

# デザインゴールに適うLED照明を可能にする、正確な熱シミュレーション

トム・グレゴリー

SSL製品開発におけるフォームファクタ、性能、信頼性のゴールを実現するために、設計チームは開発初期段階に熱シミュレーションを行うべきである。

近年のLED照明市場の爆発的成長は、複数の要因によって引き起こされており、その最たるものは環境規制や地球環境への関心である。LEDは白熱灯のような従来の照明源よりもはるかに効率的で、水銀を含まず、色と明るさを調整出来るため、蛍光灯よりも環境に優しい。そのため、LEDは専門職、産業、一般消費者向けのアプリケーションにとって非常に柔軟な光源であるが、SSL製品の設計は複雑な複合基準の問題を含んでいる。ここでは、熱課題と開発チームが信頼性、フォームファクタ、性能の目標に適う製品を作る為、どのようにシミュレーションが役立っているかに焦点を当てて行く(図1)。

確かに、LEDランプの保証された動作寿命はたいてい2万5000~5万時間の間だが、それが常に実現するとは限らず、SSL製品の性能は時間とともに劣化する。性能(質、発光出力、動作時間、色の維持、その他の要因)は、照明固定具や交換ランプ内で経験される温度と密接につながっている。特定の環境にとって、温度は、器具の設計がどれだけ効率的に内部発生熱を放熱できるかに直接関連しているのである。

## デザイン・チャレンジ

その他2つの関連要素は、LED照明の長期間の信頼性に影響を及ぼす。LEDドライバでのエネルギー貯蔵のために採用されているアルミニウム電解コン



図1 Aランプの熱シミュレーションと完成品。開発チームがフォームファクタを含むデザインゴールに達するために、どれだけ熱シミュレーションが貢献しているかが分かる。

デンサと、照明メーカーが従来よりも小さな器具とランプを作ることへの市場の需要である。

ファンのような電気機械類を除き、多くの電気回路においてアルミニウム電解コンデンサは、寿命が限られた部品として悪評高い。コンデンサとは電気化学デバイスで、その中では、電解液が正常運転時に酸化アルミニウム誘電層を改質してつくるために徐々に尽きてゆく。コンデンサは最後には乾ききり、悲劇的に作動しなくなる。高温の環境下で、この過程は加速される。

エンターテイメント照明のような職業用アプリケーションでは、運搬や取扱いを簡単にし、目立つ事なく使用出来るように、より小さい照明器具が必要とされている。街頭ランプから家庭用

ダウンライトまで、全てのレトロフィット・アプリケーションにおいて、大きさや形は従来の照明技術で定められた範囲内に収めることが求められている。このことは通常、LEDエミッタモジュールとレンズ同様に、電子ドライバ回路を指向性照明の容器内の器具の内側に詰め込むということを含んでいる。

## ドライバ回路への適合

LEDドライバ回路は、交流グリッド電圧をLEDに動力を供給するために必要な低圧直流電圧に変えるため、そして、それらが効率的に最大出力で作動することを確実にするために必要である。効率の良さにもかかわらず、LEDチップ(die)は熱を発生させるし、特にパワートランジスタのようなドライバ回路内の部品も同様である。物質のデザイン制限に見合うよう、熱を発生させる全ての部品を小さな空間に押し込めば、物質はたちまち熱くなり、LEDジャンクションが耐えられる典型的な最高温度である100℃を超えることさえあり得る。

LED固定具とランプ設計者にとっての難題は、利用できる空間に全てをいかに上手くはめ込み、一方で完成品の内部、外部両方で、臨界点での温度が許容範囲にとどまることを確実にすることである。ここで熱シミュレーションが役に立つ。それが設計過程を通して行われれば尚更である。図2は、良好な熱管理を示す熱シミュレーション

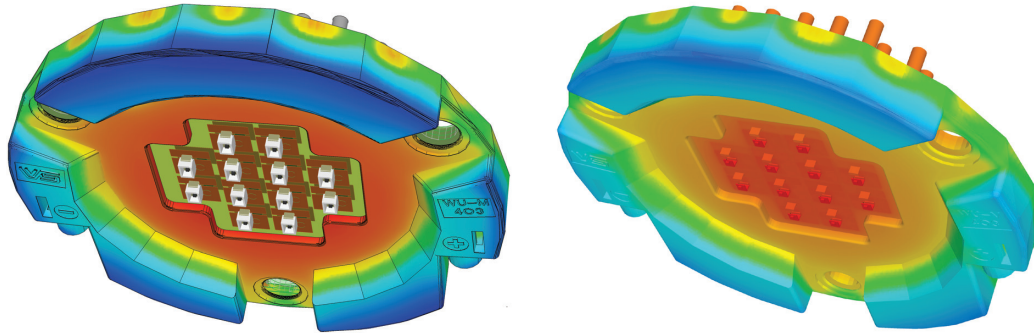


図2 熱シミュレーションにより、これらのチップモジュールが適切な熱マネジメント特性を持っていることが分かる。

下でのチップモジュールの一例である。

### 熱シミュレーションの利益

歴史的に、設計や開発の多くは、熱視点からある特定の部品やプリント回路版 (PCB) や感性組立品がどのように機能するのかを計算するために、親指ルールを使うことに基づき行われてきた。電子製品の設計開発プロセスは反復されるものなので、計算は製品開発プロセスを通して繰り返されなければならない。どの段階でも、設計エラーは修正される必要があるが、それでも尚ホットスポットは見過ごされることがある。どの変更もそのプロジェクトに時間と費用だけでなく、市場での好機を失うリスクも加えてしまう。

さらに、この段階で含まれた精度が相対的に乏しいと、結果的に設計者は

熱管理をオーバースペックにしなければならなくなる。一例を挙げると、必要以上に大きなヒートシンクを使うと、完成品は大きくなり費用もかさむということだ。また、不必要な箇所にファンを組み込むことは、予想製品寿命の基準である製品故障間隔 (MTBF) を大幅に減らしてしまう。おそらく尚更重要なのは、こうした精度の乏しさは、製品が既に使用されて初めて熱問題が露呈することにつながる、ということである。潜在的な保証請求の費用、製品のスワップアウト、そしてブランド評価へのダメージは悲劇的なほどに高い。

### 開発フローでのシミュレーション

デザインフローにおいて熱シミュレーションの実行が早ければ早いほど、起こり得る熱問題克服のために大幅なデ

ザイン変更をするリスクは低下する。プロジェクトを通して、電子、機械、熱の技術者たちは、デザインプロセスに熱シミュレーションの結果が反映され、熱パフォーマンスにおけるデザイン変更の影響が十分に認められることを確認するために、協働する必要がある。図3は、異なる学問の基礎を持つチームメンバー間での相互作用を示している。

開発初期段階では、非常にシンプルなコンセプトモデルが、概要仕様の制約内で照明器具を冷却することが可能かどうかを決めるために使われることもある (図4)。製品の全電力損失、面積、ヒートシンクのサイズ、ファンの空気流は、もしそれが使われるのならば、この段階で手に入るすべての情報を代弁している。

次の段階では、予備の製品デザインが作られた際に、熱モデリングツールは使用可能なシミュレーションを作るために次の情報を必要とする。

- ・部品詳細とPCB内でのそれらの位置
- ・最重要部品の推定損
- ・照明器具ハウジングの面積概要

シミュレーションを行った後、温度分布は、部品が最大許容操作温度を超える傾向にある箇所を強調する。

### 結果を操作するインプットデータ

インプットデータが正確であればあるほど、シミュレーションも正確になる。最初のシミュレーションの結果が、PCB

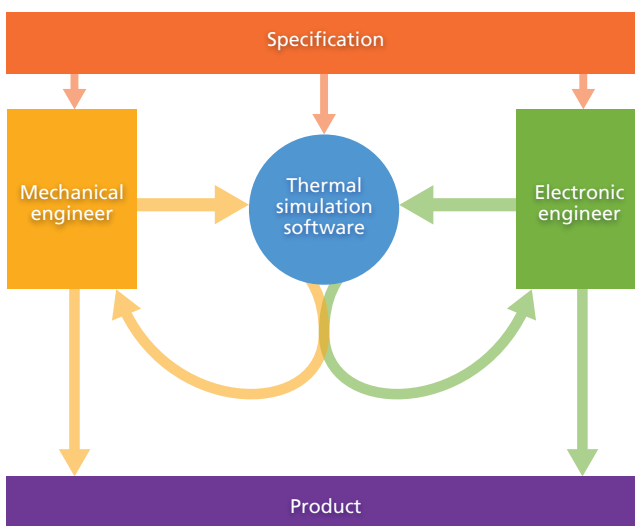


図3 製品開発の期間、熱シミュレーションを価値あるものにするために、電子、機械、熱の技術者たちは協働する必要がある。

デザイナーと機械技師を、器具やランプの熱性能に有益な変更を取り入れることへ導くのである。デザインが進化するにつれて、その過程は繰り返される。

提案された最終デザインは、試作品が製造される前に再びシミュレートされなければならない。シミュレーションの結果が正確であることを保証するために、より詳細な情報が必要となる。含まれるべき事柄は下記である。

- ・器具内部での部品の熱モデル。そしてそれらは、部品製造者から入手可能であること
- ・LED 器具やランプハウジングの3D CADモデル。それらは様々な工業標準フォーマットのシミュレーションツールにインポート可能であること
- ・EDAソフトウェアからのPCBデザイン。それらはIDFやIDXのような工業標準フォーマットを使ってインポート可能であること
- ・PCB層内の銅配線の詳細
- ・器具内で使用されている材料の性質にかんする情報
- ・工学的計算に基づき求められた、器具内部品の推定ワット損の最新データ

いったん試作品が完成すると、開発チームは熱物性計測によってシミュレーションの正確さを検証する。このデータを求める際に、採用された計測器の正確さの限度を考慮に入れることが重要である。アプリケーション次第で、これらは熱電対、オンチップセンサ、赤外センサなどになるかもしれない。

## 熱シミュレーションの正確さ

オプティカル・サーマル・ソリューションズBVの熱設計の専門家であるノーバート・エンゲルベルト氏は、英フューチャー・ファシリティーズ社の6SigmaET熱シミュレーションツールを使用して、

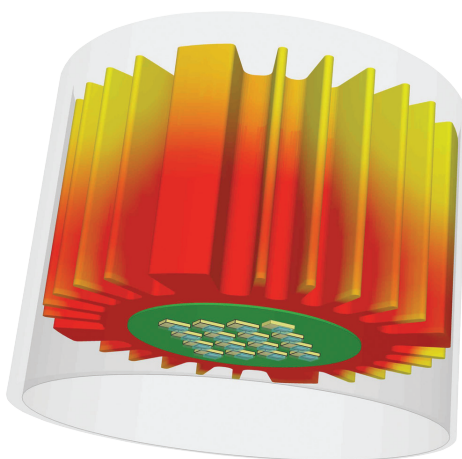


図4 シンプルコンセプトモデルをシミュレートすることで、機械的・電氣的な制約の範囲内で、熱的に現実味のある製品を作る事が可能かどうかを決定する。

数多くのLED照明プロジェクトに参加してきた。最初のプロジェクトは、欧州市場向けの60W E27の白熱ランプ代替としてのLEDランプのデザインだった。デザインゴールは、バルブの動作寿命を最大限にするためにコンパクトクーリングを用いてヒートシンクの温度を可能な限り低くすることだった。温度が高くなるにつれて、動作寿命は短くなる。熱モデリングがヒートシンクの設計を最適化するために使われ、最終的な製品の評価が行われた際、そのシミュレーションは、計測された温度の5%以内の誤差で正確であることが分かった。

ダウンライトのデザインをしている時にもまた、同程度の正確さが確認された。この時のデザインゴールは、LEDジャンクション温度を100℃の限界以内に確実に留まらせる一方で、ヒートシンクを出来るだけ小さくする事だった。実計測とシミュレーションでの誤差はたった4.6%だった。

エンゲルベルト氏は、街頭ランプの開発の際も熱モデリングを使用している。ここでの課題は、元来設置されていたランプによってサイズと形が決め

られているIP66の舗装囲い内で、効率の良い熱管理を確実にすることだった。ランプの重さが重要な懸念事項で、ここでも再び動作寿命を甚だしく短くすることなしにヒートシンクを最小サイズに保つことが必要とされた。最初のデザインから最終形態にいたるまでの間に、ランプ内各所における平均温度は19%低下し、中には35%もの低下を実現した。完成品は従来のランプよりわずか13%の重量アップで、はるかに信頼性が高くエネルギー効率の良いものとなった。

## 熱シミュレーションツール

電子機器デザインのための熱シミュレーションツールは、数値流体力学(CFD)に基づいている。LED照明デザインに適している2つのツールは、米メンター・グラフィックス社のFloTHERMと英フューチャー・ファシリティーズ社の6SigmaETである。FloTHERMが25年以上ものあいだ使われている一方で、新しいツールである6SigmaETは経験豊富な技術者と専門知識の乏しい技術者の両方に受け入れられている。

熱シミュレーションの採用で最優先される目的は、より良い製品をより速く作ることであり、使用ツールの選択で考慮されるべき重要な事柄は使いやすさである。特に、そのツールがどれだけ容易にCADモデルをインポートできるか、模型制作を簡単にできるか、そしてシミュレーションをどれだけ素早く正確におこなうかが重要である。販売業者によるトレーニングとサポートも評価の対象にしなければならない。トレーニングコースの期間は、複雑なツールを使う上で有益な手引きとなるだろう。

### 著者紹介

トム・グレゴリーは、英フューチャー・ファシリティーズ社の6SigmaET製品担当。