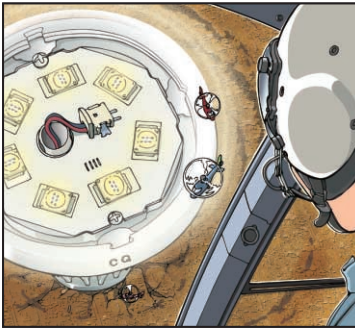


# 第1章



## 現状の性能と将来の方向性 LED照明のあらし

大塚 康二  
Kohji Ohtsuka

近年、LEDを使った照明がニュースなどでも頻繁に紹介され、量販家電店にもLED電球が並ぶなど、一般の人にもなじみの話題となってきています。

LEDがこれほどまでに話題となっているのも、もともとLEDが地球環境にやさしい構成材料であることや、最近のLEDの発光効率が目覚しく向上し、エコ光源として実用段階に入ってきたためです。

### なぜLEDが注目されるのか

#### ● LEDの歴史

明かりを得るための器具のことを**灯具**といいます。灯具は業界用語ではありますが、第1章と第2章では灯具という用語を使用します。はじめに白色LED製造にかかわる技術のうち、灯具設計に必要な情報について解説します。

白色ではない単色LEDが工業化され始めたのは

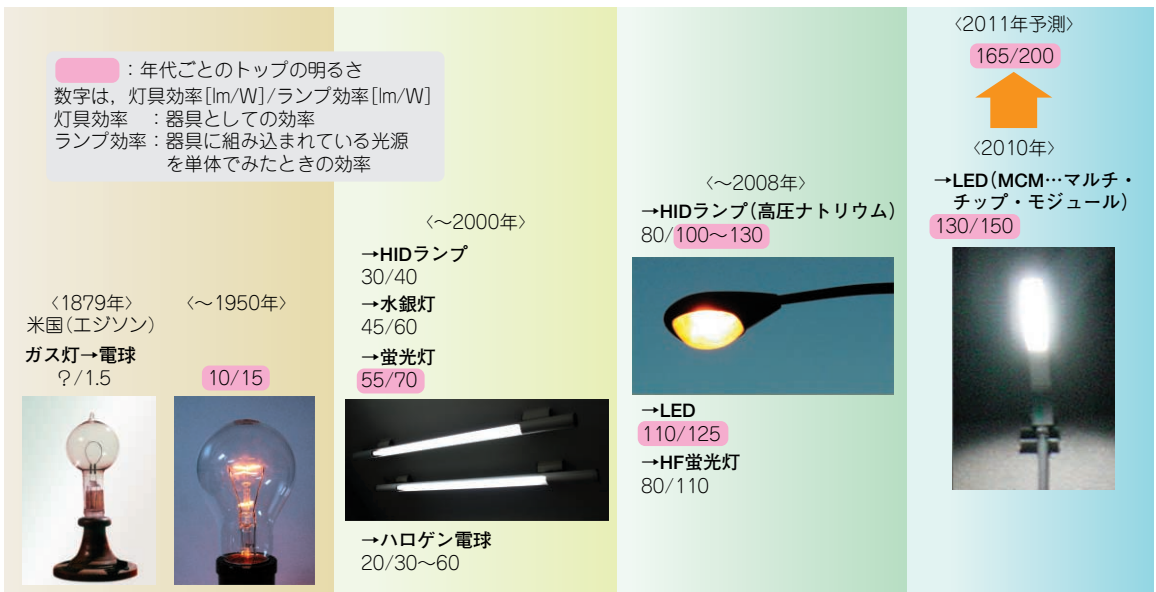
1970年代です。少ない電流で発光することから、当初は表示ランプ代わりの用途で使われていました。

白色LEDは、2000年になってから携帯電話を皮切りに広く液晶バックライトに応用され始めました。ただし、白色LEDを灯具に応用できるほど効率が飛躍的に高くなってきたのは2005年以降からです。研究者を除く一般の認知として、白色LEDが灯具として有力視されてきたのはここ数年の出来事です。

灯具として白色LEDが登場するまでの歴史的ダイジェストを図1に示します。エジソンが白熱電球を開発したのが1879年で、それ以降、光源の変遷はあったもののすべて真空技術による光源でしたから、固体発光素子であるLEDが効率の良い灯具光源として登場するまでに130年もかかったことになります。

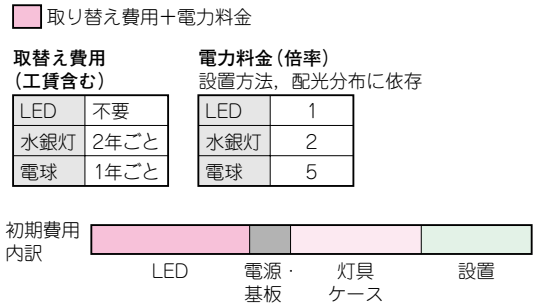
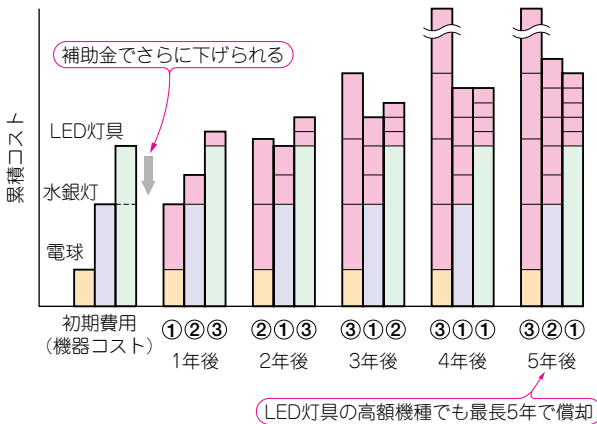
#### ● 省エネの時流にのるLED

LED灯具はまだ価格が高いにもかかわらず、普及



〈図1〉 照明の歴史

LEDは白色光源として効率が一番よくなると予想されている



〈図2〉照明コストの見積もり

高効率のLEDほど電力料金の低減により生涯コストが下がる

に大きな盛り上がりを見せています。これは、水銀を使用しない環境にやさしい材料構成であること、炭酸ガス排出規制の流れに合致して省エネ(電力使用量)の潮流に乗っているからといえます。

LED灯具の導入事業に対して公的資金を投入し、購入に際してもエコポイント対象にするなど、政府の積極策も効果的に働いていると思われます。

▶コスト上のメリットは？

一方、消費者にとっては金銭面での損得勘定がもっとも大事なファクタです。そこで、各種灯具に支払う積算費用を比較してみます。導入金額と、電力料金や光源交換費用の維持費などの合計が年ごとにどうなるかを比較した、エコ計算書を作る必要があります。

図2にエコ計算の概要を示します。白熱電球の積算費用がLED灯具のそれと逆転するのはおよそ3年目となります。白熱電球は大変安価ですが、効率が悪く電力料金がかさむため、時間がたてば逆転されます。続いて水銀灯が4年目となります。道路灯に使われ

ている水銀灯との比較では、積算年数こそかかりますが逆転は確実に起こります。

図2には示していませんが、最近の高周波点灯蛍光管(Hf 蛍光管)は大変効率が良いので、維持費を含めたLED灯具のトータル・コストがより低いといえるかどうか微妙なところですが。しかし、水銀をまったく使用していない、光の配向制御が自由にできるなどのメリットが必要であれば交換対象となります。LEDの効率は年々向上していきますので、本当のエコと言える日は近いと思います。

▶まだすべての照明を置き換える能力はないが…

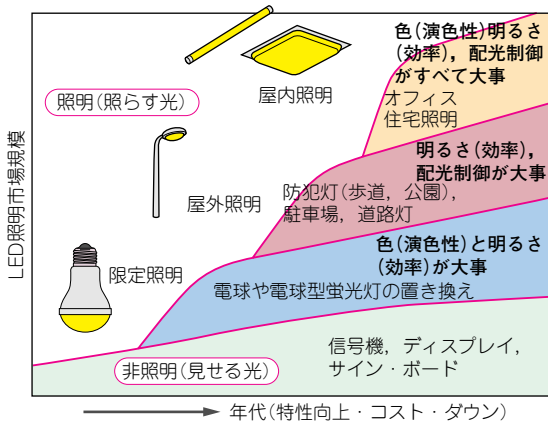
白熱電球と比較すれば十分な性能差がありますから、代替需要は始まっています。すべての従来光源と比較してLEDの明るさは十分なのかというと、まだ不十分といわざるを得ません。最初は、効率が極端に悪かった白熱電球の置き換えで需要が生まれましたが、この次は、効率とトレード・オフの関係にある演色性(後述)や5000Kという色温度にこだわらない、屋外用途向けになります。

今後、LEDの効率がさらに向上し、従来光源に対して十分明るくなった暁には、オフィスや住宅照明を含む、全面的な置き換え需要が進むものと思われます。この流れの概略を図3に示します。

●LEDは発熱する！

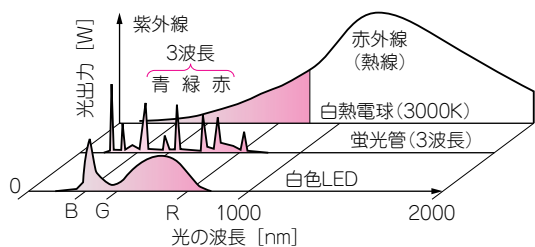
「LEDは半導体だから長寿命で効率が良く、熱や紫外線が出ないから回りの環境に悪い影響を与えない」という話を耳にすることがあります。これは大きな間違いです。

たしかに、表示ランプ専用の時代は、表示ランプに使う豆電球と比較すれば、上記の話が成り立っていました。しかし、灯具の光源としてみると、「熱を制することがLED灯具の寿命を制する」に言い換えないとはいけません。



〈図3〉LED照明の市場拡大と普及の順序

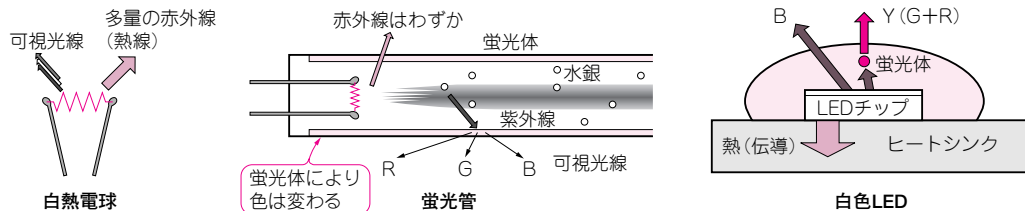
演色性やコストが他の光源に追いつくに従って市場は拡大していく



(a) 各種照明光源のスペクトル

電球：目に見えないため損失にカウントされているが、赤外線を多量に放出している。総光出力としては効率が高い。冷却不要

LED：赤外線をほとんど発生しない(可視光のみ放出)。損失はすべて熱になる。温度上昇は寿命や性能を著しく損ねる。冷却が不可欠



(b) 各種照明光源の構造

〈図4〉代表的な照明光源の違い

赤外線を放射せず小型のLEDは光源が発熱する

▶ 白熱電球の場合

各種光源の発光スペクトルを図4(a)に示します。物がある温度に熱せられたときに発する光は、プランクの黒体放射の式で表されます。色温度3000Kの電球のスペクトルは、電球のフィラメント温度3000K (~2700℃)におけるプランクの黒体放射ほぼそのものとなります。発光スペクトルを見てわかるように、白熱電球における発光の主体は赤外光線で、可視光線はメインの赤外光の裾の存在です。言い換えると、**入力した電力のほとんどを赤外線に変換して発光しています。**

▶ 蛍光灯の場合

蛍光灯では水銀蒸気中の放電で発生した**紫外線を蛍**

**光体で可視発光に変換する原理**ですから、**赤外線はほとんど出ません**。発熱部は広い管表面全体となるので、概して対流(周辺の空気への放熱)により効果的に熱放散しているといえます。

▶ LEDの場合

LEDでは発熱が点と言えるほど小さなLEDチップとなります。発光の電力以外は熱になってしまうので、LEDに投入している電力から発光している電力を差し引いた、残りの電力すべてを熱としてヒートシンクに伝えて放散させなければいけません(図4(b))。温度上昇は発光効率の急激な低下を伴うことから、放熱設計が必須となります。この設計の良し悪しがLED寿命の多くを決めてしまいます。

種類(タイプ)	機構	特徴	用途
RGB	<p>赤LED 緑LED 青LED</p> <p>R, G, Bそれぞれ独立のLEDを配置。3原色の混色で白色になる</p>	フル・カラー表示が可能 色再現性(NTSC)に優れる	直接画像表示(LEDスクリーン), TVバックライト
青励起	<p>青 黄 蛍光体</p> <p>~460nmの青色LEDでYAGなどの蛍光体を励起し、黄色発光させる。通り抜けてきた青と混色で白色になる</p>	赤、緑が不足 効率が高い。 コスト・パフォーマンスが良い	照明, TVバックライト (市場の白色LEDは90%以上がこの青励起タイプ)
紫外励起	<p>赤 緑 青 紫外LED</p> <p>それぞれ異なる蛍光体</p> <p>~370nmの紫外LEDでR, G, Bそれぞれの蛍光体を励起し、混色で白色になる</p>	演色性( $R_a$ )に優れる	照明

〈図5〉3種類の白色LED

ほとんどの白色LEDは青励起タイプ

〈表1〉 灯具に使われる光源の性能

白色LEDはまだ最良とはいえないが可能性はもっている

光源(ランプ)	効率(lm/W)	演色評価指数	寿命(時間)	灯具コスト円/lm	電気料金(効率)	水銀不使用
白熱電球	～ 20	100	1500	0.5～1	×	○
蛍光灯	50～100	75～95	12000	1～2	○	
メタルハライド・ランプ	～130	65～85	12000	2～4	○	(○)注
ナトリウム・ランプ	100～180	25(黄色)	12000	1～2	◎(低圧)	○
水銀灯	30～60	40	12000	3～6	△	
白色LED	～120	65～95	40000	3～10	○→◎	○

(注) 一部、水銀フリーが開発(効率100lm/W,  $R_a = 85$ )されている

### ● 白色LEDの構造

実用化されている白色LEDの多くは、白色をLEDチップから直接発光させるのではなく、LEDパッケージから出てくるときに白色になるように工夫されています。図5に代表的な3種類の方法を示します。

#### ▶ RGBタイプ

RGBタイプは3原色をそれぞれ別のチップで発光させ、LEDパッケージからは全体として白を発光させる方法です。赤：RにはAlGaInPの結晶が使われ、緑：Gと青：BはGaInNの結晶が使われます。チップ個別の明るさと発光波長のばらつきについて選別などが必要なため、**コストが高くなります**。白色として使用するより、直接光源としてカラー画像表示に多く使われます(フル・カラーの大型電光掲示板など)。

#### ▶ 青励起タイプ

LEDの白色光源として使われている**ほとんどのLED製品は青励起タイプ**です。YAGなどの蛍光体により青色が波長変換された黄色と、変換されずに抜け出てきた青色との混色で白に見えます(擬似白色を作る)。

擬似白色ではありますが、蛍光体の発光が比較的幅広いスペクトルをもっているため、1種類の蛍光体で単純に製作したLEDでもそれほど不自然な白色ではありません。後述する演色評価指数  $R_a$  は実用上支障がない65程度あり、蛍光体の工夫などで90以上にすることも容易です。

#### ▶ 紫外励起タイプ

人の目にはほとんど見えない370nmの紫外線をGaInN結晶(LED)から発光させ、それを励起光源と

してR, G, Bそれぞれの蛍光体で波長変換する方法です。得られたR, G, Bを混色して白色にします。演色評価指数を高くすることが容易ですが、紫外領域での発光効率を高くするのが難しいこと、励起と発光のエネルギー差が大きく蛍光体の効率も落ちがちなことから、総合効率は青励起タイプより劣ります。

### ● 他の照明に対するLEDの位置づけ

照明光源としては、青励起タイプが今後10年間は主流の座にとどまるものと思われます。

現在使用されている各種光源と青励起タイプの白色LEDの概略性能比較を表1に示します。この表の中で**演色評価指数が100なのは白熱電球**だけです。しかし、昼光色は温度が高すぎて作れませんし、効率が最下位ですから、これからのエコの時代には生き残れない運命といえます。

効率が100lm/Wを超えているランプ光源は蛍光灯、メタルハライド・ランプ、ナトリウム・ランプ、および白色LEDの4種類です。この中で水銀を使用していないのは、一部のメタルハライド・ランプ、ナトリウム・ランプおよび白色LEDです。効率の高いナトリウム・ランプはオレンジ色ですから、今後の**環境にやさしい白色照明光源は、今のところ一部のメタルハライド・ランプと白色LED**だけになってしまいます。

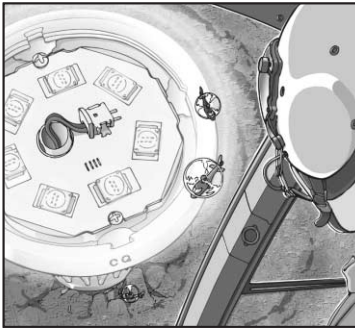
加えてLEDには、長寿命であること、寿命末期においても不点灯モードにはならない長所もあり、LEDに大きな期待がかかってしまうのは自明の理と

〈表2〉 LED灯具の特徴

環境にやさしい、というのが一番の特徴といえる

評価項目	利点	欠点
基本性能	高効率、小電力でも効率が低い、配向制御が容易	発熱する、大電力素子が作れない、制御回路が必要
耐環境特性	低温でも支障なし(効率は上がる)	熱に弱い(十分な放熱設計が必要)、腐食の影響が大きい(水やガス)
設置環境	赤外線も紫外線も出ない(虫が寄りにくい)、小型・軽量、応答速度が速い(屋内)	まぶしい(光源像が小さい)、光量当たりの価格が高い、応答速度が速い(屋外)
地球環境	長寿命、水銀フリー、省エネ(炭酸ガス排出量が削減できる)	-

# 第6章



## ワールド・ワイド対応 1 コンバータ方式 PFC IC LC5500 シリーズを使う 絶縁型 10W LED 照明用電源の 設計と試作

吉永 充達  
Mitsutomo Yoshinaga

LED 照明用電源回路にもスイッチング電源の使用が効果的です。ここではパワー MOSFET 内蔵で、高力率のための PFC およびワールド・ワイド(世界)AC 入力対応の絶縁型擬似共振コンバータ LC5500 シリーズ(サンケン電気)を使用した 10W クラスの LED 電源の設計事例を紹介します。

### LED 照明でも力率を改善したい

#### ● スイッチング電源による弊害

AC 入力対応のスイッチング電源は、図 1 に示すようにヒューズ→整流平滑回路→DC-DC コンバータ→電圧フィードバック回路のブロックによって構成されますが、加えて出力を定電流化するためのフィードバック回路を追加すると、流行の LED ランプを安定に点灯させることができます。また、このような回路において、出力 2 次側の LED ランプ部を(AC 入力ラインとつながる)1 次側と電気的に絶縁するか/しないかによって、DC-DC コンバータ部をトランスにするか、またはコイル(インダクタ)にするかということになります。

一方、近年のエレクトロニクス機器は半導体のスイッチングによるパルス…デジタル処理を行うものが多く、機器からはさまざまな電磁波が放射されています。そのため、電子機器同士間で悪影響をおよぼさないようにするための規格として、各種の EMC (Electro-Magnetic Compatibility …電磁環境適合性)

に関する規格が存在しています。

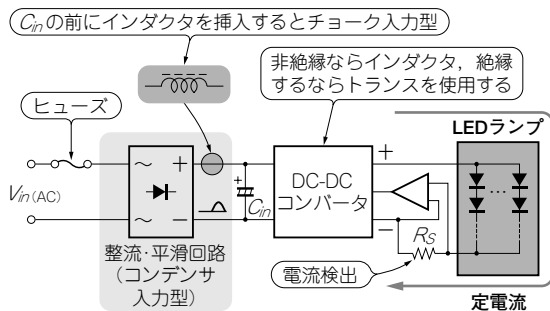
もちろん、大電力パルス制御ともいえるスイッチング電源でも EMI (Electro Magnetic Interference …電磁妨害放射規制)や高調波規制があり、LED 照明用スイッチング電源でもその対応が必要とされるようになってきました。

LED 照明製品は一般には照明機器に分類されており、電球や蛍光灯とは異なる新しい製品群であるため、最新の規格情報を入手することがとても重要です。法規制などはまだ流動的ですが、近い将来、高調波規制と力率についてもさらに細かい規制が設けられる可能性があるため、最新の法規制を見据えた設計が必要となるでしょう。

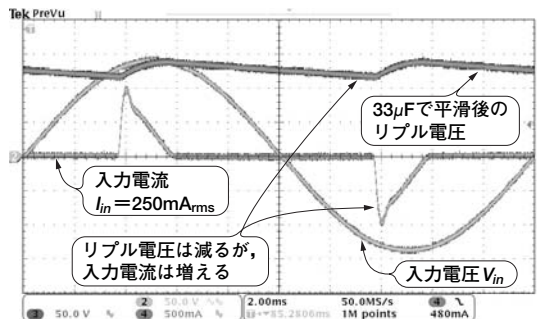
#### ● コンデンサ入力型平滑の問題点

AC 入力電源  $V_{in(AC)}$  は、写真 1 に示すように商用周波数 50Hz/60Hz の正弦波です。そのため整流後の電圧波形は、ピーク電圧  $=\sqrt{2} V_{in(AC)}$  [V] となるリップル電圧です。しかし、後段につながる DC-DC コンバータを安定動作させるにはリップル電圧を減らす必要があり、経験的に出力電力 1W あたり 2.2 ~ 4.7  $\mu\text{F}$  程度のコンデンサで平滑する必要があるといわれています。

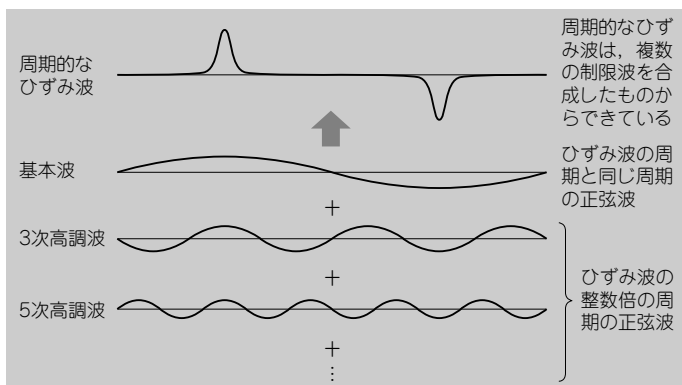
しかし、コンデンサ入力型平滑と呼ばれるこの方式では、整流後の電圧がコンデンサ電圧より高いごく短い期間にだけ、コンデンサへの充電が行われます。そのため、商用電源側からみた入力電流波形は入力電圧



〈図 1〉 LED 照明用スイッチング電源回路



〈写真 1〉 コンデンサ入力型整流・平滑の波形 ( $V_{in} = \text{AC}100\text{V}$ , 50Hz,  $C_{in} = 33\mu\text{F}/400\text{V}$ ,  $P_{out} = 11\text{W}$ )



〈図2〉高調波の波形例<sup>(1)</sup>

のような正弦波にはなりません。写真1に示す入力電流のように、導通角の短いがった波形となります。

出力電力が増えなければ入力電流の平均値  $I_{in(ave)}$  はほとんど変化しませんが、導通角が短くなったことで実効値  $I_{in(rms)}$  が増えてしまいます。そのため送電側…電力会社側から考えると、実効電流  $I_{in(rms)}$  が増え、送配電線での電力損失  $I_{in(rms)}^2 \times R$  の増加や、送配電線の利用率を示す力率が低下するなどのデメリットが発生します。

また、コンデンサへの充電電流波形は、もとの周波数 50Hz や 60Hz に対して、図2のような高調波と呼ばれる整数倍の高い周波数の合成波形となるため、高調波を発生する問題も生じます。

### ● 力率を上げるメリットとは？

送配電線の利用率を示す力率は、商用電力が交流であることからくる考え方です。交流では、

- 有効電力 (= 実効値) [W]
- 皮相電力 [VA]
- 無効電力 [Var]

という三つの電力があり、それらを結びつけるものが力率  $\cos \theta$  となります。皮相電力 [VA] は入力電圧実効値  $[V_{rms}]$  と入力電流実効値  $[A_{rms}]$  の積であるため、力率  $\cos \theta$  は、

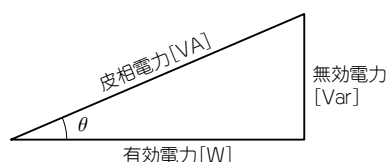
$$\cos \theta = \frac{\text{有効電力 [W]}}{\text{皮相電力 [VA]}}$$

で表されることが、図3からわかります。

携帯電話などについてくる AC アダプタを見ると、『定格入力 AC100V xx[VA]、定格出力 yy[W]』と表記されていますが、定格出力を変換効率  $\eta$  で割った値が定格入力電力 (有効電力) [W] となります。

仮に変換効率  $\eta = 85\%$ 、定格入力 9VA、定格出力 5.1W とすると、定格入力電力 =  $5.1W / 0.85 = 6W$  から、

$$\text{力率} = 6W / 9VA = 0.667$$



〈図3〉交流電力と力率  $\cos \theta$  の関係

となります。ここで、仮に力率が 1.00 に改善できるとするなら、

$$\begin{aligned} \text{定格入力 [VA]} &= \text{定格入力電力 [W]} / \text{力率} \\ &= 6W / 1 = 6VA \end{aligned}$$

となって、皮相電力が 9VA  $\rightarrow$  6VA へと下がることとなります。これは 5.1W の有効電力を送るのに、力率 0.667 では送配電線容量 9VA が必要だったものが、力率 1.00 になれば 6VA という少ない量で足りるということです。

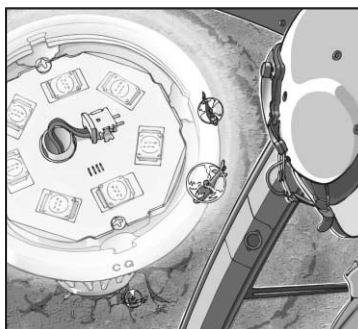
発電所や送配電線の電氣的容量は皮相電力 [VA] で表しますが、負荷となる電子・電気機器の力率が上がれば、より多くの有効電力を送れることとなります。また、皮相電力が減れば電線での損失が減るので、銅やアルミなどの送配電線材料、鉄塔の鋼材使用量も抑えることができるのです。力率を上げることは、発電所や変電所までを含めて考えるとたいへん大きなメリットなのです。

### ● 力率を上げる回路技術とは？

スイッチング電源の AC 入力電流波形が、商用電圧の正弦波に近い形になればなるほど、力率は上がっていきます。これを実現するためには、一般に表1に示すいくつかの方式があります。

図1にも示したように、平滑コンデンサ  $C_{in}$  の充電経路にインダクタを入れると電流の導通角を増やすことができるので、力率は 0.75 程度までは改善できます (チョーク入力型平滑回路と呼ぶ)。1次側平滑回路にコンデンサ入力型を使った場合でも、コンデンサを小容量にすれば写真2の波形でわかるように、充電電流の流れる期間が増えます。しかし、小容量コンデンサでは十分平滑されないので、大きなリップル電圧が発生します。そのため、後段につながる DC-DC コンバータは広い入力電圧変動にも対応できるトランス設計が必要となります。

## 第8章



## 長寿命化への障害を解決するTK5401を使う ケミコンレスLED照明電源の 設計と試作

小串 憲明/齊藤 豊

Noriaki Kogushi/Yutaka Saitoh

LED照明に期待されるもっとも大きな効果は、高効率かつ長寿命という点です。しかしながら冷静に設計を進めていくと、小型化にいたる部分で放熱が問題となり、仮に放熱面がクリアできたとしても、回路自身が相応に高温になってしまうことが予想されます。そして高温になったとき露呈するのが、電源回路に使用される電解コンデンサの寿命です。

この章では長寿命化への障害となる電解コンデンサを使用しないLED照明用電源IC TK5401による電源回路の設計事例を紹介します。

### LED照明回路の寿命を考える

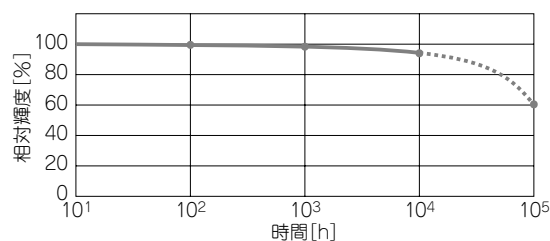
#### ● LEDの寿命

図1は模式的に描いたLEDの輝度低減曲線です。

LEDは電球のように寿命によって突然切れるというものではありません。経年変化によって次第に暗くなります。図は25℃のときの曲線ですが、熱設計をしっかりと行っていれば、60～70℃であっても急に暗くなることはありません。100,000時間(10万時間÷11年)経過でも輝度60%を保つという予測が立っています。これほどの長時間になると、LED素子よりも、素子を封止している樹脂の劣化によって暗くなるといったほうが良いかもしれません。

#### ● 電解コンデンサの寿命

図2は電源回路において必須ともいわれているアルミ電解コンデンサの静電容量とtanδの経時変化の温度依存性を示したものです。40℃では10000時間



〈図1〉25℃環境下におけるLEDの輝度劣化カーブ

(約1.1年)経っても大きく変化はしませんが、温度が上がると急に大きく劣化することがわかります。

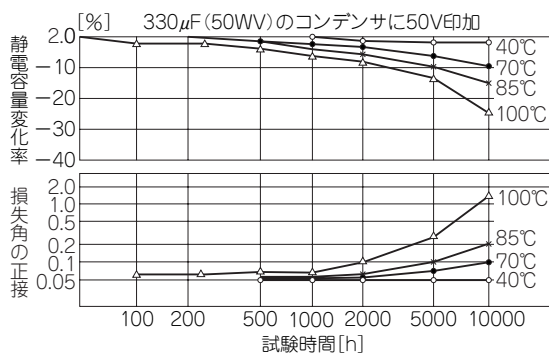
したがって熱を発生するLEDと電源回路が同一パッケージ(電球)内で近接する照明器具の構造では、電解コンデンサ周囲の温度は60～70℃程度と見積もることができます。仮に70℃とすると、1.1年で10%もの容量が抜けることが予測できます。

LEDと電源回路との距離が十分離れていれば電解コンデンサの温度を低く保つことができますが、照明器具としての構造は限定されています。

#### ● LED照明の寿命の定義

照明業界におけるLEDの寿命は、全光束が初期値の一定割合に低下するまでの点灯時間として定められており、初期値からの割合は一般表示用で50%、照明用では70%です。パイロット・ランプなどの一般用途では、光束が半分になっても何とか使えると考えるのは普通でしょう。しかし、照明用でそこまで暗くなると機能が大きく損なわれるので、70%という定義は妥当なところでしょう。

LED照明機器を構成する場合、もちろん他の部品の寿命も検討しておく必要がありますが、電源回路を構成するスイッチング素子…パワーMOSFETや制御用ICの寿命は、熱設計がLEDと同等と考えれば、周囲温度も寿命もほぼ同じとしてよいでしょう。抵抗、コイル、セラミック・コンデンサなどの寿命は、電解

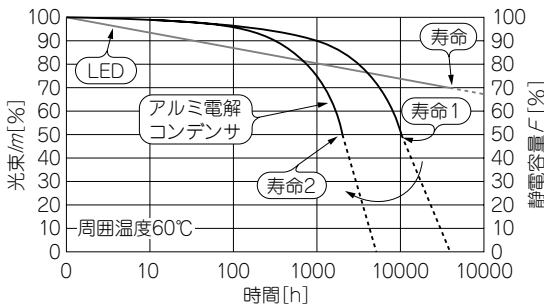


〈図2〉アルミ電解コンデンサの経時変化の温度依存性

コンデンサに比べれば長いと考えられます。

### ● LED 照明としての寿命

図 3 は、LED と電解コンデンサの寿命曲線を多少



〈図 3〉 LED の輝度劣化とアルミ電解コンデンサの経時変化を重ねると (60℃での推定)



(a) 大きな電解コンデンサが場所を占めている

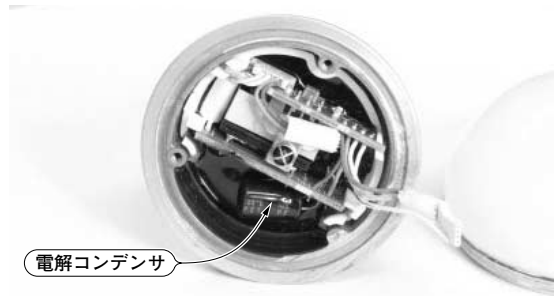
誇張して重ね書きしたものです。いずれも周囲温度は 60℃ですが、LED については光束が 70% になる時間を寿命と表示しています。電解コンデンサによる寿命の違いもあるので、図中の寿命 1 まで保つものもあれば、早々と寿命 2 まで来てしまうものがあります。

いずれにせよ LED 照明においては、アルミ電解コンデンサの寿命が照明器具としての寿命を大きく決定付けているのがわかります。

### ● 最近の電球型 LED 照明では

最近さかんに売り出されるようになった LED 電球を解析して、今までの観点からどのように作られているかを見ておくことはたいへん参考になります。

写真 1 は大手電機メーカーが出している LED 電球の駆動回路基板を取り出したようすです。(a)では電源



(b) コンデンサは小さいが大きな空間を必要としている

〈写真 1〉 市販の電球型 LED 照明具の回路基板の例

### コラム もっとも簡単 リアクタンスによる電流制限回路

図 A は AC の商用電源で、LED を 1～数个程度光らせるときによく使われている簡単な LED 照明の駆動回路です。100 円程度で売られている LED 1 個の常夜灯を分解すると、このような回路が使用されています。

LED への電流制限のために抵抗を使うと有効電力による無駄な熱が生じるので、コンデンサ  $C_1$  のリアクタンス ( $1/\omega C_1$ ) により無効電力として電流

制限を行う仕組みです。ただし、 $C_1$  は小容量でも高耐圧であることが必要です。0.47 $\mu$ F/250V<sub>DC</sub> のフィルム・コンデンサがしばしば使用されています。 $C_1$  のリアクタンス  $Z_E$  は  $f = 50$ Hz では、

$$Z_E = 1/2\pi f C_1 = 1/2\pi \times 50 \times 0.47 \times 10^{-6} = 6.8k\Omega$$

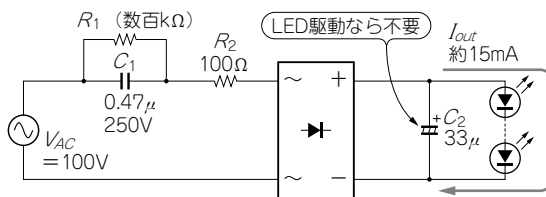
なので、電流  $I_{out}$  は、

$$I_{out} = V/Z_E = 100/6.8k = 15mA$$

を得ることができます。

図 A で、 $R_1$  は電荷引き抜き用抵抗 (数百 k $\Omega$ )、 $R_2$  はラッシュ・カレント緩衝用の抵抗 (100  $\Omega$  程度) であり、電流制限用ではありません。 $R_2$  は定常的な大電流は通しませんが、電源 ON 直後にラッシュ・カレントが流れるので、意外と発熱する壊れやすい部分です。

さらにレギュレータを通して安定化すれば、制御用マイコンの電源に使うこともできます。



〈図 A〉 リアクタンス(コンデンサ)による電流制限回路

として十分な平滑特性を得るために、大きな静電容量をもつ電解コンデンサ2個が空間を占めています。(b)は異なるメーカーのものです。コンデンサは小さいタイプですが、熱伝導を考慮して周囲が空けてあり、総じて大きな空間を必要としていると考えられます。

しかし、デスクトップPCなどに使われているような空間的余裕のあるスイッチング電源ユニットとは異なり、LED照明用電源では部品を詰め込む必要がありそうです。LED照明基板周辺をモールドで固めているメーカーもありますが、電解コンデンサを使用する以上は十分な放熱による長寿命化は難しいと思います。

## ケミコンレスのLED照明電源回路

ここでは、電解コンデンサを使わないLED照明駆動用IC TK5401[(株)タキオン]を使用した、いわゆるケミコンレスのLED照明回路の設計について紹介します。なお、この回路方式については国内のほか、米国、韓国、台湾で特許取得済みです。

### ● 従来のフライバック方式LED駆動回路

図4は、LEDによる小出力照明に適する従来の非絶縁型フライバック方式のブロック図です。基本動作はフライバック方式スイッチング電源と同じですが、LEDの駆動電流検出によるフィードバック回路と、スイッチング制御部とMOSFETを一体化したICでスイッチング制御を行っています。EMI対策のためにライン・フィルタも必要です。

図4のダイオード・ブリッジによる全波整流出力は脈流であるため、1次側平滑用には電解コンデンサを使用します。得られた電圧は制御ICの電源もかねながら、フライバック・トランスに入ります。1次平滑コンデンサを省略すると、IC用電源としては不適な脈流しか得られません。

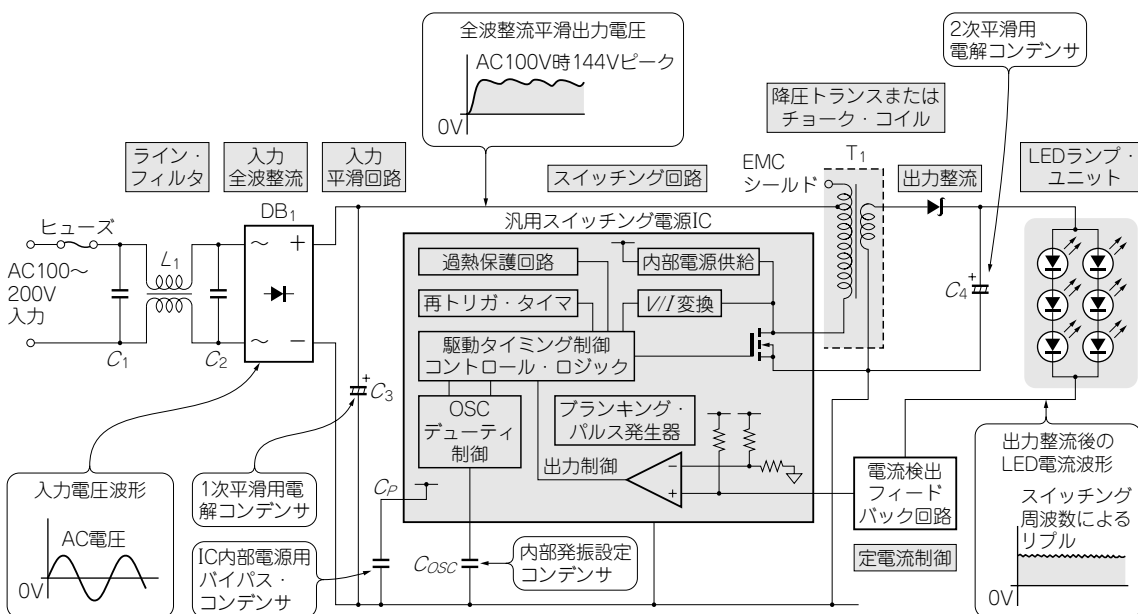
フライバック・トランスを通した後は、2次側でも平滑電解コンデンサが必要になります。

### ● ケミコンレスのLED駆動回路

図5がケミコンレスLED駆動回路のブロック図です。仮にフライバック方式であっても制御ICが全波整流後の脈流をそのまま電源とし、スイッチング周期に合わせて適切なタイミングでスイッチングを行い、PWM制御を行うことができれば、1次側平滑回路は必要なくなります。これがケミコンレス方式の基本です。平滑用電解コンデンサを、サージ吸収用の小容量セラミック・コンデンサに置き替えても正常動作します。

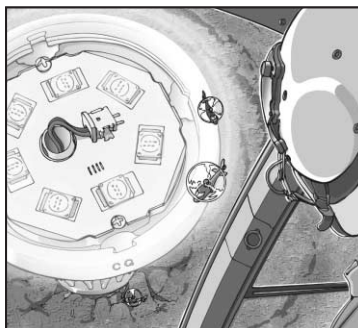
従来回路との大きな違いは、入力電圧のサイクル監視回路が脈流の振幅を見て、これに応じてLED駆動電流をON/OFFさせる同期駆動スイッチをもっていることです。

図6にケミコンレスのための同期駆動スイッチのタイミングを示します。脈流の振幅が基準電圧 $V_{det}$ 以上であればLEDの駆動を行い、 $V_{det}$ 以下であれば休止期間として駆動を行わないようすを示しています。(b)は駆動電流波形を誇張して描いたもので、脈



〈図4〉従来のLED照明用電源回路の構成

## 第9章



# マイコン 78K0/IB2 を使って通信まで行う 3チャンネル調光のPFC付き LED照明用電源

瀬川 毅/藤原 泰幸  
Takeshi Segawa/Yasuyuki Fujiwara

本章では、調光が可能な3チャンネルLED照明用電源の設計法について解説します。遠隔調光が可能です。通信方法については次章で解説します。

## ハードウェアの概要

### ● PFC回路が付いた3チャンネル出力LED照明用電源

設計したLED照明用電源は、入力側の力率を改善するPFC回路(Power Factor Corrective Circuit)と、LEDを定電流でドライブする回路3チャンネルが搭載されています。さらに照明の国際的な規格DALI(Digital Addressable Lighting Interface)通信および

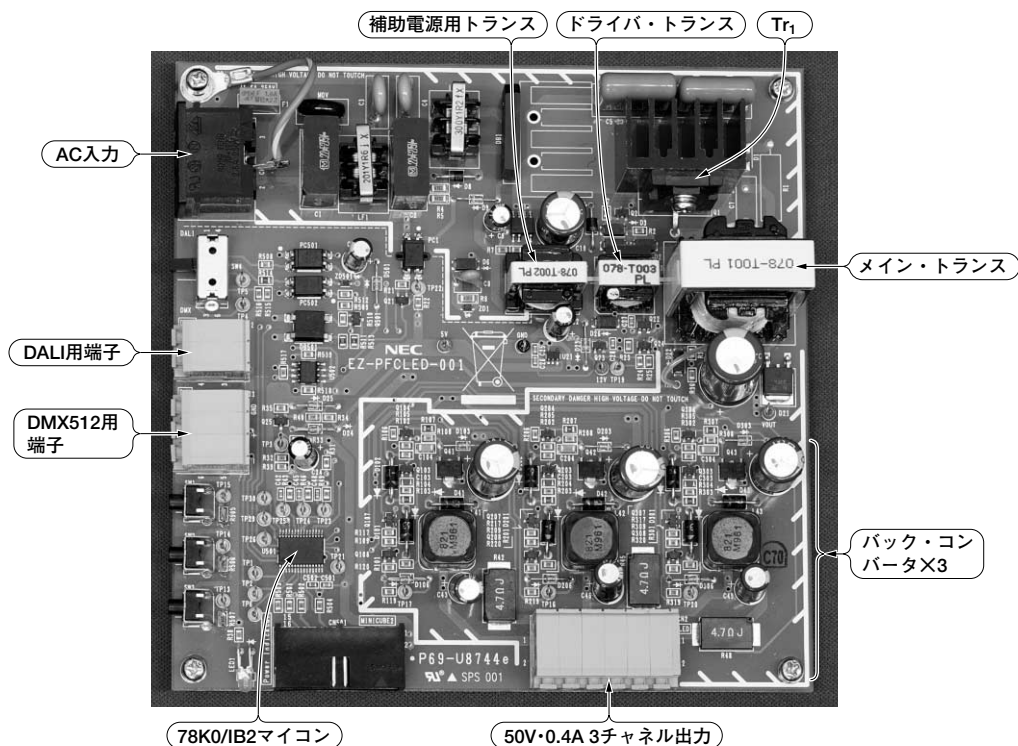
DMX512に準拠したインターフェースを備えます。

DALI通信により3チャンネルのLED照明出力を個々に遠隔で調光できます。DALI通信については次章を参照してください。

PFC、定電流出力、通信といった機能は、たった一つのマイコン78K0/IB2(ルネサス エレクトロニクス)によって制御します。外観を写真1に、回路図を図1に示します。

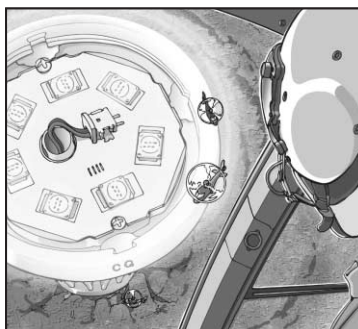
### ● 3チャンネルのLED照明用出力

3チャンネル用意された各LED駆動回路は、最大12個の直列LEDを最大400mAまで駆動できます。LEDの順方向降下電圧 $V_F$ のばらつきを考慮して、最大50



〈写真1〉PFC付き3チャンネル調光LED照明用電源の外観  
DALIとDMX512に対応して遠隔で各チャンネル独立に調光できる

# 第 10 章



## DALI/DMX512 規格で自在にコントロール LED照明/イルミネーションを 制御するための通信

郡司 高久  
Takahisa Gunji

照明分野には制御のための通信が導入されています。現在普及している主な通信について触れると共に、評価ボードとソフトウェアの自動生成ツールを使った簡単な通信テストについて紹介します。

### 照明における通信の種類と役割

日本の家庭で最も普及している照明用の通信と言えば赤外線リモコンと言えるでしょう。よく引っ掛けシーリングに取り付けるタイプの照明に、全光/減光/消灯などをコントロールするリモコンが付属していると思います。

LEDタイプの照明器具でも、シャープ製の電球 DL-L60AVのように調光が可能な赤外線リモコンを付属したモデルがあります。

一方で世界を見回してみると、ヨーロッパを中心にDALIと呼ばれる規格が主に施設用照明コントロールとして普及しています。DALIはマスター-スレーブ方式の双方向通信が可能なインターフェースで接続された照明機器に対して高度な調光設定を行えます。

イルミネーションの分野では、DMX512という通信方式があります。これは512個という多数のチャンネルの調光信号をマスタからスレーブの片方向で送信できるという特徴もっています。

それぞれの通信の特徴を表1に示します。本稿では、DALIとDMX512について概要に触れたいと思います。

〈表1〉 主な照明用通信とその特徴

方式	特徴	用途
赤外線	単純で安価。無線式であるため、コントローラを持って移動できる	家庭用照明
DALI	フェードや16種類の調光値設定、グループ設定など高度な調光が可能	オフィス用照明
DMX512	512個の多数のスレーブを接続することが可能	ステージ照明、イルミネーション

### 屋内照明の世界的な通信規格である DALI

#### ● DALI 通信とは？

DALIはDigital Addressable Lighting Interfaceの略で、元は主に蛍光灯器具の調光制御を行うことを目的にして、異なるメーカーの製品間でも通信できるように作られた規格です。現在はIEC規格60929で規定されています。

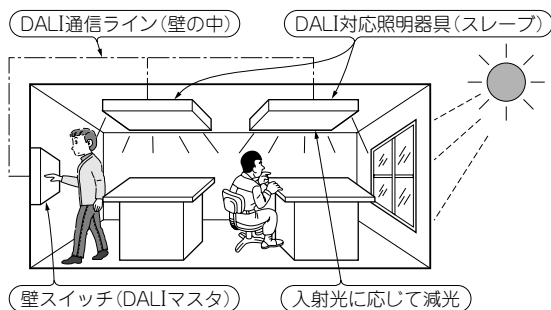
主にヨーロッパの企業が規格に携わった関係でDALIに対応した器具の普及はヨーロッパが先行していますが、今後はアメリカやアジアでも普及することが見込まれます。以下にDALIの特徴を挙げます。

#### ● DALI の特徴

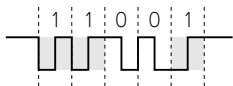
- マスタ-スレーブ方式
- 2線式、半二重、1200[bit/sec]の通信
- 一つのマスタにスレーブを最大64台接続可能
- マスタ-スレーブ間の最大距離は300[m]まで可能
- スレーブ機器のグループ化が可能
- 254段階の調光、フェード、16個のシーン設定など高度な設定が可能

#### ● 応用例

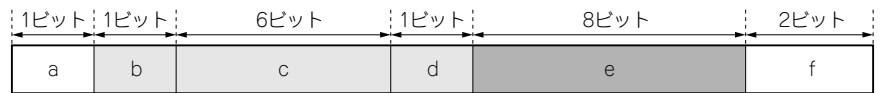
DALIを使った照明器具の接続例を図1に示します。先に述べたとおりマスタ-スレーブ方式の通信であるため、マスタとなるコントローラと、スレーブと



〈図1〉 DALI 対応照明器具を使った例



〈図2〉マンチェスタ符号化された信号例



- a : スタート・ビット。フレームの先頭を示す。常に“1”
- b~d : アドレス・バイト。フレームの送信先を指定する
- b : 送信群の指定  
<0>ショート・アドレス(個々のスレーブ)  
<1>グループ・アドレス/ブロードキャスト(全スレーブ)
- c : アドレス・ビット。オール1はブロードキャストを表す
- d : セレクト・ビット  
<0>'direct arc power command' <1>その他のコマンド
- e : データ・バイト。コマンドを指定する
- f : ストップ・ビット。フレームの最後尾を示す。ハイ・レベルで固定

〈図3〉DALI Forward フレーム

して照明器具が存在します。この図の例では、マスタは壁に埋め込んで使用する ON/OFF/調光が可能なスイッチとして描いています。

DALI では 254 段階の調光の指令を個々のスレーブごと、あるいはグループごとに出せます。単純な ON/OFF だけでなく、インテリジェントな制御が可能です。例えば、光センサと組み合わせて、屋外の光量を測定して窓際にある照明器具だけ減光するというシステムを構築できます。

## ● DALI プロトコルの概要

### (1) データ構造

DALI では信号の最小単位であるビットがすべてマンチェスタ符号化されています。マンチェスタ符号とは、1 または 0 を H/L といった電圧レベルではなく、立ち上がり/立ち下がりという信号変化(エッジ)で表します。例えば 11001 というデータを送る場合、図 2 のような波形になります。なお、通信がない状態では H レベルを維持します。

### (2) フレーム構造

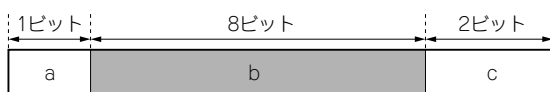
マスタ-スレーブ方式を採用している DALI では、マスタからスレーブへの送信を Forward フレーム、逆にスレーブからマスタへの送信を Backward フレームとして別々に定義しています。

#### ▶ Forward フレーム

構造を図 3 に表します。このフレームは a~f の六つのパートに分かれており、合計で 19 ビットのフレームになっています。

例えば接続されているすべてのスレーブに対して消灯を指示する場合、次のようなフレームになります。

a b c d e f  
1 1 111111 1 0000 0000 Hi



- a : スタート・ビット。フレームの先頭を示す。常に“1”
- b : データ・バイト。マスタへの返答
- c : ストップ・ビット。フレームの最後尾を示す。Hレベルで固定

〈図4〉DALI Backward フレーム

※データ・バイト部 8 ビット分の 0 が消灯を表す

#### ▶ Backward フレーム

構造を図 4 に表します。このフレームは Forward と比較して短く、a~c の三つのパートの合計で 11 ビットのフレームとなっています。

スレーブが送信する Backward フレームはマスタからの問いかけに対する返答用となっています。例えば、マスタが 30 番のスレーブに対して現在の調光値の送信要求(Query Actual Level)を行い、それが全調光の 64 段階目であった場合には次のような通信になります。

#### ①マスタ送信(Forward フレーム)

a b c d e  
1 0 011110 1 1010 0000 Hi

#### ②スレーブ送信(Backward フレーム)

a b c  
1 0100 0000 Hi

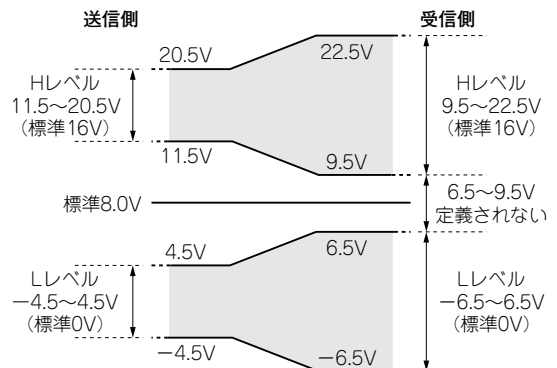
※Forward フレームのデータ部 1010 0000 が (Query Actual Level) を表す

### (3) インターフェース

DALI は 2 線間の電位差で H レベルまたは L レベルを伝達する仕様となっており、H/L レベルは図 5 のように定義されています。

DALI 送受信回路の例を図 6 に示します。この例は後に紹介する評価ボード(EZ-0005)の受信部です。

DALI は 2 線でスレーブを数珠繋ぎにできるように



〈図5〉DALI における信号レベルの定義