301 教育用伝熱実験システムの開発

Development of an Educational Experiment System on Heat Transfer

正 吉田 正道(有明高専)

○学 久保山 正朗(有明高専 専攻科)

Masamichi YOSHIDA, Ariake National College of Technology, Higashihagio-machi150, Omuta, Fukuoka

Masao KUBOYAMA, Ariake National College of Technology

Key Words : Education, Experiment, Heat transfer, Simulation, Graphics

1. 緒言

伝熱現象の視覚的表示は、教育用伝熱実験装置による教育効果を向上させる為の重要な因子である。特に、非定常伝熱現象において、温度分布や熱流ベクトルおよび放熱量が時々刻々と変化する過程を具象化した図が実験進行と同時に表示できれば、伝熱現象をより興味深く理解できるものと期待できる。さらにシミュレーション計算を同時に行うことで、理論的な理解が実践を通してより深まるものと思われる。

そこで、本研究では、伝熱現象に関する実験およびシミュレーション計算を並行して行うことができ、システム内のディスプレイ上に温度グラフ、温度分布図および熱流ベクトル図等の視覚的要素をもちこんだ図や動画を表示し、熱の伝わり方や温度分布などの現象が視覚的にわかり易く理解できるように定常・非定常伝熱実験システムの開発を目的としている。本報告では、まずフィン付き面の伝熱計算⁽¹⁾を題材として取り上げ、その定常状態における実験システムを構築したのでその詳細を報告する。

2. 実験システムの構成

本実験システムの概略図を Fig.1 に示す。試験片(単独四角縦フィン付き面)は黄銅(熱伝導率: $\lambda = 88[\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})]$)で製作し、内部温度測定のため上面に 30 箇所の熱電対挿入用孔(深さ: 20[mm])を設けた。この試験片を加熱用高温流体および冷却水が循環するケース内に設置して、実験モジュールとした。ケース部はベークライトで製作し、上蓋は内部状況が目視観察できるようにポリカーボネイトを用いた。実験モジュールに設置した各温度測定用熱電対はデータロガーを介して実験者の人数分用意されたパーソナルコンピュータ(PC)に接続している。なお、実験に際しては、恒温循環槽により所定温度の高

Fig.1 Schematic diagram of experimental apparatus

温水を循環させて、試験片根元部を加熱し、フィン本体周囲には水道水を供給し冷却する。定常状態に達した後、試験片内部に挿入した熱電対により試験片内部温度を 30 点測定し PC にデータを送る。そのデータを用いて各実験者が PC 内の自作ソフトウェア⁽²⁾⁽³⁾⁽⁴⁾を使用して各種計算やグラフ化を実施する。

実験およびシミュレーション計算は以下に示す仮定に基づいて行う。

- (1) Fig.1 において、試験片の上下方向は断熱条件とし、x, y 方向に 2 次元の温度場が存在する。
- (2) 試験片の根元温度は断面内で一定とする。
- (3) 熱伝達率は放熱面で一定とする。
- (4) x 方向の断面積は一定とする。
- (5) 温度分布は中心線対称とする。

3. 実験システムの運用法

実験システムの運用法を Fig.2 に示す。最初に実験を行い、試験片内部温度、冷却用低温流体入口・出口温度を測定する。その値を用いてシミュレーション計算に必要な熱伝達率を概算し、概算結果、フィン根元温度および低温流体温度を用いてシミュレーション計算を行う。低温流体の温度は入口・出口温度の平均温度を用いる。

実験結果とシミュレーション計算により得られた温度場を 3 次元グラフにより比較表示し、両者の誤差の原因等について検討する。その後、シミュレーション計算により求められた値(試験片内温度、フィン表面温度)を用いて定常状態での温度分布図を表示する。さらに、熱流ベクトル図を表示し、試験片内の熱の流れを視覚的に理解する。

Fig.2 Flow chart of experiment system

4. 実験およびシステム運用結果と考察

本実験における実験条件を Table.1 に示す。また、定常状態における温度場の実験およびシミュレーション計算結果の 3 次元グラフによる比較を Fig.3 に示す。Fig.3 の左側が実験値、右側がシミュレーション値であり、それぞれ試験片の左半分および右半分の温度場を示している。

図より、実験値における y 方向の温度降下が計算値と比較して大きくなっており、この傾向はフィン根元 ($x=0$ [mm]) に近いほど顕著に認められる。これは、両者のフィン根元温度の相違に起因するものと考えられる。すなわち、実験においては実験条件により根元温度が y 方向に減少してしまいが、計算値の場合、フィン根元温度は y 方向に一定としておりその影響が他の格子点での温度計算に及んでいるためフィン表面に近い ($y=20$ [mm]) 温度が実験値より高めに算出されているものと考えられる。この誤差要因をシミュレーション計算において考慮に入れることは可能であるが、実験者に考察させて教育効果を上げるために意識的に考慮しないことにした。また、x 方向の場合、実験値の方が根元から先端に向かって約 60 [mm] までは計算値より早く温度降下するが、その先は逆の傾向を示しており、先端部での内部温度は計算値の方が低くなっていることがわかる。これは、計算では平均熱伝達率を用いているのに対して、実験においては冷却水温度が根元付近では高温で先端部分が比較的低い温度になるというような不均一な温度分布となり、局所的に熱伝達率が変化しているためと考えられる。また、試験片に設けた熱電対挿用孔も誤差に影響を与えていると考えられる。これらの誤差要因も実験者の考察を促すためにシミュレーションでは考慮しないことにした。

Fig.4 にシミュレーション計算より作成された定常状態での温度分布図を示す。Fig.4 では、46 [°C] から 40 [°C] までは 1 色で 1 [°C] の温度範囲を示し、それ未満では 1 色で 0.5 [°C] の温度範囲を示している。この図により、試験片内部の温度分布状態が視覚化され、また、色の間隔から温度勾配も読み取ることがで

Table.1 Experimental conditions

平均熱伝達率 h [W/(m ² ·K)]	1200
フィン根元温度 t_0 [°C]	45.8
低温流体温度 (入口) [°C]	28.7
低温流体温度 (出口) [°C]	29.5
低温流体平均温度 t_a [°C]	29.1

Fig.3 Comparison between calculated and experimental temperature distribution

きる。さらにフィン内部の熱伝導の方向と大きさを図示するための熱流ベクトル図を Fig.5 に示す。図より放熱の大部分はフィン根元部で行われており、先端部での放熱は根元と比較すれば微少であることがわかる。このことから、フィンによる放熱の大部分は根元付近で行われていることが視覚的にも説明でき、また、適切なフィン形状の設計にこれらの計算が役立つことを理解させることが出来る。

Fig.4 Temperature distribution

Fig.5 Heat flux vector distribution

5. 結言

視覚的要素として 3 次元グラフによる温度場比較、温度分布図および熱流ベクトル図を表示することにより、実験者に対してより伝熱現象が理解しやすいものになったと考えられる。また、同時にシミュレーションを行いその内容に触れることにより理論的な理解も得られると期待される。今後、非定常での温度分布の表示や実験結果と計算結果との比較表示および温度場の変化過程を示す動画の表示を行うとともに、多層円管等の実験モジュール追加して、システムの充実化を進める必要がある。

参考文献

- (1) 一色・北山, 伝熱工学, 森北出版社
- (2) Laura Lemay and Charles L., Java 言語入門—アプレット・AWT—先進的機構, プレンティスホール出版
- (3) 赤間, Java によるプログラミング入門, コロナ社
- (4) 三浦, 初めての Java プログラミング, 朝倉書店