



Rising to Meet the Thermal Challenge

Electrical-Thermal Interaction

電気特性への熱の影響は常に存在します。例えば、プロセッサの速度制限は温度制限によって設定され、電力は10年間モバイルおよびデータセンター市場において重要な懸案事項です。論理的に、電気的な構成要素が増加すると熱が発生し、システム・パフォーマンスに影響を及ぼします。例えば、自動車業界では、ADASやインフォテインメント・システムが、車載向けの電子機器を大幅に増加させ、熱の影響についての課題は、いまだに解決がされていない状態です。

また、高いデータ・レートも熱を発生させることとなります。400Gや800Gのイーサネットは、熱を発生させる100Gのポートにより構成されています。PCIe®のロードマップでは、64GT/sを予測しており、5Gでは最大10Gb/sのデータ・レートを予定しています。

テクノロジー企業は、5Gに大きな期待をしています。4Gは理論上100Mbpsに達しますが、5Gの場合10Gbpsです。つまり、5Gは現在の4Gの技術の100倍高速です。¹

多くの電子技術の改善が、熱の影響の問題を悪くしています。ICパッケージの進歩は、放熱の課題

を生じ、IC内部では、より密度の高い形状と小さな電圧動作は、熱の影響に対する感度を高くしています。

The Multiphysics Problem

電子システムの熱解析は、電気と熱の相互に接続された影響により、より複雑なものとなります。ICの発熱は、主にスイッチング周波数と動作条件の関数で、発生した熱がシステムからどのように消散／伝搬されるのかは、環境条件に依存します。これらの2つの問題は同時に解く必要があります。

多くの場合、システムの放熱には伝道と対流が関係します。IC／パッケージ／ボード／筐体インターフェイスは、主に有限要素法（FEA）により最適に処理される伝道問題です。筐体／環境（空気または液体）インターフェイスは、計算流体力学（CFD）の問題です。したがって、電気および熱の物理領域を同時に解析する必要があるだけでなく、熱コンポーネントには、FEAとCFDの両方のアプローチを必要とします。

Scaling Up While Drilling Down

これまでのFEAの問題を計算するアプローチでは、今日の高機能なシステムの解析要件まで高めることが困難です。これは、速度や対応可能な規模、コ

コンピュータ環境の制限に起因します。速度制限は、従来のシミュレーション手法の典型的なスケールリングの制限にかかることなく、数十台以上のサーバーにシミュレーションを分散させることができない、ツールに因るものでした。対応可能な規模の制限は、ツールが必要とするメモリーのフットプリントが大きすぎる場合に生じ、そのため、システム内のオブジェクトをサーバー・メモリーに適合するように個別にシミュレーションする必要がありました。コンピュータ環境の制限は、これらのツールを実行するための大規模な RAM を搭載した十分に超高速なサーバーを購入する経済的な非現実性に起因します。

同時に、電気-熱の協調解析に見られる複雑な相互作用では、システム内のコンポーネントをより詳細に解析することを必要とします。例えば、3D-IC アセンブリの簡易化モデルは、システムレベルのシミュレーションの影響を表すために必要な精度を持っていません。代わりに、真の FEA が必要となり、上記の制限がより強調されることとなります。

An Architecture for the Future

過去の十年にわたりシステムがより複雑になりましたが、Cadence は、SoC ドメインの従来からの電子回路設計の問題に対する新しいアプローチを開発してきました。10nm 以下の設計の要望を満足するには、寄生抽出、タイミング解析、電源グリッド解析、物理検証などの必要なステップをスケール・アップするために、新しいアルゴリズムやアプローチが必要になることが、ますます明確になっています。

これらの要望を満足するために、Cadence は、クラウドに最適化されたコンピュータ環境において大規模なスケラビリティを実現する新しいソフトウェア・アーキテクチャを開発するために、計算ソフトウェア開発の専門知識を活用してきました。

このアーキテクチャは、Cadence® SoC インプリメント・プラットフォームの土台となり、電磁界解析の有限要素抽出とシミュレーションを実行する Cadence Clarity™ 3D Solver の基盤となっています。

この同じアーキテクチャが、電子システムの開発者にとって有用な電気-熱の協調解析用に実装されています。

Overcoming Limitations

Cadence Celsius™ Thermal Solver のリリースにより、電子システムの開発者は、通常の制限を回避することが可能になります。従来のソリューションと比較して、Celsius Thermal Solver には以下の特徴があります。

- 5 から 10 倍のサイクル・タイムの改善の速度制限の解消
- 最大 10 倍のメモリー使用量の削減による規模制限の克服
- パブリック・クラウド環境での実行に最適化されたソリューションによる、スーパー・ハイエンド・サーバーに依存するコンピュータ環境の制限の排除

Celsius Thermal Solver リリース前の 2 年間、ベータ・カスタマに試行いただき、既に良好な結果が得られています。図 1 は、車載アプリケーションのデバイスの実際の結果を示しています。この結果では、Celsius Thermal Solver は従来のツールと比較して、7 倍のサイクル・タイムの改善と 11 倍少ないメモリー使用量となることが得られています。

| Parameters | Legacy Solution | Celsius Thermal Solver |
|--------------------|-----------------|------------------------|
| Mesh Generation | 10:23:44 | 1:14:17 |
| Simulation | 1:37:29 | 0:19:45 |
| Total Time | 12:01:03 | 1:34:02 -7X |
| CPU Cores | 40 | 128 |
| Number of Nodes | 14,750,070 | 14,750,070 |
| Number of Elements | 98,910,040 | 98,910,040 |
| Memory/Machine | 450G | 41G -11X |

Advantages:
7X faster
11X less memory/machine

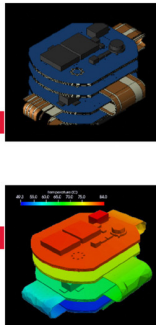


図 1: 車載アプリケーションの試作用のリジッド／フレキシブル PCB アセンブリの組み合わせの解析例

A Complete Solution

Celsius Thermal Solver により、設計チームは、電子業界初の完全な電気-熱の協調解析ソリュー

シオンが可能になりました。

- CFD と FEA の組み合わせたシステム全体の解析の実現
- トランジェント解析と定常状態解析による高精度な電気-熱の協調解析の実現
- 大規模並列実行により、既存ソリューションより最大 10 倍高速なパフォーマンスの実現
- Cadence の IC および PBC の実装プラットフォームへの統合による、迅速なイタレーションの実現

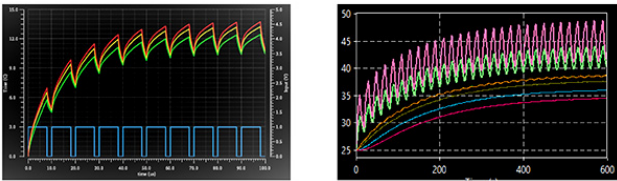


図 2: Celsius Thermal Solver が提供するトランジェント解析と定常状態解析

Advanced Features

Massive parallel computational solver

コンピュータ・シミュレーションの実行では、従来の大規模な構造では、最大で最も強力なコンピュータ環境を使用した解析を実行するためには、大幅に単純化されるか、より小さな構造に分割が必要でした。対照的に、Celsius Thermal Solver に組み込まれている大規模並列計算ソルバーは、3D 構造を解析するために必要とされる数学的なタスクを並列化することにより、マルチコア・コンピュータ環境を活用するように設計されています。タスクは、1 台のコンピュータの複数のコア、もしくは、複数台のコンピュータ上に並列化され、複雑な構造を解析する時間を、最大 10 倍それ以上に短縮することが可能です。

この業界をリードする並列化テクノロジーにより、メッシュ構造と物理構造の両方が、可能な限り利用できる多くのコンピュータやコンピュータの構成、複数のコアにわたって、パーティション化と並列化することが可能です。解析に必要とされる時間は、コンピュータのコア数に依存してスケールアップとなります。使用するコンピュータのコア数を 2 倍にできれば、解析のパフォーマンスもほぼ

2 倍となります。さらに、計算で用いられるマシン当たりのメモリー使用量は、コンピュータの台数の増加に応じて小さくなります。

3D FEA field solver

3D FEA フィールド・ソルバーでは、バンパやボンドワイヤを持つ複雑なパッケージ、コネクタ、コネクタから PCB への遷移など、任意の 3D 構造の高精度な熱伝導解析が可能です。自動化された環境で、強力な 3D 熱分布解析が 3D 電気シミュレーションと組み合わせられることで、温度と電流の間の重要な相互作用を反復する、真の電気-熱の協調解析を実現します。これにより、動作温度が高くなると生じる電気抵抗の増加などの効果を十分に考慮し、高精度な結果を得ることができます。

この統合された環境により、デザインが指定された温度、電圧、熱応力、幾何学的な変形、電流密度のしきい値を満足していることを簡単に確認することができます。これらの 3D 構造は、高速な熱シミュレーションのための等価熱モデルとして抽出することも可能です。

2.5D FEA Field Solver

2.5D FEA フィールド・ソルバーは、複数のレイヤーやインターコネクト・ビアを持ったパッケージや PCB など、3D 平面構造の熱伝導を迅速に精度よくシミュレーションを可能にする有効なオプションです。温度や熱流束、熱伝導率、熱を考慮した電流密度、平均故障時間などの熱解析の結果が 2D プロットとしてグラフィカルに表示され、問題個所を迅速に特定することが可能です。温度と熱流束の 3D 分布プロットは、x, y, z のスライス平面のオプションが可能です。これにより、システムの熱応答のより深い洞察を得ることができます。これらの 3D 構造は、高速な熱シミュレーションのための等価熱モデルとして抽出することも可能です。

CFD Solver

CFD は、システム内の流体の対流や伝道、放射熱伝達を解析するために使用可能な高性能な解析ツールです。シャーシと通気の開口部を持ったシステムを、自然対流の環境や強制対流の環境で、簡単にシミュレーションすることができます。熱伝

達係数が CFD シミュレーションから抽出され、固体表面上の空気やその他の流体の影響を考慮できるように、FEA のフィールド・ソルバーで使用されます。

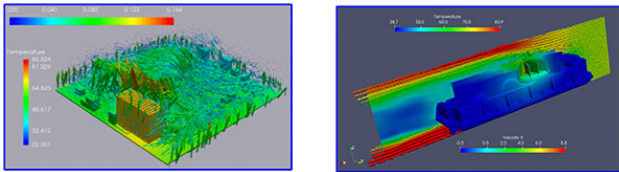


図 3: Celsius Thermal Solver を用いた電子システム周りの対流と強制気流の影響のモデル化

3D Workbench

Celsius Thermal Solver 環境は、電熱解析の 3D 固体モデルの作成や編集、取込を可能にするために、3D 機械系 CAD GUI が組み込まれています。Cadence Allegro®や Sigrity フォーマットおよび、ACIS、IGES、STEP などの一般的な MCAD フォーマットのデザイン・データを取り込むことが可能です。3D コンポーネントは、パラメータや計算式を持たせて簡単に作成することができるので、モデリングの柔軟性やシミュレーションの最適化が可能です。3D CAD のジオメトリの問題や位置ずれのエラーは、3D Workbench モデルのクリーンアップ機能を使用することで、すばやく修正することが可能です。高機能なアダプティブ・メッシュ化アルゴリズムにより、筐体を含む大規模かつ入り組んだ電子システムの複雑な 3D コンポーネントについての、高精度なメッシュを生成することが可能です。

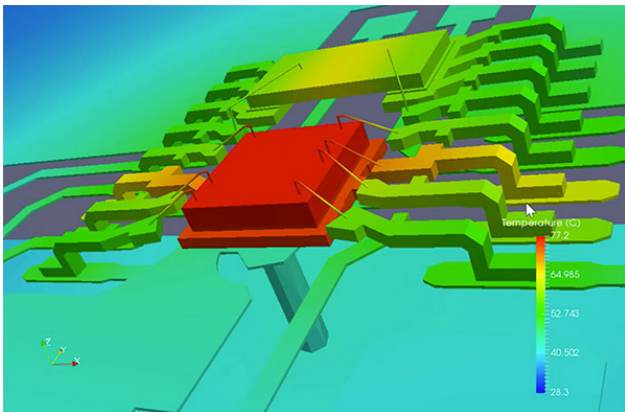


図 4: 3D 表示機能の例

Conclusion

今日、熱の影響を解析し軽減することは、広くさまざまな市場にわたる電子システムの開発の重要な懸念事項となっています。適切な解析には、FEA や CFD 解析と電気-熱の協調解析を組み合わせる、複数の物理モデルを扱うマルチフィジックスのアプローチが必要になります。従来のソリューションでは、生産性を制限しプロジェクトの予定を延ばす様な、速度、キャパシティ、コンピュータ環境の問題があります。Celsius Thermal Solver は高機能なアーキテクチャと機能セットを持ち、電子システムの開発者が今日の熱の課題に対応することを可能にします。

References

- 1 C. Hoffman, "What is 5G, and How Fast Will It Be?," How-To Geek, 15 March 2019. [Online]. Available: <https://www.howtogeek.com/340002/what-is-5g-and-howfast-will-it-be/>. [Accessed 15 August 2019].



ケイデンスは、電気・電子設計におけるグローバルな革新を可能にし、今日のエレクトロニクス製品を生み出すために重要な役割を果たしています。お客様はケイデンスのソフトウェア、ハードウェア、知的財産 (IP)、ノウハウを活用して、今日のモバイルアプリケーション、クラウドアプリケーション、コネクティビティアプリケーションを設計、検証できます。www.cadence.com/jp