

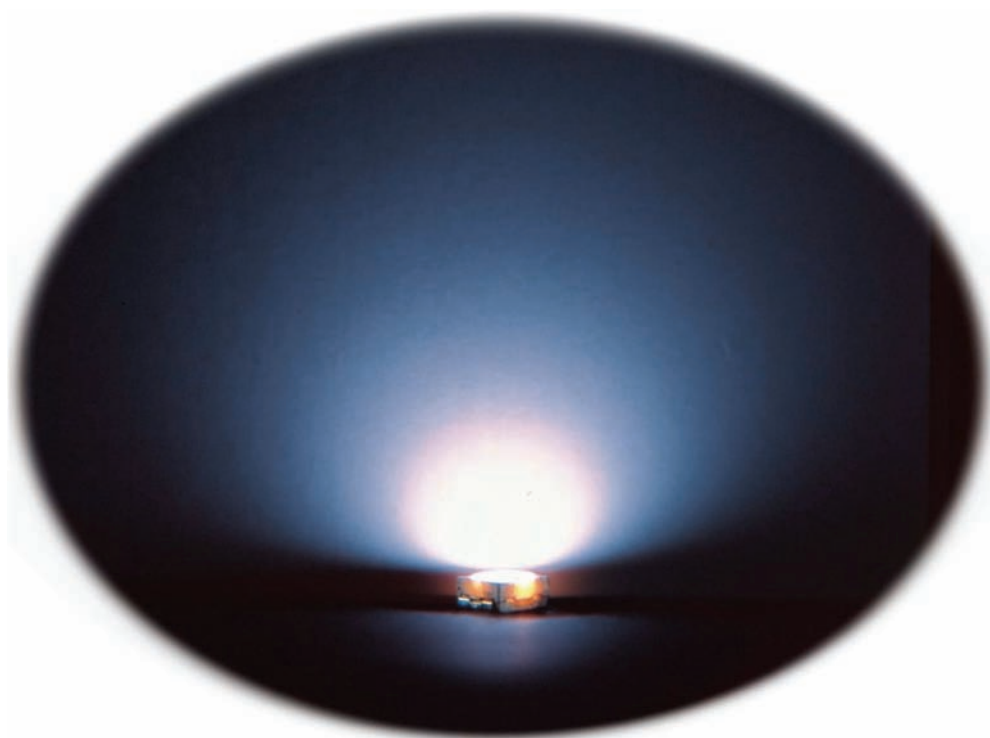
---

# 中部産業レポート Vol.7

---

## LED 関連産業

---



2010年12月

財団法人 中部産業・地域活性化センター

表紙写真：トゥルーホワイト LED

[写真提供：豊田合成株式会社]

## はじめに

LED (Light Emitting Diode) は、省エネ、長寿命、低発熱、応答速度が速い、小型・軽量、指向性、衝撃に強いなど、従来からの白熱灯や蛍光灯などとは異なる画期的な特性を持つ環境に優しい光源です。

LED は既に交通信号機やイルミネーション、携帯電話・モバイル端末・PC 等の小型・中型液晶ディスプレイのバックライト、ビルの巨大ビジョンなどで活用されており、昨年から家庭用 LED 電球が広く普及しはじめ、今後は一般照明用に加え、液晶テレビのバックライトや車両用光源などで急速に需要を拡大していくものと期待されています。

また、これら以外にも農漁業分野、情報通信分野、交通運輸分野、医療分野にも用途が拡がりつつあります。

中部地域は、1989 年に名古屋大学工学部電子工学科の赤崎勇教授が世界で最初に GaN 系 p-n 接合型青色 LED を開発し、その後、赤崎教授の指導のもと 1995 年に豊田合成株式会社はその商品化に成功するなど、「青色 LED の発祥の地」と言っても過言ではありません。

当財団では、このようなことから、急速に需要が拡大する LED に焦点を当て、中部地域の LED 研究者、照明デザイナー、経済記者、LED 関連企業社員などの有識者からなる「CIRAC LED 研究会」(2010 年 4 月～12 月)を設置し、LED 関連産業の分野別動向や将来展望、中部地域企業の取り組み事例、注目技術等を調査し、その全体像をわかりやすく記述するとともに、LED 関連産業の振興に向けての課題および提言を報告書として取り纏めました。

本報告書が、中部地域の企業や関係機関の皆様方に、少しでもお役に立てれば幸いです。

最後に、本調査研究を進めるに当たって、LED 研究会の座長をお願いしました三重大学大学院の平松和政先生はじめ、委員の先生方並びに執筆協力いただきました各社の皆様方に多大なご尽力を賜りましたことに深く感謝の意を表すると共に、ご多忙にもかかわらず貴重な時間を費やして、快くヒアリングにご協力をいただきました企業の皆様方にも、厚くお礼申し上げます。

2010 年 12 月

財団法人 中部産業・地域活性化センター

## 目次

結果概要	1
CIRAC LED 研究会	4
本編	
第1章 あかり文化	6
1.1 光とは何か	6
1.2 灯りの歴史	9
1.3 灯りの文化	12
第2章 LEDの重要性と技術	17
2.1 LEDの重要性	17
2.1.1 LEDの歴史	17
2.1.2 LEDの重要性	22
2.2 LED技術	25
2.2.1 発光原理と特徴	25
2.2.2 構造と製造方法	27
第3章 LED産業の現状と将来展望	29
3.1 総論	29
3.2 一般照明	33
3.3 サイン（看板、景観、演出）	37
3.4 ディスプレイ（バックライト）	39
3.5 車両用光源（自動車、電車、航空機、船）	41
3.6 新用途	43
3.6.1 植物（育成）	43
3.6.2 動物（漁業）	45
3.6.3 可視光通信	48
3.6.4 交通施設（道路照明）	50
3.6.5 医療・福祉	52
3.6.6 紫外・深紫外	55
3.6.7 安全・安心	57
3.6.8 伝統の灯りとの融合	58
3.6.9 その他（産業用照明など）	60
第4章 LED周辺技術の開発動向	62
4.1 電源	62
4.2 計測装置	64
4.3 放熱材料	69

4.4	蛍光体	70
4.5	拡散板、反射板	72
4.6	封止樹脂	76
4.7	チップ製造装置	77
4.8	その他（放熱基板、LED ドライバーIC）	79
第5章	LED 照明機器の主な課題	82
5.1	照明品質基準	82
5.2	標準化（standardization）	84
5.3	人体への影響（障害的、心理的）	89
5.4	デザイン	91
5.5	有機 EL への対応	96
第6章	LED 関連産業への中部地域企業等の取組み動向等	100
6.1	インタビューを実施した企業	100
6.2	インタビュー結果のまとめ	102
6.3	LED 分野別の事例	105
6.3.1	LED チップ、デバイス、モジュール分野	105
6.3.2	LED 後工程製造装置分野	107
6.3.3	電源分野	108
6.3.4	計測装置分野	109
6.3.5	照明器具分野	110
6.3.6	構成部品・部材分野	114
6.3.7	液晶ディスプレイ分野	117
6.3.8	車両用光源分野	118
6.3.9	新用途	119
6.3.10	伝統の灯りとの融合	121
第7章	LED 関連産業の振興に向けて	122
7.1	学界、官界への提言	122
7.2	産業界への提言	124
Columns	（コラム）	127

# 結果概要

---

## 第1章 あかり文化

### 1.1 光とは何か

光とは「人間の目（視覚）が明暗や色合いを感じるもの」（可視光）であり、その発生メカニズムには、①白熱電球のように物体を高温に熱するとエネルギーが放射され可視光になる「熱放射」と、②ある物質が外部から受けたエネルギーが、その物質を構成している分子や原子に吸収されて高エネルギー状態（励起状態）となり、そのエネルギーを外部に開放するとき光を放射する「ルミネセンス」の2つがある。

### 1.2 灯りの歴史

- ・第1世代の光源：[炎によるあかり]で、たいまつや古代オイルランプに始まり、ろうそく、植物油オイルランプ、ガス灯、石油ランプへ。
- ・第2世代の光源：1879年にエジソンが発明したフィラメントによる[白熱電球]のあかりで、今日まで世界中で愛用されてきた。
- ・第3世代の光源：[蛍光灯]で、1935年米国GE社で発明され、日本では消費電力が少ないことから住宅用として活用されることとなった。
- ・第4世代の光源：[LED]。実用的なLEDは1960年代初めに製造された赤外線LEDで、その後、赤、黄緑、緑色のLEDが開発され表示用途で実用化された。1989年に名古屋大学の赤崎勇教授が窒化ガリウムのpn接合による青色LEDを世界で初めて実現させた。1996年には白色LEDが日亜化学工業から発表され、日本は世界のトップランナーとしてLED量産化を展開した。

### 1.3 灯りの文化

日本の灯りは、行灯も提灯も炎からの灯りを「包み被う素材」＝和紙を使って作り出したもので、和紙を透過する優しい拡散光を生活のあかりとした。日本の灯りの文化はヨーロッパのような“炎”自体の研究や工夫ではなく、灯具の外形や形態への考案から生まれた日本独特の“灯す”あかりの文化である。

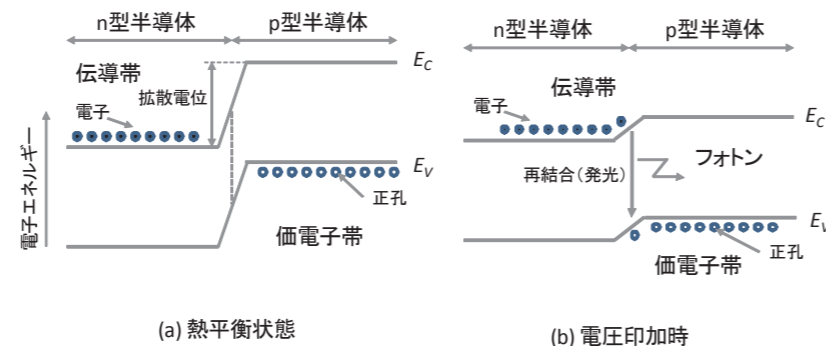
## 第2章 LEDの重要性と技術

### 2.1 LEDの重要性

蛍光灯は、ガラス管の中での放電により、フィラメントから飛び出したエネルギーの高い電子により水銀電子が励起され、その水銀電子が励起状態から元の基底状態に戻るときに発する紫外線が、ガラス管の内壁に塗布されている可視蛍光体を励起して白色発光する。この際、ストークスシフト損失と呼ばれるエネルギーの損失が生じ、また、現状では環境負荷物質である水銀を利用せざるを得ない。一方、LEDは発光原理的に大きなエネルギー損失はなく、水銀も使用しておらず、炭酸ガス排出削減、環境負荷の低減効果が期待されている。

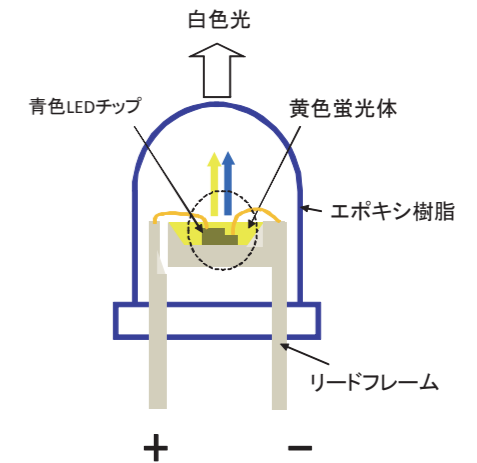
### 2.2 LED技術

LEDは、基本的に半導体pn接合によって構成されている。半導体は不純物を添加することにより、プラスの電荷を持つ正孔が多数存在するp型結晶とマイナスの電荷を持つ電子が多数存在するn型結晶を作り分けることが可能であるが、この両者を接触させた構造が、pn接合である。エネルギーの高いバンドを伝導帯、低いバンドを価電子帯と呼び、プラスの電荷を持つ正孔は価電子帯、マイナスの電荷を持つ電子は伝導帯に存在する。熱平衡状態のpn接合では、接合の電界によって電位差が生じており、p型層はエネルギーが高く、n型層はエネルギーが低くなっている。この電位差を拡散電位と呼んでいる。拡散電位を打ち消すように電圧を外部から印加すると、n型層の電子はp型層に、またp型層の正孔はn型層に拡散によって移動可能となり、pn接合では伝導帯に電子が、また価電子帯には正孔が共存する状態を作り出す。そして高いエネルギーを持つ電子が、低いエネルギーを持つ正孔に落ち込むことで、そのエネルギー差に相当するエネルギーを持つ光子（光）を放出する。伝導帯と価電子帯とのエネルギー差に相当するバンドギャップが大きい半導体材料ほど短い波長の光を放出することができる。LEDは全て単色光



を放出するものであり、単一のLEDによって照明に用いられるような白色光を生み出すことはできない。

白色光を作り出すためには、窒化物系青色LEDチップと、LEDチップからの青色光の一部を黄色に変換する蛍光体との組み合わせが一般的である。青色光は光子エネルギーが高い可視光であり、蛍光体を励起して緑色、黄色、赤色などの長波長の光を生成することが可能である。青色と補色の関係にある黄色とを組み合わせることで、白色を得ることが可能となっている。このタイプの白色LEDは、青色LED、黄色蛍光体ともに発光効率の高いものが開発され、蛍光灯を超える高いエネルギー効率での動作が可能となっている。しかしながら、太陽光に含まれる緑色や赤色の成分を含まないため、演色性に課題がある。今後の照明用途への普及に向けて、多色蛍光体を混入させるなど、演色性の向上が検討されている。窒化物系青色LEDの構造および製造方法については、本文を参照。



## 第3章 LED産業の現状と将来展望

### 3.1 総論

- ◎LED主役の新世代照明器具市場は世界で10兆円
- ◎世界各国で進むLED導入支援策
- ◎フィリップス、オスラム、GEの3強に加え多くの企業がLEDに参入
- ◎低価格化急ピッチで本格普及加速
- ◎液晶テレビ用バックライトはCCFLからLEDに置き換え進む

分野	現状と将来展望
3.2 一般照明	世界における電球を中心とするマーケットは3兆～4兆円。LED照明は、有効な地球温暖化対策と位置づけられ、2009年から130年ぶりの新照明革命が起こりつつある。また、従来の光源活用領域に限らず、新たな市場の創出が期待される。
3.3 サイン（看板、景観、演出）	デジタルサイネージの認知度の高まりと改正省エネ法の施行に伴いLEDをサイン（電子看板）の光源に採用する動きが広がっている。しかし、蛍光灯に比べ、輝度が十分でなく、コスト・性能面で課題があるため、導入が遅れ気味。
3.4 ディスプレイ（バックライト）	液晶TVのバックライトには、水銀を含んだ冷陰極管・外部電極蛍光灯が使用されているが、欧州市場で2013年以降、水銀使用のTVが販売できなくなる可能性が高まったことから、LEDの輝度向上とコストダウンと相まって切り替えが一気に進んでいる。
3.5 車両用電源（自動車、電車、航空機等）	電気自動車（EV）はリチウムイオン電池とモーターを動力源とするため、いかに省電力であるかが航続距離を左右する。既存光源に代えてLED光源を採用し、車載照明システム全体を省エネ化することがEVの性能に大きな影響を及ぼす。
3.6 新用途	1. 植物（育成）
	2. 動物（漁業）
	3. 可視光通信
	4. 交通施設（道路照明）

3.6 新用途	5. 医療・福祉	LED 電子内視鏡が実用化されれば、電池駆動で緊急車両への搭載も可能になり、災害現場への携帯が容易になるなど効果が期待される。また、診断用途には超高演色性白色 LED が実用化されつつあり、ニッチではあるが、一つの市場を確立すると推測する。
	6. 紫外・深紫外	紫外線 LED はパスポート認証や貨幣判別で活用されるようになった。今後、さらに短波長 LED の実用化が期待され、医療用では、乾癬やアトピー治療、腫瘍細胞の死滅が確かめられている。小型の高出力紫外 LED は、超小型遠隔操作カプセル内視鏡に組み込み、難治性内臓疾患の治療も可能となる。また空気や水の清浄化、消毒殺菌用に効果的といわれており、殺菌装置は、衛生面の向上に大きな効果をもたらす。
	7. 安心・安全	街路灯・防犯灯は、水銀灯から蛍光灯へ、そして LED への移行が進みつつある。青色照明が防犯に効果的であることが期待され、街路照明に広く用いられている。
	8. 伝統の灯りとの融合	近年、各地で陶磁器や和紙など伝統工芸品と LED 電球を組み合わせた照明器具の商品開発が盛んになっている。強い光による作品へのダメージや単色不慣れが軽減でき、従来の白熱電球を用いた工芸品と遜色ない照明器具の実現が期待できる。
	9. その他 (産業用照明)	産業用照明では、明るさに勝るメタルハイドランプ以外は、すでに 70～80% が LED に置き換わっている。1990 年代初頭から小型・長寿命によりハロゲンランプに代わって LED の採用が進み、半導体業界向けには製造装置や実装機に多用されている。

#### 第 4 章 LED 周辺技術の開発動向

分野	動向・課題等
4.1 電源	LED 照明は調光制御による省エネ・演出が可能である。調光方式には、電源と直列に調光器を接続して電源波形を調節する位相制御方式と、調光信号を別配線で接続する 4 線式調光方式があり、後者では、人感センサや、周囲の明るさを検知するあかりセンサと調光可能な照明器具を組み合わせた省エネシステムが提案されている。
4.2 計測装置	LED 光源も光源の一種であり、光特性の測定方法については、基本部分は従来光源について開発された方法がそのまま適用出来る。ただし、光源の構造や発光原理などが従来光源と大きく異なっているため、光特性の測定方法について LED 特有の問題点があり、実際の適用に当たっては、いくつかの要注意点がある。
4.3 放熱材料	放熱材料は、半導体パッケージとヒートシンク等との間に充填され、デバイスから発する熱を効率的に放散する。これまで主に PC 用 CPU 周辺に市場を拡大してきたが、近年はパワー半導体や LED 向けに需要が増加している。放熱材料はシリコン系が主流で、シリコン樹脂に導電性を高めるフィラーを混合して性能を高めている。また、海外メーカーに対応するため、国内メーカーはより高い放熱性を有する付加価値の高い分野で勝負する傾向にある。使用形態としては、液体状のグリースが多い。
4.4 蛍光体	白色 LED は、青色 LED チップと黄色蛍光体の組合せが最も一般的な手法であるが、演色性に課題がある。そのため青色 LED チップ+赤色、緑色蛍光体の組合せや紫外 LED チップ+赤色、緑色、青色蛍光体の組合せが開発されている。紫外 LED チップが最も自然光に近い白色を得られる手法であるが、出力や輝度が青色チップに及ばないため高輝度化が難しく、紫外光による蛍光体や周辺材料の劣化が製品寿命に影響がある。
4.5 拡散板、反射板	LED チップから放射された小さな光を効率よく前面に導くために、従来の蛍光灯等とは異なる反射材・拡散材の光学設計が要求される。反射板としては、発泡 PET や白色インキを金属板等の基材上にコーティングしたものが提案されている。また、LED 光源の高出力化と高寿命化に伴い、高温劣化や経年劣化に対する耐久性が要求される。
4.6 封止樹脂	LED 用封止樹脂には、これまで主にエポキシ樹脂が用いられてきたが、青色 LED に含まれる紫外線や発光時の発熱によって黄変するため、輝度低下を招く。今後商品化される高輝度白色 LED は、封止樹脂にシリコン樹脂を採用する流れにあるが、ガス透過性の低減、蛍光体の分散性や粘度の最適化など、性能向上に対する要望は多い。
4.7 チップ製造装置	LED のチップ製造工程では、MOCVD 装置、スクライブ装置、プレーキング装置などが用いられる。LED 用の MOCVD 装置は、量産用メーカーが世界に 3 社しかなく、独米の 2 社で世界シェアの 90% を握っている。LED チップの需要増加に伴い、大量の発注が世界中から寄せられており、供給が非常に厳しい状況が続いている。

4.8 その他 (放熱基板、LED ドライバー IC)	高放熱基板として最も利用されているのがアルミ基板で、液晶 TV 用 LED バックライト向けや LED 照明用の基板として需要が増加している。メタルコア基板、ガラスセラミック基板も量産を開始した。また、LED ドライバー IC は LED 照明製品の調光対応、バックライトに使用する LED アレイの点灯制御、LED の寿命維持のための温度管理など重要な要素を担っており、LED 製品の拡大に合わせて拡大していくと思われる。
--------------------------------	--

#### 第 5 章 LED 照明機器の主な課題

項目	主な課題
5.1 照明品質基準	LED 光源は、従来光源とは構造や発光機構が大きく異なるので、光環境の質を向上させる上で LED 光源に特有の要件が検討され、対応する基準が作成されている。これらの光環境のための照明機器の品質基準は、普遍性と普及性を広く保持するために、様々な水準において標準化され、その内容が規格として発行されている。
5.2 標準化	現在 LED に関連する国際標準化機構の代表的なものは、ISO 国際標準化機構、IEC 国際電気技術標準会議、CIE 国際照明委員会である。LED は、日々進化し続けているため、現時点では、従来光源に比べて標準化が充分進んでいるとは言えない。
5.3 人体への影響 (障害的、心理的)	人体が光エネルギーの照射を受け、光を吸収すると、何らかの光生物的作用効果、時には光生物学的傷害を受ける可能性がある。また、光は人間の環境の中で最も重要な環境要素であるから、人間に対して種々の心理(生理)的作用を及ぼす。
5.4 デザイン	世界の照明デザイン動向は、6 年前から LED に移行し始め、2010 年度は LED が完全に中心となった。LED は半導体光源で従来光源と違い、小型コンパクトで斬新かつユニークな形状や機能、さらに照明演出を打ち出せる可能性を秘めている。
5.5 有機 EL への対応	有機 EL は、薄面状に多彩な発光色が得られるため、世界 3 大ランプメーカーによる研究開発が進んでおり、実用化は数年先と見込まれる。面発光の有機 EL は、LED と異なり柔らかな拡散光であり、特性を生かした新市場が創成できる。

#### 第 6 章 LED 関連産業への中部地域企業等の取組み動向等

##### ・企業インタビューによる LED 分野別の動向・課題等

分野	動向・課題等
1. LED チップ、デバイス、モジュール	豊田合成：車載用 LED 製品や住宅用 LED 照明事業の拡大を進めると共に、需要拡大に対応した生産能力増強と新規立地の検討が急務。 浜松ホトニクス：LED の特性を生かし、車両、測量、医療、セキュリティなどの分野で活用できる付加価値の高い製品の開発・提供が必要。
2. LED 後工程製造装置	アビックヤマダ：欧米での需要拡大のため、装置は海外 LED メーカーへの納入が増加。日本、ヨーロッパ、韓国等、同業者間での品質・価格競争が激化。
3. 電源	ナユタ：LED の発光効率が高まる中、高品質で高効率・小型・長寿命の電源を開発・製造し、一層の省エネに貢献していく。
4. 計測装置	大塚電子：全光束測定システム(HalfMoon)は引き合いが増えており、同システムによる全光束測定法の世界標準化(CIE, JIS)を推進している。
5. 照明機器	加納製陶：海外の安価な製品に対抗できる高品質・高付加価値な製品開発が必要。LED 組込み内装タイルは外装タイルと並ぶ新機軸として、海外市場も含め展開を図る。 日本街路灯製造：LED 光源の特性を生かした環境・ECO 領域での新たな灯り事業の創成および LED に関する関連教育と人材育成が必要。 東洋ライト工業：植物育成用 LED 照明は今後の有望市場。研究途上ではあるが近い将来、植物に高付加価値をもたらす、社業の収益向上に寄与する。 瑞徳化成：国産白色 LED の値段が高く、製品価格が高価になる。ディスプレイ用 LED 照明に用いる電源には LED との相性が重要で経験が必要。
6. 構成部品・部材	アイン：海外からの汎用製品との価格競争が厳しい。VCM 配線板の急激な市場拡大は期待できないが、特殊用途向けに展開する。 トヨタック：レンズメーカーのノウハウ・強みを活かし、LED 光源に対応する高機能、かつ短時間で他者からは真似のできない製品の開発に努める。



6. 構成部品・部材	日東光学： レンズ価格が安価な海外製品の増加により下がってきている。高度な技術が必要な高解像度レンズなど、高付加価値製品にシフトする。
7. 液晶ディスプレイ	シャープ： 液晶テレビのLED バックライトと LED 照明向けに大量の LED チップが必要となる。調達の拡大、生産設備の拡充など LED チップの安定供給体制が必要。
8. 車両用光源	レシップ： LED チップが高いため、従来灯具と比較し、製品がコスト高になっている。周辺材料の耐久性向上と併せ、高品質の製品開発が必要。
9. 新用途	大仙： 植物工場の設置コスト、運営コストとも莫大なため、コストダウンと当面は行政等の各種支援が必要。また、果実栽培技術の確立と栽培可能作物の拡大が必要。 水口電装： 既存灯に比べ、暗く最適波長が実証されていないことから、採算漁獲量に達していない。近々魚群行動の科学的解明と LED 照明の光制御開発が完成する見込み。
10. 伝統の灯りとの融合	丸滋製陶： LED 商品は高価なため、高所得者層を対象にデザイン・品質等の充実が必要。光を通す信楽焼「信楽透器」を用いた LED 陶器製品の拡充とコストダウンに努める。

## 第7章 LED 産業の振興に向けて

### 7.1 学界・官界への提言

LED 照明のさらなる普及には、LED の高効率化に加え、LED の配光制御や色度制御などの光学的な技術、LED の制御回路及びシステム、電球や蛍光灯の置き換えにとどまらないインテリジェント LED 照明デザインなどの各要素において要素技術を構築すると共に、個々の要素技術が連携し合うことが必要である。これにより、LED 照明は単なる電球や蛍光灯の置き換えだけでなく、その場、その時、その人にふさわしい照明環境が得られるユビキタス照明や環境や人に配慮したグリーン照明など LED 独特の照明の新しいあり方を提案することができる。以下、LED 関連産業の振興に向けた学界及び官界への提言をとりまとめた。

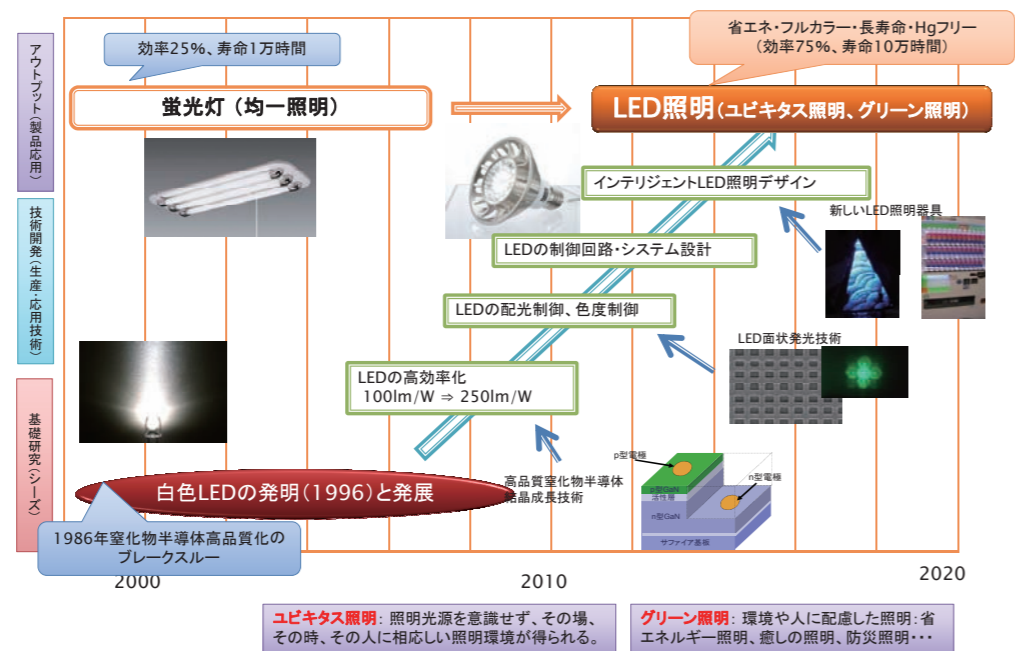


図 LED 照明に関する技術のロードマップ

[学界]

- ・ 図に示すロードマップの各カテゴリーのうち、特に LED チップ作製以外のカテゴリーのシーズ発掘が重要
- ・ LED 照明の応用に関してアイデアを提供するため、産と学または学部を超えた学際的な学と学の強固な連携
- ・ デザインはヨーロッパ、要素技術は台湾・韓国、マーケットは中国など、それぞれの強みを生かす世界的な連携が必要
- ・ 人材育成

LED の特徴を生かすためには、特徴や原理を理解し、既存光源にはない新しい LED 製品のアイデアやそれに見合った照明デザイン手法が必要になる。このため、LED の導入を検討している企業などの社会人を対象にし

た実践的かつ啓蒙的な人材育成や、若手の研究開発者、学生、子供たちを対象にした LED の導入教育など様々なレベルにあわせた人材育成が必要

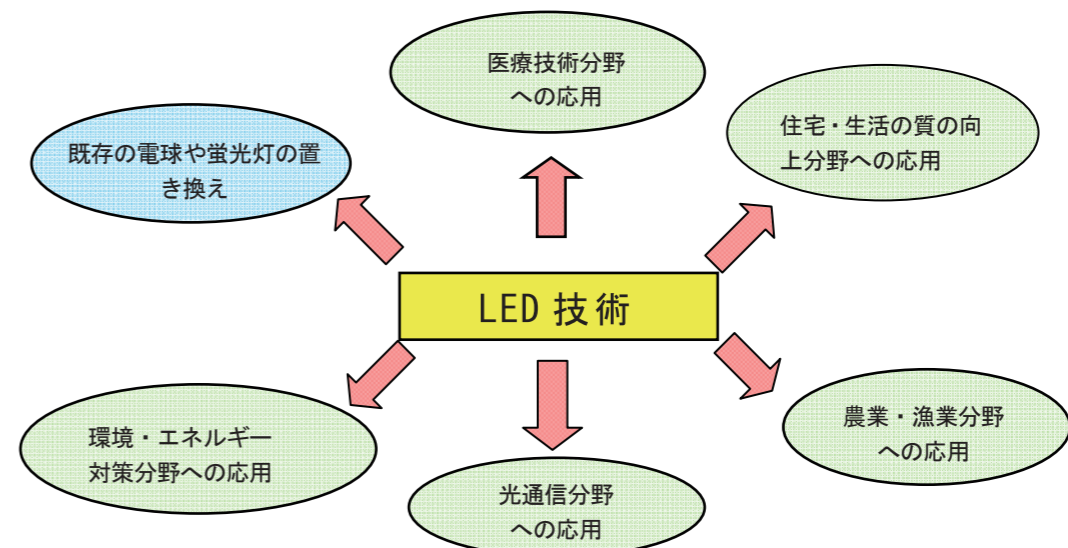
[官界]

- ・ 産-産、学-学、産-学の連携を支援する仕組み作り
- ・ 使用や安全に関する法整備の早急な確立
- ・ 国際的な連携の支援や研究開発の取り組みに関する積極的な情報発信
- ・ 産-産、学-学、産-学連携への LED 関連技術開発向けの研究費の支援

### 7.2 産業界への提言

日本の市場は、“How to Make” の時代から” How to Use “の時代になった。この時代になるとマーケットのニーズを捉える事だけでなく自らがマーケットを創造することが重要な要件となる。日本の産業界にとって、この市場に適応できなければ” 技術立国日本 “という言葉は完全に死語になってしまう。以下に産業界への提言をとりまとめた。

- ・ マーケティングの重要性を十分に認識し、マーケティングに十分な人や資金を拠出する
- ・ 良い技術を持つ大学や研究機関には積極的かつ迅速に資金を拠出する
- ・ 大学と密接な関係を築くことが重要、工学部博士課程の学生は企業との共同研究の中で学位を取得し、卒業後その企業に就職するといった仕組みの構築が必要
- ・ 世界の技術開発スピードは急速に速まり、新技術開発のリスクを企業だけが負うことは不可能になってきている。基盤技術開発は公的資金を如何に有効に使うかがポイント
- ・ データベースの整備とネットワーク環境の整備
- ・ 協調部分と競争部分を明確にし、連携する組織同士が WIN-WIN の関係を築けるような連携活動
- ・ 人材育成
  - 英語によるコミュニケーション能力の向上、実現場における創意工夫しながらの技術開発
- ・ 職位の枠を超え、技術者同士のディスカッションの場を持つこと
- ・ 日本が有する数々の技術と LED 技術を融合することが重要
  - 考えられる分野として、滅菌・殺菌をはじめとする医療技術分野、新しい照明デザインによる住宅や生活の質の向上に関連する分野、環境・エネルギー対策分野、光通信分野、農業・漁業分野など
- ・ 「実際に研究開発を行う人」と「研究開発をマネジメントする人」が必要



現在は、まさに『新産業革命の時代』である。技術開発においても過去の栄光に浸ってばかりいては、世界の新しい潮流に乗って国を発展させることは難しい。もう一度基本に立ち返って、産業界、学界、行政が如何に行動するべきかを真剣に考えなければならない時に来ていることは間違いないであろう。

# CIRAC LED 研究会

---

## CIRAC LED 研究会

本レポートの作成に当たっては、三重大学大学院の平松和政先生を座長とし、中部地域等のLED有識者の方々からなる「CIRAC LED 研究会」（平成22年4月～12月）を設置し、調査研究を進めた。

(敬称略)

担当	氏名	所属
委員 (座長)	平松 和政	三重大学 大学院工学研究科 電気電子工学専攻 教授
委員	天野 浩	名古屋大学 大学院工学研究科 電子情報システム専攻 教授
	泉谷 渉	株式会社 産業タイムズ社取締役 社長
	落合 勉	Light Bridge Association JAPAN NPO(あかりの架け橋) 理事長 武蔵野美術大学 客員教授 M&O デザイン事務所 所長
	上山 智	名城大学 理工学部 材料機能工学科 教授
	只友 一行	山口大学 大学院理工学研究科 量子デバイス工学分野 教授
	元垣内 敦司	三重大学 大学院工学研究科 電気電子工学専攻 助教
	山中 脩	豊田合成株式会社 オプトE事業部 主監
	吉村 克信	(財)科学技術交流財団 東海広域 知的クラスター創生事業本部 国際連携コーディネーター
執筆協力	河本 廉太郎	株式会社 テクノログ 技術顧問
	竹田 秀一郎	株式会社 DNP ファインケミカル 開発本部 市場開拓部 部長
	平岡 敏行	東芝ライテック株式会社 技術本部技術統括部長 兼 同技術統括部技術企画部長
オブザーバー	今井 清人	中部経済産業局 地域経済部産業技術課 産学官連携推進室 課長補佐
	小柳 淳也	中部経済産業局 地域経済部産業技術課 産学官連携推進室 連携推進係長
事務局	小林 宏之	(財)中部産業・地域活性化センター 専務理事
	草野 潔人	(財)中部産業・地域活性化センター 常務理事
	徳田 達彦	(財)中部産業・地域活性化センター 産業振興部長

【 委員、執筆協力者別担当 】

レポートは、委員・執筆協力者および事務局で執筆した。

それぞれの担当分は以下の通り。

平 松：第7章1節

天 野：第2章1節、第3章6節6

泉 谷：第3章1・3・4・5節、第3章6節9、第4章3・4・6・7・8節、Columns

落 合：第1章、第3章2節、第5章4・5節

上 山：第2章2節

只 友：第3章6節1・2・5

元垣内：第3章6節3・4・7・8

吉 村：第7章2節

河 本：第4章2節、第5章1・2・3節

竹 田：第4章5節

平 岡：第4章1節

事務局：第6章

# 本 編



## 第1章 あかり文化

### 1.1 光とは何か

ひかりとあかりそして照明、私たち日本人はこの異なる3つの言語を日々の生活シーンに照合し使い分けしてきた。現代では太陽の光=solar(ソーラー)も併せ、省エネかつ環境共生の新しい時代を築こうとしている。光とは何かを語る時、私たちはその時々々の時代における光の使われ方を認識し、現代における光の探求や快適使用のあり方に生かすべきと考える。

人々は太古の時代から光を求め、活用工夫をしてきた。石器時代の遺跡としてまた先史時代の美術作品としても有名なフランス「ラスコー洞窟の壁画」は、その事例としてよく紹介される。15,000年前の旧石器時代後期のクロマニヨン人によって描かれたこの洞窟壁画には、数百点の馬や羊や鹿、さらには人や幾何学模様の彩画や線画など(人の手形なども)が壁面や天井に描かれている。この壁画は暗い洞窟内で光なくして描くことはできず、岩のくぼみなどに獣油を灯して、洞窟内を明るくして描いたと言われている。

さらに人類はエジプト、メソポタミア、インダス、そして黄河の4大文明を形成する。当時太陽光による生活が主体であったが、ピラミッドや神殿等にはろうそくやテラコッタのオイルランプが用いられていた様子が描かれている。このろうそくやオイルはその後の中世・近世の時代まで永い間、人類の人工光源体として使われた。近代になり、光は科学的に研究解析され、光の成分や現象さらには明るく高効率の人工光創出へと進歩してきた。

また、光は古代から宗教や思想哲学にも活用された。古代エジプトの太陽神やキリスト教などでは光を神のように扱い、光による照明演出を活用したりしている。仏教でも光は仏や菩薩などの智慧や慈悲を象徴するものとしている。このように光とは何かを問う時、時と場所によってその意味は多様であり、多くの捉え方がなされてきた。

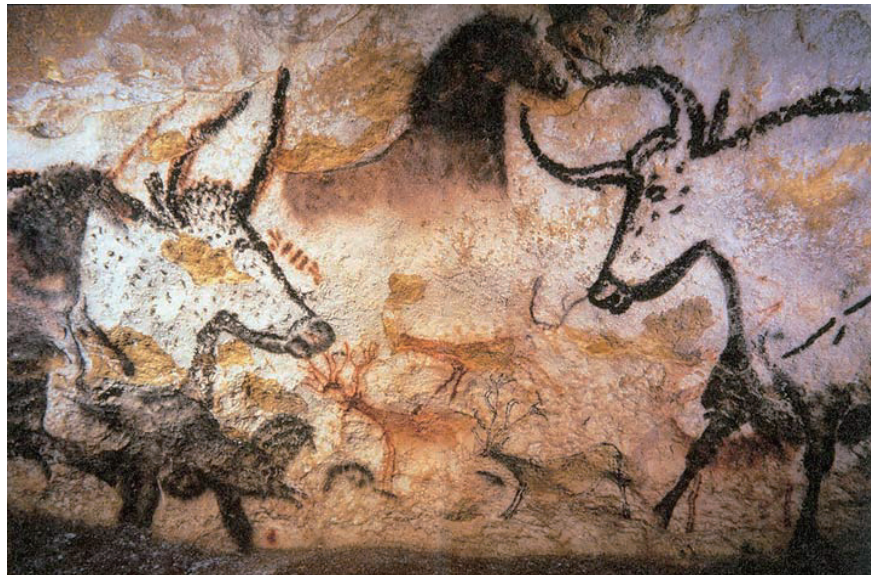


図 1.1-1 ラスコー洞窟の壁画

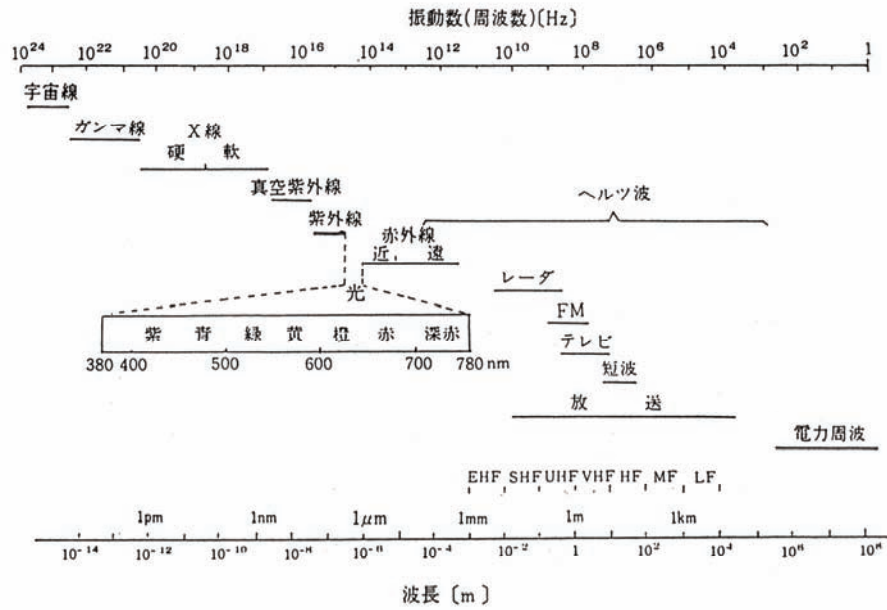


図 1.1-2 可視光通信と電磁波

ところで、光は目には見えない。太陽光は宇宙を飛んでくるが、月などに当たってその存在を知覚する。つまり光が何かに当たって私たちは光の存在を認知するのである。日中、光は空気中に飛び交っているが、その様相を私たちは見ることはない。しかし、水蒸気のかたまりがあると光は乱反射し白く見える。それは雲であり、光が当たっているからである。人の影が大地や壁に映り、光が当たっていることを認識する。そして、それらの光が私たちの目、瞳孔を通過して網膜の視細胞が感知（光の強弱や色を）し、脳に刺激を送って、光を感知する。

太陽光をプリズムに当てると虹のような色の帯ができる。この色の帯をスペクトルと呼び、光をスペクトルに分けることを分光という。この分光した光を集光すれば太陽光＝白色になる。スペクトルは赤・橙・黄・緑・青・紺・紫の順になり、このプリズムを通して人間の目に見える領域の光を可視光と呼ぶ。この赤、青、緑を光の3原色といい、混光すると白色になる。

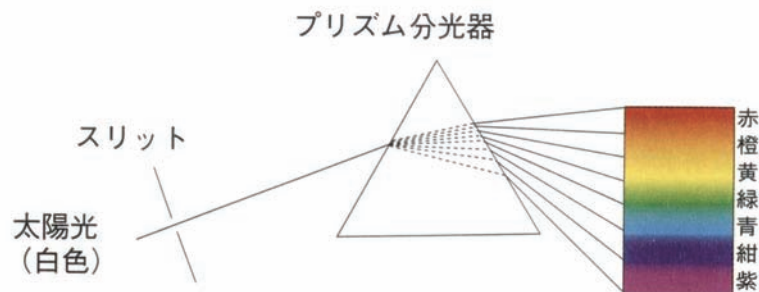


図 1.1-3 放射のスペクトル

光とは一般的に「人間の目（視覚）が明暗や色合いを感じるもの」（可視光）と定義される。しかしながら現代では可視光のみに限らず、赤外線から紫外線までの電磁波を総称して光とすることが普通になりつつあり、さらにはエックス線やガンマ線なども含むこともある。この可視光の電磁波波長範囲は 380～780 ナノメートルとされ、私たちの目はこの波長の僅かな違い（波長の短い青から長い赤までの電磁波）を色光区分できる。

そして光の発生メカニズムは物理的には2つに分けられる。ひとつは「熱放射」と呼ばれるもので、物体を高温に熱すると、そこからエネルギーが放射されるようになる。低温のあいだは波長の長い赤外線が放射されているが、数百度にもなると目に明るさを感じられる可視光が含まれるようになる。白熱電球はこの熱放射を利用したもの（フィラメントは2千数百度）であり、太陽光もそうである。

もうひとつの光の発生メカニズムは「ルミネセンス」と呼ばれているもので、ある物質が外部から受けたエネルギーが、その物質を構成している分子や原子に吸収され、分子や原子が高エネルギー状態（励起状態）となり、そのエネルギーを外部に開放するとき光として放射されることをいう。このルミネセンスの光源として広く使われているのが蛍光ランプで、放電によって飛び出した電子のエネルギーをガラス管内の水銀原子が受け取って紫外線を放射し、その紫外線がガラス管内壁に塗られた蛍光体に吸収され、それが可視光として放出される。つまり蛍光ランプ内で、2種のルミネセンスが行われている。

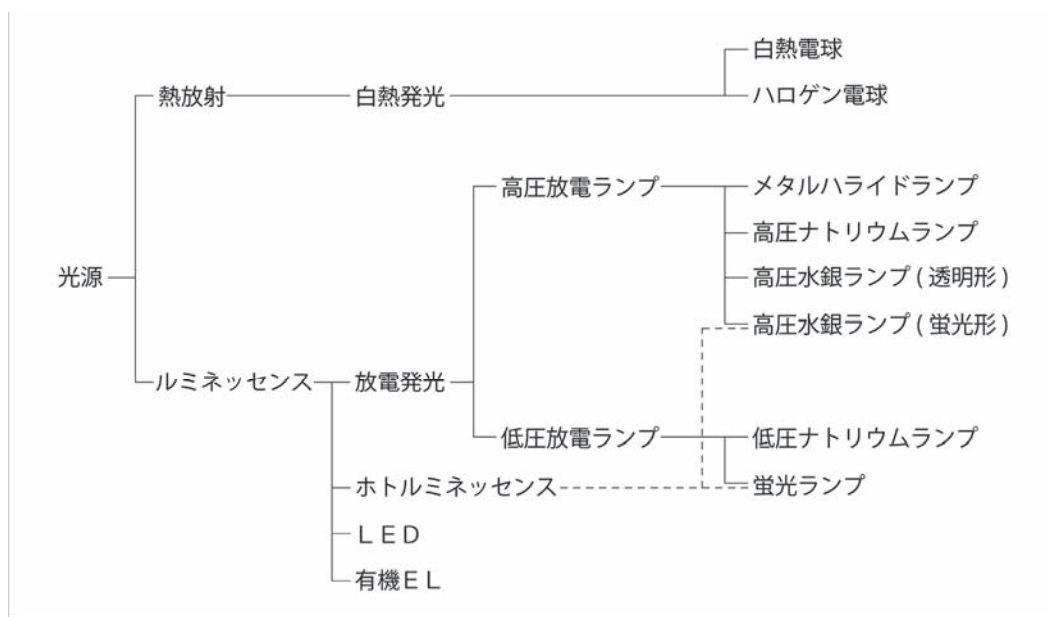


図 1.1-4 代表的各種光源の発光系列

ところで、自然科学の分野では光を3種類に分類している。太陽光とレーザー光、放射光である。地球に到達する太陽光のうち、エックス線の大部分は大気で遮断され、紫外線も成層圏のオゾン層で90%以上がカットされる。可視光線や赤外線も大気圏中での反射・散乱・吸収などによって減衰し地上到達は50%ほどである。そして太陽光は大気により日中と朝夕とでは太陽の色や空の色が変わって見える。昼間は真上から地表を照らすので通過する空気の厚さは小さく、波長の短い青色の光が大気層で真っ先に散乱されるため昼の



空は青く見える。朝夕の太陽が赤く見えるのは、空気中を長い距離通過する間に散乱されずに残った赤色の光が目が届くからである。

レーザー光とは、レーザー発振器を用いて人工的に作られた光で、1960年にルビー結晶によるレーザー光が実現され、今日の実用化にまでつながる。レーザーの種類はルビーなどの固体レーザーやガスレーザーや半導体レーザーなどの媒体（誘導放出を起こす物質）によって分ける方法と、赤外線レーザーや可視光線レーザー（レーザーポインター）などの波長による分類と、発振方式によるものとの3種がある。医療や測量等といった科学分野、CDやDVD等の光学ドライブ読み取り（書き込み）といった情報・家電分野、さらには工業分野や軍事等々、多くの分野で利用されている光である。（用途に応じ安全基準がある）

そして放射光とは、シンクロトロン放射による電磁波を意味し、シンクロトロンとは円形加速器の一種である。この放射光は、今日では排ガス浄化触媒材料の開発や元素分析による材料科学や考古学などの科学鑑定や高解像度のX線撮影などの科学技術の広い分野で用いられている。

## 1.2 灯りの歴史

21世紀のあかりは、ナノテクノロジーにより生産された光が主光源になると言われる。ナノテクノロジーとは、物質をナノメートルの領域（ $10^{-9}\text{m}=1\text{nm}$ 、nmをナノメートルと呼称）で制御し、新素材やデバイスを開発する技術のことを言い、LEDや有機EL照明はこのスケールの技術で創りだされた光源、半導体デバイスである。

この半導体の光を私たち現代人は第4世代の光源とし、従来までの光源と区分している。21世紀型省エネ・環境共生=Eco光源として、CO<sub>2</sub>削減に向けた世界的取組みが展開されている。以下、このエコロジー光源、第4世代までのあかりの歴史変遷について記述する。

第1世代の光源とは、燃焼すなわち、炎によるあかりである。この炎は人類誕生の古代から広く活用してきたもので、炎=火には3大機能（煮炊き、暖、あかり採り）があり、この機能のうち最も早くから研究したのが「あかり採り」の方法で、人類は古代からいろいろな知恵と工夫を重ね種々の灯りの道具を生み出してきた。たいまつや古代オイルランプに始まり、紀元前3,000年頃の4大文明遺跡にも描かれているろうそくなどである。ろうそくは今日でも使用している便利な採光用具である。中世になると、植物油のオイルランプ（油槽と芯とが分離したタイプ）がヨーロッパで出現し広まる。その後近代になり、ガス灯や石油ランプへと光源体は変化するが、燃焼によるあかり採りは永々と続いた。

ところで燃焼による灯り文化のうち、19世紀の半ばまでの日本は、世界でも類を見ないほど、光源体や道具類（古灯具）を種々産出し多用してきた。灯明油としては荏胡麻（エゴマ）や菜種油（なたねあぶら）など多量の草種油を採取し、行灯（あんどん）などに使われた。また、ろうそくは、奈良時代に仏教伝来とともに中国から伝わった蜜燭、平安時代に製造開始された松脂蠟燭、室町時代後半から作られ江戸時代に日本全国に生産普及した木蠟燭と3種の蠟燭を使いこなしてきた。

これらの日本の多様な光源（植物油とろうそく）は、世界に類を見ない数多くの灯具（照明器具）をも産出した。中でも行灯や提灯（ちょうちん）は、各種用途に適応する製品が生み出された。特に日本の提灯は和紙を用いた蛇腹構造で携帯に最適なため、夜間外出時の照明器具として庶民にまで普及した優れた灯り道具である。今日「日本のあかり」と称されるほど世界に認知されている提灯、和ろうそくを用い庶民に広く愛用された。多様な

光源体や灯具で豊かな灯り文化を醸した中世の日本は、ヨーロッパの国々とは異なるあかりの歴史文化を形成してきたのである。

ところで、中世までのヨーロッパでは、ろうそくやオイルランプを使用できる人たちは限られた裕福なる貴族や富豪であり、人口の数%の人々であった。ヨーロッパのろうそくと言えばミツバチの巣から作られた蜜蝋燭が近世まで主流で、夏の短いヨーロッパは蜜蜂の活動期間もエリアも限られ、蜜蝋燭は高価で貴重なものであった。中世のヨーロッパでは、ろうそくのあかりは庶民にとって「高値の花」、権力・富の象徴であった。

19世紀になると近代科学が発達し、電気による照明研究が欧米で進展する。1879年にはトーマス・アルバ・エジソン（米国）が、炭素フィラメント電球の点灯実験に成功。連続40時間以上も発光し続けたこの実験成功の10月21日を、アメリカは「発明の日」とし、日本では「あかりの日」の記念日としている。その後電球は改良され、フィラメントはタングステンとなり、今日まで世界中で愛用されてきた。このフィラメントは、電気抵抗によって2千数百度に熱せられ（白熱化し）、やや赤みを帯びた白色光を発する。この発光体の白熱電球のあかりが第2世代の光源である。この白熱電球の光は、いわゆる溶鉱炉などで高熱化した金属が光を発するのと同じ原理である。

日本では1889年8月12日、東芝の前身となる「白熱社」の藤岡市助氏がエジソン電球を参考に製作した12個の白熱電球が国産最初であった。以来、日本電球界は2重コイルフィラメントや内面つや消しの電球など実用性高い電球を世界に先駆けて工夫し実用化してきた。

電球の光は温かみあるあかりとして多くの愛用者を得ているが、エネルギー効率が非常に悪い点が欠点でもある。使用される電気エネルギーの10%ほどしか光にならず、90%が熱となってしまうため、世界のEco潮流はこの白熱電球の製造・使用中止を促している。

第3世代の光源、それは蛍光ランプである。水銀蒸気による放電灯と「蛍光体」のルミネセンスという熱を伴わない発光を巧みに組み合わせた蛍光ランプは、1935年米国GE社のジョージ・インマン博士率いるプロジェクトチームで発明され、エジソン電球同様に世紀の大発明と言われている。1938年のサンフランシスコ万国博覧会で2,500本の一般公開が行われ世界的に大きな反響を与え、高エネルギー効率の蛍光ランプとして、工場などの産業用光源として普及が進んだ。

日本では当時GE社と提携関係にあった東京電気（後の東芝）が技術導入し、1940年に国産化に成功している。奈良の法隆寺金堂の壁画模写を20ワット直管形蛍光ランプが照らしたのが日本初のことであった。

第2次世界大戦となり、蛍光ランプは潜水艦内ランプなどの軍需用として使用されるが、終戦後は世界中で生産され、広く普及した。

戦後の日本は電力事情が脆弱であったことから、消費電力が少なくて済む高効率蛍光ランプのニーズが高まり、産業用光源としてだけでなく住宅用としても活用されることとなった。特に環形蛍光ランプ（通称サークライン）30ワットの出現は日本の六畳間という狭小空間に適し、昭和30年（1955年）代以降全国に普及した。この環形蛍光ランプはGEの発明であるが欧米では普及せず、日本でコンパクトに改善改良された「日本仕様タイプ」が普及したのである。

2度のオイルショックを経て世界各国は、20世紀後半以降、省エネ光源としての蛍光ランプに着目し、その多用化（電球型蛍光ランプなど）を目指した。いち早く蛍光ランプの

普及で先行していた日本は、環境先進国として世界トップランナーと認知されるようになる。欧米でようやく蛍光灯が住空間に使われ始める 1990 年代、日本では次なる世代(第 4 世代)の光源が市場に投入され始めた。

第 4 世代の光源は LED であり、次いで OLED である。LED の発光現象は 1907 年に発見されたが、あまりにも暗く評価されなかった。その後も研究は続けられたが、実用的な LED は 1960 年代初めに製造された発光波長 950 ナノメートルでの目に見えない赤外線 LED であった。そして赤色や黄緑の LED に続いて 1968 年には緑色の LED が開発され、表示用途で実用化された。効率や明るさが格段に向上し、赤から緑まで自由な色光を作り出せるようになったが、青色 LED だけは世界中で研究開発が行われたにもかかわらず、実用に耐えるものが発明されず、世界の研究者は 21 世紀にならないと実用レベルに達しないだろうと予測した。

そのような中、1989 年に名古屋大学の赤崎勇教授が p 型窒化ガリウムの結晶化に成功し、窒化ガリウムの pn 接合による青色 LED を世界で初めて実現させた。この後 1993 年になると日亜化学工業が世界初の高輝度青色 LED の開発成功を発表し、1996 年には白色 LED が同じく日亜化学工業から発表された。日本は世界に先駆けて LED 光の 3 原色を実現し、世界のトップランナーとして LED 量産化を展開した。

もうひとつの第 4 世代の光である有機 EL 照明は、発光原理が LED と同様であることから OLED (オーガニック LED) と呼称されている。LED とは使用原材料が異なる有機 EL 照明は、2003 年山形大学の城戸淳二教授がアイメス社と共同でマルチフォトン方式の高輝度白色 OLED を開発し発表した。この発明により日本の有機 EL 照明は世界のトップランナーとなった。蛍光灯や冷陰極蛍光灯との代替が可能で、水銀を含まない環境適合型光源として、また、面発光の超薄型・フレキシブル等の可能性を併せ持つ次世代光源として期待されている。有機 EL 照明は、世界中で研究開発が進行中で、数年後の実用化が予想されている。

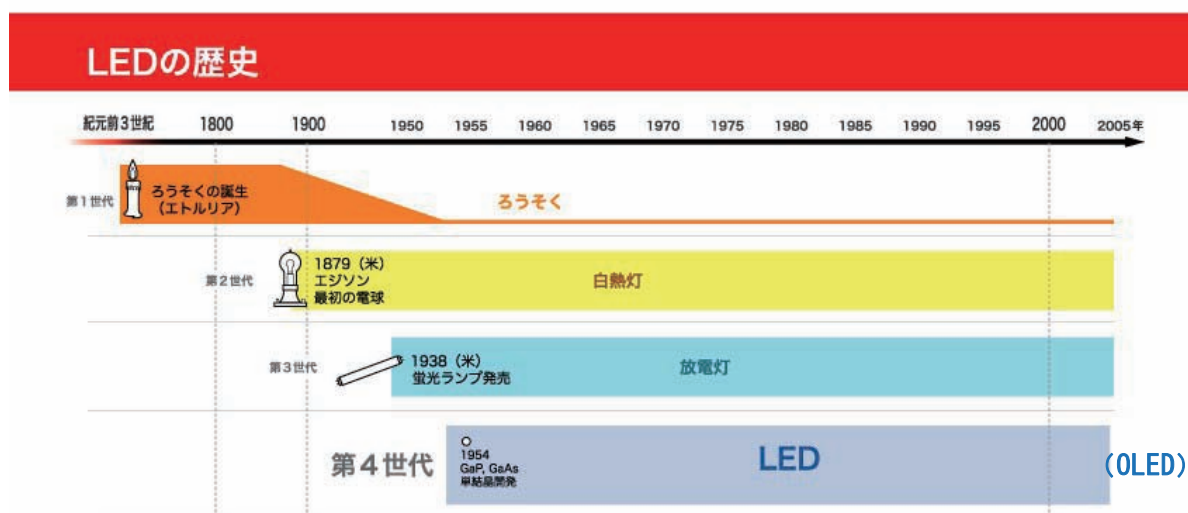


図 1.2-1 灯りの歴史

### 1.3 灯りの文化

煌々と夜にあかりが灯り、しかも街中に街路灯やサイン灯や看板灯が設置されるようになったのは近年、特に 20 世紀後半になってからである。18 世紀末までの世界中の夜は暗く、夜の戸張がおりると昼間とは異なる静寂の闇で覆われ、数々の魔物が支配する世界が始まると多くの神話や伝説にも描かれてきた。

中世の町や村は夕暮れになると夜に対する準備を整え、人々は家に戻り、扉という扉に鍵をかけ、門（かんぬき）を降ろして就寝につくのが日常であった。港町として交易で栄えた進歩的都市のドイツ・ハンブルグでさえ、18 世紀までは街への各ゲートが閉鎖され、外部への通路は遮断されていた。ベルリンやウィーン、ロンドン、パリなども同様に、夜間の鍵かけや、家からの出入りを禁止する市条例が存在していた。中世のヨーロッパ都市住民に夜の外出自由はなく、夜間に屋外を自由に歩けたのは夜の街の警護を担当した“夜警”と良からぬやから（泥棒などの）だけであった。

治安維持のため、特別の理由がない無灯での夜間外出は逮捕・投獄の刑を科せられる時代で、一部の大都市の中心街を除いて夜の生活は静寂で、灯りも限られたものであった。

太古の人々にとって「火」は大切な生活の道具であった。ひとつは煮炊き（後の冶金や窯業にも発展）、次いで暖房、三つ目が照明である。この火の 3 大機能は、機能が分化していない時代、ひとつの火がそのすべての役割を果たしていた。しかし、文明の発展に伴いまず照明の機能がいち早く分離・発展する。照明として使われてきた焚き火やかまどの火は、たいまつ、そして蠟燭（ろうそく）や灯油ランプへと進化してきた。

あかり（照明の分野）がいち早く分化したのは、一日の半分を占める夜をいかに過ごすか、つまりあかりに対する畏敬の念が大きかったからである。現代の照明、すなわち人工照明といえどスイッチオンで点灯する電気の照明が当たり前であるが、人工照明の起源は、いわずもがな、火、炎であった。

火の 3 大機能は、それぞれの国や地域の文化や生活慣習によって長い歴史の中で、発展・展開の仕方は異なり、灯りの形態変化にもその差異が見られる。特に中世後半の 17 世紀、18 世紀にかけて“灯す”様態から“照らす”照明に移行する頃から、世界では地域による展開の相違が生じ始めた。

当時日本は江戸時代で、代表的な照明は植物油（草種油）やろうそく（木の実ろうそく、又の名を和ろうそく）による行灯（あんどん）や提灯（ちょうちん）である。その行灯の灯りは、灯芯にいぐさ（イグサ科植物：藺（イ））の芯で地方によってはトウシンソウと呼称）の表皮をむいて取り出した髓を用い、小皿または「ひょうそく」という器に草種油を満たして点灯した。江戸時代の初め（16 世紀末）には、菜種から油を搾取する方法が日本でも考案され、菜種生産や油絞りは全国で盛んになって菜種油が量産され普及した。植物油使用の灯具は夜の照明として多種多様の形態を生み、一般町民にも広く使われた。

一方のろうそくは、当初、奈良時代に仏教伝来とともに中国からもたらされたと伝えられる蜜蜂の巣から採取したロウを原料とする「蜜蠟燭（みつろうそく）」が使われていた。蜜ロウを小さく固めて持ち運びを便利にした蜜蠟燭は、大変貴重で高価であったため、使用者はほんの僅かの人達であった。その後日本では平安時代中ごろに、松脂ろうそくを創り出して使用する。さらに室町時代になると木ろうそくが創りだされた。漆やはぜの木などの実からロウを搾取するので「木の実ろうそく」とも呼ばれた。江戸時代になるとロウの原料となる漆の栽培が、各藩によって保護されて盛んになり、木ろうそくは量産され庶

民にも多用されるようになった。

和ろうそくの普及に伴い、それを灯す道具も増え、ろうそくを立てるだけの燭台から、手に持って歩けるようにした「手燭」や、和紙などで覆い付けて風よけとした「雪洞（ぼんぼり）」や折り畳めるようにした「提灯」、激しい動きにも対応できる「がんとう」などが生まれた。

それまで一箇所に置いて、その周りを照らすだけであった灯火が、家屋の中や屋外までも人と一緒に移動できるようになった。それは各地で繰り広げられる祭事の提灯の多様さにも象徴され、日本のあかり文化は中世後半の江戸時代に庶民とともに形成されたものとも言える。



図 1.3-1 行灯



II 2 B-2 提灯

II 2 B-3 提灯

II 2 B-4 弓張提灯

図 1.3-2 提灯

日本のあかりとして、今日世界の人々に認知されているものに和紙の提灯がある。竹ひごと和紙を用いた蛇腹構造の提灯は、光を透過する日本の和紙だからこそ創り出せた素晴らしい造形の照明器具で、19世紀まで薄くて強い紙は世界広しといえども、和紙以外になく、中国や朝鮮半島の紙では厚くて適さなかった。この薄くて破れにくい紙が日本で量産され自由に使えたからこそ、折りたたみ提灯もできた。和紙だからこそ創り出せた「提灯」は“日本のあかり”である。

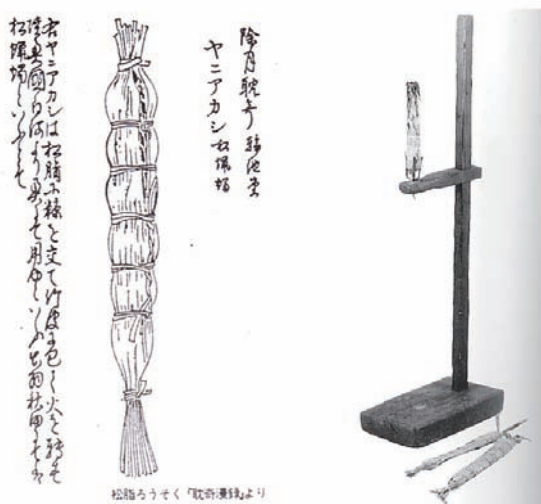


図 1.3-3 ロウソク

行灯も提灯も炎からの灯りを「包み被う素材」＝和紙を使って作り出したもので、和紙を透過する優しい拡散光が生活のあかりとなった。つまり“炎”自体の研究や工夫ではなく、外形や形態への考案が主で、平安時代以降、外国との交易を積極的にしなくなった日本独特の“灯す”あかり文化は、明治の文明開化まで続いた。

一方、中世のヨーロッパルネッサンス文化は昼間の文化であり、あかりは裸火を“灯す”程度であった。今日、ヨーロッパの灯りとして象徴されるものには、バロック王朝（絶対君主統治）の時代、王侯貴族の宮廷でのあかり文化が挙げられる。その代表としてパリ郊外にあるベルサイユ宮殿（1682年建設のフランス宮殿）の豪華絢爛たる「鏡の回廊」がある。そこに取り付けられた大型のロウソクシャンデリア 24 基は、20 本の銀箔青銅の枝状のアームにボヘミアン・クリスタルが飾られており、キャンドルからの灯りが美しく映えたであろう。鏡を壁面に多用したこの広間で、華やかな式典や舞踏会がキャンドルの灯りの下、繰り広げられた。当時ヨーロッパでは、ロウソクは高価で庶民が日常用いることはなく、ロウソクの灯りは裕福な貴族たち権力の象徴でもあった。

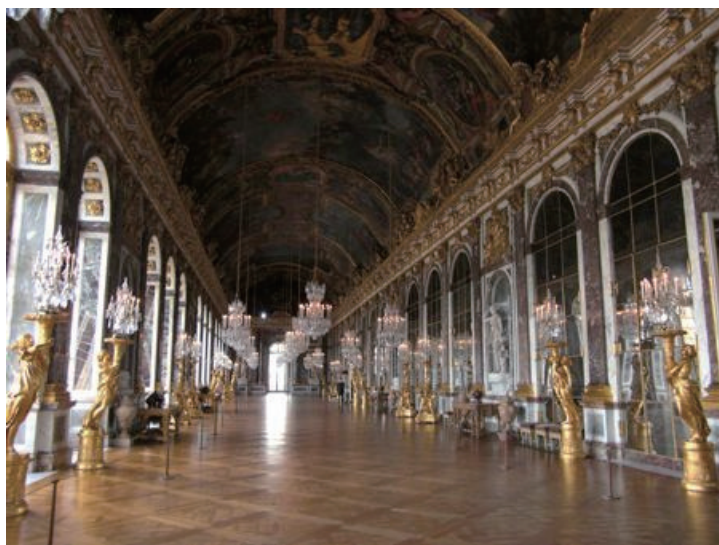


図 1.3-4 ベルサイユ宮殿の鏡の回廊

17世紀になると科学が盛んになり始め、ヨーロッパでは炎に対する研究（明るく照らす技術）が始まった。そのきっかけは「ホヤ」（レオナルド・ダビンチ発明）で、炎の安定燃焼を目的にしたものであるが、如何に明るく照明できるか（炎のパワーアップ化）にホヤは大きく貢献し、種々の研究がなされた。そして18世紀になると、それまでの灯す明かりから照明へと前進させる画期的オイルランプ「アルガン灯油ランプ」がパリで登場する。

このアルガンランプは、ジュネーブ生まれのフランソワ・アミ・アルガンが発表し、その優れた機能は他の研究者たちの理論を応用して完成させたものであった。しかし、その製品の実用性は高く、その後のオイルランプに転用されるのである。画期的なポイントは三つあり、第一は灯心で、平芯から中空芯にしたロール状の炎は内と外から2重に空気（酸素）の供給が可能となり、格段に明るくなった。第二がホヤを発展させたガラスシリンダーに炎を封じ込めたこと、そして第三が灯心を上下できる灯心機構（照明の明暗や消灯が可）をつけた点である。



図 1.3-5 アルガンランプ

この三つの要素はその後の近代照明器具に受け継がれている。第一の2重空気送システムは電球のフィラメントに照応する（光量が格段に増した）事柄であり、第二のガラスシリンダーは電球のガラス球に、そして第三の灯心機構はスイッチに該当する要素である。このアルゴンランプ形態は19世紀末まで種々のオイルランプに応用展開され、近代的照明器具（ガス灯や電球照明器具）の形態にも影響を与えた画期的オイルランプと認知されている。

18世紀になると産業革命がイギリスに、そしてその後フランス・ドイツと続き、裕福なる市民“ブルジョワジー”が出現し、貴族社会は崩壊していった。社会が大きく変化していく18世紀に、あかりの世界も新種の炎のあかりが出現する。それは1789年に産業革命全盛のイギリスで発明された石炭ガス活用の“ガスランプ”である。

ところで、石炭は17世紀中ごろ森林破壊で枯渇し始めたイギリスで、木炭に代わる燃料として登場し、基幹産業である製鉄にも使われるようになった。そして18世紀初めには石炭を鉄の精錬に使う際、乾留しコークスにして用いた方が効率よいことも発明され、このコークス製鉄法によって鉄の大量生産が展開された。ところでコークスを製造する時、コールタールと石炭ガスなど種々の副産物が同時に産出される。当時これらは廃棄物で、石炭ガスは空中に放出されていた。

この石炭ガスをガス灯システムとして考え実践したのが、ウィリアム・マードックで、1802年にソーホーの鍛冶屋で実験実証し、1805年にはマンチェスターの木綿工場にガス灯を設置して成功を納め、徐々にガス灯は産業革命が進むヨーロッパ諸国で採用されていった。

それまでの灯油ランプと違ってガス灯は連続燃焼ができ、しかも明るく調節が容易で、石炭が豊富なイギリスでは安価な光エネルギーとして需要は高まり、各地でガス会社が作られ始めた。石炭ガス実用の初めは、照明であった。

1806年には、ロンドンモール街に世界初のガス灯街路灯が設置され、世界の街にもガス

灯の街路灯が設置されるようになる。19世紀半ばに街は明るくなり始めた。

さらに19世紀後半にはガスバーナーの先端につけるマントルが開発され、ガスランプに更なる進化が加わった。このマントルによって明るさは大きく増し、当時の電球より安価で安い光エネルギーとなった。白熱ガスランプとも称されたこのマントルガス灯は、住宅や店舗（ウインド照明も）などにも、20世紀前半まで世界中で広く使われた。

ちなみに、日本で初のガス灯は明治5年（1872年）横浜市内の馬車道での点灯で、翌年には東京京橋の街路にもガス灯が設置されている。その後白熱マントルのガス灯も導入された。

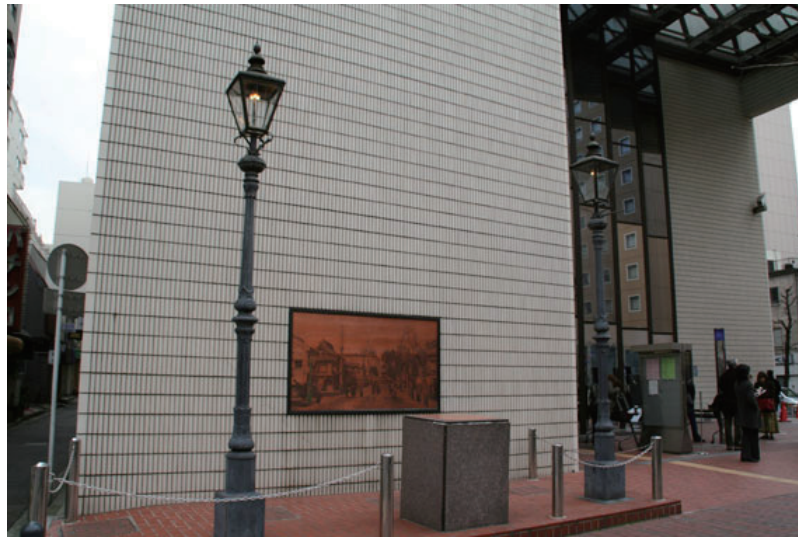


図 1.3-6 ガス灯の街路灯

石油ランプの灯りも19世紀末から20世紀初頭にかけて、世界中で愛用された。米国・ペンシルベニアで大油田が1859年に発見され、アメリカから石油ランプが世界中に広がった。日本では幕末に紹介されて、文明開化のシンボルとして全国に普及した。

この石油ランプは20世紀半ばまで日本全国で愛用されていたが、白熱電球や蛍光ランプの普及とともに衰退した。



## 第2章 LEDの重要性と技術

### 2.1 LEDの重要性

#### 2.1.1 LEDの歴史

##### ・はじめに

Light emitting diode (LED)電球の普及が進んでいる。交通信号機や、携帯電話、モバイル端末、PCなど小型・中型液晶ディスプレイのバックライト、巨大ディスプレイは勿論のこと、現在では液晶TV用のバックライトも急速にLEDに置き換わりつつある。LED電球の普及は、一般照明としてLEDが認知されたことを示している。寿命及び電力料金を考慮した性能一価格比が、白熱電球や蛍光灯を凌駕するに至ったことが普及の主な理由である。

まず最初にLEDの発光原理を他の光源と比較して説明する。従来の光源の代表である白熱電球の発光原理は黒体輻射であるため、照明用としては余分な赤外線の方が多く輻射され、効率は20[lm/W]程度に留まる。また、フィラメントは3,000[K]程度の高温で動作させるために、寿命が1,000時間程度と短い。蛍光灯は放電により生成された高エネルギー電子がガラス管内のHg原子を励起し、基底状態に戻るときに紫外線を発する。その紫外線が、ガラス内部に塗布された蛍光体を励起する。効率は白熱電球と比較して高く、120[lm/W]程度まで実現可能である。しかし、現状では放電時の紫外線の高効率生成のためにHgを用いざるを得ず、また、放電時に生成されたイオン衝撃による電極スパッタリングなどが原因で、寿命は10,000時間には届かない。LEDでは、半導体内部のエネルギーバンドを乾電池程度の電圧で少しエネルギー的に動かし、電子と正孔を発光層に注入させて再結合させる。波長は発光層のバンドギャップで決まるため、余分な他の波長の光を出さない。また、ジュール損や蛍光体利用時のストークスシフト損等を除けば、原理的にエネルギーの無駄が無いので、LED構造さえ理想的にできれば、究極効率の光源となる。寿命も、現在市販のLED電球は保証時間40,000時間以上である。これらの特徴を生かして、初期単価は高いものの、寿命及び40,000時間の使用まで考慮に入れた光束/(単価×寿命)が蛍光灯を凌駕し、一般照明用LED電球として普及するに至った。

次に、LED電球に用いられている照明用白色LEDチップについて、どのようにして白色発光しているか、概略を紹介する。白色の基準・語源ともなっている太陽光のスペクトルは、可視光領域では波長ごとの光のパワーがだいたい同じである。半導体チップ単体で太陽光と同じスペクトルの光を発するLEDは現状では存在しない。用途によって異なるが、人工的な白色光源では太陽光のようにスペクトル的に完全な白色である必要はない。目の網膜にある色素層において、赤色、緑色、青色それぞれの光に対して反応する分子が決まっており、それぞれの光を感知する。それぞれの色の光が入射すると、立体構造が変化して視神経を刺激し脳に伝達され、脳で信号処理されて色を認知する。白色光というのは様々な波長の光の重ね合わせであるから、数種類の分子が反応する。赤色光、青色光、緑色光に反応する分子が、それぞれある一定の割合で反応すれば白色と認識する。したがって、①赤色LED+緑色LED+青色LEDを用いて、パワーがほぼ同じになるように調整すれば、原理的には白色光源が実現可能である。方法はそれだけではない。蛍光灯と同じ原理で、より高いエネルギーの光子によって可視蛍光体を励起すればよいので、②紫外LEDまたは紫色LEDに複数の蛍光体を組み合わせる方法がある。また、人の目の中の分子の反応をうまく使うと、より簡易に白色光ができる。例えば、黄色の光では緑色光と赤色光に反応する

分子が両方とも反応する。したがって、③青色 LED と黄色系の蛍光体を組み合わせる方法がある。LED 電球として利用されているのは、③の青色 LED と蛍光体の組み合わせである。この白色 LED 実現の鍵は、可視短波長 LED、特に青色 LED であった。以後、白色 LED のもとになった青色 LED 開発の歴史、および更なる高性能化や普及に向けての今後の開発の方向性、取り組むべき課題等を整理し、LED 照明の未来を展望する。

#### ・青色 LED 基幹技術開発の歴史

Ⅲ族窒化物半導体による青色 LED は 1971 年、当時 RCA 社の Pankove らが最初に作製した。構造は残留ドナーによる n 型の窒化ガリウム (GaN) と、Zn を添加した半絶縁性の GaN のホモ接合による金属—半絶縁性半導体—半導体 (metal-insulator-semiconductor : mis) 型であった<sup>(1)</sup>。効率は  $10^{-5}$  以下、動作電圧は 7[V] を超えた。1970 年代～1980 年代前半の黎明期に作られ、現在も利用されている技術の 1 つに、当時の松下技研社から特許申請されたフリップチップ構造がある。Ⅲ族窒化物半導体による青色 LED は、サファイアまたは SiC を基板として作製され、特にサファイア基板が主流である。サファイアは絶縁体であり加工も難しいので、p 型の電極と n 型の電極は両方ともチップの上部に形成せざるを得ない。サファイアは可視光に対して透明であるので、n 型と p 型用が一体化したリードの上にチップの上下をひっくり返して置き、エポキシ樹脂でモールドし、p と n のリードを切り離し、基板であるサファイア側から光を取り出すのがフリップチップ構造である。光取り出し効率の向上により、0.12% までの変換効率が実現されている。しかしながら、当時の青色 LED は蛍光体を励起して白色化するには光度が不十分であったため、現在の蛍光体+青色 LED に関する報告は残っていない。三原色の LED を組み合わせたフルカラー化の報告は 1983 年に成されている<sup>(2)</sup>。前述の mis 型 LED の作製には、塩化水素と金属 Ga を反応させて生成した塩化ガリウムとアンモニアを原料として、基板であるサファイアの上に単結晶を成長させる HVPE 法が用いられた。しかし p 型ができないため、発光層へのキャリアの注入効率が上げられないことや薄膜多層構造作製が困難なことから開発は停滞した。

現在の白色 LED 作製の主流は、Ⅲ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 (Metal-Organic Vapor Phase Epitaxy : MOVPE) 法である。1971 年に Monsanto 社の Manasevit 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>(3)</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。しかし、1980 年代前半までは、MOVPE 法を用いても現在のようない白色 LED はできなかった。基板として用いるサファイアとの非常に大きな格子不整合に基づく結晶品質の劣悪さ、および伝導性制御、特に p 型結晶ができなかったことによる。

MOVPE 法によるサファイア基板上への GaN の結晶成長に関する標準技術は低温堆積緩衝層であり、1986 年に報告された<sup>(4)</sup>。MOVPE 法による GaN 薄膜の結晶成長は約 1000[°C]で行われる。その直前に温度を 450[°C]と低温にして AlN を 20～30 [nm]程度堆積させ、その後昇温して GaN 薄膜を 1000[°C]で成長することにより、結晶の品質や発光特性、電気的特性が桁違いに向上した。1991 年には AlN の代わりに GaN を低温堆積層として用いても同様の効果があることが示されている。

HVPE 法が結晶成長の主流であった時代には実現しなかった p 型 GaN は、以下のような経

緯で実現された。1970年代～1980年代は、青色発光する、及び残留ドナーを補償するという理由から、i型 GaN として Zn を添加していた。そのカソードルミネッセンスを評価中、時間と共に青色発光強度が非可逆的に増大する現象が発見され、低加速電子線照射効果 (Low Energy Electron Beam Irradiation: LEEBI 効果) と名付けられた。LEEBI 処理された GaN: Zn は極めて高抵抗であり、p 型結晶は実現できなかった。そこで、アクセプタとして従来用いられていた Zn の代わりに、より活性化エネルギーが低いと考えられる Mg が選択され、MOVPE 法を用いてドーピングが行われた。しかし、成長したままではやはり高抵抗であった。HVPE 法の時代にも Mg のドーピングは行われ、1972 年に Maruska らにより mis 型 LED が試作されている<sup>(5)</sup>。1989 年、GaN: Mg に LEEBI 処理が施され、ホール効果測定により室温で  $10^{16}[\text{cm}^{-3}]$  台の正孔濃度を持つ p 型 GaN が得られたことが確認された<sup>(6)</sup>。またこの p 型 GaN と n 型 GaN のホモ接合により、初めて p-n 接合型青色・紫外 LED が実現された。1992 年には、成長したままでは GaN: Mg が高抵抗である理由について、水素の混入による Mg アクセプタのパッシベーションであることが提案され、電子線照射部分のみ脱水素化する LEEBI 処理のほかに、脱水素に関する大量処理が可能な熱処理によって p 型 GaN: Mg が実現できることが実証されている<sup>(7,8)</sup>。

n 型伝導性制御も重要である。低温堆積緩衝層による結晶成長技術の進歩や原料、特にアンモニアの高純度化により、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 GaInN 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。1981 年に松下技研社よりサンプル出荷された青色 LED は、この発光原理が用いられていた。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 GaInN 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[°C] 以上であり、一方、InN の成長温度は 600[°C] 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。NTT の吉本・松岡等は、成長温度および III 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、GaInN から強いフォトルミネッセンス発光を観測した<sup>(9)</sup>。

活性層の構造に関しては、GaInN 井戸層と GaN 障壁層の多重量子井戸の発光効率が、井戸層である GaInN 層の膜厚に強く依存し、5[nm] 以下と超薄膜化することにより高効率発光が可能であることが明らかにされた<sup>(10)</sup>。このナノスケール薄膜活性層は、次の点で、III 族窒化物半導体によるサファイア基板上 LED 高効率化の基幹技術とも言うべき重要な技術である。すなわち、(1) 圧電電界や自発分極電界による内部電界によって生じる量子井戸活性層内量子閉じ込めシュタルク効果による電子と正孔の波動関数の空間的分離に基づく遷移確率減少の抑制、及び(2) 活性層の超薄膜化による活性層内部での非輻射再結合準位のスクリーニングである。特に(2)に関して、1995 年当時、高輝度青色 LED として市販されたサ

ファイア基板上青色 LED には  $10^9[\text{cm}^{-2}]$  以上の貫通転位が存在することが示された<sup>(11)</sup>。GaAs や GaP など、他の III-V 族化合物半導体による LED では、 $10^7[\text{cm}^{-2}]$  以上の貫通転位があると、殆ど発光しない。従って、なぜこの材料が高密度の貫通転位があっても良く光るのか、多くの議論がなされた。貫通転位における非輻射再結合は、概略キャリア密度に比例する。一方輻射再結合はキャリア密度の二乗にほぼ比例する。従って、キャリア密度が高ければ、非輻射再結合に対する輻射再結合の割合が増し、高効率化するというのが、超薄膜活性層により転位密度が高くても高効率発光する主な理由である。

これらの技術の集大成として、1993 年、日亜化学工業株式会社より pn 接合ダブルヘテロ構造型青色 LED が商品化された。以来、同材料を用いた LED は年々効率が向上している。現在商品化されている青色 LED と YAG : Ce 系黄色の蛍光体との組み合わせによる白色 LED が最初に特許登録されたのは 1997 年である<sup>(12)</sup>。

その他、光取り出し効率の向上に関しても重要な技術開発が数多く為されており、現在の白色 LED の外部量子効率は最高で 70% に達している。

#### ・今後の課題

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が、現在では改善され、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  $100[\text{lum/W}]$  を超え、蛍光灯を凌駕するまでに達した。現在の白色 LED の効率を規定しているのは、ジュール損失及びストークスシフト損失に加え、パッケージ損失も加えた光取り出し損失、電流密度の増加とともに効率が減少するドループ損失などである。 $1[\text{mm}]$  角以上の大型チップでは、電流拡がりや放熱の向上も重要な課題となる。

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  $[\text{A}/\text{cm}^2]$  程度と少ないうちは、内部量子効率も 90% 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課題の一つである。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オージェ過程の様な非輻射再結合や、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ことや、現在主流の c 面以外の内部電界の小さい面の利用など、素子構造や結晶成長の工夫が必要である。

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率の平均のため、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、色目の異なる白色が存在することになる。現状の指標だけでは、標準化するのには容易ではないと思われる。

更に、現在日本で販売されている LED 電球の外形は、白熱電球の外形をほぼ踏襲している。LED の構造や特性から考えると、理想的とは言い難い。白熱電球の代替から、徐々に LED の特性に合わせた照明器具へと変化することが必要である。

更に、効率の理想を追求するならば、前述の③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、Ra を実用上必要な 80 以上に高く保ったままでは 250[lm/W]程度が理論極限である。②の方式では平均演色評価数を高めることはできるが、理論極限効率は③よりもさらに低い。最も理論極限の効率が高いのは①の方式であり、最高 400[lm/W]程度までの効率の白色光源の実現が期待される。混色が難しいことに加えて、緑色の LED の外部量子効率が現状では 20%程度のとどまっていることから、現状の①方式の効率は 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。

#### 参考文献

- (1) J. Pankove, E. Miller, D. Richman and J. Berkeyheiser, “ Electroluminescence in GaN “, J. Lumin., Vol.4, No. 1, pp.63-66, 1971.
- (2) M. Hashimoto, I. Akasaki, and N. Sawaki, “A Fullcolor LED” , Japan Display ‘83 Session P1, PD1 A Full Color LED, 1983.
- (3) H. M. Manasevit, F. M. Erdman and W. I. Simpson, J. Electrochem. Soc., “The use of metalorganics in the preparation of semiconductor materials” , Vol.118, No. 11, pp.1864-1867, 1971.
- (4) H. Amano, N. Sawaki, I. Akasaki and Y. Toyoda, “Metalorganic vapor phase epitaxial growth of a high quality GaN film using an AlN buffer layer” , Appl. Phys. Lett., 48, No.5, pp.353-355, 1986.
- (5) H. P. Maruska, W. C. Rhines and D. A. Stevenson, “Preparation of Mg-doped GaN diodes exhibiting violet electroluminescence” , Mater. Res. Bull., Vol. 7, No.8, pp.777-782, 1972.
- (6) H. Amano, M. Kito, K. Hiramatsu, and I. Akasaki, “P-Type conduction in Mg-doped GaN treated with low-energy electron beam irradiation (LEEBI)” , Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 28, No. 12, pp.L2112-L2114, 1989.
- (7) J. A. Van Vechten, J. D. Zook, R. D. Horning and B. Goldenberg, “Defeating compensation in wide gap semiconductors by growing in H that is removed by low temperature de-ionizing radiation” , Jpn. J. Appl. Phys. Vol. 31, No. 11, pp.3662-3663, 1992.
- (8) S. Nakamura, N. Iwasa, M. Senoh and T. Mukai, “Hole compensation mechanism of p-type GaN films” , Jpn. J. Appl. Phys. Vol. 31, No.5A, pp.1258-1266, 1992.
- (9) N. Yoshimoto, T. Matsuoka, T. Sasaki and A. Katsumi, “Photoluminescence of InGaN films grown at high temperature by metalorganic vapor phase epitaxy” , Appl. Phys. Lett., Vol. 59, No.18, pp.2251-2253, 1991.
- (10)I. Akasaki and H. Amano, “Fabrication and Properties of GaN-Based Quantum Well Structure for Short Wavelength Light Emitter” , Ext. Abstr. Intl. Conf. Solid State Devices and Materials, Session V-7, p.683, 1995.
- (11)S. D. Lester, F. A. Ponce, M. G. Craford and D. A. Steigerwald, “High dislocation densities in high efficiency GaN-based light emitting diodes” , Appl. Phys. Lett., Vol. 66, No. 10 ,pp1249-1252, 1995.
- (12)発明の名称：LED ランプ、出願人：日亜化学工業株式会社、特許第 3246386 号、出願番号平 9 - 69042.

## 2.1.2 LEDの重要性

・LEDは何故期待されるのか (Why LEDs are so fascinating?)

LEDは、1990年代前半まではインジケータ等、その応用範囲は限られていたが、青色LED及び白色LEDの実用化により、交通信号機、携帯電話やPC等の小型・中型液晶バックライト、ビルや運動場等の大型ディスプレイ、屋外照明、街路灯等、急速に応用範囲を拡大している。現在はテレビなどの大型液晶ディスプレイのバックライトにも数多く利用されるようになり、車の車内照明のみならず、ヘッドランプのように極めて高輝度が必要な応用などにも展開され、更に一般照明としてLED電球も市販されるようになった。LED照明推進協議会によれば、2015年ころには一般照明として普及が本格化し、更にLED独自の新しい照明用途にも応用が拡大すると期待されている。

LEDが照明用光源としてなぜ期待されるのか、他の光源との動作原理の違いが大きく関係している。ここでは、一般照明用光源として白熱電球及び蛍光灯との動作原理の違いを詳しく説明しよう。

白熱電球の構造図を図2.1.2-1(a)、発光スペクトルを図2.1.2-1(b)に示す。フィラメントに電流を流し、ジュール熱により加熱する。発光スペクトルは黒体放射である。フィラメント温度を5,000 K以上の高温にすることが可能であれば可視光光源としての効率は高い。しかし、そのような高温で長寿命の材料が存在しないことから、実際の使用では3,000 °C程度に制限される。そのような温度では、図2.1.2-1(b)に示す通り、スペクトルの大部分が赤外線であるため、可視光光源としての効率は低くなってしまふ。現状では20 lm/W程度が限界である。また、フィラメントを高温に維持するため、寿命は1,000時間程度に制限される。

蛍光灯の効率は白熱電球よりも高く、120 lm/W程度までが実現されている。図2.1.2-2に発光原理を示す。低圧に保たれたガラス管の中での放電により、フィラメントから飛び出したエネルギーの高い電子によ

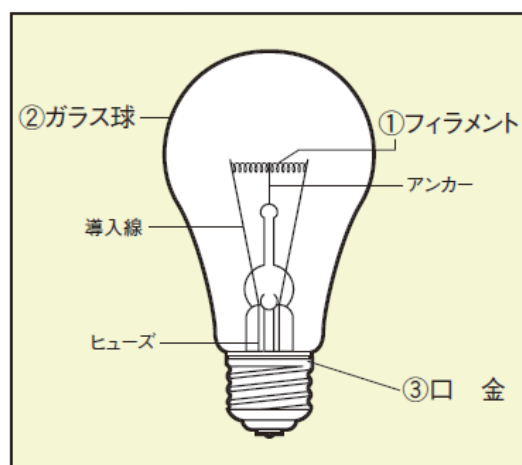


図 2.1.2-1 (a) 白熱電球の構造図

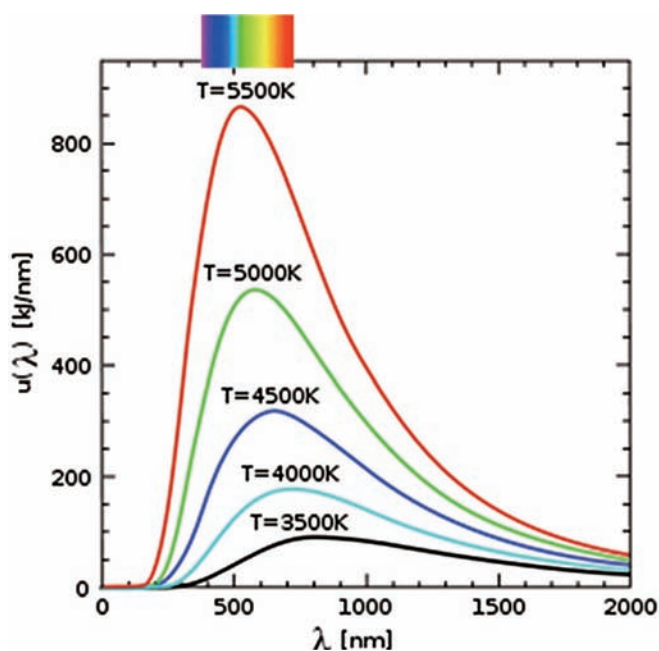


図 2.1.2-1(b) 黒体放射スペクトル

り水銀原子が励起される。励起状態から元の基底状態に戻るときに波長 254 nm 程度の紫外線を発する。その紫外線が、ガラス管の内壁に塗布されている可視蛍光体を励起して白色発光する。この場合、一つの光子からは一つの光子のみが生成されるために、高エネルギーの紫外線光子がエネルギーの低い可視光光子に変換する際にストークスシフト損失と呼ばれるエネルギーの損失が生じる。また、現状では環境負荷物質である水銀を利用せざるを得ない。

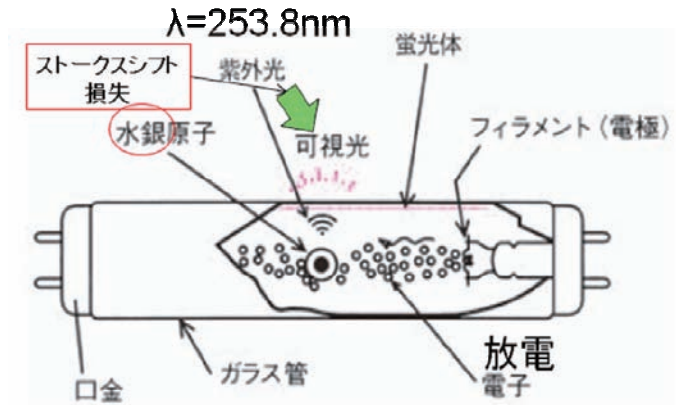


図 2.1.2-2 蛍光灯の発光原理

LED の発光原理を図 2.1.2-3 に示す。外部から乾電池程度の電圧を印加し、半導体内エネルギーバンドを少しだけ動かすことにより発光層に電子と正孔を注入し、発光層のバンドギャップ程度の光子を放出する。蛍光体を用いる白色 LED を除けば、原理的には大きなエネルギー損失は存在しない。これが、LED が他の光源と比較して期待される大きな理由である。但し、実際の LED では、ジュール損失、非発光再結合損失、ドループ損失、光閉籠り損失などがあり、蛍光体を用いた白色 LED では更にストークスシフト損失が加わる。また LED 電球では、パッケージ損失や駆動回路のドライブ損失等も加わるため、現在最も効率の高い LED 電球でも、電力変換効率は 40% が限度であり、60% 以上は熱に代わる。

消費者の立場に立つと、LED は白熱電球や蛍光灯と比べて価格が高いという問題がある。消費者の立場から、LED 電球への買い替えは意味があるか、比較する。表 2.1.2-1 に 2010 年現在の LED 電球、蛍光灯、白熱電球の価格性能比較をまとめる。表からわかるとおり、現状の LED は光束当たりの単価や寿命まで考慮に入れた光束単価は他の光源と比較して高コストと言わざるを得ないが、電力料金や買い替えコストまで含めると価格性能競争力は他の光源

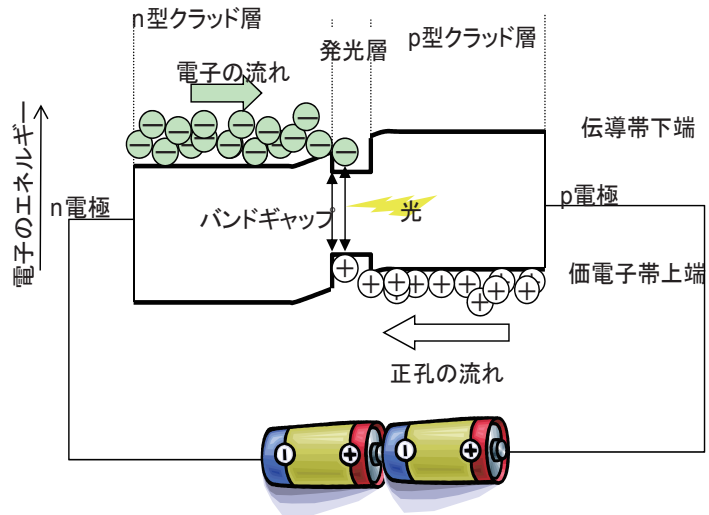


図 2.1.2-3 LED の動作原理

に数倍勝る。但し、現状の LED 電球はどちらかと言えば局所照明であり、他の光源と比較

して圧倒的に価格性能が勝ると言われるためには、今後益々の低コスト化及び高効率化のための開発が必要である。

表 2.1.2-1 2010 年 10 月現在の LED 電球、蛍光灯、白熱電球の一例の価格性能比較  
(電力料金は 1 kWh=21 円として計算)

	色	定格電力 [W]	全光束 [lm]	効率 [lm/W]	小売価格 [円]	光束単価 [円/lm]	寿命 [h]	光束・寿命単価 [円 /lm・h] × 10,000	電力料金も考慮に入れた 40,000 時間使用時のコスト [円]
LED 電球	昼白色	4.6	350	76.0	2,090	5.97	40,000	1.49	5,971
蛍光灯	昼光色	28	2100	75.0	770	0.37	9,000	0.41	27,471
白熱電球	電球色	36	485	13.5	51	0.11	1,000	1.1	32,410

グローバルな立場から、白熱電球の様な可視光変換効率の低い光源から LED 電球への代替が期待されるのは、我が国で 16%程度を占める照明用電力の削減及びそれに伴う炭酸ガス排出量削減であり、2030 年時、年間 19 TWh 程度の消費電力削減、及び年間百万トンもの炭酸ガス排出削減効果が期待されている。現状では、LED 電球の価格性能比は白熱電球を凌駕したとすることはできるが、蛍光灯を凌駕したと言えるまでには至っていない。今後一般照明への本格普及に向けて、益々の開発努力が求められる。



## 2.2 LED 技術

### 2.2.1 発光原理と特徴

LED は、半導体中の 2 つのエネルギーバンド間の電子遷移を利用して、電子が高いエネルギーから低いエネルギーに遷移する際に、そのエネルギー差に相当する光子（光）が生じることで、光を得るものである。このような電子状態の遷移による機構は基本的には蛍光灯と同じであり、電気エネルギーを直接光に変換するために、効率が極めて高い。蛍光灯は、気体分子における電子状態を利用しているが、LED は半導体結晶中の電子状態を利用している点が、両者の相違点である。

LED は、基本的に半導体 pn 接合によって構成されている。図 2.2.1-1 に半導体 pn 接合のエネルギーバンド構造を示す。半導体は不純物を添加することにより、プラスの電荷を持つ正孔が多数存在する p 型結晶とマイナスの電荷を持つ電子が多数存在する n 型結晶を作り分けることが可能であるが、この両者を接触させた構造が、pn 接合である。なお、エネルギーの高いバンドを伝導帯、低いバンドを価電子帯と呼び、プラスの電荷を持つ正孔は価電子帯、マイナスの電荷を持つ電子は伝導帯に存在する。熱平衡状態の pn 接合では、接合の電界によって電位差が生じており、p 型層はエネルギーが高く、n 型層はエネルギーが低くなっている。この電位差を拡散電位と呼んでいる。拡散電位を打ち消すように電圧を外部から印加すると、n 型層の電子は p 型層に、また p 型層の正孔は n 型層に拡散によって移動可能となり、pn 接合では伝導帯に電子が、また価電子帯には正孔が共存する状態を作り出す。そして高いエネルギーを持つ電子が、低いエネルギーを持つ正孔に落ち込むことで、そのエネルギー差に相当するエネルギーを持つ光子を放出する。光子 1 個の持つエネルギー  $E$  は、

$$E = \frac{hc}{\lambda} \quad (h: \text{プランク定数}, c: \text{光速}, \lambda: \text{光の波長})$$

によって表されるので、伝導帯と価電子帯とのエネルギー差に相当するバンドギャップが大きい半導体材料ほど短い波長の光を放出することができる。

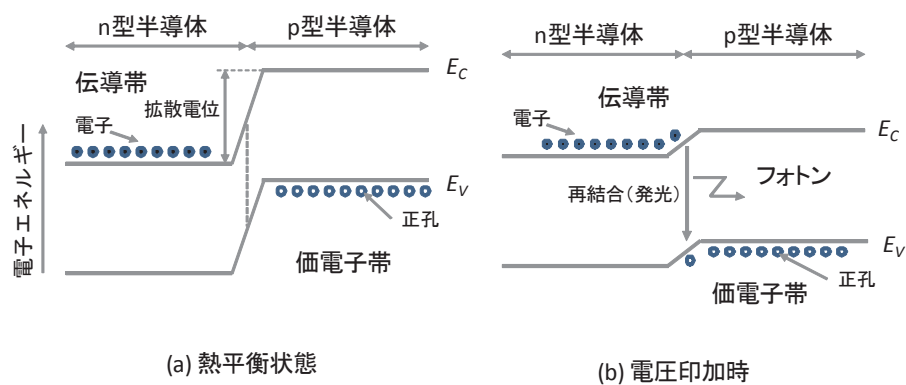


図 2.2.1-1 半導体 pn 接合のエネルギーバンド図

表 2.2.1-1 半導体材料と発光色

色	材料	ピーク波長	層構造
青	GaNN/GaN	450 nm	量子井戸
	ZnCdSe/ZnMgSSe	490 nm	量子井戸
緑	GaNN/GaN	525 nm	量子井戸
	GaP	555 nm	ホモ
黄	GaNN/GaN	570 nm	量子井戸
	AlGaInP	570 nm	ダブルヘテロ
赤	AlGaInP	650 nm	ダブルヘテロ
	AlGaAs	660 nm	ダブルヘテロ
赤外	GaAs	880 nm	ホモ
	InGaAsP/InP	1300 nm	量子井戸

表 2.2.1-1 に半導体材料と発光可能波長範囲との関係をまとめる。LED では、可視光範囲全てを LED によってカバーできることがわかる。また、近赤外域についても GaAs 系材料によって LED が製造されている。しかしながら、これらの LED は全て単色光を放出するものであり、単一の LED によって照明に用いられるような白色光を生み出すことはできない。

白色光を作り出すためには、赤、緑、青の 3 つの LED チップを同時に発光させることで実現できるが、図 2.2.1-2 に示すように窒化物系青色 LED チップと、LED チップからの青色光の一部を黄色に変換する蛍光体との組み合わせが一般的である<sup>(1)</sup>。青色光はフォトンエネルギーが高い可視光であり、蛍光体を励起して緑色、黄色、赤色などの長波長の光を生成することが可能である。青色と補色の関係にある黄色とを組み合わせることで、白色を得ることが可能となっている。このタイプの白色 LED は、青色 LED、黄色蛍光体ともに発光効率の高いものが開発され、蛍光灯を超える高いエネルギー効率での動作が可能となっている。しかしながら、太陽光に含まれる緑色や赤色の成分を含まないため、演色性に課題がある。今後の照明用途への普及に向けて、多色蛍光体を混入させるなど、演色性の向上が検討されている。

LED は、非常にコンパクト、高効率かつ固体光源であることから衝撃にも強く、従来の光源にはない特徴を持つ。材料を変更することで発光波長を自由に選択することも可能で、同時に多色化すれば白色光も得られる。今後は一般照明用途への拡大も期待される。

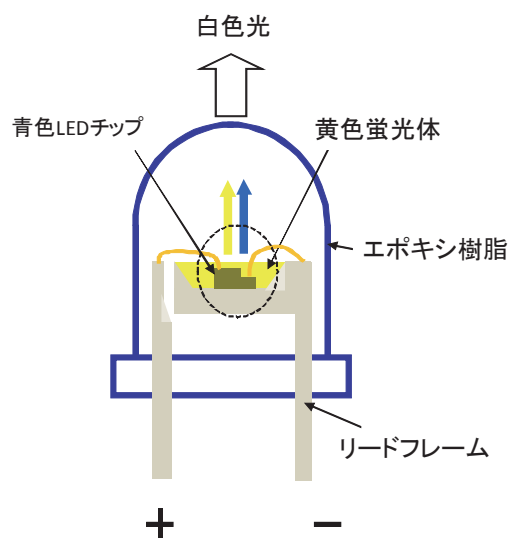


図 2.2.1-2 白色 LED の構成

## 2.2.2 構造と製造方法

前項で説明したように、LEDには多くの材料が用いられ、また材料によって発光波長も異なっているが、本項では最も生産量が多く、また白色LEDにも搭載されている窒化物系青色LEDの構造および製造方法について述べる。

図2.2.2-1に、2種類の窒化物系青色LEDの代表的な素子断面構造を示す。最も一般的なのは(a)のフェースアップ型LEDである。サファイア基板上有機金属化合物気相成長法(一般的にはMOCVD法と呼ばれる)によって多数の窒化物系半導体層が連続的に堆積されている。サファイア基板表面には、光取り出し効率改善のために予め凹凸構造が形成されている<sup>(2)</sup>。基板材料のサファイアに格子整合しない窒化物半導体層を積層するために、第1層として低温バッファ層が堆積されている<sup>(3)</sup>。この層は、成長方向への原子配列を正確に伝えるが、面内では微結晶の集合体となっており、上部結晶の結晶核を供給する役割を果たす。n型層とp型層との間には電子の波長程度の厚さを持つ薄膜多重構造により構成される多重量子井戸活性層が挿入されている<sup>(4)</sup>。ここに電子および正孔が注入され、青色光の生成が行われる。p型層上には電流を面内に拡げ、また光取り出しを妨げないようにITO透明電極が配置されている。サファイア基板は絶縁性のため、n電極も窒化物結晶成長側に配置される。このために半導体層の一部をn-GaN層が露出するまでエッチングによって除去され、その表面にn電極が形成されている。

青色LEDの発光効率を改善する目的で、近年(b)に示す薄膜型青色LEDが開発された<sup>(5)</sup>。サファイア基板に窒化物半導体層を積層するところまでは、(a)のフェースアップ型LEDと同様である。その後薄膜型LEDでは、サファイア基板の除去がなされている。その代わりにp型層側は高反射率p電極を介して導電性基板に張り付けされている。また、化学エッチングが困難なサファイア基板の除去のために、エキシマレーザをサファイア基板裏面

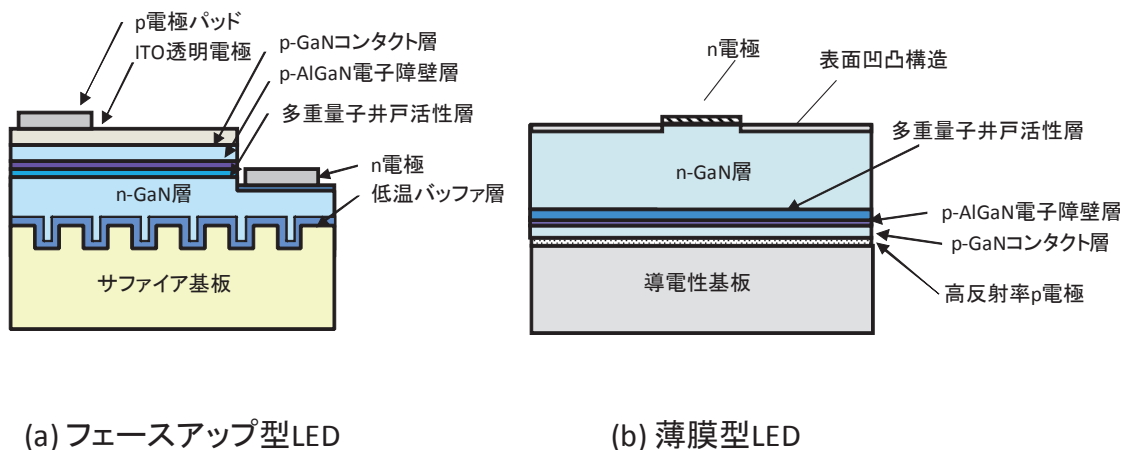


図2.2.2-1 2種類の窒化物系青色LEDの素子断面構造

から照射して、サファイア基板と低温バッファ層/n-GaNの界面付近の結晶を融解することによりサファイア基板を剥離するレーザーリフトオフ技術が用いられている。n型GaN層表面にはn電極と、光取り出し効率を改善するための表面凹凸構造が形成されている。薄膜型LEDでは、電流は縦方向に流すことが可能で、電流の面内均一性を得ることが有利となる。さらに高反射率電極と凹凸構造を持つ表面とで挟まれた薄膜構造によって、横方向

に伝搬する光を大幅に抑制できるために、高い光取り出し効率を実現できる。今後は、この薄膜型の青色 LED が製造の中心となると考えられる。

図 2.2.2-2 に、青色 LED チップの製造工程を示す。まずサファイア基板上に MOCVD 法によって、窒化物半導体多層構造を堆積する。図中、多層構造については省略している。フェースアップ型 LED では、以降半導体プロセス技術によってドライエッチングや電極形成を行い、LED 構造が完成する。一方、薄膜型 LED では、高反射率 p 電極を形成後、その上に導電性基板を張り付ける。続いてレーザーリフトオフ法によってサファイア基板の剥離を行う。最後に n 型電極を形成して製造完了となる。両者ともその後ダイシングやスクラップによってチップに切断され、LED チップとして販売されるか、実装工程を経て LED パッケージとして市販される。両構造の製造工程を比較すると明らかなように、薄膜型 LED は製造工程が複雑で歩留の確保が困難であるが、上記に述べたように光取り出し効率に優れ、高性能品には不可欠となりつつある。図 2.2.2-2 に示した白色 LED の場合、薄膜型 LED を搭載することにより、120 lm/W 程度の高効率品が実現できる。

また、現在主流のサファイア基板に代えて、より結晶品質を高められる GaN 基板の適用も進んでいくと思われる。さらに、基板のサイズも従来 2,3 インチ径が主流であったが、2011 年ごろから 6 インチ径が主流となると思われる。これらの技術の進展により、今後一層の高性能化と低コスト化も進められると思われる。

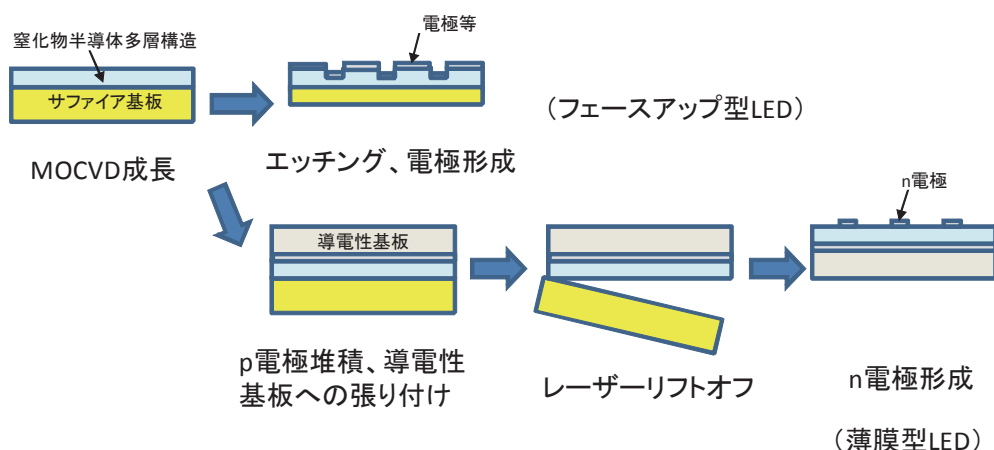


図 2.2.2-2 窒化物系青色 LED の製造工程

#### 参考文献

- (1) S. Nakamura and G. Fasol: The Blue Laser Diode: GaN Based Light Emitters and Lasers (Springer, Berlin, 1997).
- (2) K. Tadatomo, H. Okagawa, Y. Ohuchi, T. Tsunekawa, Y. Imada, M Kato and T. Taguchi, Jpn. J. Appl. Phys. 40, L583 (2001).
- (3) H. Amano, N. Sawaki, I. Akasaki and Y. Toyoda, Appl. Phys. Lett. 48, 353 (1986).
- (4) I. Akasaki, H. Amano and I. Suemune, Proc. Int. Conf. Silicon Carbide and Related Materials, Kyoto, 1995, MoA-I-2.
- (5) M. K. Kelly, R. P. Vaudo, V. M. Phanse, L. Gorgens, O. Ambacher and M Stutzmann, Jpn. J. Appl. Phys. 38, L217 (1999).

## 第3章 LED産業の現状と将来展望

### 3.1 総論

#### ◎LED主役の新世代照明器具市場は世界で10兆円

1879年にトーマス・エジソンが白熱電球を発表して以来、近代的な照明の時代が訪れた。しかし、エジソン発明以来130年が経つというのに、この分野は長きにわたって革新的な技術の変化がなかった。確かに、蛍光灯の登場などいくつかの改善はあったものの、電球を完全に置き換えるという新照明革命は起きてこなかった。ところが2009年にいたって世界の流れは劇的に変化した。米国オバマ大統領が提唱する「グリーンニューディール政策」と呼ばれる環境新エネルギー革命が、世界すべての国で推進されるという壮大な運動論が勃興してきた。これらは、太陽電池、風力発電、地熱発電といった再生可能な新エネルギーの投入、さらにはスマートグリッドに象徴される次世代電力ネットワークの確立、エコキュートに代表されるヒートポンプテクノロジーの登場、電気自動車やハイブリッド車といったエコカーの加速など、多岐にわたる分野で地球温暖化防止に向けたCO<sub>2</sub>の大削減プランが進行している。

LED照明の導入もまた、有効な地球温暖化対策と位置付けられている。LED照明は、発光ダイオード(LED)という半導体を光源に使用した照明器具であるが、白熱電球に比べて消費電力は最大7分の1、寿命は約20倍。初期費用は一般的に電球照明の4倍以上であるが、当然のことながら長時間使用すればコストは大幅に削減される。また、CO<sub>2</sub>削減という点でもすさまじい効果を発揮する。

世界における電球を中心とする一般照明のマーケットは3兆～4兆円と言われている。白色LEDは、この市場を置き換えていくことは間違いない。さらに、特殊照明と言われる分野があり、自動車照明、信号、携帯・パソコンなどの電子機器の光源、屋外照明などが2兆～3兆円はあると言われる。最近ではこれに、液晶テレビのバックライトという巨大市場が加わってきており、これまた1兆円以上のビッグマーケットとなる。一方、アフリカを代表とする未開発エリアでは、未だに十数億人の人が近代的照明を持っていない。つまり、油と松明で暮らしている。こうした未開国のマーケットは3兆～4兆円はあると言われている。そうしたことを総合すれば、LEDを主役とする新たな照明器具市場は、世界で最低でも10兆円、最大では15兆円はあるだろうと言われている。LEDの発光効率は素晴らしい。白熱電球が10～20lm/W、電球型蛍光灯が60～70lm/Wであるのに対し、LEDはすでに100lm/Wを突破している。もちろん、LEDをキャッチアップするデバイスとしては有機ELがあり、とりわけ白色系は大面積の面発光という優れた特徴を有しているために、LEDより優れているとの評価も高い。ただ問題は、コストと技術面での難点があることである。少なくとも白色LEDに比べて有機ELは製造プロセスや材料の面で確実な技術が確立されていない。また、大量産工場も本格的には稼働しておらず、白色LEDに大きく遅れをとっている。5～10年先を考えれば、有機ELがキャッチアップしてくる可能性は十分にあるが、現時点では、新照明革命の主役はやはり白色LEDであると言えるだろう。

#### ◎世界各国で進むLED導入支援策

代替への取り組みは、すでに世界中で始まっている。電力効率の悪い白熱電球は、10年にはイタリアやフランス、12年には日本やカナダ、台湾、14年には米国、17年には中国でも生産・販売が中止になる見通し。国内の照明大手・東芝も10年春に生産を中止してお

でも生産・販売が中止になる見通し。国内の照明大手・東芝も10年春に生産を中止しており、今後はすべてLED電球へ切り替えていく。

また、各国が進めている省エネルギー照明への導入支援策が、普及をさらに後押しする。中国や台湾では、電球や蛍光灯に比べて圧倒的に寿命が長いLEDを道路灯や街路灯、トンネル灯など、交換作業に手間とコストがかかる用途へ一気に採用しようとしている。特に、10年に上海万博を開催した中国は、環境に優しいというイメージを世界に打ち出すため、LED照明の普及拡大に相当な力を入れている。

韓国では、15年までに国内の照明の30%をLEDに切り替える1530プロジェクトを推進しており、これが韓国内でLED産業を勃興させる起爆剤になっている。日本では、国内経済の刺激策として09年5月に導入したエコポイント制度において、ポイントをLED照明器具に交換する場合、ポイント換算率を2倍にするという施策を打ち出し、普及拡大に力を入れ始めた。

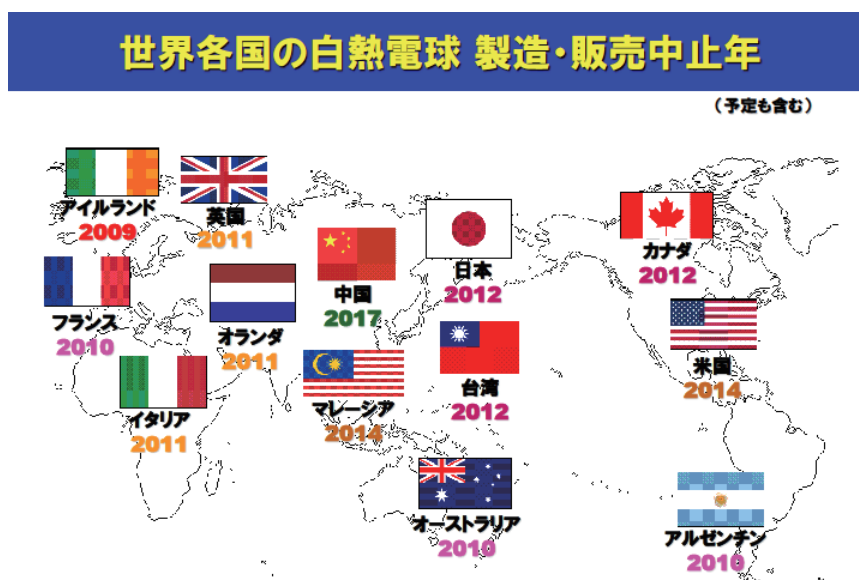


図 3.1-1 世界各国の白熱電球 製造・販売中止年

### ◎フィリップス、オスラム、GEの3強に加え多くの企業がLEDに参入

光源デバイスの歴史的転換によって需要拡大が確実な照明市場に対し、世界中の企業が一斉に事業参入を試みている。国内では、パナソニック、東芝ライテック、三菱電機オスラム、日立ライティング、NECライティングの照明大手5社が09年秋にLED電球を商品化。ここにシャープが新規参入し、LED電球の価格を引き下げたことで巷間の話題をさらった。これにとどまらず、光波、スタンレー電気、大塚商会、日本エーエム、ウシオライティング、エコリカ、グリーンハウスといった企業が相次いで独自のLED電球を商品化し、熾烈な性能・価格競争を繰り広げ始めた。

シャープによると、09年におけるLED電球の国内市場は、総個数1億5700万個のうち3.2%にあたる500万個にすぎないが、10年には20%に相当する3100万個へ拡大し、11年には31%相当の4700万個、12年には41%にあたる6100万個へ拡大すると予測してい

る。

LED 電球には、アルミやセラミックといった放熱性の高い基板に実装された光源モジュールが搭載されている。方式としては、低輝度 LED を多数個実装したマルチチップモジュール、またはハイパワーLED を 5~6 個搭載したモジュールが搭載されている。シャープや東芝は前者で、東芝は 176 個の LED チップをモジュール化した。後者の例は日立ライティングで、パワーLED5 個を搭載した。

各社がこの有望な市場に殺到し、一気に商品ラインアップを拡充しようとする背景には、光源としての LED の寿命の長さ、つまり LED 電球の商品寿命の長さがある。一般的に、白熱電球は 1000~2000 時間でフィラメントが切れ、電球型蛍光灯でさえ 6000~1 万 3000 時間で寿命が尽きるのに対し、LED 電球の多くは 4 万時間の長寿命を謳っている。この製品寿命の長さ、そして消費電力の小ささによる電力料金の低さによって、インシヤルコストが多少高価であっても、使用期間を含めたトータルコストで既存のランプよりも安価になり、そのうえエコ、というのが LED 電球のセールストークである。よって、LED 電球は必然的に買い替え期間が長くなる。メーカーにとっては、早めに商品を投入し、一気にシェアを奪わなければ、買い替え機会が少なくなるためシェア奪還が難しい「先行逃げ切り型」製品である。

世界市場を見渡せば、世界 3 大照明メーカーといわれるフィリップス、オスラム、GE がおり、LED 照明を新たなビジネスチャンスと捉えて参入を窺う、今は名も無き新興メーカーが多数存在する。光源の変革は、照明メーカー各社に事業展開のスピードアップをも求めている。

#### ◎低価格化急ピッチで本格普及加速

LED 電球の普及速度を左右するのは価格である。国内で発売された当初、LED 電球は 1 個 1 万円近くしたが、新規参入したシャープが一気に半額の 5000 円前後に価格を設定し、先行メーカーがあわてて追随したことは記憶に新しい。この価格を論じる際に用いられる尺度が光束単価の円/ルーメン、つまり 1 ルーメンの明るさを得るのにいくらかかるのかという点である。

現在の光束単価は、蛍光灯が 0.1 円/ルーメン、冷陰極管 (CCFL) が 0.5 円/ルーメンであるのに対し、LED は 1~1.5 円/ルーメンとされ、LED が普及するのは 1 円/ルーメンを切った以降といわれている。単純にいうと、一般照明に採用を広げるには、コストを現在の 1/10 に下げる必要がある。新規参入する LED 電球メーカーが低価格を武器に殴り込みをかけてくるのは、ここにその理由がある。国内では、シャープが価格を半額にまで引き下げた後、果たしてどこが次の値下げの先陣を切るか注目されたが、韓国メーカーと手を結んだ大塚商会が 2380 円 (30W 形相当) で参入し、消費者にとってさらに手が届きやすい価格になった。

白色 LED パッケージの急速な性能向上により、1 円/ルーメンを切るのは 10~12 年と目されている。現在の開発状況を考えれば、当初の目算より前倒しで性能向上が進んでいるのは明らかで、早ければ 10 年中に実現しそうである。これに伴い、性能向上に反して LED 電球の価格下落が今後も進むのは確実で、LED チップおよびパッケージを含めた製造コストへの引き下げ圧力もますます強まっていく。

### ◎液晶テレビ用バックライトは CCFL から LED に置き換え進む

LED のさらなる低価格化に貢献するのが、液晶 TV 用バックライトの LED 化である。液晶 TV のバックライトには、これまで冷陰極管 (CCFL) および外部電極蛍光灯 (EEFL) が使用されてきた。輝度半減寿命で 6 万時間という長寿命を実現しており、液晶 TV の普及に大きな役割を果たしてきたが、水銀を含んでいるため、TV メーカーとしてはバックライト光源を他のデバイスに切り替えたいというニーズが常にあった。LED の輝度が向上し、コスト的に採用が可能になってきたことで、CCFL/EEFL から LED への切り替えが一気に進んでいる。

この液晶 LED TV は、国内 TV メーカーが早くから商品に取り入れてきたが、搭載機種がごく一部のハイエンドモデルに限られ、しかも普及モデルよりも相当高価であったことから普及しなかった。しかし、09 年に韓国サムスンが液晶 LED TV を次世代 TV と銘打って、大々的なセールスプロモーションを行い、商業的に成功させた。09 年は世界で当初目標を上回る 250 万台を販売し、10 年は 1000 万台を目標に据えている。これに遅れを取るまいと、ソニーをはじめとする TV 各社が液晶 LED TV のラインアップを大幅に拡充し始めており、バックライト用 LED 需要が急増している。

ちなみに、バックライトには、液晶パネルの真下から照らす直下型、パソコン画面のように導光板によって左右 (あるいは上下) から照らすエッジライト型の 2 方式がある。直下型は、LED の駆動を制御することで、映像が黒 (暗い) の場合は消灯するローカルディミング技術を搭載できるため、TV のコントラストを向上でき、省エネ化にも効く。しかし、パネルと一定の距離を取ってバックライトを配置する必要があるため、エッジライト型より TV としては厚みが出てしまう。一方、エッジライト型は、TV を薄く設計できるためデザイン性に優れ、ローカルディミング技術は使えないものの、低コスト化に向く。

LED 搭載個数という観点から見ると、現状ではエッジライト型のほうが少ない。LED パッケージがさらに高輝度化すれば、LED 使用個数はさらに少なくなるが、現在のモデルでは TV1 台あたり 1000 個以上 (TV サイズによって異なる) 搭載している機種もある。今後の見通しとして、エッジライト型は普及モデルを中心に普及し、ミドルエンド以上の機種で直下型を採用するケースが増えると思われる意見が多い。

表 3.1-1 LEDチップ世界市場規模推移・予測 (単位:百万個)

用途/年	07 実績	08 実績	09 見込	10 予測	11 予測	12 予測	15 予測
超大型ディスプレイ LED表示機	750	780	800	880	930	1,030	1,200
自動車 (内装・外装)	2,400	3,660	5,000	6,600	8,000	9,700	14,000
液晶バックライト	10,500	13,400	16,000	21,550	26,325	29,100	36,000

(出典: 矢野経済研究所)



### 3.2 一般照明

照明とは、1916年（大正5年）照明学会が創立された時に、従来の電灯と区別するため、当時の科学者たちによって考案された新語である。この照明という概念はそれまでの日本にはなく、照明器具なるものも存在しなかった。このため、一般照明という概念が定着するのは、その後しばらくしてからで、さらに多くの人々が今日で言う照明器具を使うようになるのは第二次世界大戦後のことでもある。一般家庭ではそれまで、電灯という言葉が使われていた。なお、今日において一般照明の意は、日常生活で一般に接する照明全般を示すものとするのが妥当と考える。この照明という言葉の概念誕生の背景を記し、その後今日一般照明について記す。

1879年のトーマス・エジソンによる白熱カーボン電球発明以後、世界のあかりは炎の燃焼から電気のあかりに移行し始める。日本では1889年（明治22年）にエジソンランプを参考に国産化（12個の試作）がなされるが、当時の国内需要の電球は大部分が輸入品であった。電球量産化は1905年（明治38年）に白熱社により開始され、翌年には年産100万個にも増産されるが、この電球はカーボン電球であった。明るさは当時普及していたガス灯より劣り、明るさ確保のためガラスのグローブはクリアであった。使用状況は、コード吊り下げソケットに乳白ガラスの扁平単純な円錐形の電球傘（「P-1シェード」とも「一字かさ」とも呼ばれた輸入反射かさ）を着け、そのかさ内に電球を下向きに取り付けた、いわゆる「電灯」である。電球はむき出しで直接光が目に入る状態だが、カーボン電球の光量が乏しいのでまぶしくはなかった。

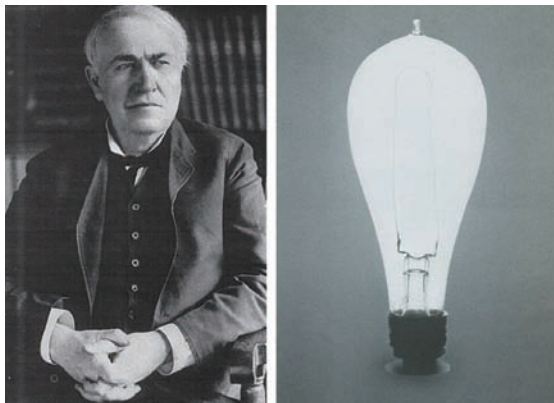


図 3.2-1 トーマス・エジソンと  
カーボン電球



図 3.2-2 電灯時代の象徴である  
「P-1シェード付きの電球」

この頃米国では、電球フィラメントがカーボンより3倍も明るいタングステンに替わる。そして日本にも輸入され、国産化検討が始まる。この新型のタングステン電球が普及し始めると、輝度の増した新型電球のまぶしさ防止が叫ばれ始める。大正初めの頃である。さらに高照度化された「ガス入り電球」が米国から輸入され、これも国産化されて普及し、直視できないほどのまぶしさに対応を迫られるのであった。電球誕生の頃のほのかな明るさから、グレアカット（快適な空間づくりのため配光をコントロールする「照らす」設計）への対応が必要とされ、電灯から照明への移行が叫ばれはじめた。またこの頃になると、国内では数多くの西洋風建築物が建造され、多くの輸入器具が用いられた。なぜなら照明

という概念の国産器具がなかったからである。その後国内でも徐々に輸入照明器具を参考に「鋳屋（かざりや）」と云われた細工人が手作りで器具を作り始める。照明という言葉とその概念が一般に理解され始める大正末から昭和にかけての頃であったが、家庭に照明器具が取り付けられるようになるのはまだ先のことである。

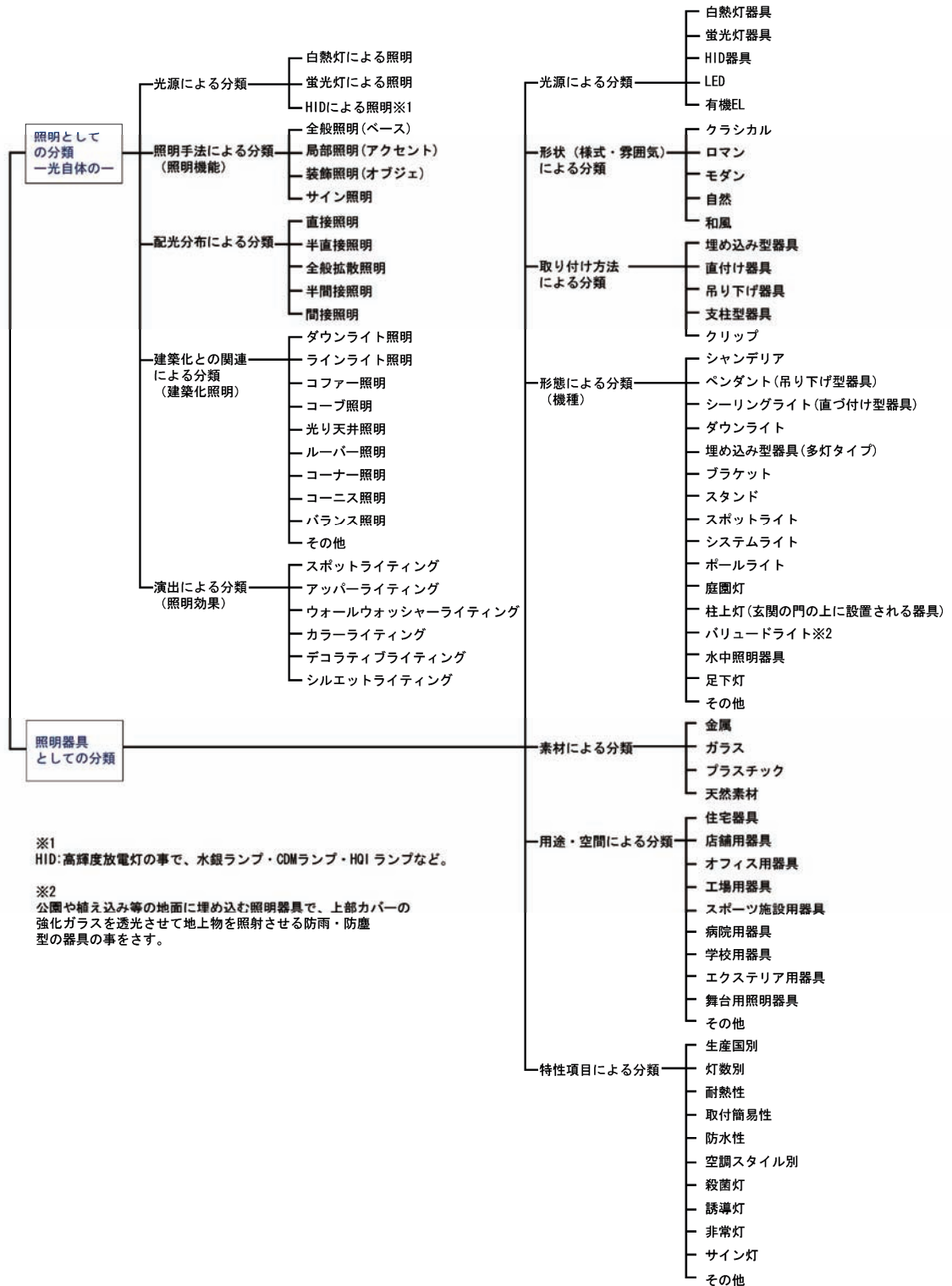
昭和となって恐慌や日華事変、さらに第二次世界大戦へと、照明を取り巻く環境は民需での発展より軍需へと移行したため、「一般照明」の概念が認知され、一般普及するのは生活が安定し始める 1960 年代以降と考えられる。

日本の照明業界における主要団体である日本照明器具工業会では照明器具を一般照明用器具と防災用・道路用器具とその他特殊用器具がある。本項ではこの日本照明器具工業会が示す一般照明用器具を前提に記すこととする。

一般照明とは冒頭に記したように、日常生活で使われる照明全般を示すもので、住宅や一般商業施設やオフィス・工場等の空間照明を指し、器具は白熱ランプと蛍光ランプが該当する。機種として「吊り下げ（ペンダント）」、「壁付け」、「直付け」、「ダウンライト」、「スポットライト」、「シャンデリア」、「スタンド」がある。なお、現在ではこれらに「庭園灯」を含めるのが妥当（細分すればさらに増えるが）である。この分類だが用途空間や設置部位と深い関わりを持つ「形態」の分類である。

ところで、照明の分類には 2 つのグループ、Lighting としての光を取り上げたものと照明器具としてのグループがある。ちなみに形態による前述の区分は後者の照明器具グループに入る。この照明の分類方法は図 3.2-3 のように細分化できるが、これらは 20 世紀の光源によるものであり、今後 LED などの 21 世紀型新光源が普及展開されれば、新たな分類になるであろう。

## 照明の分類方法について



さらにこの一般照明を別の観点である「光源活用領域」で考えると、私たちが一般的にいう照明の領域はごく僅かであることが認識できる。図 3.2-4 は光が活用され産業が形成されている領域をまとめたもので、一般照明は右下の「明視照明領域」の中に含まれる。この領域には道路や信号などの照明も含まれており、それらを除いた領域が一般照明と捉えるのが妥当であり、光源を活用する産業領域全体からみれば、いかに狭小かが認識できよう。今日、この光源活用領域はそれぞれに適合するランプが作られているが、LED はこれらすべての領域に対応可能な光源であり、さらなる市場（光源活用領域）の創出も期待される。

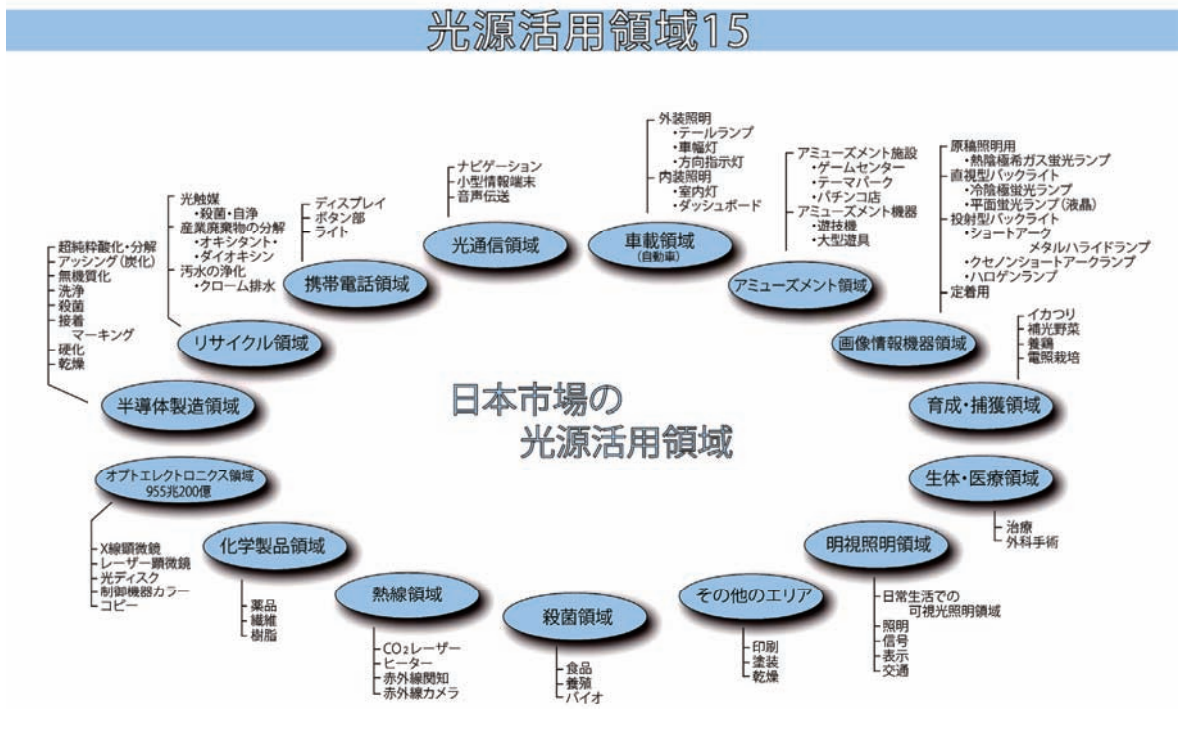


図 3.2-4 光源活用領域

### 3.3 サイン（看板、景観、演出）

LED をサイン（電子看板）の光源に採用する動きが広がっている。ひとつは、デジタルサイネージの認知度が高まり、既存の手書き看板やPOPに代わる広告メディアとして注目を集めていること。もうひとつは、改正省エネ法の施行に伴い、小売各社が店舗の看板（ファサード看板など）の光源を蛍光灯から省エネのLEDに置き換えようとしているためである。デジタルサイネージ市場は、2015年に国内で1兆円（デジタルサイネージコンソーシアムの試算）規模に拡大すると目されており、バックライト光源にLEDを用いた大型液晶パネルを表示媒体に用いるケースが増加しているほか、LEDをマトリックス状に配列したLEDディスプレイの設置も増えている。

ファサード看板については、コンビニエンスストア各社や牛丼チェーンの吉野家をはじめとする外食チェーンが店舗コストの削減に向け、LED化を強力に推進しており、今後数年内に蛍光灯から置き換えられていくことが確実である。吉野家は、2008年度から店舗看板のLED化を開始し、現在展開する約1100店舗のうち、2008年度に175店舗に導入した。2009年度は273店舗に導入する計画であったが、想定どおりの成果が得られていないケースもあるようで、当初見通しからは遅れ気味のようである。蛍光灯に比べてLEDの輝度がまだ十分に高くないことや、コスト面にも課題があるとみられる。

コンビニ各社は、LEDサインやLED照明に太陽光発電や自然光採光システムなどを組み合わせたグリーン店舗の出店を本格化している。セブン-イレブンは、2010年度に出店予定の1000店舗のうち200店舗をグリーン店舗にする。主にトップライト（天窗）の設置をメインに展開するが、条件に応じて太陽光発電やLED照明も組み合わせる予定。ファミリーマートは、グリーン店舗の標準化を進めている。電気自動車用急速充電器や太陽光発電システム、自然光採光システムの設置を進めており、太陽光発電システムの導入店舗を今後2年間で約300店舗へ増やす考えである。LED照明の採用にもっとも力を入れているのがローソンで、LED照明などを導入したエコ店舗を現在の約300店から2010年度末までに400～450店舗へ拡大する計画である。韓国ファウー社のLED照明を実験的に導入してきたが、現在はIDECのLED照明を主照明に導入中である。

ちなみに、ローソンは、(株)アサツー ディ・ケイ、(株)NTTドコモと共同出資で設立した㈱クロスオーシャンメディアを通じて、デジタルサイネージを核とした新メディア「東京メディア」のサービスを開始した。ローソンの店頭外側に46型ディスプレイ2台とスピーカーを設置し、広告、キャンペーン・商品情報やアンケート、占いなどのコンテンツを配信するもので、都内300店のローソンからスタートし、首都圏、名古屋、大阪圏へ拡大する予定である。5年目には2640店への設置を目標とし、既存の屋外大型メディアなどとのタイアップも進めていく予定である。

LEDディスプレイは、大型になればなるほど、世界的なイベント需要に左右される傾向がある。例えば、サッカーW杯開催に伴う競技場の新設・改修、上海万博の開催による大型ディスプレイ需要の高まり、などである。こうした大型LEDディスプレイは、国内では「オーロラビジョン」を代名詞とする三菱電機が強みを持つ。東京競馬場に設置された2651型（11.2×66.4m）ターフビジョンをはじめ、最近では函館競馬場やクリネックススタジアム宮城などにも設置実績があり、海外でも米NFLダラス・カウボーイズの専用スタジアム、双日と共同でUAEドバイのメイダン競馬場に設置した4255型（10.88×107.52m＝ギネス世界記録に申請中）などの実績を上げている。これまでに世界で950件以上の納

入実績がある。



図 3.3-1 UAE ドバイのメイダン競馬場に設置した 4255 型オーロラビジョン

サインとしての LED 表示システムでは、ほぼフルカスタムで電光表示システムの製作を請け負うことができる(株)タテシ広美社の評価が高い。表示ソフトから一貫して手がけることができる技術力に定評があり、パナソニックと製作請負契約を結んでいるほどである。「ハロービジョン」のブランド名で、公共用から民間施設に至るまで全国で幅広い納入実績がある。2009 年からは住化アクリル販売(株)と共同で、住化アクリル販売の導光板「SA ライトガイド」を利用した「TL ライトパネル」(高輝度導光板採用 LED エッジライトパネル)の製造を開始した。屋内ディスプレイはもちろん、屋外看板にも広く販売していく予定で、防滴仕様を実現した特許技術を申請中である。

景観・演出関連では、建築化照明に注力する LED メーカーが増加している。建築化照明とは、光源を天井や壁などに組み込み、建築構造と一体化させた照明方式をいう。LED の小型・薄型といった特徴を生かしやすい分野であるため、従来になかった照明の採用に意欲的な用途である。

独オスラムは、香港の LED 照明システムメーカー、トラクソンテクノロジーズ社を傘下に収めた。LED 照明システムを手がける合弁企業を設立し、システムエンジニアリング事業を強化していく。両社では、こうしたプロフェッショナルユースの LED 照明市場は 7 億ユーロの規模があるとみており、年率 20~30%の成長が期待できるとみている。国内では、三菱電機との合弁会社、三菱電機オスラム(株)が事業を展開しており、施工事例のひとつとして、東京・池袋のサンシャイン 60 ビル 59 階のエレベーターホール天井に、時間とともに移り変わる空の様子を表現できる LED 照明システムを納入している。

また、米クリー社も 2008 年に LED 照明製品の LED ライティングフィクスチャー社を買収した。ダウンライトやグリッド型天井照明、LED ランプ、照明製品のハウジングやアクセサリをラインアップして LED チップやウエハー売りだけにとどまらず、最終製品まで手がけようとしている。

### 3.4 ディスプレイ（バックライト）

液晶 TV のバックライトには、これまで冷陰極管（CCFL）および外部電極蛍光灯（EEFL）が使用されてきた。輝度半減寿命で 6 万時間という長寿命を実現しており、液晶 TV の普及に大きな役割を果たしてきたが、水銀を含んでいるため、TV メーカーとしてはバックライト光源を他のデバイスに切り替えたいというニーズが常にあった。しかも、RoHS や REACH といった化学物質規制を導入している欧州市場では、2013 年以降、水銀を含むバックライトを使用した TV が販売できなくなる可能性が高まっている。こうした環境規制に加え、LED の輝度向上とコスト面で採用が可能になってきたことで、CCFL/EEFL から LED への切り替えが一気に進んでいる。

この液晶 LED TV は、国内 TV メーカーが早くから商品に取り入れてきたが、搭載機種がごく一部のハイエンドモデルに限られ、しかも普及モデルよりも相当高価であったことから普及しなかった。しかし、2009 年に韓国サムスンが液晶 LED TV を次世代 TV と銘打って、大々的なセールスプロモーションを行い、商業的に成功させた。2009 年は世界で当初目標を上回る 260 万台を販売し、2010 年は 1000 万台を目標に据えている。これに遅れを取るまいと、ソニーをはじめとする TV 各社が液晶 LED TV のラインアップを大幅に拡充し始めており、バックライト用 LED 需要が急増している。

ちなみに、バックライトには、液晶パネルの真下から照らす直下型、パソコン画面のように導光板によって左右（あるいは上下）から照らすエッジライト型の 2 方式がある。直下型は、LED の駆動を制御することで、映像が黒（暗い）の場合は消灯するローカルディミング技術を搭載できるため、TV のコントラストを向上でき、省エネ化にも効く。しかし、パネルと一定の距離を取ってバックライトを配置する必要があるため、エッジライト型より TV としては厚みが出てしまう。一方、エッジライト型は、TV を薄く設計できるためデザイン性に優れ、ローカルディミング技術は使えないものの、低コスト化に向く。

LED 搭載個数という観点から見ると、現状ではエッジライト型のほうが少ない。白色 LED の高輝度化やこれに伴うエッジライト型における LED アレイ（LED バー）の使用本数の低減（現在はパネルの 4 辺→2 辺→1 辺へ減少）、液晶パネル自体の光透過率の向上などで、LED 使用個数はさらに少なくなる可能性があるが、専用メガネをかけて視聴する 3D TV の登場でさらに明るい画面を求める傾向もあり、これが搭載個数の維持を後押しすると見る向きもある。現在のモデルでは TV1 台あたり 500 個以上（TV サイズによって異なる）搭載している機種もある。今後の見通しとして、ミドルエンド以上の機種で直下型を採用するケースがあるものの、普及モデルを中心に広がりつつあるエッジライト型が主流になるとみられる。

ディスプレイ専門の有力調査会社、ディスプレイサーチの予測をもとに、液晶 TV 用 LED の需要を推定してみる。

液晶 TV 用パネルの出荷台数は、リーマンショックの影響を受け、2009 年は初めて前年割れに陥ると予測されたが、パネル価格の下落や中国市場の本格的な立ち上がりなどによって上方修正され、結果的に 1 億 6300 万台へと大幅に伸びた。これに伴い、2010 年以降の需要予測も上方修正され、2010 年は 28% 増の 2 億 800 万台、2011 年には 9% 増の 2 億 2700 万台。2012 年は 2 億 4600 万台。2013 年に 2 億 6200 万台と右肩上がり続け、2016 年にはついに 3 億台を突破すると見込まれている。

LED バックライトの搭載比率も同様である。2008 年時点では、コスト的な側面から TV

の LED 化はあまり進まないと思われていたが、サムスンが液晶 LED TV を成功させたことで LED 搭載の流れが急加速し、度重なる上方修正の結果、搭載比率は 2010 年に 23%、2011 年 49%、2012 年 65%、2013 年 74%へと急上昇する見通しとなった。つまり、2013 年には年間 1 億 6000 万台の液晶 TV 用パネルが LED バックライトを必要とする。

シャープが 2009 年 11 月に発売した液晶 LED TV 「LED AQUOS」は、直下型バックライト方式を採用し、40 型モデル 1 台に約 200 個の白色 LED パッケージを搭載しているようである。ちなみに、シャープは、2012 年までに製造するすべての TV を LED バックライトにする方針を打ち出している。これをベンチマークにして LED 需要を推定すると、2010 年に液晶 TV に必要とされる LED 個数は、実に 2009 年比 13 倍の 96 億個になる。このペースが続けば、2013 年には液晶 TV 向けだけで 390 億個の白色 LED パッケージが必要になると推測され、こうした莫大な需要によって 2~3 年以内に青色 LED チップが不足するのではという懸念さえ生まれている。

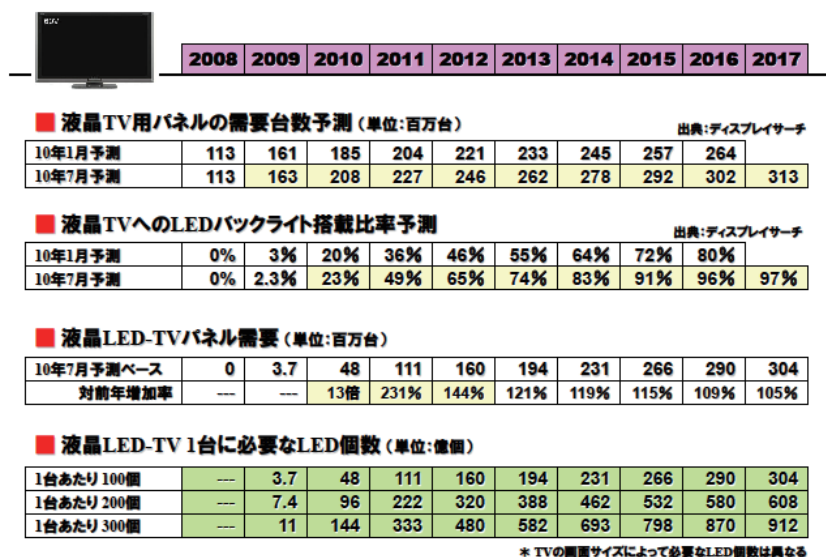


図 3.4-1 LED は液晶テレビに何個必要か

この流れに液晶モニターも追随しそうだ。当初、価格圧力がもっとも強い液晶モニターでは、バックライトの LED 化が進まないと考えられてきたが、欧州市場の動向やコストメリット、CCFL メーカーの相次ぐ事業撤退などにより、LED 化が急速に進む見通しとなった。ディスプレイサーチでは、液晶モニターの LED 化率は、2009 年 2%から 2010 年には 16%まで上昇し、2017 年には 93%に達すると予測している。台湾の大手液晶パネルメーカー、AU Optronics は 2015 年までに生産するすべての液晶モジュールを LED 化する方針を表明している。

LED バックライトは、まず 40 型以上の大画面 TV に採用されるケースが多いうえ、直下型とエッジライト型で必要な個数が異なること、また、LED の輝度向上やパッケージ形態



の改良によって搭載個数が減少する可能性があることなど、変動要因が多いため一概には言えないが、これより上振れする可能性は十分にある。バックライト用のLEDは、照明に使用されるチップに比べると、ミドルクラスの輝度で十分だといわれる。この莫大な需要に向けて製造技術が進化することにより、製造コストは大幅に下がっていくはずで、この一段の価格下落をもとにして、LEDが一般照明市場へ浸透するスピードがいつそう加速すると考えられる。

### 3.5 車両用光源（自動車、電車、航空機、船）

本格的な電気自動車（EV）時代を迎え、車両におけるLED照明の役割がますます高まりそうである。電気自動車はリチウムイオン電池とモーターを動力源とするため、いかに省電力であるかが航続距離を左右する。既存光源に代えてLED光源を採用し、車載照明システム全体を省エネ化することが、EVの性能に大きな影響を及ぼすだろう。

車載照明としては、ブレーキランプやストップランプ、ウインカーなどに高輝度の赤色やアンバーのLEDが広く採用されており、すでに日本製自動車の10台に3～4台がリア部分をLED化している。この市場を立ち上げてきたのがフィリップスルミレッズである。電子部品商社のフューチャーエレクトロニクスと共同でランプ部分のデザイン～筐体設計などを手がけ、一時は国内で80%以上のシェアを誇っていた。最近では、車載向けの専門営業チームを持つ独オスラムが巻き返しつつあるようである。欧米では、日本よりも自動車へのLED搭載が早かったため、ここに強みを持つ欧米勢が活躍している。

欧州では、昼間にライトを点灯したまま走行する「デイトタイムラインニングライト」が義務付けられている国がある。ここにLEDを採用することが一般化しており、ヘッドライトの下などに白色LEDをアレイ状に配列するケースが目立つ。フォグライトにもLEDを採用するケースが増加しており、オスラムは同社製の車載用LEDモジュールが三菱自動車工業の2011年型「RVRコンパクトクロスオーバー」のフォグライトに搭載されることが決定したと発表した。ハロゲンライトでは55W必要なところ、LEDモジュールでは15Wで済むという。フォグライトの設計とデザインは青木製作所が手がけた。



図 3.5-1 LED ヘッドランプを搭載したアウディ A8

光源の LED 化は、ヘッドライトにも及び始めた。これまではトヨタの「レクサス」(日亜の LED を用いた小糸製作所製)、オスラム製 LED を用いたキャデラックの「エスカレード」やアウディの「A8」など一部の高級車に採用が限られていたが、トヨタが新型プリウスにも LED ヘッドライト(メーカーはレクサスと同様)を搭載したことで、いよいよ普及車への搭載が本格化しそうである。初の本格 EV として知られる三菱自動車工業の「i-MiEV」はスタンレー電気製の LED ヘッドライトを搭載している。

バスなどの公共交通機関にも、LED の採用事例が広がっている。これはライトではなく、車体側面や正面上部に搭載された行き先表示用。従来の幕方式に比べて交換の手間がかからないうえ、日中でも視認性が高いのが特徴。こうした LED 表示板では光波が高いシェアを誇っており、ほかにレシップ(株)やゴールドキング(株)などが知られている。

電車向けには、バスと同様の LED 行き先表示器が搭載される事例が増えているほか、最近では電鉄各社がホームからの転落防止や電車の接近を知らせるため、プラットフォーム上に LED を埋め込み設置するケースが増加している。踏切の赤色の警告灯を LED に代替したり、ホームの先端や踏切に青色 LED 灯を設置して事故防止につなげる取り組みも進めている。ちなみに、青い光は人間の感情を沈静化させる効果があるといわれており、こうした場所への青色 LED 灯の設置は、飛び込み自殺の防止や無理な踏切横断の抑止効果を狙ったものである。

電鉄関連で注目したいのは、ホーム上に必ずある駅名表示板や広告看板の LED 化である。JR 東日本では、LED を用いた案内掲示器を 2009 年 1 月からの 1 年間で約 120 駅へ約 1800 台を導入した。(株)新陽社がフィールド試験を経て開発したもので、光源を蛍光灯から LED に変えたことで消費電力を 166W から 66W へ 60%削減し、蛍光灯の約 3 倍の寿命 4 万時間を実現した。厚みも従来の 170 mm から 84 mm へ薄くできた。新陽社は本製品の開発で、経済産業省が主催する「平成 21 年度省エネ大賞(中小企業庁長官賞)」を受賞している。JR 東日本では、掲示器の老朽化解消に合わせ、今後 5 年間で 600 台を取り替える予定という。

航空機では、シート上部の読書灯に LED を採用する流れが定着しつつある。航空機本体では、エアバスが A320 の翼端灯に LED を採用したことが知られており、米ハネウェルが技術を提供した。航空会社にとってはランプのメンテナンスコストが低減できるため、今後さらに導入が加速するはずである。また、空港に埋設される航空機の誘導灯にも LED の採用が広がりそうである。すでに成田空港や関西国際空港、広島空港などに設置事例がある。

船舶における LED の代表的な採用事例は、イカ釣り漁船の集魚灯である。これまではメタルハライドランプを使用してきたが、発電機に必要な燃料代が高額になるうえ、ランプから放射される熱で作業環境が厳しいといった課題があった。LED 集魚灯は、インシヤルコストではまだメタルハライドランプに及ばないようであるが、その省エネ性能の高さから燃料代が半分に減ったという報告がなされているほか、メンテナンスコストを大幅に削減できるため、ランニングコストを含めて考えれば大きなメリットがある。また、特定の波長が出しやすい LED は、集魚効果の高い波長を演出しやすいというメリットも兼ね備えている。植物工場と同様、こうした集魚効果などの検証が進めば、漁業に LED が採用されるケースが今後ますます増えそうである。

### 3.6 新用途

#### 3.6.1 植物（育成）

天候の影響を受けないで年間を通して計画生産できる、農薬を使わないので安心・安全であるなどの優れた特徴を有する植物工場が注目され<sup>(1)</sup>、着実に工業化が進んでいる。この植物工場では、水、栄養、光、温度・湿度の管理が重要であるが、ここでは光の管理について検討する。光は、自然光、電球、蛍光灯などが利用できるが、近年 LED の高効率化、低価格化などの理由により、植物育成用光源として LED の利用が検討され始めている<sup>(1)</sup>。植物の生育に欠かせない光反応として光合成が知られている。光合成に関わるクロロフィル（葉緑素）の吸収スペクトルを図 3.6.1-1 に示す。この図より、植物の成長には赤色光（650～660 nm）と青色光（430～450 nm）がバランスよく配分されていることが必要であることが分かる。この波長帯は、AlInGaP-LED（赤色光）および InGaN-LED（青色光）で高効率が見られる波長域であり、LED は植物工場にとって相性の良い光源であると考えられる。光合成以外の重要な光反応に光形態形成がある<sup>(2)</sup>。光形態形成とは、フィトクローム（色素の一種）が関わる種子発芽、花芽分化、開花、節間伸長などの植物の質的変化を誘起する光反応である。これら植物の光反応を包括した作用スペクトルを図 3.6.1-2 に示す。これらの光反応は植物の健全な生育と高付加価値の産出に重要である。このような波長域にも LED は十分設計可能である。

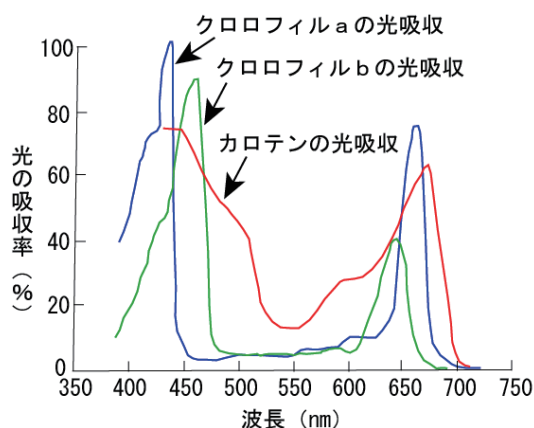


図 3.6.1-1 植物色素の吸収スペクトル  
(山本晴彦、2010)

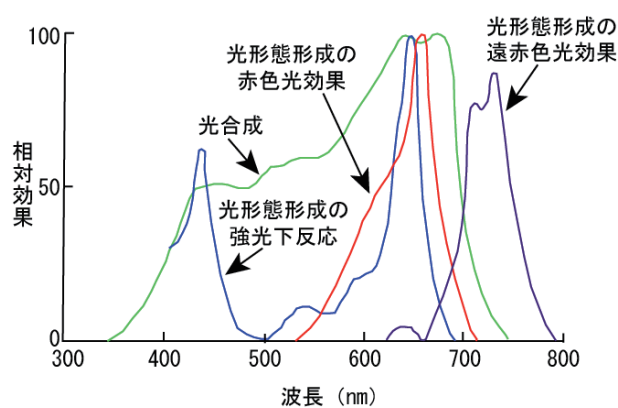


図 3.6.1-2 植物の光反応の作用スペクトル  
(山本晴彦、2010)

植物工場で使用され得る各光源の利点と課題について表 3.6.1-1 にまとめた。LED は、①発光波長を植物の光反応の作用スペクトルに合わせてデザインできる（偶然にも光合成に必要な波長の高効率 LED が既に存在している）、②熱放射が無い（したがって、植物に近接して設置することができ、効率的な光照射が実現できる。植物の成長に合わせて照明位置を変える必要が無い）、③破損によるガラス片の飛散が無い（植物工場では絶対的に要求される安全・安心が保証される）、④小型・軽量、⑤長寿命、⑥光合成に有利なパルス照射が可能 などの利点を有する。しかしながら、①現在では相対的に高価格のために設備コストが嵩み、償却費などが経営を圧迫する といった課題がある。したがって、将来は安価な蛍光灯とのコスト競争が予想されるが、役割分担による共存の可能性もある。しかし、将来的には利点の多い LED 照明の優位性は強まると推測される。

図 3.6.1-3 に、山口大学で行っている LED を使った植物育成の研究事例を紹介する<sup>(3)</sup>。通常の植物工場の基礎研究から、高機能植物栽培の研究、光害（防犯に欠かせない街灯により、例えば稲の開花が抑制されているなど）を抑制する光源の研究などを遺伝子レベルからも解析するなど、幅広く研究を行っている。これらの研究テーマが今後の課題に直結している。

表 3.6.1-1 植物工場で使用され得る各光源の利点と課題

光源	利点	課題
高圧ナトリウム灯	高効率	熱線を放射する→植物から離して設置する必要がある 赤色光/青色光 比率が小さい
メタルハライド灯	同上	同上
蛍光灯	熱線が少ない→植物の近傍に設置可	赤色成分が少ない 中央部と両端部で照度むらが大い
LED	必要とされる波長（赤色/青色）に合わせることができる 高効率 パルス照射が可能 熱線が少ない→植物の近傍に設置可→植物の生育に伴った照射距離の調整が不要 小型軽量、ガラス破損の危険が無い	価格が高い→設備コストの増加→経営の圧迫 ◎特殊波長の照射による高付加価値商品の開発

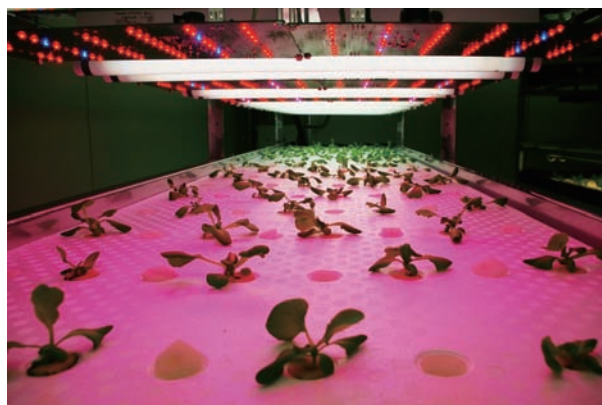


図 3.6.1-3 蛍光灯と LED を使った植物育成の研究例（山口大学 農学部 山本研究室）

今後の LED を応用するための課題は、植物生理学とエレクトロニクス共同研究により、競争力のある新しい産業の創出であり、具体的には以下のようにまとめられよう<sup>(2,3)</sup>。

- ① 植物の光生理の更なる深い理解と、その有効利用による植物の成長の促進。光合成・光形態形成のスペクトル特性を把握し、単位投入エネルギーあたりの成長が最も速い最適環境条件の探索。最適な発光波長スペクトルを有する LED の開発。
- ② 人工栽培に適した高付加価値品種の開発。例えばビタミン B<sub>12</sub> を多く含むカイワレ。

- ③ イチゴなどの高付加価値商品の栽培技術の開発、根菜などの育成技術の開発。
- ④ 栽培植物に毎に適切な環境制御の実現。光、温湿度、二酸化炭素濃度、培養液などの環境の最適化と省エネ性を両立する工夫。LED光源の低コスト化。

#### 参考文献

- (1) 後藤英司監修、「アグリフォトニクス-LED を利用した植物工場をめざして-」、シーエムシー出版株式会社、2008年3月出版)
- (2) 科学技術・学術審議会 資源調査分科会、「光資源を活用し、創造する科学技術の振興（持続可能な「光の世紀」に向けて）」、文部科学省 HP ([http://www.mext.go.jp/b\\_menu/shingi/gijyutu/gijyutu3/toushin/07091111/001.htm](http://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/gijyutu/gijyutu3/toushin/07091111/001.htm))
- (3) 山本晴彦、「植物工場管理技術者育成プロジェクト（栽培基礎Ⅱ）」テキスト、2010年7月

### 3.6.2 動物（漁業）

#### ・既存集魚灯の現状

水産業における光の活用は、イカ釣り漁業に代表される集魚灯が最初に想起される。参考までに、函館のイカ釣り漁船団の風景と集魚灯を搭載した小型漁船を図 3.6.2-1 に示す。図 3.6.2-1 (b) に示すように、漁船に大出力光源の集魚灯を装備し、イカの走光性を利用して船の周辺に誘引し、誘引されたイカを釣り上げる漁法である。集魚灯の出力が大きいほど漁獲高が増大すると信じられていることもあり、光源出力の過剰な競争を生み、燃料費の負担増を招いている。また、集魚灯も白熱灯から水銀灯・ハロゲン灯へ、さらにメタルハライド灯と高効率ランプに進歩してきた。船に専用発電機を搭載し、1~3 kW のランプを複数、水中灯および船上灯として使用している<sup>(1)</sup>。対象とする魚種・漁法により連続点灯で、あるいは点滅させて使用している。色温度は 5,000~6,000K 位が一般的である。小型の漁船でも合計 100 Kw 程度の集魚灯を搭載するため、集魚灯の燃料費が採算性を圧迫する。そのため、イカ釣り、サンマ棒受け網漁、巻き網漁等に省エネ効果の期待される LED 集魚灯が各地で試験的に使われているが、まだ試験操業の域を脱していないのが現状である<sup>(2)</sup>。



(a)



(b)

図 3.6.2-1 函館のイカ釣り漁船団 (a) と集魚灯を搭載した漁船 (b)

(出典:[http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Hakodate\\_squid\\_fishing\\_2005-08.JPG](http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Hakodate_squid_fishing_2005-08.JPG)、<http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Lamparo.jpg>)

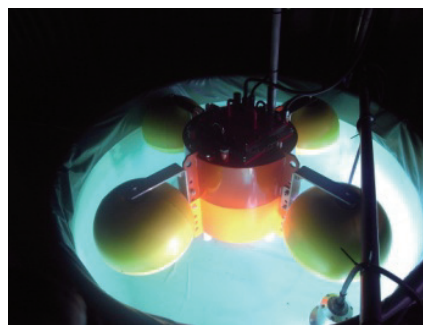
LED 集魚灯には、

- ① 発光波長を選択・設計できるため、1 灯で多色の発光体組み込みが可能
- ② ランプが長寿命（HID ランプの 10 倍以上）
- ③ 点滅、調光等光制御が容易にできる
- ④ 直流点灯が容易に可能
- ⑤ 一般的に低消費電力が実現できる

などの特徴があり、種々の LED を応用した集魚灯（漁具）が開発されている。水産県である山口県での開発事例を図 3.6.2-2 に紹介する。図 3.6.2-2 (a) は無人集魚ブイ、(b) はその本体、(c) は水中投下型集魚灯の一例、(d) (e) は発光している水中投下型集魚灯、(f) 漁礁設置型集魚灯である。このように、水産業の現場では着実な開発が進められている。



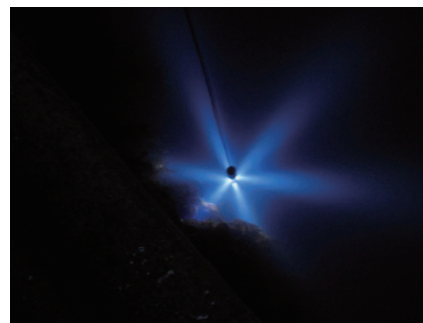
(a)



(b)



(c)



(d)



(e)



(f)

図 3.6.2-2 洋上設置した無人集魚ブイ (a)、ブイの制御、電源、照明部分 (b)、水中投下型集魚灯 (c) (d) (e)、漁礁設置型集魚灯 (f)

(出典：水口電装株式会社殿より提供)

・なぜ漁獲高の増加しないのか

LED 集魚灯が各地で試験されているが、今尚本格採用には至っていない。その理由は以下のように整理される<sup>(2, 3, 4)</sup>。

- ① LED 応用により、集魚灯の消費電力の省エネ化、漁船の燃料費の低減は実証されているが、漁獲量が増えず、採算漁獲量に達しない
- ② 漁獲量が増えない理由は、(a) 全光束が小さい（放射される光の量が少ない。光束を増加させると集魚灯の形状が大きくなる）、(b) 最適波長（集魚灯の色など）が実証されていない
- ③ 操業漁獲実績がない
- ④ 既存集魚灯に対して高コスト（発光部は長寿命であるが他の部分の破損などにより集魚灯全体の寿命は既存灯と同じ。したがって、長寿命メリットが出ていない）
- ⑤ サンマ、イカ釣り漁などには採用されている例もあるが実際の効果は不明。

・LED 集魚灯の展望

低消費電力、発光色・点滅・光量・発光領域等の光の制御性が良好などの LED の特徴が生かされた集魚灯で、灯具の適正価格化と採算漁獲が実現すれば、燃料費の低減、発電機等の装備コスト低減により漁業の採算性向上に寄与出来る。また、魚群行動に未知の部分が多すぎ、魚群行動の科学的解明と LED 照明の特徴を生かした開発により、新しい漁法の創成が期待される。魚種による集光行動の違い忌避行動の解明は選択漁業を産み、海洋牧場などの研究開発に発展することが期待される。また、沿岸漁業では光漁礁として魚類の資源保護への応用の可能性が検討されている。上記の今後の展望は以下のように簡潔に整理される<sup>(2)</sup>。

- ① 光（波長、点滅など）による集魚メカニズムの解明（長年使用されている既存灯でも大部分が未解明の状況）
- ② 季節、地域、漁場環境、魚種、漁法等種々の実証実験を詳細に行い、実証データによる LED 集魚灯の認知度を向上させる
- ③ 集魚、忌避などの魚類行動解明により選択漁獲、海洋牧場などの開発に発展させる。水産資源保護が期待できる
- ④ 養殖等の栽培漁業への利用可能性の検討

参考文献

- (1) 科学技術・学術審議会 資源調査分科会、「光資源を活用し、創造する科学技術の振興（持続可能な「光の世紀」に向けて）」、文部科学省 HP ([http://www.mext.go.jp/b\\_menu/shingi/gijyutu/gijyutu3/toushin/07091111/001.htm](http://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/gijyutu/gijyutu3/toushin/07091111/001.htm))
- (2) 水口電装株式会社殿への取材
- (3) (社) 海洋水産システム協会 LED 集魚灯実証試験の成果（平成 18.19 年）
- (4) (社) 山口県漁業協同組合 山口県日本海における LED 集魚灯の導入実証試験結果（平成 18.19 年）

### 3.6.3 可視光通信

可視光通信とは、人間の身の回りにありふれている目に見える光「可視光」を使って通信を行うという最新の通信技術である。可視光を通信に利用することで、従来の無線や赤外線が生じていた問題点を克服することができ、「ユビキタス（遍在的）」で「超高速」で、「人体や電子機器にも影響しない」という、今までにない新しい通信手段として期待されている。

主に照明機器や信号機などの表示機器、自動車の灯具などのLEDを搭載した機器が発する可視光を利用し、その周波数を変調したり、点滅させたりすることによりデータを送信する。無線通信を利用する場合に必要な周波数割り当ての問題がないという利点がある。また、通信速度は、蛍光灯に比べてLEDのほうがはるかに高速になる。また、可視光域は人間に安全であるだけでなく病院や航空機内などでの精密機器への影響もないので、照明に用いている数ワットという高い電力でそのまま送信できる。さらに、照明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環境が構築できる。

以上を踏まえ、可視光通信は大きく四つの利点を持つ。①可視光を使って位置を検出すると、位置精度の高さは電波では絶対に超えることのないほど高いこと。②高速伝送を安価に実現できること。③照明機器という既存のインフラを有効に利用できること。④光を発する場所や進行する方向が見えるので、情報がどこまで行くのか、どの方向から来たのかははっきりすること。この概念を表したものを図3.6.3-1に示す。

この可視光通信実用化に向けて、慶応義塾大学 理工学部 情報工学科 教授の中川正雄氏が中心となり、2003年に「可視光通信コンソーシアム（VLCC:Visible Light Communications

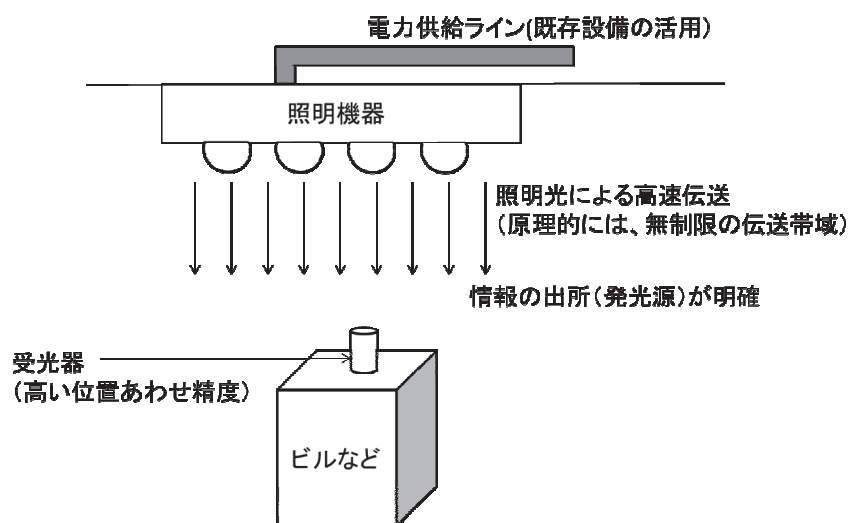


図 3.6.3-1 可視光通信の模式



Consortium)」が設立されている。同コンソーシアムへの参加メーカーは NEC、NTT ドコモ、カシオ計算機、KDDI、ソニー、東京電力、東芝、日本信号、松下電工（現・パナソニック電工）の 9 社である。このほか、日本農村情報システム協会もコンソーシアムに名を連ねる。今後、10 社ほど新たに同コンソーシアムに加入の予定という。可視光通信が実現すれば、自動車や携帯電話機などと照明光源に使う白色 LED などを利用してデータをやり取りすることが可能になる。この可視光通信コンソーシアムは「研究促進・企画委員会」「標準化委員会」「普及委員会」の 3 つの委員会から成り、今後、実用化に向けて活動を進めている。なお、同コンソーシアムに関する情報は WWW サイトで公開している<sup>(1)</sup>。

2005 年には、国土交通省が関西国際空港で、空港到着から搭乗までの待ち時間における利用を想定した可視光通信の実証実験を行った<sup>(2)</sup>。国土交通省のほか、パナソニックやパナソニック電工、NTT ドコモ、中川研究所、日本航空が参加した。発表資料<sup>(2)</sup>によれば、蛍光灯で 10k ビット/秒、LED で数十 M ビット/秒での通信が可能である。実験は関西国際空港 2 階国内線チェックインロビー付近で行われた。具体的には、電光掲示板の照明を使った搭乗便の最新情報の配信、免税店などの照明やスポットライトを使った店舗情報や商品情報の配信、コンコースのフロア照明を使った行き先案内、ベンチの照明やスポットライトで映像や音楽の配信等を行った。

2008 年には、イメージセンサを受信機として、灯台や交通信号機の LED を利用した可視光通信の実験に VLCC が成功した<sup>(3)</sup>。灯台からの光に情報を載せた場合の伝送速度は通信距離 2km において 1022 ビット/秒、1km で 1200 ビット/秒を記録した。この時達成した 2km は当時、広く拡散する光源を用いた空間光通信としては世界最長距離という。この実験は、千葉県の大湊港において海上保安庁、カシオ計算機、東芝が参加する「灯台サブプロジェクト」の一環で行われた。

また、2009 年 12 月 24 日に海上保安試験研究センターの回流水槽を使った模擬実験（縮尺=1/13）<sup>(1)</sup>では、東京湾内のデータを元にさまざまなパターンの波を発生させ、揺れる模型船上でも「ディスカバリ機能（画像内での通信光の座標を決定すること）」や「トラッキング機能（時間とともに動く通信光に対応して通信を続けること）」を活用することにより、送信制御装置で変調し 30m 離れた小型 LED 照明から送信したデータを、イメージセンサ通信により受信することに成功した（通信速度 1200bps、実際の LED ブイに換算して通信距離約 400m 相当）。この実験結果をもとに、灯台と船舶間、また船舶同士への可視光通信の海上における実用化について、ひきつづき検討を重ねている。

#### 参考文献

(1) 可視光通信コンソーシアムの HP <http://www.vlcc.net/>

(2) 平成 17 年 6 月 28 日国土交通省プレスリリース資料

[http://www.mlit.go.jp/kisha/kisha05/01/010628\\_.html](http://www.mlit.go.jp/kisha/kisha05/01/010628_.html)

(3) Tech On! の HP <http://techon.nikkeibp.co.jp/> 平成 22 年 8 月 5 日の記事

#### 3.6.4 交通施設（道路照明）

交通施設をはじめとする屋外照明施設では、CO<sub>2</sub>削減や省エネルギーに貢献する改修や新設が行われてきた。光源では、高周波点灯専用型蛍光ランプや効率をはじめとする特性改善が進んだセラミックメタルハライドランプの採用が増えると共に、低消費電力を特徴とするLEDが屋外施設にも多く取り入れられた。照明器具や制御システムでは、器具単体の高効率化に加え、センサなどと組み合わせて「必要なときに必要な場所を必要な量だけ」照明する制御技術を駆使することが従来以上に進められた。

交通施設では、トンネル照明に、高効率光源である高周波点灯専用型蛍光ランプやセラミックメタルハライドランプの採用が各地で行われている。また、消費電力削減を目的とする制御システムとして、初期照度補正機能付き照明器具や煤煙透過率に連動する光出力調整が行われている。さらに、省メンテナンスや省資源を図るために、長寿命光源である無電極蛍光ランプの採用も報告されている<sup>(1)</sup>。また、LEDを用いたトンネル用照明器具の開発も行われており、70Wのメタルハライドランプや32WのHf蛍光灯に比べ、30～60%の照明率を改善することができ、省エネルギー化に貢献している<sup>(2)</sup>。さらにトンネル内では、車道を明るく照らす必要があるため、反射板などを工夫して配光制御を行っている。

道路照明では、低消費電力のLED道路灯やLED歩道灯の開発<sup>(3)</sup>が進められ、停電補償が行いやすいことから防災照明を兼ねる例もある<sup>(1)</sup>。また、阪神高速道路では、最近一部の区間にどんな高速道路本線においても適用できる基準を満たしたLED道路照明が日本で初めて導入された<sup>(4)</sup>。これまで高速道路では、ナトリウムランプや水銀灯が使われてきたが、LED道路照明の導入により、消費電力24%の削減、平均路面輝度1 cd/m<sup>2</sup>を実現できるようになった。一方、世界における道路照明の動向について、2009年の道路照明市場を地域別に見ると、図3.6.4-1<sup>(4)</sup>に示すように北米は景気低迷の影響を多大に受け、公共事業が抑制され、道路照明の需要が減少した。欧州や日本は、公共事業全体は前年から10%程度落ち込んだものの、道路照明は、水銀灯からナトリウムランプへの移行が進められ、前年比ほぼ横ばいで推移した。中国やその他の地域の一部の国は、都市部から郊外部へ道路の延長、新設が行われ、それに伴って道路照明の需要は増加傾向にある。道路照明は、高位置から照射するケースが多く、大光束の光源が主に採用されている。また、道路の視認性を確保するために高演色性が要求される傾向にある。

政府が主導となってLED照明の導入を進める国は、公共性の高い分野から普及を進めており、道路照明はその対象となっている。しかしながら、LEDを使用した道路照明は、高位置からの明るさを得るために大量の小電力LED光源もしくは大電力のLED光源が複数個必要となるため、既存の道路照明に比べて、初期コストが高くなる。このため道路向けLED照明は、既存設備の代替よりも新規の箇所に設置される例が多い。一方、今後も新規を中心に普及が進む見通である有機EL照明は、道路用途で普及するためには、技術的に解決すべき課題がある。特に有機ELは、一定寿命を維持しながら光束を向上する取り組みが行われている。道路照明は、大光束の要求に加え、寿命に対する一定基準を満たす必要があるため、有機EL照明の要求は、時間を要する可能性が高い。

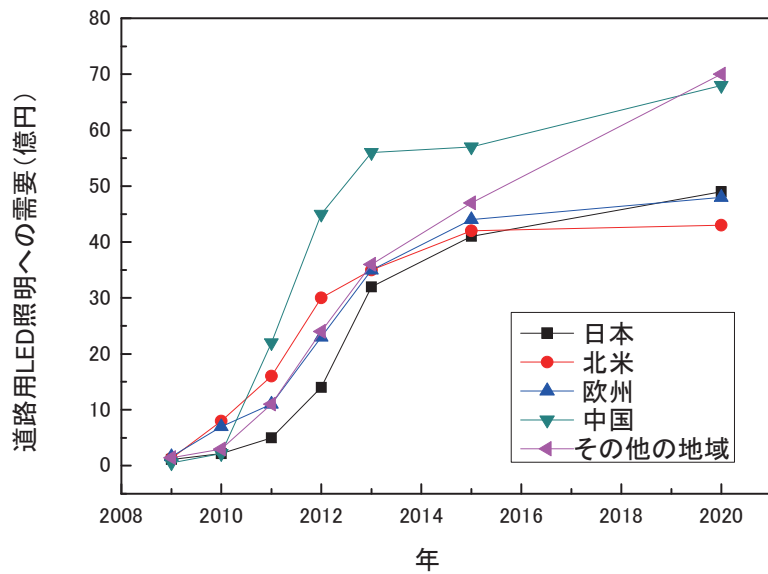


図 3.6.4-1 道路用 LED 照明の国別の需要

参考文献

- (1) 伊藤勇人、照明学会誌 94 (2010) 531.
- (2) 古川一茂、服部宏明、稲葉信彦、平成 22 年度 (第 43 回) 照明学会全国大会講演論文集 (2010) 204.
- (3) M. Matsushita, J. Light & Vis. Env. 32 (2008) 246.
- (4) 阪神高速道路(株)のプレスリリース資料 平成 22 年 10 月 1 日  
<http://www.hanshin-exp.co.jp/topics2/1285748494F.pdf>
- (5) 2010 年次世代市場調査プロジェクト, Techno Systems Reserch Co. Ltd.,

### 3.6.5 医療・福祉

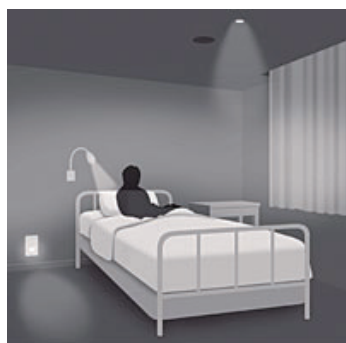
医療・福祉分野でのLEDの応用例を、照明、診断、治療と目的・機能別に分類し表3.6.5-1に整理した。まず照明分野であるが、破損によるガラスの飛散の心配が無いLED照明は、安心・安全が特に要求される病院等の医療施設あるいは福祉施設に適している。また、長寿命であるので、広い施設の照明灯のメンテナンスも楽になる。電磁波の発生が少ないことも大きな利点になる。省エネ効果も高い。このような理由から医療・福祉施設内の照明に、今後広く採用されると推測される。また、LED照明は光の広がり少なく、周囲の患者への迷惑が少ないことから、ベッドライト・処置灯等へは比較的早くから採用されて来た。図3.6.5-1はベッドライト、その使用イメージ図、施設内照明の例を示す<sup>(1)</sup>。

表 3.6.5-1 医療・福祉分野でのLED応用例

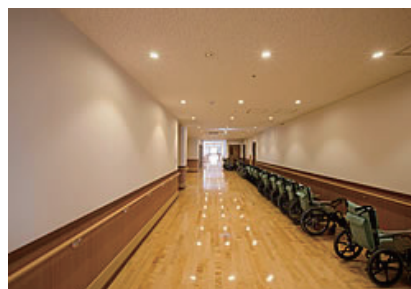
目的・機能	応用例	LED化の利点・課題
照明	照明灯 (ダウンライト、足下灯、誘導灯) (ベッドライト、処置灯)	ランプ割れ(ガラスの飛散)の心配無し 長寿命なのでメンテナンスが楽 低電磁波発生 熱くない→灯具をベッド近くで使用可 指向性が高い→周囲の患者への迷惑少 高効率→省エネ (病院・福祉施設は24時間活動する)
	無影灯	ハロゲンランプは熱い →高演色LED化で暑く無く、術者への負担が低減。正確な視覚判断が可能な光源 省エネ→バックアップ電源の小型化
診断	電子内視鏡	ハロゲンランプ・キセノンランプ光源は大きい、携帯性がない →高演色LED照明により、電子内視鏡の軽量化、携帯性が実現
治療	季節性うつ病など精神疾患の治療 水虫などの皮膚疾患の治療器	LEDの特徴を生かした治療機器の開発



(a)



(b)



(c)

図 3.6.5-1 LED照明の病院・福祉施設での応用例

(a) ベッドライト、(b) ベッドライトなどの使用イメージ、(c) 病院・福祉施設の廊下照明

手術室で使用される術者自身の影を最小限にする无影灯も LED 化が進んでいる。従来の无影灯は術野の明るさを確保するために、多数のハロゲンランプで構成されているが、近年高演色 LED ランプを光源とした无影灯が開発されている。術野の照度 16,000 lx が確保され、平均演色評価数 96、赤色（血液）の演色評価数 R9 において 99 という数値が達成されている<sup>(2)</sup>。无影灯には、①光源部が密封されること、②停電に備えたバックアップ電源を設置することが要求され、LED 化による発熱量の低減（①に対して有効）、省エネ化（②に対して有効：バックアップ電源の容量低減）は術者への負担低減以上の効果があった。今後の主流になることは間違いない。



(a)

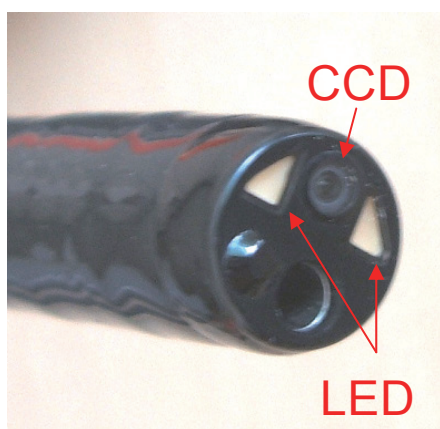


(b)

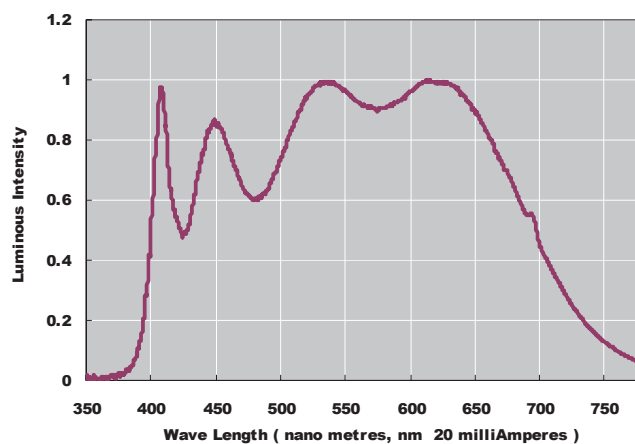
図 3.6.5-2 LED 无影灯を設置した手術室風景 (a) と LED 无影灯 (b)  
(山田医療照明株式会社殿 提供)

診断目的の応用例として、山口大学で取り組んでいる電子内視鏡の LED 照明を紹介する。現在、電子内視鏡の光源はハロゲンランプやキセノンランプが一般的に使われている。現行品の課題は、光源が大きく携帯性が無いことである。山口大学では高演色性の白色 LED を内視鏡の先端部に搭載した電子内視鏡の開発を行っている<sup>(3,4)</sup>。図 3.6.5-3 に試作した電子内視鏡と搭載した白色 LED の発光スペクトル、さらにビーグル犬の胃、および十二指腸の内壁を観察した例を示す。腸管内は十分な照度が得られているが、胃内部の全体を照明するにはまだ LED の全光束が不足している。照度を得るために大電流を流すと発熱の処理が難しいのが現状である。しかしながら、近接した胃壁は非常に明瞭に観察され、病巣部の発見に十分な演色性を有していることが示されている（図 3.6.5-3 (c, d)）。特殊な薬品を併用することで診断能力を上げる研究も進んでおり、初期癌の病巣部が明瞭に観察されることが報告されている<sup>(4)</sup>。白色 LED は光の三原色を含んだ蛍光体を発光波長 400 nm の近紫外線 LED で励起発光させる、演色評価数  $Ra > 90$  の高演色タイプである。この電子内視鏡が実用化されれば、350 W の消費電力である現行品が 1 W 以下の消費電力になり、電池で駆動できるようになる。そうなれば、緊急車両への搭載も可能になり、災害時など現場への携帯が容易になるなどの効果が期待される。治療応用に関してはページ数の関係もあり割愛する。

医用分野では、通常の LED 照明灯も多く使われているが、演色性の要求される診断用途には超高演色性白色 LED のニーズがあり、何れも近紫外 LED ベースの白色 LED<sup>(5)</sup> が実用化されつつある。ニッチではあるが、一つの市場を確立すると推測される。



(a)



(b)



(c)



(d)

図 3. 6. 5-3 LED 照明灯搭載の電子内視鏡の先端部 (a)、LED 照明灯の発光スペクトル (b)、LED で照明した電子内視鏡で観察したビーグル犬の胃の内壁 (c) と、ビーグル犬の十二指腸 (d)。{写真は山口大学医学部 西川潤先生 提供}

#### 参考文献

- (1) パナソニック電工 HP : <http://panasonic-denko.co.jp/corp/news/0907/0907-8.htm>
- (2) 山田医療照明 HP (<http://www.skylux.co.jp/>) および取材による情報。
- (3) H. Yanai et al. Endoscopy 38 (2006) 290.
- (4) S. Kiyotoki et al. Endoscopy 41 (2009) E173.
- (5) 只友ら 三菱電線工業時報 No.99 (2002) 35.

### 3.6.6 紫外・深紫外 (Recent development of UV/DUV LEDs)

AlGaN のバンドギャップは GaN の 3.43 eV から AlN の 6.1eV、波長に換算すると紫外 360 nm から深紫外 210 nm に及ぶ。青色 LED、緑色 LED、白色 LED や青紫色 LD の成功から、更に短波長である紫外から深紫外領域の LED や LD についても窒化物半導体を用いて実用化しようとする試みが、世界中の機関で行われてきた。発光波長 360 nm 以下の紫外・深紫外 LED の国家的プロジェクトとしては、アメリカ国防省、通称 DARPA のプロジェクト “Semiconductor ultraviolet optical sources” が最初であり、2002 年より 4 年間行われ、主にアメリカの研究機関から紫外～深紫外 LED の報告が数多くなされた。

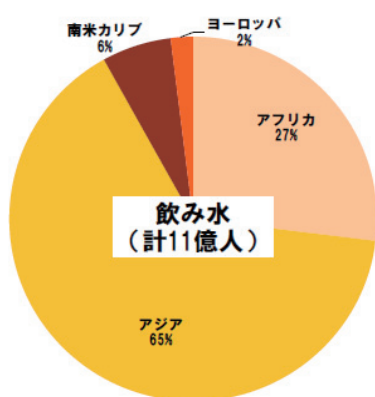


図 3.6.6-1(a) 安全な飲み水にアクセスできない人口の地域分布

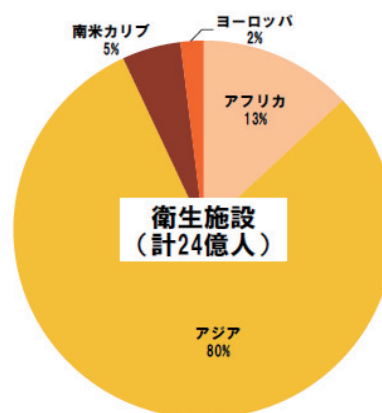


図 3.6.6-1(b) 衛生施設にアクセスできない人口の地域分布

図 3.6.6-1(a)、(b)は The UN World Water Development Report、UN 2003 の資料である。

紫外線と聞くと顔をしかめる人もいるが、応用上は可視光領域と同様、或いはそれ以上に重要である。波長 370～380 nm の LED はすでに実用化され、紫外線で発光するインクを用いたパスポートなどの書類の認証や貨幣判別で目につくようになった。今後、さらに短波長 LED や LD の実用化が期待されている。例えば医療応用では、紫外線照射が乾癬やアトピーに対して治療効果があることが知られている。既に、波長 365 nm の紫外 LED を用いて、腫瘍細胞の死滅が可能であることが確かめられている。紫外 LED マトリックス方式は、従来のランプ方式の紫外線照射システムと比較して、(1)小型・軽量、(2)低電力消費、(3)疾患部のみの部分照射が可能、(4)赤外線・遠赤外線による皮膚温度上昇が無い、近接照射が可能、(5)高速立ち上がりで出力変動が殆どない、などの特徴を有する。更に将来、小型の高出力紫外 LD ができれば、位置・方向制御が可能な超小型遠隔操作カプセル内視鏡に組み込むことにより、難治性内臓疾患の治療装置も可能になるかもしれない。空気や水の清浄化、あるいは消毒のための殺菌用では、細菌の DNA を破壊し、人体への影響の比較的少ない波長 260-280 nm の光源が効果的といわれている。図 3.6.6-1 には、The UN World Water Development Report、UN 2003 より作成された全世界で安全な(a)飲み水、及び(b)衛生施設にアクセスできない人口の地域分布を示す。世界には、安全な飲み水にアクセス

できない人がまだ 11 億人もおり、その多くはアジアに集中している。数  $10 \text{ mW/cm}^2$  程度の紫外線照射で、例えば大きさ数  $\mu\text{m}$ 、大腸菌程度以下の大きさの病原菌を死滅させることができることが分かっている。大がかりな施設の建設が容易でない地域においても、ハンディな紫外線 LED による殺菌装置は、衛生面での向上に大きな効果をもたらすと期待される。紫外 LD によりエキシマレーザや YAG 高調波レーザ並みの平均出力が得られるようになれば、次世代の半導体製造システムにおける加工用やフォトリソグラフィ用光源として展開できる。図 3.6.6-2 に紫外から深紫外域での出力・波長と応用の例をまとめる。

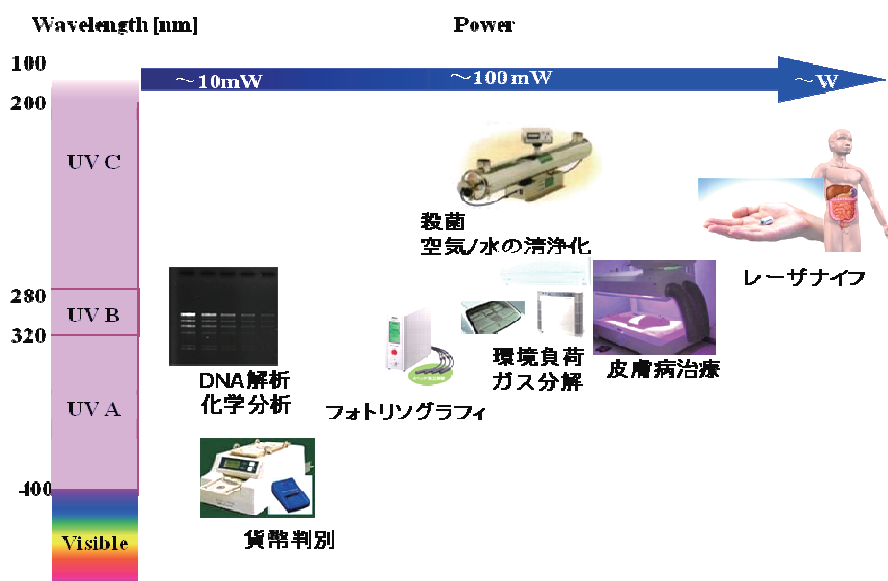


図 3.6.6-2 紫外から深紫外域 LED の期待される応用例と必要な出力及び波長

これらの応用を実用化するには、単に軽量・小型という半導体光源の特徴だけではなく、可視 LED や青紫色 LD の例に倣えば、高効率化・高輝度化に関する地道な努力が必要である。紫外～深紫外 LED や紫外 LD の性能は、十年前と比べて長足の進歩を遂げている。その理由の一つは、MOVPE 法を用いて、紫外発光素子の下地層となるサファイア基板上 AlN 層の結晶成長技術が向上したためである。波長に関しては、AlN からの発光を利用した究極の短波長 LED もすでに実現されているが、可視短波長 LED に比べると紫外、特に 360nm 未満の紫外 LED では、短波長化とともに電力から光への変換効率は急激に減少する。このように発光波長の短波長化とともに外部量子効率が減少する最大の原因は、p 型 AlGaIn において室温での正孔濃度が Al 組成の増加とともに減少するためと考えられている。図 3.6.6-3 に現在までに学術論文に報告されているピーク波長 240 nm から 370 nm までの紫外～深紫外 LED の外部量子効率 (EQE) をまとめている。EQE 数%までの深紫外 LED が実現されるようになった。今後光取り出し効率の向上や発光層への注入効率の向上により、更なる効率向上が期待されている。



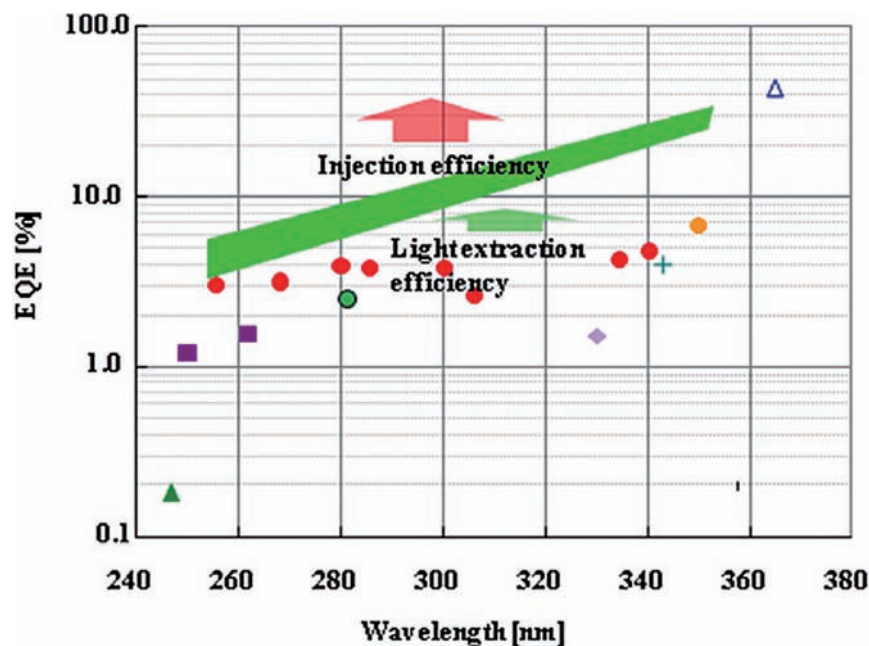


図 3.6.6-3 紫外～深紫外 LED の外部量子効率(EQE)

### 3.6.7 安全・安心

インフラの進んだ地域は、既に街路灯、防犯灯が普及しているため、リプレース需要が中心である。一方で、新興地域の中で成長国は、都市部から郊外部へインフラ整備が進むと共に、新たに街路灯、防犯灯が設置されるケースが多い。街路灯・防犯灯は、水銀灯から蛍光灯へ移行し、最近になって徐々に蛍光灯から LED への移行が進みつつある。街路灯・防犯灯の中でも、ポールの高さによって、高位置照明、中位置照明、低位置照明とあり、設置箇所が高いほど大光束が要求される。日本市場は、20W クラスの蛍光灯型防犯灯の切り替えをターゲットにした LED 防犯灯の引き合いが強く、都市部に限らず、地方・郊外の各自治体でも普及が促進されている。また、最近では 400, 250W 相当の水銀ランプの代替になる LED 街路灯も開発され、省エネルギーだけでなく、長寿命により高所作業でのメンテナンスの手間を軽減できるようになってきた<sup>(1)</sup>。以下、国内外での LED 街路灯の導入に関するいくつかの取り組み事例について紹介する。

札幌市では 2008 年 6 月に「環境首都・札幌」を宣言し、全市的に地球環境問題への対策に関する活動に取り組んでいる。街路灯についても LED 化することで、省エネ性能が高く、CO<sub>2</sub> 排出量削減など環境負荷の低減が期待できる。LED 街路灯は、近年全国的に進んでいるが、札幌市のように積雪寒冷地での大規模の導入事例がないため、従来の光源の比較検討が不明確であること、LED 街路灯設置に対する市民の意向の調査を行う必要があることを踏まえ、実際に住宅街に LED 街路灯を設置し、実証実験を行った<sup>(2)</sup>。既設の 80W 高圧水銀灯から 40W 未満の LED に交換したところ、「まぶしさ」の点で水銀灯に比べやや劣るものの「歩きやすさ」では水銀灯よりやや勝っていることから、LED 街路灯の設置に関して概ね肯定的な結果が得られた。また、水銀灯に比べ、ツララが発生しやすいことが問題になっており、ツララが発生しにくい器具形状の検討が必要であることが明らかになった。さら

に、LED 街路灯の性能、信頼性、安全性に関して標準的な規格が制定されていないことは、地方自治体が本格的に導入を進めるための課題である。

また、青色照明が防犯に効果的であることが期待され、街路照明に広く用いられている<sup>(3)</sup>。青色照明の明るさや雰囲気に関する評価は低く、冷たい感じがする、不安に感じるなど心理的評価は低い。しかし、青色防犯灯が防犯活動のシンボルとなり、防犯意識の高揚に成果を示し、光色の新規性と住民の意識向上が相まって、全体的に犯罪発生件数が減少にあるとの報告がある。奈良県では、「青色で安全・安心まち、づくり」と題して、平成 17 年 6 月から、青色防犯灯による色彩効果に着目した全国初の犯罪抑止対策に取り組んでいる。青色防犯灯の設置により設置 1 年の前後で犯罪数が終日で 14.9%減少、夜間で 8.8%減少していると報告されている<sup>(4)</sup>。また、青色防犯灯の設置をきっかけに、地域住民の防犯に対する関心が高まるなど、地域ぐるみで犯罪の起こりにくい環境づくりに向けた取り組みが積極的に行われるといった効果もある。

一方、世界各地で、街路灯の LED 化に対して最も積極的な支援・補助を行っているのが、中国である。中国は、LED 産業を支援する取り組みとして、政府主導で都市部の街灯を LED 化する「十城万蓋プロジェクト」を進めており、2009 年に 2 都市を対象に LED 街路灯の設置を進めた<sup>(5)</sup>。同プロジェクトは、2010～2012 年にさらに 50 のモデル都市を対象に LED 街路灯 200 万灯を普及する計画である。しかしながら、LED 街路灯は、既存の街路灯の代替では一定の省エネ効果があるものの、中国で設置されている LED 街路灯は、新設が多いため、街路灯設置数は増加傾向にある。その他に台湾、韓国でも街路灯の LED 化を進める動きが活発化しており、さらに欧州や北米の部の国や州でも LED 街路灯の導入が進められている。一方、有機 EL 照明は、水銀レスであるものの、屋外使用環境で安定した性能・寿命を維持するためには改善点がいくつか残されているため、現状では LED 照明に分があるとの見方が強い。

#### 参考文献

- (1) 東芝ライテック(株)のプレスリリース資料 平成 22 年 9 月 9 日  
<http://www.tlt.co.jp/tlt/topix/press/p100909/p100909.htm>
- (2) 小山潤一、長瀬隆 平成 22 年度照明学会第 43 回全国大会講演論文集 218 (2010).
- (3) 高司裕一 照明学会誌 94, 8B, 532 (2010)
- (4) 奈良県警察の HP <http://www.police.pref.nara.jp/>
- (5) 2010 年次世代市場調査プロジェクト, Techno Systems Reserch Co. Ltd.,

#### 3.6.8 伝統の明かりとの融合

近年、全国各地で陶磁器や和紙などをはじめとする伝統工芸品と LED を組み合わせた照明器具の商品開発が盛んに行われている。伝統工芸品と LED を組み合わせるメリットとして、LED 照明を使用することにより、スポットライトに使われているハロゲン電球のような強い光による作品へのダメージの軽減を期待することができる。ほとんどの伝統産業品は光や熱に弱く、ハロゲン電球の強い光量のをずっと当て続けると変色してしまうものが多く、その作品の質を低下させてしまう場合がほとんどである。特に展覧会には多くの伝統工芸品を展示するが、従来の照明器具では直接作品にスポットライトをあて続ける

ことが困難であった。しかし、LED 照明だと最もダメージのもととなる熱や紫外線の問題が解決でき、作品を傷めることなく同じ光を当て続けることができる。

伝統工芸品と LED を組み合わせた照明器具の開発に関して、平成 18 年から 19 年頃にかけて筆者が取り組んできた三重県の伝統工芸品である伊勢形紙と LED 照明を使った新しい照明器具の開発について紹介する<sup>(1,2)</sup>。伊勢形紙は、3 枚の美濃和紙を柿渋で貼り合わせてできた渋紙を彫刻刀で模様を彫ったもので、主に着物の染め型として使われてきた。このほかにも伊勢形紙をランプシェードにした形紙あかりも作製されてきたが、白熱電球から発生する熱や紫外線によって、形紙が燃えたり、柿渋が劣化するという問題点があった。この問題点を解決する方法として、LED 照明を用いる方法を取り入れた。図 3.6.8-1 は伊勢形紙に赤、緑、青の光を入れたときの写真である。渋紙の光学的な性質から赤い光は緑や青の光より透過しやすいことから、緑や青の光を使うことで伊勢形上の模様をきれいに浮かび上がらせることができた。

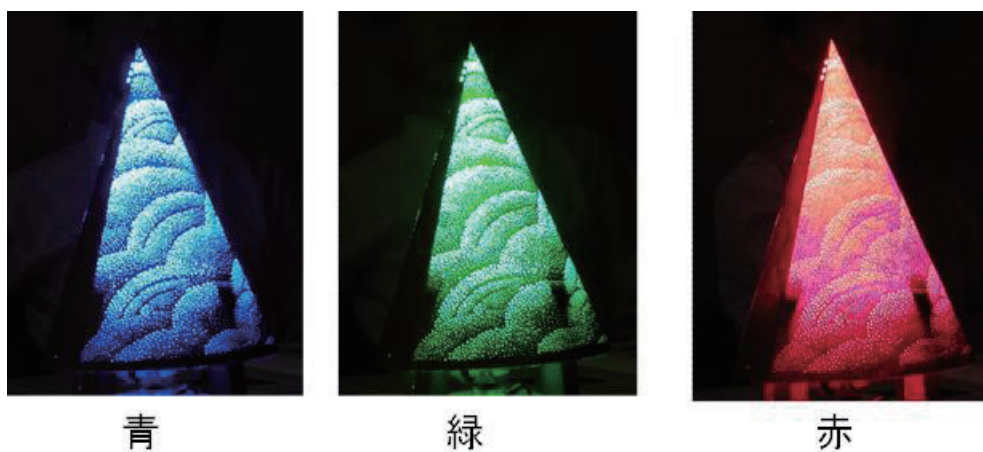


図 3.6.8-1 伊勢形紙と LED 照明の組み合わせ

このような成果を踏まえ、実際に LED と伊勢形紙を組み合わせた作品を作製し、平成 20 年 2 月に東京で開催された伊勢形紙 2008 東京展にて作品展示を行った。その様子を図 3.6.8-2 に示す。来場した方々の感想を聞くと、伊勢形紙と単色の可視光の組み合わせは、ディスプレイ的に人目を引くような使い方には適しているが、机や寝室に常に置いて使うには単色の可視光に慣れていないため、使いにくいという問題点があった。近年は、白色や電球色の LED 電球等が開発されてきたため、このような LED 照明機器と組み合わせれば、従来の白熱電球を用いた形紙あかりに遜色ない照明器具が実現できると期待できる。さらに商品化を強く進めるには、照明デザイナーなどの協力も必要であると考えられる。

LED 照明と伝統工芸品を組み合わせるにあたって、もう一つの問題はコストである。近年 LED 照明の価格は下落している。一方、伝統工芸品の価値を守るためには、伝統工芸品の価格は容易に下げることができない。このため、旅館やホテルなど高級志向の演出が必要な場所など、ニーズのターゲットをはっきりと定めた商品開発が必要であると考えられる。

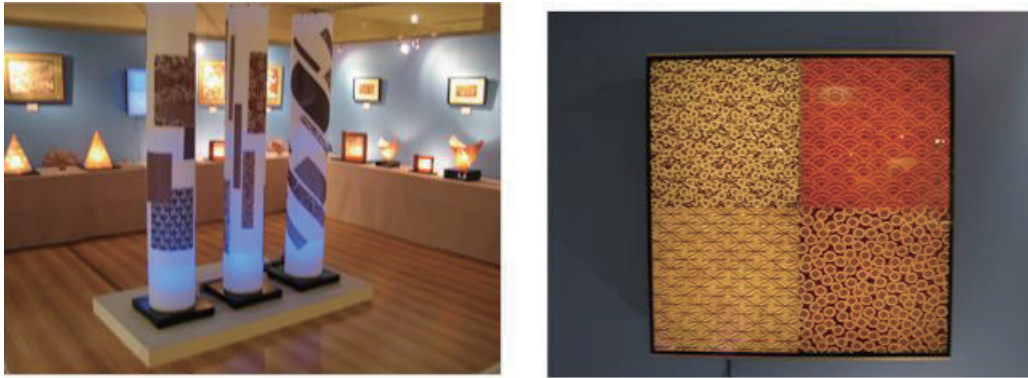


図 3.6.8-2 伊勢形紙 2008 東京展で展示した三重のあかり

#### 参考文献

- (1) A. Motogaito, K. Manabe, Y. Yamanaka, N. Machida, H. Miyake and K. Hiramatsu, J. Light & Vis. Env., 32, 2 218 (2008).
- (2) 伊勢形紙協同組合の HP <http://www.isekatagami.or.jp/>

#### 3.6.9 その他（産業用照明など）

産業用照明では、一般照明以上のスピードで LED への置き換えが進んでいる。産業用照明市場では、1990 年代初頭からハロゲンランプに代わって LED の採用が進み、半導体業界向けには製造装置や実装機に多用されている。従来は光ファイバーを用いた照明が主流であったが、その光源の小型化・長寿命化が求められてきたためである。すでに産業用照明の 70～80%が LED に置き換わっている。ただし、LED の 10 倍の輝度があるメタルハライドは、明るさという観点から依然として多く採用されている。

産業用照明市場で LED 化をリードし続けているのがシーシーエス(株)だ。特に、画像処理システム用 LED 光源に強みを持っており、600 種類以上の豊富なラインアップを揃えている。顕微鏡用途やバイオ・メディカル用途への光源も展開しており、マシンビジョン用 LED 光源の総合メーカーといえる。2010 年 7 月には、三菱化学(株)と資本・業務提携することで合意した。シーシーエスと山口大学が共同開発した演色性指数 98 の自然光 LED を拡販するため、LED 材料技術に強みを持つ三菱化学との提携が不可欠と判断した。この自然光 LED に使用しているチップは、三菱化学が製造している近紫外 LED とみられる。

シーシーエスに次ぐ規模で事業を展開しているのが(株)モリテックスである。LED の放熱対策として、基板上から抵抗を無くし、発電源の削減を可能にした定電源センシングなどの独自技術を保有している。独ショットと共同で、バータイプの LED 照明「SpectraTrue」を開発し、一般照明市場にも参入した。ただし、事業の軸足はあくまで産業用照明に置いており、今後は真空下で LED 照明が採用可能かといったテーマに取り組んでいく。

青色 LED よりも波長が短い紫外 LED チップが本格的に実用化されれば、産業用途で新たに紫外線 (UV) 硬化分野への展開が見込める。UV 硬化樹脂や UV インクを用いる用途は多岐にわたっており、この光源には UV エキシマランプが使用されている。このランプは高価

なうえ、寿命が短いため交換頻度が高く、ランニングコストがかかるのが課題とされている。これを LED 光源に置き換えられれば、産業用照明用途に新たな分野が加わることになる。

紫外 LED に取り組んでいるチップメーカーは、近紫外 LED を量産している三菱化学、波長 300～350nm の深紫外 LED チップのサンプル出荷を開始した DOWA ホールディングス、世界で初めて紫外線 LED の量産化技術を確立した産学連携ベンチャーのナイトライド・セミコンダクター、これに日亜化学工業などを加えた数社にとどまる。現状では、紫外 LED のエピ成長技術は非常に難しく、青色チップに比べて高価なうえ、高出力化も発展途上にある。技術的な課題を積極的にクリアし、市場開拓に取り組むチップメーカーはまだ少数で、顧客ニーズに対応しながら拡大機をうかがっている、というのが現状である。ただし、この紫外領域におけるチップの製造技術力で、日本は現在のところ世界の最先端を走っており、このリードをいかに保ち、あるいはさらに世界との差を広げて、量産事業化を実現できるかがきわめて重要である。

## 第4章 LED 周辺技術の開発動向

### 4.1 電源

LED を発光させるために必要な電源として基本的には電圧又は電流をコントロールすることで、点灯できる<sup>(1)</sup>。電源回路の供給源として、照明などに代表される商用交流電源に接続して、LED を点灯させる電源回路と、懐中電灯など、主に電池などの低圧直流で点灯する回路がある。低圧直流で点灯する回路としては非常に単純な構成で作られているものが多い。商用交流電源に接続して、照明などの LED をその主用途として使用する製品で使用されている電源について、さまざまな方式が提案されているが<sup>(2)</sup>、ここでは、重要な要素と照明として特有の調光制御について概要を述べる。

はじめに、LED 電源を使用する際に考慮すべき事項として、効率、大きさ、コストの優先事項をはっきりしておくことが重要になる。具体的には図 4.1-1 の様な LED 電球では、収納するスペースが限られることから、大きさの優先度が高くなる。

効率を考える上で重要なのは、LED を多数個使用する際の接続方法で直列に多く接続する場合は電圧が高く電流を減らすことができるが、並列に接続する場合は電流が多く必要になる。100V 以上の商用交流電源から供給される電源を構成する際に、この電圧差が効率に大きく影響するため、注意が必要である。

さらに、図 4.1-2 に示すように、LED モジュールを多数個接続する際には、直列又は並列にどのように接続していくかを考慮する必要がある。<sup>(3)</sup>



図 4.1-1 LED 電球断面

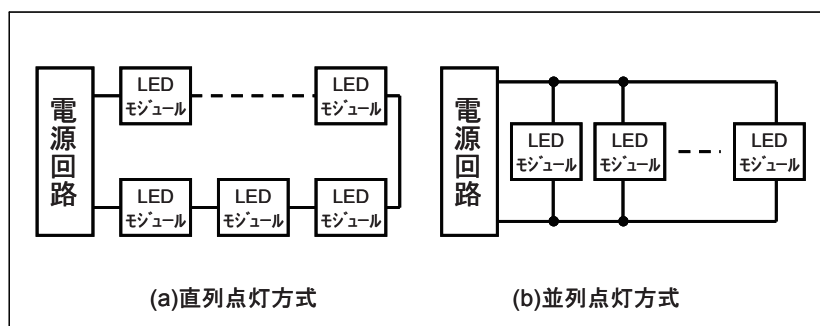


図 4.1-2 LED モジュールの接続方法

近年、LED 電源用のドライバ IC も多数提供され始めてきており、用途によって選択することで、設計は簡単にできるようになってきているが、LED 製品の寿命を考慮する上で、LED の光学特性の低下以外にも、電源の寿命を十分に考えることも重要である。



## 4.2 計測装置

### 4.2.1 LED光源の光特性計測とその重要性

LEDに限らず、光源全般の属性の中で重要なのは光に関連する特性である。光関連分野の技術や産業の発展のためには、この光に関連する特性の定量評価が重要であり、光源の光特性の計測技術についても、LED光源が開発される以前の光源、すなわち真空システム光源の時代から光源諸製品の発達と共に開発・検討され、発展してきている。

LED光源は最近開発・商品化され、急速に使用が拡大している。LED光源も光源の一種であるから、光特性の測定方法については、基本部分は従来の真空システム光源について開発された方法がそのまま適用出来る。ただし、LED光源は、光源の構造や発光原理などが真空システム光源と大きく異なっているため、光特性の測定方法についても、LED光源特有の要検討点もある。

以下に、これらの要検討点に視点を置きながら、最近の光源の光特性の測定技術および測定装置の開発動向について述べる。

### 4.2.2 光源の光特性を評価するための光の量と質

前項で述べた従来の真空システム光源は、例えば真空システム光源の第1号である白熱電球についていえば、1879年のThomas A. Edisonの開発以降、130年以上も実用されてきた経過（製品としてのライフサイクルが非常に長い。現在も未だ主力光源のひとつとして実用されている。）からも分かるように、長い歴史がある。更に、照明用光源としては、真空システム光源の開発・実用化以前に、ろうそくやガス灯等に代表される燃焼光源が実用されていた時代がある。光源の光特性の測定・評価方法についても、当然この光源の歴史に対応して、燃焼光源の時代から研究・開発され、国際標準化も進められてきている。したがって、光の測定・評価技術の歴史も光源の歴史同様に長い（少なくとも150年以上）ということが出来る。

光の測定や評価についての国際標準化を推進してきた組織をCIE（国際照明委員会）という。CIEは、本部がオーストリアのウィーンにあり、現在、日本を含む世界40カ国が加盟して活発に活動を続けている。

CIEは、1913年に設立された、光の測定技術に関する国際組織であるCIP（国際測光委員会）が前身である。CIPの正式設立以前には、各国毎に研究されており、非公式に国際的連携が取られており、この時代には、ろうそくやガス灯の光の測定・評価、標準化などを推進していた。光の測定・標準化については、正式な国際組織が設立されてからでも、90年以上の年月が経過しており、光源の歴史同様に、非常に長いということができる。

したがって、光源の光特性の測定・評価方法については、古くから（ろうそくの時代から）研究され、国際標準化も進められてきた。（光度の単位である：カンデラ [cd] は、ろうそく (candle) から来ており、SI単位系が標準化されるはるか以前より、国際的に使用されてきた。）これら国際的に標準化された内容を基に、光源の光学特性を評価するための光の量と質（これらはLED光源に対しても当然適用される。）についてまとめたものを表4.2.2-1に示す。

### 4.2.3 CIEの技術開発動向

前項で述べたように、CIEは今までに光の分野に対し、数多くの成果により貢献してき



た。LED 光源にも関係する主なものは以下の通りである。

- ① 標準光観測者の目の分光応答度（通称：視感度曲線、 $V\lambda$ ）の国際標準化（1929 年）
- ② 等色関数と  $xy$  表色系（通称： $xv$  色度座標）の国際標準化（1931 年）
- ③ 国際照明用語集の制定・公布（1987 年）
- ④ 光の量（光束、光度 など）の定量評価方法の国際標準化（1983 年）
- ⑤ 光源の演色性評価方法の国際標準化（1995 年）
- ⑥ LED 光源の光特性の測定方法（2007 年）
- ⑦ 光源と光源システムの光生物的安全性評価方法（2002 年）

既に述べたように、燃焼光源や真空システム光源は長い歴史があるが、LED光源は、最初の赤色発光LEDの商品化から30年、白色LEDの開発商品化から高々 10 年しか経過しておらず、現在においても日々進化し続けているため、現時点では、必ずしも標準化が充分進んでいるとはいえない。（具体的状況については、後述する。）

以下に、これら動向の中で、光特性測定装置について、LED光源に対して重要な項目の技術動向について述べる。

#### 4.2.4 LED光源に対して重要な光特性測定装置の技術動向

##### (1) LED 光源の全光束測定技術の動向—球形光束計の改良と LED 用標準光源

一般照明用に使用する場合、光源の全光束は最も重要な量の一つである。光源の全光束値は、装置として球形光束計（積分球）と標準光源を使用して測定するのが一般的である。この方法は、もちろん LED 光源にも適用できるが、LED 光源特有の要検討点があるため、それらをまとめた LED 光源に特に適用する方法が JIS 化（JIS C 8152）されている。

図 4.2.4-1 に、球形光束計と標準光源を使用した LED 光源用の全光束測定装置の概念図を示す。供試 LED を別に準備した標準光源（JIS C 8152 に制定されている標準 LED 光源）とを置換えて、その値の比較により全光束値を算出する。

なお、JIS C 8152 に制定されているように、補助ランプを用いて供試 LED 光源の自己吸収係数を算出する。

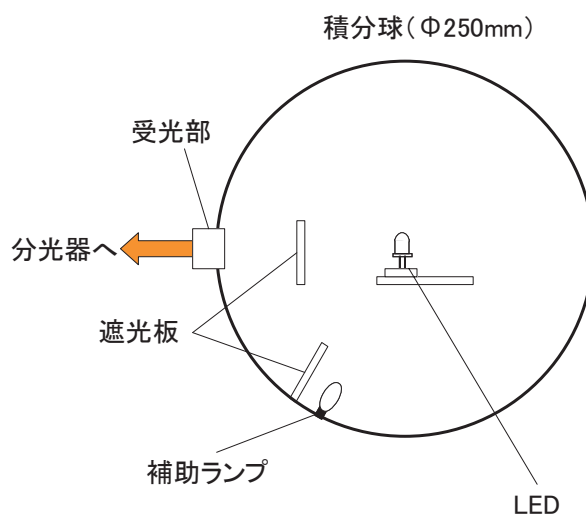


図 4.2.4-1 LED 光源全光束測定装置の概念図

## (2) LED 光源の光度測定技術の動向－CIE 平均化 LED 光度

光源の光度は、一般的には、JIS で規定されている（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。（上記の、JIS または団体規格に規定されている測定法も、この方法に依っている。）この方法は、理論的には LED にもそのまま適用できる訳であるが、LED 特有の問題点があり、実際の適用に当っては、以下に示すいくつかの要注意点がある。

- ・ LEDは、従来の光源と比較して、配光特性に方向性が強すぎることで、構造的、寸法的バラツキが大きいため、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バラつくことが多い。
- ・ 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おおきいため、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。

そこで、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 は新たな考えを導入した。それが、“平均化 LED 光度 (Averaged LED Intensity)”である。この平均化 LED 光度は、現在市販されている種々の LED の大部分のもの（実際的には、砲弾形 LED を主な対象としている）に対して、意味がありかつ再現性のある測定結果を提供するために適用することが出来る、としている。これは、LED の構造的軸を、例えば基板を基準として設定した場合、製造上のバラツキを平均化する方法を導入したもので、以下のような内容である。

即ち、LED 光度測定用受光器の前には、開口面積  $100 \text{ mm}^2$  のアパーチャーを設ける。そしてこのアパーチャー部の平均照度： $E [1\text{m} \cdot \text{m}^{-2} = 1\text{x}]$  を測定し、また、受光器と供試 LED との距離を： $d [\text{m}]$  とすると、下記の式に従って、平均化 LED 光度： $I_{\text{LED}}$  を求めるものである。

$$I_{\text{LED}} = E * d^2$$

この方法は、砲弾形 LED に対しては、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機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。

図4.2.4-2 に、CIE平均化LED光度の測定装置の概念図を示す。

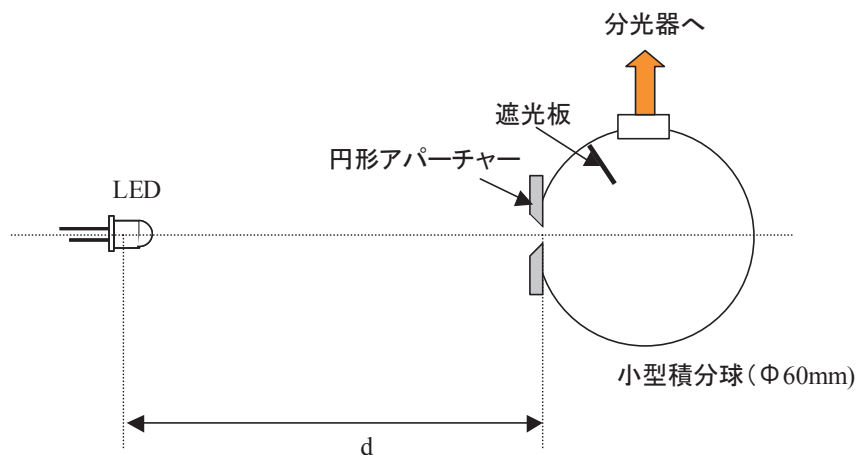


図 4.2.4-2 球形光束計を用いた CIE 平均化 LED 光度測定装置の概念図

表 4.2.2-1 照明用光源の光特性を評価するために必要な光の量と質，および定義

項目	単位	内 容	備 考	
量	光 束 (luminous flux)	lm	放射束を明所視の標準分光視感効率（標準比視感度）と最大視感効果度に基づいて評価した量。	光束（ $\Phi$ ）は次の式で表される。 $\Phi = k_{lm} \int \Phi_{e, \lambda}(\lambda) \cdot V(\lambda) d\lambda$ $k_{lm}$ ： 最大視覚効果度 (=683 [lm・W <sup>-1</sup> ]) $\Phi_{e, \lambda}(\lambda)$ ： 放射源の分光分布 $V(\lambda)$ ： 明所視標準分光視感効率
	全光束 (total luminous flux)	lm	光源が全ての方向（立体角：4 $\pi$ [sr]）に放出する光束。	
	部分光束 (partial luminous flux)	lm	光源が特定の限定された立体角の方向に放出する光束。	上半球光束，下半球光束，ビーム光束などがある。
	光源効率 (luminous efficiency)	lm・W <sup>-1</sup>	光源の全光束を，その光源の入力電力（消費電力）で除した値。	
	光 度 (luminous intensity)	cd	光源を頂点とする錐体の単位立体角当りに含まれる光束。	
	平均化 LED 光度 (averaged LED intensity)	cd	規定された面積の受光面に入射する光源の光束を，その光源が受光面を見込む立体角で除した値。その立体角内の光度の平均値を示す。	CIE 127 では，規定された面積の受光面を 100 $\pm$ 5 [mm <sup>2</sup> ] の円形の受光面としている。
	輝 度 (luminance)	cd・m <sup>-2</sup>	光を放出するか，反射している面において，単位面積，単位立体角当りに含まれる光束。	
質	分光分布 (spectral distribution)		放射の量の分光密度の波長に対する分布。	放射の量の種類により，分光放射束分布，分光放射照度分布，などという。
	光源色 (light-source color)		光源から光の知覚される色。	通常，色度座標や，色名（白色，赤色，緑色 など）で表わす。

項 目	単 位	内 容	備 考
色 度 (chromaticity)	(x, y)	心理物理色を表わす三次元の要素から光の強弱に関する次元を除いた色の二次元的性質を座標で表わしたもの。	色度は、二次元の座標（色度座標）上座標（(x, y)）として表される。
相関色温度 (correlated color temperature)	K	その放射の色度に最も近い色度を持つ黒体放射の温度。	放射の色度が黒体放射軌跡上にある時は色温度（color temperature）を用いる。
演色性 (color rendering property)		光源からの光が、照明している物体の色の見え方に及ぼす影響の一般的属性。	通常、同じ物体を、基準の光で照明したときの見え方との比較により表される。
演色評価数 (color rendering index)		CIE（国際照明委員会）により規定された演色性を表すための指数。規定の試験色について、資料光源で照明した時の色度座標の、相関色温度の等しい基準の光で照明した時の色度座標からの変化量から計算して求める。	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. CIEの規定では、規定の試験色が14種類定められており、その14種類の試験色それぞれについて計算した評価数を“特殊演色評価数”といい、量記号：<math>R1, R2, \sim R14</math>で表わす。</li> <li>2. この14種類の試験色の内、中程度の明度および彩度を持つ8種類の試験色についての特殊演色評価数（<math>R1, R2, \sim R8</math>）の平均値を“平均演色評価数”といい、量記号：<math>Ra</math>で表わす。</li> <li>3. JIS（日本工業規格）では、15番目の試験色として、“日本人の肌色”（特殊演色評価数：<math>R15</math>）を追加している。</li> </ol>

### 4.3 放熱材料

半導体用の放熱材料は、半導体パッケージとヒートシンクあるいはベース基板との間に充填され、デバイスから発せられる熱を効率的に放散する役割を果たす。求められるのは、パッケージに隣接するワークとの密着性である。放熱性を高めるため、いかに隙間をなく密着させるかが重要であり、用途に応じて液体状のグリースやゲル状製品、シートやチューブ、キャップなどの各種ゴム加工品、熱で軟化して段差のある発熱面との密着性を高められるフェイズチェンジマテリアル、粘着シートといった様々な形態で商品化されている。これまで主にパソコン用のCPU周辺に採用され市場を拡大してきたが、近年はパワー半導体やLED向けにも需要が増加してきたことで、市場成長が加速している。

放熱材料にはシリコン系とグラファイト系があるが、前者が主流で、シリコン樹脂に導電性を高めるフィラーを混合して性能を高めている。フィラーとしては、ダイヤモンドや窒化ホウ素、窒化アルミニウム、窒化珪素、銀、金、アルミニウムなどを用いるケースが多い。こうしたことから、参入メーカーは、シリコン材料をベース技術に持つ企業およびフィラー技術をベースとする企業に大別でき、それぞれ独自のアプローチで放熱特性を高める提案を行っている。また、近年はアジアを中心に海外メーカーの参入が盛んになってきた。先行してきた国内メーカーは、より高い放熱性を実現することで、付加価値の高い分野で勝負する傾向にある。

使用される製品形態としては、液体状のグリースがもっとも多い。これは、ディスペンサーを用いて塗布できるため、生産工程を自動化しやすい点が採用のしやすさにつながっているためである。フェイズチェンジマテリアルや両面粘着テープは、ラインの自動化がまだ不十分であり、材料メーカーと装置メーカーのコラボレーションによって、自動化を実現する取り組みが進みつつある。

シリコン材料技術をベースにした企業の代表格が信越化学工業である。2008年12月に、シリコンベースの熱伝導性フェイズチェンジマテリアル「PCS-LT シリーズ」を発売した。既存のオレフィン製に比べて、耐熱や耐寒性、電気絶縁性が良く、耐ポンプアウト特性に優れるといった長期信頼性を備えている。

また、2008年5月には、CPU用熱硬化型放熱グリースの開発について、(社)発明協会から発明賞を受賞した。チップとヒートスプレッダーとの間にグリース状で塗布し、熱硬化させて高い熱伝導を実現する。ベースとなるシリコンに添加する熱伝導性フィラーや架橋剤を工夫することで、高い柔軟性と安定性を実現した。そのほか、機能面では高耐電圧や電磁波ノイズ抑制タイプなどの製品も開発している。

フィラー技術に特徴を持つメーカーの代表格が電気化学工業である。高放熱性のセラミックスまたはアルミニウム基板をはじめとして、フィラーとして活用できる溶融球状シリカや窒化珪素粉末、アルミニウムとセラミックスの複合材料「アルシンク」、アクリル系素材に高放熱フィラーを混合した粘着シート「エレサーマル」、セラミックフィラーをシリコン樹脂に高密度充填した放熱シートなどをラインアップしており、信越化学と並ぶ総合メーカーとしての位置づけにある。

2009年10月には、世界最高レベルの熱伝導率を有する絶縁性の有機・無機複合材料を開発した。東北大学の阿尻教授がチームリーダーを務める「超ハイブリッド材料技術開発(ナノレベル構造制御による相反機能材料技術開発)プロジェクト」の支援を受けて開発したものである。従来の材料(4W/m・K程度)に比べて、最高で9倍(約36.2W/m・K)と、

セラミックスの一種であるアルミナ基板 ( $30\text{W}/\text{m}\cdot\text{K}$ ) 以上の熱伝導率を実現した。SiC パワーデバイスを実装する基板および熱対策材料として実用化を進める考えである。フィラーには六方晶窒化ホウ素 (h-BN) を用い、低誘電特性や低熱線膨張性、高耐熱性も兼ね備えている。

カネカは 2010 年 1 月、改質 PET 樹脂の技術をベースに、ポリエステル系樹脂と熱伝導性フィラーの組み合わせにより、電気絶縁性と熱伝導性を有する絶縁熱伝導性樹脂の開発に成功した。LED 照明用などに供給を開始している。比重が 2 以下と従来の熱伝導性樹脂やアルミ合金と比べて軽量で、従来の熱伝導性樹脂の課題であった金型や成形機の磨耗が少なく、通常の射出成形機での成形が可能である。ベースポリマーの組成を選択することで、射出成形だけでなく、押出成形が可能なタイプも開発した。得られる成形体が白色で、表面性も良好であるため、外装部材や照明用途にも展開が可能であるとともに、塗装性にも優れている。同社は、2008 年 12 月に熱拡散シート「新規グラファイトシート」を上市し、2009 年 4 月には独自の反応性オリゴマーと熱伝導性フィラーを組み合わせた「熱伝導性 RTV エラストマー」を発表しており、絶縁熱伝導性樹脂はこれらに続く第 3 弾の製品である。

住友大阪セメントは、利昌工業(株)と共同で、汎用エポキシ樹脂に比べて熱伝導率を 10~40 倍に高めた絶縁性液状エポキシ樹脂封止材「リコ・ジーマ・イナス」を開発した。販売は、技術系商社の森六ケミカルズ(株)を加えた 3 社共同で行っており、LED 関連製品などに採用実績がある。比抵抗  $10^3 \sim 10^5 \Omega \cdot \text{cm}$ 、絶縁破壊電圧  $9 \sim 16\text{kV}/\text{mm}$  という絶縁性を保ったまま、 $1 \sim 7\text{W}/\text{m}\cdot\text{K}$  という高熱伝導性を実現した。熱伝導性は、2 液タイプが最高  $7.3\text{W}/\text{m}\cdot\text{K}$ 、1 液タイプが  $4\text{W}/\text{m}\cdot\text{K}$ 。導電性フィラーには新開発した酸化アルミニウム系材料を用いており、住友大阪セメントが量産する。これを利昌工業がエポキシ樹脂と混合して製品化し、滋賀工場で量産している。

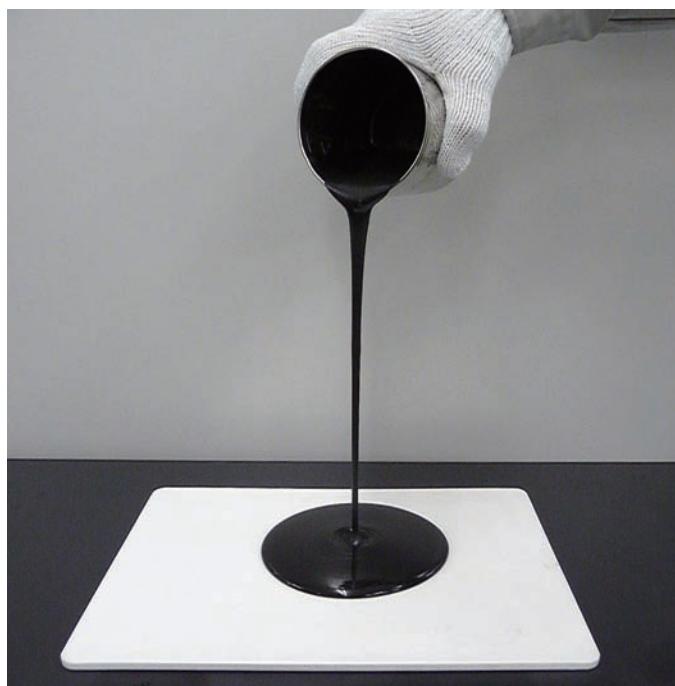


図 4.3-1 住友大阪セメントの  
絶縁性液状エポキシ樹脂

#### 4.4 蛍光体

白色 LED は、青色および紫外に発光する LED チップに蛍光体を組み合わせることで白色発光を得ている。青色および紫外の光が蛍光体を励起し、この励起光を受けて蛍光体が白く光っている。

白色 LED の種類としては、①青色 LED チップに黄色蛍光体を組み合わせたもの、②青色 LED チップに赤色および緑色蛍光体を組み合わせたもの、③紫外 LED チップに赤色、緑色、

青色の蛍光体を組み合わせたもの、の3種類に大別できる。

①は単一の蛍光体を使用するため変換効率が高く、白色LEDの大半に使用されているもっとも一般的な手法であるが、3原色のうち赤色の成分が欠けているため演色性が良くないという課題がある。②は、①で欠けている演色性を補うための手法で、主に青色LEDチップを用いて電球色を得るために使用されているが、変換効率は①に比べて若干劣る。③は、もっとも自然光に近い白色を得られる手法であるが、紫外LEDチップの出力や輝度が青色チップにまだ遠く及ばないため高輝度化が難しく、紫外光による蛍光体や周辺材料の劣化が製品寿命に影響しかねないといった課題もある。

黄色蛍光体については、日亜化学工業が強みを持つYAG（イットリウム・アルミニウム・ガーネット）蛍光体、独オスラムのTAG（テルビウム・アルミニウム・ガーネット）蛍光体、豊田合成のシリケート系蛍光体が知られている。一連の蛍光体特許は、世界の5大LEDチップメーカーといわれる日亜化学工業、豊田合成、クリー、フィリップスルミレッズ、オスラムがそれぞれにクロスライセンスし、管理することで白色LEDの普及拡大を促してきた。これら5大メーカーが、それぞれの戦略のもと、台湾や韓国メーカーに技術供与するかたちで、LEDチップ製造に参入するメーカーが増加している。なお、YAG蛍光体は、日亜化学工業がLED市場で持つシェアに連動し、もっとも一般的な手法として知られているが、発明から20年近くが経とうとしているため、2015年ごろまでに特許の有効期限が順次切れていくのではといわれている。

③でLED事業を展開しているのが三菱化学である。2008年2月に三菱電線工業およびその子会社から近紫外LEDチップの製造技術および設備を買収し、09年6月から近紫外LEDチップの量産出荷を開始した。同社は、08～10年度を実行期間とする中期経営計画「APTSIS10」で固体照明＝化合物半導体事業を7大育成事業のひとつに位置づけ、15年度に売上高1000億円を達成する目標を掲げている。このうち照明事業、材料事業でそれぞれ500億円を売り上げる予定で、GaNウエハー、蛍光体、LEDチップ、シリコン材料の4分野を手がける体制を整えた。

三菱化学は赤色蛍光体の特許を持つ。2009年4月に白色LEDおよびFPD用の蛍光体を製造する子会社、化成オプトニクス㈱を吸収合併し、一体運営によるシナジー効果で蛍光体事業をさらに強化中である。2009年9月に化成オプトニクス小田原工場内で赤色・緑色蛍光体の新規製造ラインを立ち上げ、月産200kgの能力を備え、三菱化学の筑波事業所とあわせて、月産能力を従来比3倍の300kgに高めた。需要拡大が継続しているため、2010年内に生産能力をさらに倍増する予定である。

緑色蛍光体で業績を伸ばしているのが電気化学工業㈱で、2009年10月に白色LED用サイアロン蛍光体（緑色）の販売を開始し、蛍光体事業に参入した。独立行政法人物質・材料研究機構（NIMS）が保有する基本特許のライセンスを受けて事業化したもので、液晶テレビバックライト用の白色LED向けに拡販し、デファクトスタンダードを目指す。2009年度の売上高は10億円強だったが、2010年度は堅く見積もってこの3～4倍になる見込みである。

NIMSの基本特許に、同社の窒化物系セラミックス合成技術を組み合わせて開発・実用化した。液晶テレビバックライト用蛍光体の開発は、シャープ㈱研究開発本部と共同で行った。現在、緑色蛍光体として使用されているシリケート系蛍光体は、温度上昇によって輝度が低下し、発光色が変化するという問題があった。一方、サイアロン蛍光体を用いたLED

は、温度上昇に対して輝度と色の変化が小さいため、高輝度化・高画質化しやすく、放熱設計も容易になるというメリットがある。同社では、NIMS との共同研究によって蛍光材の発光波長を制御する技術を深化させ、LED 照明に適した蛍光体開発にもめどを立てているという。

#### 4.5 拡散板、反射板

LED を照明用として使用する場合は、発光部分が小さいため、従来の蛍光灯、白熱灯等とは異なる反射材や、拡散材についての光学設計が要求される。

また、LED 光源の高出力化と高寿命化（数万時間）に伴い、高温劣化や経年劣化に対応する周辺部材の耐久性が要求される。

本章では、反射特性と拡散特性を発現する各材料の基本特性と構成を概説する。

##### (1) LED 照明器具の反射材料

LED チップから放射された光を、効率よく前面に導く為、照明装置には反射板を設置する。反射板としては、PET フィルム中に微小なボイドを発生させた発泡 PET や、白色インキを金属板等の基材上にコーティングしたものが提案されている。ここでは、反射材料としてコーティング材料としての白色インキについて、その概要を記述する。

白色インキとは、炭酸カルシウム、硫酸バリウム、二酸化チタン等白色の顔料をバインダーに分散したものである。

バインダーとは、基材への密着性、耐久性、塗工適性を考慮して、ウレタン系や、アクリル系、その他樹脂に EMK、酢酸エチル等の溶剤に溶解したものである。顔料微粒子をバインダーに添加し、ビーズミル等の分散機を使用して分散・混合して、所要のレオロジー特性を有するインキとして調整する。また、顔料とバインダー以外に、種々の添加材料を性能向上のため加えられることが多い。たとえばコーティング後に熱や UV により硬化させるための反応剤や、インキの分散安定性を増すための界面活性剤などである。

この白色コート材を、様々なコート方式を用いて基材表面上に白色層を形成する。

##### (2) 光学特性測定方法

反射板の光学特性は、文字通りその反射率を用いて評価する。物質の反射率はフレネル係数で表され、界面を構成するふたつの媒質の屈折率および、入射角で規定される。入射角と反射角が同一の光学系で測定される反射率が正反射率であり、装置の幾何学的な構成上  $5^{\circ}$  入射、 $5^{\circ}$  反射での測定が一般的である。一方反射板の表面状態に依存して、正反射成分以外の所謂拡散成分が測定されるため、反射板の光学特性はどちらの測定かを明記して実施される。拡散反射測定の光学系では積分球を用いて測定するが、積分球の中の正反射成分測定位置に光トラップを設けて正反射成分を除いて測定する場合とトラップを設けずに拡散反射に正反射を加えた反射成分総量を測定する場合がある。ここでは、島津製作所製自記分光光度計 UV3150 を使用して、拡散反射に正反射を加えた反射成分総量を測定した。

##### (3) 白インキの光学特性

番手の異なるバーコーターを使用して、インキ膜厚の異なる白色反射板サンプルを作り、その光学特性を測定した。その結果を図 4.5-1 に示す。一方、サンプルに使用したアルミ基材の拡散反射率を図 4.5-2 に示す。図 4.5-1、図 4.5-2 より、アルミニウム基材に白色



により拡散反射率は増大し、かつ白色インキの膜厚を厚くするほど、その反射率は増大することがわかる。ここに BC #10 では  $8\mu\text{m}$ 、BC #20 では  $16\mu\text{m}$ 、BC #40 では  $32\mu\text{m}$  の膜厚であった。これは、白色インキの膜厚が増大するほど隠蔽性が増大するという、隠蔽性の効果を示している。

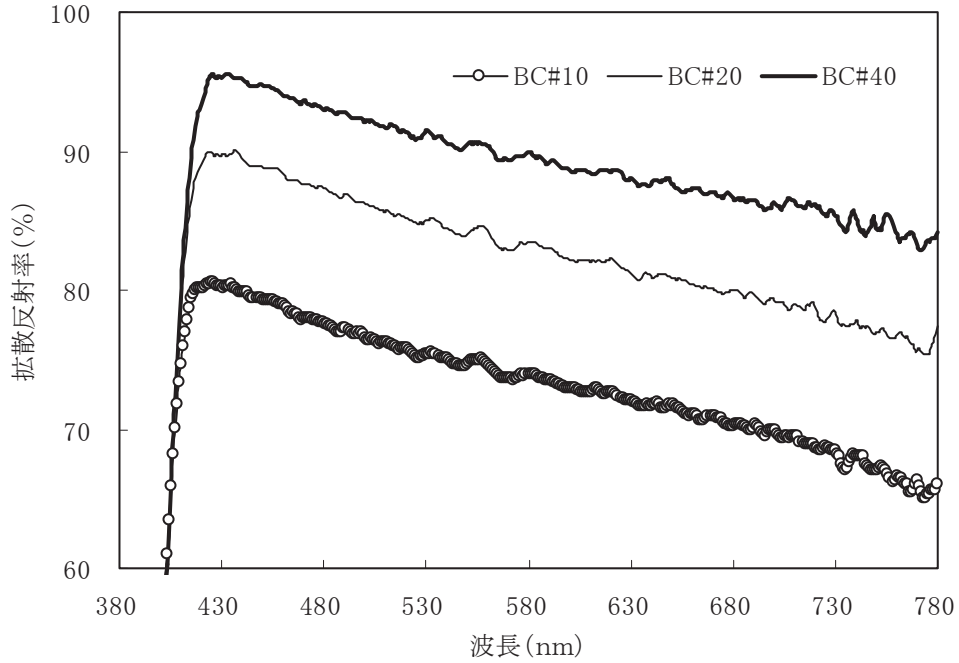


図 4.5-1 インキ膜厚の異なる白色反射板サンプルの光学特性

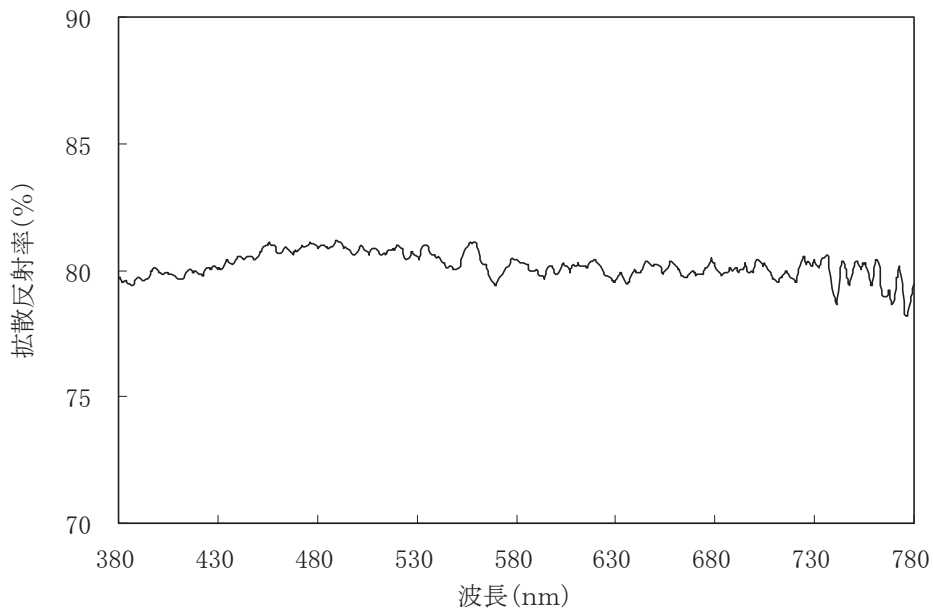


図 4.5-2 アルミ基材の拡散反射率

#### (4) 白色インキの耐久性

白熱電球や蛍光灯に比べて、LEDの動作寿命が長い為、周辺材料にも様々な耐久性が要求される。その項目一覧を表 4.5-1 にまとめて示す。

表 4.5-1 周辺材料に要求される耐久性

表面硬度	器具への加工時や、使用時にキズを残さない	鉛筆を使用した対応する硬度を指標とする。J19G3312-87 12.2.3項に準ずる。
折曲げ試験	折り曲げ部分の亀裂、塗膜の剥離の程度。	折り曲げ角度90° や、完全に折り畳んだ180° の折り曲げ部分を目視、あるいはセロテープ剥離で見る。
衝撃試験	一定の高さから鉄球を落として、欠損や剥離がない。	JIS G3312-87 12.2.4項に準じて試験を行う。
耐熱性試験	高温下に置かれた時の変色や密着性の低下がない。	80～130℃のオープンに300～1000時間以上放置して、変色や基盤目試験を行う。
耐塩水噴霧試験	塗膜層・端面にチヂミ、ヒビ、ワレ、剥離、著しい変退色が生じたか調べる。	JIS K2371 による。(5% NaCl 35±2℃ 500時間)
耐水試験	塗膜層にチヂミ、ヒビ、ワレ、剥離、著しい変退色が生じたか調べる	40℃ 1000時間浸漬
耐溶剤試験	洗浄乾燥後、表面の変色、剥離、膨潤等を確認。エチルアルコール、メチルエチルケトン、トルエンなど。	試験片を約半分溶剤に24時間浸漬する。(20℃)
耐光性試験	光による表面の退色、変色などの劣化の程度を調べる。	太陽光に擬した高強度ランプ近傍にて暴露して、劣化を促進させて調べる。JIS K 5400など。

#### (5) 拡散板材料

平均粒径 10 $\mu$ mのアクリル微粒子フィラーを、透明樹脂製のバインダーに分散させ、拡散板用インキを作製した。アクリル微粒子フィラーの添加量を0.80重量%、1.15重量%、2.5重量%と変化させた拡散板用インキを作製し、PETフィルム上にバーコーターで塗布して拡散板を作った。

#### (6) 拡散性能の評価方法

拡散板の性能は、JIS-K7374 に規定されている透過鮮明度により、評価した。これは、変調伝達関数 (MTF) と同等のもので、媒体 (ここでは拡散板) による入力画像のひずみ具合を評価する量である。スガ試験機株式会社製写像性測定器 ICM-1T で測定した。

#### (7) 評価結果

アクリル微粒子フィラー添加量の異なる拡散板用インキを PET フィルム上に塗布して作製した、拡散板の透過鮮明度を測定した。その結果を図 4.5-3 に示す。フィラーの添加

量の多いインキを使用した拡散板の方が透過鮮明度が小さくなり、入力画像の歪が大きいことが分かる。

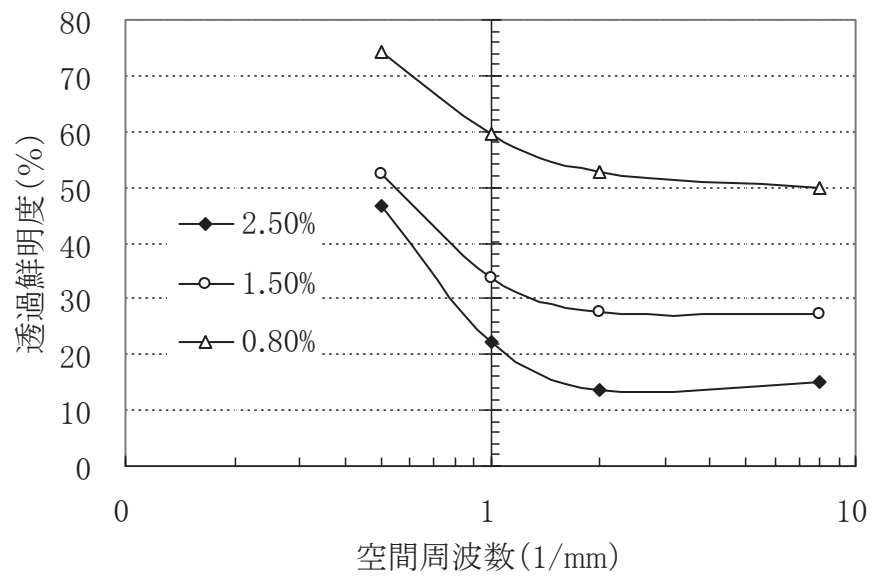


図 4.5-3

すなわち、図 4.5-4 に模式的に示すように、点光源である LED の輝度ムラが緩和される。

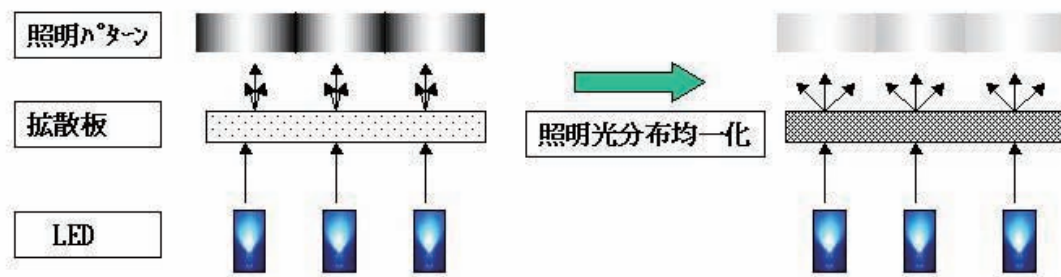


図 4.5-4

まとめ

LED 周辺技術として、反射板や拡散板の基本的な設計の考え方を光学的な観点から概説した。当然実際の設計に際しては、形状やコストなどの様々制約を勘案しながら、最適な周辺材料を設計しなければならないことは言うまでもない。

#### 4.6 封止樹脂

LED用の封止樹脂には、これまで主にエポキシ樹脂が用いられてきた。エポキシ樹脂は、今後も既存のLED（赤色や橙色、緑色など）向けに底堅い需要が見込めるが、白色LEDが高輝度・高出力化し、照明用途を開拓・拡大してきたことに伴い、エポキシに代わってシリコン樹脂の需要が伸びている。エポキシ樹脂は、シリコン樹脂よりも成形性や硬度において優れるが、青色LEDに含まれる紫外線や発光時の発熱によって黄変してしまうためである。黄変が起きると、これが光を吸収するため、結果としてLEDの輝度低下を招く。よって、現在そして今後商品化される高輝度白色LEDの大半は、封止樹脂にすべてシリコン樹脂を採用する流れにある。

半導体産業新聞の調べによると、LED用シリコン樹脂市場は2007年度に年間約30億円であった。2008年度は、業界をリーマンショックの衝撃が襲った影響で35億円程度と伸び悩んだが、09年度は50億～60億円まで拡大したとみられる。LEDにおけるシリコン樹脂の需要量はエポキシ樹脂に比べてまだまだ微々たるものであるが、kgあたりの単価がエポキシ樹脂に比べて数十倍高価なため、2007～2008年度に金額ベースでほぼ同等、2009年度にはシリコン樹脂がエポキシ樹脂を上回ったと推定される。

白色LEDの輝度が100ルーメン/Wに到達し、一般照明向けに高輝度LEDのニーズが開花したことに加え、韓国サムスンが液晶LEDテレビを商品化し、この拡販に向けてLEDへ巨大投資を敢行中であることが起爆剤となっている。サムスンに刺激されるかたちで、国内メーカーも液晶LEDテレビの商品企画を加速している。並行してノートPCや液晶モニターのLEDバックライト搭載比率も向上しており、シリコン樹脂市場の拡大を遮る要因はどこにも見当たらない。富士キメラ総研は、LED用封止材市場（シリコン樹脂以外も含む）が2013年には2008年比3倍の277億円まで拡大するとの予測を発表している。

かくいうシリコン樹脂も万能ではない。性能向上に対する要望はまだ多いのが実情である。

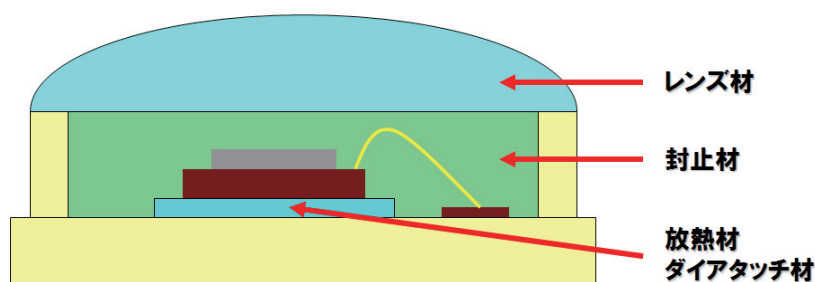


図 4.6-1 LEDパッケージにおけるシリコン封止樹脂の採用部位

そのひとつがガス透過性の低減である。白色 LED パッケージには、光取り出し効率を高めるため、パッケージの底部や側面に銀めっきが施されているのが一般的だが、ガスの透過によってこれが黒く変色し、輝度低下を招く。また、シリコン樹脂はエポキシ樹脂に比べて密着性が低く、プライマーやバインダーでこれを高めているケースもある。

蛍光体の分散性や粘度の最適化も不可欠である。LED を照明に適用する場合、色ばらつきが大きな問題になるが、「シリコン樹脂内での蛍光体の分散および硬化するまでの蛍光体の沈降速度によって、色ばらつきが大きくなる」(LED メーカー幹部)という。

さらに、LED の製造コストを低減するため、最近では封止やレンズ一体形成にコンプレッションモールド、トランスファーモールドといった一括封止技術を用いるケースが増えており、シリコン樹脂には高硬度化が必要とされる。

こうした条件をクリアすることはもちろん、150~170℃といわれるパワーLED のジャンクション温度にさらされても劣化しない耐熱性・耐光性を兼ね備えていなければならない。シリコン樹脂は高熱にさらされ続けると肉減りする場合がある。また現在は、価格よりも性能向上を強く求められているが、照明用途を開拓していくなら、価格低減への努力も必要不可欠である。

高い成長性を背景に、参入メーカーも増加している。三菱化学、住友スリーエム、ADEKA、NUSIL、NYE ルブリカント、カネカ、旭化成ワッカーシリコン、モメンティブ・パフォーマンス・マテリアルズなどが活躍しているが、世界市場でダウコーニング(国内は東レ・ダウコーニング)、国内では信越化学工業のシェアが他を圧倒している。このほか、少量ながら単価の高いビジネスに魅力を見出し、新規参入を検討している化学メーカーが国内だけで複数あるといわれている。

ちなみに、LED 用エポキシ樹脂のメーカーとしては、サンヨレック、ダイセル化学工業、日東電工、ファインポリマーズ、独ヘンケル、日本化薬、三洋化成工業、ペルノックスらが知られている。

#### 4.7 チップ製造装置

LED のチップ製造工程では、サファイアや SiC のウエハー上に発光層となる金属薄膜を成膜する MOCVD (Metal Organic Chemical Vapor Deposition=有機金属気相成長) 装置および MBE (Molecular Beam Epitaxy=分子線エピタキシー) 装置、形成したチップを個片化するために切れ目を入れるスクライブ装置(ダイシング装置とも言う)、切れ目を入れたチップを分断するブレーキング装置などが用いられる。

成膜装置では、MBE は非常に緻密な成膜が可能で知られるが、成膜速度や量産性といった点で MOCVD に劣るため、LED の成膜工程では MOCVD を量産に用いるケースがほとんどである。LED 用の MOCVD 装置は、量産用機を提供しているメーカーが独アイクストロン、米ビーコ・インスツルメンツ、大陽日酸の 3 社しかなく、独米の 2 社で世界シェアの 90% を握っている。LED チップの需要増加に伴い、MOCVD 装置メーカーには大量の発注が世界中の LED チップメーカーから寄せられており、供給が非常にタイトな状況が続いている。

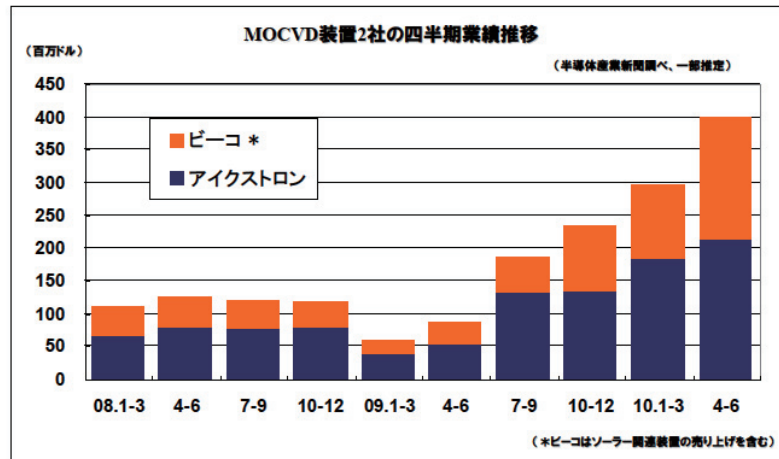


図 4.7-1 MOCVD メーカーの業績推移

半導体産業新聞の調べによると、2010年4～6月期のMOCVD装置メーカー2社(独アイクストロン、米ビーコ・インストルメンツ)の売上高は、前四半期に比べて36%増加し、4億ドルまで上昇した。前年同期に比べて約5倍、過去最低だった09年1～3月期に比べて約7倍の規模に相当する。受注残などを見る限り、業績はさらに高まる可能性が高く、好調が続きそうである。また、有望な市場を見越して、半導体製造装置で世界最大手の米アプライドマテリアルズ、製造装置の国産化政策の後押しを受けている韓国ジュスンエンジニアリングが新規に参入し、事業拡大に着手している。

MOCVD装置は、サファイアウエハーの大口徑化に伴い、これまで主流だった2インチ、3インチ対応機から4インチ対応機へ主力がシフトしつつある。すでに6インチ対応機もリリースされており、6インチウエハーの供給が潤沢になれば、さらに大型化が進むことが確実である。一方、MBEは、2000年に米RFマイクロデバイセスが携帯電話向けの電子デバイスの量産用に採用するなどして市場が急拡大したが、最近は目立った投資はない。年間の出荷台数は30～50台で推移しており、シェアはビーコ・インストルメンツと仏リベールの2社が分け合っている。

スクライプ装置(ダイシング装置)については、レーザー装置の需要が拡大している。スクライプ工程は従来、職人がダイヤモンドソーを用いて切れ目を入れるケースが大半だったが、こうした職人が少ない台湾でLEDの生産が活発化したのに伴って自動化ニーズが高まり、レーザースクライプが広く普及した。現在、台湾ではほとんどがレーザー装置を用いており、国内でも量産性の観点から導入が加速しつつある。

レーザースクライプのなかでも、(株)ディスコが展開している「ステルスダイシング技術」の評価が高まっている。レーザースクライプは、量産性に優れる反面、レーザーの熱でGaN薄膜(LEDの発光層)が変質してしまう可能性があり、特に高輝度が求められるLEDではチップの性能を下げたしまい、結果として歩留まりを損ねるケースがあった。これに対してステルスダイシング技術は、サファイアウエハーの内部にレーザーの焦点を合わせ、ウ

エハラの内部に切れ目を入れることができるため、ウエハラ表面に形成した GaN 薄膜を変質させることができなく、高輝度 LED のチップ性能を保つことができる。浜松ホトニクスが開発した技術をディスコが装置化し、世界中の LED チップメーカーから高い評価を受けており、ディスコが同分野で躍進する原動力になっている。

ちなみに、ディスコ以外の参入メーカーとしては、液晶ガラス基板分断装置大手の三星ダイヤモンドの子会社、レーザーソリューションズがある。

ブレーキング装置の需要も、LED チップの生産拡大に伴って伸びている。スクライブ工程で切れ目が入ったサファイアウエハラに裏面から圧力をかけて割る方式が一般的に採用されており、技術トレンドとしては、いかに小さい切れ目であっても綺麗に分断できるかがテーマになっている。

業界首位は半導体商社のダイトエレクトロン(株)とみられ、台湾などの海外市場を含め 3 桁の出荷実績を誇っている。グループ会社のダイトロンテクノロジー(株)が装置の製造を担当している。通常はウエハラ厚みの 3 分の 1 の溝 (スクライブ深さ) がないとウエハラは割れないが、当社の装置は 4 分の 1 の深さでもブレーキングできるのが特徴だという。同社のほかに、(株)オプト・システムやテクダイヤ(株)などが参入しているほか、(株)US メックが台湾 HTA 社製の 4 インチウエハラ対応フルオートブレーキング装置を国内に紹介している。台湾ではすでに 60 台の納入実績がある。

このほか、今後伸びが見込める装置として、レーザーリフトオフ装置がある。照明用に LED の採用機会が増えるにつれ、光取り出し効果や放熱効果、熱伝導性を最大化するため、サファイアウエハラから GaN 発光層を剥がし、この薄膜 GaN をサファイア以外の支持基板へ載せ換えるケースが増えている。同装置は、この剥離工程で使用される。

LED レーザーリフトオフ装置では、米 JPSA 社の「ChromaLift」が業界標準になっている。国内には伯東(株)が紹介している。サファイアウエハラ側から GaN 薄膜との界面に UV パルスレーザーを照射し、エピ膜を剥離できる。すでに国内へ数台の納入実績がある。JPSA は、レーザーリフトオフ工程に関する量産向けの特許を保有している。一方で、レーザーリフトオフに関する基本特許は、米カリフォルニア大学バークレー校と独シーメンスが有しており、同プロセスをチップメーカーが量産に採用するには、こうした特許の相関関係を整理しておく必要があるという。

#### 4.8 その他 (放熱基板、LED ドライバー IC)

LED アプリケーションの拡大に伴い、注目を集めているのが高放熱基板である。LED はほぼ半永久的に光り続けるが、この寿命を左右するのは発熱量が最高になるジャンクション温度をいかに管理するかという点である。温度が上昇しすぎると、LED 内部の結晶はもちろん、蛍光体や樹脂、はんだなどの周辺部材の劣化を早めるため、消費電力や熱抵抗を下げることが不可欠である。これを実現する手法のひとつとして、LED パッケージの実装に高放熱基板を用いるケースが増加しており、LED の性能を維持するためのキーパーツになりつつある。

LED 用の高放熱基板として、もっとも利用されているのがアルミ基板である。アルミのベース基板に樹脂付銅箔を貼り合わせたアルミ CCL を利用して製造され、液晶 TV 用 LED バックライト向けや LED 照明用の基板として利用されるケースが増加している。アルミ CCL の最大手は日本理化工業所(株)。需要の拡大で 2009 年 9 月期の売り上げは 20%増収を記録

し、2010年9月期はさらに20%増収を見込む。2010年4月からは、液晶TV用バックライト向けのLED生産が伸びている台湾で委託生産も開始した。日本からプリプレグを送り、台湾で積層プレスを行うという流れで、これにより国内の自社生産拠点である栃木事業所とあわせた生産能力は現状に比べて約2倍に高まった。日本理化学工業所(株)に次ぐメーカーとして日東シンコー(株)がある。

ニッパツ(株)も金属ベースをコアとしたプリント配線板(アルミ基板、鉄基板など)に強みを持つ。同社の放熱基板の特徴は、絶縁材料や銅箔を外部調達してくるものの、ユーザーニーズに合わせて自社内で銅張積層板の製造からパターン形成までの一貫生産が可能なことである。生産拠点として、アルミを中心にマザー工場の位置づけとして機能している駒ヶ根工場と、量産拠点として鉄基板をメインに生産しているマレーシア工場を持つ。

電気化学工業(株)も大手の一角である。放熱基板として、アルミベース上に高熱伝導絶縁層と銅箔を形成し、エッチングで回路を形成する「HITTPATE(ヒットプレート)」を手がけているほか、窒化アルミベースの高熱伝導性セラミックス基板「デンカANプレート」、窒化珪素ベースの「デンカSNプレート」も製品化している。生産は、原料粉体およびAN/SNプレートが大牟田工場、ヒットプレートが渋川工場である。また、将来的にメタル基板から樹脂基板へ置き換わる可能性があることを考慮し、2007年6月にダイワ工業(株)と合弁会社「デンカAGSP(株)」を設立した。また、LEDパッケージ用樹脂系放熱基板の事業にも乗り出している。

2010年で設立2年目を迎える新生プリント基板メーカー、TSS(株)も存在感を増している。同社は、シンワフロンテック(株)と三光電機工業(株)の事業譲渡により設立された。シンワフロンテックが持っていた特殊用途基板の技術力と、三光電機が持つ一般基板の技術力を組み合わせ、①特殊基板の開発から量産ビジネス、②少量多品種の短納期試作から小中ロット量産ビジネス、の2つを事業の柱と位置づけている。なかでも特殊基板に傾注していく考えで、メタル基板分野では、メタルベース基板、メタルコア基板の双方をラインアップしている。アルミ・銅の双方から選択可能なメタル基板は、銅ベース基板において大手LEDメーカーから開発要請が来ているという。

メタルコア基板の老舗と呼べるのが太陽工業(株)である。主力は、ハイブリッドカーや電気自動車の放熱対策に対応した大電流基板であるが、LED向けとして、発熱するチップの真下に銅インレイ(銅チップの埋め込み)を配置することで効率的に放熱が可能な放熱基板を開発した。利昌工業(株)は、LED向けのプリント基板材料として、約10年前からエポキシ樹脂をベースとしたチップLED用白色プリント基板材料を販売している。2009年11月には、シリコン樹脂をベースとしたタイプ「CS-3975」を開発・



図 4.8-1 メタルコア基板

発売した。DOWA メタルテック(株)は、パワーモジュール用の銅張り窒化アルミ基板、銅張りアルミナ基板、アルミ張り窒化アルミ基板が主力であるが、窒化アルミ粉末の生産で世界トップの(株)トクヤマと合弁会社「TD パワーマテリアル(株)」を設立し、ベースとなる窒化ア



ルミ基板から内製化している点で注目される。

最近では、旭硝子(株)が高出力照明用 LED パッケージ向けに、高輝度化と高耐久性を兼ね備えたガラスセラミックス基板を発売した。ガラスフリットにセラミック粉やフィラーを混合した材料をフィルム状に成型し、これを熱プレスで積層したのち 900℃前後で焼成したものである。成型性に優れるため複雑なキャビティー構造を実現でき、アルミナ基板を上回るレベルの放熱性を持つ。AGC エレクトロニクス台湾に新工場を建設し、2010 年 7 月から本格量産を開始した。

また、LED ドライバー IC も注目製品のひとつだ。世界の半導体メーカー約 40 社が製品化しているとみられ、国内勢ではシャープやローム、リコー、東芝、新日本無線、ソニーなどが参入している。LED 照明製品の調光対応、バックライトに使用する LED アレイの点灯制御、LED の寿命を維持するための温度管理といった重要な要素を LED ドライバー IC が担っており、まさしくドライバー次第で LED の性能や寿命が大きく左右されるといっても過言ではない。例えば、携帯電話に使用される 10V、50mA の LED と、照明に搭載される 100V、1A の LED では、必要とされるドライバー IC は大きく異なる。それぞれの用途に応じた最適なドライバー IC が必要とされるため、LED のアプリケーション拡大に合わせて、ドライバー IC のラインアップも当面は拡大していくと思われる。

## 第5章 LED照明機器の主な課題

### 5.1 照明品質基準

照明用光源、照明器具および照明制御装置などは、人間の光環境を構成する重要要素である。人間が生活するに当って、その光環境は人間にとって快適で過ごしやすいことが必要であることは言うまでも無い。したがって、光環境を構成する環境要素は、必要な要件を具備していることが求められ、そのための基準が作成されている。

最近、LED光源の性能・品質が向上し、光環境を構成する要素としても広く使用されるようになってきた。LED光源が光環境に使用される場合は、従来の白熱電球、蛍光灯、HIDランプなどの真空システム光源と同様に、光環境に必要な要件を具備していることが求められることは当然であるが、LED光源は、固体光源であり、従来の真空システム光源とは、構造や発光機構が大きく異なっているため、光環境の質を向上させる上で、LED光源に特有の要件が検討され、それに対応した基準が作成されている。

これらの光環境のための照明機器の品質基準は、普遍性と普及性を広く保持するために、色々な水準において標準化され、その標準化した内容がドキュメント（規格と呼ばれる）として発行されている。表5.1-1に、現在日本において適用されているLED光源に関連する品質基準についての規格類を一覧表にまとめたものを示す。

表 5.1-1 現在制定公布されている主要 LED 関連規格（表題（又は適用範囲）に LED が含まれている規格）一覧表

分類	規格番号	発行年	規格表題	内容区分	
国際規格	ISO	ISO 13207-1	DIS (2010年) Road vehicles - LED lamp characteristics for bulb compatible failure detection -Part 1: LED lamps used for direction indicator and stop lamps (自動車用機器-電球置換 LED ランプの非互換性検出-第1部 方向指示灯と停止指示灯)	機械的安全性	
	IEC	IEC 60838-2-2	2006年	Miscellaneous lampholders-Part 2-2: Particular requirements-Connectors for LED Modules (各種ランプホルダー-第2-2部: 特有の要求事項-LED モジュール用コネクタ)	機械的安全性
		IEC 61347-2-13	2006年	Lamp controlgear-Part 2-13: Particular requirements for DC or AC supplied electronic controlgear for LED module (ランプ点灯回路-第2-13部: LED モジュール用 DC または AC 電源回路特有の要求事項)	電気的安全性
		IEC 62384	2006年	DC or AC supplied electronic controlgear for LED modules-Performance requirements (LED モジュール用 DC または AC 電源回路-性能に関する要求事項)	性能
		IEC 62031	2008年	LED modules for general lighting-Safety specifications (一般照明用 LED モジュール-安全要求事項)	安全要求事項
		IEC 62471	2006年	Photobiological safety of lamps and lamp systems (光源と光源システムに関する光生物的安全性)	光生物的安全性
		IEC 62471-2	2009年	Photobiological safety of lamps and lamp systems - Part 2: Guidance on manufacturing requirements relating to non-laser optical radiation safety (第2部: 非レーザー性光源システムの放射の安全性に関連して製造者が遵守すべき要求事項に対する指針)	光生物的安全性
	CIE	CIE 127-2	2007年	Measurement of LEDs (LED の光特性の測定)	測定方法
		CIE S 009/E	2002年	(= IEC 62471)	光生物的安全性
	JIS 規格	JIS	JIS C 5950	1997年	光伝送用発光ダイオード通則
JIS C 5951			1997年	光伝送用発光ダイオード測定方法	測定方法
JIS C 8152			2008年	照明用白色発光ダイオード(LED) 測光方法	測定方法
TS C 8153			2008年	照明用白色 LED 装置性能要求事項	製品仕様
JIS C 8153			2009年	LED モジュール用制御装置-性能要求事項	製品仕様
JIS C 8154			2010年	一般照明用 LED モジュール安全仕様	電気的安全性
JIS C 8159			2011年	ランプ及びランプシステムの光生物的安全性	光生物的安全性
(日本の) 団体規格	JEITA*	EIAJ ED-4901A	1996年	LED 及びフォトカプラ用語	専門用語
		EIAJ ED-4912	2008年	発光ダイオード	製品仕様
	JELMA**	JEL 800	2010年	電球形 LED ランプの形式付与方法	製品仕様
		JEL 801	2010年	L 形口金付直管形 LED ランプシステム (一般照明用)	製品仕様
	JLA***	JIL 5006	2010年	白色 LED 照明器具性能要求事項	製品仕様

[注] \*JEITA: (社)電子情報技術産業協会 \*\*JELMA: (社)日本電球工業会 \*\*\*JLA: (社)日本照明器具工業会

[by K. Kohmoto, on 31-10-10]

## 5.2 標準化 (standardization)

前項において、産業の振興過程において標準化が行われることを述べたが、本項において、標準化の重要性について、LED を視野に入れながら、簡単に触れておきたい。

標準化 (standardization) とは、“‘標準’を設定し、これを活用する組織的行為”のことをいう。ここでいう‘標準 (standard)’というものは、“関係する人々の間で利益又は利便が校正に得られるように、統一・単純化を図る目的で定めた一種の取決め”のことをいう。日本では、企業内で使われる標準は物品に関する対象、基本的な事項は‘規格’と呼ばれることが多く、製造現場の作業や事務などの人の動作をとりあげている場合は‘標準’、また、企業内で行われている種々の業務については‘規定’としてまとめられている場合が多いようである。

### 5.2.1 標準化の対象

標準化の対象となるものには、次のようなものがある。

- ①製品またはこれらに使用される材料や部品の物理的・化学的性質。例えば、ネジの寸法、食品中の添加剤の量など。
- ②製品や機械の性能、又は人の能力。例えば、照明器具の照度、建築士の能力など。
- ③人や機械の活動の場における物の配置や状態。例えば、中央制御室のメーターやボタンの位置、交通標識の表示内容など。
- ④仕事の手順・内容。例えば、ハンダごての使い方、年次休暇の取り方など。
- ⑤職務上果たすべき役割、及びそのために必要な決定権。例えば、製品の出荷を停止する責任と権限を持つのは誰かなど。
- ⑥考え方及び概念。例えば、品質に関する用語など。
- ⑦記号及びそれらの使用方法、並びに図表・文書の様式。例えば製造記号、危険物表示、規格や標準の様式など。
- ⑧測定で仕様する単位。

例えば、SI 単位系 (国際単位系) では、長さに対するものにメートル (m)、質量に対するものにキログラム (kg) を使うことが決まっている。

### 5.2.2 産業における標準化の役割

標準化が産業の場で果たす役割には次の 4 つがあると考えられる。

#### ①互換性

異なった場所や時に作られた物やその評価結果を手直しすることなくそのまま使用することが可能となる。これは製品が故障した時の交換修理や売買取引時の受入検査を考えた場合、極めて重要となる。

#### ②思考・情報伝達の省略

どちらかに決めれば良いにもかかわらず決まっていなかったことによって決定や調整が必要となり、効率が悪くなる場合も少なくない。交通規則と同じで、決めることで個人の自由は多少制限されるが、全体の効率は向上し、結果的に個人の活動も促進されることとなる。

#### ③信頼性・安全性の確保

押さえるべき箇所を明確にすることによりトラブルを未然に防止することが出来る。この場合、単に決めておくだけでは不十分で、その内容に技術的な必然性があること

が重要である。

#### ④改善の支援

標準化されていないと、仕事の内容が人によってばらばらで、時々で変わってしまうため、発生した問題を仕組みや技術の悪さとして把握することが困難となり、改善が進まなくなる。

### 5.2.3 標準化の体系

標準化のための活動は、関連する人々及び適用範囲の広さにより、大きく次の6つに分けることができる。

#### ①国際的標準化 (International Standardization)

世界中の国々が、条約・協定に基づき、又は同意し、協力して進めるもの。例えば、ISO(国際標準化機構)、IEC(国際電気標準会議)、OIML(国際法定計量機関)の活動など。

#### ②地域標準化 (Regional Standardization)

経済的・地理的・政治的に密接な関係をもつ特定の国々又はその国の関係団体が、協定に基づき、又は同意し、協力して進めるもの。例えば、CEN(欧州標準化委員会)やCENELEC(欧州電気標準化委員会)の活動など。

#### ③国家的標準化 (National Standardization)

一国の中の、製造業者・サービス業者・需要者・販売業者・行政官・研究者など、関係者が法律に基づき、又は同意し、協力して進めるもの。例えば、BS(イギリス規格)、NF(フランス規格)、JIS(日本工業規格)など。

#### ④団体標準化 (Association Standardization)

1つの学会・協会・業界団体などで、それらの団体に所属する会員が協力して進めるもの。例えば、ボイラー・原子力容器に関するASME規格、製品の安全性に関するUL規格など。

#### ⑤社内標準化 (Company Standardization)

1つの企業の内部で進めるもの。

#### ⑥官公庁標準化 (Governmental Standardization)

政府機関が、物品・サービスの調達において進めるもの。例えば、アメリカの軍によるMIL規格など。

表 5.2-1 標準化の体系といろいろなレベルでの規格例

レベル	国、地域	略号	名称(規格又は機関)	対象分野
国際標準 (国際規格)		ISO	国際標準化機構	電気・電子技術以外
		IEC	国際電気技術標準会議	電気・電子技術の全分野
		ITU	国際電気通信連合	電気通信技術全分野
		CIE	国際照明委員会	光と照明の技術全分野
地域標準 (地域規格)	ヨーロッパ	CEN	ヨーロッパ標準化委員会	電気・電子技術以外の全分野
		CENELEC	ヨーロッパ電気標準化委員会	電気・電子技術の全分野
国家標準 (国家規格)	アメリカ	ANSI	アメリカ国家規格	建築、機械、電気、電子など
		MIL	アメリカ軍規格	政府、軍関係 (国防総省)
	カナダ	CSA	カナダ規格協会	建築、機械、電気、電子など
	ドイツ	DIN	ドイツ国家規格	産業の全分野
	イギリス	BS	イギリス国家規格	産業の全分野
	フランス	NF	フランス国家規格	産業の全分野
	日本	JIS	日本工業規格	鉱工業全般
		JAS	日本農林規格	農産物、林産品、加工品など
韓国	KS	韓国工業規格	鉱工業全般	
団体標準 (団体規格)	アメリカ	NEMA	アメリカ電機工業会	電気、電子
		ASTM	アメリカ材料試験規格	材料の選択基準、試験方法
		ASME	アメリカ機械学会	ボイラー、ポンプなど
		IEEE	アメリカ電気・電子学会	電気電子、部品、コンピュータ
		IESNA	北米照明学会	光と照明の技術全分野
		UL	アメリカ保険業者試験所	災害・危険防止、安全規格
	ドイツ	VDE	ドイツ電気技術者協会	電気器具の安全規格
	日本	JEITA	電子情報技術産業協会	電気電子情報産業全般
		OITDA	光産業技術振興協会	光産業全般
		JELMA	日本電球工業会	光源産業全般
		JLA	日本照明器具工業会	照明器具産業全般
JLEDs		LED 照明推進協議会	LED 産業全般	

#### 5.2.4 LEDに関する国際標準

現在 LED に関連する事項を取扱っている国際 (全世界を対象とする) 標準化機構の代表的なものは、表 5.2-1 に示した中の、以下の 3 組織である。

- ① ISO (International Standardizing Organization、国際標準化機構)
- ② IEC (International Electrotechnical Commission、国際電気技術標準会議)
- ③ CIE (Commission Internationale de L' Eclairage、国際照明委員会)

これらの構成は、いずれも、他の分野の国際組織 (例えば国際オリンピック組織委員会) と同様である。すなわち、構成員になることを希望する国 (または地域) は、その所轄する国内や地域内において母体となる組織 (国内委員会 (National Committee) と称する) を造り、その母体組織がそれぞれの国際組織に加盟して構成員となる。その母体組織は、対象となる国または地域において、その関連する事項について、すべてを代表し、且つ唯一の組織であることが必要である。

以下に、これらの 3 組織の中で、光の最も関連の深い CIE についての活動の現状を簡単にまとめておくこととする。

## 5.2.5 CIE とその活動

### ① CIE の現状

- ・本部事務局： ウィーン市（オーストリア）
- ・創 立： 1913 年
- ・加盟している国数（国内委員会数）： 32 ヶ国（日本も加盟している）
- ・制定公布した規格（ISO 規格）数： 180 件
- ・活動している部会（Division）数： 7
- ・活動している技術委員会（TC）数： 150
- ・活動領域

照明および光の技術（・産業）分野における下記の諸項目・諸活動。

- (a) 国際標準化
- (b) 光の基準と標準制定
- (c) 国際的技術相談と技術勧告、技術声明など

### ② 今までの CIE の主な活動成果（主として LED 関連）

CIE が、今までに光と照明の分野に対し、数多くの活動成果により貢献してきた。LED 光源にも重要に関係している主なものは以下の通りである。

- ・標準光観測者の目の分光応答度（通称：視感度曲線、 $V_{\lambda}$ ）の国際標準化（1929 年）
- ・等色関数と  $xy$  表色系（通称： $xv$  色度座標）の国際標準化（1931 年）
- ・国際照明用語集の制定・公布（1987 年）
- ・光の量（光束、光度 など）の定量評価方法の国際標準化（1983 年）
- ・光源の演色性評価方法の国際標準化（1995 年）
- ・LED 光源の光特性の測定方法（2007 年）
- ・光源と光源システムの光生物的安全性評価方法（2002 年）

## 5.2.6 LED に関する標準化の動向

既に述べたように、LEDは、最初の赤色発光LEDの商品化から30年、白色LEDの開発商品化から高々 10 年しか経過しておらず、現在においても日々進化し続けているため、現時点では、従来の白熱電球、蛍光灯、HIDランプなどの真空システム光源に比べて標準化が充分進んでいるとはいえない。したがって、現在制定・公布・発行されている各種規格の中で、LED に特に注目して制定・公布されたもの（規格書の表題や規格書の適用範囲（scope）に“LED”が含まれているもの）は、国際規格および日本における団体規格については、表5.1-1に示した通りである。

また、表5.2-2には、適用がLED のみに限定されるものではないが、LED 産業推進上重要に関連している（引用されたり、参考にされたりすることが多い）諸規格のうちの主なものをまとめたものを示す。

表 5.2-2 現在制定公布されている LED に関連する諸規格

分類	規格番号	発行	規格表題	内容区分		
国際規格	IEC	IEC 60825	Safety of laser products (レーザー製品の安全性)	光生物的安全性		
		IEC 60050-845	International electrotechnical vocabulary、 845: Lighting (国際電気技術用語 845 章: 照明)	専門用語		
	CIE	CIE 84	1989	Measurement of luminous flux (光束の測定)	測定方法	
		CIE 13.3	1995	Method of measuring and Specifying color rendering properties of light sources (光源の演色性評価方法)	測定・評価方法	
		CIE 15.2	1986	Colorimetry、 2 <sup>nd</sup> edition (測色、第2版)	測定方法	
		CIE18.2	1983	The basic of physical photometry、 2 <sup>nd</sup> edition (物理測光の基礎、第2版)	測定方法	
		CIE 70	1989	The measurement of absolute Luminous intensity distribution (絶対光度分布の測定)	測定方法	
		CIE 121	1996	The photometry and goniophotometry of luminaries (照明器具の測光とゴニオ測定)	測定方法	
	国内規格	JIS	JIS C 1609	1983	照度計	測定器
			JIS C 7526	1974	光度標準電球 (一般用)	製品仕様
JIS C 7607			1962	測光標準用蛍光ランプの測光方法	測定方法	
JIS C 7613			1967	測光標準用白熱電球の測光方法	測定方法	
JIS C 7614			1970	輝度測定方法	測定方法	
JIS C 7608			1962	測光標準用高圧水銀ランプの測光方法	測定方法	
JIS Z 8113			1999	照明用語	専門用語	
JIS Z 8120			1978	光学用語	専門用語	
JIS Z 8701			1982	XYZ 表色系及び X <sub>10</sub> Y <sub>10</sub> Z <sub>10</sub> 表色系による色の表示方法	測定・評価方法	
JIS Z 8720			1983	測色用標準の光及び標準光源	製品仕様	
JIS Z 8724			1983	光源色の測定方法	測定方法	
JIS Z 8725			1985	光源の分布温度及び色温度の測定方法	測定方法	
JIS Z 8726			1975	光源の演色性評価方法	測定・評価	
JIS Z 8729			1980	L*a*b*表色系及び L*u*v*表色系による物体色の表示方法	測定・評価方法	
JIS Z 8730			1980	色差の表示方法	測定・評価	
JIS Z 9112	1983	蛍光ランプの光源色及び演色性による区分	評価方法			



### 5.3 人体への影響（障害的、心理的）

#### 5.3.1 光の人体への作用

光は人間の生活と密接に結びついており、われわれの周囲では、太陽を始めとする自然光源やいろいろな種類の人工光源が活用されている。特に、それら光源の中で、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。これらの照明用光源は、元来、人間の視覚や視作業を支援することを第1義として開発・製作されたものであるから、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はいるが、実際的にその光の全てが可視放射だけで構成されていることは無く、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の構成要素の一部となっている。

良く知られているように、光の本質（実体）はエネルギーの1様態である。人体が光エネルギーの照射を受け光を吸収すると、そのエネルギーにより、いろいろな作用を生じる。中でも、波長の短い紫外放射は、光子（フォトン）のエネルギーが大きく、人体に吸収されると、何らかの光生物的作用効果、時には光生物的危害を及ぼす可能性がある。したがって、光環境で生活したり、光エネルギーを利用したりする場合には、光のエネルギーとしての諸作用についても注意を払い、必要があれば適切な対応措置、特に、安全確保のための管理をすることが重要となってくる。

即ち、光環境を設計する場合に、光エネルギーの（視覚以外の）作用や効果についても正確な知識を持ち、種々の影響、特に危害が発生する可能性について正確に検討した上で、そのことを加味した視環境設計を行い、危害の発生を防止する措置をとっておくことが必要である。視環境の設計であるから、視覚以外の作用や効果については、全く考慮しない、という態度では、良い視環境設計は出来ない、といっても過言ではない。

#### 5.3.2 光の人体への傷害的作用と心理的作用

良く知られているように、光はエネルギー（の1様態）であるから、人体が光エネルギーの照射を受け、光を吸収すると、そのエネルギーにより、いろいろな作用を生じる。中でも、波長の短い紫外放射は、光子（フォトン）のエネルギーが大きく、人体に吸収されると、何らかの光生物的作用効果、時には光生物的危害を及ぼす可能性がある。

また、既に述べたように、光は人間の環境の中で最も重要な環境要素であるから、人間に対して種々の心理（生理）的作用を及ぼす。表 5.3-1 に、光の生体（人体）に対する傷害的作用および、心理生理的作用についてまとめたものを示す。表 5.3-1 は、環境要素としての光を CIE の波長区分に従って区分し、その区分毎にまとめた。

表 5.3-1 光の人体（生体）への傷害的作用および心理（生理）的作用のまとめ

波長区分 (CIE による)	傷害的作用		心理（生理的）作用
	目	皮膚	
UV-C (100nm-280nm)	○ 光角膜炎 ○ 光結膜炎 ○ 雪目	○ 紅斑（日焼け）	
UV-B (280nm-315nm)		○ 皮膚の老化加速 ○ 色素増強（沈着） ○ 皮膚癌の誘発	

UV-A (315nm-400nm)	○ 光化学性白内障	○ 直接色素沈着 ○ 光過敏反応	○ 青色光効果 ○ 生体リズム障害 (サーカディアンリズム障害) ○ 時差ボケ ○ フリッカー光効果 (眼精疲労) ○ 光治療
Visible (400nm-780nm)	○ 青色光網膜傷害		
IR-A (780nm-1400nm)	○ 赤白内障 ○ 網膜焼損	○ 皮膚焼損	
IR-B (1.4 μ m-3.0 μ m)	○ 房水フレア ○ 白内障 ○ 角膜焼損		
IR-C (3.0 μ m-1mm)	○ 角膜焼損		

## 5.4 デザイン

デザインの語源は“計画を記号に表す”という意のラテン語 designare である。しかし今日では、「ある問題を解決するために思考・概念の組み立てを行い、それを様々な媒体に応じて表現すること」と解されている。

デザインの意味は時代とともに変わる。21世紀の現在、デザイン概念には省エネや環境共生の思想が含まれているが、20年前のバブル全盛の頃にこの概念はなく、さらに20年遡った1970年では環境への概念はデザインとは別の問題と捉えられていた。当時の人々はデザインを「意匠」と訳し「形態を考えること」と捉えられていたのだ。その頃はまさに、日本は環境汚染が社会問題として取り上げられていた時代でもあった。



図 5.4-1 バウハウス・デッサウ校舎  
現存する世界最古のカーテンウォール建築物（1926年）

デザインという言葉自体が近代的に認知され始めるのは、世界最初の近代総合美術学校 Bauhaus(バウハウス)が記した発足起案書からであろう。現代の美術デザイン学校の原点と言われるこのバウハウスは、1919年からわずか14年間、最盛期でも教師が十数人と200名足らずの生徒しか在籍しなかった小さな学校であるが、世界で最初に本格的なデザイン教育を試みた教育機関である。Bauhausとはドイツ語で「建築の家」の意で、第一次世界大戦終了の翌年から第二次世界大戦開始前の1933年まで、ドイツ国内のワイマールでは国立として、デッサウでは市立で、ベルリンでは私立の学校として開校した。バウハウスの業績はその後の近代造形のあらゆる分野（建築・インテリア、家具や食器類、舞台やファッション、絵画など）に影響を与えた。中でも工業製品には多大で、当時のドイツ工作連盟(規格優良品を目指す集団)の中核として敗戦国興隆のドイツ工業化に大いに貢献した。

ところで私たちが使用している現代の照明器具の原点もこのバウハウスにある。つまりデザインされた工業製品の初めがここにあり、バウハウス以前の照明器具は一品制作の職人芸による工芸品であり、量産化を前提とした機能主義の照明器具ではなかった。近代照明器具の原点といわれるその製品とは、1923~4年に教師モホリ・ナギの金属工房にて制作された学生課題作品で、今日でも「The Bauhaus Lamp」として世界で愛用(レプリカとして生産販売)されているものである。近代工業デザインの代表作として取り上げられる理由は、使用素材の機能美を追求し構成していること、さらに使用部材を規格化し専門の

下請け（職人工場）から分納させ組み立て製造するアッセンブル製品であること、フォルムはシンプル（部品の機械量産に向く単純化）で、しかも照明配光もよく計算され用途適応するよう研究されているからである。



図 5.4-2 The Bauhaus Lamp  
(1923～24)

ところで、このバウハウスデザインに先導的影響を与えた事柄が同じドイツにあった。それはまた照明器具デザインの先駆的事柄でもあった。バウハウスの開校前の1900年代は電気による最初の照明器具「アーク灯」が欧米で脚光を浴びていた頃で、ドイツ総合電気メーカーAEGは、そのアーク灯の量産化デザインを建築家のピーター・ベーレンスに依頼していた。その製品化されたアーク灯のデザインは機能を重視した簡潔な美しいバランスのデザインで、量産化され市場に受け入れられた。ベーレンスは照明器具以外にもAEG電気製品の多くをデザインした世界最初のデザイン契約インダストリーデザイナーでもあった。（電球量産化前の時代）

この工業生産品へのデザインの重要性を、バウハウス創立初代学長のワルター・グロピウスは青年時にベーレンスの事務所でアシストとして働き学んでいた。工業製品へのデザイン源流はこのピーター・ベーレンスからグロピウスのバウハウスに引き継がれ、20世紀の今日の照明器具デザインへとつながるのである。

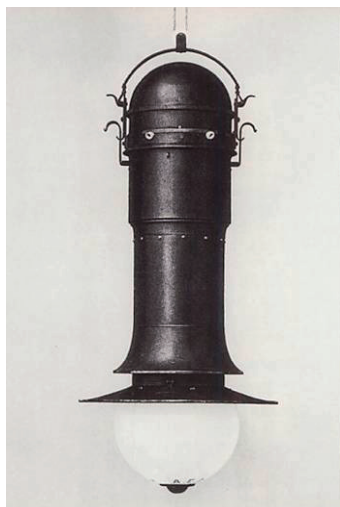


図 5.4-3 ピーター・ベーレンスがデザインしたアーク灯（1907年）

現在、世界の照明デザインは世界最大の照明展であるフランクフルトの Light+Building 展（2000 年から隔年で 4 月開催）で動向把握するのが効果的である。デザインは時代のムードを表す鏡と言われるが、6 年前のフランクフルト照明展からその照明の主流は省エネ環境共生型の LED に移行し始めた。2010 年度のフランクフルト照明展では LED が完全に中心となった照明展であった。LED は半導体の光源で、従来の 20 世紀の光源と違い、小型コンパクトで斬新かつユニークな形状や機能、さらに照明演出を打ち出せる可能性を秘めている。その LED が効率を向上させ、主照明用光源として各種の LED 器具誕生を促進したのである。



図 5.4-4 2004 年の LED カラー照明が展開された Frankfurt Light+Building 展



図 5.4-5 Frankfurt Light+Building2010 の LED 照明事例 1



図 5.4-6 Frankfurt Light+Building2010 の LED 照明事例 2



図 5.4-7 Frankfurt Light+Building2010 の LED 照明事例 3

LED のデザインには、20 世紀型光源とは異なる観点が必要である。演出や形状化には既存光源にない手法が可能で、そのための新スキル ①カラーコーディネート力、②パターンデザイン力、③プログラム理解力、④照明造形力、⑤4 次元表現力などが挙げられる。

①カラーコーディネート力：LED は単色光であり、光の 3 原色である赤青緑の混光であらゆる光色を作り出せる。カラー色の使い方によって人間の心理は影響を受けるので

適正なるカラーコーディネート知識習得が望ましい。

- ②パターンデザイン力：LEDの発光体は小さく、大きな光量を必要とする時は多数のLEDランプを配置する。そのLED発光部は点滅操作で部分的発光が容易となり、点灯形状も自由に変更でき、その形状変化によって人はさまざまなイメージを持つ。このパターンデザイン力も今までの照明にはあまり必要とされないスキルだが、LEDには必要である。
- ③プログラム理解力：カラー点滅もLED点灯によるパターンデザインもデジタルプログラムで作動される。どのようにプログラムするか基礎的知識は必須である。
- ④立体照明造形力：従来の光源と違い、LEDは点・線・面、そして立体の3次元、それも有機的形狀面でもLEDが配置でき点灯可となる。どの位置に発光部位を作るか否かの立体照明造形力が必要となる。従来の照明デザイナーやプランナーには必要とされなかった。
- ⑤4次元表現力：LEDは点滅が容易で、時間差表現が可能である。この時間差による照明演出が空間や立体と連動し新たな表現力となる。つまり動きの表現である。

以上5点の新スキルを記したが、その他にLEDは高速点滅による可視光通信ができ、近い将来この通信技術もデザインへの要素となろう。今後LEDの新活用はさらに種々提案され、そのデザインスキルが望まれよう。

最後に照明デザインの領域について記す。照明のデザインには4領域があり、それぞれのデザイナーを照明デザイナーと称しているが業務は異なる。照明器具をデザインする人を照明デザイナーと言うが、その業務はプロダクトデザインである。また舞台やスタジオやファッションショー、映画などの照明演出をする人も照明デザイナーであり、この領域の方々は日本では照明家と昔から呼び、海外ではライティングデザイナーと認知されている。

そして建築空間やインテリア空間に照明演出計画をする人も照明デザイナーと呼ばれるが、欧米では照明コンサルタントと称されてきた。そして4つ目の領域としてLEDによるサインや看板や大型スクリーン、さらには電飾イルミネーションなどの演出照明デザインを専門に手がける人たちも社会的に認知され、今日では照明デザイナーと称されるようになった。以上、照明のデザインといってもそれぞれ4領域あり、LED照明の扱いや業務内容は異なる。

## 5.5 有機 EL への対応

有機 EL 照明は LED 光源同様に 21 世紀の主要光源として認知されはじめている。同様と  
いっても、形も光の質もそして用も違う。LED は点光源として優れた特性を持ち、照明と  
しての性能も高まって市場に投入されつつあるが、LED を面光源とするには複数個使用す  
るしか方法はない。そんな中で現れたのが有機 EL の照明である。

有機 EL (Organic Electro-Luminescence) とは、有機半導体を用いた LED であり、  
OLED(Organic Light Emitting Diode)とも呼ばれる。基板上に薄膜の発光性有機物で形成  
された複数の層へ電気の刺激を与えると面で発光する現象をいう。薄面状に発光体が形成  
され多彩な発光色が得られるため、フラットパネルディスプレイとしてその実用化も進ん  
でいる。この有機 EL も、LED 同様に単色光での発光から研究スタートしたが、1993 年に有  
機 EL 素子で世界初の白色光の発光に成功した。これが有機 EL 照明へのスタートで、山形  
大学城戸淳二博士の研究成果である。今日、日本が有機 EL 照明で世界トップランナーと言  
われる所以でもある。

最近までこの白色光をいかに明るく長時間点灯させられるかが、有機 EL 照明の研究開  
発の焦点であったが、この 2~3 年の研究の進捗は著しく、実用化は数年先と見込まれるよ  
うになってきた。そのひとつに面発光の明るさを表す単位として輝度 ( $\text{cd}/\text{m}^2$  カンデラ)  
があるが、最近のパネルの明るさは  $1000\text{cd}$  に達成し (実用には  $3000\text{cd}/\text{m}^2$ 以上といわれ  
る)、さらに寿命も 1 万時間が見込まれるようになってきた。

この急速な伸張は世界中で展開される開発競争によるものだが、特に欧米の主要照明メ  
ーカの取り組みには目を見張るものがある。さらに欧米だけでなく、BRICs 諸国や隣国  
の国々なども有機 EL 照明に高い関心を持ち、開発 (国産化) を進めている。その背景には、  
産業や公共施設等で多用されている蛍光ランプは水銀が含まれており、国連や IEC (国際  
電機標準会議) などが提唱する「有害物質の使用禁止 (ROHO)」に該当するために、蛍光ラ  
ンプは近い将来、製造・使用禁止が見込まれるからである。ちなみに日本では、蛍光ラン  
プ破棄の際は産業廃棄物として取り扱うよう法で定められている。例外的に一般家庭で使  
用された蛍光ランプは、一般ごみとして処理されている。

有機 EL 照明は現在、基礎研究の段階から応用研究段階に移行しつつあり、さらに実用  
化へと様相が変化しつつある。そのスピードは LED の実用化より速いと予想されている。  
しかし、この有機 EL 照明も実用のための場が創出されなければ、普及スピードは遅くなる  
であろう。ここで LED の普及度合いについて記す。

LED が普及し始めたのは 70 年代から 80 年代に使用したインジケータの表示ランプか  
らで、90 年代後半にはサイン・看板灯などのイルミネーションで一挙に認知された。照明  
用白色 LED の実用化は今世紀になってからである。2003 年の東京・ビッグサイトでのライ  
ティング・フェアに多数の LED 照明器具が出現し、翌年の Frankfurt Light+Building 2004  
で LED 照明演出 (カラーライティング) が世界に認知された。白色 LED 照明の市場投入は、  
ほんの 5~6 年前からのことで、赤や緑の LED は市場に導入されすでに 30 年経ている。



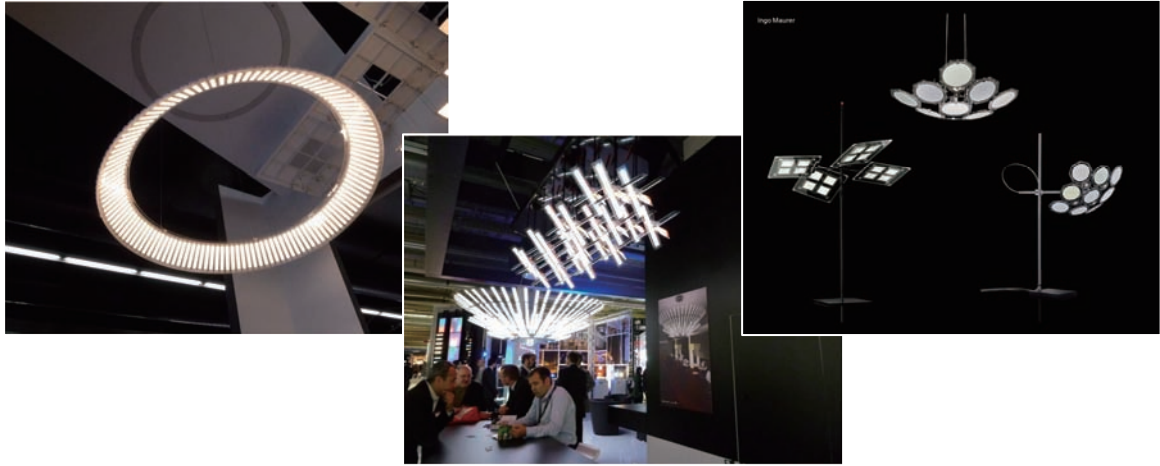


図 5.5-1, 5.5-2, 5.5-3 Frankfurt Light+Building2010 での  
有機 EL 照明の試作品の数々

有機 EL 照明の実用化となると、今後効率と寿命をより高いレベルで両立させるだけでなく、光量や演色性も確保する必要がある。現在の蛍光灯が電力効率 100lm/w、寿命 1 万時間、輝度数千～1 万 cd/m<sup>2</sup>であり、さらに LED 光源の性能を加味考慮すると、実用の有機 EL 照明は、効率 100 lm/w 以上、寿命 3 万時間、輝度 5000cd/m<sup>2</sup>、演色評価数 85 以上の性能が望まれよう。さらにコストも LED（現在 3～4 円/lm）同等かそれ以下が実用化のポイントとなろう。その時期だが、LED の場合と違ってカラーと白色照明の開発が同時にスピーディーに進むと考えられ、2015 年には実用化されると考えられている。図 5.5-4 参照

<照明器具の省エネの可能性(期待値)>

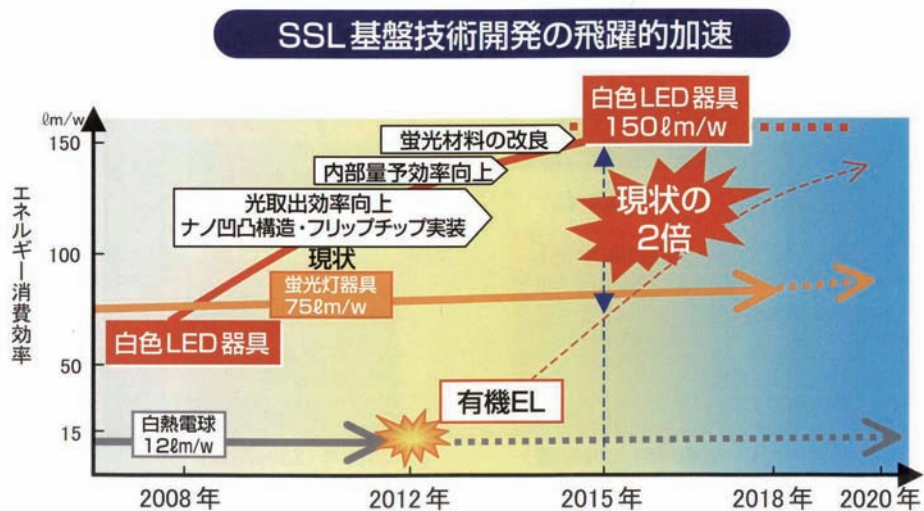


図 5.5-4 日本照明器具工業会の予想する LED と有機 EL 照明の普及マップ

実用普及化が早いと想定される理由に、LEDの時と異なる開発環境がある。LEDの場合、それまで照明業界に直接関わってこなかったメーカーがLEDを開発したため、照明業界の商慣習や用途環境を理解するのに時間を要した。さらに先進国の照明業界では、20世紀型光源の照明器具を製造販売してきたランプメーカーがLED導入に慎重であったこと、またLEDが半導体光源であり、照明業界人々の知識不足もあったことなどから、LED照明の実用普及化には時間を要した。

それに反し、有機EL照明は世界3大ランプメーカーの積極的（応用研究の段階で試作品を公開しているほど）開発と、原材料の調達安易度（レアアース関連のLEDと違い、入手容易な有機材）とを考えあわせると実用化は早まるであろう。さらに導入先は住空間より産業などの施設空間が主体と考えられ、市場規模は大きい。また、ソーラー発電と適合しやすい直流点灯でもあり、スマートグリッドエネルギー政策と相まって、有機EL照明の実用への用途開発は一挙に進むと考えられる。世界の大会社が開発へ「人・モノ・金」を注ぎ、競争を繰り広げている様相は、LEDの揺籃期とは異なっている。

有機EL照明の製造技術は現在、確立されているわけではなく、さまざまな方式が提案されている。最終的に確立される生産技術は主となる有機化合物の生産技術によっても変化するであろうが、当面は蒸着技術が主流であろう（一部塗布技術の併用もあわせて）。

有機EL照明に忘れてはならないものに電源がある。発光に適正な電流と電圧は発光デバイスによって異なり、その規定（ガイドライン・標準化）が要求される。それはLEDと同様で、発光デバイスのタイプとその用途の定型化（標準化）が必要である。いかに標準化がなされるかも普及度に大きく影響する。

ところで、面発光する有機EL照明の光は、LEDと異なって柔らかな拡散光であり、その用途は異なる。有機ELの特性を生かした新しい用途も決してLEDと同じにはならない。双方の特性を生かす用途開発を探求し、新市場を形成するべきと考える。発光原理が基本的にLEDと同じことから、将来的には有機ELもLEDもほぼ同じ発光効率が得られると云われるが、いかに双方のよさを認識し、それぞれの特性を生かして対応するかが21世紀の照明展開に肝要である。

表1 論文、学会、ニュースリリースなどでの発表性能値

プレイヤー	発表年	効率 (@1.000cd/m <sup>2</sup> )	半減寿命 (@1.000cd/m <sup>2</sup> )	発行材料 R, G, B
Novald / Philips* <sub>1</sub>	2006	32lm/W	20.000 h	P, P, F
コニカミノルタ	2006	64lm/W	10.000 h	P, P, P
UDC	2007	25lm/W	—	P, P, P
The OLLA-Project* <sub>2</sub>	2007	25lm/W	5.000 h	P, P, F
出光興産	2007	(17lm/W) at 10mA/cm <sup>2</sup>	30.000	F, F, F
OSRAM* <sub>3</sub>	2008	46lm/W	5.000 h	P, P, F
Novald	2008	35lm/W	100.000 h	P, P, F
The OLLA-Project* <sub>4</sub>	2008	51lm/W	>10.000 h	P, P, F
UDC* <sub>5</sub>	2008	102lm/W	—	P, P, P
パナソニック電工	2009	37lm/W	>40.000 h	P, F, F

(P:りん光材料、F:蛍光材料)

\*1 Press Announcement by Novald and Philips (2006)  
([http://www.novald.com/news/2006\\_06\\_07\\_pr.html](http://www.novald.com/news/2006_06_07_pr.html))

\*2 Press Announcement by OLLA (2007)  
([http://www.hitech-projects.com/euprojects/olla/news/press\\_release\\_may\\_2007/pressrelease3\\_ollaproject.pdf](http://www.hitech-projects.com/euprojects/olla/news/press_release_may_2007/pressrelease3_ollaproject.pdf))

\*3 Press Announcement by OSRAM (2008)  
([http://www.osram-os.com/osram\\_os/EN/Press/Press\\_Releases/Organic\\_LED/Press-release-OPAL-research-project.html](http://www.osram-os.com/osram_os/EN/Press/Press_Releases/Organic_LED/Press-release-OPAL-research-project.html))

\*4 Press Announcement by OLLA (2008)  
([http://www.hitech-projects.com/euprojects/olla/news/press\\_release\\_june\\_2008/OLLA\\_pressrelease6\\_v4.pdf](http://www.hitech-projects.com/euprojects/olla/news/press_release_june_2008/OLLA_pressrelease6_v4.pdf))

\*5 Press Announcement by UDC (2008)  
([http://www.universaldisplay.com/downloads/Press%20Releases/2008/PANL\\_whitemilestone\\_FINAL.pdf](http://www.universaldisplay.com/downloads/Press%20Releases/2008/PANL_whitemilestone_FINAL.pdf))

表2 販売中のパネルの性能

プレイヤー	効率 (@1.000cd/m <sup>2</sup> )	半減寿命 (@1.000cd/m <sup>2</sup> )	発行材料
ルミオテック	—	30.000 h	不明
東北デバイス	—	10.000 h	不明
OSRAM	23lm/W	5.000 h	りん光材料
Philips	15lm/W	10.000 h	不明

図 5.5-5 論文・学会・ニュースリリースなどの発表性能値と、販売中のパネル性能  
(照明学会誌 平成 22 年 8 月 照明年報の『有機 EL 照明におけるガイドライン作成の  
課題』より出展)

## 第6章 LED関連産業への中部地域企業等の取組み動向等

中部地域でLED関連の製造・開発に携わっている企業に、事業の沿革と概要、技術面・販売面の特徴、LED事業の動向と課題等について、LED産業の分野別にインタビューを実施した。

### 6.1 インタビューを実施した企業

表 6.1-1 インタビューを実施した企業（分野別に50音順）

分野	企業名	所在地、電話番号、URL
LEDチップ、 デバイス、 モジュール	①豊田合成(株)	愛知県清須市春日長畑1番地 TEL:052-400-1055 <a href="http://www.toyoda-gosei.co.jp/">http://www.toyoda-gosei.co.jp/</a>
	②浜松ホトニクス(株)	静岡県浜松市中区砂山町325-6 日本生命浜松駅前ビル TEL:053-452-2141 <a href="http://jp.hamamatsu.com/index.html">http://jp.hamamatsu.com/index.html</a>
LED後工程 製造装置	①アピックヤマダ(株)	長野県千曲市大字上徳間90番地 TEL:026-275-2111 <a href="http://www.apicyamada.co.jp/index.html">http://www.apicyamada.co.jp/index.html</a>
電源	①(株)ナユタ	静岡県浜松市東区常光町398 TEL:053-434-8902 <a href="http://www.nayuta-co.jp/index.html">http://www.nayuta-co.jp/index.html</a>
計測装置	①大塚電子(株) 滋賀工場	滋賀県甲賀市水口町笹が丘1-10 TEL:0748-63-0151 <a href="http://www.photal.co.jp/">http://www.photal.co.jp/</a>
照明器具	①加納製陶(株)	岐阜県多治見市笠原町1647-3 TEL:0572-43-3161 <a href="http://www.kano.co.jp/">http://www.kano.co.jp/</a>
	②日本街路灯製造(株)	名古屋市熱田区五本松町1-8 TEL:052-681-2181 <a href="http://www.gairoto.co.jp/index.html">http://www.gairoto.co.jp/index.html</a>
	③東洋ライト工業(株)	愛知県豊橋市入船町18番地 TEL:0532-45-2712 <a href="http://toyora.co.jp/">http://toyora.co.jp/</a>
	④(株)瑞穂化成	名古屋市千種区内山1丁目14番4号 TEL:052-741-1161 <a href="http://www.mizuhokasei.com/">http://www.mizuhokasei.com/</a>
構成部品・部材	①(株)アイン	長野県茅野市豊平374-2(福沢工業団地) TEL:0266-72-7003 <a href="http://www.valley.ne.jp/~ain/index.html">http://www.valley.ne.jp/~ain/index.html</a>

分野	企業名	所在地、電話番号、URL
構成部品・部材	②(株)トヨタテック	愛知県豊川市西豊町二丁目 35 番地 TEL:0533-85-1110 <a href="http://www.toyotec.com/">http://www.toyotec.com/</a>
	③日東光学(株)	長野県諏訪市湖南 4529 TEL:0266-57-4801 <a href="http://www.nittohkogaku.co.jp/">http://www.nittohkogaku.co.jp/</a>
液晶ディスプレイ	①シャープ(株) 亀山	三重県亀山市白木町幸川 464 番 TEL: 0595-84-1221 <a href="http://www.sharp.co.jp/">http://www.sharp.co.jp/</a>
車両用光源	①レシップ(株)	岐阜県本巣市上保 1260 番地の 2 TEL:058-324-3121 <a href="http://www.lecip.co.jp/index.htm">http://www.lecip.co.jp/index.htm</a>
新用途	①(株)大仙	愛知県豊橋市下地町字柳目 8 TEL:0532-54-6521 <a href="http://www.daisen.co.jp/index.htm">http://www.daisen.co.jp/index.htm</a>
	②水口電装(株)	山口県下関市彦島本村町 7 丁目 29-2 TEL: 083-266-4321 <a href="http://www.mizuguchi-densou.co.jp/">http://www.mizuguchi-densou.co.jp/</a>
伝統の灯りとの 融合	①丸滋製陶(株)	滋賀県甲賀市信楽町長野 953 TEL:0748-82-0033 <a href="http://www.shigaraki-marushi.com/index.html">http://www.shigaraki-marushi.com/index.html</a>

## 6.2 インタビュー結果のまとめ

LED 関連事業の動向および課題についてのご意見を、以下にとりまとめた。

### 6.2.1 動向

#### (1) 各分野共通項目

- ・ 環境負荷の低減が企業の社会的要求となりつつあり、長寿命・省エネ性に優れた LED 照明は新光源として今後大幅な需要増が期待できる。
- ・ LED 蛍光灯も価格が低下し、安全性など種々の問題がクリアできれば市場拡大する。
- ・ LED は照明に限らず、需要が大幅に増加する。
- ・ 昨今はコスト優先で、海外からの汎用製品との価格競争が厳しい。ニッチで高度な技術を必要とする高付加価値製品にシフトする。

#### (2) LED チップ、デバイス、モジュール分野

- ・ ノート PC の バックライト用 LED の需要が急増した。
- ・ 今後は液晶 TV バックライト用の LED 需要が飛躍的に増大する。

#### (3) LED 後工程製造装置分野

- ・ 欧米での需要拡大のため、装置は海外 LED メーカーへの納入が増加する。

#### (4) 電源分野

- ・ LED 照明の普及に伴い、電源を含めた周辺機器の耐久性向上、高機能化が進む。

#### (5) 計測装置分野

- ・ 年々、LED 照明が大型化・高輝度化しており、それに対応できる大型の全光束測定システムが必要になってきている。
- ・ 温度環境が厳しい車載設備に LED が使用されるようになり、光学評価・検査機器も厳しい条件で安定的に対応できるものが要求される。
- ・ 照明メーカー、研究所のほか、公設の技術センターなどからの問い合わせが増えており、LED 化の波を感じる。

#### (6) 照明器具分野

- ・ LED 光源の特性を生かした街路灯事業は従来光源では出来なかった環境、ECO の領域にも拡大していく。
- ・ LED が高価なことに加え、不況も手伝ってディスプレイ・POP 分野における LED 化が遅れている。

#### (7) 構成部品・部材分野

- ・ 放熱基板では、今後、実装面積や放熱性で有利な COB (Chip On Board) 構造が多くなり、耐熱・放熱性能が高い熱対策配線板のニーズが高まる。
- ・ 一般照明用光源が LED に置換わり、LED 照明用レンズの需要が飛躍的に伸びる。
- ・ LED 用レンズ価格が安価な海外製品の増加により下がり、採算が厳しくなっている。
- ・ 照明光源が LED に置き換わることにより、これまでレンズ不要だった器具に新たなレンズ需要が生まれる。

#### (8) 液晶ディスプレイ分野

- ・ 青色 LED チップの旺盛な需要に対応すべく、国内 LED チップメーカーとクロスライセンス契約を締結し、LED の量産を開始した。
- ・ 近い将来、液晶テレビや液晶モニターのバックライトはすべて LED に置き換わる。

#### (9) 車両用光源分野

- ・ 昨秋から車載用 LED 灯具の採用が急速に進んでいる。
- ・ 普及車の LED ヘッドライトの搭載が本格化する。

#### (10) 新用途

##### ①植物工場

- ・ 植物育成用 LED 照明は、まだ研究途上ではあるが、近い将来、植物に高付加価値をもたらし、収益向上に寄与する。
- ・ 季節、天候に左右されず安定供給が可能、場所を選ばない、高い生産性、育成や品質のコントロールが可能、肥料・農薬の低減による高付加価値化、快適な労働環境など、多くの利点や可能性があり、その将来性に期待が高まっている。
- ・ 国の植物工場拡大の取組みにより、企業の農業参入が増加しており、植物工場プラント市場は大幅に伸展する。

##### ②誘魚灯

- ・ 既存灯に比べ発光効率が少なく又最適波長が実証されていないことから、採算漁獲量に達していない。
- ・ (独)水産大学とプランクトンや魚が集まる理論的裏付けを研究中。

#### (11) 伝統の灯りとの融合

- ・ 陶器に LED を組み込んだ新作照明器具や地元の研究所と共同開発した透器によるインテリアライトの作品展示会を首都圏で開催し、PR に努めている。

### 6.2.2 課題

#### (1) 各分野共通項目

- ・ ものづくりが海外に出ていくと、新たな発想や創意工夫が製品に反映出来なくなる。国は日本の製造業の将来像を示し、今必要な政策を急ぎ実施して欲しい。
- ・ LED をベースにした新たなビジネスモデルの構築。
- ・ LED に関する子供を含めた関連教育と人材育成の実施。
- ・ LED の一般照明用としての安全性や性能基準の早期整備。
- ・ コストダウンと高品質化・高効率化

#### (2) LED チップ、デバイス、モジュール分野

- ・ 需要拡大に対応した生産能力増強と新規立地の検討。
- ・ LED の特性を生かし、車両、測量、医療、セキュリティなどの分野で活用できる付加価値の高い製品の開発・提供。

#### (3) LED 後工程製造装置分野

- ・ 日本、ヨーロッパ、韓国等、同業者間での品質・価格競争。
- ・ 日本の半導体メーカーによる LED 製造の取組み強化。

#### (4) 電源分野

- ・ LED 照明機器を活かす高品質で高効率・小型・長寿命な AC-DC 電源の開発製造。

#### (5) 計測装置分野

- ・ 国産の全光束測定システムによる全光束測定法の世界標準化(CIE, JIS)の推進。

#### (6) 照明器具分野

- ・ お客様ニーズが多様化・高度化しており、新技術・新感覚を盛り込んだ新製品や海外からの安価な製品に対抗できる高品質で高付加価値な製品開発が必要。
- ・ 全国の自動点滅機に対応する LED 街路灯照明機器の開発。
- ・ LED 照明器具の規格化・標準化が遅く、同種製品での製品性能差が大きい。
- ・ LED 照明器具製造は高度な専門技術がなくても参入できるため、種々のトラブルが発生している。
- ・ 国産の高品質 LED のチップ価格が従来光源と比較して高すぎる。性能上日本製を使いたいのが製品価格が高価になる。

(7) 構成部品・部材分野

- ・ 昨今は性能よりコスト優先で、海外からの汎用製品との価格競争は厳しい。値段が高い部品部材の急激な市場拡大は期待できないが、特殊用途向けに展開する。
- ・ LED レンズメーカーのノウハウ・強みを活かした高機能、かつ短時間で他からは真似のできないレンズ・照明器具の開発。

(8) 液晶ディスプレイ分野

- ・ 液晶テレビの LED バックライト向けに大量の LED チップが必要となることから、調達の拡大、生産設備の拡充など LED チップの安定供給体制が必要。
- ・ 液晶テレビの海外市場が昨今の円高や海外メーカーの技術キャッチアップにより厳しくなっており、地産地消体制の整備が必要。

(9) 車両用光源分野

- ・ 周辺材料の耐久性向上と併せ、高品質・高効率の LED 製品開発が必要。

(10) 新用途

① 植物工場

- ・ 工場設備の設置・運営コストが莫大なため、当面は行政等の各種支援が必要。
- ・ 果菜栽培技術の確立と経済栽培可能な作物の拡大。
- ・ 植物工場建設に関する法制度が未整理。

② 誘魚灯

- ・ 魚群行動の科学的解明と LED 照明の特徴を生かした光制御漁法の早期開発。

(11) 伝統の灯りとの融合

- ・ LED 商品は高価なため、高所得者層を対象にデザイン・品質等の充実が必要。
- ・ 陶器問屋を通じる従来の商流が崩れており、高級品ショールームへの展示等、新たな販路開拓が必要。
- ・ LED 陶器製品の拡充とコストダウン。



## 6.3 LED 分野別の事例

### 6.3.1 LED チップ、デバイス、モジュール分野

#### ① 豊田合成（株）

#### 自動車で培った高い信頼性を有する世界の代表的 LED 素子メーカー

##### ・事業の沿革と概要

沿革	<ul style="list-style-type: none"> <li>・1949年にトヨタ自動車工業のゴム部門を母体に「名古屋ゴム株式会社」設立。</li> <li>・1973年、「豊田合成株式会社」に改称。</li> <li>・1991年に青色LEDの開発に成功し、95年に青色LEDの生産・販売開始、現在に至る。</li> </ul>
事業概要	<ul style="list-style-type: none"> <li>・各種輸送機器用、農業・建設・工作機械用、情報通信機器・家庭電気機器用、介護・医療・住宅機器のゴム・プラスチック・ウレタン製品／半導体および半導体応用製品／電気・電子部品／接着剤の製造ならびに販売、コンサルティング、研究開発</li> </ul>

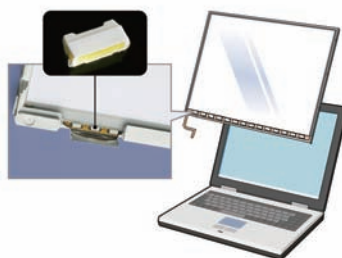
##### ・特徴

技術面	<ul style="list-style-type: none"> <li>・LEDチップ、LEDパッケージ生産で世界シェア第4位（2008年度）</li> <li>・1986年に名古屋大学赤崎教授の指導により世界に先駆け青色LEDの研究開発に着手。87年に新技術開発事業団からGaN青色LEDの研究開発を受託し、91年開発に成功。</li> <li>・1995年に高輝度青色LED（2cd）を製品化。以降、各色LEDを開発・製品化。ノートPC用バックライトや携帯電話、フルカラーディスプレイ、自動車用室内照明向けにLEDを供給。09年からは一般照明用高輝度LEDの量産開始。また、マルチカラーメータ、紫色LEDと光触媒による脱臭空気清浄機、リアコンビネーションランプ用LEDユニットなどを製品化。</li> <li>・LED素子から照明器具まで自社生産で、自動車レベルの品質、個別オーダーに対応。</li> </ul>
販売等	<ul style="list-style-type: none"> <li>・LED素子・チップ・パッケージに加え、2009年からLEDモジュール、車載応用製品を販売開始。</li> </ul>

##### ・説明図



白色 LED



PC バックライト



LED マップランプ  
(車載)

##### ・動向と課題等

動向	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ノートPCバックライト用LEDの需要が急増。今後は液晶TVバックライト用、一般照明用のLED需要が飛躍的に増大する。</li> <li>・主力事業の車載用LED製品や住宅用LED照明事業の拡大を進める。</li> </ul>
課題等	<ul style="list-style-type: none"> <li>・需要拡大に対応した生産能力増強と新規立地の検討。</li> <li>・白色LEDの更なる高輝度、長寿命を目指して付加価値の高い業界トップクラスの製品を開発、供給し事業拡大を目指す。</li> </ul>

## ②浜松ホトニクス（株）

### 高感度・高速応答・高機能な一步先の光半導体技術を追求

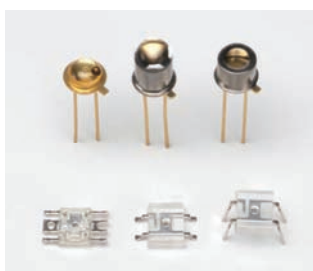
#### ・事業の沿革と概要

沿革	<ul style="list-style-type: none"> <li>・1953年に浜松テレビ株式会社を設立し光電管の製造開始。</li> <li>・1956年に光電子増倍管発売、69年に米国現地法人ハマツ・コーポレーション設立。</li> <li>・1963年に赤外線ビデオカメラ、70年にホーカソートランプ、72年にSi フォトダイオード発売。</li> <li>・1983年に浜松ホトニクス株式会社に社名変更</li> <li>・1985年頃にオートフォーカスカメラの被写体測量用として初めてLEDを製造、現在に至る。</li> </ul>
事業概要	<ul style="list-style-type: none"> <li>・光検出器・光源、光半導体製品、画像解析装置・光計測装置、レーザー及び関連技術の研究・開発・設計・製造・販売。</li> <li>・LEDは受光素子と関連した光源として光電スイッチ、エンコーダ、測量、光ファイバ通信向けなど特殊用途の高出力製品を製造。</li> </ul>

#### ・特徴

技術面	<ul style="list-style-type: none"> <li>・光電子増倍管、Si フォトダイオード、半導体レーザー、分析用光源など光関連で高い技術力を持つ。光電子増倍管では世界トップシェア企業。</li> <li>・小柴東大名誉教授がノーベル物理学賞の研究に用いたカミオカンデの光電子増倍管やハワイすばる望遠鏡の世界最大の CCD は浜松ホトニクス製品。</li> </ul>
販売等	<ul style="list-style-type: none"> <li>・製品のほとんどは医用、産業用、分析機器、学術など幅広い用途に組み込まれる特注品で、国内4営業所のほか海外営業拠点として米国、欧州、中国に10の海外現地法人・駐在事務所がある。</li> <li>・浜松ホトニクスが中心となって2005年に光技術を使って新しい産業創成を目指す「光産業創成大学院大学」を開学。ベンチャー企業家の育成や支援などを実施している。</li> </ul>

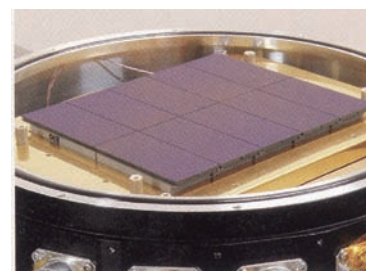
#### ・説明図



光電スイッチ用赤外 LED  
光リンク用 LED



Si フォトダイオード



すばる望遠鏡に搭載された  
CCD エリアイメージセンサー

#### ・動向と課題等

動向	<ul style="list-style-type: none"> <li>・欧州で普及が進んでいる自動車内の情報機器向けネットワーク光通信規格【MOST】に対応した光リンク用デバイスとして、LED 需要が伸びると考えられる。</li> <li>・照明用 LED 分野に参入する予定はない。今後とも LED 発光部と受光素子とのペアで高感度、高速応答、高機能を追求する。</li> </ul>
課題等	<ul style="list-style-type: none"> <li>・LED の特性を生かし、車両、測量、医療、セキュリティなどの分野で活用できる付加価値の高い製品を開発・提供する必要がある。</li> </ul>

## 6.3.2 LED 後工程製造装置分野

### ①アピックヤマダ（株）

#### プリモールド基板から最終検査までLEDアッセンブリーのトータルソリューション

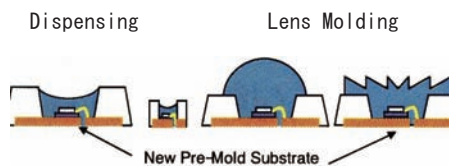
##### ・事業の沿革と概要

沿革	<ul style="list-style-type: none"> <li>・1950年に機械部品加工の山田製作所（個人）を創業。</li> <li>・1953年に製造販売会社の榊山田製作所設立。69年に米国ハル社との技術提携により半導体素子及びIC回路封止用モールド金型を日本で最初に開発。</li> <li>・1993年、商号をアピックヤマダ株式会社に変更。</li> </ul>
事業概要	<ul style="list-style-type: none"> <li>・半導体後工程の生産設備、金型、リードフレーム等の開発・設計・製造・販売。</li> <li>・半導体生産効率化のため、自動化機器事業、モールドディング事業、精密部品提供の3事業領域から総合的な生産支援を実施。</li> </ul>

##### ・特徴

技術面	<ul style="list-style-type: none"> <li>・LEDモールド用のレンズ成形方式として従来方法と比較し、ランニングコスト・形状自由度・成形精度に優れるトランスファー成形方法を開発。</li> <li>・LED第3世代パッケージ工法として、大量生産、コストダウン、パッケージデザインの自由度向上、小型・薄型化に対応する「熱硬化性樹脂」プリモールド基板+レンズ成形を開発。これにより、LED素子を実装するのに必要な材料、装置を一貫して提供できる体制が整った。</li> </ul>
販売等	<ul style="list-style-type: none"> <li>・全自動液状トランスファー液状樹脂封止装置（LTM-120L）を今年、発売開始した。</li> <li>・本社と子会社・関連会社（国内、シンガポール、タイ、中国）で製造販売を実施。</li> <li>・アフターサービスは、国内は国内子会社で、海外は海外子会社で実施。</li> </ul>

##### ・説明図



“熱硬化性樹脂”プリモールド基板  
トランスファモールドディング装置  
+レンズ成形



LED Mold sample

モールドサンプル



LTM-120L

LTM-120L

##### ・動向と課題等

動向	<ul style="list-style-type: none"> <li>・LEDは新光源として今後大幅な需要増が期待できる。</li> <li>・欧米での需要拡大のため、装置は海外LEDメーカーへの納入が増加する。</li> </ul>
課題等	<ul style="list-style-type: none"> <li>・日本、ヨーロッパ、韓国等、同業者間での品質・価格競争。</li> <li>・ヨーロッパを含む海外販売拠点の拡充。</li> <li>・日本の半導体メーカーによるLED製造の取組み強化。</li> </ul>

### 6.3.3 電源分野

#### ① (株) ナユタ

#### 世界一の電気エネルギー変換効率と長寿命を目指す特殊電源メーカー

##### ・事業の沿革と概要

沿革	<ul style="list-style-type: none"> <li>・1993年に音響メーカーから独立した7名の技術者で株式会社ナユタ創業。医療機器用電源の製造開始。</li> <li>・2003年に初めてNAYUTAブランド品としてDC/ACインバータの製造開始。</li> <li>・2007年にLEDの特性を生かすLED専用の定電流電源を発表、08年にLEDと同等の寿命を持つケミコンレス防水電源および移動式蓄電型AC電源装置（クリーン電源供給装置）Mobil C<sup>2</sup> Powerを発表。</li> <li>・2010年にLED照明用電源（長寿命、超薄型:17.5mm）を発表、現在に至る。</li> </ul>
事業概要	<ul style="list-style-type: none"> <li>・医療機器用電源をメインに、LED照明用電源、DC/ACインバータ電源、住設機器用電源（システムバス用）、リチウムイオン電池用管理システム等の設計・製造・販売およびLED照明器具の設計・製造。</li> </ul>

##### ・特徴

技術面	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ノイズ除去と高い安全性を求められる医療機器用専用電源で培われた技術力。</li> <li>・高効率・コンパクトでデザイン性に優れたカスタマイズ電源の設計・製造に対応。</li> <li>・我が国唯一、ちらつきのないLED照明専用ケミコンレス防水電源を開発。</li> <li>・LED専用直流電源装置で初めて電気用品安全法基準に適合し、PSEマークを表示。</li> </ul>
販売等	<ul style="list-style-type: none"> <li>・電源の灯具メーカー向け営業はナユタで、またLED照明器具の販売・施工は、関連会社の株ガイが担当。</li> </ul>

##### ・説明図



防塵防水・薄型ケミコンレスLED照明用電源  
LC-Lシリーズ（PSE規格取得品）



LED照明用電源  
LC1200シリーズ（PSE規格取得品）



移動式蓄電型AC電源装置  
Mobil C<sup>2</sup> Power

##### ・動向と課題等

動向	<ul style="list-style-type: none"> <li>・LED照明は今後5年以内に確実にインバータ蛍光灯の明るさに追い付き、電源を含めた周辺機器の寿命も延びて広く普及が期待できる。</li> </ul>
課題等	<ul style="list-style-type: none"> <li>・電源に起因するLED照明のトラブルが各地で発生しているが、高品質で高効率・小型・長寿命の電源を開発・製造していく。</li> <li>・LEDの発光効率が高まる中、電源効率を高め、一層の省エネに貢献していく。</li> </ul>

### 6.3.4 計測装置分野

#### ①大塚電子（株）

#### 光計測の新しい用途、新しい製品を提供する計測機器メーカー

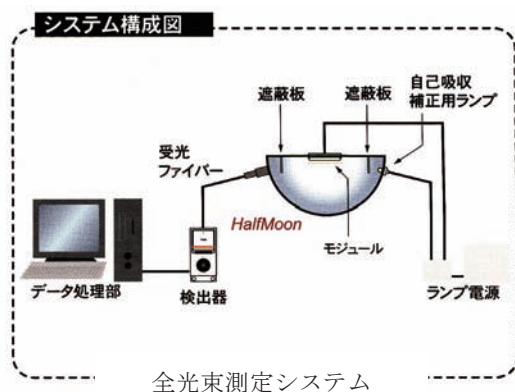
##### ・事業の沿革と概要

沿革	<ul style="list-style-type: none"> <li>・1970年に大学向け光分析機器製造・販売の「株式会社ユニオン技研」設立。</li> <li>・1980年に大塚グループに参入。光散乱光度計の製造開始。</li> <li>・1982年に現在の主力商品マルチチャンネル分光光度計の初代モデル発売開始。</li> <li>・1986年、「大塚電子株式会社」に社名変更、現在に至る。</li> </ul>
事業概要	<ul style="list-style-type: none"> <li>・LED光源照明・液晶パネルなどの材料から完成品までの光学評価・検査機器、分析機器、医療機器・臨床検査機器、ならびに関連ソフトウェアなどの開発・製造・販売、校正・委託試験業務。</li> </ul>

##### ・特徴

技術面	<ul style="list-style-type: none"> <li>・LEDの開発・商品化の進展に併せ、国際的な規格に準拠し、全光束、光度、配光分布、量子効率、輝度・色度等の評価できるLED光源・照明評価システムを提案している。</li> <li>・全光束測定システム（HalfMoon）は、当社が開発した積分半球を用いLEDなど面発光光源の全光束測定を従来の積分球による測定よりも簡単・高精度に評価できる。</li> <li>・標準光源及び標準LEDの校正業務ができる。</li> </ul>
販売等	<ul style="list-style-type: none"> <li>・全光束測定システム（HalfMoon）は積分球の世界トップメーカー米国ラブズフェア社と開発・販売に関する業務提携を締結し、世界展開を図っている。</li> <li>・その他、韓国・台湾・中国に子会社を設立し、国内と同様の技術・サービスを提供。</li> </ul>

##### ・説明図



ハーフムーン φ1600mm

##### ・動向と課題等

動向	<ul style="list-style-type: none"> <li>・年々、LED照明が大型化・高輝度化しており、それに対応できる大型（現在、直径3m）の全光束測定システムを開発している。</li> <li>・温度環境が厳しい車載設備にLEDが使用されるようになり、光学評価・検査機器もこれら条件で安定的に対応できるものが要求される。</li> <li>・全光束測定システムは、照明メーカー、研究所のほか、公的研究機関などからの問い合わせが増えており、照明業界におけるLED化の波を感じている。</li> </ul>
課題等	<ul style="list-style-type: none"> <li>・全光束測定システム（HalfMoon）による全光束測定法の世界標準化（CIE, JIS）の推進。</li> </ul>

## 6.3.5 照明器具分野

### ①加納製陶（株）

#### 多様化するニーズに伝統の技と革新でタイルの可能性を提案

##### ・事業の沿革と概要

沿革	<ul style="list-style-type: none"> <li>・1951年に加納商店設立、和食器の販売を開始。</li> <li>・1953年に有限会社加納商店へ改組。モザイクタイルを販売開始し、陶器販売拡大。</li> <li>・1958年にタイル需要拡大のため製造部門として鈴加製陶株式会社を設立。</li> <li>・1963年に有限会社加納商店と鈴加製陶株式会社を合併、加納製陶株式会社設立。</li> <li>・1973年磁器質外装タイルの生産開始。’08年補修用タイルの生産・販売を事業化。</li> <li>・2010年にLED組込み内装タイル「Tile+Light」を開発、現在に至る。</li> </ul>
事業概要	<ul style="list-style-type: none"> <li>・外装タイル、外装モザイクタイルのデザイン、製造および販売。</li> <li>・補修用タイル事業</li> </ul>

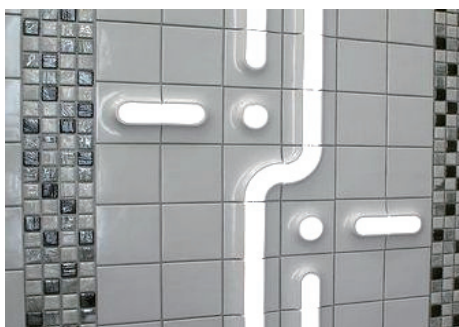
##### ・特徴

技術面	<ul style="list-style-type: none"> <li>・創業からの特注品生産ノウハウと伝統技術+新感覚で多様化、高度化ニーズに対応。</li> <li>・補修タイル事業のパイオニアかつ業界トップ企業として、大型マンションから個人宅のリフォームまで、早く・正確に・低価格に対応できる体制を整備。</li> <li>・タイルにLEDユニットを組み込んだ内装タイル「Tile+Light」を開発。寸法は98×98×19mm、形状はストレート・コーナー・ターミナル・ドットの4種類で色はオーダー、防滴仕様。平面タイルとの組み合わせにより補助照明、イルミネーション、サインとして様々な用途、デザインが可能。デザインは香港在住韓国人デザイナー。</li> </ul>
販売等	<ul style="list-style-type: none"> <li>・「Tile+Light」は今秋からのサンプル出荷を経て、2011年春から販売開始予定。</li> <li>・補修用タイル事業は、関連会社「クリエイティブLABO」で企画・設計・販売を担当。</li> </ul>

##### ・説明図



外装タイル”礎”  
人気の大石面状 新色



LED組込み内装タイル  
「Tile+Light」



数字サインとして利用

##### ・動向と課題等

動向	<ul style="list-style-type: none"> <li>・マンション建て替え円滑化法の成立による老朽化マンションの建て替えやバブル期に建てられたマンションの大規模改修で外装タイルの需要増が期待できる。</li> <li>・「Tile+Light」は外装タイルと並ぶ新機軸として、海外市場も含め展開を図る。</li> </ul>
課題等	<ul style="list-style-type: none"> <li>・お客様ニーズが多様化・高度化しており、クールアイランドタイル、軽量外装タイル、スターターキットなど、新技術・新感覚を盛り込んだ新製品や海外からの安価な製品に対抗できる高品質（色合い、寸法）で高付加価値（LED、防汚）な製品開発が必要。</li> </ul>

## ②日本街路灯製造（株）

### 「オリジナル〈街路灯〉日本一」を旗印とするオーダーメイド照明灯メーカー

#### ・事業の沿革と概要

沿革	<ul style="list-style-type: none"> <li>・1949年に電気工事業「名東社」を創業、縁あって名古屋市内の街路灯設置に従事。</li> <li>・1953年に街路灯事業として「株式会社名東社」設立。</li> <li>・1960年に「日本街路灯製造株式会社」に名称変更、現在に至る。</li> </ul>
事業概要	<ul style="list-style-type: none"> <li>・屋外照明機器・鉄鋼建築・装飾構造物・ニチポール・屋内照明器具・標識類の企画、デザイン、設計、製造、施工、監理、保守メンテナンス、販売等</li> </ul>

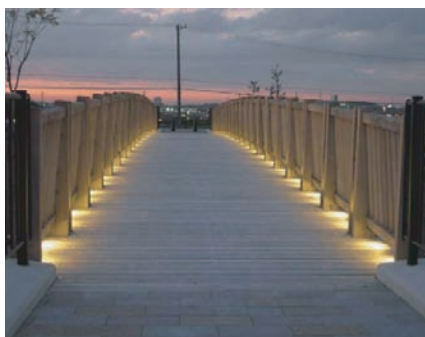
#### ・特徴

技術面	<ul style="list-style-type: none"> <li>・地域の特性や景観、目的に合わせたオリジナル街路灯を1本からでも製作。</li> <li>・自社工場デザイン・設計・試作・製造および施工までの一貫体制を敷いている。</li> <li>・2000年、世界で初めて白色LEDを用いた街路灯を釧路市の人道橋に設置した。</li> <li>・地域で唯一の高機能な照明計測装置を備えた「あかり実験室」を所有しており、あかりを体験・実感した上で光のオーダーメイドが可能。</li> </ul>
販売等	<ul style="list-style-type: none"> <li>・2006年、上野中通り商店街街路灯のLEDランプへの交換に併せ、同事業に対する都の商店街事業助成金制度創設に協力した。</li> <li>・販売は直販を基本とし、保守点検、メンテナンスを含め本社、支店（東京、大阪）、営業所（札幌、福岡）で日本全国をカバーしている。</li> </ul>

#### ・説明図



祖師谷みなみ商店街  
(ウルトラマン)



みよし市あざぶの丘  
(橋の照明)



上野中通り商店街  
(光源のLED化)

#### ・動向と課題等

動向	<ul style="list-style-type: none"> <li>・LED光源の特性を生かした街路灯事業は従来光源では出来なかった環境、ECOの領域にも拡大していく。</li> </ul>
課題等	<ul style="list-style-type: none"> <li>・「あかり実験室」を活用した新たな灯り事業の創成。</li> <li>・LED照明機器を活かすAC-DC電源の効率化・高品質化。</li> <li>・全国の自動点滅機に対応するLED街路灯照明機器の開発。</li> <li>・LEDに関する子供を含めた関連教育と人材育成の実施。</li> </ul>

### ③東洋ライト工業（株）

#### バス・鉄道・道路標識関連ディスプレイを主軸にLED製品を企画・開発

##### ・事業の沿革と概要

沿革	<ul style="list-style-type: none"> <li>・1957年に東洋ライト工業(株)創立、列車・発車時刻表示器の製造・販売開始。</li> <li>・1961年に私鉄バス各社にバス方向表示捲取器を納入。99年にバス停の製作開始。</li> <li>・2001年にガソリンスタンドのプライス表示器をLEDで開発、OEM生産開始。</li> <li>・2010年、名鉄バス(株)にLEDソーラーバス停スポットライトを納入、現在に至る。</li> </ul>
事業概要	<ul style="list-style-type: none"> <li>・オリジナルバス停留所のデザイン・製作。</li> <li>・LED関連製品（照明、広告、車載、グッズなど）の企画・設計・製造・販売。</li> </ul>

##### ・特徴

技術面	<ul style="list-style-type: none"> <li>・会社創立以来、約半世紀にわたるバス・鉄道・道路標識関連ディスプレイ製作で培った確かな技術と高い信頼性。</li> <li>・製品の企画・デザインから製造、メンテナンスに至るトータルサポート体制。</li> <li>・2009年にLEDイルミネーション華シリーズ「菜の花イルミネーション」で地域力連携拠点全国フォーラム中小企業庁長官賞を受賞。</li> <li>・LED照明を使用した植物育成に農業試験場・大学と研究を進め、植物育成用電球型LED照明【アグリ小町Ⅱ】を商品化。</li> </ul>
販売等	<ul style="list-style-type: none"> <li>・本社、東京、福岡（グループ会社）の3拠点で営業活動を実施。</li> </ul>

##### ・説明図



LEDソーラーバス停スポットライト



「菜の花イルミネーション」を用いた菜の花アレンジ



植物育成用電球型LED照明  
アグリ小町Ⅱ

##### ・動向と課題等

動向	<ul style="list-style-type: none"> <li>・植物育成用LED照明は今後の有望市場。まだ研究途上ではあるが近い将来、植物に高付加価値をもたらし、収益向上に寄与する。</li> <li>・LEDは照明に限らず、需要が大幅に増加する。当社は公共交通機関やトラックメーカーと協力して、関連照明のLED化提案を進める。</li> </ul>
課題等	<ul style="list-style-type: none"> <li>・LED照明は高度な専門技術がなくても参入できる。当社は長年蓄積してきた照明技術を糧にユーザーから選んでいただける高品質商品の企画・開発に取り組む。</li> <li>・高品質LEDのチップ価格が従来光源と比較して高すぎる。一層の国の支援策が望まれる。</li> </ul>



#### ④ (株) 瑞穂化成

### アクリルとLEDの融合で、ディスプレイ・POP分野に新たな提案

#### ・事業の沿革と概要

<b>沿革</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・1951年に再生アクリル板の加工を個人創業。</li> <li>・1953年に樹脂加工業として株式会社 瑞穂化成工業所を設立</li> <li>・1965年頃にアクリル素材のOEM製造・販売を開始。</li> <li>・1990年、株式会社 瑞穂化成に社名変更。</li> <li>・2007年、ディスプレイ・POP事業開始、現在に至る。</li> </ul>
<b>事業概要</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・素材販売：アクリルパイプ・丸棒・厚板・ブロック等及びポリカパイプ</li> <li>・樹脂加工：アクリル、塩ビ、ポリカーボネイト、PET、ABS、ジュラコン等</li> <li>・ディスプレイ・POPの企画・加工・施工：LEDアクリルパネル、光るディスプレイ、什器全般、サイン全般</li> </ul>

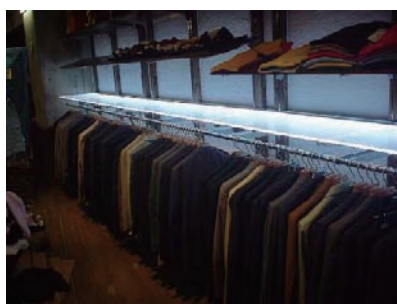
#### ・特徴

<b>技術面</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・アクリルだけでなく樹脂全般の加工ができ、1個の試作から大量オーダーまで対応。</li> <li>・大型ディスプレイについては現地採寸、企画、デザイン、製作、設置まで一貫対応。</li> <li>・接着・曲げ加工技術など工業製品製造のノウハウを生かし、高品質なオリジナル製品を提供。</li> <li>・LED拡散剤入りアクリルパイプを2007年に国内樹脂メーカーと共同開発し、LEDライトと組み合わせた製品提案を進めるほか、超薄型LEDアクリルライトパネルシリーズとして、クリスタルパネル、アンドン等を製造・販売。</li> </ul>
<b>販売等</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・アクリル素材は台湾の協力企業によるOEM品を輸入して販売。</li> <li>・2007年にLEDを扱うディスプレイ部門を設置し、店舗等に納入開始。</li> </ul>

#### ・説明図



LED 拡散剤入りアクリルパイプ  
(ゲームセンター)



LED 拡散剤入りアクリル板  
(規格サイズ：300×900)



LED クリスタルパネル  
(規格サイズ：A4～B1)

#### ・動向と課題等

<b>動向</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・照明に比べ、ディスプレイ・POP分野におけるLEDの活用が遅い。LEDが高価なことに加え、不況も手伝ってこの分野への投資が抑えられている。</li> <li>・蛍光灯型LED照明用の拡散剤入りポリカパイプの問合せや試作要請が多くなっている。価格や安全性など種々の問題がクリアされればLED蛍光灯の市場は拡大する。</li> </ul>
<b>課題等</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・国産白色LEDの値段が高い。性能上日本製を使いたい製品が高価になる。</li> <li>・ディスプレイ用LED電源に用いるアダプターにはLEDとの相性が重要で経験値要。</li> <li>・器具メーカーと樹脂加工業が協力すれば高品質なLED照明の開発が可能となる。</li> </ul>

### 6.3.6 構成部品・部材分野

#### ① (株) アイソ

#### 大電流や高輝度 LED に対応する特殊熱対策配線板をラインナップ

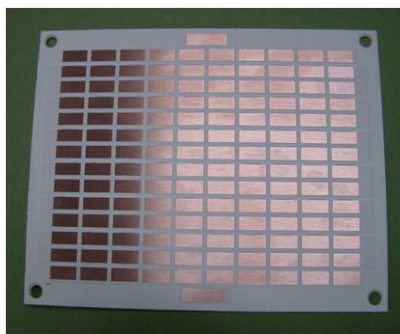
##### ・事業の沿革と概要

沿革	<ul style="list-style-type: none"> <li>・1970年にプリント配線基板を製造する「アイソ明和工業」を創業。</li> <li>・1974年に社名を「株式会社アイソ」に改組。</li> <li>・1985年、電子機器事業部を発足し、電子部品の実装・アッセンブリー部門を強化。</li> <li>・1995年、ペルチェモジュール向けに熱対策用セラミックス配線板の製造を開始。</li> <li>・2001年、日本で最初にプラズマ表面処理装置を導入、現在に至る。</li> </ul>
概要	<ul style="list-style-type: none"> <li>・プリント配線板の設計・製造、販売。 ・情報制御機器の製造、販売。</li> <li>・プリント配線基板製造機械装置の製造販売及び賃貸。 ・化学工業薬品の販売。</li> </ul>

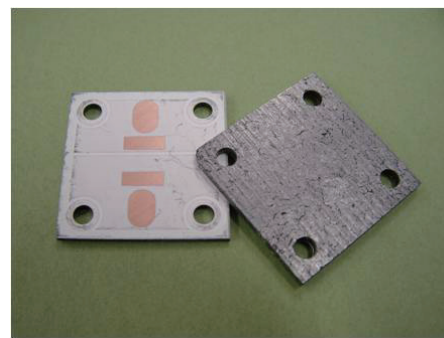
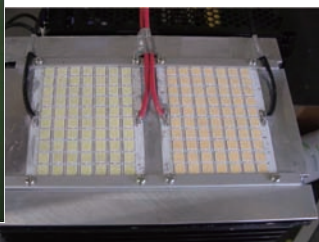
##### ・特徴

技術面	<ul style="list-style-type: none"> <li>・大電流(200A以上)やLEDの高輝度化に対応するため、クラッド材を応用した放熱性に優れたVCM(Various Clad Metal)配線板の量産向け製造方法を確立。</li> <li>・信頼性の高いスルーホールで寸法精度が高い配線回路を提供できるメッキ法によるセラミックス配線板を開発。</li> <li>・より熱伝導度の高い配線板ベース材料として、アルミとカーボンの複合材料を提案。</li> <li>・高耐性の配線板に塗布する無機系の低温(160℃)硬化可能で耐熱性・熱放射性を合わせ持ち、紫外線による変色がないセラミックスインクを開発、販売。</li> </ul>
販売等	<ul style="list-style-type: none"> <li>・本社及び東京、名古屋の各営業所で電子デバイスメーカー向け営業活動を実施。</li> </ul>

##### ・説明図



高密度に実装されたLED



グラファイト複合材料を使用した配線板

##### ・動向と課題等

動向	<ul style="list-style-type: none"> <li>・今後、照明用LEDは実装面積や放熱性で有利なCOB(Chip On Board)構造が多くなり、耐熱・放熱性能が高い熱対策配線板のニーズが高まる。</li> <li>・将来的には、コストダウンによりVCM板とセラミックス板とに2分化される。</li> </ul>
課題等	<ul style="list-style-type: none"> <li>・昨今は性能よりコスト優先で、海外からの汎用製品との価格競争は厳しい。値段が高いVCM配線板の急激な市場拡大は期待できないが、特殊用途向けに展開する。</li> <li>・ものづくりが海外に出ていくと、新たな発想や創意工夫が製品に反映出来なくなる。国は日本の製造業の将来像を示し、今必要な政策を急ぎ実施して欲しい。</li> </ul>

② (株) トヨタック

照明光学設計から製造までオプトメカトロニクスの総合メーカー

・事業の沿革と概要

沿革	<ul style="list-style-type: none"> <li>・1944年に大和光学工業(株)を設立しレンズの製造開始。74年に光学ガラス工場の東洋光学工業(株)、86年にプラスチックレンズ工場の東洋樹光(株) (2004年に(株)ジュコーと改称) 設立。</li> <li>・1987年に東洋光学工業(株)および(株)ジュコーで作られる製品の開発設計・金型製造・販売とともに、これら企業を統括管理する会社として(株)トヨタック設立。</li> </ul>
事業概要	<ul style="list-style-type: none"> <li>・カメラ、電子機器、OA 機器用の光学ガラスレンズ、超精密プラスチックレンズ、ハイブリッドレンズおよび光学薄膜、精密エンジニアリングプラスチック、精密ユニット、精密金型の設計・製造・販売。</li> </ul>

・特徴

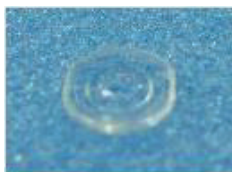
技術面	<ul style="list-style-type: none"> <li>・長年の撮像系・結像光学系ノウハウを生かし、照明光学設計・デザイン・試作・金型作製・量産まで自社にて一貫対応。</li> <li>・光学設計ツールとして、LightTools、CODE V、ZEMAX を使用。</li> <li>・LED 照明用レンズとしてフレネルレンズ、コリメータレンズを生産。</li> <li>・光半導体の世界メーカーOSRAM 社 (本社ドイツ) による LED-Light-for-you ネットワークパートナー企業に参加 (光学ソリューション部門)。</li> </ul>
販売等	<ul style="list-style-type: none"> <li>・研究開発・試作は日本国内で実施。</li> <li>・資材調達、部品製造・品質保証・納品は中国広東省の3つの工場に対応。</li> </ul>

・説明図

LED 照明用レンズ



フレネルレンズ



コリメータレンズ

・動向と課題等

動向	<ul style="list-style-type: none"> <li>・プリンターの光源がレーザーから LED アレイに変わりつつあり、市場がプラスチックレンズからガラス特殊レンズに移るのは脅威で、LED への対応が必要。</li> <li>・一般照明用光源が LED に置換わり、需要が飛躍的に伸びる。</li> </ul>
課題等	<ul style="list-style-type: none"> <li>・レンズメーカーのノウハウ・強みを活かした LED 光源に対応する高機能で、かつ短期間で他からは真似のできない製品の開発。</li> <li>・レンズによる集光、拡散技術を活用した高効率 LED 照明の開発。</li> </ul>

### ③日東光学（株）

#### LED ダウンライト向けの拡散レンズ及び照明モジュールをラインナップ

##### ・事業の沿革と概要

沿革	<ul style="list-style-type: none"> <li>・1876年、製糸業「東英社」として設立。</li> <li>・1943年「日東光学機械製作所」創業、日本光学工業(株)と提携しレンズ製造に着手。</li> <li>・1951年、「日東光学株式会社」に改組。</li> <li>・1961年にカメラ完成品工場として上諏訪工場を新設、OEMを開始。</li> <li>・1983年、情報機器等オプトロニクス分野に参入、現在に至る。</li> </ul>
事業概要	<ul style="list-style-type: none"> <li>・創業以来60年以上に亘って培った光学技術を核とした「5つのコアテクノロジー」で事業展開している。</li> <li>①光学素子:光学レンズ、プリズム ②金型製造:レンズ金型、プリズム金型 ③プラスチック成形・ガラスモールド:プラスチックレンズ、リフレクター ④表面処理:塗装、UVコーティング、無電解メッキ、印刷 ⑤光学ソリューション:DSC用レンズモジュール、プロジェクター用特殊レンズ、一眼レフ用交換レンズ等</li> </ul>

##### ・特徴

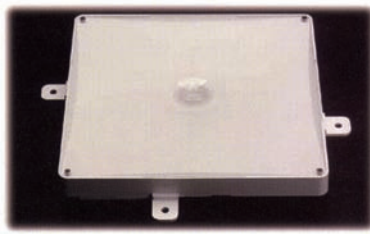
技術面	<ul style="list-style-type: none"> <li>・設計からレンズ加工、金型製作、成形、表面処理、完成品仕上げまで一貫生産体制。</li> <li>・ダウンライト向けに、レンズ形状を変えずに様々な配光角度が可能なLED照明用拡散レンズ(SRCレンズ)を開発。金型費用が軽減でき既成品より安く市場に提供。</li> <li>・LEDとレンズをアッセンブルした内照式看板発光LEDモジュールを開発、販売。</li> </ul>
販売等	<ul style="list-style-type: none"> <li>・積み重ねた顧客との信頼を糧に各事業部でそれぞれ営業活動を実施し、顧客からの様々な要望に応じている。</li> <li>・新規に参入したLED照明用拡散レンズ(SRCレンズ)は、サブカスタム器具用に中小の照明メーカー、電気工事業者を対象に積極営業に努めている。</li> </ul>

##### ・説明図

【同じレンズ形状であらゆる配光角度を実現】



LEDダウンライトに適した  
LED照明用拡散レンズ(SRCレンズ)



内照式看板発光LEDモジュール  
外形サイズ164×164×H18mm  
重量350g 全光束155lm



デジカメのレンズモジュール

##### ・動向と課題等

動向	<ul style="list-style-type: none"> <li>・レンズ価格が安価な海外製品の増加により下がってきている。高度な技術が必要な高解像度レンズなど、高付加価値製品にシフトする。</li> <li>・照明光源がLEDに置換わることにより、これまでレンズ不要だった器具に新たなレンズ需要が生まれる。</li> </ul>
課題等	<ul style="list-style-type: none"> <li>・LED照明器具の規格化・標準化が遅く、同種製品での製品性能差が大きい。</li> <li>・既存光源の価格に近づける、さらなるコストダウンが必要。</li> </ul>

### 6.3.7 液晶ディスプレイ分野

#### ①シャープ（株）

#### UV<sup>2</sup>技術×LED バックライトを搭載した高画質・省エネ性能を両立した LED AQUOS

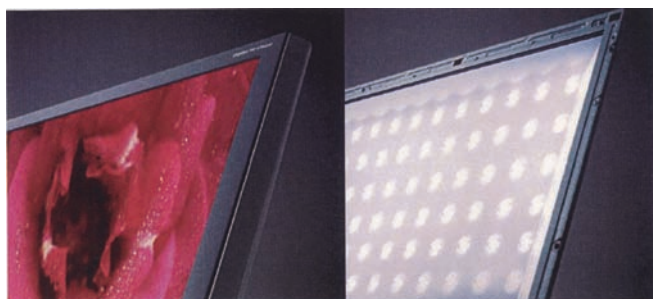
##### ・事業の沿革と概要

沿革	<ul style="list-style-type: none"> <li>・1912年に金属加工業を創業。1915年、金属繰出鉛筆(シャープペンシル)を発明。</li> <li>・1935年に株式会社早川金属工業研究所を設立。</li> <li>・1968年にLEDの開発に着手、70年に量産開始。</li> <li>・1992年、業界初のフルカラーLEDユニットの開発。</li> <li>・2009年、家庭用LED照明事業に参入。</li> <li>・2010年1月より青色LEDチップの生産を開始、現在に至る。</li> </ul>
事業概要	<ul style="list-style-type: none"> <li>・エレクトロニクス機器（AV・通信機器、健康環境機器、情報機器）</li> <li>・電子部品（液晶、太陽電池、LED、光ピックアップ、その他電子デバイス）</li> </ul>

##### ・特徴

技術面	<ul style="list-style-type: none"> <li>・液晶技術を軸とした製品で世界のトップ企業。</li> <li>・液晶テレビでは「AQUOS」、「世界の亀山ブランド」で国内シェアトップ。</li> <li>・2009年より白色LEDを液晶テレビAQUOSのバックライトシステムに採用。</li> <li>・独創的な商品開発で知られ、業界初や世界初の商品を数多く送り出している。</li> </ul>
販売等	<ul style="list-style-type: none"> <li>・単体社員数：22,500名　　・海外事業関係：26ヶ国・地域 61カ所</li> <li>・研究／技術開発：国内研究所 10本部 25部門、海外研究開発拠点 4拠点</li> </ul>

##### ・説明図



LED バックライト (LED AQUOS)



LED シーリングライト (ELM)

##### ・動向と課題等

動向	<ul style="list-style-type: none"> <li>・2008年に日亜化学工業(株)、2009年に豊田合成(株)とLEDおよび半導体レーザーに関するクロスライセンス契約を締結。</li> <li>・青色LEDチップの旺盛な需要に対応すべく、2010年1月から生産開始した三原工場に加え、2011年3月までに福山工場でも量産を開始。生産能力：約50億個/年。</li> <li>・2009年に「LED AQUOS」を発売。今後は液晶テレビのバックライトをLEDに換える方針。</li> <li>・2009年に、リモコンで調色できるLED電球、2010年には業界初のLEDシーリングライト「ELM(エルム)」を発売。</li> </ul>
課題等	<ul style="list-style-type: none"> <li>・液晶テレビのLEDバックライトとLED照明向けに大量のLEDチップが必要となる。調達の拡大、生産設備の拡充などLEDチップの安定供給体制が必要。</li> <li>・液晶テレビの海外市場が昨今の円高や海外メーカーの技術キャッチアップにより厳しくなっている。地産地消体制の整備を進めていく。</li> </ul>

### 6.3.8 車両用光源分野

#### ①レシップ（株）

#### 蛍光灯具から置き換え可能な自動車用省エネ LED 灯具を開発・販売

##### ・事業の沿革と概要

沿革	<ul style="list-style-type: none"> <li>・1948年三陽電機製作所創業、小型変圧器の製作を開始。1951年、バス用蛍光灯電源の開発を機に、バス市場へ進出。</li> <li>・1960年代、自動車用蛍光灯、鉄道車両用蛍光灯を開発。</li> <li>・1990年に新幹線用蛍光灯の生産開始。</li> <li>・2002年に社名をレシップ株式会社に変更。</li> <li>・2009年、自動車用LED灯具の販売開始、現在に至る。</li> </ul>
事業概要	<ul style="list-style-type: none"> <li>・輸送用電装機器（ICカードシステム、運賃箱、LED式行先表示器、車両用照明機器等）、サイン&amp;ディスプレイ関連機器（LED電源、屋外蛍光灯看板用電子安定機器、枕変圧器等）、産業用機器（バッテリー式フォークリフト用充電器、無停電電源装置等）の製造・販売。</li> </ul>

##### ・特徴

技術面	<ul style="list-style-type: none"> <li>・輸送機器用の蛍光灯具を長年製造し、バス・トラック部門では国内トップシェア。</li> <li>・1988年に国内初のバスカードシステムを開発し、現在、ICカード対応運賃箱でトップシェア。</li> <li>・長年培ってきたネオン変圧器の開発・製造技術を駆使して安価で高品質な業務用新蛍光灯型LED用専用電源を開発、量産を開始。また、2009年には、蛍光灯型LED灯具の電源と灯具のセット販売、2010年には、電球型LED灯具の開発・販売も進める。</li> </ul>
販売等	<ul style="list-style-type: none"> <li>・路線バス用機器、列車用灯具で米国をはじめ海外市場の開拓を推進している。</li> <li>・電球型LED灯具はメーカーに加え、個人消費者もターゲットとした市場を狙う。</li> </ul>

##### ・説明図



即時計数機能付薄型運賃箱



冷凍・保冷車荷室用LED灯具



軽自動車用LED灯具

##### ・動向と課題等

動向	<ul style="list-style-type: none"> <li>・環境負荷の低減が企業の社会的要求となりつつあり、長寿命・省エネ性に優れたLEDの需要は今後急速に進む。昨秋から蛍光灯型LED用電源の販売が急激に増加しており、また車載用LED灯具の採用も進んでいる。</li> </ul>
課題等	<ul style="list-style-type: none"> <li>・LEDチップが高いため、従来灯具に比較し、コスト高になっている。周辺材料の耐久性向上と併せ、高品質の製品開発が必要。</li> <li>・照明機器業界におけるLEDの一般照明用としての安全性や性能基準の早期整備。</li> </ul>

### 6.3.9 新用途

#### ① (株) 大仙

#### 創業 118 年、植物工場の開発に取り組む生産温室のパイオニア

##### ・事業の沿革と概要

沿革	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 1892 年に宮大工業を創業、1901 年に日本初のガラス温室の試作品を完成。</li> <li>・ 1960 年に「株式会社大仙工務店」設立、66 年に「株式会社大仙」に社名変更。</li> <li>・ 1968 年にビニールハウスおよび鉄骨アルミ温室の製作を開始。</li> <li>・ 1971 年、全国唯一の総合園芸メーカーとしての体制を確立、現在に至る。</li> </ul>
事業概要	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 各種温室の設計・製造・施工、各種農業資材の製造・販売、トプライト・カーテンウォール等の設計・製造・施工、建材商品の製造・販売・施工、額縁の製造・販売等。</li> </ul>

##### ・特徴

技術面	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 家庭用から大スケールの温室団地までトータルシステムとして、プランニング・設計・施工・アフターサービスまで一貫した責任体制で対応。</li> <li>・ 2010 年 9 月、農作物の効率栽培で培った技術力を活用して、LED 販売の東洋ライト工業(株) など豊橋市の中小企業と共同で、植物工場「クリエイティブ・グリーンハウス」を開発。</li> <li>・ 植物工場は LED 照明を用い、エディブルフラワー（食用花）やレタス、ベビーリーフなどの野菜を効率的に栽培可能。</li> </ul>
販売等	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 鮮度の良い野菜の供給が比較的少ない人口密集都市および香港、シンガポールなど野菜栽培が難しい海外の人口密集都市の富裕層向けに受注を目指す。</li> </ul>

##### ・説明図



トマト工房  
(大仙式トマト養液栽培システム)



経済産業省ロビーに設置された  
「植物工場」のモデル施設



「植物工場」のイチゴ  
とレタス栽培

##### ・動向と課題等

動向	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 植物工場は季節、天候に左右されず安定供給が可能、場所を選ばない、高い生産性、育成や品質のコントロールが可能、肥料・農薬の低減による高付加価値化、快適な労働環境など、多くの利点や可能性があり、その将来性に期待が高まっている。</li> <li>・ 2009 年からの国の植物工場拡大の取組み等（3 年で 3 倍；補助金交付）により、企業の農業参入が増加し、植物工場プラント市場は大幅に伸展する。</li> </ul>
課題等	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 現状では設置コスト、運営コストとも莫大なため、コストダウンと当面は行政等の各種支援が必要。</li> <li>・ 果実栽培の技術開発を進め、栽培技術の確立と経済栽培可能な作物の拡大が必要。</li> <li>・ 植物工場建設に関する企業立地促進制度、建築基準法等における取扱いが未整備。</li> </ul>

## ②水口電装（株）

### スモールフィッシングを目指しイノベーションLED誘魚灯を開発

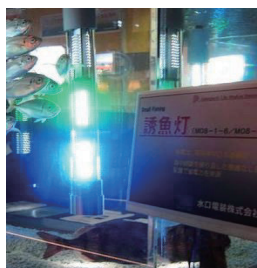
#### ・事業の沿革と概要

沿革	<ul style="list-style-type: none"> <li>・1974年に水口電装有限会社を設立。</li> <li>・1989年に水口電装株式会へ組織変更。</li> <li>・2005年から山口県産学公連携、知的クラスター創生事業で水産分野、農業分野におけるLED照明の推進研究および装置開発を開始。</li> <li>・2010年、LED一般照明（LECOLX）の販売開始、現在に至る。</li> </ul>
事業概要	<ul style="list-style-type: none"> <li>・船舶、製造工場様向けのPAエンジニアリングおよびFAエンジニアリング/食品工場、製造工場様向けのマシナリーエンジニアリング/原発向けメンテナンス機器の製造</li> <li>・水産・農業分野のLED照明の研究開発および民生用LED一般照明の販売。</li> </ul>

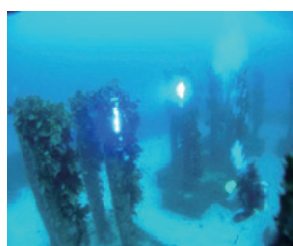
#### ・特徴

技術面	<ul style="list-style-type: none"> <li>・2008年、光を集約して光量を確保し、明暗をつけることで魚を誘導するLEDによる新しい誘魚灯を開発。海中試験を繰り返した最適なLED配置で省電力を実現。独立行政法人水産大学校と共願で特許取得済み。</li> <li>・DC12/24V仕様40W～300Wタイプをラインナップ。</li> <li>・（独）水産大学とプランクトンや魚が集まる理論的裏付けを研究中。</li> </ul>
販売等	<ul style="list-style-type: none"> <li>・2008年からモニター販売中。2011年5月発売開始予定。</li> </ul>

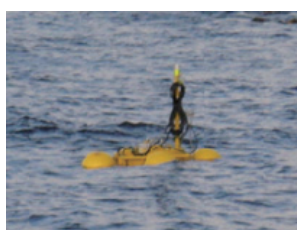
#### ・説明図



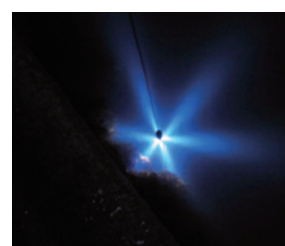
130w型誘魚灯



柱状漁礁に設置型誘魚灯



海上設置の誘魚灯



水中での誘魚灯発光

#### ・動向と課題等

動向	<ul style="list-style-type: none"> <li>・低消費電力で光の制御性が良好なLED誘魚灯で、コストダウンと採算漁獲量が増えれば燃料費の低減、発電機等の装備コスト低減及び選別漁業により採算性向上に寄与出来る。</li> <li>・沿岸漁業では光漁礁として魚類の資源保護への応用の可能性が検討されている。</li> </ul>
課題等	<ul style="list-style-type: none"> <li>・既存灯に比べ発光効率が少なく又最適波長が実証されていないことから、採算漁獲量に達しない。</li> <li>・魚群行動に未知の部分が未だ多く、魚群行動の科学的解明とLED照明の特徴を生かした光制御開発により、新しい漁法の創成が期待される。</li> <li>・魚種による集光行動の違い・忌避行動の解明は選択漁業を産み、海洋牧場などの研究開発に発展することが期待される。</li> </ul>



### 6.3.10 伝統の灯りととの融合

#### ①丸滋製陶（株）

#### 現代のライフスタイルに似合う和風モダン手作り信楽焼の窯元

##### ・事業の沿革と概要

沿革	<ul style="list-style-type: none"> <li>・1877年に陶器製造業（個人）として創業。</li> <li>・1948年に丸滋製陶株式会社設立。</li> <li>・創業当初から火鉢、植木鉢、傘立てと変遷し、現在は手洗い鉢、水連鉢、ガーデンテーブル主体。</li> </ul>
事業概要	<ul style="list-style-type: none"> <li>・信楽焼の伝統を受け継ぎ、現代ライフスタイルに似合うインテリア焼物（傘立て、ガーデンテーブル、水鉢、手洗い鉢、照明具、花器、水琴等）の製造・販売。</li> </ul>

##### ・特徴

技術面	<ul style="list-style-type: none"> <li>・1つからでも多彩な注文に応じ、デザインから焼成まで自社で一貫して手作り。</li> <li>・信楽焼の特徴である“おおらかさ”とは一線を画した丁寧・しっかり仕上げ。</li> <li>・2010年3月、陶器とLEDによる新作照明器具や透光性がある陶土（信楽透器）を使った作品展示会を信楽窯業技術試験場と共同で地場産地として初めて実施。</li> </ul>
販売等	<ul style="list-style-type: none"> <li>・水廻り専門の高級品ショールーム「le bain」（ル・ベイン）を通じて、製品を一流ホテル、マンションなどに販売・納入している。</li> <li>・2003年から製作現場の2階に信楽焼の良さを直接見て納得してもらおう場として木造ギャラリーを開設している。</li> <li>・信楽透器によるLED商品（傘立て、ガーデンテーブル）を2010年10月から販売予定。</li> </ul>

##### ・説明図



「Lu ceramica」シリーズ  
LED照明を使った傘立てと  
ガーデンボックス



製作現場2階の木造ギャラリー



信楽透器（信楽窯業技術研究所開発）  
インテリアライト

##### ・動向と課題等

動向	<ul style="list-style-type: none"> <li>・信楽焼は生活必需品でなく、趣味・贅沢品のため今後も市場は厳しい。</li> <li>・高級トイレ、洗面、ポストなど、生活必需品の分野に見出ししていく。</li> </ul>
課題等	<ul style="list-style-type: none"> <li>・LED商品は高価なため、高所得者層を対象にデザイン・品質等の充実が必要。</li> <li>・陶器問屋を通じる従来の商流が崩れており、高級品ショールームへの展示、住宅関連業者による共同リビングカタログへの商品掲載等、新たな販路開拓が必要。</li> <li>・光を通す信楽焼「信楽透器」を用いたLED陶器製品の拡充とコストダウン。</li> </ul>

## 第7章 LED 関連産業の振興に向けて

### 7.1 学界、官界への提言

これまでに、LED および LED 照明に関する技術、産業応用について述べてきた。ここでは、LED および LED 照明に関する技術、産業応用の現状を踏まえ、将来の LED 関連産業の振興に向けて特に学界、官界への提言について述べる。

図 7.1-1 に LED 照明に関する技術のロードマップを示す。この図は、LED チップの開発から新しい LED 照明のあるべき姿についてまとめたものである。従来の照明器具である蛍光灯が LED 照明に置き換わるには、いくつかのステップを経る必要がある。1986 年に窒化物半導体の高品質化に関するブレイクスルー技術が発明され、光の三原色が LED で実現できるようになり、白色 LED の実現が期待されていた。1996 年に白色 LED が発明されてから、LED は次世代照明デバイス用光源として注目を浴びるようになった。LED の発光効率は年々改善され、実験室レベルでは 250 lm/W が実現されている。LED を用いて LED 照明を実現するためには、LED の高効率化だけでは不十分で、LED の配光制御や色度制御などの光学的な技術、LED の制御回路及びシステム、電球や蛍光灯の置き換えにとどまらないインテリジェント LED 照明デザインなどの各要素において要素技術を構築すると共に個々の要素技術が連携し合うことが必要である。このような段階を経ることで、LED 照明は単なる電球や蛍光灯の置き換えだけではなく、その場、その時、その人にふさわしい照明環境が得られるユビキタス照明や環境や人に配慮したグリーン照明など LED 独特の照明の新しいあり方を提案することができる。以上の考えに基づき、LED 関連産業の振興に向けた学界及び官界への提言を以下のようにまとめる。

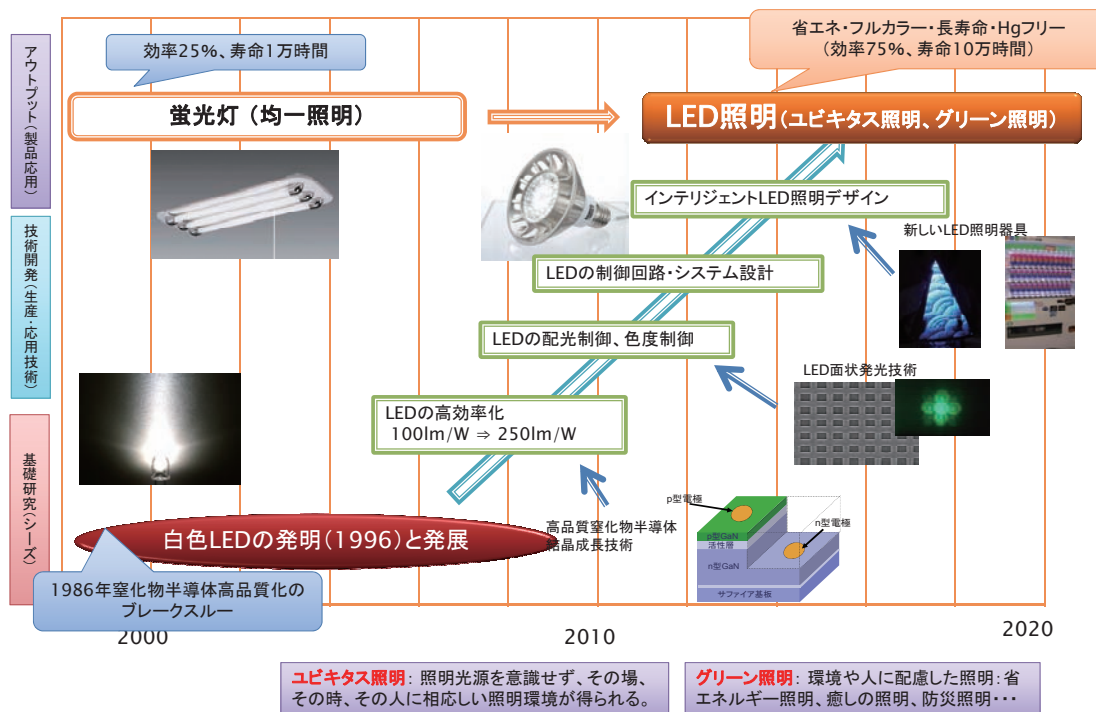


図 7.1-1 LED 照明に関する技術のロードマップ

学界においては、これまで窒化物半導体の高品質化をはじめとする LED の発光効率を高めることに重点を置いた研究開発が行われてきた。今後は図 7.1-1 に示すロードマップの各カテゴリーで必要とされるシーズを発掘し技術をもることが必要で、特にチップ作製以外のカテゴリーのシーズ発掘が重要である。また、LED 照明の新しい応用に関してアイデアを提供していく必要がある。また、これらを実現するためには、LED チップからデザインまでの各段階の技術全体を統合し、産と学または学部を超えた学際的な学と学の強固な連携が必要である。さらに、世界においては、デザインに関してはヨーロッパが、個々の要素技術に関しては、台湾や韓国が、マーケットに関しては中国が強みを持っているので、日本国内だけでなく世界的な連携も必要であると考えている。

また、人材育成も重要である。表 7.1-1 に三重大学および三重県で取り組んだ人材育成の一例を示す。LED は従来の電球や蛍光灯と比べ発光原理が全く異なるため、LED の特徴を生かすためには、LED の特徴や原理を理解し、既存光源にはない新しい LED 製品のアイデアやそれに見合った照明デザイン手法が必要になる。このため、LED の導入を検討している企業などの社会人を対象にした実践的かつ啓蒙的な人材育成や、若手の研究開発者、学生、子供たちを対象にした LED の導入教育など様々なレベルにあわせた人材育成が必要である。

表 7.1-1 三重大学および三重県で取り組んだ人材育成の例

初等～中等教育向け	リフレッシュ理科教室（小・中学生対象の理科工作教室） 三重県内の高校での大学模擬授業
大学生、大学院生向け	電気電子工学実験（発光ダイオードやレーザーを用いた光の実験） 半導体工学、光学、光エレクトロニクスの講義 学部生、大学院生の研究指導
社会人向け	社会人の博士後期課程学生受け入れおよび研究指導 産学連携製造中核人材育成事業への協力 三重県内企業向け白色LED照明講座 感性系照明開発技術研究会（伝統工芸との融合を目指した研究会） 各種セミナーおよび研究会等での講演活動

官界においては、図 7.1-1 に示したロードマップにおける各カテゴリーの統合、技術連携に向けて産－産、学－学、産－学の連携を支援する仕組み作り、使用や安全に関する法整備の早急な確立とそれに伴う産との調整が必要であると考え。さらに国際的な連携の支援や研究開発の取り組みに関する積極的な情報発信も必要である。また、LED は照明以外にも活用範囲は広いので、産－産、学－学、産－学の連携を支援する仕組み作りを円滑に行うためには、LED 関連技術開発向けの研究費の支援を強くお願いしたい。

## 7.2 産業界への提言

LED は日本で生まれ世界をリードしてきた素晴らしい技術であり、LED の発明はまさに「第二の照明革命」と言っても過言ではない。照明技術は我々の生活や文化にも大きな影響を与えるものであることより、中部地域は勿論日本、世界でも一大産業として大切に育てることが重要である。今後いっそう LED 産業を育成し日本が LED 産業界で世界をリードし続けるために、以下の提言をとりまとめた。

日本発の技術は世界中に数限りなく存在するが、残念ながら世界をリードし続けている技術は非常に少ない。その理由としては、海外の企業に比べて意思決定のスピードが遅いため投資のタイミングを失ってしまい、市場を支配することが出来なかったことが最も大きな理由である。日本人は、品質の良いものを安く製造することにかけては、世界のどの国よりも優れている。しかし、マーケットのニーズを捉えることやさらに一步踏み込んでニーズを創造することはほとんど行われていない。1980年代から1990年代の前半、日の丸半導体の世界を席卷していた時は、“How to Make”の時代であり、品質の良いものを安く作ることで世界をリードすることができた。しかし、1990年代後半から”What to Make”の時代に突入し様相は一変した。マーケティングにより市場のニーズを的確に把握し市場のニーズに合致したものをタイムリーに市場に投入できることがビジネスを制するための必須条件となった。マーケティング力が弱い日本企業はこのころから凋落を始め、日本発の技術も本格的なビジネスが始まるころにはすでに外国企業に市場を掌握されているケースが年を追うごとに多くなってきた。現在は市場の進化がさらに進んで”How to Use”の時代になった。この時代になるとマーケットのニーズを捉える事だけでなく自らがマーケットを創造することが重要な要件となる。日本の産業界にとってこの市場の進化に適応できなければ”技術立国日本”という言葉は完全に死語になってしまう。

”産学官連携”という言葉が10年くらい前から盛んに使われるようになり産業界、学界、行政ともに模索を行ってきたが、まだ日本の文化に合致したスキームは形成されていない。まず日本が行わなければならないことは、産学官連携のモデルを構築し、そのモデルを最大限に生かしたビジネスを展開することである。そのためには、産業界はマーケティングの重要性を十分に認識し、マーケティングに十分な人や資金を拠出する必要があると同時に、良い技術を持っている大学や研究機関には積極的かつ迅速に資金を拠出する必要がある。学界は、かつての企業の中央研究所の役割を果たさなければならない。そのためには大学と企業が密接な関係を築くことが非常に重要になってきた。特に工学部の博士課程の学生は企業との共同研究の中で学位を取得し、卒業したらその企業に就職するといった思い切った仕組みの構築が必要である。また、工学部では企業が製品を製造する時に使用する技術の”メカニズムの解明”が最も重要になってきている。行政は、産業界や学界の状況を正確に把握したうえで公的資金をタイムリーに拠出しなければならない。なぜなら最近の世界の技術開発のスピードは5~10年前とは比べものにならないくらい速くなっており、新技術開発のリスクを企業だけが負うことはもはや不可能になってきており、基盤技術開発は公的資金を如何に有効に使うかがポイントとなる。現在はオープンコラボレーションという言葉が良く使われるが、この”オープンである”ということが最も重要

なことであり、そのためには、データベースの整備とネットワーク環境の整備を早急に行わなければならない。現在は、”ひとつの技術だけでものづくりを行うことは不可能“であるため、協調する部分と競争する部分を明確にし、連携する組織同士が WIN-WIN の関係を築けるように契約を締結したのちに連携活動を始めるようにしなければこの変化の激しい時代を乗り切っていくことはできない。また、全ての行動は人によってなされるものであるため「人材育成」の在り方も時代の変化に合致するように変わらなければならない。まず、英語によるコミュニケーション能力の向上は行われなければならないことは言うまでもないが、さらに自分の専門領域を深耕することだけでなく、その周辺の技術も取り込んで応用できるレベルの知識や見識を有する人材を育てなければならない。そのためには、実際の製造現場において自分で物を作ってみることが必須である。机上で考えているだけで良い技術を開発することは不可能であり、実際の製造現場において自分で創意工夫を行いながら技術開発を進めることで、初めて社会に役に立つ技術を作り上げることが可能となる。また日本人は学会等において質問をほとんどしない人が多いように思われる。これは、自分の意見を他の人の前で述べる訓練が欠けているからである。前にも述べたがひとつの製品を作るのに多種多様な技術を用いなければならない時代であるので、自分の必要とする技術を持っている人と上手にコミュニケーションが出来なければ製品を開発することはできない。そういう意味でも、お互いの意見を戦わせるようなディスカッションの場を持つことは非常に重要である。大学においては、教官の話聞くだけでなく教官と学生が意見をぶつけ合うことが出来るような講義の進め方も工夫されるべきであるし、企業においても職位の枠を超えて技術者同士が解決しなければならない技術内容や新技術の導入について議論を戦わせることによって、技術レベルの向上や判断の確度の向上が図れる。

最後に、LED 技術を大きな広がりを持った技術として発達させるにはどうすればよいかに関して提言したい。LED 技術を「単なる照明技術」として捉えてしまうと大きな発展は難しいが、この技術を「新しい光の技術」として捉えると応用範囲は非常に広がってくる。そのためには、日本が有する数々の技術と LED 技術を融合することが重要でその“技術の融合”のところに付加価値が存在する。応用が考えられる分野を具体的に上げてみると

- (1) 滅菌・殺菌をはじめとする医療技術分野
- (2) 新しい照明デザインによる住宅や生活の質の向上に関連する分野
- (3) 環境・エネルギー対策分野
- (4) 光通信分野
- (5) 農業・漁業分野

などが考えられる。

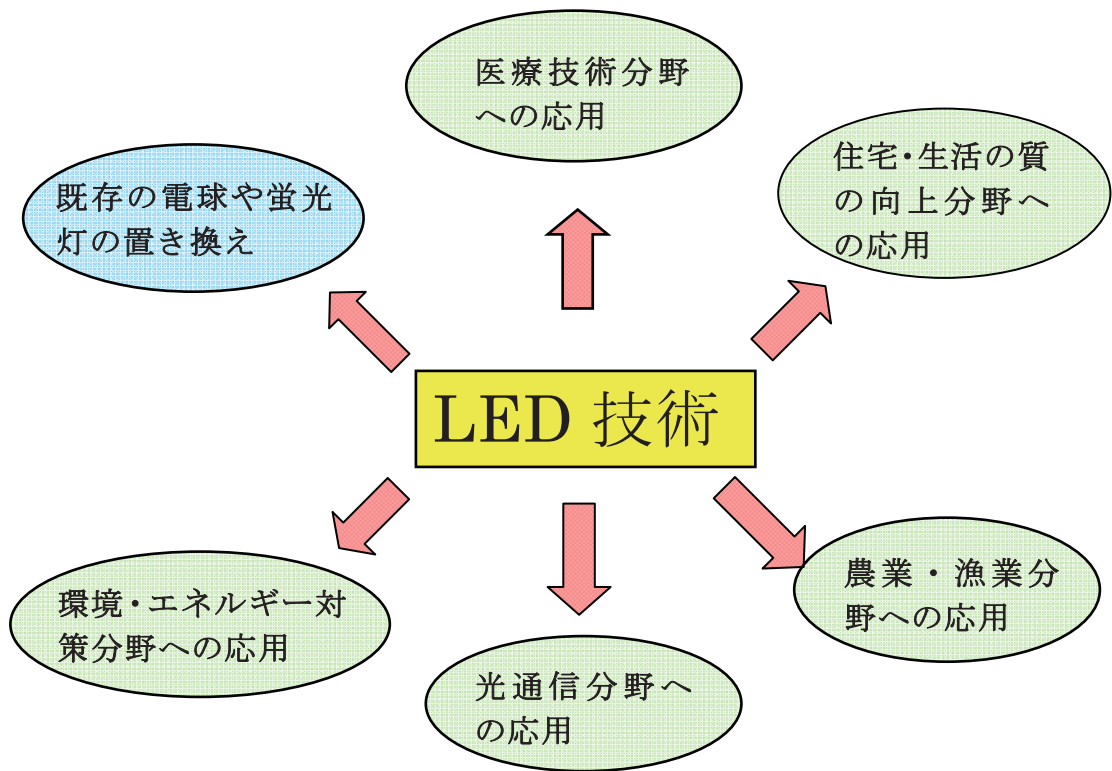


図 7.2-1

技術は「社会に着地」して初めて社会に貢献できる。技術を社会に着地させるためには多くの人々の力を借りなければならない。そういう意味で、今までは研究開発を研究開発者だけで行ってきたが、今後は、研究開発を行う場合、「実際に研究開発を行う人」と「研究開発をマネジメントする人」が必要でありその両者が如何に上手にコラボレーションを行うかで研究開発が成功するか失敗するかが決まる時代になってきた。「研究開発マネジメント」に関しては、残念ながら日本は遅れていると言わざるを得ない。また最初の方で述べた意思決定のスピードも諸外国に比べて遅すぎる。現在は、まさに『新産業革命の時代』である。技術開発においても過去の栄光に浸ってばかりいては、世界の新しい潮流に乗って国を発展させることは難しい。もう一度基本に立ち返って、産業界、学界、行政が如何に行動するべきかを真剣に考えなければならない時に来ていることは間違いないであろう。

## 1. 薄膜型 LED への挑戦続く

LEDは、ノートPCや液晶TV用のバックライトユニット（BLU）および一般照明への採用拡大で完全に成長軌道に乗った。BLU、照明、車載の3分野が立ち上がれば1兆円市場に達するといわれて久しいが、ようやくこれが現実となり、今後10年は右肩上がりが続くとみる業界関係者も少なくない。

高い将来性を背景に、チップの増産競争がさらに激しさを増している。SEMIによると、ディスクリート工場全体に占めるLED工場への投資比率は06年に約40%だったが、10年と11年は90%以上に高まる見通し。09年は7工場が新たに生産を開始したが、10年は5工場以上、11年は現在のところ6工場が操業する予定だ。

新工場の多くは中国や台湾に建設されるが、日本のほかにインドやロシアにも設立される予定。設備投資額は、メモリーやファンドリーには及ばないが、チップ生産能力の成長率はメモリーの3倍、ファンドリーの3倍になるもようだ。

混戦を抜け出すために必要なチップの高輝度・高出力化技術として、薄膜型LEDに注目する。サファイアウエハー上に形成したGaNエピ層をレーザーで剥離し、別の支持基板に載せ換えたものを指す。サファイアへの光吸収がなくなるため輝度向上に寄与するほか、支持基板によっては放熱性が高まり、デバイスの薄型化にも効果的。ただし、剥離や実装工程が追加されるため高コスト、というデメリットもある。

すでにオスラムがThinGaN技術、フィリップスルミレッズがTFFC技術として実用化し、日亜化学も一部製品に適用し始めたもよう。オスラムはThinGaNを改良した「UX3」を開発、年内に量産適用を開始する。サムスンLEDの主席研究員Kwon Jae Wook氏は「当社での量産は3~4年先」としながらも「2~3年後の高出力LEDは薄膜型がメインになる」と断言する。

高輝度化の手法は、結晶性の向上はもちろんのこと、pGaN層の表面粗化やサファイアウエハー表裏面へのパターン加工（Patterned Sapphire Substrate）などによっても実現可能。低コスト化に向け、シリコンウエハーを生産に活用する手法も検討されており、LEDチップはまだまだ進化の余地を多く残している。

BLUや一般照明への適用で、LEDには低価格化が宿命付けられている。激しい増産競争と価格圧力の狭間で、高輝度・高出力化技術をいち早く実現したメーカーが他社より多くの利益を得られるはずだ。

## 2. 商業施設の省エネ化に向けて高効率照明のLEDが一気台頭

商業施設や外食店舗などにおいては、省エネ化に向けて高効率照明の採用が徐々に進んできた。例えばスーパーなどの例では、ショーケース冷凍機器、ショーケース電灯、空調、一般照明で実に9割以上の使用電力を占めており、照明はこのうち3割程度を占める。さらにアパレル店舗では、照明比率はさらに高くなることから、高効率照明の採用が重要になってくる。商業施設向けの新たな照明として、今もっとも注目を集めているのがLED照明だ。

改正省エネ法への対応や、使用電力量を下げたCO<sub>2</sub>排出量削減効果を見込むほかに、ランニングコストを低減することが狙い。また、企業として環境への配慮をアピールする側面もある。ここへきて素子の発光効率や器具の改善で明るさと効率が上がり、各社から80lm/W以上と60Wの白熱灯に相当する明るさが出始め、これにより白熱灯と比べて電気使用量を半分に以下にできることから、急速に広がっている。

新光源「LED」の取り扱いには、既存の照明メーカーのみならず、新規参入のベンチャー企業も参入している。店舗の照明には、外構照明や看板照明などの屋外用照明と、店内の主要照明や間接照明などの室内用照明があり、また冷ケースや誘導灯など様々で、LED照明を取り扱う各社はそれぞれの強みを活かした製品を開発している。

なかでも、採用が拡大している看板向けのLED照明は、ベンチャーから大手まで多くのメーカーが参入。『まずは看板からLEDに』という提案で、すでに多くの施設に採用されている。看板向けのLED照明市場は今後ますます拡大するだろう。

一方、建物全体を演出するフルカラーLEDは、専門特化型のメーカーが得意とする分野だ。フルカラーLEDによる効果的な演出には、照明の制御技術が必須となるからである。カラーキネティクス・ジャパンがトップシェアとして有名だが、研究開発型のベンチャー企業が参入し始めており、競争が増えているという状況だ。

店内用の照明では、パナソニック電工が最も多くの製品ラインアップを抱え、SCなどの大規模な商業施設から、コーヒーショップや雑貨店など小型店舗までの市場を狙っている。これに東芝ライテックが追走する格好だ。また、遠藤照明やコイズミ照明、大光電気といった器具メーカーも独自の照明設計で存在感をアピールしている。

ここにも、ベンチャー企業は参入してきている。IDECは、飲食店でよく使用されているハロゲンランプの置き換え需要を見込み、ハロゲンランプ型のLED電球を発売しており、今後はこの分野の競争も激化しそうだ。



### 3. コンビニ、飲食でも LED 採用急ピッチ

LED 照明を積極採用し、業界を牽引しているのがコンビニ勢だ。セブン-イレブンは天井にトップライトを設置して自然光を取り入れ、店内の全ての照明に LED を採用した。ローソンはさらに積極的で、これまで、約 42 店でスポットライト型とライン型の 2 タイプで効果を検証してきた。店舗全体の消費電力量が約 35%削減できたため、本格導入に踏み切った。

また、飲食店舗において、LED 照明の採用が拡大しつつある。外食では吉野家やマクドナルドといったファーストフード系を中心に、ワタミなどの居酒屋系も積極採用する意向だ。店内や看板などに LED 照明を導入する動きが目立っている。全体的には実験店の位置づけで、今後検証を経て、本格導入へと進みそうだ。

外食で特徴的なのは、コンビニなどとは異なり、店内は高照度の明るさは必要なく、むしろテーブル上の光が重要。ハロゲンや白熱球がスポットライトとして使われ、これが LED に置き換わる。だが、「実験店で検証して電気量を確認できても他店では違う結果が出た。LED は標準化されていないし、バラつきがある。多くの店舗に導入するためには均一な性能が欲しい」（大手外食企業）と訴える。また照明デザイナーのなかには白熱球の優しいあかりに LED は到達していないとして、見送る例も少なくないという。

指向性の強い明かりとなるため、同じ企業でも空間的な広がりを求める業態では蛍光灯を使う傾向が強い。

課題も多い。最大の課題は導入コストだ。価格差が既存照明と比べてトータル的には数倍あり、イニシャルコストは格段に跳ね上がる。ランニングコストで相殺できてもその差はまだまだ開いており、投資回収は 5 年以上かかるというのが大勢であり、ユーザーの要望では 2~3 年を求めるのが強い。

このためファミリーマートは LED 照明の本格導入には慎重。1985 年から導入している蛍光灯の調光システムは全店に及び、20 年前と比べて電気使用量を 50%抑えている。「LED 照明の効果が、蛍光灯の調光システムと同等以上になれば導入する可能性もある」という。

このように LED 照明導入に慎重小売、外食企業は LED 照明の価格下落を待つ。各社に共通するのは、2010 年は LED メーカーが増産を急ピッチで行なう様相だ。これが実現すれば 2010 年は一気に LED 照明の採用が進みそうだ。

一層の高効率もコストダウンに寄与する。100lm/W が達成できればさらに灯数を削減できるほか、演色性も向上できる。

こうした大型市場に従来の照明メーカーに加えて、新興企業や異分野からの参入が顕著。LED 照明は、超寿命、低エネルギーばかりがクローズアップされ、寿命や保証の定義があいまいになっており、工業会では 4 万時間、明るさが 70%を寿命としているが、明るさ 50%、10 万時間などまちまち逆にユーザーを混乱させる状況も指摘されている。今後、より普及にはこうした規格統一も求められる。

また、使う側の明かりに対する考えが変わってきている。ある大手コンビニ店舗開発者は、「これまであまりに明るい店舗を作ってきたが、これからはもう少し照度を落とした店作りを目指すべき」と話す。以前のような煌々と光る不夜城のような店舗ではなく、いやしや落ち着きを求める流れになっている。

#### 4. LED マーケットは日本勢が牽引、しかし韓台中一気逆転の勢い

LED の研究開発については、日本は開発、生産共にこれまで主役の座にあり、世界をリードしてきた。2008 年に開催された世界初の白色 LED 国際会議は、日本の東京で開催されたことを見ても、日本がリード役であることはよくわかるだろう。2007 年当時までは、世界シェアの 40%を日本の日亜化学が世界チャンピオンとしてトップシェアを誇示してきた。二番手には豊田合成がおり、東芝、シャープ、パナソニックなども活躍しており、最近では三菱化学や昭和電工といった素材系メーカーがこの分野に本格参入してきた。

ところがここに来て、韓国サムスンが月産 10 億個体制を固め、世界首位の日亜化学に肉薄してきた。2011 年初めには、2 倍の月産 20 億個体制を固め、日亜を倒し、世界チャンピオンを獲ることはほぼ確実な情勢となっている。同じ韓国勢の LG も大型投資を決めており、コリアンパワーは半導体メモリー、液晶に続いて、LED の世界においてもニッポン打倒に動いているのだ。欧州勢を代表するオスラム、米国ではクリー、アバゴが力をつけてきた。また、台湾のライトオン、エバーライト、キングブライト、オプトテックなども虎視眈々と上位をうかがっている。日亜化学の世界シェアはすでに 20%を割り込んでおり、二番手であった豊田合成は 12 位までランクを落としてしまった。LED 王国ニッポンの地位が揺らいでいるのだ。さらに、中国はすでに LED 照明マーケットが 1 兆円に達しているとの情報もあり、これまでは外国勢 LED チップを使うことが多かったが、ここに来て一斉に国産メーカーが工場建設に走っている。韓台中の投資ラッシュの中で日本勢はどのように戦っていくのかが、いまや問われている。

## 5. 農業、医療、装置など様々な新展開が期待される LED

パソコンなどの IT 技術を駆使し、LED 照射で生産効率を上げるという IT 農業という分野が注目されている。実際のところ、野菜や果物などに LED を照射すれば、多くの美德（栽培時間、栽培量）が得られるというのだ。経産省はこうした LED 導入型の IT 農業に対し、多くの奨励策を設けている。

医療分野においても様々な実験がトライされている。癌に代表されるような難病に対し、LED 照射で治癒するというケースは度々認証例でも公表されている。また、医療機器に光源として LED を使うという例も出てきている。半導体製造装置や各種工作機械においても、LED を使ってコストと寿命を伸ばすというケースが増えている。

また LED は、光の指向性が強く小さく薄いために、スポットライトや足元灯への利用も可能になる。こうした特徴を活かし、建材や家具の中に埋め込むことも可能なのだ。デザイン性も広がることから、おもしろいと考える照明デザイナーも多いのだ。もちろんテレビスタジオ、劇場などにおける商業的な照明機器としても LED の採用は進んでいくだろう。

また、デジタルサイネージと言われる電子看板に多く LED が搭載されるという見通しもかなり出てきた。たとえば、日本サムスンは、2010 年 6 月に、従来比最大 45% の省電力化を実現した LED 搭載液晶電子看板システム「EX シリーズ」の販売を開始した。同シリーズ合計で年間 1 万台の販売を目指している。今回発売された製品群は、40 型の「400EX/Exn(LED 搭載フル HD)」、46 型の「460EX/Exn」、55 型の「550EX/550Exn」。①従来品比 33～45% の低消費電力化、②従来品比 60～70% の薄型化、③従来品比約 40% の軽量化を実現している点などが特徴となる。同シリーズでは全機種でエッジライト方式の LED バックライトを搭載。具体的には 40 型で 224 個、46 型で 256 個、55 型で 306 個の LED 素子を搭載している。これにより、従来の冷陰極管と比べて、大幅な薄型・軽量化および低消費電力化が実現。厚さ 39.9 mm (40 型のみ 42.6 mm)、40 型では重量 12 kg が実現し、女性でも容易に持ち運びができる。

熊本県八代市にある村上産業という創業 100 年を迎えた畳屋が、先ごろ LED 畳を本格的に販売開始した。畳そのものが光を放ち、色彩に彩られることが素晴らしいということで、全国から引き合いが殺到している。黒、茶、紫、白、グリーンの 5 色があり、和室や畳といった日本文化の新たな可能性を探るという意味でも素晴らしい試みだろう。

滋賀県琵琶湖にあるクリスタル光学は、恐らくは世界初と言われる全 LED 照明工場を京都に立ち上げた。工場の内部も外部もすべて LED 照明であり、5000 万円を投じたが、電球に比べて 30～40% の省エネルギーを実現し、デザイン的にも素晴らしい。自動車メーカーや電気メーカーなどが同社の京都新本社工場を訪れることがはっきりなしだという。つまりは、生産現場である工場においても LED 照明全導入の波は、すでに巻き起こっているのだ。

LED は、新照明革命の主演として期待が高まり、かつそのアプリケーションについても豊富なアイデアが世界中から出てきている。単に電球を置き換えるだけではなく、LED という新デバイスが新しい人類の文化を創っていくことは間違いないことだろう。

－中部産業レポートシリーズ－

Vol.1	環境関連産業	2002年3月発行
Vol.2	バイオ関連産業	2003年3月発行
Vol.3	福祉機器関連産業	2004年3月発行
Vol.4	航空機関連産業	2007年3月発行
Vol.5	危機管理産業	2009年3月発行
Vol.6	次世代ロボット産業	2009年10月発行

---

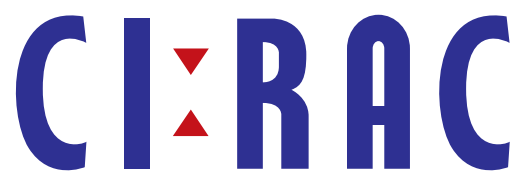
中部産業レポート Vol.7 LED 関連産業 報告書

---

2010年12月

制作発行 財団法人 中部産業・地域活性化センター  
(担当：産業振興部長 徳田達彦)  
〒460-0008 名古屋市中区栄2丁目1番1号 日土地名古屋ビル15階  
TEL：(052) 221-6421 FAX：(052) 231-2370  
URL：<http://www.cirac.jp/>

---



Chubu Industrial and Regional Advancement Center

財団法人中部産業・地域活性化センター

〒460-0008

名古屋市中区栄 2-1-1 日土地名古屋ビル 15 階

TEL:052-221-6421 FAX:052-231-2370

URL:<http://www.cirac.jp>