

自動販売機の高効率熱交換器

High Performance Heat Exchanger for Vending Machines

土屋 敏章 TSUCHIYA Toshiaki

倉 馨 KURA Kaoru

自動販売機は、環境負荷の低減を図るため消費電力の低減が求められている。消費電力の低減には冷却ユニットの運転効率向上が必須であり、高効率熱交換器を開発した。熱交換器の性能向上を図るため、フィンにはルーバフィンを採用し、形状を最適化した。また、配管は管内に細穴を複数持つ多孔管を用い、解析と実験で性能の検証を行い、最適化を図った。開発した熱交換器を自動販売機に組み込んで実験した結果から、年間消費電力量を7%低減できることを確認した。また、アルミニウム管と銅管の接合は電位差から腐食が促進されるため、中間材料を介した新接合法で腐食を防止した。

To reduce the environmental impact of vending machines, it is necessary to reduce their power consumption. In order to reduce power consumption, it is essential to improve the operating efficiency of the cooling unit, so that we have developed a high-performance heat exchanger. To enhance the performance of the heat exchanger, we use louver fins and optimize the shape of the fins. For the pipe system, we use perforated pipes which have multiple tiny holes within the pipes, and we optimize their performance through analysis and experiment. From the results of experiments using our new heat exchanger in vending machines, we confirmed that annual power consumption can be reduced by 7%. Also, as the difference in electric potential speeds corrosion of connections between aluminum pipes and copper pipes, we implement intermediate materials in a new method of pipe connection to prevent corrosion.

1 まえがき

飲料自動販売機の主力である缶・ボトル飲料自動販売機の国内の設置台数は、約250万台と幅広く普及している。国内の電力使用量の1%弱を占める飲料自動販売機には、地球温暖化防止の観点から消費電力の低減が求められている。その中で、缶・ボトル飲料自動販売機は、2002年12月に「エネルギーの使用の合理化に関する法律」(省エネ法)の特定機器に指定され、消費電力の低減が必須となった。

富士電機は、この缶・ボトル飲料自動販売機において庫内の気流制御や断熱強化などのさまざまな改良を行い、消費電力の低減を図ってきた。近年では、冷却ユニットの排熱を利用して商品の冷却と同時に加熱も行うヒートポンプ方式を開発した。さらなる消費電力の低減を図るには、冷却ユニットで生成される冷熱・温熱を効率良く、庫内の空

気に伝熱することが必要である。そこで、従来のフィン&チューブ熱交換器と比較して冷媒から空気への熱移動が容易で、熱交換性能を大幅に向上できるオールアルミニウム熱交換器を開発した。

2 自動販売機の構造と省エネルギーの考え方

2.1 自動販売機の構造

缶・ボトル飲料自動販売機の内部構造を図1に示す。缶・ボトル飲料自動販売機は商品を冷却または加熱して販売するが、季節により冷却用と加熱用飲料商品では販売量の比率が変動する。このため、庫内を複数の室に分割するとともに、各室内で冷却・加熱を個別に行うことができる構造にして、季節ごとの販売量に合わせて冷却用と加熱用の商品の収容比率が調整できるようになっている。また、飲料商品の冷却や加熱には、各室内に設置された庫内熱交

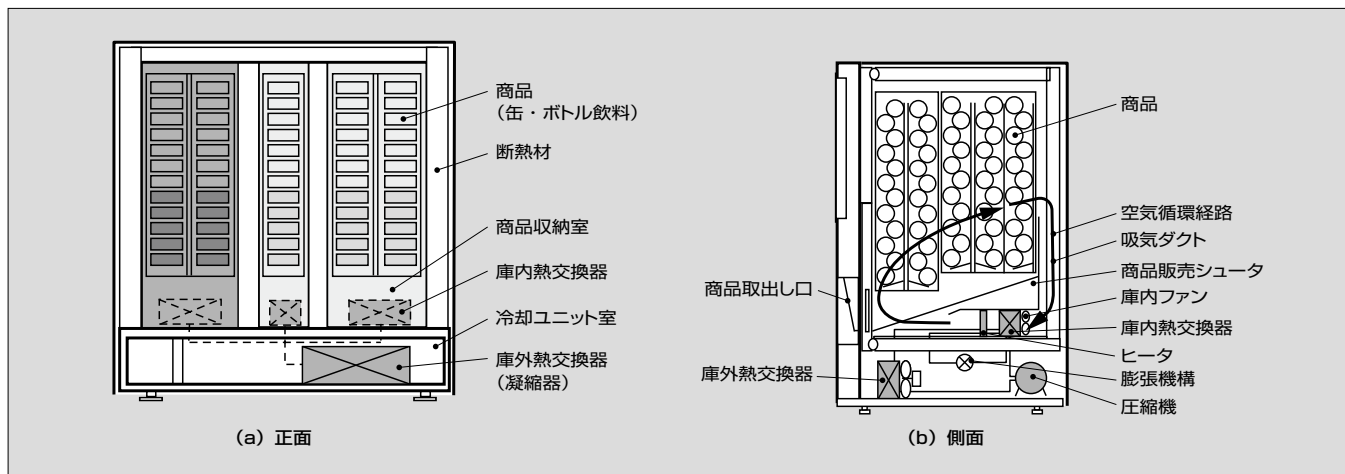


図1 缶・ボトル飲料自動販売機の内部構造

換器やヒータで生成した冷熱・温熱を庫内ファンで空気を循環させることで行っている。

今回開発したオールアルミニウム熱交換器を、庫内熱交換器と庫外熱交換器に適用することで、空気と冷媒の熱交換性能を向上し、冷却ユニットの性能向上を図る。

2.2 省エネルギーの考え方

成績係数 COP (Coefficient of Performance) は、エアコンや冷凍機などのエネルギー消費効率を示す指標である。圧縮機の入力という入力エネルギーに対して、冷却・加熱能力という出力エネルギーが何倍になるかを示すものである。

従来の缶・ボトル飲料自動販売機に用いていたフィン & チューブ熱交換器を、熱交換性能の高いオールアルミニウム熱交換器に代えることで、次に示す効果が得られ、COPの向上を図ることができる。

- (a) 庫外熱交換器の高性能化
 - 放熱量増加で冷却運転時の凝縮温度の低温度化
- (b) 庫内熱交換器の高性能化
 - 蒸発温度の高温化による圧縮比（高圧圧力/低圧圧力）の低減
 - 熱抵抗低減による冷却，加熱能力の増加

3 アルミニウム熱交換器の高効率化

3.1 オールアルミニウム熱交換器の構造

図2にオールアルミニウム熱交換器を、図3に多孔管を示す。オールアルミニウム熱交換器は、内部に複数の細い流路を持つ多孔管を図3のように曲げ加工する。この多孔管にフィンおよびヘッダーを組み付けて、炉中にて全体をろう付して製造する。

3.2 高効率化の原理

熱交換器の交換熱量は、式(1)で求められる。

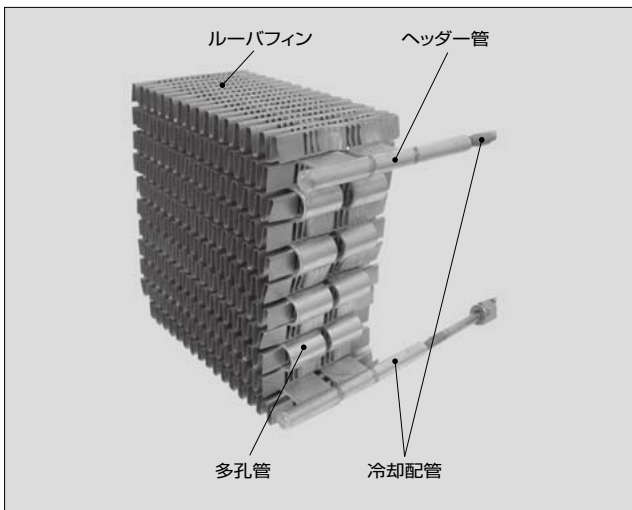


図2 オールアルミニウム熱交換器

$$Q = k \cdot A \cdot \Delta T \dots\dots\dots(1)$$

k : 熱通過率（熱抵抗の逆数）

A : 空気との伝熱面積

ΔT : 空気と冷媒の温度差

式(1)から分かるように、熱交換量を増加させるには、熱通過率 k や空気との伝熱面積 A 、空気と冷媒の温度差 ΔT のいずれかを大きくすることが必要である。フィン & チューブ熱交換器とオールアルミニウム熱交換器の断面構造の比較を、図4に示す。オールアルミニウム熱交換器は従来のフィン & チューブと構造が大きく異なる。この構造の違いによって次に示す効果が得られ、熱交換器の外側を流れる空気から配管内を流れる冷媒間の熱コンダクタンスの増加を図ることができる。

- (a) 細い冷媒配管流路を複数持つ多孔管構造となっているため、冷媒と配管内表面の伝熱面積が増加する。
- (b) フィンを波型形状にしたことで、フィンと多孔管表面の接触面積が拡大する。
- (c) フィン & チューブ熱交換器は図4に示す冷媒配管を内側から拡管してフィンと接合していたが、オールアルミニウム熱交換器はフィンと多孔管をろう付接合で一体化したことにより、接触熱抵抗が低減できる。



図3 多孔管

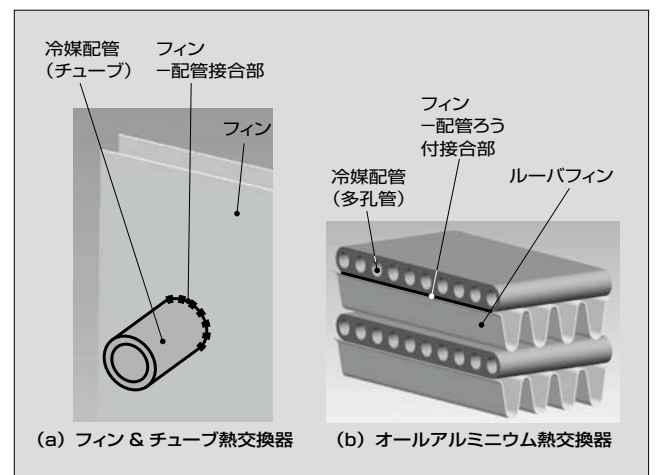


図4 熱交換器の断面構造

(d) ルーバフィン適用によるフィン表面の熱伝達率が向上する。

4 熱交換器の設計時における性能向上

高効率熱交換器の開発では、熱交換性能に大きく影響するフィンのルーバ形状の最適化を図った。また、熱交換器内で圧力損失が増大すると冷却ユニットの運転効率が低下するため、多孔管の内部流路で冷媒の圧力損失が増大しないように、形状検討を行った。

4.1 フィンのルーバ形状検討

大幅な熱交換効率の向上を狙い、フィンには表面の空気の流れを乱して熱伝達率を向上させることが可能なルーバフィンを選定した。図5に、ルーバフィンの外観およびルーバ部の断面図を示す。汎用熱流体解析プログラム(STAR-CD)を用いて、ルーバフィン表面の流れ解析を行い、熱伝達率に大きな影響を及ぼす迎角などの形状の最適化を図った。

図6の解析結果から分かるように、従来の熱交換器に用いていたフラットフィンはフィン表面の流れの乱れが少ないので、フィン近傍を流れる空気の温度だけが低くなっている。一方、ルーバフィンでは流入した空気がルーバ間を

流れ、図6(b)に示すように蛇行した流れとなるため、フィン表面が空気で攪拌(かくはん)され、熱交換性能が向上している。

図7に、ルーバの基準迎角に対する迎角比(迎角/基準迎角)とフィン表面の平均熱伝達率の関係を示す。この結果から、ルーバフィンの迎角により熱伝達率の最大値(最適値)が存在することが分かった。迎角比で平均熱伝達率が変化する要因は、迎角比によりフィン間を流れる空気の流動状態が異なるためである。迎角が小さい場合は、ルーバ間の距離が短くなるため、通風抵抗が増大し、ルーバ間を流れる空気の流量が減少する。一方、迎角比を大きくしすぎると、空気の流入量は増えるもののフィン下流側に流れの剥離が発生し、フィン表面の熱伝達率が低下する。この結果、適度にルーバフィン間に空気が流れかつ剥離が発生しない条件の迎角比で熱伝達率が最大となる。

4.2 多孔管形状の検討

多孔管内を流れる冷媒の圧力損失が増大すると、冷却ユニットの運転効率が低下する。そのため、圧力損失が従来のフィン&チューブ熱交換器と同程度になるような流路形状を検討した。

図8に、多孔管内の流路面積比と冷媒圧力損失の計算結果を示す。流路面積比(流路面積/基準流路面積)を大き

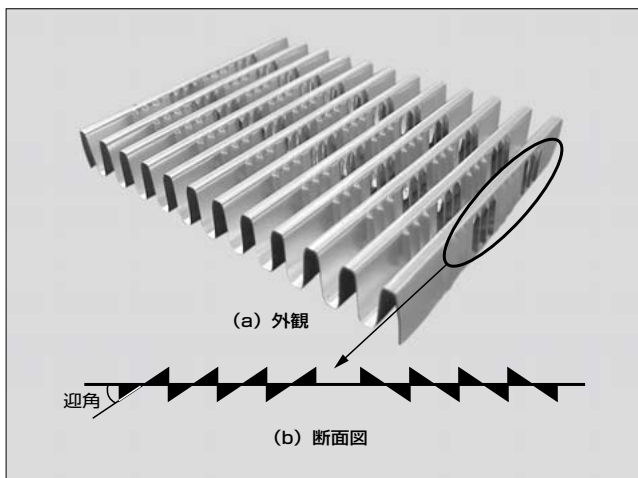


図5 ルーバフィン

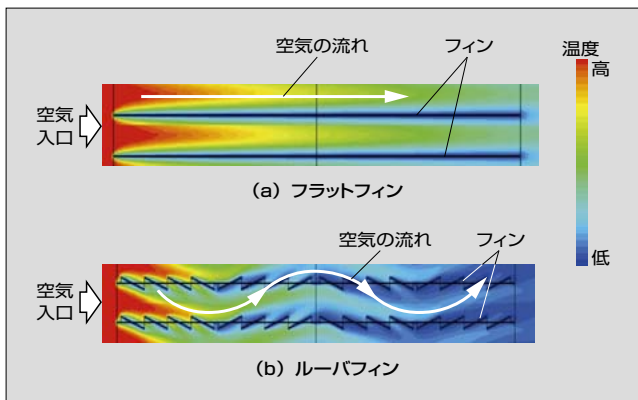


図6 フィン表面の流体解析結果

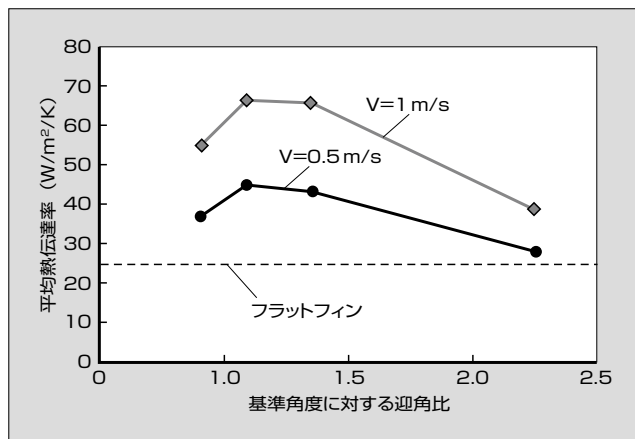


図7 迎角比と平均熱伝達率

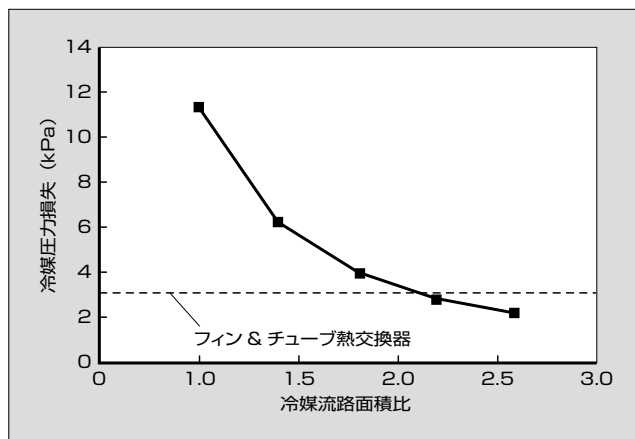


図8 多孔管内の流路面積比と冷媒圧力損失の計算結果

くするほど冷媒の圧力損失は低下し、流路面積比 2.2 以上で従来のフィン & チューブ熱交換器と同程度になることが分かった。

5 実験結果

4章の検討結果を踏まえ、アルミニウム熱交換器の試作実験を行った。

5.1 オールアルミニウム熱交換器の単体実験結果

熱交換性能および空気側の圧力損失は、オールアルミニウム熱交換器を風洞実験装置に設置し、内部に温水を流して実験を行った。前面風速を変えて空気側の圧力損失を測定した。また、多孔管内の冷媒圧力損失は、オールアルミニウム熱交換器を冷却ユニットに組み込んで、実際と同じ運転を行いながら測定した。

(1) 熱交換性能の実験結果

図 9 に温水を用いた熱交換器単体での実験結果を示す。オールアルミニウム熱交換器はフィン & チューブ熱交換器と比較して、全ての前面風速で熱コンダクタンス（熱伝導能力）が向上した。また、フィン & チューブ熱交換器に対して 2～2.5 倍ほど熱通過率が向上した。

(2) 多孔管内の冷媒圧力損失の実験結果

自動販売機にオールアルミニウム熱交換器およびフィン & チューブ熱交換器を搭載した冷却ユニットを組み込み、実際の運転状態での圧力損失の比較を行った。その結果、冷媒の圧力損失はオールアルミニウム熱交換器で 9 kPa、フィン & チューブ熱交換器で 3.5 kPa となった。オールアルミニウム熱交換器の方が圧力損失が 5.5 kPa 増加しているが、冷却ユニットの消費電力量の増加は 0.1% 以下で、性能に影響を及ぼさないことを確認した。

(3) 空気側の圧力損失の実験結果

フィンルーバフィンに変更することで、空気側の圧力損失が増加し、庫内を循環する空気流量が低下することが予想された。オールアルミニウム熱交換器は、フィンピッチを従来のフィン & チューブ熱交換器より 1 mm 程度大きくし、空気側の圧力損失増加を防止した。

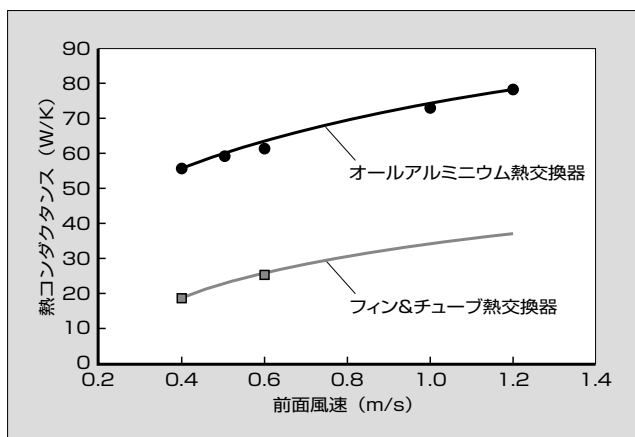


図 9 前面風速と熱コンダクタンス

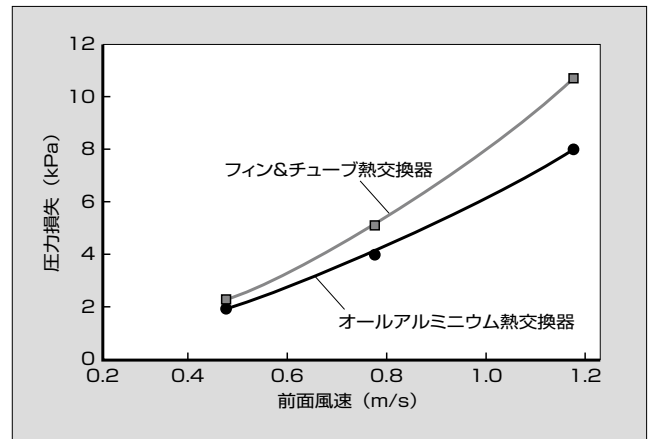


図 10 空気側圧力損失の測定結果

図 10 に空気側圧力損失の測定結果を示す。空気側の圧力損失はフィン & チューブ熱交換器と比較して小さくなっており、フィンピッチを大きくした効果が得られている。

5.2 自動販売機組込み評価

オールアルミニウム熱交換器を、缶・ボトル飲料自動販売機に組み込んで評価を行った。本評価では、冷却ユニットの庫内および庫外の熱交換器のみを、フィン & チューブ熱交換器からオールアルミニウム熱交換器に変更し、JIS に基づいて消費電力を測定した。この結果、オールアルミニウム熱交換器は従来のフィン & チューブ熱交換器に対して、年間消費電力量は約 7% 低減できることを確認した。

6 製造方法の検討

オールアルミニウム熱交換器は、フィン-多孔管および多孔管-ヘッダー（冷媒出入口管）のろう付を、量産時は連続炉で行う。なお、ろう付の品質を確保するため窒素ガス雰囲気置換によるノコロック炉（アルミニウム材溶接）を用いた。フィンは心材の両面にろう材を圧着によりクラッドした三層構造となっている。ノコロック炉で加熱することによって表面のろう材が溶解し、その溶解したろう材が毛細管現象により、多孔管との隙間に充填されてろう付接合される（図 11）。

また、オールアルミニウム熱交換器のヘッダーと冷却回

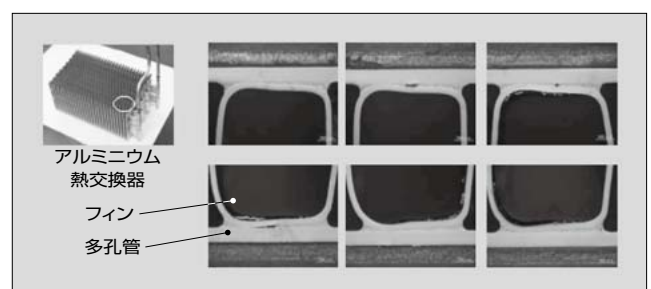


図 11 フィン-多孔管ろう付断面

路配管（銅管）を接続する接続パイプは、ヘッダーと銅管の間にステンレス管を介した配管接続を行っている。この理由は、銅-アルミニウム間の電位差が0.65 Vと大きく、直接接合時に異種金属接触腐食による不具合発生の恐れがあるためである。これを防止するため、銅-アルミニウムの中間電位材料のステンレス鋼管を、銅とアルミニウムの間に挟むろう付接合構造とした。アルミニウムステンレス鋼-銅管の接合部を樹脂製の防水材料で覆い、管接合部表

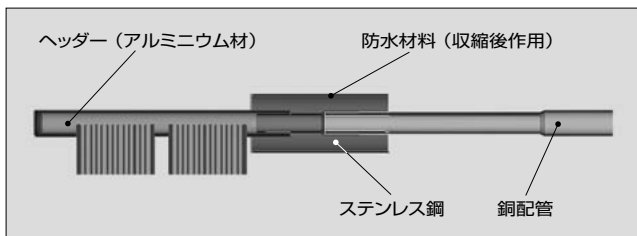


図12 接続管

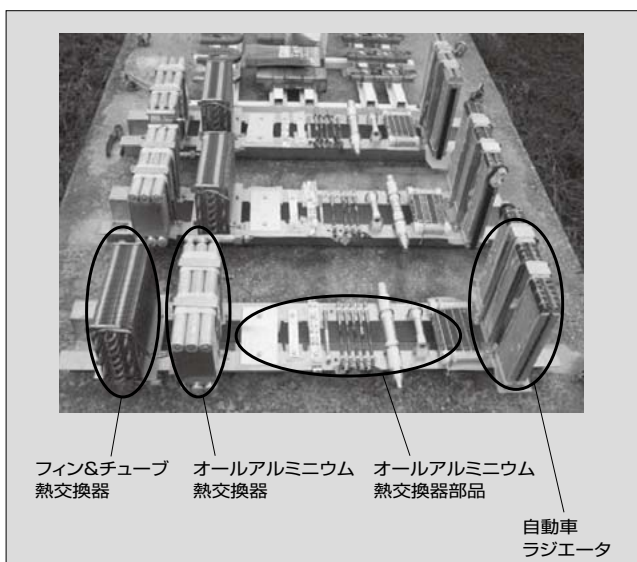


図13 腐食試験・屋外曝露試験（宮古島）

面の結露の付着を防ぎ腐食を防止している（図12）。

さらに屋外環境における多孔管の腐食を防止するため、多孔管表面に亜鉛溶射を行い、炉中ろう付の高温で亜鉛を表面から浸透させ、アルミニウムよりも電位が低い亜鉛で電気化学的に保護し、多孔管の腐食を防止することができる。このことは、屋外曝露（ばくろ）試験においてその効果を確認している（図13）。

7 あとがき

自動販売機の高効率熱交換器について述べた。缶・ボトル飲料自動販売機において、オールアルミニウム熱交換器を搭載することにより、従来の自動販売機に対して約7%の年間消費電力量低減が実現できた。

これまで進めてきた消費電力低減技術をさらに進化させ、今後も環境にやさしい製品の開発に取り組んでいく所存である。

参考文献

- (1) 福島繁人. 自動販売機における省エネルギーに関する法的規制の動向. 富士時報. 2009. vol.82. no.4. p.(7)-(10).



土屋 敏章

自動販売機の研究・開発に従事。現在、富士電機リテイルシステムズ株式会社生産・開発本部技術・開発室基盤技術部マネージャー。日本機械学会会員、日本冷凍空調学会会員、日本伝熱学会会員。



倉 馨

自動販売機の設計に従事。現在、富士電機リテイルシステムズ株式会社生産・開発本部三重工場設計部主任。



*本誌に記載されている会社名および製品名は、それぞれの会社が所有する
商標または登録商標である場合があります。