

伝熱に関するシミュレーションと実物による比較検討

中村創一*, 瀬戸彰文*, 森本和邦**

Comparison of Heat Transfer Simulations and Experimental Results

Soichi NAKAMURA, Akifumi SETO and Kazukuni MORIMOTO

An increasing number of companies are aiming to enhance the efficiency and quality of their design and development processes through the use of computer simulations, creating a growing need for corporate support using CAE. In this study, with the goal of improving analysis techniques for providing such support, simulation results were compared with actual physical tests. As a result, it was confirmed that while appropriate analysis settings can improve prediction accuracy, incorrect settings can lead to significantly different outcomes.

Key words: CAE, Heat Transfer, Thermal Analysis, Transient Heat Transfer, Heat sink

1. はじめに

製造業において、コンピューターシミュレーション（以下、CAE とする。）を用いた設計は、コスト削減や開発スピードの向上につながる技術として、取り組まれている。近年、技術人材の不足や高度化・複雑化する製品設計に対応するために CAE は重要なツールとして位置付けられている^{1,2)}。CAE の導入により、機械や材料などの強度を確認する構造解析だけでなく、空気や液体の流れを確認する流体解析や放熱設計などを模擬する伝熱解析などが出来るようになってきている。しかし、これらの解析結果は実際の実験結果とは異なるケースがある^{3,4)}。

伝熱解析は、物体内や物体間における熱の移動（熱伝導、対流、放射）を数値的に解析する手法である。時間に依存せずに長期間の温度を調べる定常解析と時間経過に伴う温度変化の解析を行う非定常解析がある。本研究では、CAE の中でも伝熱解析の中でも非定常解析を例にとり、その CAE 解析の結果と実物による測定の結果を比較した事

例について紹介する。

2. 実験方法

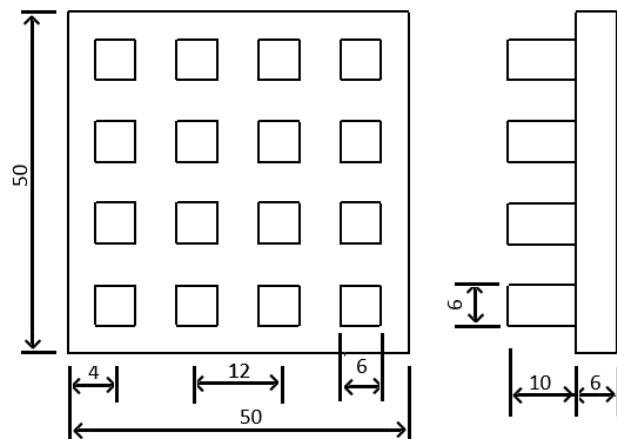
図 1 に解析モデル、図 2 に実物モデルとして、角柱形状と円柱形状の 2 つの形状を示す。検討対象モデルは、近年、電子機器の冷却に使われるヒートシンク⁵⁾を模擬した形状とした。解析モデルの外形は 50 mm×50 mm、高さは 16 mm のアルミニウム合金(A5052)とした。実験は室温 20 °C、材料の初期温度も 20 °Cとし、底面に徐々に熱を加え 150 °Cまで温度を上昇させる条件で実験を行った。

2.1 シミュレーションによる解析

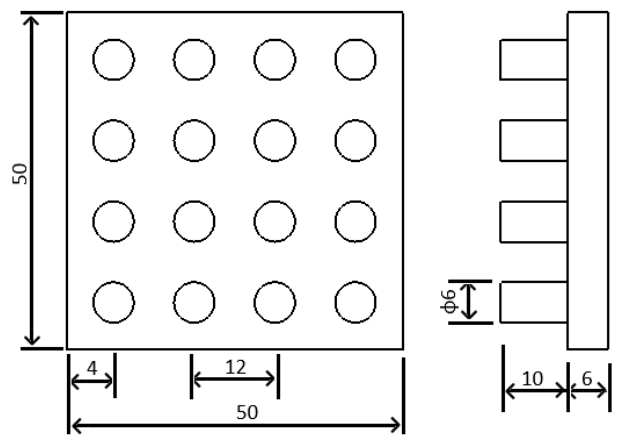
CAE のソフトウェアとして ANSYS Multiphysics (R19.1) を用いた。表 1 に解析に使用した A5052 の材料物性、表 2 に解析に用いた接点数と要素数を示す。また、熱伝達率の値は 10 W/m²・K とし、非定常解析における解析ステップ数は 900 ステップとした。また、図 3 に解析モデルのメッシュ及び評価点を示す。

* プロジェクト研究課

** 電子機械研究課



(a)角柱形状

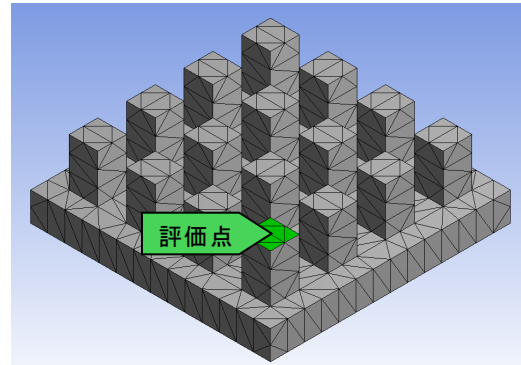


(b)円柱形状

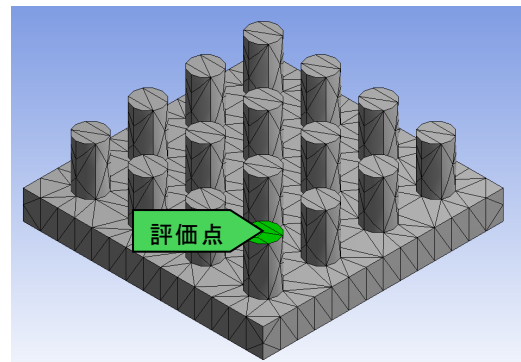
図 1 解析モデルの形状

表 2 解析モデルの接点数と要素数

モデル形状	接点数	要素数
角柱モデル	3569	1729
円柱モデル	3471	1637

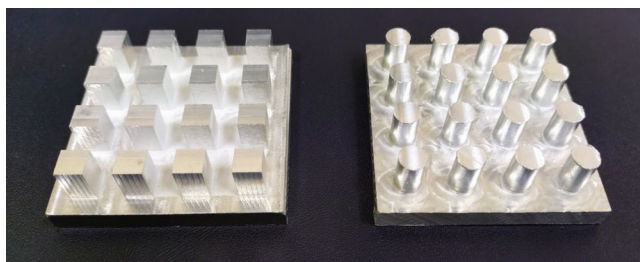


(a)角柱形状



(b)円柱形状

図 3 解析モデル（メッシュ）及び評価点



左：角柱形状 右：円柱形状

図 2 実物モデルの形状

表 1 A5052 の材料物性

物性値	値	単位
熱伝導率	138	W/m·K
密度	2680	kg/m ³
比熱	880	N·m/(kgK)

2.2 実物による実験

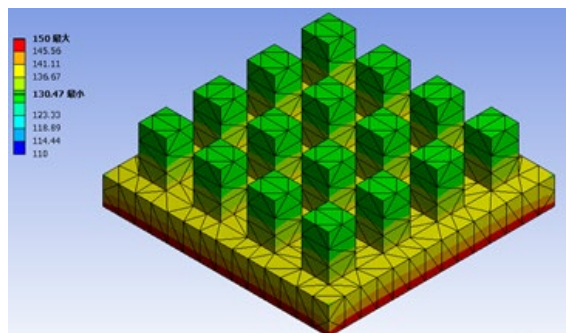
温度測定は、日本アビオニクス株式会社製 サーモグラフィ InfReC R300SR を用いた。金属光沢面の反射を防ぐために、二酸化ケイ素のスプレーを塗布した。底面から熱を加えるためにホットプレートを用い、設定温度 150℃とした。図 4 に実験風景を示す。



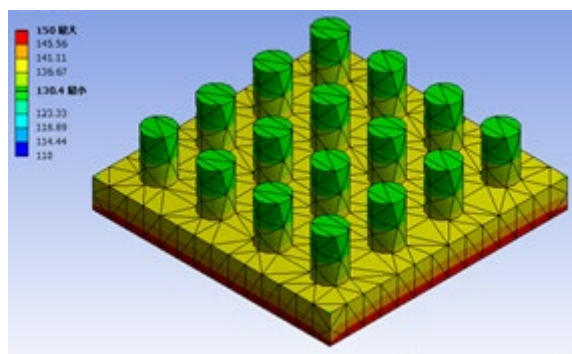
図 4 実験風景

3. 結果と考察

図5にシミュレーションによる伝熱解析の結果の例を示す。図6にはサーモグラフィによる温度測定結果の例を、図7に評価点における温度の時系列変化を示す。



(a)角柱形状



(b)円柱形状

図5 シミュレーション結果の例

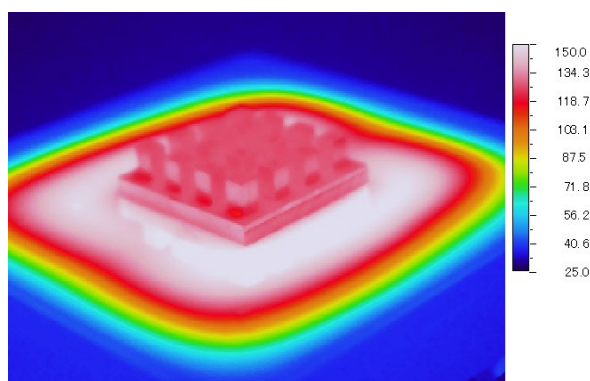
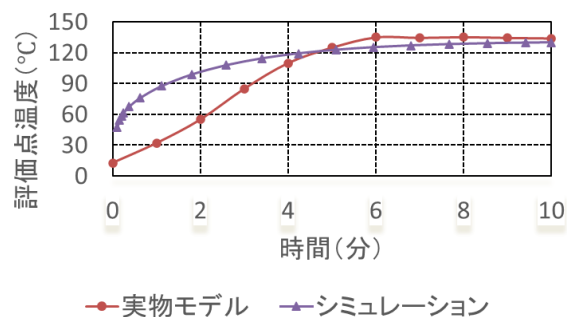


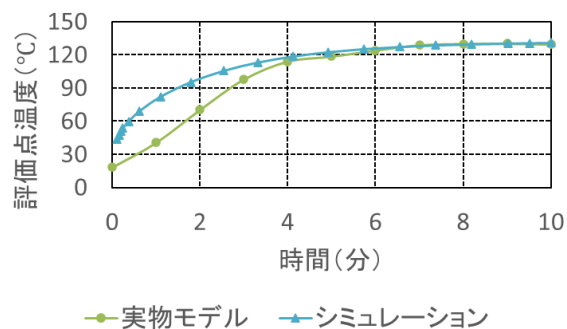
図6 サーモグラフィによる温度測定結果の例

図5、図6よりシミュレーション及びサーモグラフィにおいて、温度の可視化状態を確認した。図7より、角柱形状、円柱形状ともにシミュレーションにおいても実物による実験においても約128℃程度で温度上昇が収束していることから、定常状態についての解析精度は良いといえる。しかし、収束するまでに至る過程においてシミュレ

ーション解析では0～4分にかけて温度上昇が大きい、実物では温度の上昇が小さく、大きなずれが発生している。



(a)角柱形状



(b)円柱形状

図7 評価点における温度変化の時系列変化

一般的な非定常解析における解析誤差の原因として、①材料物性や境界条件などの設定条件、②シミュレーションでの数値解析の精度による原因、③実験及び測定方法による誤差、④モデル化誤差などの原因が考えられる。この中で、本実験で考えられる特に大きな要因としては、ホットプレートと解析モデルの境界条件の理想化の方法(③による原因)が考えられる。すなわち、シミュレーションではホットプレートと解析モデルが完全に密着して隙間がない状態であるが、実物の実験では微小な凹凸があるために、完全に密着しておらず、この隙間が抵抗となって、温度上昇を妨げている可能性が考えられる。また、これらの現象を考慮したシミュレーションを行うには、解析モデルで底面形状を幾何的に再現する方法が考えられるが、微小面ごとに解析設定が必要になることから、計算負荷の増加などが考えられ

る．実物による実験方法で解決する方法も考えられるが，加工精度をより高くする必要があるため，作製にかかる時間や費用面で非現実的になる可能性がある．そのため，どこまで正確な解析を行うかについても検討を行う必要がある．

4. まとめ

ヒートシンクを模擬した解析モデルについてシミュレーションと実物の温度変化に関する実験の比較検討を行った．その結果，温度が一定に達した後の解析については概ね一致することがわかった．しかし，温度変化の過程を確認するためには，今回設定した条件においては，差が大きくなった．その理由として，実物モデルの表面性状がシミュレーションを行う解析モデルを再現出来なかったことが考えられた．CAE を用いた設計を行う場合，その目的の明確化や，実物の試験と比較を行う際には，実際の現象とシミュレーションの条件を可能な限り揃える必要があることが分かった．

参考文献

- 1) 沢田龍作：”産業における CAE 活用の歴史と今後の展望”．計算工学, 21 (1), p80-83 (2016)
- 2) 第 201 回国会 (常会) 提出(ものづくり白書):”令和元年度ものづくり基盤技術の振興施策”, p91-94
“https://www.meti.go.jp/report/whitepaper/mono/2020/honbun_pdf/pdf/all.pdf”
- 3) 白鳥正樹，越塚誠一，吉田有一郎，中村均，堀田亮年，高野直樹，工学シミュレーションの品質保証 V&V，丸善出版 (2013)
- 4) 山田貴博：”米国機械学会 V&V 標準の動向”．日本機械学会誌，第 123 巻第 1222 号，p6-9 (2016)
- 5) 近藤義広，松島均，大橋繁男：“LSI パッケージの噴流冷却におけるヒートシンク形状の最適化”．日本機械学会論文集 (B 編)，63 巻 611 号，p224-231 (1997-7)

(本研究は，法人県民税の超過課税を財源として
おります.)