

技術紹介

8 熱解析技術の開発

Development of thermal analysis technology

中島 真吾

Shingo Nakajima

コネクタ事業部 技術開発部 主任

寺本 隆一

Takaichi Teramoto

コネクタ事業部 技術開発部 技術シニアマネージャー

キーワード: 熱伝導解析、熱流体解析、温度上昇、自然対流、ジュール発熱

Keywords: Heat transfer analysis, Thermal fluid analysis, Temperature rise, Natural convection, Joule heating

要 旨

近年、電子機器の小型高性能化に伴う筐体内の発熱密度増加、自動車のEV化を背景とした大電流通電によるジュール発熱量増大など、熱問題はより大きなものとなっています。コネクタに対しても、小型化しながら、より大きな電流を流したいという、ジュール発熱の観点から難しい設計が求められています。

このような背景の下、設計段階で温度上昇をより正確に把握することが必要となっています。そこで、複雑な伝熱モデルで精度良く温度上昇を予測することや、電流が集中して発熱源となるボトルネック部を的確に見極める手法として、コンピュータシミュレーションである熱解析を積極的に活用しています。

一方で、熱解析を行う際には、適切なモデル化や解析条件の設定が重要であり、実測との整合性検証を通して精度の向上を図る必要があります。

ここでは、コネクタ設計に熱解析を適用するにあたり行った精度向上の取り組み、及び解析事例についてご紹介します。

SUMMARY

In recent years, heat problems such as increase in heat density inside the housing due to miniaturization and high performance of electronic equipment and increase in Joule heating value due to large current in electric vehicles are becoming more serious. As for connectors, to apply large current while downsizing, difficult design from the viewpoint of joule heating is required.

Under these circumstances, it is necessary to grasp the temperature rise more accurately at the design stage. Therefore, as a method to accurately predict the temperature rise with a complicated heat transfer model or to precisely determine the bottleneck portion where concentrating current causes a heat source, we actively use the thermal analysis that is computer simulation.

Meanwhile, when conducting the thermal analysis, proper modeling and setting of analysis conditions are important, and it is necessary to improve accuracy by verifying consistency with actual measurement.

In this section, we will introduce the high-precision thermal analytical method applied to connector design, and analysis examples.

1. はじめに

近年、スマートフォンに代表されるモバイル機器をはじめ、電子機器の小型高性能化についてはめざましいものがあります。また、自動車分野では HEV・EV が実用化され、今後は電氣的な動力をメインとする自動車主流となることが予想されています。

一方、これらの製品に使用されるコネクタについても、小型化・大電流化が要求されており、コンタクト断面積減少や、100 A を超えるような大電流通電時のコンタクト接点抵抗の影響など、発熱量増加による温度上昇が懸念されています。このように、コネクタには、小型化・大電流化の一方で温度上昇の抑制が求められるという厳しい要求があり、設計段階から発熱による温度上昇を考慮することが必要となっています。

コネクタ設計時に温度上昇を知る手段としては、伝熱工学に基づく簡易理論計算や、試作品での実測があります。しかしながら、簡易理論計算は精度面で課題があり、実測は製品性能の確認のために必須ではあるものの、試作による時間的・コスト的な課題があります。

そこで、設計段階において、複雑な伝熱モデルで温度上昇を予測することや、発熱量の多いボルトネック部を的確に見極める手法として、コンピュータシミュレーションである熱解析を積極的に使用しています。解析は、いずれも電気-熱連成解析であり、ジュール発熱とその分布は電磁気学に基づき計算され、熱解析へ反映されます。また、熱解析手法には熱伝導解析・熱流体解析の 2 種類があり、解析の目的に応じて両者を使い分けています。

更に、シミュレーション技術全般に言えることですが、良好な解析精度を得るためには、解析を行うにあたりモデル化及び種々の解析条件を最適化する必要があり、実測との整合性検証の積み重ねを行うことで、解析精度向上に取り組んでいます。

ここでは、コネクタ設計に熱伝導解析・熱流体解析を適用するにあたり取り組んできた精度向上ノウハウと解析事例についてご紹介します。

2. 熱解析の種類と活用状況

熱解析には、大別して熱伝導解析・熱流体解析の2つの手法があります。両者の違いは、熱伝導解析は流体の流れを直接解かず、放熱係数を定義して簡易的に温度上昇を計算しますが、熱流体解析は流体の流れを直接解いて詳細に温度上昇を計算します。

両手法ともにメリット・デメリットがあり、熱伝導解析は流体流れの計算を行わない分解析時間が短く済みますが、流体による放熱量を規定する放熱係数（解析対象の形状や各種境界条件の影響で様々に変化する）を適切に設定しないと温度上昇の解析精度が得にくい、相対評価向きと言えます。一方、熱流体解析は流体流れを直接解くため、解析モデルや条件が実現象と合っていれば解析精度の向上は比較的容易に実現できますが、複雑な物理現象を伴う流体流れを扱うため解析時間が一般に長くなります（両手法の比較は図1参照）。

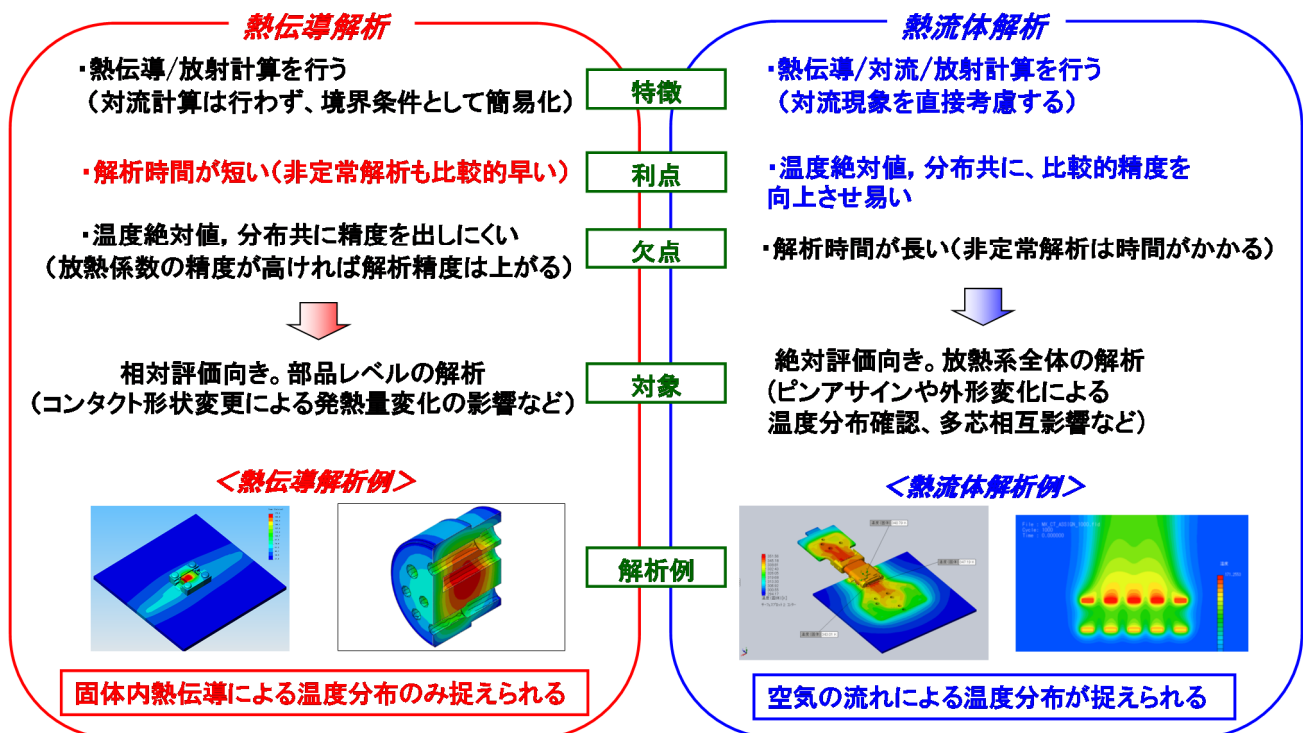


図1. 熱伝導解析と熱流体解析

したがって、設計初期～中期でのパラメータ検討に伴う温度上昇の変動を確認する場面においては熱伝導解析を使い、設計がある程度決定して一定の精度が必要な場面では熱流体解析を使うという住み分けで、解析専任部門では熱解析を行っています。また、解析設定のカスタマイズ化により熱解析を設計部門へ展開し、設計の効率化を図っています。図2に、製品開発における熱解析の活用状況を示します。

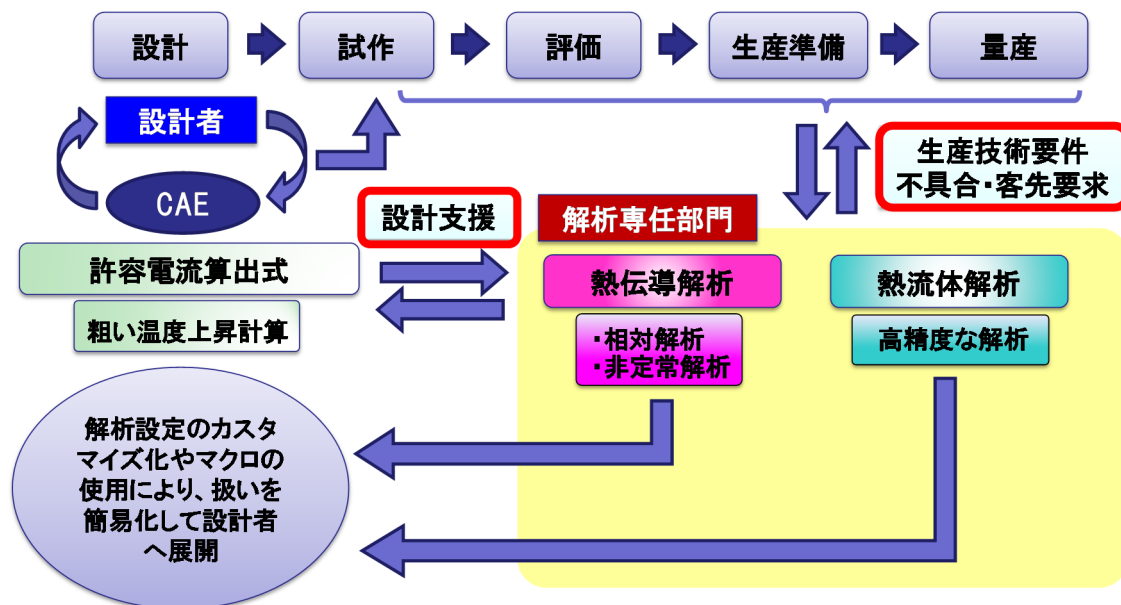


図 2. 製品開発における熱解析の活用状況

3. 熱解析精度向上への取り組み

熱解析において、良好な解析精度を得るためには、形状をどこまで忠実にモデル化するか、また物性・境界条件・解析領域といった種々の解析条件の妥当性について検証を行う必要があります。そのため、様々なコネクタにおいて実測との整合性検証を行い、適切な各種解析条件をノウハウとして蓄積することで、解析精度の向上を図っています。

図3は、産業機械全般の電源向け大電流コネクタにおける検証例ですが、100 Aを超えるような大きな電流を通電するコネクタでは、接点の接触抵抗・コンタクトのジュール発熱量・放熱係数・電線の形状・金属材料の電気導電率温度依存性などの正確なモデル化が精度向上に必要であることが分かりました。上記を正しくモデル化・設定することで、定常解析における温度上昇の分布、任意ポイントにおける温度上昇の非定常変化とも一定のレベルで捉えることが可能となります。

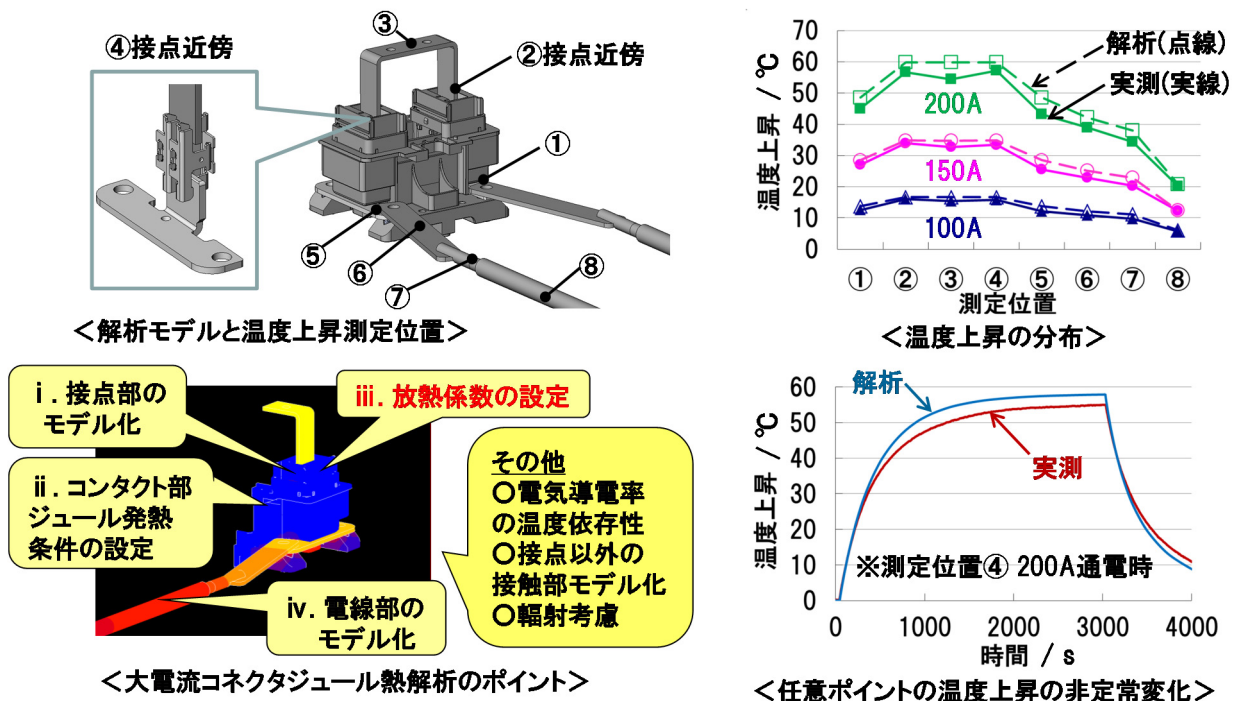
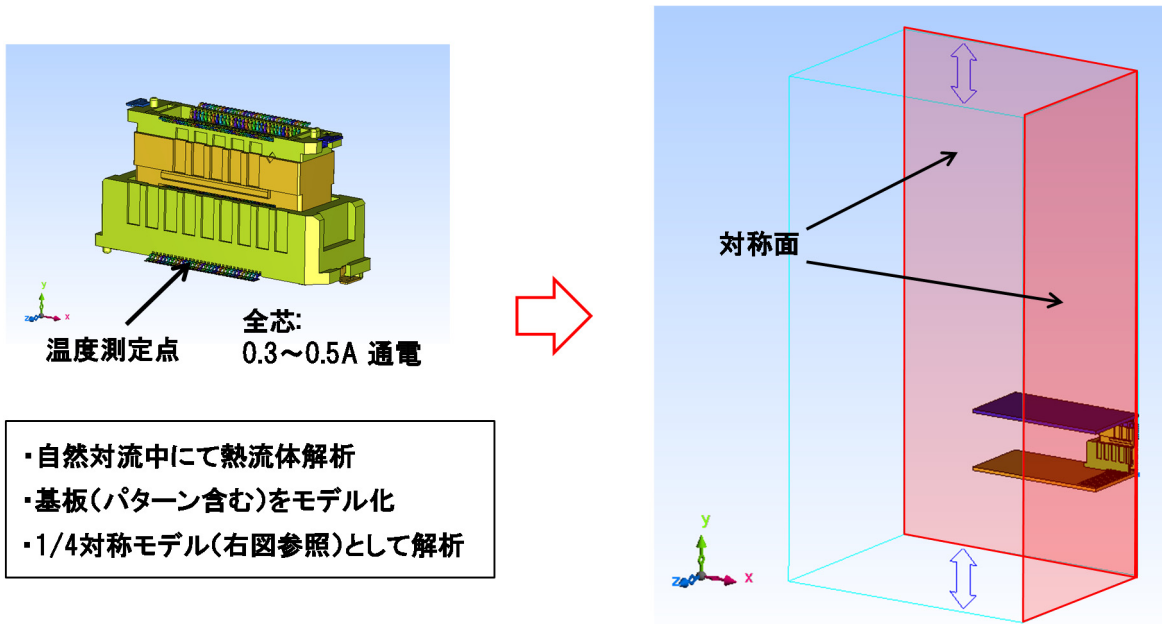


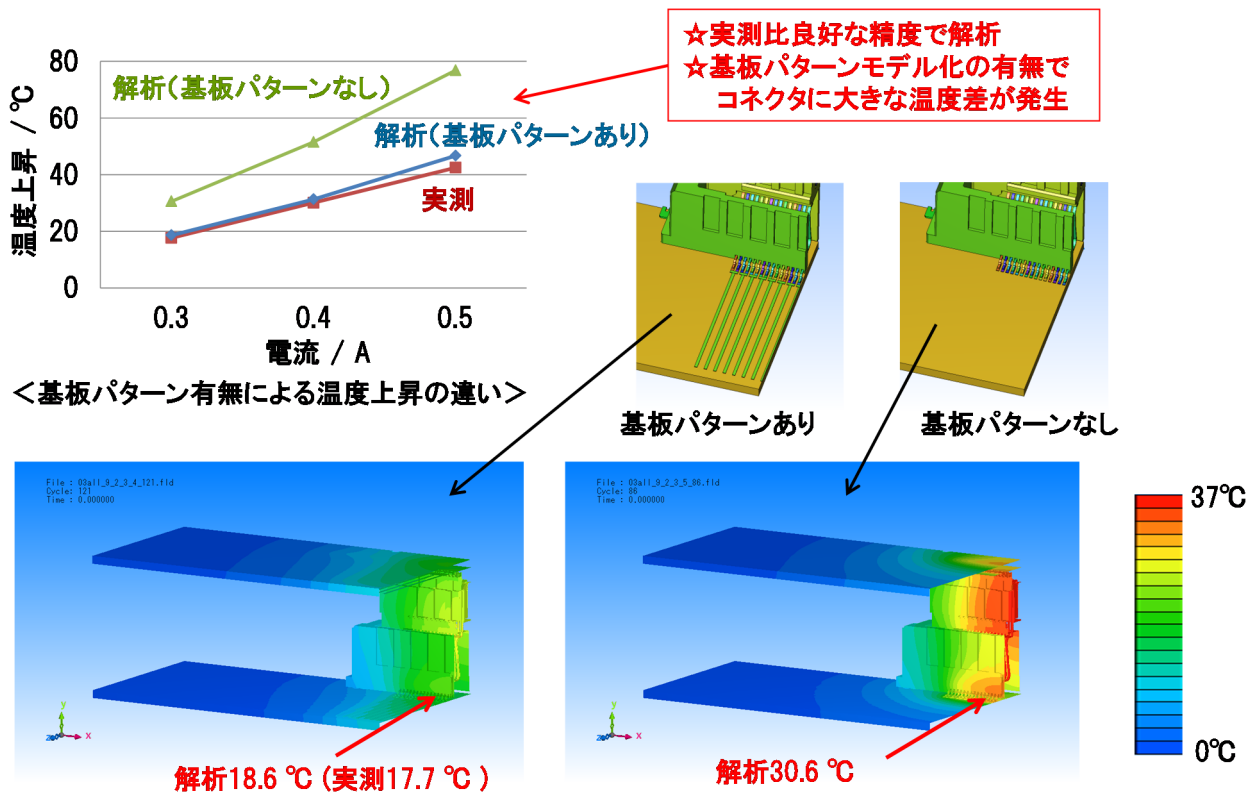
図3. 解析技術の精度向上の取り組み（熱伝導解析，大型大電流コネクタ）

続いて、基板間を接続するコネクタにおいて、基板パターンのモデル化の有無で温度上昇がどのくらい変化するかを検証した例を、図4に示します。一般にコネクタの放熱性能は表面積に依存しますが、近年増加している小型で許容電流が大きい製品では、基板からの放熱が温度上昇に大きく影響する事例が増えています。

本例においても、基板パターンのモデル化により基板全体に効果的に熱が伝わる様子が見られ、実測値に近い温度上昇解析結果が得られています（図4下段の＜温度上昇分布(0.3 A 通電時)＞参照）。一方、基板パターンをモデル化しないで解析した場合は、電流値にも依りますが、実測との差が大きくなっています（図4中段のグラフ＜基板パターン有無による温度上昇の違い＞参照）。



<解析モデル化と解析条件>



<温度上昇分布(0.3 A 通電時)>

図 4. 解析技術の精度向上の取り組み(熱流体解析, 基板間コネクタ)

4. 熱解析事例

本章では、前章で得られた解析ノウハウを応用して行った熱解析事例を紹介します。

①基板間小型コネクタ

基板間を接続する小型コネクタにおいて、基板パターン幅とコネクタ温度上昇の関係について、流体を直接考慮せずに熱伝導解析により検討した結果です（図 5 参照）。コンタクトが 0.35 mm ピッチで並ぶ超小型のコネクタで、両端にある電源ホールダウンには電源電流を通電し、中央の多芯数が並ぶ信号コンタクトには信号電流を通電しています。本例は、基板からの放熱を積極的に利用し、コネクタ仕様を超えた電流を通電するために必要な基板パターン幅の検討を行った例であり、望ましい温度上昇となる基板パターン幅を解析により検討・決定しました。

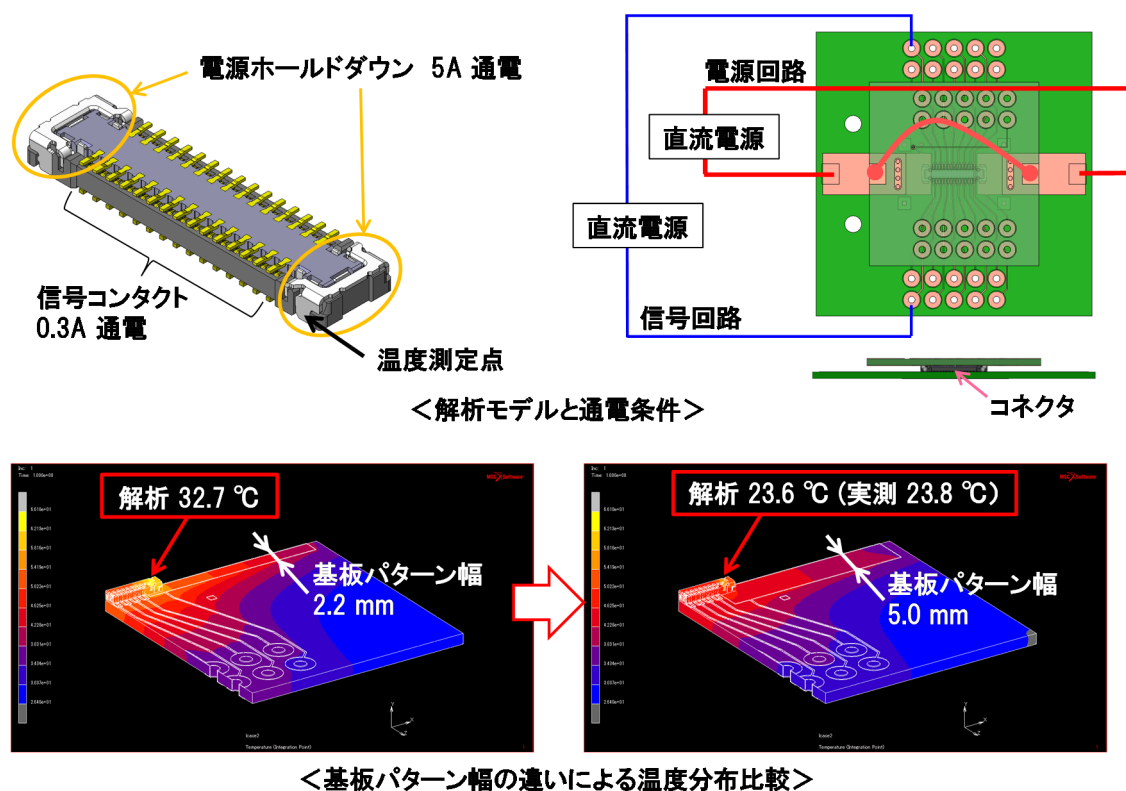
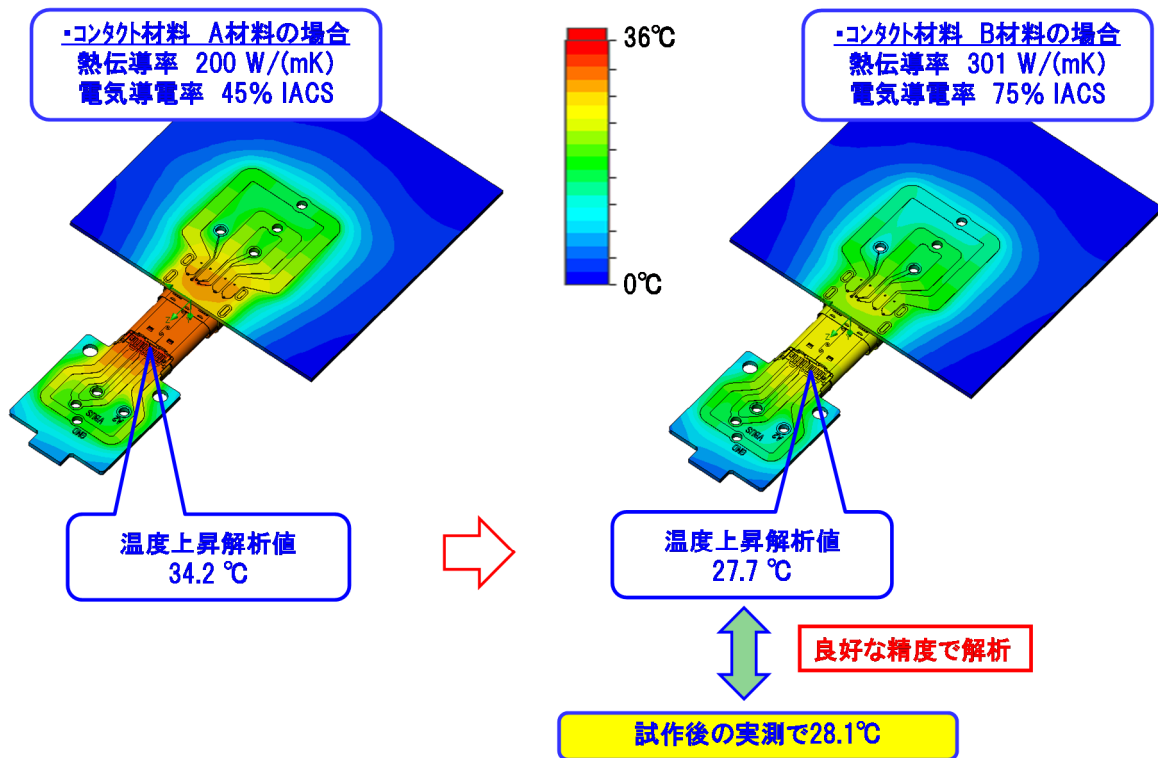
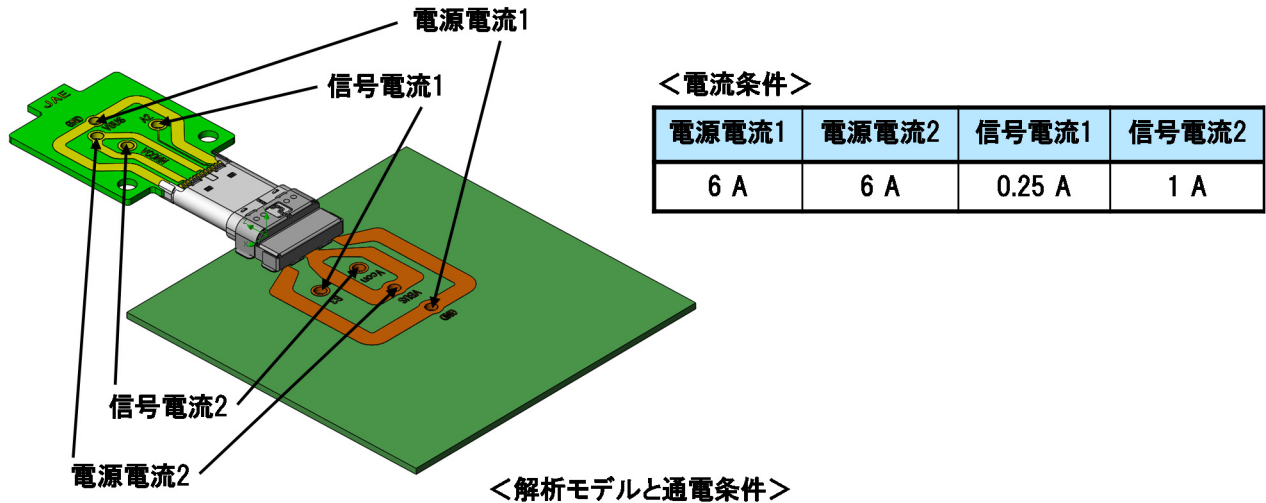


図 5. 解析事例 1（熱伝導解析，基板間小型コネクタ）

②USB Type-C™ 対応コネクタ

モバイル機器の電源用にも使用される USB Type-C コネクタのコンタクト材料選定において、流体を考慮した熱流体解析により検討を行った結果です（図 6 参照）。

当初予定していた信号コンタクト用として一般的な A 材料では、解析の結果、温度上昇が高くなったため、複数の材料候補に対し再度解析を行い、電気導電率・熱伝導率共に優れる B 材料への変更を決定しました。



<コンタクト材料の違いによる温度分布比較>

図 6. 解析事例 2 (熱流体解析, USB Type-C コネクタ)

③大電流対応コネクタ

ジュール熱解析を行う際には電流密度の解析も行われるため、その結果から電流密度の高い箇所を特定し、コンタクトの断面寸法拡大や、接点を増やして分流させるなど、発熱量を抑えるための検討が可能です。特に、100 A を超えるような大電流が通電されるコネクタでは、接点の接触抵抗が大きな発熱要因にもなることから、細心の注意を払って設計しています。図 7 に、大電流対応コネクタのコンタクト設計において、電流密度分布解析を応用した検討例を示します。

対象となるコンタクトは、銅系の金属からなり、板状のプラグ側端子（以下、P 側端子）が、曲げ加工して製作されたソケット側端子（以下、S 型端子）の接点に接触して通電します。電流密度の解析結果に注目しますと、＜設計変更前＞には P 側端子全般と、S 側端子の接点において電流密度が高くなっているのが分かります。そこで、P 側端子の断面積を広げると共に、S 側端子の接点を増やすことで電流密度を減少させ、発熱量を減らした設計へと変更しました。

また、図 8 に示す電流サイクルのように、入力電流が時間により変化する場合、計算時間のかかる非定常解析を行う必要がありますが、熱伝導解析を用いることで、計算時間を比較的短縮しながら、時間により変動する温度上昇を一定の精度で解析しています。

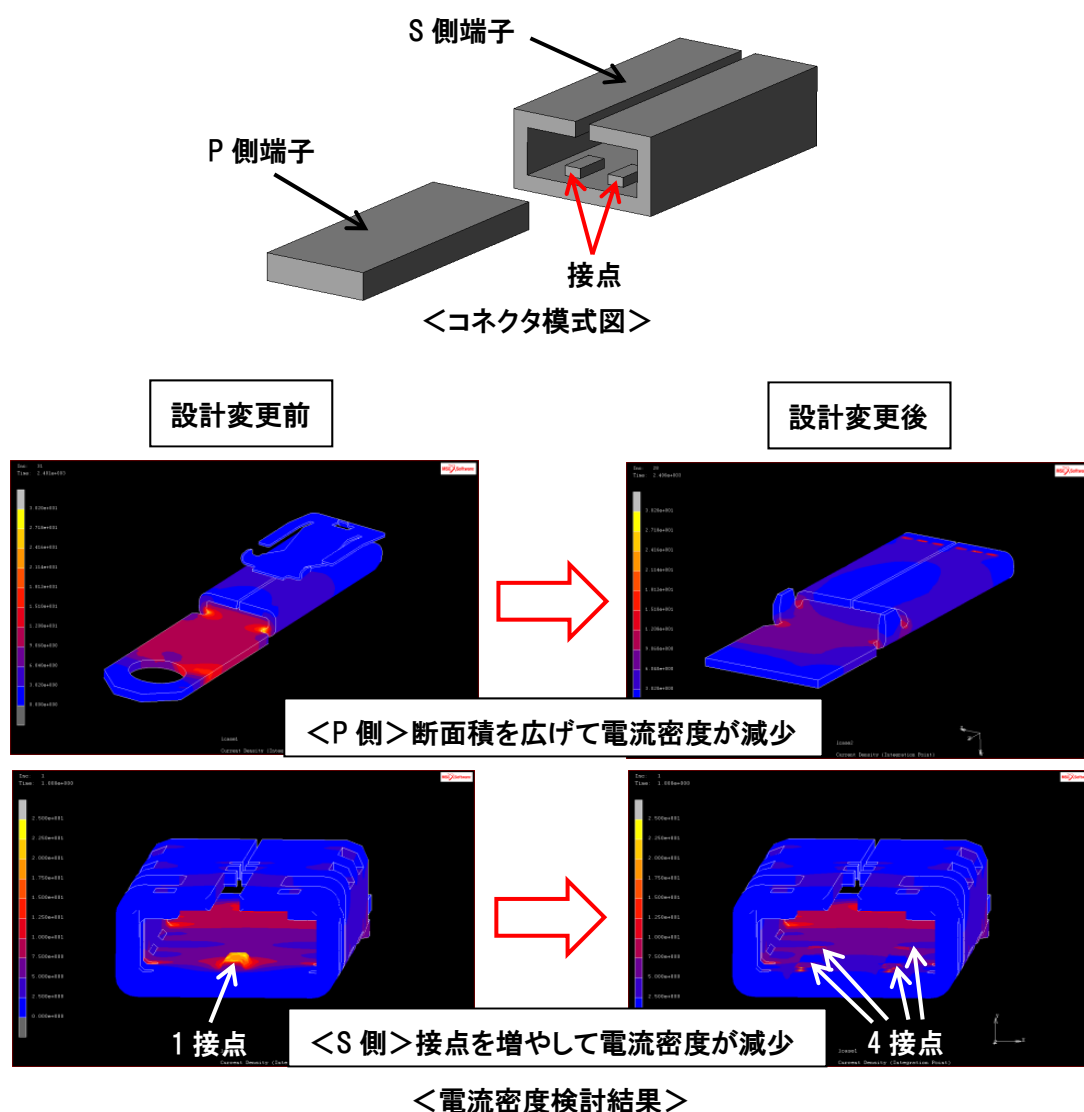


図 7. 解析事例 3（熱伝導解析，大電流対応コネクタの電流密度分布）

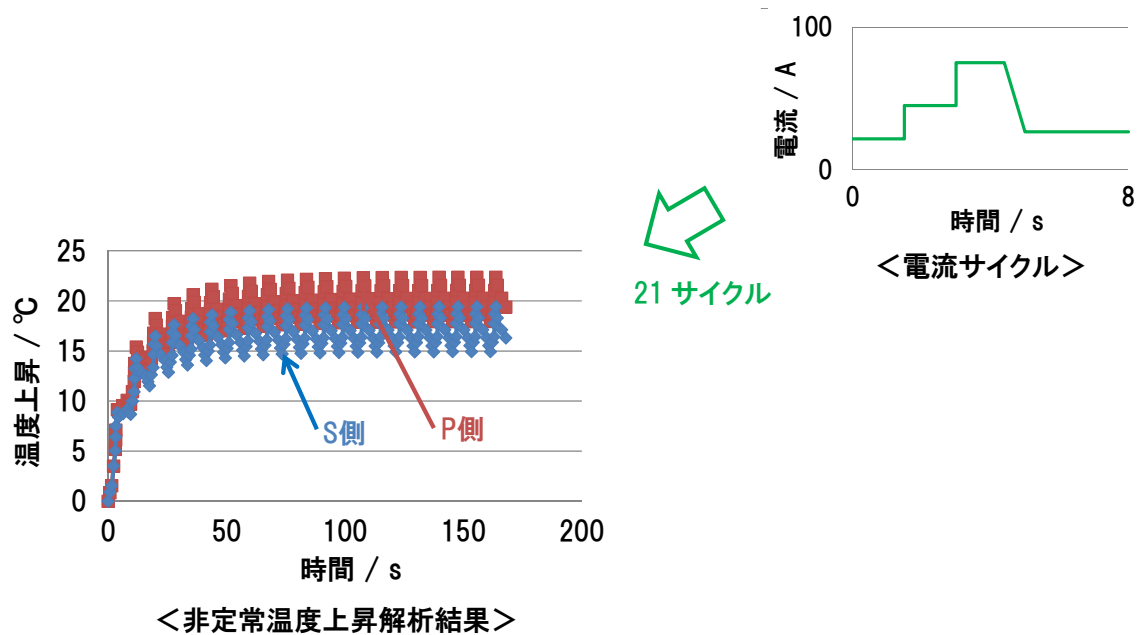


図 8. 解析事例 4（熱伝導解析，大電流対応コネクタの非定常解析）

5. まとめ

熱解析を行うにあたり、モデル化と解析条件を実状況に近づけることで、温度上昇や温度分布を比較的精度良く解析するノウハウが得られました。

これらノウハウを適用して熱解析を行うことで、製品の温度上昇や発熱の状態を設計段階で把握することができ、製品開発における時間とコストの削減を図ることができます。

今後、熱に関する問題が重要な設計・生産技術課題となる製品開発事案の増加が予想されますが、より良い製品開発に繋がるよう、熱解析環境を一層整えて参りたいと考えております。