61 表面浮遊法を用いた熱交換器 フィン内部の流れの可視化

(株) 東芝 佐々木 富也* 久野 勝美
横野 泰之 田中 達夫

Flow Visualization of Heat Exchanger's Fins

Recent advancement of technology need the compactness of heat exchanger to be used in the air conditioner without lowering it's overall performance. It is well known that the performance of heat exchanger can be improved by introducing slits on the fin. However, the important problem here, is to choose the best possible slit pattern. In order to study the above mentioned problem, in the present work, experiment is carried out by using 10 times enlarged model fins of heat exchanger for flow visualization.

Results indicate fully developed laminar flow pattern in the case of flat parallel plate. In the case of alternative arrangement of the slits, it is observed that the flow is symmetrical downstream the second stage of alternative slit pattern. Comparison of the experimental flow pattern with the calculated heat transfer coefficient lead to the understanding that downstream the second stage, if slits are arranged in such a way that the flow interact with the slits in the portion where the flow velocity is high, it is possible to increase the heat transfer coefficient.

Tomiya SASAKI* , Katsumi HISANO* , Yasuyuki YOKONO* ,
Tatuo TANAKA*

1. はじめに

空調用熱交換器の小型化、高性能化が強く望まれており、熱交換器に関する研究が数多く行われている⁽¹⁾⁻⁽³⁾。空調用の熱交換器では空気と冷媒との間での熱の授受をする必要があり、フィンと空気との熱抵抗が熱交換器の性能を支配している。空気への熱伝達の向上を目的としてフィンにスリットを設け、その境界層更新効果を利用する試みが数多くなされている⁽⁴⁾。フィンの伝熱性能はフィン間の空気の流れにより決定され、現時点ではスリットパターンの決定が最も大きな問題となっている。しかし、スリットを持つフィン内部の流れについては不明な点が多い。

本論文では熱交換器のフィン部を拡大した模型を用い、可視化によってスリットパターンが流れに及ぼす影響について検討を行った。また、二次元数値解析によってスリットパターンによる伝熱特性を比較し、流れの可視化で得られた結果と比較検討した。

2. 実験装置及び方法⁽⁵⁾

図1に実験に用いた表面浮遊法による可視化用回流水槽を示す。この回流水槽は、遠心ポンプ、注入水槽、整流部、観測部、回収水槽からなる。水位は0~20mmの範囲で調節でき、観測部の最大流速は2m/sである。アクリル製の観測部には、水かさ調整部と整流部、トレーサ注入部が設けられ、その中央部には供試フィンがはめ込まれる。

*Toshiba Corporation, 4-1, Ukishima-cho, Kawasaki-ku, Kawasaki-shi, 210 Japan

可視化は表面浮遊法で行った。トレーサには、白色の水性塗料を用いた。混合比は水との体積比で20:1で、比重を調整するため界面活性剤を微量用いた。トレーサは、供試フィンの上流側に細い筆を水面に接する程度にホルダーで取り付けて注入を行った。タイムラインは、この筆で水面にすばやくラインを引き、約3秒間隔で光源をあてて行った。

図2に試験片を示す。実物の10倍の模型で、スリット長さ10mm、フィン間隔13mm、フィン厚1mm、高さ15mmである。このような試験片を互いにずらしつつ6列にならべることによりさまざまなスリットパターンの試験を行った。トレーサとのコントラストをつけるため、フィンは先端部を除いて黒色に塗装した。フィンの表面張力による流れへの影響を小さくするため、水面の高さをフィンの高さと同じ15mmに設定した。図3に実験に用いた供試フィンのスリットパターンを示す。type Aは平行平板形、type Bは、千鳥配列、type C、Dはいろいろなスリットパターンを組み合わせたものである。

熱交換器の入口流速1m/s、代表長さをフィン間隔の2倍とした時のレイノルズ数は実機で165である。実験は実機とレイノルズ数を一致させて行った。しかし、水の流速が 5.4×10^{-3} m/sと遅く流速の調整が難しいため、調整精度として $\pm 0.5 \times 10^{-3}$ m/sで行った。流速は、ポリエチレン粒子を試験片の上流側に浮かべ、流れる距離と時間から求めた。

Fig.1 Experimental apparatus for flow visualization

Fig.2 Fin model

Fig.3 Offset fin patterns

3. 結果

図4にタイムラインと流脈を示す。typeAでは、綺麗な層流であることがわかる。フィンとフィンの中の中央部が一番流れが速く、対称に放物線が描かれている。流脈の実験結果からは、フィンに入った流れはフィンに直交方向にはほとんど移動しない。typeBでは、スリットパターンが上下対称の千鳥配列であることから各スリットを中心にした上下対象の流れとなっている。フィン内部の流れは上下対象に蛇行しているものの、大きく主流の向きは変化しない。一段目のスリットから放物線状の流れが形成されるが、その最も流速の速い部分に二段目のスリットがあり、ここでの熱伝達の向上がうかがえる。

Fig.4 Flow patterns through offset fins

三段目以降、この放物線の先端はスリットに当たることではない。type C は主流がフィン内を斜めに直線状に流れ、スリット間のせまい隙間の流れが余り無い。これはスリット内主流路が斜め（図では右上方へ流路が形成されている）になっているため、この流路に沿った流れになる。type D は他の type よりも流れが複雑に曲げられている。主流路が鋸歯状となっているが流脈の結果から主流路の影響はさほど小さくなく、流れがスリット間の隙間を抜けながらフィンに平行に蛇行して流れていることが観察できる。

表 1 に各スリットパターンの熱伝達率と圧力損失を、二次元の数値解析で求めた結果を示す。この数値解析の支配方程式は、連続の式、運動方程式、エネルギー式である。細かな内容及び解法については参考文献⁽⁶⁾を参照されたい。解析領域は図 3 に示した点線部分で、フィンの前後も取り流れ方向に 200、フィン間隔方向に 52 に均等分割している。解析領域のフィン間隔方向は周期境界条件とし現象が連続的であるとしている。境界条件としてはフィン入り口流速 1m/s、出口は自由流出境界とした。また、フィン壁温度は一定温度とした。この表で、平行平板である type A を 1.00 とし各 type の熱交換率及び圧力損失率を求めた。熱交換率でみると type C, D が良く、圧力損失率では type C がいちばん悪い。この結果と流れのパターンと比較してみると、主流が真っ直ぐな方が圧力損失は小さく、速度の早い部分（放物線の先端）を後部のスリットに多く当ててやると、熱交換率が高くなる傾向を示した。

Table 1 Result by numerical analysis

	type A	type B	type C	type D
heat exchange ratio	1.00	1.42	1.45	1.45
pressure loss ratio	1.00	2.64	2.96	2.90

4. おわりに

フィンの可視化モデルを作製し、表面浮遊法によってスリットを設けたフィン内部の流れの可視化と二次元数値解析により伝熱特性の違いについて検討した。この結果、フィン内部流れのパターンと熱交換及び圧力損失が微妙に影響しあっていることがわかった。

参考文献

- (1) 藤井、瀬下、日本機械学会論文集 53-490 B, (1987), 1767.
- (2) Suzuki, K. et al., Int. J. Heat Mass Transfer, 28, (1985), 823.
- (3) 喜ほか 3 名、第 26 回日本伝熱シンポジウム講演論文集、(1989), 523.
- (4) 棚沢、日本冷凍協会論文集、Vol. 5, No. 1 (1988), 1-13.
- (5) 佐々木ほか 5 名、熱交換器フィン内部の流れ、流れの可視化写真集 NO. 7, pp50-51.
- (6) 横野、日本機械学会論文集 57-544 B 編、(1991. 12), 4223-4228.