

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 5 月 22 日現在

機関番号：12601

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2015～2016

課題番号：15K13880

研究課題名(和文) 超薄型扁平多孔管を用いたエアコン用フィンレス熱交換器の研究開発

研究課題名(英文) Finless heat exchangers for air conditioners using ultra-thin flat multi-port tubes

研究代表者

飛原 英治 (Eiji, Hihara)

東京大学・大学院新領域創成科学研究科・教授

研究者番号：00156613

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,100,000円

研究成果の概要(和文)： エアコンの熱交換器はこれまで直径6～8mmの銅管にアルミフィンを圧着したものが使用されていたが、一層の高効率化と冷媒封入量の削減を目指して、扁平多孔管を用いたオールアルミ製フィンレス熱交換器を開発することを目的とした。フィンがないことで凝縮水や着霜融解水の排水問題は解決される。具体的には、薄型扁平多孔管内流動、沸騰熱伝達特性を実験的に明らかにし、適した扁平多孔管形状を検討した。空気側伝熱促進のための渦発生器を考案し、その有効性を実験とCFDにより示した。また、入口ヘッダ部の気液二相流の分配特性を可視化し、良好に分配されるヘッダ部構造を提案した。

研究成果の概要(英文)： Heat exchangers for air conditioners are conventionally made of copper tubes with a diameter of 6 to 8 mm crimped with aluminum fins. In order to improve the efficiency and reduce the amount of charged refrigerant, this research aimed to develop an aluminum finless heat exchanger using multi-port flat tubes. Since there is no fin between the tubes, drainage problems of condensed water and defrosted water are solved. Specifically, the flow pattern and the boiling heat transfer characteristics inside the multi-port flat tubes were experimentally clarified, and a suitable cross-sectional geometry of the tube was examined. A vortex generator for enhancing air-side heat transfer was proposed, and its effectiveness was verified by experiments and CFD. The distribution of gas-liquid two-phase flow in the inlet header was visualized, and an effective header structure was proposed.

研究分野：熱工学

キーワード：熱交換器 冷凍空調機器

1. 研究開始当初の背景

エアコンの熱交換器はこれまで 6~8mm の銅管にアルミ製フィンを押着したものが使用されてきた。伝熱管直径をもっと細くすれば伝熱性能が向上することがわかっているが、製造上の問題から、実現されていない。自動車用冷房専用エアコンでは扁平多孔管を用いたサーペントイン形熱交換器が用いられているが、それをエアコンに用いると、暖房運転時には着霜・除霜問題が発生し性能低下が著しい。本研究では、超薄型扁平管を多数並べることにより伝熱面積を増やし、空気側にフィンを設けなくてもよいオールアルミ製熱交換器の開発を目指す。学術的には、流路直径 0.5mm 以下の伝熱管での蒸発・凝縮熱伝達の確保、圧力損失の低減、空気側熱伝達の向上が課題となる。

ルームエアコン用熱交換器はチューブ・フィン熱交換器からオールアルミ製平行フロー熱交換器へという大きな流れがある。平行フロー熱交換器は高価な銅管を使わないので省資源、コスト削減、軽量化が可能なこと、伝熱性能が優れているので省スペース、省エネなどの効果も期待できる。しかし、平行フロー熱交換器は、空気側伝熱面積を拡大するために、図 1 のような切欠きを設けたフィンに密に挿入する必要がある。このようなフィンは空気中の水分が凝縮したときの排水性の問題や、着霜したときの除霜水の排出の問題などがあり、期待通りの性能を発揮することができない。

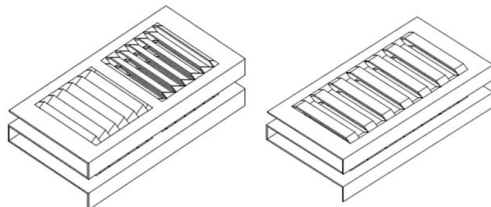


図1 ルーバフィンとスリットフィン

2. 研究の目的

本研究では薄い扁平多孔管を開発し、空気側にフィンを挿入しないフィンレス熱交換器の開発にチャレンジした。従来の扁平多孔管は図 2 の通りである。

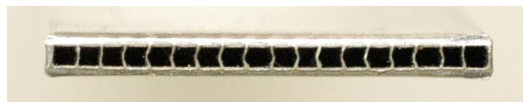


図2 従来の矩形断面扁平多孔管

3. 研究の方法

具体的な研究課題は以下の通りである。

(1) 厚さ 0.6mm 以下の超薄型扁平多孔管を製作する。多孔管内を冷媒が流れて十分な熱交換をするとともに、潤滑油を含む場合でも圧力損失が許容範囲内であるように、流路形状の最適化を行う。

(2) フィンをなくすと空気側伝熱性能が低下するので、それを改善するために、有効な渦促進体を設置する。伝熱改善と空気側の流動抵抗増大とのトレードオフ問題を解決する。

開発する熱交換器のイメージは図 3 のようであるが、ヘッダ部における冷媒の均等分配が性能に大きく影響する。冷媒が気液二相流で流入するとき不均等分配が起きやすいので、均等分配できる構造とする。

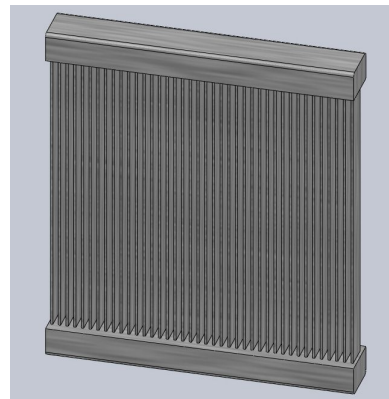


図3 フィンレス熱交換器のイメージ図

4. 研究成果

(1) 扁平多孔管内熱伝達の研究

フィンレス熱交換器用に図 4 に示す 3 種類のアルミ製扁平多孔管を製作した。管 A と B はともに厚さが 0.6mm であるが、細管のアスペクト比が異なる。管 C は厚さが 1.5mm の通常管である。

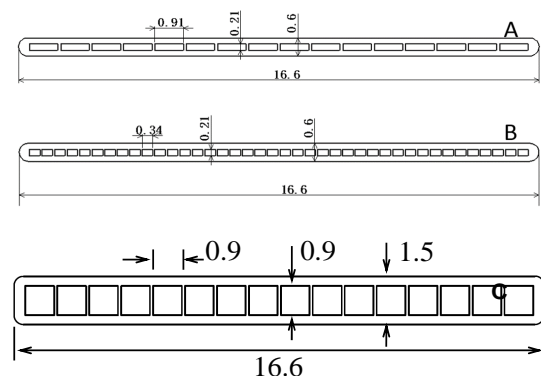


図4 製作したアルミ製扁平多孔管

伝熱管内の蒸発熱伝達率を測定するにあたって、実験条件は以下のとおりである。

加熱方法：通電加熱

冷媒：R1234yf

熱流束：3-16 kW/m²

質量流束：60 - 240 kg/m²s

蒸発温度：15

熱伝達率の実験結果の例を図 5 に示す。横

軸は乾き度である。細管径の大きい管Cが最も高い熱伝達率を示し、管AやBではドライアウトが起こりやすく、熱伝達率は乾き度の上昇とともに低下する傾向がある。管AとBを比較すると、細管断面が正方形に近い管Bの方が、熱伝達率性能が高いことが分かった。

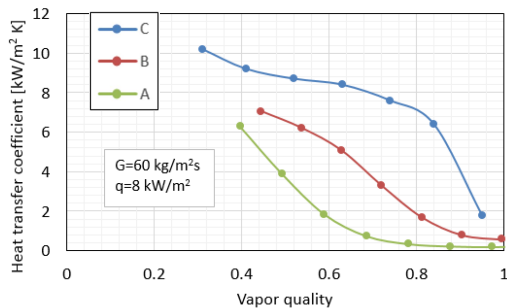


図5 管内熱伝達率の比較例

圧力損失の実験結果を既存の相関式と比較をしたところ、Lockhart-Martinelli 相関式が最も精度よく予想できることが分かった。

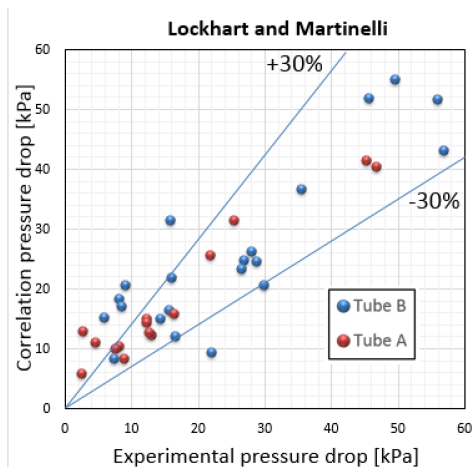


図6 圧力損失の既存相関式との比較

(2) 空気側熱伝達の促進

フィンレス熱交換器の特性の把握と空気側熱伝達の促進効果の検証のため、まず、フィン付き熱交換器を作成し、その性能を明らかにした。フィンにはスリットまたはルーバーの切り欠きがつけられている。その概要を表1に示す。

表1 フィン付き熱交換器一覧

Name	Fin type	Fin pitch (mm)	Heat transfer area	
			Tube area (m ²)	Fin area (m ²)
S 1.2	Slit	1.2	0.126	0.775
S 1.4	Slit	1.4	0.126	0.664
L 1.2	Louvered	1.2	0.126	0.775
L 1.4	Louvered	1.4	0.126	0.664
L 1.6	Louvered	1.6	0.126	0.581

熱交換器が蒸発器として使用されること

を想定し、熱交換器表面が乾いている場合、水分が凝縮している場合、着霜・除霜を繰り返す場合について実験を行った。図7に凝縮水で湿っている場合の圧力損失の結果を示す。フィンピッチが1.2mmまたは1.4mmの熱交換器では、凝縮水がフィン内にとどまり、圧力損失が高くなっている。図8は着霜と除霜を繰り返す実験での圧力損失の結果である。フィンが存在すると除霜したときの水がフィン間にとどまり、大きな圧力損失の原因になっていることがわかる。除霜水の排水問題が大きな問題であることが確認できた。

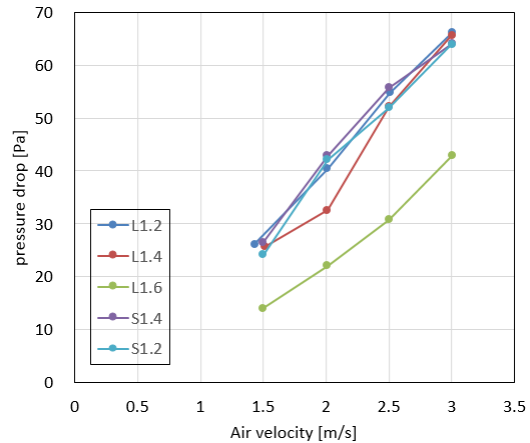


図7 凝縮水で湿った状態での圧力損失

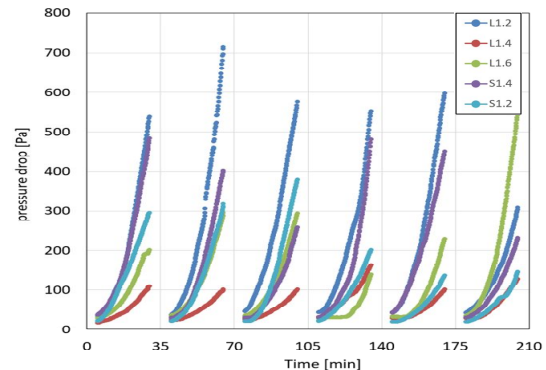


図8 着霜・除霜を繰り返すときの圧力損失

フィンレス熱交換器では凝縮水や除霜水の排水問題を解決することができるが、空気側伝熱性能が悪いため、全体的な伝熱性能が低下する。この伝熱問題を改善するために、縦渦発生器を考案した。縦渦発生器をフィンレス熱交換器の前方に配置し、管の間に縦渦を通過させ、縦渦により熱伝達率を向上させる。その概念図を図9に示す。

フィンレス熱交換器に縦渦発生器をつけて、着霜・除霜条件で実験した熱伝達率結果を図10に、圧力損失結果を図11に示す。図10の凡例は図11と同じである。図10によると、フィンレス熱交換器単独の熱伝達率はフィン付き熱交換器よりかなり小さいが、縦渦発生器をつけることにより、フィン付き熱交換器と同等になることが分かる。図11の圧力損失については、フィンレス熱交換器単独

も縦渦発生器付きも 100Pa 以下で十分小さいことが分かった。

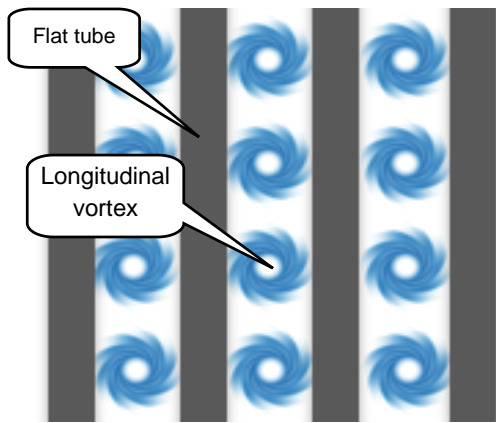


図 9 縦渦発生器の概念図

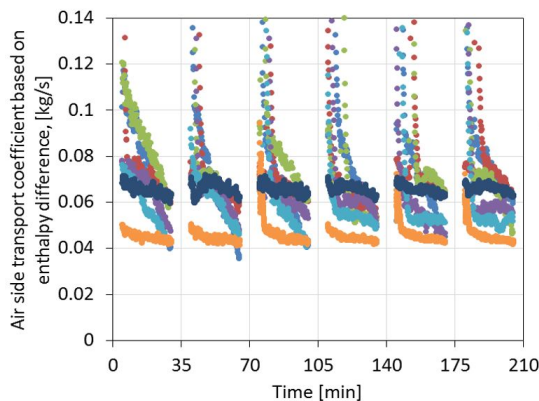


図 10 着霜・除霜時の伝熱性能

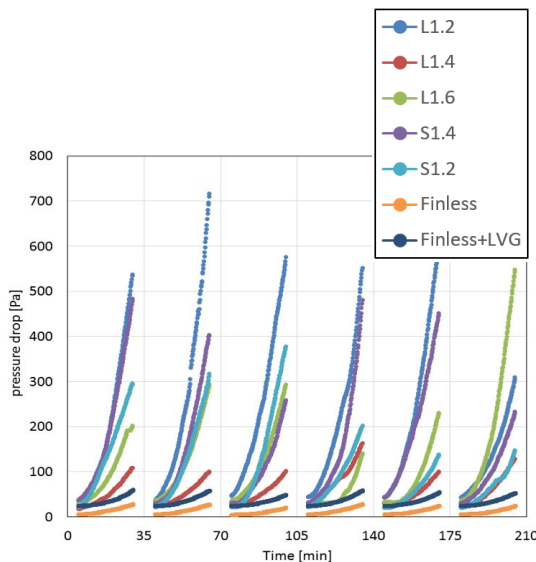


図 11 着霜・除霜時の圧力損失

以上のように、厚さ 0.6mm の扁平多孔管を用いたフィンレス熱交換器を製作し、縦渦発生装置を取り付けることにより、フィン付き熱交換器と同様の伝熱性能を有し、凝縮水や除霜水の排水問題が解決されることを示した。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 0 件)

〔学会発表〕(計 3 件)

“Heat transfer enhancement in a parallel finless heat exchanger using a longitudinal vortex generator,” Jiyang Li, Chaobin Dang, Eiji Hihara, Fourth International Forum on Heat Transfer IFHT2016, 2-4, November, 2016, Sendai International Center (Sendai, Japan).

“Effects of lubricating oil on flow boiling heat transfer of low-global-warming-potential refrigerant in mini-channel multiport tubes,” S. Saitoh, C. Dang and E. Hihara, 27th International Symposium on Transport Phenomena ISTP27, 20-23 September, 2016, ISTP27-138, Honolulu, USA.

“Experimental Investigation on Upflow Boiling of Low GWP Refrigerant in Aluminum Multi-port Extruded Tubes,” Jiyang Li, Chaobin Dang, Eiji Hihara, International Refrigeration and Air Conditioning Conference at Purdue, 11-14, July, 2016, West Lafayette, USA.

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況(計 2 件)

名称：冷凍サイクル装置

発明者：飛原英治、党超鋹、李霽陽、小宮佑太、石橋晃、東井上真哉、伊東大輔、前田剛志、中村伸、赤岩良太、八柳暁

権利者：東京大学，三菱電機

種類：特許

番号：PCT/JP2016/079499

出願年月日：2016年10月4日

国内外の別：国外

名称：渦発生装置及び冷凍サイクル装置

発明者：飛原英治、党超鋹、李霽陽、小宮佑太、石橋晃、東井上真哉、伊東大輔、前田剛志、中村伸、赤岩良太、八柳暁

権利者：東京大学，三菱電機

種類：特許

番号：PCT/JP2016/079500

出願年月日：2016年10月4日

国内外の別：国外

6. 研究組織

(1) 研究代表者

飛原 英治 (Hihara, Eiji)

東京大学・大学院新領域創成科学研究科・教授

研究者番号：00156613

(2) 研究分担者

党 超鋹 (Dang, Chaobin)

東京大学・大学院新領域創成科学研究科・
准教授
研究者番号：30401227

(3)研究協力者

齋藤 静雄 (Saitoh, Shizuo)
東京大学・大学院工学系研究科・助教
研究者番号:60170502

李 霽陽 (Li, Jiyang)
東京大学・大学院新領域創成科学研究科・
博士課程3年