



ルノー社、LEDで自動車ヘッドランプのコストを削減

ポール＝アンリ・マサ

数値評価による熱解析が、ルノー社の自動車ポートフォリオにおける多数の車種にわたって搭載される、LED採用のヘッドライトアセンブリの開発における指針になっている状況について解説する。

自動車ヘッドライトの設計は現在、ルノー・ブランドの重要な項目であり、同社の「Cシェイプ」と呼ばれるLEDヘッドライトは、ルノー車の外観を象徴する要素となっている。自動車ヘッドライトアセンブリのコストのうち、約30%を機械部品、70%を電子部品が占めている。従って、電子部品側でコストを削減できれば、ユニットの全体的なコストに大きな影響を与えることになる。同社はヘッドランプコストの内訳を明らかにし、熱解析ツールを使用してヘッドライトの設計を段階的に最適化することにより、2014～2016年の2年間でそのコストを50%削減することに成功した。本稿ではその方法と、固体照明(SSL: Solid State Lighting)技術を採用しつつ、今後数年間でそのコストをさらに半減させるための同社

の取り組みについて説明する。

同社のフルLED(完全にLEDのみを採用する)ヘッドライトアセンブリの第1世代では、「エスパス」(Espace)から「コレオス」(Koleos)までの、同社のCセグメントとDセグメント(欧州の中型車と大型車の区分)の6車種を対象とした。まずすべてのプラットフォームについて、車高センサ、ステイックレバー、デイトイランニングライト(DRL: Daytime Running Light)／ロービーム／ハイビームドライバ、セントラルコネクタを1つの共通のものに標準化し、ロービームモジュールとハイビームモジュールをそれぞれ2社が供給する共通のものに標準化した。コストの内訳を調査し、ヘッドライトの約60%のコンポーネントを標準化することにより、1年でこれを実

施した(図1)。

使用したプラスチック部品がアセンブリ全体のコストに占める割合は、わずか約30%だった。ボリュームは、新たに供給を受けるためのコストと並んで、ヘッドランプの部品コストを左右する主要な要因である。しかし、2012年のハロゲンヘッドライトから2014年のLEDヘッドライトに移行したことで、全体的なコストは4倍に膨れ上がった。そのため同社は、このヘッドライトの第2世代を開発するにあたって、コストを削減できないかと検討することにした。

第2世代の設計

第2世代のヘッドランプの開発では、人気の高い同社のセグメントB(小型車)の車種である「ルノー・クリオ」(Renault Clio)を対象とした。同車種はフェイスリフトが予定されており、LEDを採用するCシェイプのDRL照明に移行することによってスタイルを変更したいと考えていた。

第2世代を開発するにあたっての戦略は、次の4つの柱で構成されていた。

- ・このBセグメント車種にフルLEDヘッドライトを装備する、初のゼネラリスト的な自動車OEMになること
- ・第1世代と第2世代で、ヘッドライト部品コストを半分に削減すること
- ・クリオ・イニシアル(Clio Initiale、25Wのキセノンライト搭載)よりも高いLED照明性能を達成すること
- ・ヘッドライトアセンブリ全体の奥行きを50mm短くすること

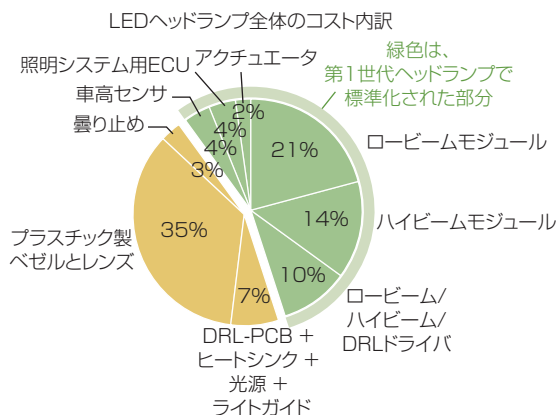


図1 ヘッドライトアセンブリ全体のコスト内訳と、そのうちの第1世代で標準化されたヘッドライトコンポーネントを示すグラフ。

クリオのLED電子制御ユニット (ECU: Electronic Control Unit)、車高センサ、レベラーを共通のものに標準化した。続いて、LEDロービームライトに取り掛かり、LEDの個数とヒートシンクのサイズを30%削減し、光学システムを改良することによって、そのコストを30%に削減した。そのすべてを実施した結果として(表を参照のこと)、LEDの光束は33%向上し、アセンブリのLEDは8個から5個に減少した。

システムレベルのメリット

光効率も25%向上し、全体的なアセンブリサイズは50mm縮小した。LEDの熱性能が向上したことで、表に示すように、LED電流と最大ジャンクション温度が高くなり、低い周囲温度で光束のディレーティングが開始するようになった。同様に、それにとまなうヒートシンク設計によって、詳細な熱シミュレーションに基づいて、ジャンクション温度とディレーティングをより適切に管理できるようになった(図2)。

アセンブリの設計を改良したことで、ヘッドランプ・パッケージの全体的なサイズに対し、ハロゲンヘッドランプの第1世代とLEDヘッドライトの第2世代で奥行きを50mm縮小することができた。図3は、コンピュータ支援設計(CAD: Computer Aided Design)ソフトウェア「FloEFD」で、ハロゲンヘッドランプに対する一般的な数値流体力学(CFD: Computational Fluid Dynamic)シミュレーションを実行した結果で、ヘッドランプアセンブリ表面の複雑な気流と熱影響が示されている。

詳しい解析方法

ヘッドランプ設計の最適化に標準的

表 ルノー・クリオのヘッドランプに対するLEDソリューションの、第1世代から第2世代にかけての進化の様子。

ソリューション	電流 (mA)	LEDあたりの光束 (lm)	LED数	周囲温度23°Cにおける T_j (°C)	ディレーティングが開始する周囲温度 (°C)
第1世代 LEDロービーム	800	200	8	120	60
第2世代 LEDロービーム	1000	270	5	130	50
第1世代 LEDハイビーム	800	200	4	120	60
第2世代 LEDハイビーム	1000	270	4	130	50

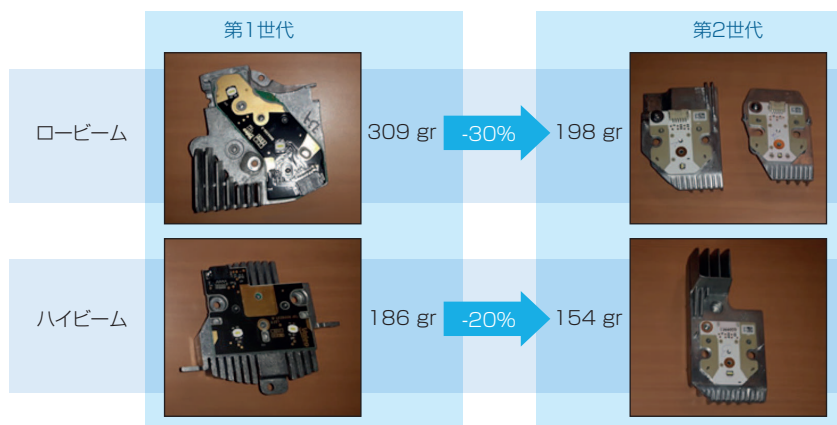


図2 ルノー・クリオのヘッドランプヒートシンクが、第1世代から第2世代で軽量化されていることを示す図。

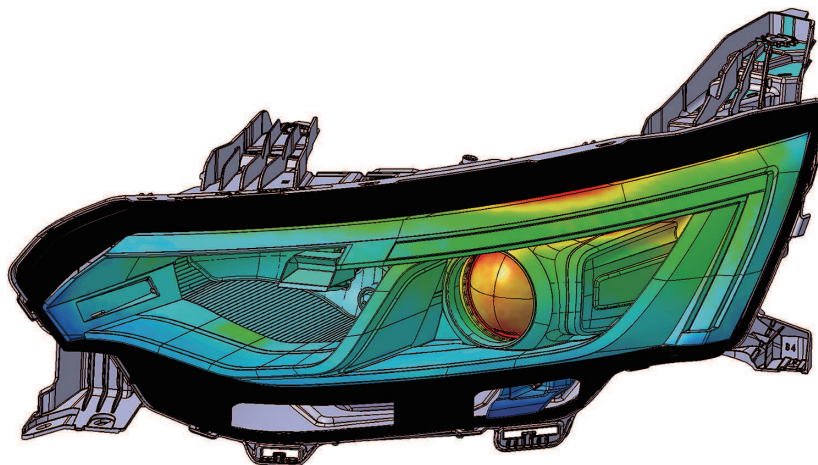


図3 ルノー社のハロゲンヘッドランプアセンブリの性能を見積もるための、FloEFDによる温度予測結果。

に用いられる、CFDに基づく同社の一般的な熱解析方法について詳しく説明すると、同社は通常、ヘッドランプ外側の周囲大気温度が23°C、LED信頼

性の外側境界として外側温度が最大70°Cの場合の照明性能を予測することを目的とする。シミュレーション結果を検証するために、ヘッドランプ外側

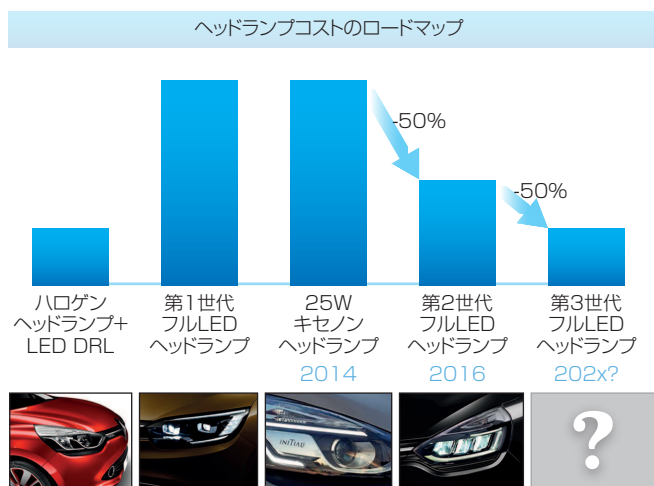


図4 ルノー・クリオのヘッドランプの2012～2016年の変化とコスト削減の流れ。第0世代(ハロゲンヘッドランプ+LED DRL)、第1世代(フルLEDヘッドランプ)、キセノンヘッドランプ、第2世代(フルLEDヘッドランプ)を経て、最終的に第3世代LEDヘッドライトに至るまでのコスト削減ロードマップ。

の周囲温度を23℃に固定し、エンジンがオン/オフ状態の自動車に対してアセンブリの外側に8個の熱電対を取り付けて、実験を行った。

長時間にわたって、エンジンがアイドリング状態で照明が点灯している場合に、ヘッドランプ内側の温度が50℃以上に達する可能性があることが明らかである。また、ヘッドランプの表面温度は、一定のアイドリング条件下で65℃に達する場合がある。

他の試験では、ロービームだけを1時間点灯し続けると、ヘッドライト内側の温度が20℃になり、ロービームとハイビームの両方を1時間点灯すると、温度はさらに5℃高くなることが計測された。

熱解析

照明をオンまたはオフにしてエンジンをアイドリングさせた場合の影響を評価する、一連の試験も実施した。温度差 $\Delta(T_{junction} - T_{case})$ が20℃で、1Aで駆動したLEDアセンブリ「Altilon」(3 K/W)と3個のチップの R_{jth} (熱抵抗)を観測することによってこれを行った。周囲温度が70℃で、ロービームとハイビームの両方が点灯している状態で、LEDのジャンクション温度は、最悪シ

ナリオの150℃のかなり近くにまで達することを示すことができた。

すべての使用事例を考慮に入れなければ、LEDシステムを設計することはできないという結論に同社は達した。そのためOEMは、最良の妥協策を定義する必要がある。たとえば、23℃の場合、エンジンを1時間アイドリングさせた後の照明性能は100%だったが、周囲温度が50℃に上昇すると、同じ状況で照明性能は80%まで低下する。この仕様に配慮するには、温度センサをプリント回路基板(PCB: Printed Circuit Board)に追加して、LEDの温度が定義したしきい値を超えたら電流を低下させられるようにする必要があるという結論に至った。そうすれば、フルLEDヘッドランプの熱ディレーティングと光束ディレーティングを行うことができる。

製品設計への移行

今後に向けて、同社は、過渡的な運転サイクルモードにおける照明のシミュレーションと試験を行うためのアクションプランを策定している。同社はOEMとして、照明の熱性能に車速が与える影響、特に、同社の各エンジンの速度に起因する熱のばらつきをシミ

ュレーションしたいと考えている。これによって将来的には、熱CFDソフトウェアが照明エンジニアにとって不可欠となる。

ヘッドライトのシミュレーションと並行して、隣接するエンジンベイの熱動作もモデル化できる必要がある。両者は互いに影響を与えるためだ。また、熱インダクタが導入されれば、ヘッドランプ内部の熱管理も必要になると考えている。つまりルノー社は、ヘッドランプ設計にともなう熱システム全体に対する責任をOEMが負うべきだと考えている。それを行うことで、そのOEMはシステム市場のリーダーになることができる。

第3世代の開発プロジェクトに取り組むルノー社照明チーム(Renault Lighting Team)の直近の目標は、ヘッドランプのLED光束を2018～2020年までに270lmから320lmにまで向上させること(図4)、より高い出力に対応する新しいLEDドライバを導入すること、方向指示器とアダプティブ・フロントライト・システム(AFS: Adaptive Front-light System、アダプティブ・ドライブ・ビーム[ADB: Adaptive Driving Beam]とも呼ばれる)の機能を導入すること、そして、全体的なアセンブリサイズを縮小することである。最後に、車高センサ規制の進歩を目指している。同社の最終的な目標は、ヘッドランプアセンブリ全体のコストをさらに50%削減して、5年前のハロゲンヘッドランプと同水準にすることである。

著者紹介

ポール＝アンリ・マサ(PAUL-HENRI MATHA)は、パリ国立高等鉱業学校(École des Mines)で教育を受けたフランスのエンジニアで、仏ルノー社(Renault SA)の照明エキスパート。ルノー社に17年間勤務し、そのうち15年間は照明部門に所属。