性を認知出来ないため、高い電力を送信出来ない。もう一つは、伝送距離が短いため、至る所に送信機を設置する必要がある点である。これに対して、LED 照明による可視光通信では、可視光域が人間に安全なため、照明で用いる数ワットという高い電力で、そのまま送信出来る点、また現在でも照明機器は至る所に設置されているため、照明機器に通信機能を付加するだけでワイヤレス通信環境を構築出来る、などのメリットがある。

図表 2 3 白色 LED 照明を用いた照明光通信システムのイメージ



出所：中川他「白色 LED 照明を用いた照明光通信の提案」電子情報通信学会技術研究報告、Vol. 101 No.394 (2001 年 10 月)

### (3) 交通運輸分野

交通信号機と可視光通信とを組み合わせ、情報通信型 LED 交通信号機の研究開発が進められている。災害時において適切な情報提供を行うことで、早期回避行動の促進をねらったものである。

名古屋工業大学の藤田助教授をリーダーとする「情報通信型 LED 信号機コンソーシアム」では、名古屋工業大学と株式会社サンウェイ、株式会社京三製作所、信号電材株式会社との産学連携により、情報通信型 LED 交通信号機の研究開発を行っている。

情報通信型 LED 交通信号機とは、災害時・非常時等において、LED 交通信号機からの直接的な文字表示や可視光空間通信機能を用いて防災等情報提供や円滑交通支援を行うことが出来る。また常時においても、可視光空間通信による様々な地域交通情報等の提供で障害者・高齢者・徒歩交通支援や平常時円滑交通支援を行うことが出来ることを特色として



いる。

集中豪雨災害時や地震災害時には、通行不能となる地点や交差点が多数出現する。また交通のピーク時間帯に災害が生じた場合などは、これらの通行不能箇所を中心として、大きな混乱が生じ、徒歩よりも遅いといった、大渋滞が生じる場合が多々ある。

この混乱を回避する一つの方策として、通行不能となった手前の交差点の車両に対して、適切な情報を与え、通行不能箇所を回避させる交通信号機システムというものが考えられる。



(写真上：防災信号機の試作機)

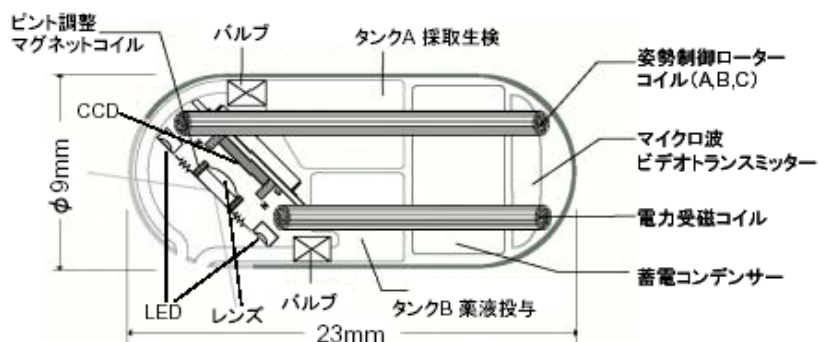
出所：情報通信型 LED 信号機コンソーシアム・ホームページ  
( [http://doboku2.ace.nitech.ac.jp/keik/kotsu/LED\\_consortium/TOP2.htm](http://doboku2.ace.nitech.ac.jp/keik/kotsu/LED_consortium/TOP2.htm) )

#### ( 4 ) 医療分野

医療機器として用いるものとしては、例えば、ギブンイメージング社や株式会社アールエフで開発された製品は、カプセル型の医療診断装置がある ( 図表 24 )。

このカプセル先端に白色 LED と CMOS ( complementary metal oxide semiconductor ) あるいは CCD ( charge coupled device ) 型の撮像デバイスが実装されており、人間がカプセルを飲み込んだあと自動的に体内の消化器を照明・撮影し、画像を電波にて体外に送信するというシステムになっている。これによって近い将来、ファイバースコープの苦痛から解放されるのではないかと期待されている。

図表 2 4 株式会社アールエフ製のカプセル型内視鏡 NORIKA の内部構造



出所：株式会社アールエフ社ホームページ ( <http://www.rfnorika.com/> )

一方、白色 LED は外科手術用の術室照明にも応用されようとしている。キセノンランプやメタルハライドランプを用いた通常の照明装置では、無影灯という名前が付いているにもかかわらず、外科医の頭が照明を遮り、術室を視認しにくいことが多い。

京都大学と京都府立医科大学のグループでは、白色 LED をプラスチックゴーグルに取り付けたタイプの外科手術用照明装置を考案・試作し、実際の外科手術に初めて用いている。



(写真：医療用ゴーグルの試作機)



(写真：実際の手術現場の様子)

出所：川上他「白色発光素子を用いた外科手術用照明ゴーグルの開発」応用物理、71-11 (2002)

この手術では、動脈と静脈の吻合によるシャント形成手術を行っているが、試作機の段階では演色性に問題があり、動脈が黒ずんで見えるなどの課題が残った。ところで手術時の術野では照明における最高の明るさを求められる(20,000 ~ 100,000lx)ため、LEDの技術開発を進めていく上では、有効な分野と言える。

米国では、LEDが身体の回復プロセスを促進する可能性について、10年以上前から研究が行われてきている。この研究開発には、米航空宇宙局(NASA) 米国防総省、さらに数十の病院が臨床試験に参加している。老人ホームや病院向けのLED照射器も市販されており、メディケア(65歳以上の高齢者を対象にした医療健康保険制度)でも、一部のLED治療を保険の適用対象として認めているほどになっている。

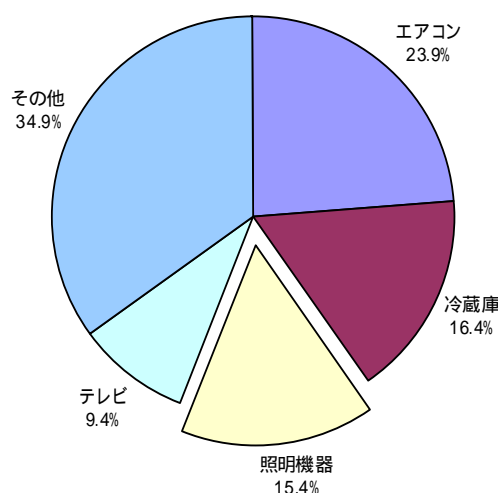
### 3 - 2 LED 照明機器システムの環境的側面からの調査

本章では、LCA 手法などによる環境的な側面からの照明機器システムの評価手法について検討を行った。

#### 3 - 2 - 1 一般照明における環境負荷に関する調査

家庭内には、照明機器を始めとして、いくつもの家電機器が存在している。エアコンやテレビ、冷蔵庫などは、その中でも消費電力量の多い製品である（図表 25）。

図表 25 家庭内における消費電力量構成



出所：電気事業便覧（平成 13 年版）

LCA を実施する際にもっとも重要なことは、検討したステージ範囲、すなわちシステム境界の明示である。LCA の各ステージどこまでを検討し、分析対象としたのかを明確にしないと、出された結果自体、再現性がなく、正しい LCA の結果とは言えない。また比較対象となるそれぞれの製品について、機能単位を統一し、同じ条件の下、比較を行わなければならない。

ところで LED のように、未だ製品として未成熟であり、寿命や規格が定まらない製品について LCA を実施することは非常に困難である。特に重要なデータである、製品固有のフォアグラウンドデータが、製造段階のデータは特許の関係や研究開発途中であることから明らかなように、公開されているものが存在しない場合は、製造段階での比較は不可能となってしまう。

また照明器具の機能単位を考えた場合、一つは同じ全光束を提供するもの、というもの

が挙げられるが、LED については、既存の白熱灯や蛍光灯と同等の光束を満たすためには、LED 素子を 30～100 個程度集積する必要が出てくる。今後、LED 素子のエネルギー変換効率が 10 倍になったとしても、10 個程度の集積は必要になってくると考えられる。

現段階では、この集積されたものが、実際にどれぐらいの光束となり、消費電力がどの程度であるのか、はっきりとしたデータはない。今後のエネルギー変換効率が向上することで、消費電力が削減される可能性も大きい。

従って、ここでは一般照明の LCA データから、LED 照明機器の環境負荷を感度分析によって示すこととする。

一般照明の LCA については、いくつかの文献があるが、ここでは椎野他による白熱電球と蛍光ランプにおける LCA データを参考とする<sup>14</sup>。

まず、システム境界として、原材料製造、原材料加工、電子部品製造、包装材、輸送、使用、廃棄の段階について検討している。原素材の採掘および各ステージの装置製造・廃棄処理、そして製品輸送以外の輸送は評価されていない。

また評価する白熱電球と蛍光ランプの機能データは図表 26 のようになっている。

図表 26 ランプの機能データ

ランプ	光束	寿命	消費電力
白熱電球	810lm	1,000h	57W
蛍光ランプ	810lm	6,000h	14W

機能単位については、光束と寿命が同じものとされており、寿命を合わせるために、蛍光ランプ一個に対して、白熱電球を 6 個使用することが仮定されている。もし LED 照明機器についても比較するならば、光束 810lm の機能を有する LED 照明機器がどれぐらいの寿命で、どれぐらいの消費電力となるかを想定する必要がある。現在では、白熱電球に対しては、約 1/10、蛍光ランプについては約 1/2 の省エネ効果があるといわれているので、約 6W 程度の消費電力が想定される。すなわち発光効率で約 135lm/W の LED 素子（これは一つで構成する場合で、研究開発で目標とされている 50lm/W のものであれば 3 個程度を集積させることが想定される）が必要となる。

また LED については長寿命であることが言われているので、仮に現在言われている 20,000 時間の寿命を仮定したとすると、白熱電球では約 20 個、蛍光ランプでも 3 個以上を用いることになる。

このことから現在、LED 照明においては、製造段階での環境負荷は不明であるが、白熱電球との単純比較で言えば、製造段階で約 20 倍（蛍光ランプでは約 3 倍）環境負荷量が発

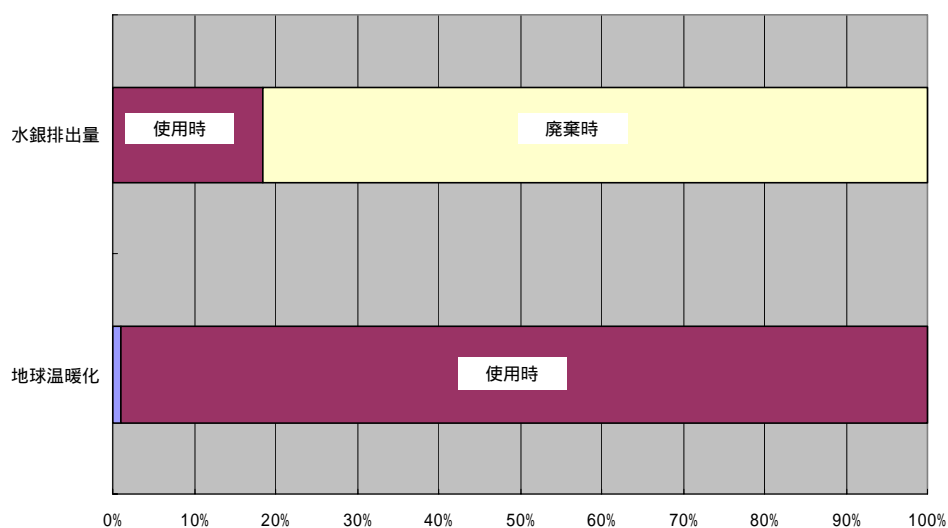
<sup>14</sup> 椎野他「省エネルギーと照明 白熱電球・蛍光ランプの LCA への取り組み」照明学会誌、Vol. 82 No. 10（1998 年 10 月）

生ずるとしても、十分にカバーされることとなる。

ところで、この白熱電球と蛍光ランプとの比較においては、両ランプとも使用段階での影響が 99%以上を占めている。また他のカテゴリも全く同じ結果が得られている。白熱電球に対して蛍光ランプは、約 25%の消費電力であるが、環境負荷も白熱電球の約 25%となっていることになる。すなわちランプにおける環境負荷は消費電力量とほぼ等価となり、ランプは消費電力削減が最優先課題となることが分かる。

また別の調査では、水銀排出量についても検討しているが、これは廃棄時がもっとも多く、使用する電力を製造する段階で約 20%が排出されている（図表 27）。

図表 27 蛍光ランプにおける各ステージでの環境負荷量



出所：脇清隆「環境と照明9 LCAによる照明器具の環境負荷評価」電気設備学会誌、Vol.22 No.1（2002年10月）

### 3 - 2 - 2 LED照明機器における環境負荷に関する調査

以上の結果から、LED照明機器の環境負荷を検討するために、いくつかの不確定要素に対する感度分析を検討する。図表 28 のような機能を満たしている LED 照明機器が存在すると仮定した場合、蛍光ランプとの比較を行うこととする<sup>15</sup>。

<sup>15</sup> なお、ここでやっている環境負荷の検討は、あくまで LCA 的な考え方で検討しているのであり、ISO14010 で定める LCA 評価手法ではないことに注意する必要がある。既存の一般照明のデータを元に、いくつかの不確定要素の幅を感度分析によって検討し、おおよその想定値を検討することを目的としている。

図表 2 8 機能単位の設定

ランプ	光束	寿命	消費電力
LEDランプ	810lm	18,000h	7W
蛍光ランプ	810lm	6,000h	14W

まず LED 照明の不確実要素を抽出すると、一つは寿命である。これはエポキシ樹脂の劣化によって引き起こされると考えられ、LED そのものの機能劣化ではないが、照明機器システムとして考えた場合は、その製品そのものの機能低下とすることが出来る。

ここでの機能単位として、光束は 810lm、寿命については便宜上、18,000 時間を想定している。この場合、蛍光ランプについては、3 個使用することになる。寿命についての不確実要素の幅、すなわち感度分析の幅については、蛍光ランプと同じ寿命である 6,000 時間から、その 3 倍の 18,000 時間までを設定する。

もう一つの不確実要素は、上述しているように製造段階での環境負荷量（ここでは主に二酸化炭素排出量）である。LED の構造上、特殊な素材は使用されていないと考えられるが、感度分析を行う上では、蛍光ランプにおける製造工程での環境負荷量の最大 6 倍まで、環境負荷量が増加するケースを想定している。

この場合、寿命との問題になるが、寿命が蛍光ランプと同等の 6,000 時間の場合は、LED 照明の製造工程時に単純に 6 倍の環境負荷が、また寿命が蛍光ランプの 2 倍であれば、製造工程の環境負荷がたとえ 6 倍であったとしても、同じ機能単位（寿命 12,000 時間）では、蛍光ランプは 2 個投入されることから、 $6 \times 1/2 = 3$  倍の環境負荷量となる（ちなみに蛍光ランプの 3 倍の寿命であれば、2 倍の環境負荷量）。

最後は、消費電力である。現段階では蛍光ランプの約半分と言われているが、効率化することや集積化することで、効率のロスが発生するとは限らない。従ってこの要素については、蛍光ランプの半分（7W）から同じ（14W）の消費電力量を想定する。

以上の不確実要素に関する最大値と最小値を図表 29 にまとめた。

図表 2 9 LCA 分析における不確実要素

	不確実要素(対蛍光ランプ比)		
	製造工程の負荷	寿命	消費電力
最大値	6.0倍	等倍	等倍
最小値	0.3倍	3倍	0.5倍

以上の要素項目について、蛍光ランプと比較した場合、LED 照明の方が、環境負荷が低

いと考えられる範囲について検討する。なお合計の環境負荷は次の式によって導かれる。

LED 照明のライフサイクルにおける環境負荷量

$$= \text{製造工程負荷量 (蛍光ランプ比)} \times 1 / (\text{蛍光ランプとの寿命比}) + \text{消費電力比}$$

今、蛍光ランプによる一般照明機器全体のライフサイクルでの環境負荷量を 100%とした場合、その製造段階では 1%が、また使用段階では 99%排出されていることとする。すなわち上の計算式で、100%を越える場合、LED 照明の方が環境負荷量が多いと推測されることになる。

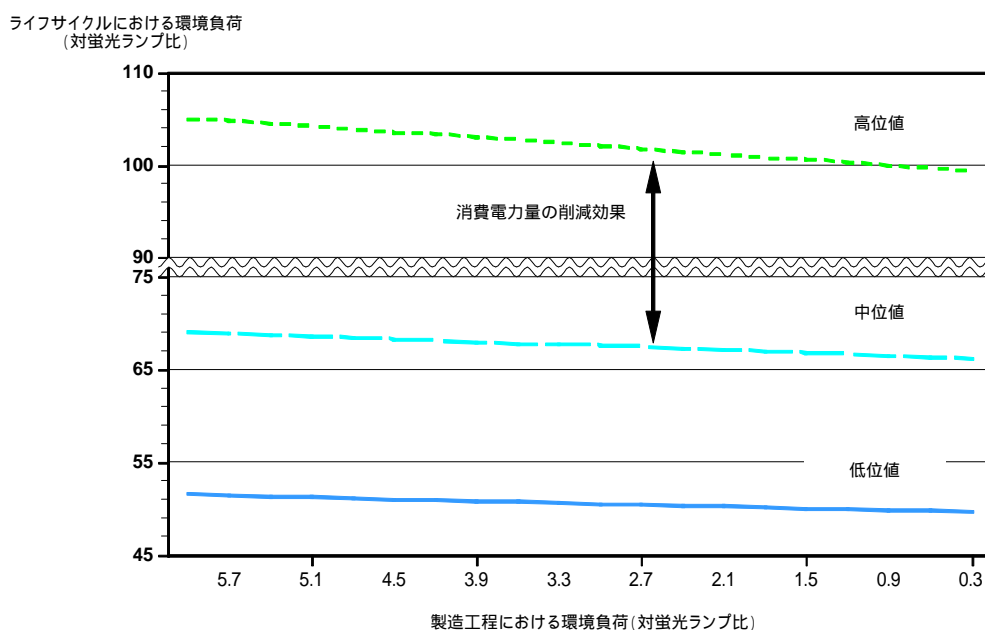
図表 30 は上記の不確実要素の幅に基づいて感度分析を行った結果である。これをグラフ化したものが図表 31 である。

図表 3 0 感度分析の結果

製造工程負荷	寿命			消費電力			合計(対蛍光ランプ比)		
	等倍	2倍	3倍	1/2倍	2/3倍	等倍	min	mid	max
6.0	6.0	3.0	2.0	49.5	66.0	99.0	51.5	69.0	105.0
5.7	5.7	2.9	1.9	49.5	66.0	99.0	51.4	68.9	104.7
5.4	5.4	2.7	1.8	49.5	66.0	99.0	51.3	68.7	104.4
5.1	5.1	2.6	1.7	49.5	66.0	99.0	51.2	68.6	104.1
4.8	4.8	2.4	1.6	49.5	66.0	99.0	51.1	68.4	103.8
4.5	4.5	2.3	1.5	49.5	66.0	99.0	51.0	68.3	103.5
4.2	4.2	2.1	1.4	49.5	66.0	99.0	50.9	68.1	103.2
3.9	3.9	2.0	1.3	49.5	66.0	99.0	50.8	68.0	102.9
3.6	3.6	1.8	1.2	49.5	66.0	99.0	50.7	67.8	102.6
3.3	3.3	1.7	1.1	49.5	66.0	99.0	50.6	67.7	102.3
3.0	3.0	1.5	1.0	49.5	66.0	99.0	50.5	67.5	102.0
2.7	2.7	1.4	0.9	49.5	66.0	99.0	50.4	67.4	101.7
2.4	2.4	1.2	0.8	49.5	66.0	99.0	50.3	67.2	101.4
2.1	2.1	1.1	0.7	49.5	66.0	99.0	50.2	67.1	101.1
1.8	1.8	0.9	0.6	49.5	66.0	99.0	50.1	66.9	100.8
1.5	1.5	0.8	0.5	49.5	66.0	99.0	50.0	66.8	100.5
1.2	1.2	0.6	0.4	49.5	66.0	99.0	49.9	66.6	100.2
0.9	0.9	0.5	0.3	49.5	66.0	99.0	49.8	66.5	99.9
0.6	0.6	0.3	0.2	49.5	66.0	99.0	49.7	66.3	99.6
0.3	0.3	0.2	0.1	49.5	66.0	99.0	49.6	66.2	99.3

感度分析の結果、当然ではあるが、消費電力の削減量によるところが多いことが分かる。すなわち最大値と最小値との間は、ほぼ消費電力量の削減効果によるもので、製造工程の負荷が 6 倍になり、寿命が蛍光ランプと同じ 6,000 時間でも消費電力が 2/3 倍になっただけで、蛍光ランプの約 72%の二酸化炭素排出量にとどまり、約 28%の環境負荷削減効果があることになる。これはおおよそ消費電力量の削減比率と等しい。従って製造工程における環境負荷量の不確実性や寿命に関する不確実性については、あまり考慮する必要がないことが示された。それよりも消費電力量の削減がどの程度進むのかを検討する必要がある。

図表 3 1 感度分析の結果 (グラフ化)



### 3 - 3 LED 照明機器システムの標準化戦略の検討

本章では、国内および国外の標準化検討状況等について検討を行い、戦略的に取り組むべき分野等を抽出し、標準化戦略を策定について検討した。

#### 3 - 3 - 1 国内における LED 照明機器システムの標準化に関する調査

##### (1) 照明用 LED の規格化の現状

LED は主として表示用に用いられてきたこと、また、照明の要求概念が異なることから、新技術の照明用白色 LED の試験方法、仕様といった基準の統一的合意が確立されておらず、内外における国家規格や国際規格も存在していない。このため、各企業のレベルで標準をつくり、開発、製品化が行われているのが現状である。こうした状況は市場における白色 LED の照明としての適正な評価を阻害し、技術開発や製品の普及を阻害するひとつの要因となっている。光効率や光量といった光特性の向上が重要な開発目標となっているが、これに付随する試験方法の国際的な標準化なしに市場拡大が困難な状態にある。

現在、試験方法の標準化については、IEC、CIE の国際機関において検討が始められたところであり、日本においても適切な照明評価基準の早期設定に向けて、日本電球工業会を中心に国際標準化を積極的に進めている状況である。基盤的領域については適切な標準化



を早期に実現し、将来予想される仕様標準化については国際的な市場動向や技術動向を踏まえ、仕様の必要とする領域を検討の上、国家規格、国際規格を推進する必要があると言われている<sup>16</sup>。

日本工業標準調査会では、こうした技術開発の活発な段階での標準化に関しては、開発成果を正しく評価するための試験方法や将来の互換性は相互運用性を損なうことのないように、適時適切に標準化を進める必要があるとし、そのための方策として国家プロジェクト推進にあたって、当該プロジェクトのマネジメントのための技術開発委員会と関連標準化委員会との連携を強化することによって、技術開発段階から標準化を念頭におくことが重要との指摘がなされている。

## (2) 電球工業会における LED 光源関連活動

社団法人日本電球工業会では、現在、経済産業省(旧工業技術院)照明関連、および LED 製造関連メーカーを主体に、「照明用白色 LED 光源標準化委員会」を組織して活動している<sup>17</sup>。これは、現在の状況から見て、“照明用白色 LED 光源”としては標準化の推進が特に重要であるとの認識に拠っている。標準化を進めるべき項目としては、照明用光源としての製品仕様と、照明用光源としての特性評価方法の 2 つを優先順位が高いと判断し、上記検討委員会は、下記の 2 つの分科会を組織し、実際の活動は、分科会主体で推進している。

### (1) 製品仕様標準化分科会

### (2) 測定標準化分科会

製品仕様については、現時点において、デファクト・スタンダード的な白色 LED 光源の商品が未だ市場に導入されていない段階であるため、製品仕様標準化分科会においては、将来のデファクト・スタンダードへ向けた関連技術の動向や、現在の LED の照明利用の状況とそれに立脚した将来の予測などの調査・研究活動を主に行っている。

測定法については、現在、CIE(国際照明委員会)に、既に 3 つの関連技術委員会が組織され、測定法標準化分科会は、CIE の国内委員会である社団法人日本照明委員会(管轄は経済産業省標準課)との十分な連携の下に活動を進めている。

## (3) IEC への対応

日本電球工業会は、IEC(国際電気技術標準会議)TC34:光源類の国内審議団体として、国内委員会を組織している<sup>18</sup>。

<sup>16</sup> 日本工業標準調査会標準部会電気技術専門委員会、「電気技術分野の標準戦略」

<sup>17</sup> 廣田泰輔「照明用白色 LED 光源とその標準化 - 社団法人日本電球工業会における白色 LED 関連活動」照明学会誌、第 85 巻第 4 号、2001

<sup>18</sup> 廣田泰輔、照明用白色 LED 光源とその標準化—(社)日本電球工業会における白色 LED 関連活動、照明学会誌、第 85 巻第 4 号、2001

現在、表示用やディスプレイ用の LED は、IEC では、IEC TC47：半導体デバイスが所轄している。しかし、LED が照明用光源として広く使用されるようになれば、照明用 LED 光源については、IEC TC34 が所轄する方が良いと考えられる。経済産業省の要請もあり、上述した日本電球工業会の照明用白色 LED 光源標準化委員会および、IEC TC34 国内委員会で検討を重ねた結果、照明用 LED 光源の標準化推進を、IEC( TC34 )の新規検討課題( New Work Item )として採択する必要があるとの認識に至った。そこで、1999 年 10 月に開催された IEC 京都大会期間中の IEC TC34 の会合において、新規検討課題提案として、照明用 LED 光源について、日本より 2 件の標準化を推進すべきである、との提案がされている。

### 3 - 3 - 2 自動車用 LED の国際標準化の動向

自動車用ランプの LED 化に関する国際標準化については、法的側面と技術的側面とがある。法的側面で言えば、自動車が安全で容易に運転出来るように最低限の性能、装備基準が定められているものの、各国の道路事情が異なることからその法規は各国で異なっている<sup>19</sup>。

#### ( 1 ) 日本の法規概要

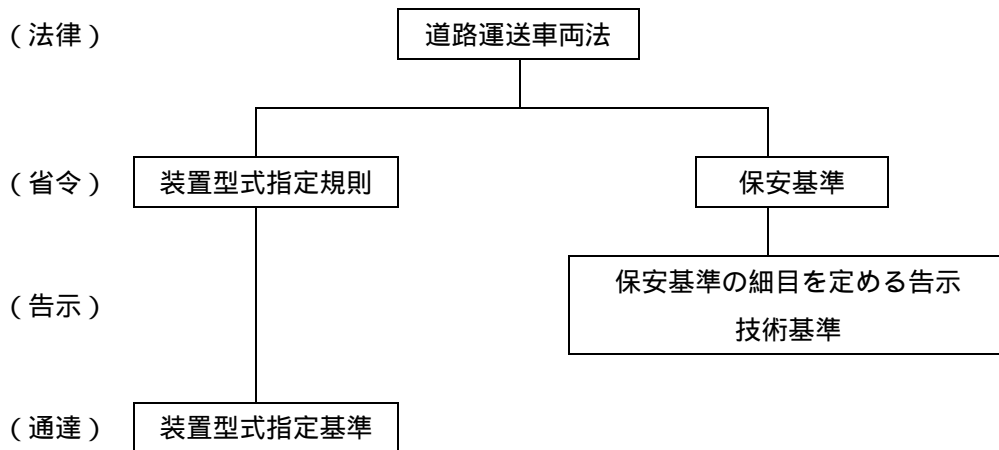
日本では、図表 32 に示すように自動車用ランプに関する要件を規定する法規として「道路運送車両法」の「保安基準」と「装置型式指定規則」がある。保安基準は主にランプの装着要件(任意/義務)について規定しているだけで、各ランプの性能要件については「道路運送車両法の保安基準の細目を定める告示」の中に規定されている<sup>20</sup>。

保安基準の細目を定める告示は、新規に自動車を登録する場合に適用される基準(通称、型式指定告示)と使用過程車の車検時に適用される基準(通称、使用過程車告示)とで区分されている。型式指定告示では、保安基準への適合性を適正、かつ能率的に判断するために「技術基準」を示している。技術基準では、ランプの配光性能、色、視認性、車両への取り付け位置、機械的性能要件(耐熱試験等)などを規定している。

<sup>19</sup> 植木雅哉、自動車用ランプについて、照明学会誌 Vol.86 No.12 2002

<sup>20</sup> 運輸省自動車交通局 技術安全部調査課監修：装置型式指定関係法令通達と解説、株式会社交文社(平成 11 年 12 月 20 日発行)

図表 3 2 自動車用ランプに係わる日本の法規体系概略図



出所：植木雅哉「自動車用ランプについて」照明学会誌 Vol.86 No.12 2002

## (2) 欧州の法規概要

欧州における自動車用ランプに関する法規としては、以下の 2 つがあるが、自動車用ランプの認証取得をする場合には法規改訂の先行している ECE 規則で取得するのが一般的となっている。

- ・ EU (欧州連合) で制改訂される「EEC 指令 (EEC Directive)」  
EU 域内の自動車及び自動車部品の流通を円滑にする目的で策定された法規で、EU 域内での認証の相互承認に用いられている。
- ・ 国連で制改訂される「ECE 規則」

## (3) 米国の法規概要

米国で使用される自動車用ランプの法規としては以下の 2 つがある。

- ・ 「FMVSS No.108 (Federal Motor Vehicle Safety Standard No.108)」  
米国運輸省内の機関 NHTSA (National Highway Traffic Safety Administration) で制改訂される法規で、法的強制力を持つ。
- ・ 「SAE 規格 (SAE Standard)」  
自動車業界で組織された民間団体 SAE (Society of Automotive Engineers, Inc.) により制改訂されるランプ性能を規定する規格で、日本の JIS 規格に相当する。

FMVSS No.108 は、基本的に車両へ装着義務付けとされているランプについて、配光要件、灯光色、視認性、機械的性能要件 (振動試験、腐食試験、湿度試験等)、車体への取り

付けなどの要件を規定している。FMVSS No.108 に規定のないフロントフォグランプ、コーナリングランプなどの任意ランプについては、各州法に従うことになる。

### 3 - 3 - 3 LED の安全性に関する議論

光は我々人間の生活と密接に結びついたもので、太陽を始めとする自然光源や様々な種類の人工光源が現在では活用されている。

これらの人工光源の中で、人間の生活環境である地球上の光環境の重要構成要素となっている照明用光源は、視覚や視作業支援という重要な役割を果たしている。

この照明用光源は、このような重要な役割を支援するために開発・製作されたものであり、光源から放射される光は、可視放射で構成されるように設計されているが、実際にはその光の全てが可視放射だけで構成されていることはない。視覚支援には全く寄与しない紫外放射や赤外放射も不可分的な構成要素の一部になっている。このことは、自然光源である太陽光について考えれば理解される。

次世代の照明光源として期待されている LED についても、これは同様に、演色性や光度といった視覚以外の作用や効果については考慮しないという訳にはいかない。人体への影響を含めて、その安全性について検討する必要がある。

#### (1) 光エネルギーの人体に対する作用

上述したように、光放射（紫外放射、可視放射、赤外放射の総称）は、通常の光環境の重要な要素として存在し、人体に対して、様々な作用を及ぼしている。紫外放射による皮膚ガンなどもこの一例である。

#### (2) 光源からの光の安全性評価のための国際規格

このような光源から人体に与える影響を評価するために、IEC（国際電気標準会議）TC34 専門委員会（専門委員会名：光源類及び関連機器）において、光源の光生物学的リスクを定量評価するための方法、およびその結果を光環境設計に適用するための手順を、国際規格化（IEC-CIE 規格化）する作業が 1997 年より開始された。

これは IEC 加盟国である米国より提案され、各国の賛成を得て、IEC TC34 にて関連の討議が開始されたものである。内容的に、光源からの光の特性と光生物的安全性が問題となるため、IEC TC34/SC34A と CIE の連携の下に、IEC TC34-CIE の合同パネル会議が組織され、合計 4 回の会合によって検討が進められた。合同パネル会議では ANSI/IESNA 規格の考え方を踏襲し、光生物学的傷害の種類に応じて、リスク・グループ区分を行っている（図表 33）。

図表 3 3 光源安全基準のリスク・グループ区分と区分のコンセプト

グループ区分	区分のコンセプト
リスク免除 (Exempt Group)	原則的考え方としては、結果的にどのような光生物的傷害も誘起する可能性の無い光源。具体的必要基準としては、例えば8時間の照射を受けても、目や皮膚に急性の障害を与えることが無く、10,000秒(2.8時間)見つめても、青色光網膜傷害を生じることの無いような光源は、このグループ区分になる。
リスクグループ1 [低リスク] (RG - 1)	原則的考え方としては、通常の一般的行動条件での照射範囲内では、光生物的傷害を生じる可能性の無い光源。具体的必要基準としては、リスク免除グループのレベルは越えるが、例えば、10,000秒(2.8秒)の照射を受けても、目や皮膚に急性の障害を与えることが無く、100秒間見つめても、青色光網膜傷害を生じることの無いような光源は、このグループになる。
リスクグループ2 [中リスク] (RG - 2)	原則的考え方としては、高輝度に起因する嫌悪感や熱的不快感が無い場合でも傷害を与える可能性のある光源。具体的必要条件としては、RG - 1のレベルは越えるが、例えば、1,00秒の照射を受けても、目や皮膚に急性の傷害を与えることが無く、0.25秒間見つめても、青色光網膜傷害を生じることの無いような光源は、このグループ光源になる。
リスクグループ3 [高リスク] (RG - 3)	原則的考え方としては、瞬間的な、あるいは非常に短時間の照射を受けても(あるいは見つめても)光生物的傷害を生じる危険性のある光源。RG-2のレベルを越える光源は、このグループ区分になる。

出所：河本康太郎「LED 照明の安全性」平成 15 年度照明学会第 36 全国大会予稿

### ( 3 ) LED 光源からの光の安全性評価

このような“光源光の安全性国際規格”は、その制定の主旨から、一般照明用光源を対象としたものであるが、21 世紀の光源として注目されている LED についても、一般照明用光源として利用されるようになることが予測されていることから、光源光の安全性国際規格の適用範囲に含められている。

現在市販されている LED 光源について、この光源光の安全性国際規格による安全性の評価を行った結果が、次の図表 34 である。

なお評価条件としては、6 種類（発光色：青色、青緑色、緑色、黄色、赤色、白色）の日本製砲弾型 LED 光源（狭配光形）を使用し、測定・評価は順方向電流：DC20mA により実施されている。

図表 3 4 光源光の安全性国際規格による市販 LED 光源のリスク・グループ区分

傷害の種類	白色	青色	青緑色	緑色	黄色	赤色
1. Actinic UV H., skin & eye	Exempt	Exempt	Exempt	Exempt	Exempt	Exempt
2. Near UV hazard, eye	Exempt	Exempt	Exempt	Exempt	Exempt	Exempt
3. Retinal blue light hazard	-	-	-	-	-	-
4. RBLH, small source	Exempt	RG-2	Exempt	Exempt	Exempt	Exempt
5. Retinal thermal hazard	Exempt	Exempt	Exempt	Exempt	Exempt	Exempt
6. RTH, weak visual stimulus	Exempt	Exempt	Exempt	Exempt	Exempt	Exempt
7. IR hazard, eye	Exempt	Exempt	Exempt	Exempt	Exempt	Exempt
8. Thermal hazard, skin	Exempt	Exempt	Exempt	Exempt	Exempt	Exempt

出所：図表 33 に同じ

この結果、青色 LED について、RBLH（青色光網膜障害 - 発光部の小さい光源）に対するリスクが RG-2（リスク・グループ 2）に区分される以外は、全てリスク免除グループに区分されている。

### 3 - 4 LED 光源・照明機器システムの評価システムの検討

LED 光源を照明機器システムとして用いる場合、明るさ、色合い等の評価・測定手法等を調査し、共通基盤的な評価システム及びその標準化を検討する。

LED を一般照明用の光源として用いる場合、現状では、明るさやコストの問題以外にも様々な問題点がある。特に照明としての機能要件である明るさや演色性、そして寿命については消費者に対する説明材料としても評価システムを検討していく必要がある。

#### 3 - 4 - 1 LED の光学特性の評価

現在、LED を一般照明用光源として用いる際の大きな問題は、繰り返しになるが、明るさとコストの問題である。しかし一般照明用光源として用いるためには、それ以外にも、光学特性に関わる問題が生じてくると考えられている。

現状の LED 光源について、その光学特性の測定には、

- 真の発光部の面積が小さい（従って発光部の輝度測定が難しい）
- 製品個々の寸法的バラツキが大きい（光度測定が難しい）
- 光源ユニットにおいて、非発光部の占める割合が大きい（全光束の測定が難

しい)

といった問題点が指摘されており、光特性測定そのものについても標準化された方法がなく、CIE 技術委員会でも調査・検討が進められているのが現状である。

LED 光源の開発・商品化初期では、表示用やディスプレイ用が中心であったため、光学特性としては、「輝度」や「光度」を測定する必要があった。社団法人電子情報技術産業協会の団体規格 (ED-4910:発光ダイオード) にも、光学特性として、光度を測定することが規定されており、また光度の測定方法についても、団体規格 (ED-4911:発光ダイオード測定方法) で規定されている。

光源の光度は、一般的には JIS (JIS C7526:光度標準電球) で期待されている (既に光度値の付与されている) 光度標準電球との比較測定法により測定される (表示用、ディスプレイ用の団体規格に規定されている測定方法もこの方法に依っている)。この方法は、理論的には LED にもそのまま適用出来るわけであるが、LED 特有の問題点があり、実際の適用にはいくつかの注意点がある。

LED は、従来の光源と比較して配光特性に方向性が強過ぎること (特に砲弾型 LED 光源では LED チップのすぐ背面に反射板を内蔵しているため、配光が急峻で指向性が強くなる)。

LED は固体素子であり、半導体の製造工程に近似した工程によっており、個々の形状も従来の一般照明用光源と比較して小さいため、発光部分と電極や基板の相対位置関係のバラツキが大きい。

そのため従来の光度測定方法では光源と受光器の相対位置決めが難しく、測定結果が測定者間でばらつくことが多い。また、構造的軸と最大光度軸や、光学的軸の乖離状況にバラツキが大きいいため、LED の光度を測定する方向 (受光器を置く軸) の決め方が難しい。

LED の光度測定を実施する上での問題点を解消するために、CIE では新たな考えを導入している。それが「平均 LED 光度 (Average LED Intensity)」である。

この方法は、現在までのところ欧米を中心として広く普及しており、この測定条件に基づいた測定器および校正に適用する光度標準 LED が、測定機メーカーより市販されるまでになってきている。

ところで、光源の光度ならびに全光束値については、標準光源との比較測定によって求められることは既に述べたとおりであるが、この場合、供試光源と標準光源とは同種類、同形状寸法、同ワットであるのが理想的である。標準光源の種類が異なると、異形測光誤差、異色測光誤差などが生じる可能性が出てくるからである。しかしあらゆる供試光源の種類に対し、それぞれ同種類、同形状寸法、同ワットの標準光源を準備するのは実用的で

はないことから、実際には数種類の光度標準電球により対応している。

ところが、LED 光源と光度標準電球は、形状寸法やワット数が違い過ぎること、分光分布も違い過ぎるため、光度標準電球との直接比較では、正確な光度測定値が得られない可能性が大きい。そこで測光標準 LED 光源の開発が検討されている。

光度以外にも、一般照明用として LED 光源を用いる場合もしくは LED のエネルギー変換効率を評価するような場合には、全光束の測定が重要となる。光源の全光束を求める方法としては、配光曲線（光源や照明器具の各方向に対する光度の大きさをベクトルで表し、その先端の軌跡をたどったもの。光度分布を表した曲線）を正確に求めて、その配光曲線を三次元的に積分して求める方法と、球形光束計（積分球）を使用する方法とがある。

球形光束計による LED 全光束測定上の注意点としては、次の二点が挙げられる。

#### 球形光束計の大きさ

球形光束計の直径は、少なくとも 30cm 以上とするべきである。多くの測定者は 10cm 程度の直径の球形光束計を使用しているが、LED の場合、10cm 程度であると、非発光部の影響が大きくなり、測定結果の誤差が大きくなる。

#### LED 自己吸収による測定誤差の減少

LED は発光部(LED チップ)の寸法が小さいため、光源全体に占める非発光部(口金、容器など)の割合が、従来の一般照明用光源に比べて大きくなる。従って、この非発光部による吸収を出来るだけ少なくするか、または補償校正して、測定値の測定精度を上げる必要がある。

LED の測定に適した球形光束計の構造と LED の配置の例(3 種類)が、CIE 技術報告：CIE-127 に示されている。非発光部の影響を出来るだけ小さくするために、LED の発光部分だけを球形光束計内部に入れる配置例と LED の非発光部による光の吸収を精密に測定するための補助 LED を保持する配置例が挙げられている。

図表 35 は、社団法人日本電球工業会の「照明用白色 LED 光源標準化委員会 - 測定標準化分科会」の活動の一環として、実際の製品による光度および全光束測定の巡回試験を実施した結果である。これは測定値のバラツキの幅(最大値と最小値の幅)を示している。



図表 3 5 LED 巡回試験測定値バラツキの幅 ( 参画 7 社 ( 全光束は 6 社 ) )

LED 発光色	光度	全光束
白色	24%	17%
青色	74%	43%
青緑色	56%	33%
緑色	56%	16%
黄色	46%	14%
赤色	38%	23%

出所：河本康太郎「LEDの光学特性の測定」月刊ディスプレイ、2001年8月号

これを見ても明らかなように、かなり製品によってバラツキがあることが分かる。特に光度測定値のバラツキが全光束値のバラツキより大きい結果となっている。また技術開発の成熟度合いを反映してか、青色については、バラツキの幅が特に大きくなっている。通常の一般照明であれば、このバラツキは2%の範囲内に収まってくる。

また光学特性以外にも、照明器具として組み合わせていく過程において、いくつかの問題が考えられる。

#### ( 1 ) 光源素子の集合化の問題

LED のような固体発光素子光源は、その発光原理上や構造上の理由により、一素子あたりの光量 (あるいは一素子あたりの消費電力) が、従来の真空システム形光源 (白熱灯や蛍光灯) に比べて、どうしても小さくなってしまふ。

例えば、通常の家用品用の光源素子を考えると、代表的な品種で、一素子あたりの消費電力 (全光束) は、白熱電球が 100W (1,800lm) コンパクト形蛍光ランプ 30W (1,500lm) 程度であるのに対し、現在市販されている LED 光源では、比較的大きなものでも、1W (30lm) 平均的には 0.2W (5lm) 程度である。

従って、現在使用されている家庭用照明器具の光源を、そのまま LED 光源に交換しようとする、LED 素子を 30~100 個程度集積する必要が出てくる。今後、LED 素子のエネルギー変換効率が 10 倍になったとしても、10 個程度の集積は必要になってくる。

そのため照明機器として設計するためには、LED 素子の集積化 (機械的・電氣的集積および組み合わせる点灯回路を含む) 技術が必要となってくる。

#### ( 2 ) 点灯回路の問題

LED は、その発光原理上、直流低電圧（数 V）駆動となっている。一方、従来の真空システム形光源は、おおむね商用電源（交流 100V または 220V）で直接点灯されている。従って LED 光源が、単に従来の光源の代替を指向するなら、商用電源により点灯出来る回路の開発が必要となってくる。

この回路の問題については、集積の必要性をあわせて、最終的には 10～30 個程度の LED 素子を、機械的・電氣的に集積し、商用電源による直接点灯出来る回路と組み合わせることになるものと考えられる。

### （3）光源素子分散化の問題

集積化や点灯回路の問題は、現在の照明システムにそのまま、すなわち現在の光源を代替することによる適合を念頭にしたものである。しかし LED 素子そのものは、従来の真空システム形光源とは全く異なるものであり、従来の照明システムに拘る必要はない。

LED 光源の特徴と利点をより生かすという発想から、照明システムを開発するという考えも必要である。

LED 光源の大きな特徴の一つは、光が分散化されている点である。従って、元々分散している光をわざわざ集積するのではなく、むしろ分散した状態を生かした照明システムというものも考えられる。照明システム全体、もしくは家具や建築材料と一体化、複合化した新しい照明システムというものも考えていく必要がある。

その他、第 3 章でも触れたように、一般照明用として LED 光源を用いる場合は、安全性の問題がある。特に生体への影響がどれくらいあるのか、現在の段階では未知数のところが大きく、今後の課題として挙げられる。

また現在は、光度や全光束といった光の量が評価の中心となっているが、今度、技術開発が進むにつれて、色度や演色評価数といった光の質の測定も重視されてくると考えられる。演色評価数については、LED の実体とあっていないため、CIE でも議論がおこなわれているなど、今後に残された課題はまだ多いと言えよう。

## 3 4 - 2 寿命の評価

LED については、光学特性の他にも、利用者に必要な情報として、寿命の問題がある。

一般的に、LED 光源は物理的な絶対寿命は 100,000 時間以上とも言われ、一説には無限大とも言われるなど、長寿命性が大きな特徴となっている。寿命測定には単純に考えても非常に長時間を要するものである。また LED の場合、一般照明で用いられている短期間での寿命測定方法がそのままあてはまる訳でないので、適切な寿命測定が難しい。

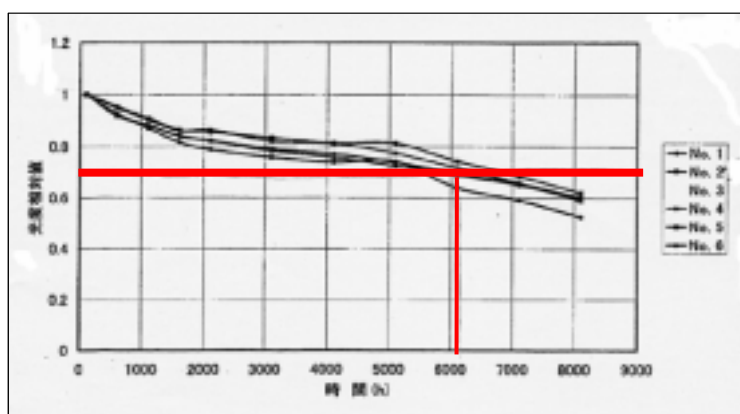
ところで、一般照明においては、CIE および JIS による光源の寿命の定義として、光源が

不点状態になる（絶対寿命）か、規定した基準を満足しなくなる（有効寿命）までの点灯時間としている。

有効寿命の規定条件としては、光束維持率（光源を所定の時間点灯した後の全光束の初特性値（通常は 100 時間値）に対する比）などが規定されている。

白熱電球などは、フィラメントが断線してしまった場合などが絶対寿命とされており、ほとんどがこの要因によって次のものと交換されている。また蛍光灯については、絶対寿命が比較的長いので（約 20,000 時間）、有効寿命の基準として、光束維持率が 70%になるまでと規定されている。これを考えると、LED 光源についても、光束維持率が 70%まで低下したときが有効寿命として考えることができる（図表 36）。

図表 3 6 LED の光束低下の推移



図表 36 は埼玉大学の中川研究室で計測された、白色 LED の光束維持率の推移である。この結果を見ると、光束維持率を 70%とすると、約 6,000 時間で有効寿命となっていることが分かる。

この原因としては、LED 素子そのものの問題というより、素子を覆っているエポキシ樹脂の劣化が要因とされている。光が通過するため、エポキシ樹脂が劣化してしまい、光束が低下するという事になってしまっている。

また LED はかなり熱くなることから、エネルギー効率（量子効率）の改善が求められているが、この熱が上がることで、光量が落ち、それによって熱がまた上がるという悪循環になっていることが指摘されている。

### 3 - 5 知的財産権の保護システムの検討

本章では、技術基準の策定や統一的な表示等、我が国の知的財産権を保護するシステム

について検討を行った。

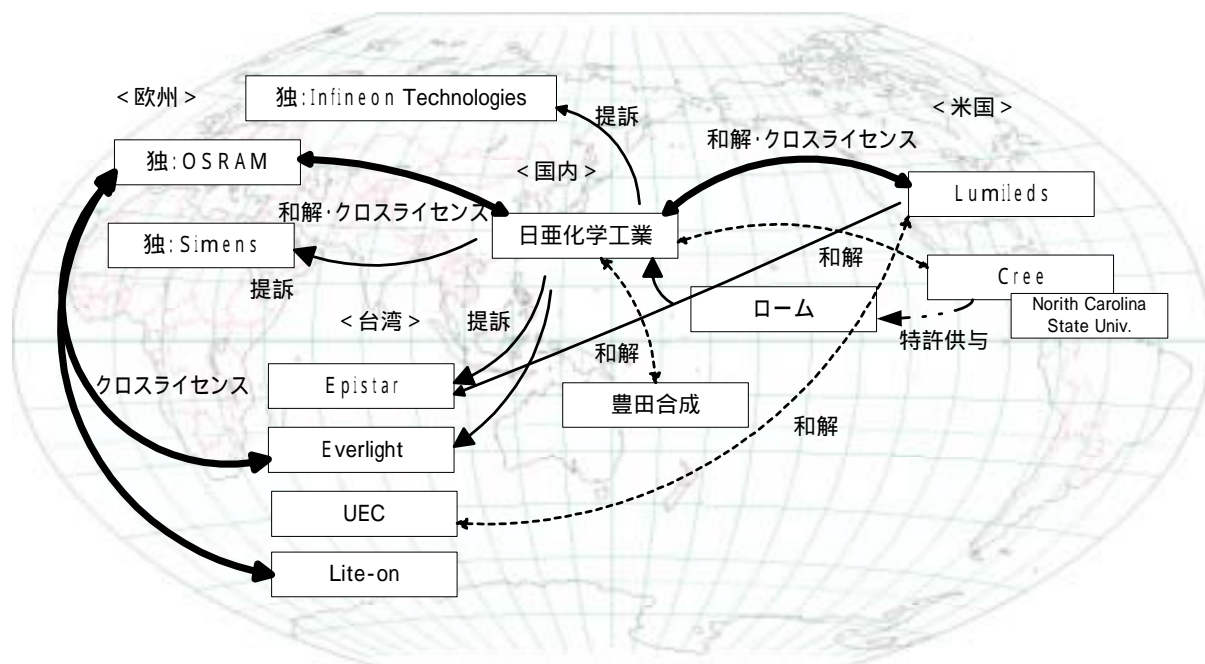
LED については、特許紛争のイメージが強く、産業化が遅れてきた傾向がある。最近では、クロスライセンスを結ぶなど協調関係が始まっており、協調と競争に向けた柔軟な知的財産権の保護と活用が求められている。国内での特許取得については、参入障壁になりやすいことから、海外への出願を念頭に、国際産業力を高める視点からの戦略が求められる。

### 3 - 5 - 1 LED における特許紛争

LED については、残念ながら、特許紛争のイメージがつきまとう。特に日亜化学と豊田合成の6年越しの特許紛争は、記憶に新しい。

図表 37 は、LED に関する主な特許紛争についてまとめたものである。

図表 37 LED に関する主な特許紛争とクロスライセンス



出所：各種資料より作成

ここで注目されるのが、独 OSRAM のやり方と日亜化学工業との違いである。OSRAM は特許については、比較的柔軟な対象の仕方で、台湾企業に対しても、クロスライセンス契約を結ぶなど、その影響力を伸ばしている。

一方で、日亜化学の場合、近年では和解によるクロスライセンスが進んでいるものの、全般的に防衛的な特許戦略とも言え、Cree 社のルームへの特許供与に始まる日亜包囲網が形成されるつつあったことが指摘されている。

国内での特許紛争はほぼ終結したことで、台湾企業との攻防になると考えられる。しかし Lumileds も台湾大手の UEC と和解するなど、今後は融和路線が強まるものと考えられる。

### 3 - 5 - 2 知的財産権に関する周辺動向

特許戦略とは、一体どのような種類があり、またどのような内容を持つものなのであるうか。一般的に特許戦略とは、その目的から「特許取得戦略 ( Patent Acquisition Strategy )」、 「特許活用戦略 ( Patent Application Strategy )」、 「特許非公開戦略 ( Patent Closed Strategy )」の三種類に大別される。そして、「特許活用戦略」は、さらに「独占化戦略 ( Monopolization Strategy )」、 「攻撃戦略 ( Offensive Strategy )」、 「防御戦略 ( Defensive Strategy )」、 「公開戦略 ( Open Strategy )」の四種類に分類出来る。

#### 特許取得戦略 ( Patent Acquisition Strategy )

「特許取得戦略」とは、文字通り「特許を取得するための戦略」を意味するもので、そもそも特許法が「属地主義 (= 領土内にあるものはその領土の法律に従うべきだとする主義)」を採用しているため、特許権を取得したい場合には、取得したい国で特許出願を行う必要がある。しかし、現在では一つの特許出願で複数の海外特許取得を可能とする、いわゆる「国際出願 ( International Application )」制度が確立されており、グローバルな特許取得戦略の展開が可能となっている。代表的な国際出願ルートとしては、「特許協力条約 ( Patent Cooperation Treaty : PCT )」による PCT ルートが挙げられる。上述したように米国の企業は国内よりも海外で多く特許の出願を行っており、米国の企業にとって特許戦略は、輸出や対外直接投資と同様に、重要な対外事業活動の選択肢として位置付けられてきたと言える。

#### 特許活用戦略

特許活用戦略とは、「特許を企業戦略に活用し、他社との差別化を図る戦略」を意味し、同戦略はその目的によって、以下の四種類の戦略に細分化される。

##### ア) 独占化戦略

独占化戦略とは、特許により市場の独占化を狙う戦略を意味するもので、開発者がその技術的成果の報酬を独り占めにする状態を意味している。ところが、法的に「排他的独占権 (= 専有権)」を保証されている特許権化も、その権利存続期間が通常 20 年間とされており、期間終了後は社会全体の共有財産として広く一般に公開されてしまうことになる。

しかしながら、開発する技術・製品のライフサイクルが短縮化し、陳腐化のスピードが

加速化している現在では、20年間の権利存続期間は十分とも言える。むしろ問題は、審査する側のスピードがそうしたビジネスサイクルの速さに追いついていけないという点にある。

#### イ) 攻撃戦略

攻撃戦略とは、特許によって競合他社を攻撃する戦略を意味し、1980年代以降のプロパテント政策の確立を背景に頻発した、米国企業による特許侵害訴訟攻撃に代表される。特に一時期問題となったサブマリン特許戦略もこの一種である。

サブマリン特許戦略とは、米国には出願公開制度がないため、特許を出願してもその技術情報を公開する義務が生じない。その制度につけこんで、故意に審査期間を延ばすために補正手続を繰り返し、世界中の誰もが当たり前用いている周知技術に対して、ある日突然に特許権を発生させ、侵害訴訟によって莫大な賠償金・和解金を獲得するというものである。

#### ウ) 防御戦略

防御戦略とは、特許によって他社の攻撃から守る戦略を意味するものである。

そもそも、特許権が有する禁圧効果としては、権利侵害行為に対する法的な制裁措置の執行が挙げられる。特に米国では、連邦巡回控訴裁判所によって、悪意の侵害に対する賠償の増額(=三倍賠償)が設定されており、その禁圧効果は絶大であるとされている。

また、一般的にも特許侵害を指摘された当事者の大部分が、訴訟を提起された段階において自ら非を認め、特許権者との“和解”に応じると言われている。例えば、日本企業が外国企業・個人との特許権等の知的所有権紛争に直面した際、その解決方法として全体の90%以上が「和解手続き」を選択していた、との調査結果も報告されている。

しかしながら、現在でも一部の先進国(日本も含む)やアジア諸国(韓国、台湾、中国など)、発展途上国では、知的所有権そのものに対する理解不足や法的整備の遅れから、コピーや模倣といった権利侵害行為が日常的に行われていることは事実であり、特許権化による防御戦略が万全なものであるというわけではない。

#### エ) 公開戦略

公開戦略とは、いわゆる特許公開やクロス・ライセンスによる戦略である。特許を公開することによって特許で得る利益をより大きくすることを目的とし研究開発費の早期回収を図るものである。例えば、1970年代後半の米国企業では、巨額化する研究開発費負担を軽減するために、日本や西ドイツ(当時)へのライセンスを活発化させた歴史を持っている。

#### 特許非公開戦略

特許非公開戦略」とは、敢えて特許として公開しない戦略を意味する。つまり、開発技術の存在を「ノウハウ ( Know-How ) 」として秘匿化し、自社やグループ企業内だけで使用するのである。特に他社から特許侵害されている可能性があったとしてもそれを確認し難いような生産プロセスに関する技術内容は、むしろノウハウとして秘匿化の方が安全である。

また特許権といった知的所有権の一種でありながら、「企業秘密 (= 営業秘密)」として非公開の性質を持つ「トレードシークレット ( Trade Secret ) 」の活用も注目を集めつつある。代表的な例としては、コカ・コーラの原液の化学的成分が挙げられる。コカ・コーラの原液の化学的成分は、トレードシークレットとして現在も秘匿化されたままである。

このような一般的な特許戦略と相まって、インターネット企業を中心に、新しい特許戦略が生まれている。すなわち特許ポートフォリオ戦略と呼ばれるもので、同一分野の発明に関し、複数の特許を意識的に取得することにより、特許権を強化し、競争能力を高める戦略である。従来もこうしたポートフォリオ分析手法は開発されていたが、近年の IT の進歩により、この分析がインターネットを利用した専用ソフトウェアによる解析によって数時間で完了し、しかも安価なコストで実行出来るようになってきている。ポートフォリオ分析は、具体的に次の三つのような手順で行われる。

#### イ) 特許取得動向マップ

インターネットを利用した特許ポートフォリオ戦略では、まず新製品・新市場への参入を図る前に「特許取得動向マップ ( Landscape Map ) 」を利用して競合他社の長期的な開発動向の分析を行い、二重投資のリスクを回避することが行われる。そして、そこから改めて自社の中核技術を定め集中的に開発を行い、それを基本特許として押さえるというのである。つまり、特許管理部門 (あるいは知的財産部門) と研究開発部門と連携し、効率良く技術開発を行い、特許権を取得することが目指されるのである。

#### ロ) 基本特許・周辺特許取得

次に、こうして生み出された基本特許に対して、競合他社が自社技術を模倣出来ないように、あるいは競合他社の基本特許を無効なものとするために、方法やプロセスといった周辺特許を押さえておくことが行われる。すなわち、昨今話題の「ビジネスモデル特許 (= ビジネス方法特許)」によって、1. 自社の基本特許の周囲に特許の壁を築く「クラスタリング ( Clustering ) 」や、2. 競合他社の基本特許に関連する周辺特許を囲い込む「ブラケットティング ( Bracketing ) 」といった特許戦略を行うのである。

#### ハ) 特許引用ツリー

さらに特許引用ツリー ( Patent Citation Tree ) の分析によって、以下のような戦略のバリ

エーションが可能となる。すなわち、1. 自社の技術優位性を強化出来る周辺特許を持つ企業を探し出し M&A を行う、2. 自社の特許技術から多く引用している特許技術を探し出して訴える、あるいは侵害の事実が認められなくても他社が自社の特許技術を引用していることを口実として、その技術関連性の深さからクロス・ライセンス契約などを結び、相手の特許技術を獲得する、3. また逆に、引用ツリーで照会し多く引用されている特許技術が自社にあれば、それは市場価値が高いことを示していることから、それらの売却やクロス・ライセンスを検討する、といったものである。

我が国においても、1980 年代から 1990 年代にかけて発明者の権利保護を強化する方向で特許制度の一連の改正が行われている。その背景としては、やはり米国を中心とした外圧があり、1980 年代以降の米国のプロパテント政策に巻き込まれる形で特許制度を強化してきている。一方、国内でも特許制度の強化を求める声は高まっている。これは従来のキャッチアップの産業構造からフロンティアとして新しい分野を切り拓いていく立場となった我が国にふさわしい強固で迅速な特許制度が必要であるということと、日本企業の技術が中国など外国企業から模倣され、実際に被害を受けるようになってきていることが大きな要因である。

### 3 - 5 - 3 知的財産権の保護システムの検討

「知的財産の創造、保護及び活用に関する推進計画」では知的所有権の保護はもちろんのこと、活用についても具体的な計画が示されている。

活用分野においては、知的所有権の戦略的活用は当然であるが、国際標準化活動を支援するとされており、その中で技術標準に資する特許集積（パテントプール）の形成がうたわれている。近年、パテントプールについては特に情報産業やバイオテクノロジー・製薬産業において、その役割が高まってきている。

これは、ハイテク産業では多くの企業が研究開発を積み重ねることによって技術が発展することに起因する。すなわち、研究開発において累積性が高まると、1社だけの特許・著作権によっては新製品の研究開発と生産を実施することが出来ないため、知的所有権のライセンス（使用許諾）を他社より受けることが必要となってくる。しかし複数企業が個別にライセンスを結ぶのは取引コストがかかり過ぎるため、パテントプールを形成し、多数の企業に分散した知的所有権を集約し、定型条件によってプール内外の企業にライセンスを提供することで、知的所有権の有効利用を拡大しようとするものである。

一方でパテントプールは、競争者間の協調という状態を生むことから競争法の観点からは、あまり好ましいものとしては捉えられていなかった。パテントプールを悪用し、特定の企業が一定の割合で市場分割したり、新規参入排除のために用いられたりする歴史を有していることも事実である。



知的所有権の問題を考えた場合、イノベーションのインセンティブを保護するという観点から、その保護を強化するということは知識社会のエンジンを維持していくためには必要不可欠であると考えられるが、過度の排他的な知的所有権の拡大は競争政策との兼ね合いからも避けることが望ましい。特に技術の社会的普及を考えた場合には、クロスライセンスやパテントプールといった、先行した研究開発側にも後続の企業にもメリットのあるパテント戦略を取り入れていく必要があると考えられる。

#### 4 . 調査研究の今後の課題と展開

ここでは、本調査研究の今後の課題および展開として、LED における現状動向を踏まえた上で、今後 LED を普及していくための戦略的課題について整理した。

LED については、省エネ性、長寿命、視認性の良さ、軽くて小さい、など優れた特徴を有している。この特徴を十分に生かしながら、今後の研究技術開発と合わせて、その積極的な普及が望まれる。

##### ( 1 ) 現状認識

図表 38 では、調査研究の内容から LED をとりまく現状について整理したものを示している。

まず市場動向としては、白色 LED を中心としては市場展開が考えられ、分野としても携帯電話などから、交通信号機や自動車用ランプなど、交通運輸部門で確実に普及してきている。

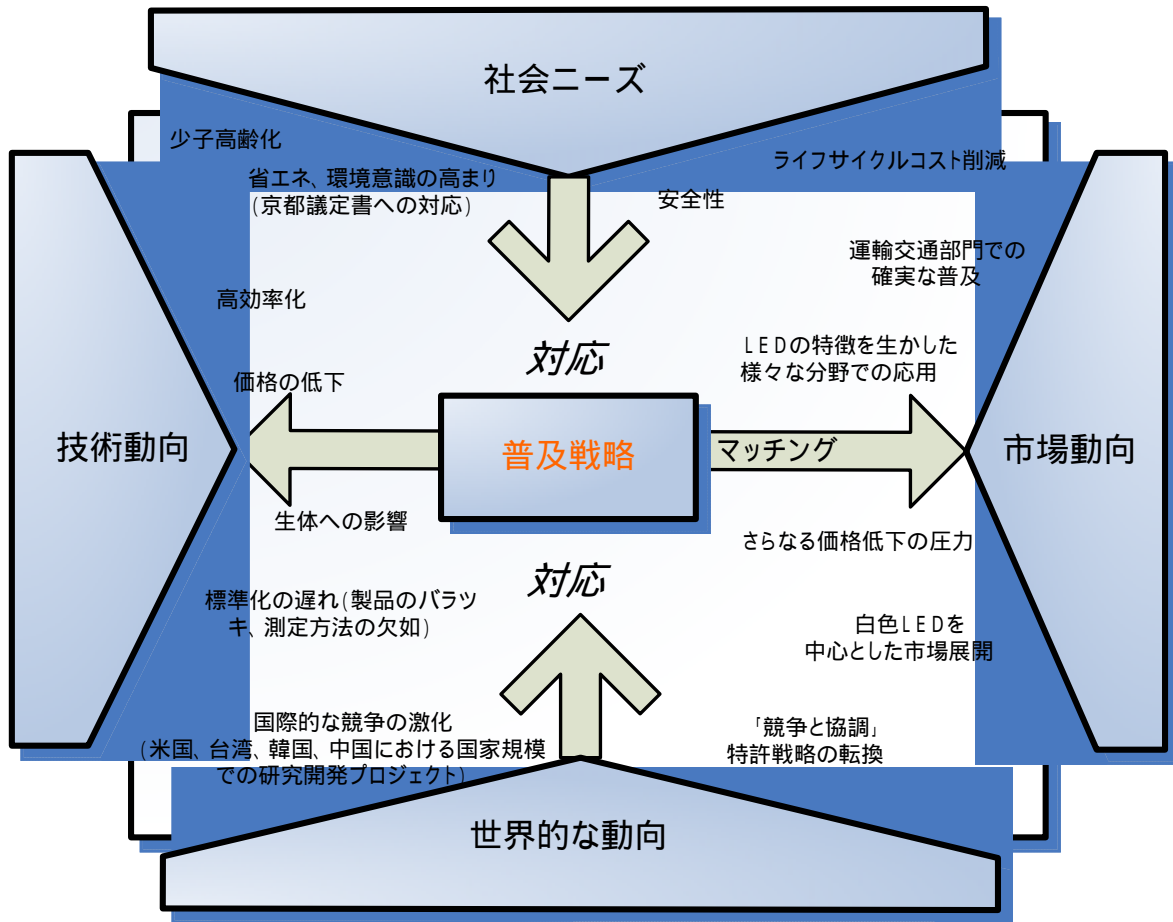
価格面でも、台湾や韓国を始めとする諸外国における生産により、低下傾向にあり、今後より効率化が進んだとしても、その傾向は変わらないと考えられる。価格の一層の低下によって市場への普及がより加速されると期待される。

現在、主に導入されている公共的分野については、省エネ性や視認性の良さに起因する安全性の高さの面から導入が進んでいると言える。今後も、非常時の出口誘導灯など、公共性、省エネ性、安全性が求められる、ニッチな市場を中心に普及が進んでいくと考えられる。

一方で、製品として普及していくためには、光源の測定方法などの標準化が必要であり、特にユーザーである照明機器メーカーと開発者である半導体業者との対話が求められる。標準化は対話のための共通言語とも言え、今後より重要性が増すと考えられる。

国際的にも米国を始めとして、国家規模での研究開発プロジェクトならびに普及に努めており、我が国に技術的な優位は以前としてあるとしても、価格競争やアプリケーション、システム化していく普及の段階で後塵を拝す可能性も十分に考えられる。

図表38 LEDをとりまく現状の整理



(2) 普及に向けた戦略的課題

以上のような現状認識から、LED 照明機器システム普及戦略調査委員会で検討された戦略的な課題について、次に列挙する。

LED における現状認識：

LED については、期待が先行し願望となってしまう、現状認識として誤解されているところもある。次世代の光源として期待されていることはもちろんであるが、実際にそれが実現されるためには、様々な技術的課題を克服していくことが必要とされている。

過大な期待が先行し過ぎると、それが実現するための課題が生じることで市場を裏切る結果となり、急激に普及に向けてのピッチが低下するといった反動があることから、しっかりとした現状認識を行い、技術的な課題を明確にした上で、メリットとデメリット

トをはっきりさせていくような普及・啓蒙な活動が求められる。

技術開発におけるロードマップの明示化：

技術課題を明確にするためにも、現状における lm/W の効率を明示し、今後の技術開発において、それがどれくらい改善されていくのか、将来の方向性を示すロードマップを作成する必要がある。現状において、全てが解決されているのではない、ということを確認し、各段階での開発者と利用者との認識を合致させていくことが求められる。

また今後、段階的に求められる行動・戦略を検討していくためにも、製品への適用時期を含めたロードマップが求められる。

現在の LED においても、素子の機能向上だけでなく、蛍光体や樹脂の改善も大きな研究課題である。これら周辺技術の課題もロードマップに合わせて示すことが重要である。

研究技術開発においても、従来の川上から川下へというスタイルではなく、利用者側（例えば照明機器メーカー）から見た課題・ニーズを抽出し、それを開発者側と共同で研究開発する、といったスタイルも考えられる。

LED の特色を生かした環境性や安全性の切り口からの普及：

交通信号機を中心として、LED の普及は公共面から行われてきた側面がある。これは省エネ性や安全性といった LED の持つ特徴が、社会ニーズの観点からも必要とされていたためである。コスト面ではまだ他の光源に比べて競争力の劣る LED ではあるが、省エネ性や安全性といった点では十分に対抗し得る要素を持っていることは確かである。

いきなり一般照明に向かうのではなく、これらの特徴を十分に生かせる分野での普及を行った上で、一般照明への取り組みを目指すことが望まれる。

実際に、廊下などで用いられる照明については、居間などの部屋に必要な明るさがなくても設置は可能である。発光効率を改善する技術開発の進展を待つのではなく、現在の明るさでも普及出来る分野に注視していくことが求められる。

LED の特徴として、省エネ性以外にも、光の指向性がある、応答性が良い、制御が可能（輝度を調整出来る、点滅を無制限に行える等）といった利点がある。例えば防犯関係では、人が近づくと点灯する照明機器システムがある。これを LED 化すれば、瞬時に調光することができ、指向性を有効に活用することが出来る（蛍光灯では逆に不経済）。

公共分野とのリンクした普及促進：

でも示したように、LED の普及を考えた場合、公共分野との関係は無視出来ないものである。コスト面をカバーしながら LED の特徴を生かした公共分野に取り組んでいくことが重要である。

この分野としては、米国でも注目されている出口誘導灯（管轄は消防庁、業界団体としては社団法人日本照明器具工業会）や街路灯などが候補として考えられる。出口誘導

灯については、可視光通信との連携による位置情報の発信を兼ね備えた新しい製品を提案することや、街路灯では太陽光発電と組み合わせた省エネ性、間隔を詰めて設置出来ることによる安全性といった点をアピールしていくことが重要である。

LEDに関する適切な情報提供：

とも関連するが、LEDは、素子としての成熟度はそれなりにあるが、LED照明機器としては、まだこれからというのが現状である。製品ごとにバラツキもあり、集積したり、高輝度化が進んだりすることで、人体への影響という点も無視出来ない事項である。

利用者に対して、このようなLEDが持つ現状でのデメリット（今後の技術課題によって克服できるもの）については適切にPRしていくことで、基本認識の混乱を避け、より深い理解が得られることとなる。

新しい照明機器システムの発想：

LEDは従来ある光源の代替ではなく、あくまで新しい光源として考える必要がある。特に照明機器を考えた場合、従来のようにランプを取り替えるということは、理論的にはなくなり、器具と一体化した製品寿命を考え、建設の一部として照明をデザインしていくことが想定される。これは、今までにない新しい照明機器システムの発想であり、人間に快適な光環境をどのように提供するのかというデザイン力が求められる。

我が国は、要素技術を開発していくだけでなく、それを組み合わせて何かを作り上げることに強みがある。これを十分に生かし、欧米に遅れがちなデザインの分野でも、積極的な技術開発を進めていくことで、ユーザーと一体となった、満足度の向上といった価値観の多様化に対応することが必要である。これを行っていくためには、単に開発側が一方的な主導権を握るのではなく、建築デザイナーや照明デザイナーといったユーザー側との対話の中から、新しい照明機器システムを開発することが期待される。

全体を統合化したシステムの提示：

新しい照明の発想と合わせて、利用者に対して分かりやすいモデルを提供することも普及促進には必要な課題である。コンビニエンス・ストアをモデルとしたLED照明のパイロット・プロジェクトなども一つの手法である。

コンビニエンス・ストアは、24時間オープンしており、照明機器による消費電力もかなりのものとなる。これをLED化することで省エネ化を図るとともに、指向性の特徴を生かし、無駄な光はカットすることで、利用者には見えやすく、周辺環境への光害は抑える、照明機器システムが可能となる。

またコンビニエンス・ストア内で用いられている商品を照らす照明は、商品をより良く見せるための演色性の高いものが採用されている。演色性については、まだ難のあるLED照明の質を向上させていくためにも、研究開発と合わせてこのようなパイロット・

プロジェクトに取り組むことも考えられる。

今後、以上のような課題に取り組んでいくためには、LED に関連する企業との連携や利用する建設業者、照明デザイナーとが共通で議論出来る場が求められる。また公共分野への普及には、一企業での取り組みは難しい。これは標準化に向けた活動についても同様である。

米国や台湾、韓国そして中国といった世界的な競争激化の中で、我が国発の LED 技術をより普及していくためにも普及促進のための協議会の設置を提案し、ここで示された戦略的課題に取り組んでいくことが望まれる。

### (3) 今後の展開：LED 照明推進協議会（仮称）の設置

本調査研究の今後の展開として、普及戦略的課題の克服に向けた業界を挙げた取り組みが求められる。そのためにも上記で示したような普及促進を目的とした協議会（LED 照明推進協議会（仮称）：以下、協議会）の設置に向けた活動が求められる。

この協議会への参加者（団体）としては、LED に関連する基板メーカー、ウェハーメーカー、デバイスメーカー、パッケージデバイスメーカー、システムメーカーといった製品開発における川上から川下の開発メーカーはもちろんのこと、照明機器システムメーカー、照明デザイナーといった利用者側や学識者、有識者などが考えられる。

このように製品開発の各段階で、開発者と利用者を組み合わせていくことで、より市場ニーズにマッチした製品の開発が可能となる。照明機器メーカーがチップメーカーに求めている製品は何か（高輝度のものなのか、演色性の良いものなのか、など）それに対応するためにはどの部分での研究開発が求められるのか、というものがより明確にされ、段階的な製品開発が可能となる。すなわち協議会が、企業連携の場としても利用されることが期待出来る。

産学連携についても同様で、大学や公的研究機関（産総研など）からも、広く参加を呼びかけ、研究開発はもちろんのこと、標準化に関する計測や安全性に関する議論、また出口誘導灯や自動車用ランプといったアプリケーションごとに調査研究を実施し、それぞれの分野で LED の優位性（省エネ性や視認性の良さ）を確認していくことが期待される。

協議会の活動内容としては、次のようなものが考えられる。

- 広報活動：LED の特徴や活用事例、今後の技術・製品開発の方向性について PR
- ホームページやパンフレット作成による一般消費者への普及・啓蒙活動（省エネ性や安全性等の PR）
  - 公的機関への働きかけ（例：出口誘導灯（消防庁） 太陽電池とを組み合わせた街

路灯など)

- 万博やイベント会場での PR 実施
- コンビニエンス・ストアを対象としたモデル事業の実施
- 行政情報の提供 (NEDO: 地域省エネルギー普及促進対策事業、環境省: グリーン調達品目)

調査研究活動: 技術シーズとニーズとのすり合わせ

- 個別分野、テーマにそった研究会の開催 (開発者側と利用者側とを連携させたニーズとシーズとのマッチング (例: 出口誘導灯 - 機器開発メーカーとチップメーカーとの連携により、従来の出口誘導灯の課題や制約の克服を目的とした次世代型出口誘導灯 (通信機能の付加など) 開発における技術課題ならびに普及させるための規制にまつわる課題抽出)
- 技術・製品開発におけるロードマップの作成

標準化に向けた提案活動

- 日本電球工業会、日本照明器具工業会、日本照明委員会等との連携による LED 標準化の促進
- 安全性 (人体への影響等) などに関する適切な基準づくり

ラベリング等による自主基準の明示と知的財産権の保護

- 自主基準に基づき技術水準や安全性の基準をクリアしたものについてラベリングを実施
- 海外からの粗悪品との差別化

以上のような参加企業ならびに活動内容を行う LED 照明推進協議会 (仮称) を設置し、我が国オリジナル技術である LED の普及に向けた活動を、産学官が連携して、実施していくことが、本調査研究の今後の展開として期待される。

このような取り組みについては、世界的な動向を鑑みても早急に着手する必要がある。我が国から積極的に世界に向けて情報発信していくことが必要である。LED に限らず、標準化などについては、欧米が中心となっていることから、この分野での優位性を保つためには、行政、関係企業、関係団体等の普及に向けた迅速な活動が求められている。

禁無断転載

システム技術開発調査研究 15 - R - 17

「環境・省エネ型 LED 照明機器システムの総合的普及戦略に関する調査研究」  
報告書(要旨)

平成 16 年 3 月

作 成 財団法人 機械システム振興協会  
東京都港区三田一丁目 4 番地 28 号  
TEL:03-3454-1311

委託先 財団法人 金属系材料研究開発センター  
東京都港区西新橋一丁目 5 番地 11 号  
第 11 東洋海事ビル 6F  
TEL:03-3592-1282