

電子機器におけるフロントローディング型熱設計 —映像情報機器，薄型液晶テレビへの適用—

児玉拓也*
菅野直樹**
横山雅哲**

Front-loading Thermal Design Method of Electronics Packaging—Application for Image Information device and LCD TV—
Takuya Kodama, Naoki Kanno, Masaharu Yokoyama

要 旨

顧客ニーズの多様化に伴い、電子機器の高性能化の要求はめざましい。また、他社との熾烈(しれつ)な競争では、いかにニーズにあった製品をタイムリーかつ低コストで市場投入できるかが重要となる。その中で製品競争力を維持するためには、各開発フェーズで適切な設計対策案を盛り込み、QCD(Quality/Cost/Delivery)の全体改善を目指した設計フローが必要である。特に熱問題については、いわゆる“火消し型”の試作による現物ベースの後手熱対策から、原理・原則に基づく検討とシミュレーション技術を活用することで、予想される熱問題を見極めた“フロントローディング型”熱設計への移行が不可欠となる。

三菱電機は全社的にデジタル設計技術を導入したフロントローディング型熱設計手法を構築し、多機種にわたる製品設計に適用してきた。この手法ではSTEP1とSTEP2を設け、開発フェーズで検討する項目と設計インプット、アウトプットを明確化することで段階的な熱設計を行い、

早期に問題の解決を見極めた開発を実現できる。

(1) STEP1

予想発熱，筐体(きょうたい)サイズ，及び，冷却方式の検討など製品の基本性能を決定する機能設計で手計算・表計算レベルのオーダー検討によって，適切な設計の見極めを行う。

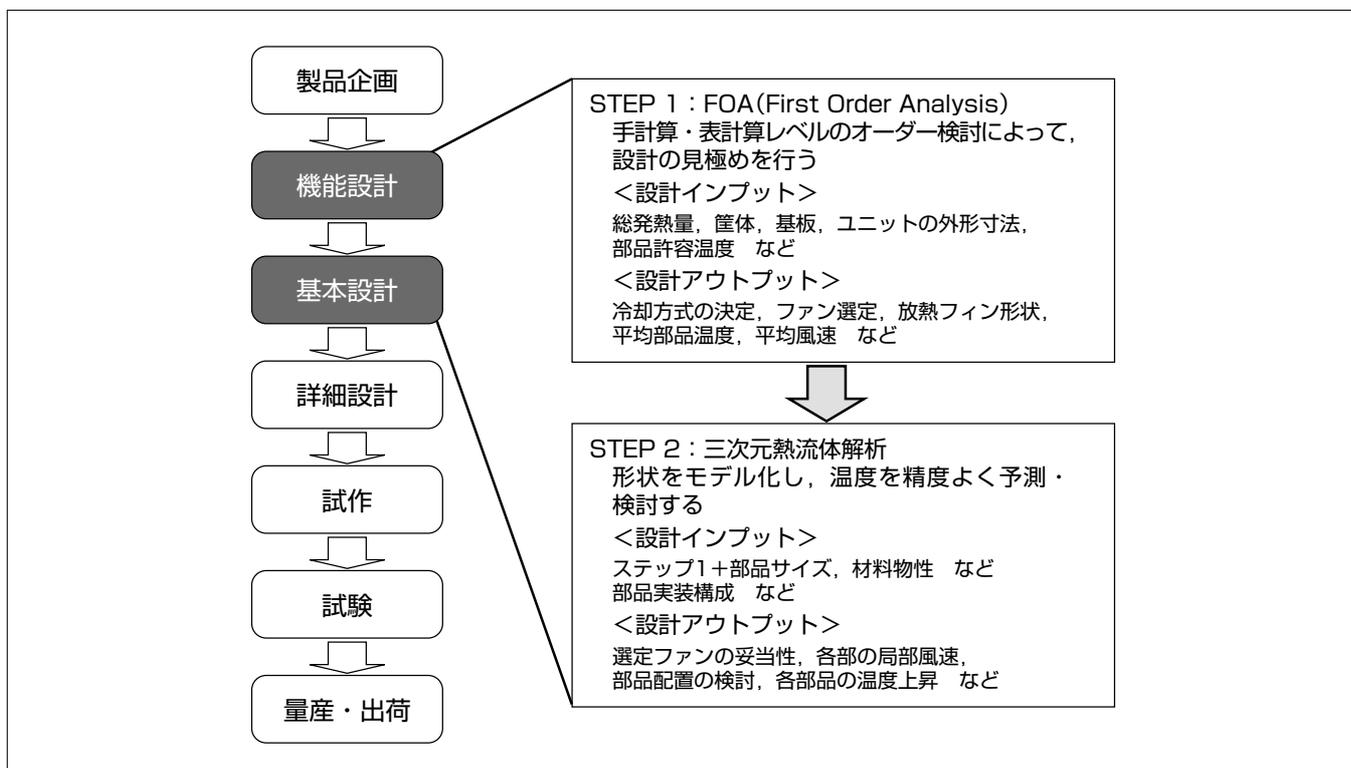
(2) STEP2

部品配置，冷却の風路など三次元形状による熱流体シミュレーションによって温度・流れを精度よく予測・検討する。

本稿では短期開発で製品化を実現したLED(Light Emitting Diode)-DLP^(注1)方式リアプロジェクタシステムと世界初^(注2)となるハードディスクとブルーレイドライブを内蔵した薄型液晶テレビに適用した熱設計事例について述べる。

(注1) DLP(Digital Light Processing)は，Texas Instruments, Inc.の登録商標である。

(注2) 2009年8月19日三菱電機株広報発表時(民生用液晶テレビにおいて)



フロントローディング型熱設計における設計手順

フロントローディング型熱設計手法では各開発フェーズでSTEP1，STEP2と称し，検討する熱設計項目を明確にした段階的な熱設計を行い，早期に問題の解決を見極めた開発を実現できる。

1. ま え が き

顧客ニーズの多様化に伴い、電子機器の高性能化の要求はめざましい。また、他社との熾烈な競争では、いかにニーズにあった製品をタイムリーかつ低コストで市場投入できるかが重要となる。その中で製品競争力を維持するためには、各開発フェーズで適切な設計対策案を盛り込み、QCDの全体改善を実現した設計フローが必要である。特に熱問題については、いわゆる“火消し型”の試作による現物ベースの後の熱対策から、原理・原則に基づく検討とシミュレーション技術を活用することで、予想される熱問題を見極めた“フロントローディング型”熱設計への移行が不可欠となる。

当社は全社的にデジタル設計技術を導入したフロントローディング型熱設計手法を構築し、多機種にわたる製品設計で実践してきた⁽¹⁾⁽²⁾。

フロントローディング型設計の概念を図1に示す。フロントローディング型設計とは、“設計自由度の高い構想段階や基本仕様を決定する設計上流で十分な検討を行い、適切な対策を盛り込むことで下流工程で生じる設計不具合を未然に防ぎ、結果として設計品質の向上(Quality)、開発費の抑制(Cost)、開発期間の短縮(Delivery)を達成する設計手法”である。三次元CAD(Computer Aided Design)や大規模の解析CAE(Computer Aided Engineering)が普及した現在の設計環境では、設計上流でデジタルベースの詳細かつ高精度な設計検証が可能となった。

フロントローディング型熱設計では、扉図に示すように検討ステップを2段階に分け、それぞれの開発レベルにあった設計インプット/アウトプットを行うことで効率的に検討を進めていく。

(1) STEP1

予想発熱、筐体サイズ、及び、冷却方式の検討など製品の基本性能を決定する機能設計で手計算・表計算レベルのオーダー検討によって、適切な設計の見極めを行う。

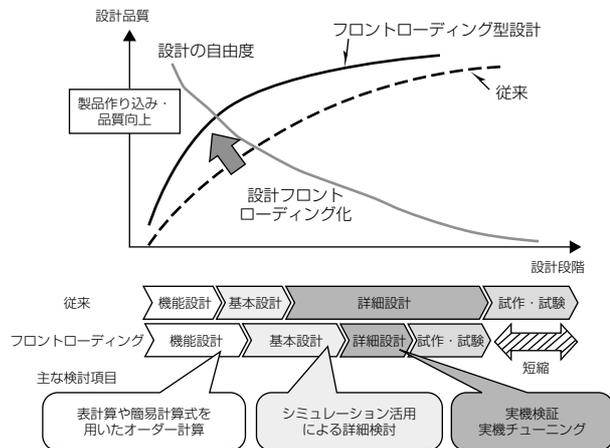


図1. フロントローディング型設計の概念

(2) STEP2

部品配置、冷却の風路など三次元形状による熱流体シミュレーションによって温度・流れを精度よく予測・検討する。

本稿では短期開発で製品化を実現したLED-DLP方式リアプロジェクタシステムと世界初となるハードディスクとブルーレイドライブを内蔵した薄型液晶テレビに適用した熱設計事例について述べる。

2. LED-DLP方式リアプロジェクタシステムへの適用

24時間、365日連続で5~10年の長期運用が一般的である監視用ディスプレイでは信頼性と保守性が強く求められる。従来、DLP方式リアプロジェクタでは光源として高圧水銀ランプを使用してきた⁽³⁾。高圧水銀ランプは点灯時のランプ内部が高圧のため、微細なクラックで破裂する可能性があり、ランプ切れ対応のためランプチェンジャーシステムを導入している。

一方、LED光源は高圧水銀ランプに比べ、約6倍の光源の長寿命化が可能となり、メンテナンスフリーを実現できる。さらに有害指定物質である水銀を使用せず、輝度(光出力)をコントロールすることで消費電力を抑制できる環境配慮型の次世代光源である。しかしながらLEDパッケージは表面積が小さく、可視光で消費されたエネルギー以外はすべて熱となるため、発熱密度が高くなる。また、輝度は温度依存性が強く、十分な信頼性と製品寿命を持たせるには温度制御が必要となる。さらに、図2に示すように通常では複数台で使用するため、単一画面のみならず、大規模表示システム全体で高い信頼性が必要となる。

2.1 STEP1における取組み

熱設計を行う上ではまず、複雑な筐体の放熱経路を熱回路でシンプルにあらわす。LED光源の放熱経路の簡略図を図3に示す。筐体内の温度上昇($T_{in}-T_a$)、ヒートシンクの温度上昇($T_{base}-T_{in}$)、ヒートシンクとLEDを熱的に接触させる放熱シートの温度上昇($T_{base}-T_{LED}$)の3つの熱抵抗によってLEDの温度上昇値が決まる。それぞれの熱抵抗を低減させるため、以下の方針で設計検討を行った。

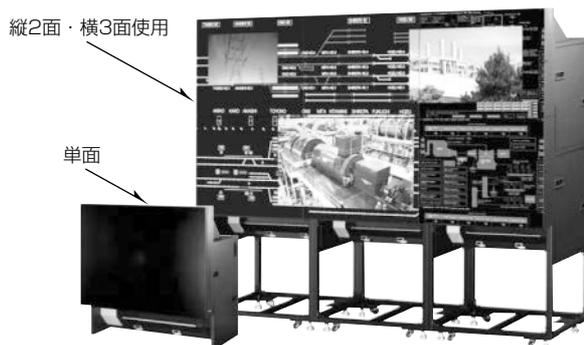


図2. LED-DLP方式リアプロジェクタシステム

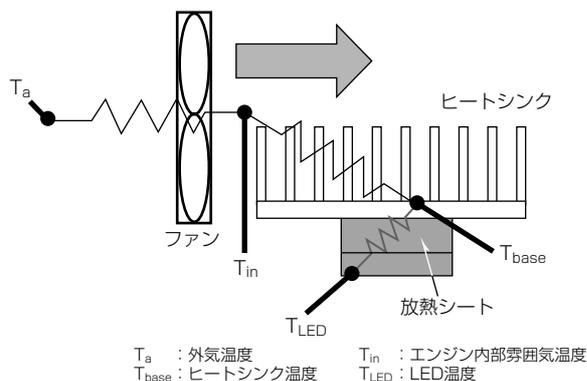


図3. 熱回路によるLED光源の放熱経路

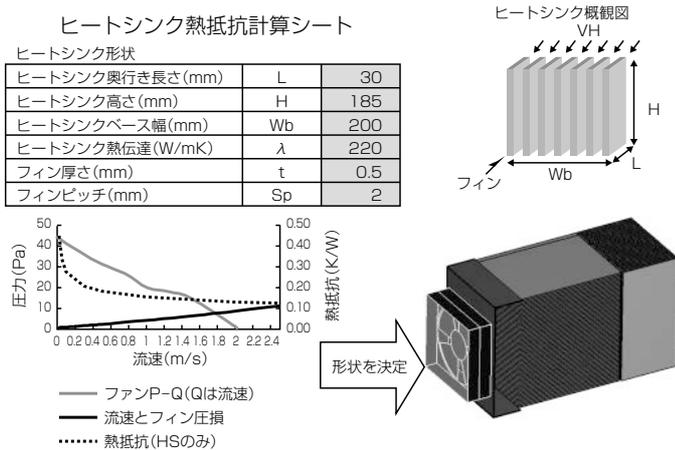


図4. 表計算ベースによるヒートシンクの概算検討

- ① 筐体内風路の最適配置による換気効率の向上
- ② 小型コンパクトヒートシンクの開発
- ③ 放熱シートの熱抵抗低減

ここではSTEP1で実施した一例として②について述べる。基本設計を行う段階では未確定な設計要素が多い。そのため、図4に示す表計算などを用いた簡易的に行える検討が重要である。この設計では表計算ベースによるヒートシンク設計を行った。設計インプットはヒートシンク形状(包らく形状, フィンピッチ, フィン厚さなど)とP-Q特性などのファンの情報であり, アウトプットとしてヒートシンクの熱抵抗を得ることができる。この計算法でパラメータスタディを繰り返し, 高密度実装の限られた空間で最大限の性能を引き出すヒートシンク形状を開発した。

2.2 STEP2における取組み

STEP2では三次元熱流体解析による筐体内の部品レイアウト及び, 風路設計を行う。設計インプットはSTEP1に加え, 各部品の形状と発熱量, 材料物性であり, アウトプットとして流速の分布と各部品の温度上昇が得られる。

部品の位置関係, 風路の確保など三次元熱流体解析を駆使することで, 最大限の性能を引き出すことのできる放熱構造を実現した。図5に筐体内部を換気する流速の分布を示す。さらに, リアプロジェクトは1面50~80インチの表

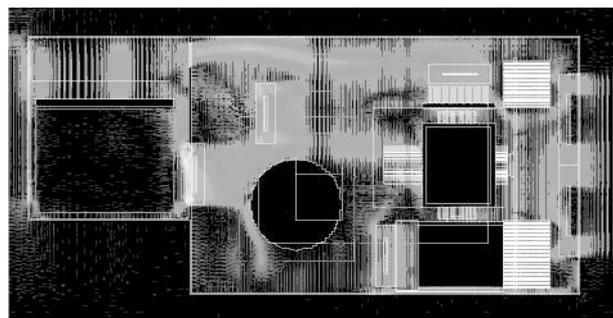


図5. 三次元詳細形状による熱流体解析(流速分布)

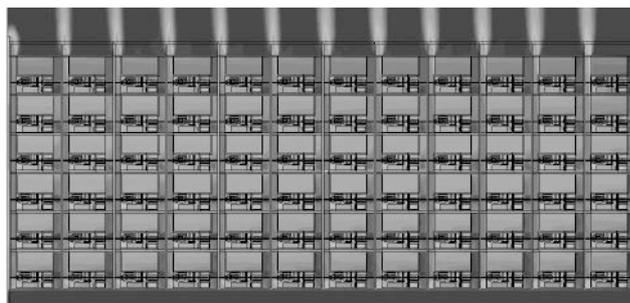


図6. 72面規模における大規模熱流体解析(温度分布)



(a) BHR300

(b) BHR400

図7. “REAL”BHR300, BHR400シリーズ

示装置をタイル状に配置して映像を作り出すため, 横12面縦6面の大規模監視システム(図6)での熱流体解析を実施した。実機評価前段階で多段積みの影響を予測し, 実測でも追加対策なく開発を完了した。

3. 薄型液晶テレビへの適用

2011年の地上デジタル放送への移行を直前に控えて液晶テレビの普及は著しく, 消費者ニーズにあったタイムリーな市場投入のために新規製品の開発短期化を目指すと同時に, 品質とコストを考慮した設計が必要である。当社では2009年に液晶テレビ“REAL”BHR300シリーズを, 2010年にはLEDバックライトを採用した“REAL”BHR400シリーズを市場投入した(図7)。

BHRシリーズはこれまでの液晶テレビにハードディスク(HDD), ブルーレイドライブを搭載した世界初のオールインワンモデルであり, テレビの視聴だけでなくHDDやブルーレイへの録画・再生をリモコンによる簡単操作で行うことができ, 他社との差別化を図っている。液晶テレビでは騒音問題・信頼性の点からファンレス(自然空冷)で薄型筐体の製品化を実現する必要がある。

自然対流，放射，ファン換気による筐体表面温度計算シート

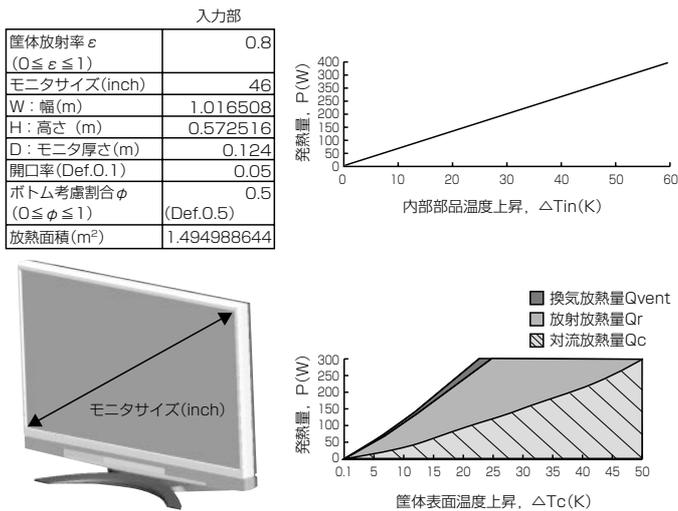


図 8. 表計算ベースによる概算検討

3.1 STEP1における取組み

STEP1では自然空冷で許容温度に納まる見込みがあるかを図8に示す表計算ベースの簡易計算ツールによって検討した。筐体サイズ，見込まれる発熱量をインプットすることで，筐体表面と内部の自然対流によって換気される排熱量を計算し，筐体内の空気温度及び筐体表面の温度をアウトプットする。この検討の結果，予想発熱量では自然空冷で可能と判断し，部品配置など詳細に検討するSTEP2へ進んだ。

3.2 STEP2における取組み

STEP2では熱流体解析を用いた部品レイアウト検証を行う。ここではHDD，ブルーレイドライブ，電源系基板，信号系基板，モニタ，バックライトなど主要部品に発熱を与え，液晶テレビ内に実装される各部品の温度上昇を解析によって検証した。図9はHDDのレイアウト変更に伴う温度上昇の差異である。煙突効果によってHDDの温度上昇を抑制し，熱評価では対策レスで温度条件をクリアすることができた。

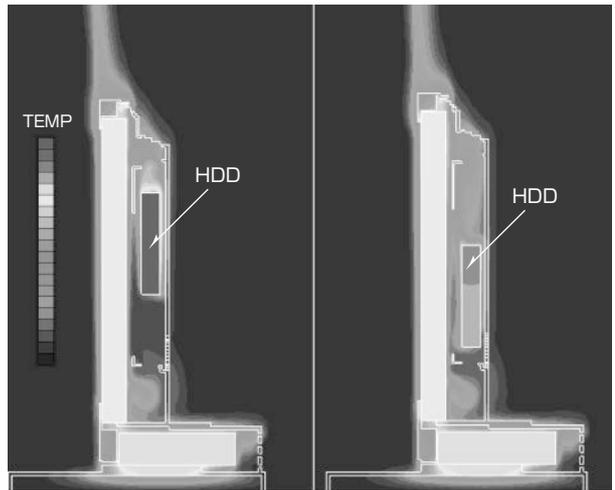


図 9. 三次元熱流体解析によるHDD実装検討

4. む す び

フロントローディング型熱設計として，各開発フェーズでSTEP1，STEP2と称し，段階的に検討する熱設計項目を明確にした設計手法について述べた。この手法を開発製品へ適用することで効率的に各設計フェーズに合致した熱検討が実施でき，ニーズにあった製品をタイムリーかつ低コストで市場投入ができる。さらに設計品質の向上(Quality)，開発費の抑制(Cost)，開発期間の短縮(Delivery)を達成することができる。

参 考 文 献

- (1) 小林 孝，ほか：カーナビ開発におけるフロントローディング実装設計，三菱電機技報，80，No.10，651～653 (2006)
- (2) 児玉拓也，ほか：高密度電子情報機器への熱流体解析の適用，第22回エレクトロニクス実装学会講演大会講演論文集，87～88 (2008)
- (3) 渋谷重教：データウォール用リアプロジェクト”PH70シリーズ”，三菱電機技報，83，No.2，139～143 (2009)