

ものづくり計算センター CAE 基礎 ＜伝熱解析/設定に必要な情報と解析例＞

キーワード：CAE、FEM、構造解析、伝熱解析、熱伝導解析、熱流体解析、熱伝達率

伝熱解析（熱伝導解析）の概要

伝熱解析（熱伝導解析）では、機械部品などに熱を付与した際の温度を求めることができます。十分に長い時間経過した後の安定した温度を求める定常解析と、熱を付与した時点（あるいは、高温から冷却を開始した時点）からの温度変化を求める非定常解析があります。

本報では、伝熱解析を実施するにあたり、設定に必要な情報および注意点について説明します。ソフトウェアには ANSYS Mechanical を用いました。

解析モデル

図 1 に示すような矩形のダクト内に設置されたヒートシンクの伝熱面の温度を求めます。ダクト入口から 1 m/s (20 °C) の風を流入し、フィン間を通過して流出するものとします。

材料データの設定

伝熱解析に必要な材料データは、定常解析と非定常解析で異なります。

定常解析では、熱伝導率のみが必要な材料データとなります。一方、非定常解析では、熱伝導率、密度、比熱の熱的特性が必要です。部品温度の時間変化に、材料の熱容量（密度×比熱）が影響を及ぼすためです。熱容量が小さい材料は、熱しやすく冷めやすいものとなります。具体的には、表 1 に示すように、アルミニウムとチタンでは、熱伝導率はアルミニウムの方が高く熱が速く伝わりますが、熱容量はアルミニウムとチタンで同程度とわかります。

境界条件の設定

伝熱解析における境界条件とは、部品の任意面に対して、温度を固定して設定すること、発熱量を付与すること、熱伝達率と周辺温度を指示し熱流束として付与することが該当します。図 2 に境界条件の一例を示します。

温度を固定条件として付与することは、単純に設定できる境界条件の一つです。例えば、ヒートシンクの底面に、温度一定の発熱源が配置されている場合などに用いられます。

発熱量を付与する方法としては、熱量(単位 W)、熱流束 (W/m^2) があります。例えば、ヒートシンクの

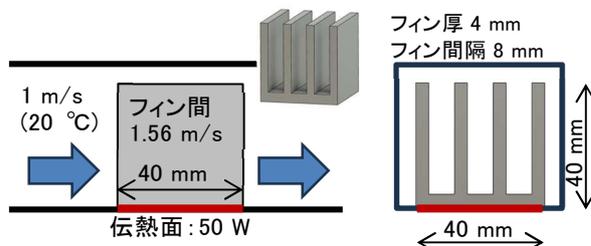


図 1 解析モデルの概要

表 1 各材料の熱的特性

	熱伝導率 [W/(m·K)]	密度 [kg/m ³]	比熱 [kJ/(kg·K)]	熱容量 [kJ/(m ³ ·K)]
アルミニウム	237	2700	0.9	2430
チタン	22	4500	0.532	2394

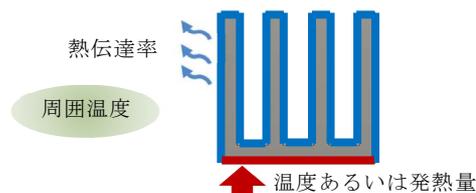


図 2 境界条件の一例

底面側に半導体などが配置され、その半導体の発熱量が与えられる場合に用いられます。図 1 に示すモデルでは伝熱面に 50 W の発熱量を設定しています。

次に、フィン表面の伝熱について説明します。流体側の伝熱には、熱伝達率と周辺温度を指示する方法が一般的ですが、設定には注意が必要です。周辺温度は流体温度(空気温度)を設定できますが、熱伝達率にどのような値を用いればよいかは、材料によって決まるものではありません。文献値などを利用するのでなければ、流体速度、流体の動粘性係数、熱伝導率、流体が通過する部分の代表長さなど、さまざまなパラメータから計算により求めます。そのような計算が煩雑であれば、解析対象の使用状況からある程度の値を入力する方法も考えられますが、結果に及ぼす熱伝達率の影響が大きいため注意が必要です。

本報では、具体的に熱伝達率を計算する方法を紹介します。まず、流体のレイノルズ数 (Re) を次式

により計算します。(U_∞:流速, L:代表長さ, ν:動粘性係数)

$$Re = \frac{U_{\infty} \cdot L}{\nu} = 4092$$

$$(U_{\infty} = 1.56 \text{ [m/s]}, L = 0.04 \text{ [m]},$$

$$\nu = 1.525 \times 10^{-5} \text{ [m}^2\text{/s]})$$

次に、ヌセルト数(Nu)を次式より求めます。(Pr:プラントル数)

$$Nu = 0.664 \times Re^{\frac{1}{2}} \times Pr^{\frac{1}{3}} = 37.9$$

$$(Pr = 0.71)$$

なお本式は、レイノルズ数が低い範囲(Re<5×10⁵)で、平板に沿って流れる流体として用いられるものです。それぞれの解析条件に適した式があるため、適切に選択してください。最後に、熱伝達率hを次式より求めます。(λ:流体の熱伝導率)

$$h = \frac{\lambda \cdot Nu}{L} = 24.3 \text{ [W/(m}^2\text{·K)]}$$

$$(\lambda = 0.0256 \text{ [W/(m·K)] (空気)})$$

解析・結果表示

ヒートシンクの材料として、アルミニウムおよびチタンを用いた場合の定常解析の結果を図3に示します。アルミニウムではヒートシンク全体が近い温度になりますが、チタンでは発熱源の近いフィン根元付近の温度が高いことがわかります。この傾向は表1に示した熱的特性から、温度伝導率(熱伝導率/熱容量)を求めると説明ができます。温度伝導率は、チタンよりアルミニウムの方が10倍程度大きいため、温度の伝わり方が速く、温度分布が均一になりやすい特性があるといえます。

次に、非定常解析の結果を図4に示します。定常解析では求めることのできない時系列の計算結果が得られます。また、十分に時間を経た状態では定常解析と同等の結果になることがわかります。

最後に、発熱部の温度に及ぼす熱伝達率の影響を図5に示します。例えば、熱伝達率を20 W/m²·Kとすると発熱部の温度は200℃程度になりますが、50 W/m²·Kにすると100℃以下になります。つまり、熱伝達率は解析結果に大きな影響を及ぼすことがわかります。本報のようにヌセルト数の計算により求める方法のほかに、より詳細に求める場合は熱流体解析を用いることが有効な手段です。熱流体解析では、伝熱解析と比べて簡便ではなく、熱応力解析への連成も難しいですが、気流を含め

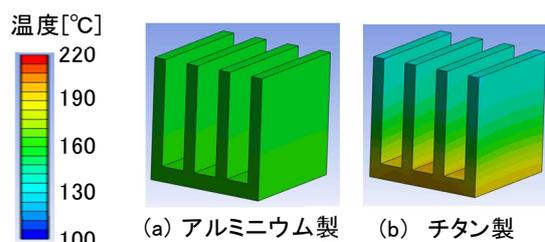


図3 定常解析の結果

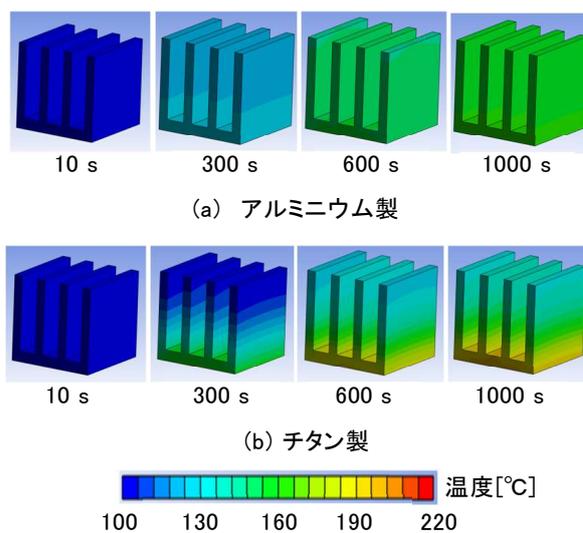


図4 非定常解析の結果

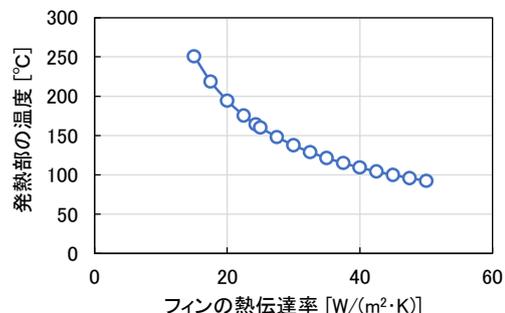


図5 発熱部の温度に及ぼすフィンの熱伝達率の影響 (アルミニウム製)

て詳細に計算するため、熱伝達率を設定することなく、発熱部の温度を求めることができます。熱流体解析については後報にて紹介します。

おわりに

本報では、伝熱解析について、設定に必要な情報について説明しました。ものづくり計算センターでは、構造解析・伝熱解析など CAE に関するノウハウを蓄積しています。ぜひお気軽にご相談ください。

発行日 2025年3月1日

作成者 ものづくり計算センター (加工成形研究部 精密・成形加工研究室 四宮 徳章、特殊加工研究室 三木 隆生)

Phone: 0725-51-2525

E-mail: mcae-center02@orist.jp