

サプライチェーンにおけるLED製品 仮想プロトタイピングによる開発加速 —パート2

アンドラーシュ・ポッペ、ロビン・ポーノフ、グスターフ・ハントス、
ヤーノシュ・ヘゲダス

インダストリー4.0の原則と仮想プロトタイピングを採用して、LED照明器具
設計のパイロット実装を構築するプロセスについて説明する。

パート1では、Delphi4LEDコンソーシアムによって考案された、設計の有効なシミュレーションによる市場投入時間の短縮を可能にする、開発プロセスについて説明した。従来の開発作業では、LED設計のプロトタイピングと試験検査にかなりの時間が費やされる。Delphi4LEDは、固体照明(Solid State Lighting: SSL)の製品開発に適用できる、設計およびシミュレーションツールに対するマルチドメイン(熱、光学、電気)のアプローチを考案した。パート1では、このモデリング手法の基本について説明した(<http://bit.ly/2PJBGDZ>)。パート2となる本稿では、組織の規模とリソースの面でそれぞれ異なる2つのシナリオに対して、モデル化された照明器具のパイロット実装を行った方法について解説する。

Delphi4LEDコンソーシアム内と実世界の両方において、企業文化や利用可能な技術的/経済的リソースに基づいて、まったく異なる設計手法を日常的に採用する2つの企業を特定した。Delphi4LEDコンソーシアムによるパイロット研究と実証実験は、その2つの状況に基づいて構築されている⁽³⁾。

パイロットプログラムとして、Delphi4LEDが提案するワークフローを、中小規模の設計企業に対して実装

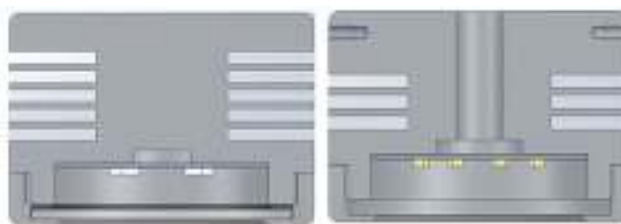


図1 LEDのアプリケーション設計をデジタル化するためのDelphi4LEDのアプローチは、パッケージLEDの実サンプルのデジタルツインの作成を基盤とする。

した。モデル集合を作成してExcelスプレッドシートにまとめ、それを簡素化された設計/仮想プロトタイピングツールとして使用した。同プロジェクトの実証者らが想定するLEDに対する事前特性評価に基づき、ブダペスト工科大学(Budapest University of Technology and Economics: BME、コンソーシアムに参加する学術機関の1つ)は、SPICEに似た、チップレベルのマルチドメインモデルを作成し、モデルパラメータを抽出した。パッケージのDCTM(Dynamic Compact Thermal Model)も作成した。

特性評価とシミュレーション アプリケーション

さまざまなモジュール基板とヒートシンク設計(図1)に対する事前特性評価も行った。これにより、CTM(基板に対するNポートの熱モデルと、ヒートシンクに対する基板から周辺環境への等価熱抵抗)も作成し、前述のスプ

レッドシートに含めた。

図2は、シミュレーションアプリケーションの図である。製品開発者はユーザーインターフェースを使用して、このデモの全光束などの主要な設計目標を設定することができる。まず、目標出力を図2の青色のフィールドに入力する。続いて、設計制約を橙色のフィールドに入力する。この例における制約としては、予想される周辺温度、接合部とはんだ付けポイントの最大許容温度、最大許容順方向電圧などがある。薄緑色のフィールドでは、LEDの個数、基板、ヒートシンクの種類をプルダウンメニューから選択し、LEDドライバの光効率や総順方向電流を設定することができる。

図2には、3つの設計選択肢が示されている。マルチドメインシミュレーション(照明器具の熱と電気光学のコシミュレーションが繰り返し実行される)後には、設定された設計制約を満たすかどうかの判定が、セマフォのよ

表1 Delphi4LED の実証実験で適用された設計および開発方式(ワークフロー)

	Concept/development	Design and prototyping	Characterization, final tests
Large companies	Old process: Tests/ characterization-based optimization	Company A	Company B
	New process: Compact-model-based optimization	Company A	Company B
Small-to-medium companies	Old process: Prototyping and testing	Company A	Company B
	New process: Compact-model-based virtual prototyping	Company A	Company B



図2 スプレッドシートベースのアプリケーションにより、Delphi4LED方式のコンパクトモデルを使用した仮想プロトタイピングによる、基本的な照明器具設計選択肢の評価を行うことができる。

うな結果フィードバックとして表示される。例えば、3回の繰り返し実行の最初の実行では、選択された5つのLEDで、全光束の要件が満たされなかったことが、結果の下の右側にある赤色のフィールドで示されている。

2回目の実行では、LEDの個数が6個に増やされている。この変更により、全光束の要件は満たされたが、はんだ

付けポイントの温度の要件で不合格の判定が出ている。3回目の実行では、基板の種類を変更することで、設計目標を満たし、深刻な制約違反のない構成が得られている。

このようにして直ちにシミュレーションを繰り返すことにより、開発者は、LED個数、基板、ヒートシンク設計の適切な組み合わせを選択することがで

きる。同様の仮想実験によって、複数の異なる物理的な製品プロトタイプの実証実験を行うことなく、必要な光効率と総順方向電流を決定することができる。

2企業のシナリオ

パイロット実装の後半では、4件の実証実験を行った。2件は大企業、2件は中小企業を対象としたものである。すべてのケースにおいて、実験の目的は、その企業の古い開発方法とわれわれの新しい方法を比較することである。また、デモの一環として、独立した産業用測光試験研究所が、必要な製造前試験を実施した。

主要な仕様を満たすために、照明器具のすべての設計および開発工程(パート1の図1参照)を実行した。サンプルの実現にかかる開発コスト(所要時間、発生人件費)と、実験測定と特性評価に関連するコストを測定するために、表1に示す開発方式ごとに、設計プロセスをモニタリングした(3)、(20)。

中小企業用の設計プロセスは、スプレッドシートを使って追跡した。企業のトライアルアンドエラー方式の従来型アプローチを適用した場合と、仮想プロトタイピングを適用して同じ設計作業を行った場合の、各設計開発工程に要した時間を記録して比較した。仮想プロトタイピング方式によって開発された最終的なサンプルを、図3に示す。

大企業に対しては、LEDパッケージのコンパクトモデルを作成し、設計を最適化するオプションも備えた商用のCFD(数値流体力学)ツールに追加することによって、使用した。入力したのは、照明器具のMCADモデルと、テストに基づくLEDモデルである。最終的な成果物は、最適化された製品仮想プロトタイプと、それに対応する物理的サンプルである。

表2 古いプロセスと新しいDelphi4LEDプロセスによって照明器具プロトタイプを設計・製造する場合のコストの比較**

Main design costs(\$)	Small-medium company-Old process(%)	Small-to-medium company-New process(%)	Reduction (%)	Large company-Old process(%)	Large company-New process(%)	Reduction (%)
Personal costs	89.6	63.3	29	81.9	50.2	39
Material costs	4.9	2.8	43	5.5	2.8	48
Testing	5.6	5.6	0	12.6	4.5	65
Total	100	71.7	28	100	57.5	42

**削減率は、古いプロセスによる総開発コストを基準に算出。実際の総コストは企業によって異なる。

このデモにより、4つの照明器具が開発された。2種類の企業シナリオ(中小企業と大企業)に対応する設計方式に従った、コンパクトモデルに基づく仮想プロトタイピングを使用したサンプル2件と、使用しなかったサンプル2件である。Delphi4LEDのアプローチと古い設計手法によるLED製品開発のコストと時間についても、比較を行った(図2)。



図3 スプレッドシートベースの仮想プロトタイピング実証ツールを使用して開発された、LEDスポットライト照明器具の製品サンプル。

概念実証とまとめ

Delphi4LEDプロジェクトのこの最初の実証実験の目的は、同プロジェクトの概念実証を行うことだった。実際の企業の設計手法に基づくこの実験の結果として、物理的な製品プロトタイプの構築とテストを回避し、LEDと照明器具のコンパクトモデルを使用したマルチドメインシミュレーションを使用することによって設計効率を高めることにより、設計コストを30~40%削減できるとわれわれは見積もっている。シミュレーションベースの最適化により、「産業用以前の状態のサンプル」の開発時間も約30%短縮される。

このDelphi4LEDプロジェクトでは、LED製品のコンパクトモデルを作成するための新しい手法を考案した。LEDのマルチドメイン特性をチップレベルで扱うことによって得られるマルチドメインのLEDモデルは、汎用的なSPICE回路シミュレータで実装できるほか、スプレッドシート内のVisual Basicマクロとしても実装することができる。標準的なDELPHI方法論⁽¹⁵⁾ののりとしたアプローチにより、LED

パッケージの境界条件に依存しないコンパクトモデルが作成される⁽¹⁷⁾。これを、前述のチップレベルのマルチドメインモデル⁽¹⁴⁾と、モジュール基板と照明器具のCTMと組み合わせることにより、LEDアプリケーションのシステムレベルでマルチドメインのシミュレーションが可能である。チップ、パッケージ、基板、照明器具が統合されたこのモデルは、想定される照明器具の「デジタルツイン」である。この仮想プロトタイプにより、LEDアプリケーションに対するコンピュータシミュレーション支援の最適化、またはコンピュータシミュレーションに基づく最適化が可能になる。

*編集者注記：参考文献についてはパート1を参照のこと。

著者紹介

アンドラーシュ・ポッペ(ANDRÁS POPPE)とロビン・ボーフ(ROBIN BORNOFF)は、独シーメンス社(Siemens)傘下の米メンター社(Mentor、<https://www.mentor.com/>)所属。グスターフ・ハントス(GUSZTAV HANTOS)とヤーノシュ・ヘゲダス(JANOS HEGEDUS)は、ブダペスト工科大学(Budapest University of Technology and Economics、<https://www.bme.hu>)所属。