

# 熱シミュレーションを活用したLED照明の放熱設計技術

Heat Radiation Design Technology for LED Lighting Systems Utilizing Thermal Simulation

井上 道信 楚 麻友美

■ INOUE Michinobu

■ SO Mayumi

近年、既存照明よりも発光効率の高いLED（発光ダイオード）照明への置換えが進んでいる。製品をタイムリーに市場へ投入するには、LEDの技術課題である放熱設計を行った結果を基に、製品仕様を早期に決定することが必要である。3次元CADを活用した熱シミュレーションは、製品開発の初期段階に課題を抽出し、対策の立案と効果の検証を効率的に行うことができる。

今回東芝は、LEDの発光効率及び電圧の温度依存性や、電源の伝熱構造を考慮したモデリングを適用することで、LED照明の細部に至るまでの温度特性が評価できる技術を開発した。これにより、試作評価の前に放熱が困難な部品を具体的に特定し、目標の明るさに必要な放熱性能と製品コストを両立させた仕様の策定が可能になった。

In recent years, the replacement of conventional lighting with light-emitting diode (LED) lighting systems providing higher luminous efficiency has been accelerating in various lighting fields. For the timely introduction of new LED products on the market, it is necessary to efficiently determine their specifications by performing heat radiation design, which is one of the technical issues in LED lighting systems. Thermal simulation using three-dimensional computer-aided design (3D CAD) can facilitate effective planning of countermeasures and verification with respect to technical issues identified at the initial stage of development.

Toshiba has developed a heat radiation design technology for LED lighting systems utilizing thermal simulation, which can evaluate the temperature characteristics of the detailed parts of an LED lighting system through simulation models taking into consideration the luminous efficiency, temperature dependence of the voltage, and heat transfer structure of the power supply unit. This technology makes it possible to identify parts whose cooling is difficult prior to prototype production and determine specifications achieving a balance between heat radiation performance and the targeted brightness and product cost.

## 1 まえがき

近年、電球を代表とするランプから、家庭用シーリングライトや商用施設向けダウンライトなどの照明器具まで、幅広い製品でLED化が進んでいる。LEDは、従来の蛍光ランプに比べて電気エネルギーを光に変換する効率が高く<sup>(1)</sup>、変換損失である熱エネルギーが小さいという特長がある。しかし半導体素子であるLEDでは、発光部が小型で発熱密度が高いうえ、耐熱温度が低いことから、蛍光ランプよりも放熱が大きな技術課題となる<sup>(2)</sup>。

一方、明るさだけでなく、光の色や広がり、見栄えが良い発光面など、LED照明への顧客ニーズが多様化している。これらの要求に合わせて、多くの製品をタイムリーに商品化していくには、開発期間を短縮化する設計の仕組みが求められている。これを実現するには、開発の初期段階で放熱課題を見積もり、目標とする製品性能とコストを両立できる放熱仕様を早期に立案することが重要になる。

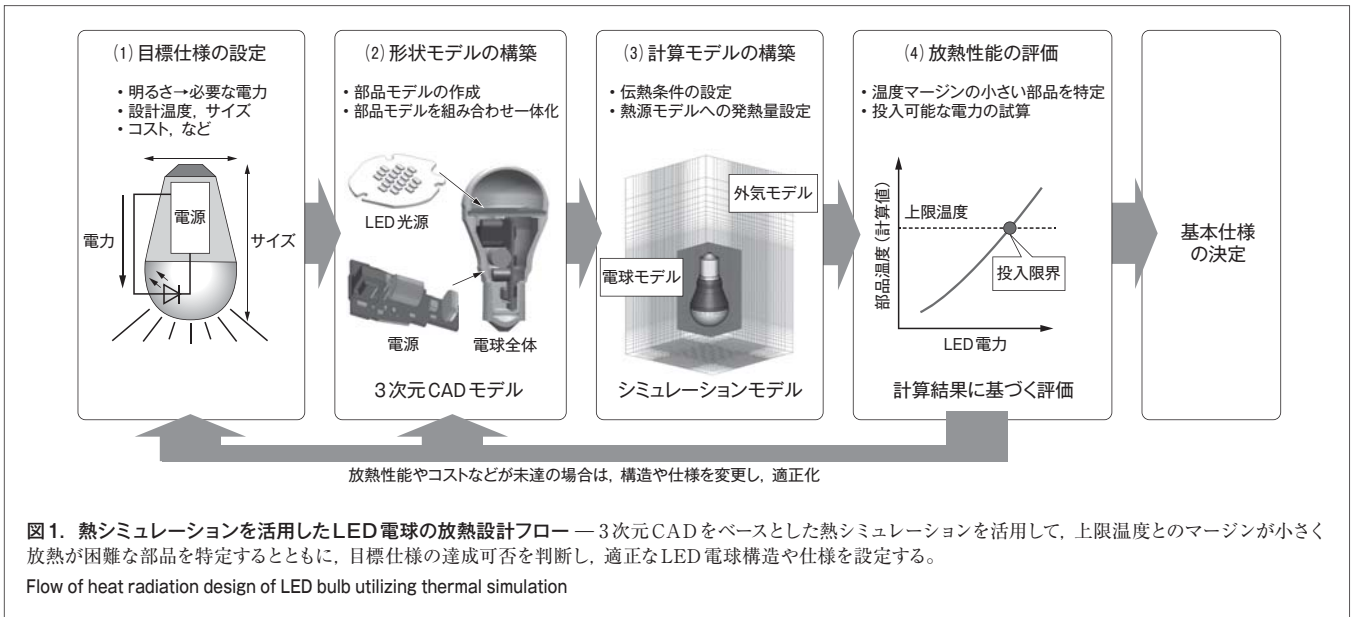
東芝は、LEDの発光効率及び電圧の温度依存性や、電源の伝熱構造を考慮したモデリングを適用することで、LED照明の細部に至るまでの温度特性を評価できる技術を開発した。

ここでは、LED照明の製品開発における、放熱性能の予測から製品仕様の立案までを行うDFM (Design for Manufacturability) として、熱シミュレーションを活用した放熱設計技術と、製品開発への適用事例について述べる。

## 2 熱シミュレーションを活用した放熱設計フロー

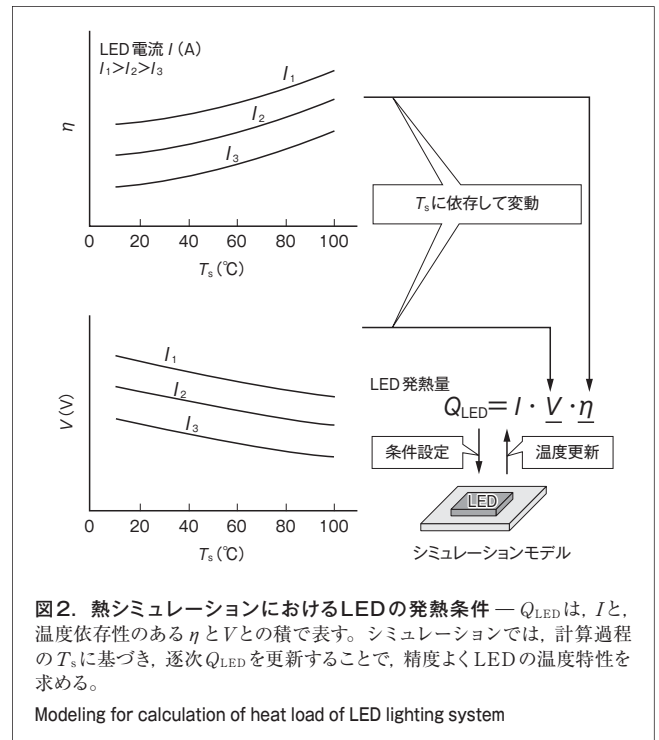
LED電球をモチーフとした放熱設計フローを図1に示す。設計開始から順に、次に述べる四つのステップから成る。

- (1) 目標仕様の設定 製品に求められる明るさの達成に必要な電気エネルギー（投入電力）を試算し、これを放熱設計における目標値とする。加えて、搭載される部品ごとに上限温度や、サイズ、コストなど設計上の制約条件を設定する。
- (2) 形状モデルの構築 目標とするサイズ制約に基づき、3次元CADを用いてLED電球の形状モデルを構築する。これは熱シミュレーションにおける熱源及び伝熱経路となるため、発熱するLEDや電源から、外気に放熱する機能を果たす筐体（きょうたい）に至るまで、LED電球を構成する部品のモデル化を行う。更に、これらの部



品を組み合わせ一体化することで、電球全体のモデルを構築する。電源は、電子部品ごとに温度予測ができるように、基板と電子部品を分別する。

- (3) 計算モデルの構築 (2)の形状モデルに基づき、熱シミュレーションを実施する。まずLED電球の設置方向や外気温度などの伝熱条件と、LEDや電子部品の発熱量といった計算に必要な境界条件を設定する。次にこれらの条件に基づいた熱シミュレーションにより、LED電球内における各部の温度を求める。
- (4) 放熱性能の評価 熱シミュレーションで得られた温度分布と(1)の上限温度から、マージンが小さく放熱が厳しい部品を特定する。更に、この部品が上限温度を超えない限界の投入電力を見積もり、必要な投入電力と比較することで、目標仕様の達成可否を判断する。目標に対して放熱性能に不足があった場合は、課題となった部品に応じた放熱対策をCADモデルに盛り込み、(1)及び(2)の設計フローに戻って、適正なLED電球構造や仕様を見いだしていく。



### 3 LED電球の熱シミュレーション技術

熱シミュレーションによって、各部の温度を予測するには、熱源ごとに発熱量を設定する必要がある。LED電球の熱源はLEDと電源の二つに大別できる。それぞれ熱源としての特徴があるため、以下に述べる方法を用いて計算モデルを構築した。

#### 3.1 温度依存性を考慮したLEDのモデリング

電球などのLED照明の放熱設計では、連続で点灯させ、発熱するLEDの温度が安定した状態を対象にする。LEDは、電源から一定電流を供給して点灯させるが、温度上昇に伴っ

て、LEDの電圧及び発光効率が低下する。このため、電気エネルギー（電流×電圧）を光に変換したときの損失であるLEDの発熱量は、温度によって変動する<sup>(1)</sup>。連続点灯時のLED温度を熱シミュレーションで予測するには、この温度依存性を考慮し、発熱量を正確に設定する必要がある。

熱シミュレーションに用いるLEDの発熱条件を図2に示す。LEDの発熱量 $Q_{LED}$ は、投入した電力から出力される光エネルギーを差し引いた値である。熱シミュレーションでは $Q_{LED}$ を、電気エネルギーと熱エネルギーの比率を熱損失率 $\eta$ で表

し、 $\eta$ 、電流 $I$ 、及び電圧 $V$ の積で設定する。前述のように $\eta$ と $V$ には温度依存性があるため、熱シミュレーションでは、計算過程のLED温度 $T_s$ に基づき、逐次 $Q_{LED}$ を更新しながら計算を行う。

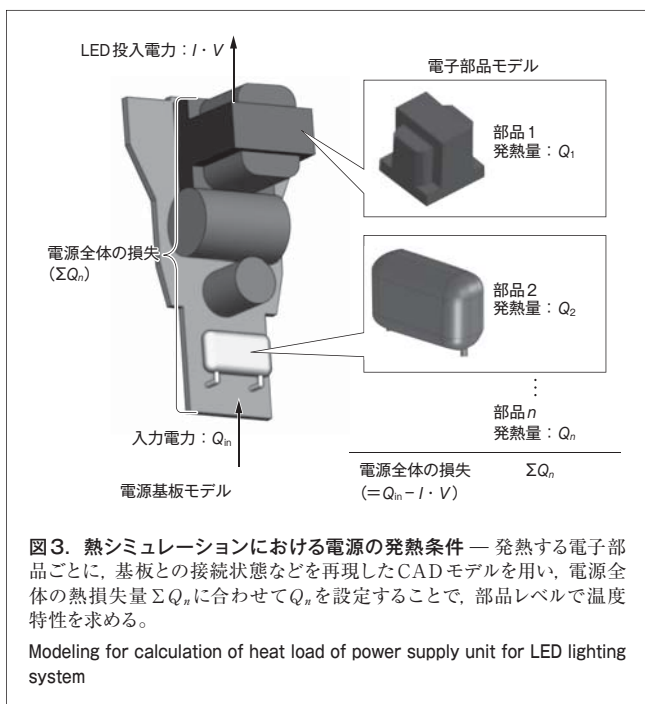
この方法を用いた熱シミュレーションにより、LEDに投入される電力に伴って非線形的に温度上昇するLEDの温度特性が得られる。

### 3.2 部品の伝熱構造を考慮した電源のモデリング

電源は、LEDに比べて発熱量は小さいものの、熱源となる電子部品と基板との微細な接合部で放熱させる構造であるため、その温度上昇は著しく、LEDと同様に放熱が課題である。熱シミュレーションで電子部品の温度を求めるには、その発熱量に加え、基板との接合部における伝熱構造をモデル化する必要がある。

熱シミュレーションに用いる電源の発熱条件を図3に示す。電源は、入力された交流電流からLEDの点灯に必要な直流電流に変換するとき、損失が発生する。この損失は熱エネルギー（発熱量）となり、電源に搭載された電子部品の温度を上昇させる。熱シミュレーションでは、回路シミュレーションなどで試算した電源の変換損失に基づき、電子部品ごとに発熱量 $Q_n$ を設定する。

電子部品の接合部サイズは実装形態により異なることから、挿入実装部品であればリード線を介して部分的に基板と接合する構造を、表面実装部品であればはんだなどで面接合する構造を再現するように、3次元CADモデルを構築する。また、部品形状、基板との接続位置、及び部品レイアウトについても電源の放熱経路を決定する要因となるため、プリント基板設計



CADなどと連携し、部品の伝熱構造を正確にモデル化する。

これにより、発熱の大きいLEDだけでなく、温度上昇が著しい電源についても、電子部品のレベルで温度予測が可能になる。

電源の各部品の上限温度とこの方法を用いた熱シミュレーションで求めた温度を比較することにより、マージンが小さく、放熱が困難な部品を正確に特定できる。

## 4 熱シミュレーション結果に基づく製品仕様の策定

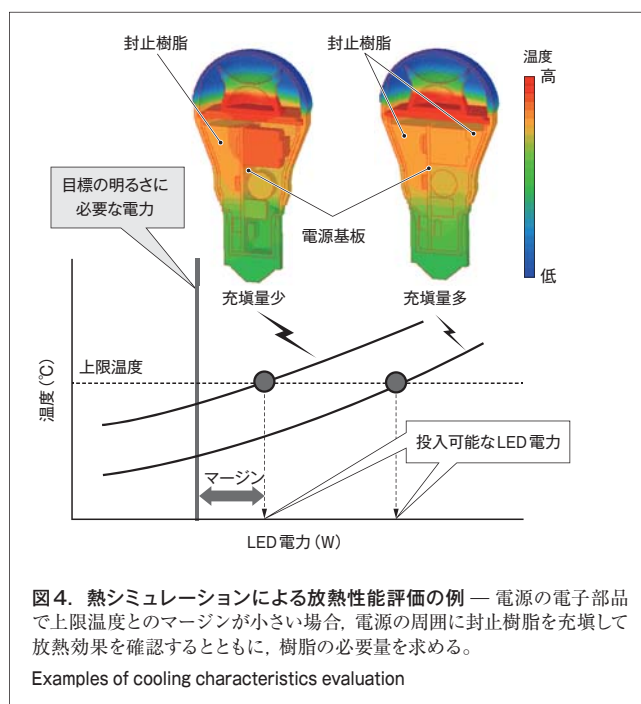
### 4.1 放熱性能の評価

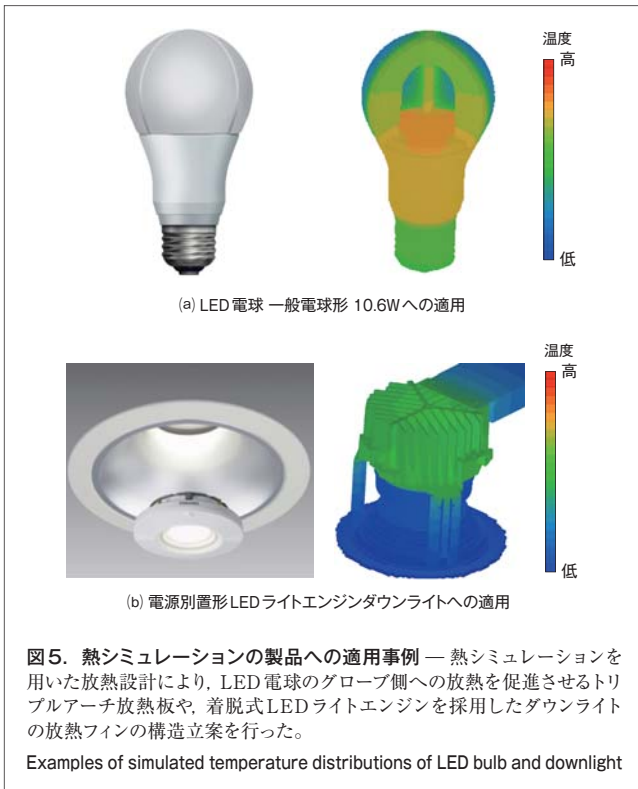
前述のモデリングを適用したLED電球の熱シミュレーションを行うことで、図4に示すような、投入するLED電力とLEDや電源などの温度との関係が得られる。放熱がもっとも困難な部品において、目標仕様で設定した上限温度を超えないLED電力が投入可能な限界値であり、これが評価対象となるLED電球の放熱性能の指標になる。この投入限界電力が、初期段階で設定した目標の明るさに必要な電力以上になっていれば、放熱については目標を達成したと言える。未達であれば、放熱が困難な部品の構造に応じて、温度低減により効果がある構造や仕様を立案し、再度熱シミュレーションを行い、その効果を確認する。

一方、投入限界電力に十分なマージンがある場合は、電源周囲に充填している封止樹脂の充填量などをパラメータとした熱シミュレーションを行うことで、放熱性能とコストを両立させた仕様を求めることが可能になる。

### 4.2 製品への適用事例

熱シミュレーション技術を製品開発に適用した事例を図5





に示す。いずれの事例も、開発の初期段階に試作を行うことなく、熱シミュレーション上で課題の抽出と放熱仕様の策定を行った。

LED電球 一般電球形 10.6Wでは、明るさの向上とともに、光を広げる電球の構造開発に熱シミュレーションを用いた。その結果、筐体側だけでなく、発光するグローブ側へも放熱を促進させるトリプルアーチ放熱板を適用することとし、明るさと広がり両立させた性能を実現している。

また、電源別置形LEDライトエンジンダウンライトでは、放熱性能を決定する主要因となる放熱フィンの形状適正化に熱シミュレーションを用いた。放熱フィンの高さやピッチなどをパラメータとした熱シミュレーションにより、必要な放熱性能を確保しながら軽量化及び低コスト化につながる放熱器の構造を開発できた。

## 5 あとがき

白熱電球や蛍光灯など従来の照明からLED照明への置換えが進むなか、製品をタイムリーに市場に投入するため、技術課題である放熱設計を効率的に行うための熱シミュレーション技術を開発した。これにより、試作評価前の開発初期段階で、LEDだけでなく電源基板も含めた細部に至るまでの温度特性を予測し、正確な放熱課題の特定と対策の立案が可能になる。また、3次元CADを活用したシミュレーションであるため、放熱対策で発生した追加部材などのコストも含めた仕様を作り込むこともできる。

今後も当社は、LED照明の開発効率を更に向上させるため、3次元CADと熱シミュレーションを活用した設計技術の高度化を進めていく。

## 文 献

- (1) 安田丈夫 他. わが国初の白熱電球から、蛍光灯、LED照明へと先導する照明技術. 東芝レビュー. 69, 2, 2014, p.7-10.
- (2) 渡邊博明 他. 省エネと低コストを実現するLED照明器具. 東芝レビュー. 65, 7, 2010, p.12-15.



井上 道信 INOUE Michinobu

生産技術センター 実装技術研究センター主任研究員。  
電子機器及びモジュール実装の開発・設計に従事。エレクトロニクス実装学会会員。

Electronic Packaging & Assembly Technology Research Center



楚 麻友美 SO Mayumi

生産技術センター 実装技術研究センター研究主務。  
電子機器及びモジュール実装の開発・設計に従事。

Electronic Packaging & Assembly Technology Research Center