

# LED照明



LEDによるイルミネーション  
(上から歌舞伎座、皇居外苑、東京スカイツリー/雅、袋田の滝)

# LED発光

**LED**(Light Emitting Diode/**発光ダイオード**): 導電することにより発光する半導体素子。電子の持つエネルギーを直接光エネルギーに変換することで発光し、熱や運動のエネルギーを介さない変換効率のよい発光体。また、白色光や種々のカラー発光が可能となり、普及を加速している

**発光の仕組み**: LED素子(チップ)はP型(正孔)とN型(電子)の2種類の半導体を接合したものの。これに順方向の電圧をかけるとこの電子と正孔が移動して電流が流れ、移動中に互いにぶつかり合って再結合したときに余分なエネルギーを「光」として放出

**白色LED**: 白色を出す白色LEDは存在せず、色の合成で白色を作る。LEDの白色は太陽光(白色)と異なり一般的に紫外線、赤外線を含まない

	方式	備考
シングルチップ方式	(1) 青色LED + 黄色蛍光体	<ul style="list-style-type: none"> <li>●現在の主流方式</li> <li>●蛍光体の塗布量等により色バラツキが目立ちやすい</li> <li>●演色性の改善研究も行われている</li> </ul>
	(2) 紫色(近紫外)LED + R・G・B蛍光体	<ul style="list-style-type: none"> <li>●赤色蛍光体の効率が悪く、実用化されているものの効率は“青色LED+黄色蛍光体”方式より劣る(効率改善研究進行中)</li> <li>●寿命の改善が課題</li> </ul>
マルチチップ方式	(3) R・G・B3色LEDの混光	<ul style="list-style-type: none"> <li>●各色LEDのバラツキ抑制が必要(白色にした場合の色バラツキが目立ちやすい)</li> <li>●LEDの色によって点灯電圧が異なるため、回路構成が複雑になる</li> </ul>

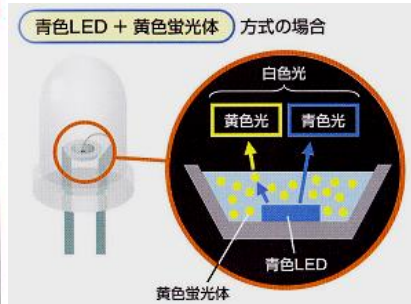


図58-3 白色LEDの方式 ⑤

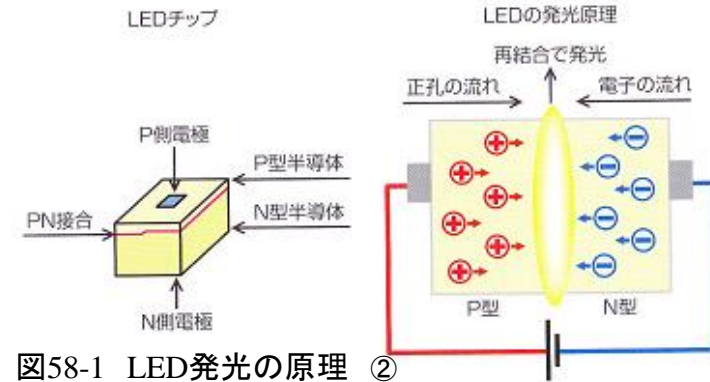


図58-1 LED発光の原理 ②

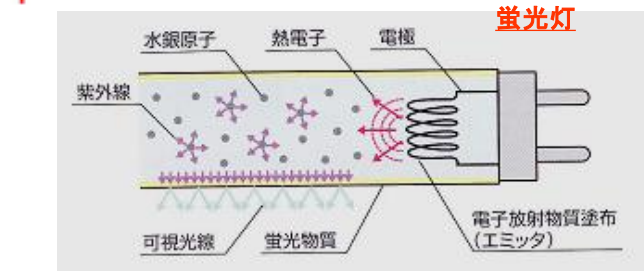
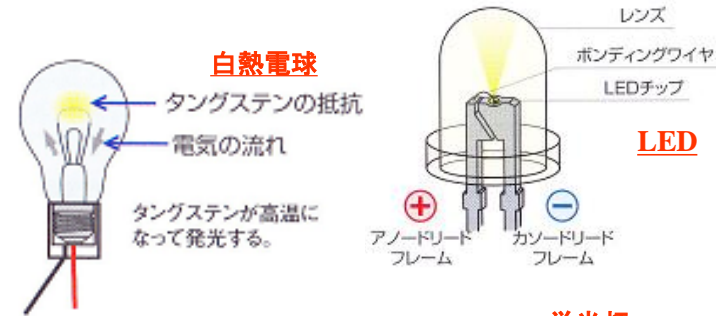


図58-2 各種照明機器の発光 ②

表58-1 各種発光のメカニズムによる分類 ④

加熱発光	分子の熱運動によって発光	ローソク、石炭、白熱電球
放電発光	気体中で放電するとき、気体がプラズマ状にされ発光	ネオンサイン、火花放電、雷、水銀灯、Naランプ
反応熱発光	爆発等の急激な熱反応に対して発光	爆薬
励起発光	分子・原子の電子が外部エネルギーで励起し、元に戻るときに光を放出	発光ダイオード、レーザ、X線、生物発光
化学発光	爆発より緩慢な化学反応で発光	化学反応による放射光

# 特長

低炭素社会への世の中の動きで、電力消費の少ないLEDが注目され、一般照明用のLED電球の低価格化も進み、長寿命による維持費の低減と合わせてLED照明の各種用途へ飛躍的に普及しつつある

表58-2 発光ダイオードの特徴 ④

小型	半導体で作られたチップは小型化が可能
単一波長	LEDは単一波長の発光
低電圧駆動	1.5~6v(発光色により変わる)の電圧で発光。乾電池でも発光
長寿命	加熱発光ではないため消耗がない
低消費電力	加熱ではない電気-光直接変換は高効率
点光源	広い発光面は製作が難しい。3x3mm以下
高速応答	電源に対する応答性が高く、10μsで発光。繰返し点滅は10万回/秒が可能
低出力	5w/1素子が最大。大出力にはLEDを複数配列
狭い照射範囲	出力/1素子が小さく室内電球、自動車ヘッドランプ等が最適。徐々に適応拡大

表58-3 LED光源と他の光源との比較 ⑧

特性項目・単位	LED	白熱電球	蛍光灯
発光強度lm(全光束) <入力w>	300-800 <6-10>	800 <60>	3100 <40>
ランプ発光効率lm/w	70-100	17	68-84
エネルギー変換率*1%	27-38	8-14	25
寿命hr	40,000 *2	1,000	12,000
発熱%	60-70 *3	90	75
応答性*4ms	0.0001以下	150-250	1000-2000
指向性	レンズ付は指向性あり	等方性	等方性

- \*1: 可視光エネルギーへの変換率
- \*2: 実際には4万hr達成した検証可能な個体数は少ない
- \*3: 赤外放射はゼロ
- \*4: 電源投入一点灯時間

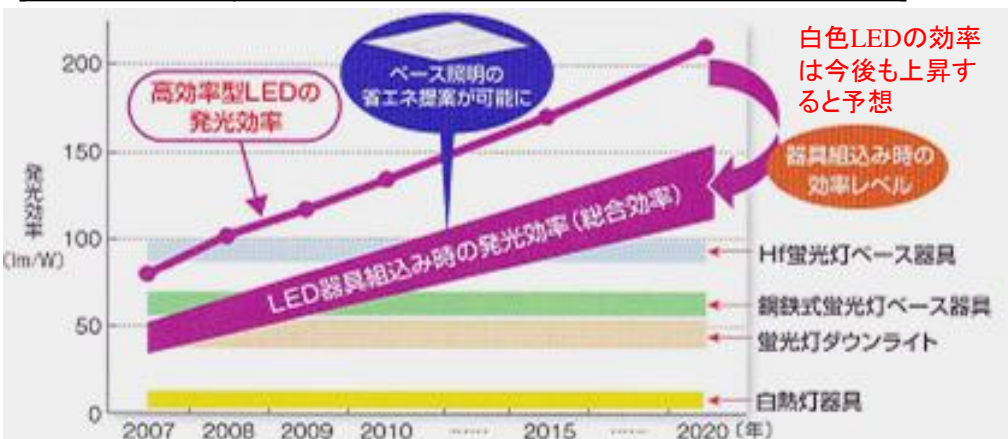


図58-4 白色LEDの発光効率の向上 ⑤

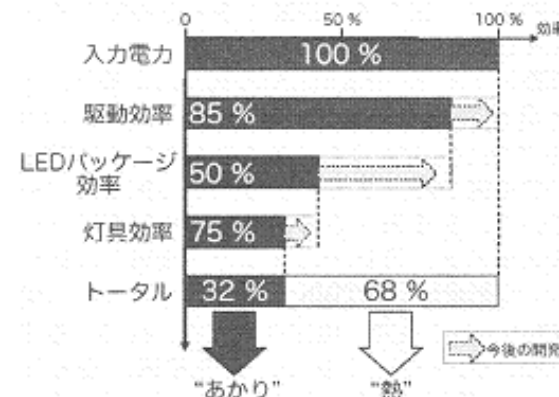


図58-5 LED照明の電力効率 (豊田合成)

# 分類

LEDにはさまざまな種類があり、発光色、輝度、形状、大きさなどで分類される。使い易さを狙って複数のLEDで構成された素子もある

**発光波長:** 発光する光の波長によりさまざまな色の発光ダイオードが存在する

**輝度:** 高輝度タイプ(数cd以下)、超高輝度タイプ等がある

**形状:** ピン挿入型(ランプ形)と表面実装型(チップ形)に大別される

**ピン挿入型**—リード端子をプリント基板の穴に通して裏側の面ではんだ付け  
砲弾型、角型、円筒型、帽子型等

**表面実装型**—プリント基板の表面に素子を直接はんだ付け  
チップ型、ガルウイング型、サイドビュー等

表58-4 パッケージによるLEDの分類 ⑦

	呼称	使用材料	用途	外形例
ピン挿入型	砲弾型	Feリード フレーム	表示パネル 信号灯	
	キャンTO型	メタル+ガラス	DVD	
表面実装型	チップLED型	薄いプリント 基板	携帯電話 ボタン部など	
	ガルウイング型 トップビュー	プリモールドCu リードフレーム	照明用	
	サイドビュー		LCD バックライト	
	PLCC型		車載TV照明など	
	LCC型	セラミック	ヘッドランプ	

出典:「LED・LD用半導体パッケージ技術の変遷」株式会社元天ホームページ

**LED照明推進協議会(JLEDS)**には160以上の企業が参画し、LEDの原材料、半製品、完成品などに関わっている。JLEDSはこれを7つのカテゴリ(\*)に分け、主要業態マップを作成

(\*)7つのカテゴリ: 1.原材料、パッケージ材料、 2.エピ用単結晶基板、 3.製造装置、検査装置、 4.エピウェハ、ベアチップ、 5.LED、 6.モジュール、応用製品、 7.組込材料

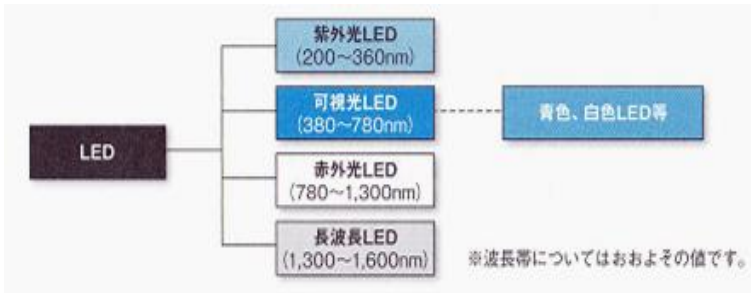


図58-6 発光波長によるLEDの種類 ⑦



図58-7 砲弾型LEDパッケージ ②

表58-5 化合物半導体LEDと発光色(波長) ⑩

発光材料	代表的な発光色 (nm)
GaAs	赤外 (890)
GaP	黄緑色 (565)、赤色 (700)
GaAsP	黄色 (583)、橙色 (610)、赤色 (630)
GaAlAs	赤色 (655)
AlInGaP	橙色 (590)、赤色 (635)
InGaN	紫外 (365)、青色 (465)、青緑色 (500)、緑色 (520)

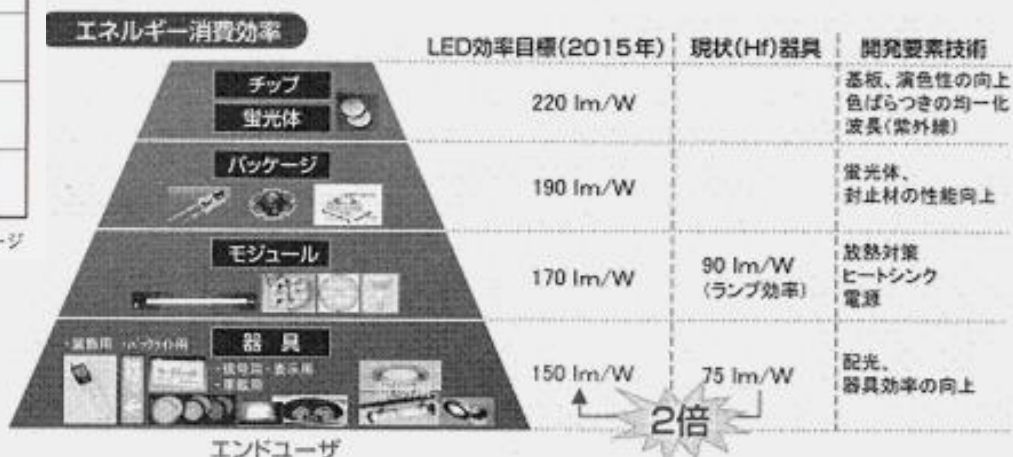


図58-8 日本照明器具工業会の成長戦略 (⑫電気計算)

# 用途

LEDは、高効率化、高出力化の流れでベース照明として普及してきており、さらに高輝度な青・緑色および白色LEDの登場以降、その性能向上に伴ってさまざまなアプリケーションに応用されるようになってきている。交通分野では耐久性、視認性、安全面の高いLEDの特性を活かして、信号機、駅の案内表示、鉄道・バスの行先表示、街路灯など適用分野が拡大している

## 住宅・オフィス用の各種照明 ⑧

**シーリングライト:**住宅用には蛍光灯が普及。ホームシアターの演出用補助照明、照射角を変えられるスポットライト、色を加えた装飾的照明にLEDが利用されている

**間接照明:**蛍光灯が普及しているが、熱条件、ランプメンテナンス等の優位性からLEDへの切替が進んでいる。LEDの光は美しい間接照明を計画する上で色のばらつきを抑えることが必要

**デスクライト:**LEDは小型コンパクトな光源であり、自由でユニークなデザインが可能。折りたたんで収納、角度を自由に変えるデザイン、ボタン操作による調光などが期待される

**フットライト:**長寿命、小電力のLEDの特長を活かしながら夜間の安全を確保できるため、住宅、病院等の各施設に商品化が進んでいる。JIS照度基準(Z 9110)では、住宅の深夜の寝室、便所、廊下、階段の照度は1~2lx

**ディスプレイ照明・スポットライト:**熱線や紫外線の少ないLED光は集光レンズとの組み合わせにより、ショウケース用スポットライト、商品棚用ダウンライト等に多用される

**投光器:**LEDは指向性が強く配光制御も容易で、必要な場所を効率よく照明。省エネ、CO2削減にも貢献

## 道路・交通分野の各種照明 ⑧

**交通信号:**白熱電球では赤、黄、青に着色したフィルターレンズを通して信号色を出しているが、LED式では発光色が直接信号色となる。LED式は電球式に比べて消費電力量が車両用で70w→12w(約1/6)、歩行者用で60w→12w(1/5)、長寿命で整備や廃棄物処理等のライフサイクルコストが大幅に削減。全国で導入されれば、年間22.8万klの原油削減となる



図58-9 シーリングライト (バッテリー補助LED付) ②



図58-11 スポットライト (日立アプライアンス)



図58-10 間接照明の例 ②  
ベッドボードにアップライトと読書灯を内蔵した例。



図58-12 ディスプレイ照明 (エス・ティー・イー)



図58-13 投光器 (岩崎電気)



図58-14 LED信号機 (小糸工業)

**道路灯・歩道灯**: 局部照明の事例が多く、すでに普及している水銀灯に対して50~70%の省エネ。LEDは指向性が強く、路面に光を集中でき、平均路面輝度0.7~1.0cd/m<sup>2</sup>の基準を達成



図58-15 道路灯 (ドイツHess社)



図58-16 LED導光式表示灯 (Panasonic)

**トンネル内表示灯**: トンネル内の安全確保を目的として、200m間隔で設置され、100mの距離で視認できることが必要。LED式ではパネルの表面輝度を均一にコントロールして100mで視認できる。また、長寿命、小型化、メンテナンスの省力化、省エネ化にも寄与

**交通機関**: 自動車では光源の省エネ化、リサイクル化、長寿命化の流れに乗ってヘッドランプ、リアコンビネーションランプ、インパネ各種メータのバックライト、室内灯等に採用。低価格化が課題。鉄道車両、航空機、船舶等では、室内灯、通路灯、出入口部の照明、座席周辺の補助照明等に導入が進む。耐振性、長寿命、配光制御、小型、軽量が特長

### その他の照明 ⑧

**植物育成用照明**: 植物の育成に必要な光の波長はおもに赤(640~680nm)と青(450~480)で、これに他の波長の光をバランスよく加えることによって、含有栄養成分をもコントロールする試みがなされている

**プリントヘッド**: 電子写真式のプリンタは、高速で高画質な印刷ができる。このプリントヘッドに多数のLEDを印刷幅いっぱい配列して、コンパクトで高速・高解像度のカラー印刷が可能となる

**医療機器**: 医療施設では、精密機器に影響を与える電磁波ノイズを放射しないLED照明を有望視。虫歯治療用の光硬化樹脂製の充填剤は青色LED光で硬化させる。小腸用カプセル内視鏡に高輝度白色LEDを組み込み30枚/秒x8hr画像撮影した後体外に取り出し、画像分析・診断。手術室の無影灯光源に発熱の少ないLEDがハロゲンランプに代わって使われだしている

**LED照明通信**: 光ファイバーを使わずに、無線通信と同様に空間を可視光に乗せて信号伝送する。発信源の確認、電波の規制を受けない、情報漏れがない、照明設備の付帯機能として導入、人体への影響がない等が利点

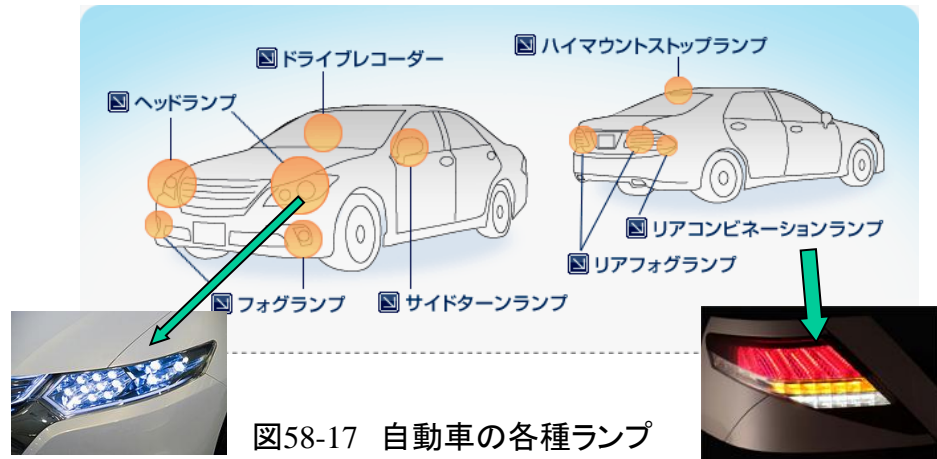


図58-17 自動車の各種ランプ (スタンレー電気)

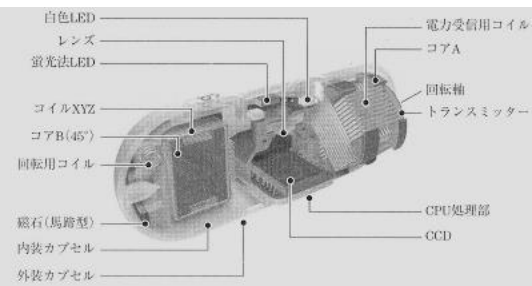


図58-19 LED組み込みのカプセル型内視鏡 (アールエフ社 Sayaka)



図58-18 LED光源植物工場用栽培ユニット (キーストーンテクノロジー)

# 照明設計

LED照明器具を計画する際には設計仕様の基点として、器具光束、光の質（色温度など）、配光特性、電源条件（ACかDCか）、適用規格、目標価格等をまず設定する

**照明器具の構成**: 主として4つの部分からなる  
 = 光源部 (LEDチップ)、電源回路部、配光制御部、筐体部

**LED照明の総合効率** (電気エネルギーから光エネルギーへの変換の効率)  
 総合効率 = 電源部電氣的効率 × 配光制御部光学的効率 × 光源部発光効率

LEDメーカーの公表効率は、25℃、短時間で温度上昇が無視できる条件での測定値。実用上は連続通電で温度上昇があり、10～20%効率低下を見込む必要がある

配光特性 - LED～外部に取出される光の指向特性 (レンズ、反射板等による制御)

**放熱**: LEDの高出力化と長寿命化を支えているのは放熱設計。照明用LEDは十分広い面積の放熱板に取り付けられることが推奨される。これが不可能な場合には強制空冷にするか、駆動電流を減らして照度を下げる ⑤

**法令・規格**: LED照明に関する標準化はLED照明推進協議会 (JLEDS) の関係団体である (社) 日本電球工業会 \*、(社) 日本照明器具工業会 \* 等で順次進められている (\* : 両工業会は2010年4月1日に合併して「(社) 日本照明工業会」として発足)。2012年7月より国の適合基準に適合したものはPSEマークをつけることが義務付けられた (⑩電気と工事)

**調色・明るさ**: 光色と明るさの組合せはわれわれの生活のリズムに密接に関係し、1台のLED照明器具で調色・調光が可能になった。住宅用シーリングライトで、昼間は白色系で高照度で行動を活性化し、夕方・夜は暖色系で安眠効果が得られる。光色は味覚などにも影響



図58-21 調色・調光LED ②

表58-6 設計仕様の項目

器具光束	器具から放射される光量
光の質	相関色温度、演色評価数
配光	配光特性、ビーム角
電源	AC100V / DC12Vなど、接続法
消費電力	総合効率の目標値
寿命	使用時間
周囲環境条件	温度範囲、防水性能
取付条件	外形寸法、形状、重量、取付方法
規定	法律、規格
コスト	目標価格、販売目標数量

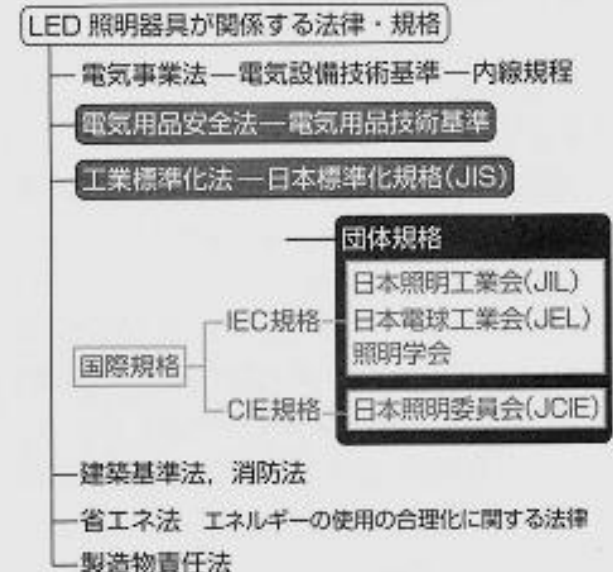


図58-20 LED照明に関する法令・規格 (⑩電気計算)

## 制御・点滅

LED照明は点滅にも強く制御しやすい。センサー付きとしてさらなる省エネ化の制御技術が不可欠。蛍光灯器具では人感センサーなどで頻繁に点滅させてしまうと、ランプや安定器の寿命を損なう

**駆動回路:** LEDは極性適正電圧と耐圧がともに低いため、専用の電源装置が必要。過大な電流で損傷を受け易いので電流制限抵抗をLEDに直列に挿入する。複数の素子を使用するLED照明では、3種類の接続方式がある

- 直列方式: 個別の電源回路は設けないが、1つの故障で全体が消灯
- 並列方式: 電流制限抵抗は各LED素子ごとに1つずつ挿入
- 直並列方式: a.の1つの故障で全体が消灯する問題を回避

**電源装置:** LEDは点灯時の電圧が数Vと非常に小さいため、LEDモジュールに適した所定の点灯時電圧を得るための電源装置が必要。定電圧タイプと定電流タイプがある

**定電圧タイプ**ではLEDの順方向電圧のバラツキや温度特性による順方向電圧の変化に伴い電流が変化し、明るさが変化することが課題。

**定電流タイプ**ではLEDに流れる電流を一定に制御するもので、直列接続で順方向電流が変化することはない

### 照明の制御方法 ②

(1) センサー付き照明:

**昼光センサー**(明るさを感知) - 昼光で照度が得られる場合は調光して点灯するため省エネ性が高い。センサー付き照明器具もある

**人感センサー**(動きに反応) - 人感センサーには照度センサーが併用されていて、明るい場合は点灯しない設定がされている

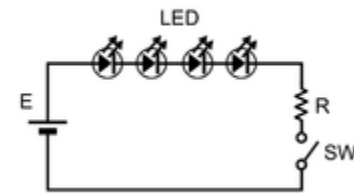
表58-7 センサーの種類と用途 ②

種類	使用場所	用途
照度センサー	内・外玄関庭や外に面したアプローチ	<ul style="list-style-type: none"> <li>一般的には暗くなると点灯し、明るくなると消える。</li> <li>点灯時の照度の設定が可能なタイプもあり、照度センサー付き人感センサーのバリエーションも多い。</li> <li>タイマー付の場合は、旅行などの留守中の場合も人がいるように見せることが可能。</li> </ul>
人感センサー	外玄関 廊下 トイレ クローゼット 屋外の通路	<ul style="list-style-type: none"> <li>照度センサーと併用され、周囲が明るい場合は点灯せず、周囲が暗い場合、人などの動きを検知して点灯する。</li> <li>人がいる時のみ点灯させることができるので、省エネ効果が高い。</li> <li>消し忘れを防ぐことができる。</li> </ul>

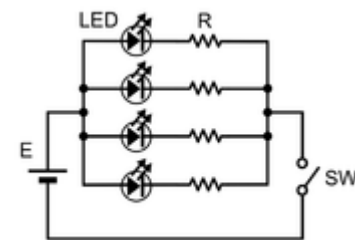
(2) 調光: 照明で部屋の雰囲気を変える。節電のメリットが大きい。LED一体型照明器具にメーカー指定の調光器と組み合わせることが多い

(3) フルカラーLEDの演出用制御: 劇場など照明器具1台1台にアドレスを割り振り、1台ずつの照明演出を変えることができる。制御のソフトはパソコンで作成することができ、演出プログラムも容易に変更できる。プログラムの作成・変更は機器メーカーに依頼

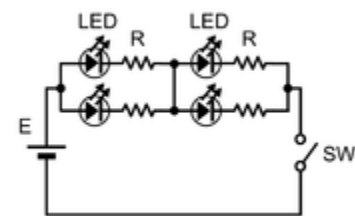
**自動点滅:** 点滅回路や電流制限抵抗をチップに組み込みLEDパッケージに納めて、そのまま電池に接続すれば自動的に点滅する。また、RGB3色LEDをパッケージして、赤、橙、黄、緑、青、藍、紫色を順次変えていくものも商品化されている ⑥



直列方式



並列方式



直並列方式

図58-22 LED照明の駆動回路 (Wikipedia)



# 製造工程

LEDの心臓部LEDチップの製造は半導体製造工程そのもの。円板状の基板を柵目状に細断してチップ材とするため、中心部と周辺部とでは基板までの製造過程で冷却プロセスの影響によるチップの光学的特性に差が生じ易く、このバラツキを極力抑えることがLEDの技術開発の課題ともなる

LEDの製造工程は**前工程**(素子の製造)と**後工程**(ワイヤボンディングとパッケージング)に大別される

- 1. 単結晶基板の製造**—単結晶のインゴット(塊)から基板の原型(円盤状)を切り出し、整形・研磨して単結晶板を作る
- 2. エピ結晶層の成形**—単結晶基板上にn型半導体層、発光層、p型半導体層をエピタキシャル結晶成長法にて成長させる
- 3. LEDチップ製造**—エピ結晶層付き基板にLEDチップを作りこむ「LED素子形成工程」と基板上に多数作りこんだLED素子を単体に分離する「チップ化工程」からなる
- 4. パッケージ製造**—チップボンディング、ワイヤボンディング、蛍光体・封止樹脂の充填、樹脂硬化の各工程からなる

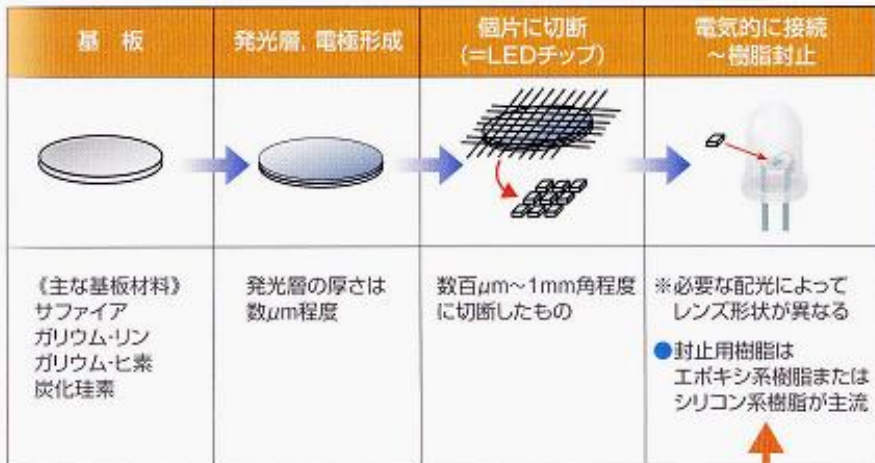


図58-23 LEDの基本的な製造工程 ⑤

《封止樹脂の役割》

- LEDチップから放出される光を効率よく取り出す
- 必要な配光特性実現のためのレンズ

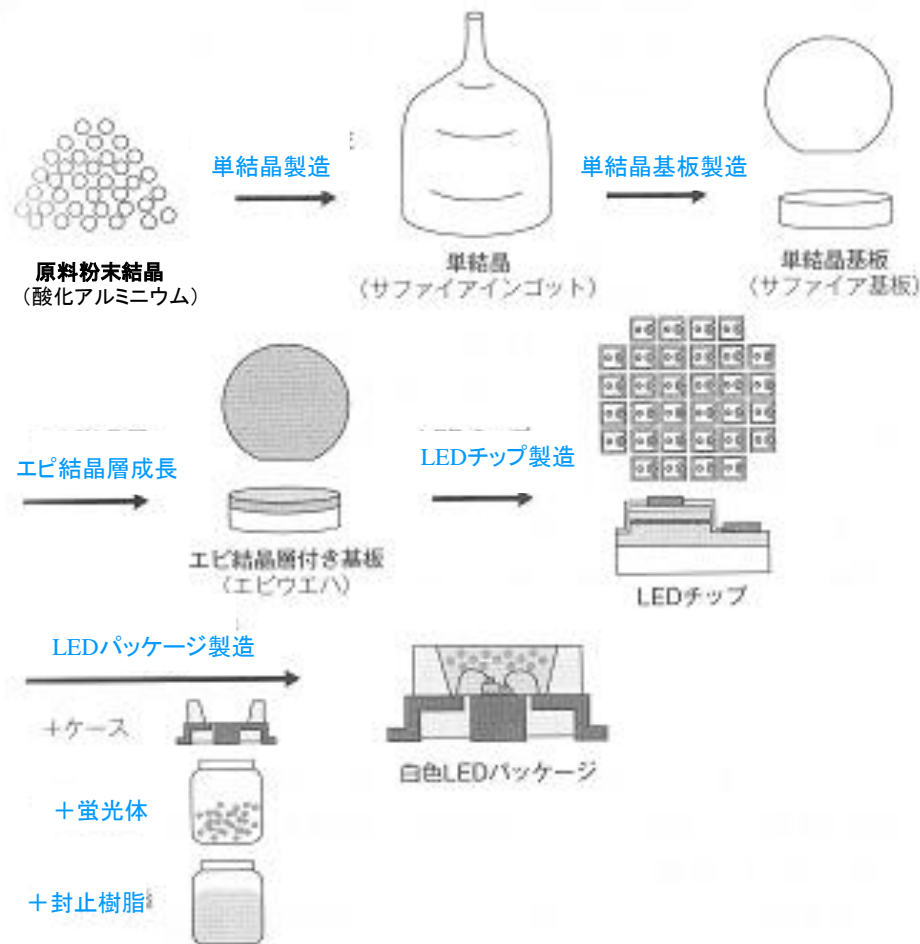


図58-24 LEDパッケージ製造工程 ⑧

# 寿命

LEDの半導体部は定格範囲内で使用する限り発光素子自身は比較的長寿命である。ただし、発光素子を取り巻く樹脂材料は強い光や半導体の発熱で劣化を受け、比較的早期に透明度が失われて使用には適さなくなる。電源回路の電解コンデンサなども主に熱による劣化を受ける。この劣化をいかに抑えるかがLED照明の主要な課題の1つ

**LEDの寿命の定義:** 照明器具業者が規定する条件で点灯したとき、LEDモジュールが点灯しなくなるまでの総点灯時間、または、全光束が点灯初期に計測した値の70%に下がるまでの総点灯時間のいずれか短い方の時間

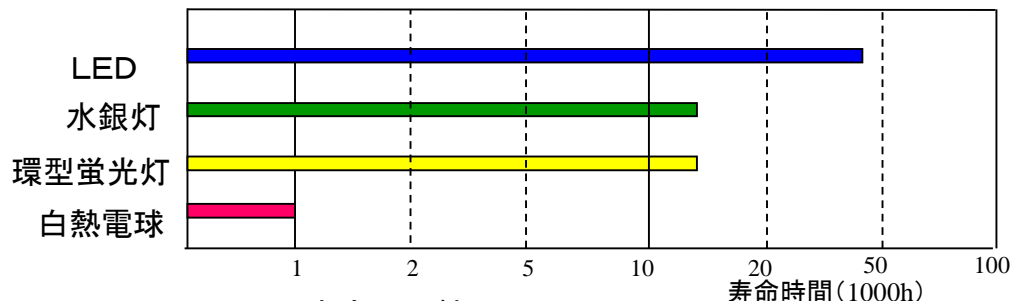


図58-27 寿命の比較 ⑦

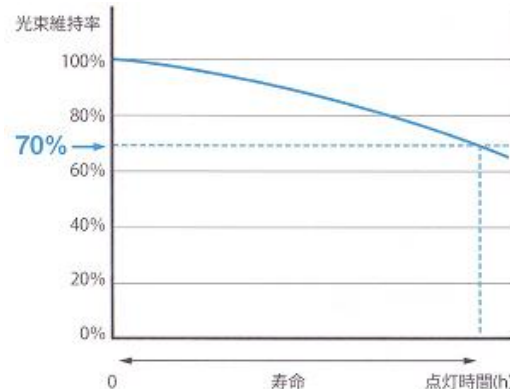


図58-25 照明用LEDの寿命の定義 ⑦

**寿命の判定基準:** 照明器具としての白色LEDでは明るさの低下は、表示用とは異なりエネルギーの無駄となるため、明るさ低下の許容範囲は自ずと限られる。従来の状態表示用のLEDは電子部品の寿命として「輝度が初期の50%となるまで」という定義は、照明用途では許容できない。蛍光灯と同様に光束が初期の70%までとすれば白色LEDの寿命は2万~6万hr程度。照明器具全体での温度や湿度に対する耐久性が求められるが、発光部や電源回路だけでなく、スイッチや電線なども経年変化を受けるため、10年程度で交換することが推奨される

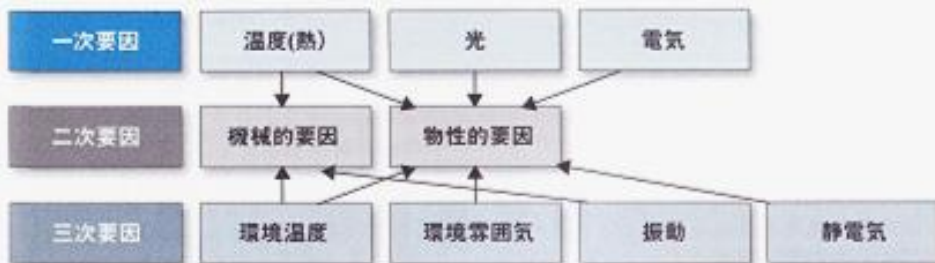


図58-28 LEDを劣化させる要因 ⑧

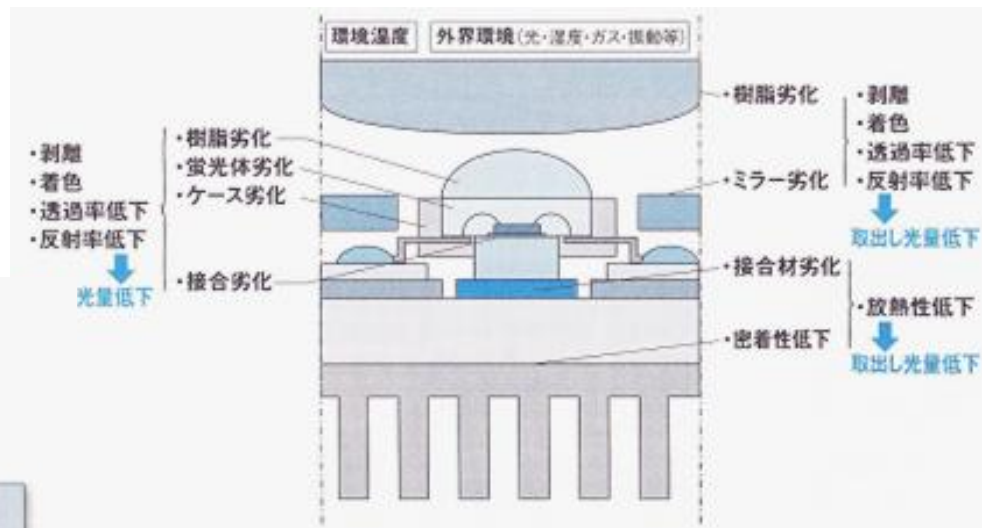


図58-26 LED劣化箇所と内容 ⑧

# 市場

日本は政府の後押しで、照明のLED化を推進中。東日本大震災による節電キャンペーンもあり2011年は想定以上に普及。LED化が新たな成長分野を生み出してはいるが、LED電球の売り上げはすでに陰りが見え始めている。日本再生戦略(2012年7月閣議決定)では2020年までに公的設備、施設のLED等次世代高効率照明の導入率100%の方針が示された

LED心臓部のチップは日本の日亜化学工業、豊田合成、フィリップス(オランダ)、オスラム(独)、クレー(米)の5社が関連特許を抑えており、一定品質以上のLED照明を作るにはこの5社からチップを調達することになる。照明器具メーカーはこの部品を仕入れて商品化するので、価格競争に陥り易い。現在は価格低下のスピードが量産効果を上回っているといわれ、狙うべき市場の選択に注意が必要 (⑫日経ビジネス)

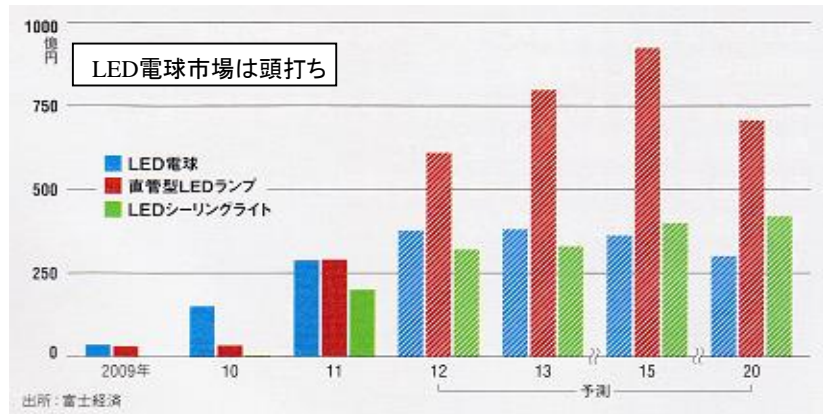


図58-29 LED照明の国内市場 (⑫日経ビジネス)

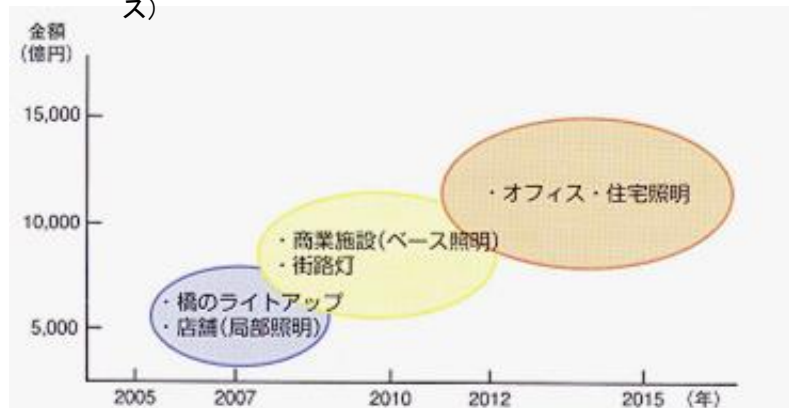


図58-31 白色LEDの国内市場規模 ②

長寿命化による交換需要の減少や参入事業者の急増で競争環境は激化している

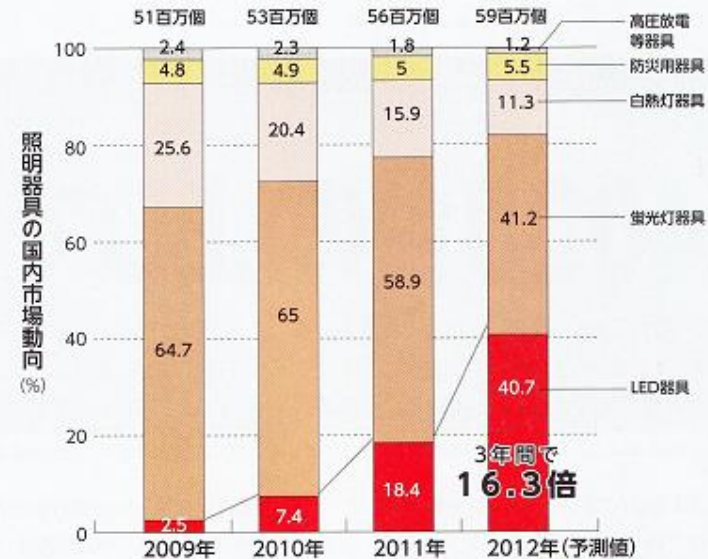


図58-30 各種照明器具の国内市場動向 ⑩

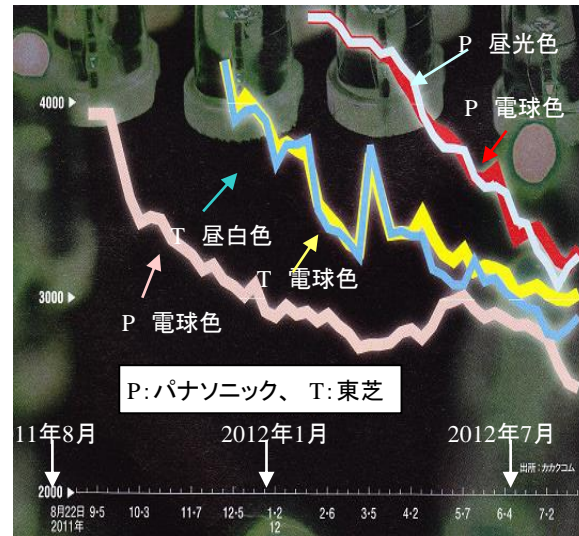


図58-32 LED電球の価格低下の推移 (⑫日経ビジネス)

表58-8 オフィスビル/施設照明のLED普及率 ⑩

	2011年実績	2020年予想
オフィスビル	13.4%	50.3%
施設照明	26.3%	50.3%

# 課題

<b>JLEDSの課題</b>	JLEDS(LED照明推進協議会)による次世代の「あかり」としてLEDの本格的な普及のために解決すべき課題； 1.発光効率アップ、2.価格(現在、明るさ(光束比)基準で白熱灯の約300倍、蛍光灯の約21倍)、3.演色性、4.高輝度化に伴う人体への影響の検証
<b>光放射による人体への影響</b>	照明用LEDは安易に従来のランプに置き換えるのではなく、LEDの特長を存分に活かし、安全かつ適切に活用されることが大切。皮膚、目の角膜・水晶体・網膜への障害に対する安全、環境への影響、性能・測定に関する基準などの整備や性能を評価し、その結果を商品に反映することも重要。(社)日本照明工業会、照明学会は連携して国際電気標準会議規格(IEC)に整合したJIS基準作成を進めている (電球工業会報2009.8~9)
<b>白色LED</b>	低消費電力で照明用として注目されているが、大電力、高出力の製品の実現が難しい。理由1. 大電力とすると発熱が増える、2.発熱で高温になると発光効率が低下、3. 効率低下に対応するため一層の電力投入は発熱アップの悪循環、4.その結果素子の破壊、封止樹脂の劣化、5.その結果、寿命の低下
<b>LEDの廃棄</b>	LEDは少量でも砒素、リン、ベリリウム等有害物質を含む可能性が高く、将来LEDを大量消費し、廃棄物が公害として顕在化する前に、回収、処理方法を明確にする必要がある

# キーワード

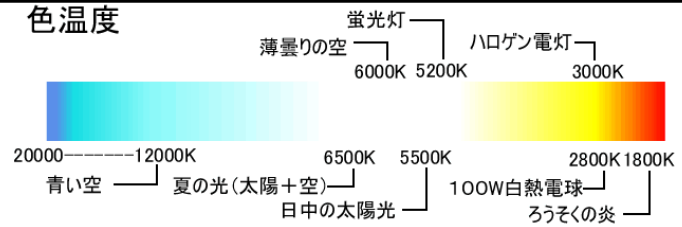


図58-33 色温度

<b>LEDモジュール</b>	LEDチップを実装したLEDの基本単位であるLEDパッケージを1個以上基板に取り付けて点灯できる状態にしたもの。円板型、ライン型、テープライト型など多様な形があり、ダウンライトなど照明器具となる ②
<b>グレア</b>	「まぶしさ」のこと。背景と光源の輝度対比が大きい程グレアの程度が大きい。人間の眼はグレアに弱く、快適なLED照明には、照明器具、その配光特性、背景の輝度などグレア課題をうまく解決することが大切 ⑤
<b>演色性</b>	照明で物体の色の見え方が変わるが、その忠実性を表現したもので、照明光源を評価する重要な指標の一つ。演色評価数(CRI:Color Rendering Index)で色の違いの度合いが数値化され、光源のスペクトルによって値が決まる。演色性改善にはスペクトルで不足する赤色成分を補う蛍光体を追加する方法がとられる ⑪
<b>色温度</b>	ある光源が発している光の色を定量的な数値で表現する尺度(単位)で、表現しようとする光の色をある温度(高熱)の黒体から放射される光の色と対応させ、その時の黒体の温度(単位は絶対温度K)をもって色温度とする。写真やテレビ、パソコンのモニタなどでは、色温度は色の正確な再現のために重要