

# 講義を補完するための簡易支援ソフトの開発

— 熱工学教育へのエクセル表計算ソフトの導入例 —

Development of Simple Support Software to Supplement Lecture

— Example of introducing Excel spreadsheet to thermal engineering education —

○富村 寿夫\* 小糸 康志\* 鳥居 修一\*  
Toshio TOMIMURA Yasushi KOITO Shuichi TORII

キーワード: 簡易支援ソフト, エクセル表計算ソフト, 熱工学教育

Keywords: Simple support software, Excel spreadsheet, Thermal engineering education

## 1. はじめに

エクセルの表計算機能に含まれるセルの相対参照, 絶対参照, 循環参照またオートフィル機能などを有機的に組み合わせることにより, 物理問題を迅速かつビジュアルに解析することができる。また, 解析結果は付属のグラフウィザードにより直ちに図示して確認することができる。最近, 森下<sup>1)</sup>やHolman<sup>2)</sup>などにより, エクセルのこのような簡便な表計算機能とグラフィック機能を利用した実用的な熱流体解析手法の開発や工学分野における教育への応用が試みられている。

著者ら<sup>3)</sup>は, これまでに, 熱工学が関与する諸問題について, エクセルによるビジュアルな熱流体シミュレーション手法を開発し, その構築方法を示した。また, 内部発熱あるいは吸熱を伴う無限平板の1次元定常熱伝導問題を例として, 工学教育にエクセル解析を導入した場合の試案を示した<sup>4)</sup>。

ここでは, 矩形フィンの問題を具体例として, 学部および大学院レベルでの講義補完用簡易支援ソフトとしてのエクセル解析の可能性について検討した。

## 2. 解析対象と基礎方程式

図1に示すように, 幅  $w$  [m], 高さ  $h$  [m], 厚さ  $b$  [m], 熱伝導率  $\lambda$  [W/(m·K)] の矩形フィンが, 周囲温度  $T_\infty$  [°C] の流体中におかれている場合を考える。フィンの根元温度を  $T_0$  [°C] とし, フィン表面と周囲流体との間の熱伝達率  $\alpha$  [W/(m<sup>2</sup>·K)] がフィン全表面にわたって一様な場合について, フィンの温度分布  $T=T(x)$  に関する解析解と差分解を求める。前者は学部レベル, 後者は大学院レベルでの問題である。また, フィン全体からの放熱量  $Q_f$  およびフィン効率  $\eta_f$  を求める。

図を参照し, コントロールボリューム  $A dx$  に関するヒートバランス  $Q_x = Q_{x+dx} + dQ_f$  を考えると,

$$Q_x = -A \left( \lambda \frac{dT}{dx} \right) \quad (1)$$

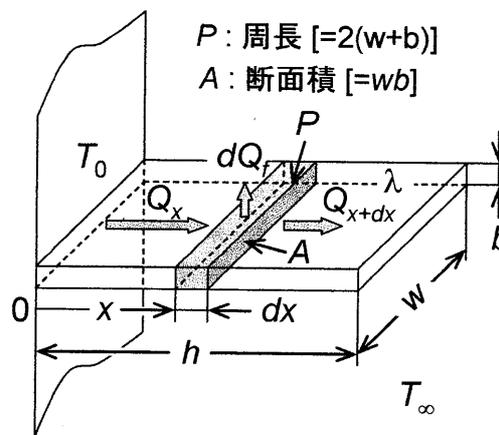


図1 物理モデルと座標系

$$Q_{x+dx} = Q_x + \frac{dQ_x}{dx} dx = -A \left\{ \lambda \frac{dT}{dx} + \frac{d}{dx} \left( \lambda \frac{dT}{dx} \right) dx \right\} \quad (2)$$

$$dQ_f = P dx \alpha (T - T_\infty) \quad (3)$$

から, このモデルに対する基礎式は次式で与えられる。

$$\frac{d^2 T}{dx^2} - m^2 (T - T_\infty) = 0 \quad (4)$$

ここで,

$$m = \left( \frac{\alpha P}{\lambda A} \right)^{1/2} \quad [\text{m}^{-1}] \quad (5)$$

であり, 式中の周長  $P$  と断面積  $A$  は, それぞれ, 次式でえられる。

$$P = 2(w + b), \quad A = wb \quad (6)$$

境界条件に関しては, フィンの根元では, 題意から,

$$x = 0 \quad \text{で} \quad T = T_0 \quad (7)$$

となる。これに対し, フィンの先端では, 以下のような3つのケースが考えられる。

**Case -1** フィンが無限に高い ( $h \rightarrow \infty$ ) 場合 (すなわちフィン先端の温度が周囲温度  $T_\infty$  に等しい場合)

\* 熊本大学大学院自然科学研究科産業創造工学専攻

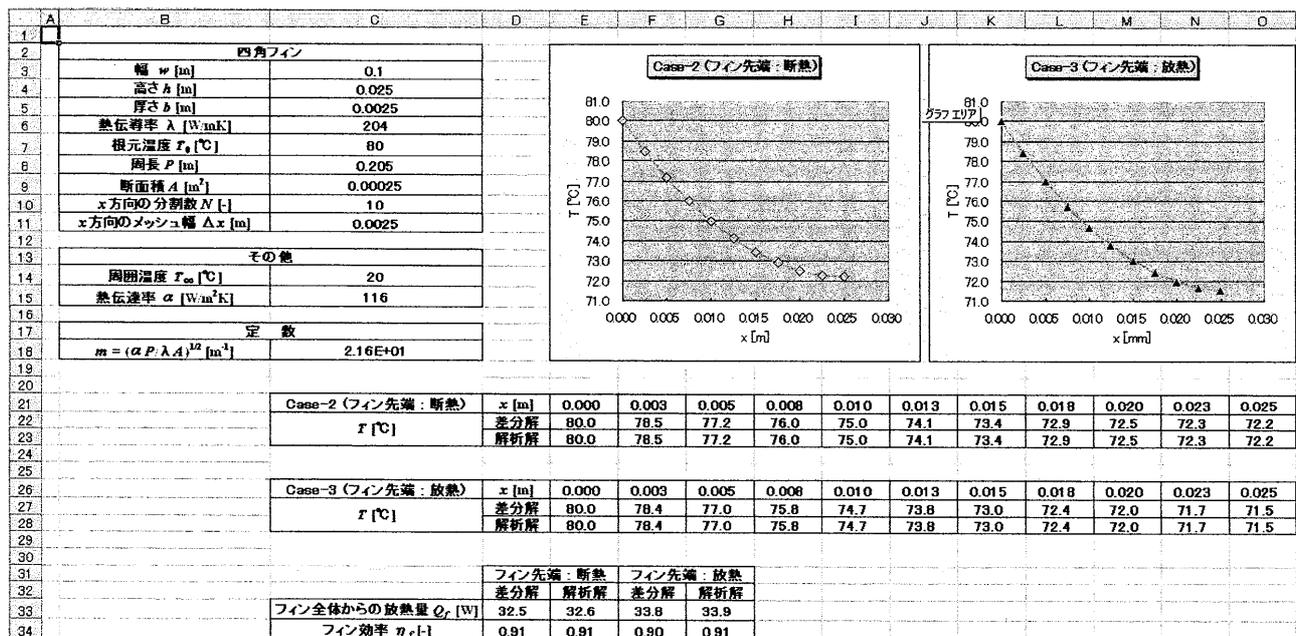


図 2 ワークシートの例

$$x = h \rightarrow \infty \text{ で } T = T_\infty \tag{8}$$

Case -2 フィン先端での放熱を無視した場合 (すなわち断熱とみなせる場合)

$$x = b \text{ で } \frac{dT}{dx} = 0 \tag{9}$$

Case -3 フィン先端での放熱を考慮した場合

$$x = b \text{ で } -\lambda \frac{dT}{dx} = \alpha (T - T_\infty) \tag{10}$$

例として、Case -3 の場合の解析解を示すと、以下のようになる。

フィンの温度分布  $T = T(x)$  :

$$T = (T_0 - T_\infty) \frac{\cosh(m(h-x)) + (\alpha/m\lambda)\sinh(m(h-x))}{\cosh(mh) + (\alpha/m\lambda)\sinh(mh)} + T_\infty \tag{12}$$

フィン全体からの放熱量  $Q_f$  :

$$Q_f = Am\lambda(T_0 - T_\infty) \frac{\tanh(mh) + \alpha/m\lambda}{1 + (\alpha/m\lambda)\tanh(mh)} \tag{13}$$

フィン効率  $\eta_f$  :

$$\eta_f = \frac{1}{m(h + A/P)} \frac{\tanh(mh) + \alpha/m\lambda}{1 + (\alpha/m\lambda)\tanh(mh)} \tag{14}$$

講義では、時間的制約から、これらの式の誘導と簡単な説明で終わらざるを得ないのが現状であり、学生に理解を求める上で問題が無いとはいえない。

### 3. エクセルを利用した解析例

図2にワークシートの例を示す。セル C3~C7, C14,

C15 の値を任意に変えることができる。

フィンの温度分布、フィン全体からの放熱量  $Q_f$  およびフィン効率  $\eta_f$  に関する解析解と差分解が示されており、これらの解はプログラムを全く組むことなく得られている。また、計算結果は付属のグラフウィザードにより簡単に図示することができるので、フィンの温度分布に及ぼす主要パラメータの影響を、その場で直ちに視覚的に確認することができる。

例示したワークシートでは、セルの相対参照、絶対参照そして循環参照しか使用されておらず、プログラム言語の文法に悩まされることなく、学生自身も簡単にワークシートを作成することができる。したがって、物理現象の理解を支援する手段として、本簡易ソフトは有効であると考えられる。

### 4. おわりに

熱工学教育へのエクセル表計算ソフトの導入例として、矩形フィンの1次元定常問題の解法に関する試案を示した。セルの相対参照、絶対参照そして循環参照を用いることで、誰でも簡単に計算が実行でき、講義補完用の簡易支援ソフトとして有効と考えられる。

### 参考文献

- 1) 森下, Excel で学ぶ流体力学, 丸善, (2001).
- 2) Holman, J. P., Heat Transfer (Ninth Edition), McGraw-Hill Higher Education, New York (2002).
- 3) 岩井ほか, エクセルとマウスでできる熱流体のシミュレーション, 丸善, (2005).
- 4) 富村・奥山・平澤, 日本機械学会 九州支部 講演論文集 No. 068-1 (2006), 115.