

熱流体解析の 半導体電力変換装置への適用

■ 片柳 厚志
Atushi Katayanagi

1 はじめに

発熱する部品を有する製品をつくる場合、通常、熱設計を実施する。熱設計が不十分であると、開発段階における検証にて、所定の性能を満たせず、手戻りが発生する。対策が取られても、それは対症的なものであることが多く、根本的な解決には至っていない場合がある。さらに、部品収納スペースに制約がある場合、熱設計の重要性が増してくる。

東光高岳において熱設計には、おもに実験やそれに基づく経験式などを用いている。既存製品の軽度な設計変更程度なら、それでも十分対応できるが「製品を新規に開発する」、「設計に大幅な変更を加える」、「不具合事象の解明」などの場合は事情が異なってくる。従来から使用してきた経験式では、複雑な形状の製品の性能を予測することが難しく、試作試験を行う必要がある。試作試験のパターン数が少なければよいが、パターン数が多くなってくると、多くの時間と費用を要する。

そのため、CAE^{注1)}を活用したフロントローディング型設計は、条件の組み合わせのパターン数が多い場合に、パターン数の絞込みに多大な効果が期待できる。これより、試作試験の回数削減につながり、製品開発の効率化に大いに役立っている。

本稿では、電力変換機器のインバータユニットの標準的な構成のモデルについて、シミュレーションを実施した例を紹介する。また、シミュレーションによる現象の可視化が、設計者の理解に有効な例についても紹介する。

2 インバータユニットの解析例

電子機器専用熱流体解析ソフトが存在するが、汎用の熱流体解析ソフトのソルバ^{注2)}に、電子機器用のユーザインターフェースを実装したものや、熱回路網法を適用し、表計算ソフトのマクロとして提供したもの⁽¹⁾などがある。3D CAD ユーザを考慮して、3D CAD のアドインとして提供されているものもある。東光高岳は従来から、変圧器や配電盤など電力機器の熱流体解析に、市販の汎用熱流体解析ソフトを活用した実績があり、今回はインバータユニットのシミュレーションに、汎用熱流体解析ソフトを適用した。

インバータユニットの解析モデルを図1に示す。ここでは、電力用半導体素子、ヒートシンク、ファンをモ

デル化した。電力用半導体素子の詳細な内部構造の情報は、メーカーからユーザに公開されないため、電力用半導体素子の詳細なモデル化は事実上困難である。その代わりに、DELPHI^{注3)}モデルという形での情報提供があり⁽²⁾、電子機器専用熱流体解析ソフトではDELPHIモデルを使用することができる。東光高岳では汎用熱流体解析ソフトを使用しており、各部品のライブラリやDELPHIモデルが使えないため、電力用半導体素子を上下に分けた、2ブロックモデルにて作成した⁽³⁾。ファンにはカタログ記載のP-Q特性^{注4)}を設定した。ファンはプル型^{注5)}として使用するため、ファンの旋回流は設定していない。乱流モデルはRANS^{注6)}を使用し、定常解析^{注7)}を実施した。

解析結果である流速ベクトルと温度分布の様相を図2に示す。解析結果は解析モデルの左右を二分割で表示しており、図の手前側が流速ベクトル図、奥側が電力用半導体素子とヒートシンクの温度分布図である。ここで解析値と比較したいのは、電力用半導体素子のジャンクション温度^{注8)}であるが、ユーザがジャンクション温度を測定するのは困難である。そこで、ヒートシンクの温度を数点測り、温度上昇値、温度分布を解析結果と比較することにより、解析手法の妥当性を確認した。

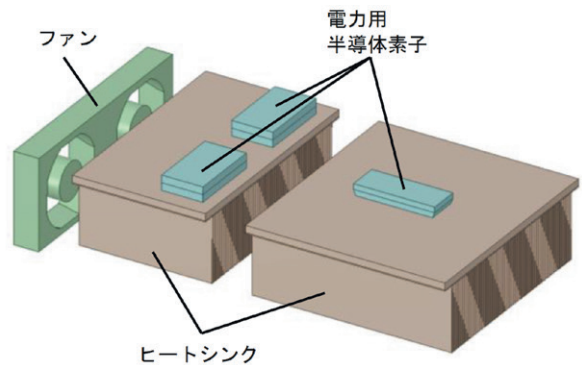


図1 インバータユニット解析モデル

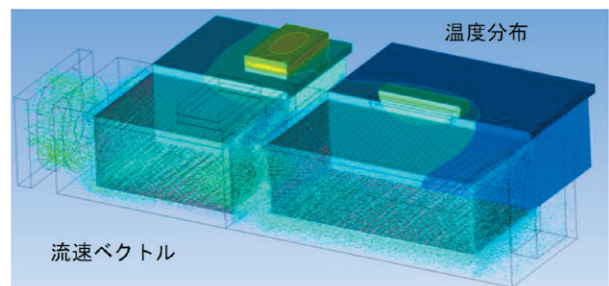
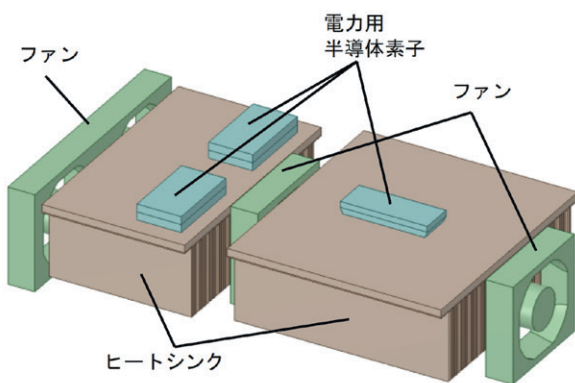
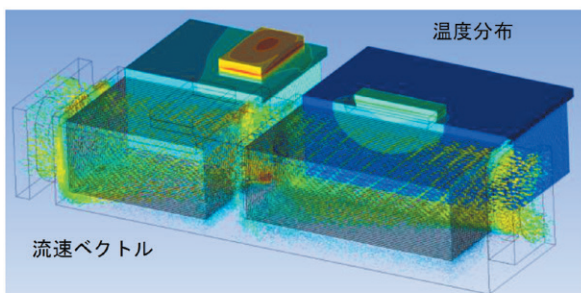


図2 インバータユニット解析結果

最後に、CAE が教育に役立つ例を紹介する。トレーニング用にモデル化したインバータユニットを、シミュレーションした例を示す (図 3)。使用した部品は、図 1 と同じものである。電力用半導体素子を冷やそうとして、多数のファンを取り付けている。しかし、電力用半導体素子の最高温度は図 2 と比較して 10 度以上高く、効率的に冷却されていないことがわかる。解析結果を見ると、原因のひとつは、ヒートシンクに十分な量の空気が均一に流れていないことであるとわかる。このように、解析ソフトを使用すると、空気の流れや温度など、実際には目に見えないものが、分布図やベクトル図等に可視化される。したがって、CAE により設計者が現象を容易に理解できるようになると思われる。



(a) 解析モデル



(b) 解析結果

図 3 適切にファンが取り付けられていない例

3 おわりに

汎用熱流体解析ソフトを使用した、インバータユニットの熱流体解析例を紹介した。今回使用した汎用熱流体解析ソフトは、どちらかと言えば解析専任者向けであり、扱いにくい側面もある。一方、設計者向けの電子機器専用熱流体解析ソフトは、モデルの作成・変更が簡単で、ライブラリも豊富であり使いやすく、なかには計算時間が短い製品もある。両者の長をうまく使い分け、CAE が東光高岳の製品設計の、ひいてはお客様の役に立てるよう、活用を推進したいと考えている。

■参考文献

- (1) 国峰尚樹：「エレクトロニクスのための熱設計完全入門」、日刊工業新聞社、pp.221-225
- (2) 国峰尚樹：「電子機器の熱流体解析入門」、日刊工業新聞社、pp.121-126
- (3) 国峰尚樹：「電子機器の熱流体解析入門」、日刊工業新聞社、pp.111-118

■語句説明

注 1) CAE : Computer Aided Engineering の略。計算機などを用いて、製品の設計・開発などの支援を行うこと。

注 2) ソルバ : 解析ソフトの計算を実行する部分。

注 3) DELPHI : Development of Libraries of Physical models for an Integrated design environment の略。半導体のモデル化の一つ。半導体を熱抵抗を用いた熱回路網で表す。

注 4) P-Q 特性 : 圧力と流量との特性で、能力を表す。

注 5) プル型 : 冷却ファンの使用方法の一つ。装置内の流体を引き、外に出すことにより装置を冷却する。

注 6) RANS : Reynolds Averaged Navier-Stokes の略。レイノルズ平均モデルのこと。乱流を細かな渦として求めず、時間平均によりマクロ的にとらえる。

注 7) 定常解析 : 時間が十分に経過した状態を計算する。

注 8) ジャンクション温度 : 半導体チップの接合面の温度。半導体は温度が高くなると、p 型でも n 型でもない真性半導体となる。そうすると、接合面のエネルギー障壁がなくなり、デバイスとして働かなくなる。

片柳 厚志

技術開発本部
技術研究所 解析・試験技術グループ 所属