

ハイブリッドヒートポンプ飲料自動販売機

Hybrid Heat Pump Beverage Vending Machines

滝口 浩司 TAKIGUCHI Koji

高松 英治 TAKAMATSU Eiji

飲料自動販売機の省エネルギー（省エネ）技術の主流であるヒートポンプ技術の理想を追求し、究極の省エネ機“ハイブリッドヒートポンプ飲料自動販売機”を開発した。従来のヒートポンプは、冷却室の熱のみを加熱室に利用する庫内熱利用方式であったが、外気の熱も利用して庫内と熱利用を切り替えるハイブリッドヒートポンプ方式を開発し、搭載した。また、周囲環境の変化に応じて能力を調整するインバータ圧縮機と、各熱交換器の冷媒流量を調整する新型電子膨張弁を開発した。これらを最適に制御することで、年間を通して大幅な消費電力量を削減できる。

In our pursuit of the ideal heat pump technology, which is the mainstream in energy-saving technology for beverage vending machines, we have developed the “hybrid heat pump beverage vending machine”, the ultimate energy-saving machine. Conventional heat pumps employed an internal heat-using system that only uses heat of the cooling compartment for the heating compartment. However, we have developed and installed a hybrid heat pump system that also uses external air heat and can switch between use of external heat and internal heat. We have also developed an inverter compressor that regulates the refrigerating capacity according to changes in the environment and a new electronic expansion valve that regulates the flow of refrigerant through each of the heat exchangers. Through optimal control of these functions, it is possible to greatly reduce power consumption throughout the year.

1 まえがき

自動販売機業界では、2002年に缶・ボトル飲料自動販売機が「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て以来、省エネルギー（省エネ）の技術開発を積極的に進めてきた。さらに、2011年3月の東日本大震災以降の電力不足によってピーク電力の25%削減が求められ、自動販売機業界は、自動販売機の消灯やグループ分けによる輪番制で冷却運転を停止し、節電を行った。自動販売機は、冷たい飲料をどこでも購入で

きる利便性を提供してきたが、今後は、社会情勢の変化に応じて大幅な電力削減に取り組んで社会にいっそう貢献する必要がある。

2 開発の背景

富士電機は、図1に示すように以前から省エネ技術開発を進めている⁽¹⁾。断熱技術や省エネ制御、冷却装置の効率向上など広い範囲で省エネに取り組み、2008年からは缶・ボトル飲料自動販売機において冷却時に発生する熱を加熱

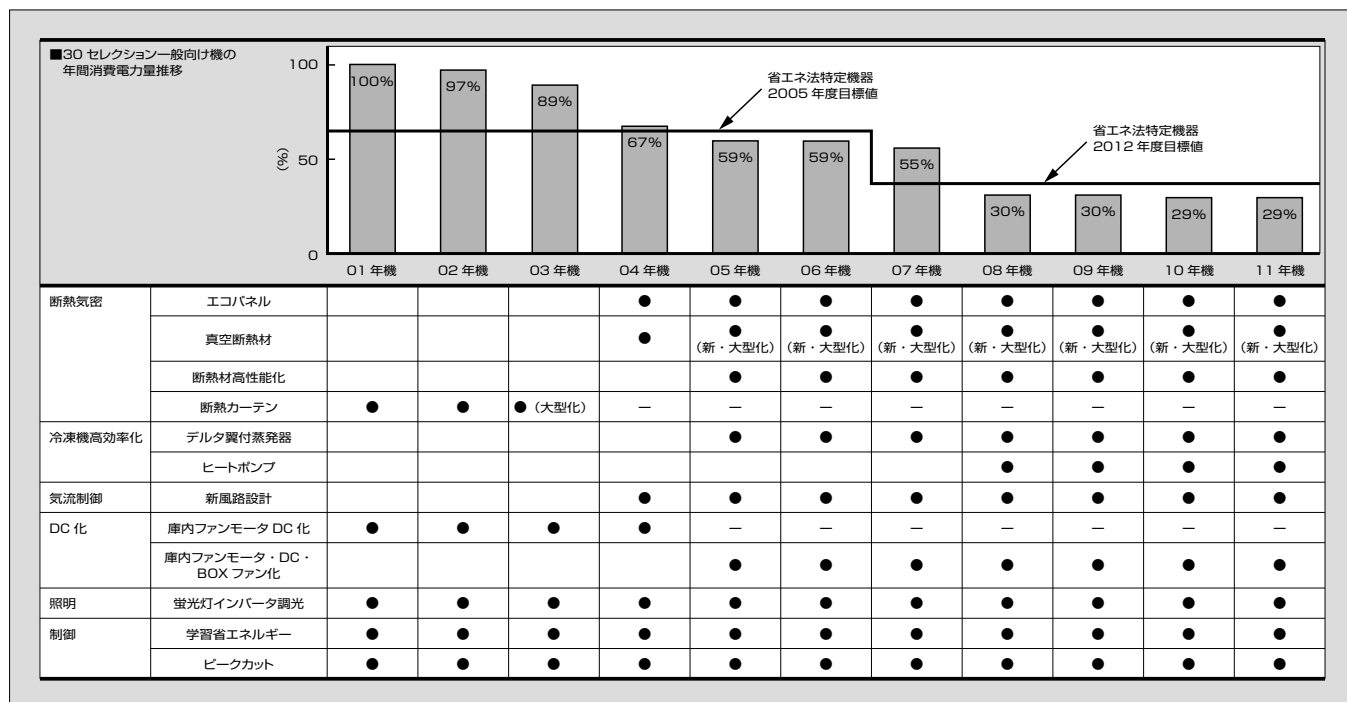


図1 省エネルギーのこれまでの成果

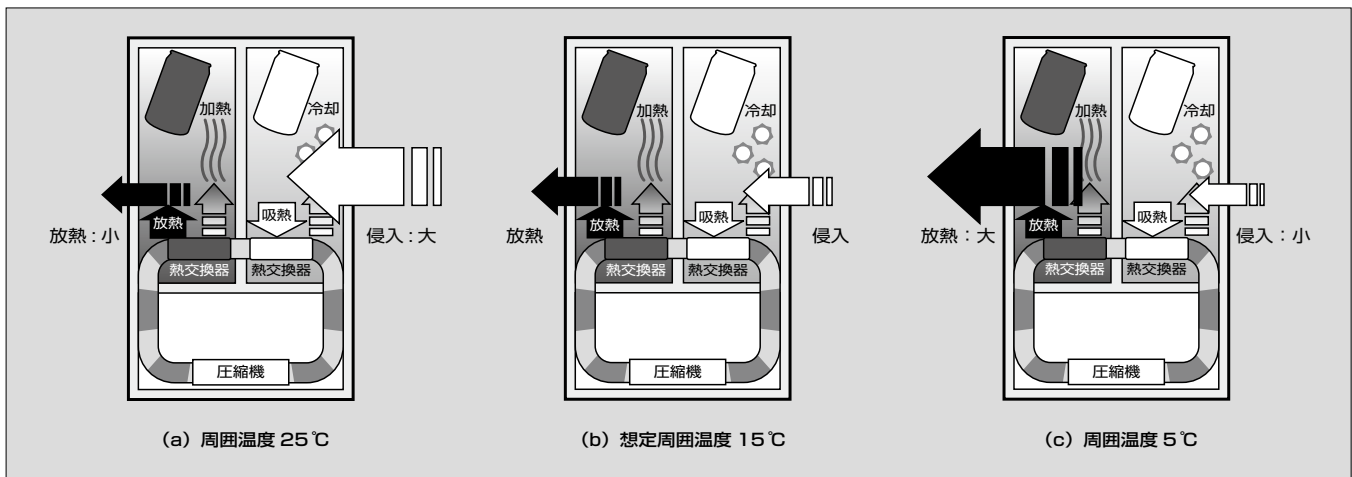


図2 周囲温度による熱の侵入と放熱のバランス

に利用するヒートポンプ技術を開発し、消費電力量を大幅に削減している。2012年現在、ヒートポンプ技術を適用した缶・ボトル飲料自動販売機の富士電機における出荷割合は約95%を占め、省エネ機の主流となっている。

ヒートポンプの言葉の由来は、熱をくみ上げることからきている。缶・ボトル飲料自動販売機のヒートポンプは、冷却室の熱をくみ上げて加熱室に利用する庫内熱利用方式(注1)を採用している。この方式の利点は、冷却と加熱を同時に行うため高効率運転が可能なる点である。しかし、冷却が不要な場合は従来の電気ヒータで加熱するため、消費電力量は周囲環境の影響を受けやすい。周囲環境は、気温や直射日光、風雨などにより大きく変化することがあり、自動販売機の周囲温度の高低差が25度以上の日もある。自動販売機の省エネを推進するためには、一年を通した周囲環境の変化に応じて省エネが図れる機能を開発することが重要である。

これまで考えられてきた改善可能な省エネ技術について、ほとんど適用してきた。そこで、既存技術にとらわれず、自動販売機の冷熱システムのあるべき姿を追求し、究極の省エネ機“ハイブリッドヒートポンプ飲料自動販売機”の開発に取り組んだ。

③ 開発の狙いと課題

3.1 冷熱装置の高効率化のポイント

自動販売機は、季節ごとに販売商品に応じて冷却・加熱の運転設定を変えている。ハイブリッドヒートポンプ(注2)飲料自動販売機の開発では、季節ごとの各運転モードの高効率化および最適化によってさらなる省エネを図り、年間を通して消費電力量を低減できるようにシステム構成を検討した。

(1) 夏季などの全室冷却の運転モード

従来機は、冷熱装置の圧縮機にはオン・オフ制御方式を

<注1> “庫”と“室”：383ページ「解説1」参照

<注2> ハイブリッドヒートポンプ方式：383ページ「解説2」参照

用い、膨張機構にはキャピラリを用いていたので冷却能力は固定であった。ハイブリッドヒートポンプ飲料自動販売機では、周囲環境の変化に応じて冷却能力を調整することができるインバータ圧縮機と、冷媒循環量を制御する新型電子膨張弁を開発した。圧縮機の能力と膨張弁の開度を可変にすることで、運転中の冷却効率を最適に保つことができる。

(2) 冬季などの加熱設定のある運転モード

これまで採用してきた庫内熱利用方式に加えて、冷却の必要がなくなったときに外気の熱を利用して加熱する外気熱利用に切替えが可能な、業界初のハイブリッドヒートポンプ方式を開発した。また、庫内熱利用のヒートポンプ運転においても、インバータ圧縮機と新型電子膨張弁により、環境変化に応じて効率が最大になる運転を行える。

3.2 運転制御のポイント

図2に周囲温度による熱の侵入と放熱のバランスを示す。従来の運転制御は、季節で想定した周囲温度を想定周囲温度と呼び、これに合わせて温度範囲・動作時間などの設定値を調整していた。この想定周囲温度と比べて、実際の周囲温度が高い場合には侵入が大きく放熱が小さくなり、低い場合にはその逆となる。さらなる省エネを行うためには、侵入・放熱などの負荷変動に合わせて冷却・加熱出力値を制御する必要がある。そのための課題は次のとおりである。

(1) 室間同期制御

自動販売機は、複数の室で冷却の必要がある場合には、全室の冷却を同時オン、同時オフして同期させることで冷熱装置を効率良く動かすことができる。冷却・加熱設定や気温の変化により室ごとに冷却負荷が変動する一方で、冷却能力は固定であるため冷却速度が異なり、従来機は同時オフが困難であった。これらの課題を解決するためには、各室の冷媒循環量を制御する必要がある。

そのための電子膨張弁を各室に設置するには、既存の電子膨張弁の制御流量範囲を小さくする必要がある。小流量から冷媒循環量を制御できる新型電子膨張弁を各室に搭載することにより、各室内の冷却スピードを調整できる“新

型電子膨張弁による完全同期制御”の開発を行った。

(2) 負荷変動への対応

図2に示すように、周囲温度が変化して放熱と侵入のバランスが崩れた場合、冷却・加熱効率が落ちるという課題があった。侵入熱量が大きい場合、冷却能力が大きくなるように蒸発器の温度を低く調整できれば冷熱装置を効率良く動かすことができる。放熱が大きい場合も同様に、凝縮器の温度を調整できれば加熱装置を効率良く動かすことができる。

電力最小化を狙った最適制御は、この蒸発器と凝縮器に温度センサを搭載し、周囲温度に応じて蒸発器と凝縮器の目標温度を切り変えることにより実現した。

4 冷熱装置の構成

4.1 ハイブリッドヒートポンプ回路

従来のヒートポンプ機においては、ヒートポンプの加熱熱源に冷却室から吸収する熱のみを利用していった。ハイブリッドヒートポンプ方式では、冷却の熱を利用して加熱する回路と外気の熱を吸収して加熱できるようにする熱交換器を持ち、冷却の必要がない場合に外気の熱源に切り替える(図3)。この運転により電気ヒータによる加熱をほとんどなくし、効率の良いヒートポンプ運転で加熱できるようにした。

冷熱システムの構成部品では、熱交換器に2011年度機から採用しているアルミニウム高効率熱交換器を採用した。従来、膨張機構にはキャピラリを用いていたが、それぞれの蒸発器の前に新型電子膨張弁を設け、各熱交換器に流す冷媒循環量を最適に制御できるようにした。

4.2 新型電子膨張弁

空調機器では、一般にステップモータでニードルを上下して弁の開度を調整するステップモータ式電子膨張弁が使われている。自動販売機では、必要な冷却能力は空調機器に比べて小さい。空調用の電子膨張弁では冷媒循環量を正確に制御することができなかった。

これを解決するために、自動販売機の冷却能力に適した、

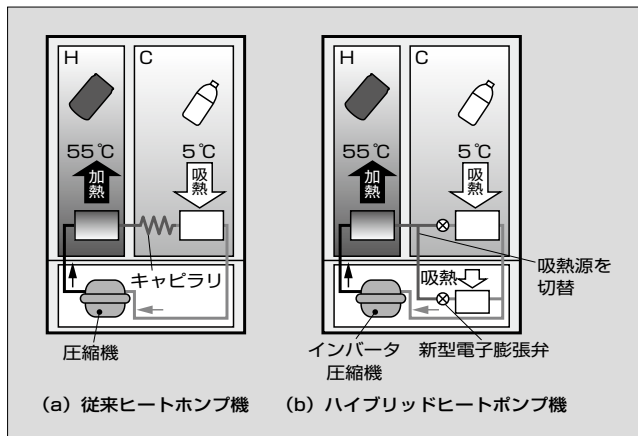


図3 ヒートポンプ回路

小流量から冷媒循環量を調節できる新型電子膨張弁を開発した。小流量を制御するため、コイルに通電して磁気力で弁を開き、細い流路を冷媒が膨張しながら流れる構造とした。デューティ比(通電時間/1サイクル時間)を変えて制御し、流量はデューティ比に比例して0%から直線的に変化する。

5 最適運転制御

5.1 室間同期制御

同期制御とは、室の容積や商品数などの違いにより、冷却に要する時間が異なり、圧縮機の運転時間を短くするために必要な制御である。冷却室同士の温度状態を比較し、早く冷える室と遅く冷える室の温度差がある一定以上離れた場合には、早く冷える室の冷却をいったん止め、温度差が小さくなると再始動する方法である。従来の室間の同期方法を図4に示す。冷却室間の同期を取りながら室内を冷やしている。この方法では、機器の出力をいったん止めたときに2室運転から1室運転に切り替えることで、蒸発温度が過度に低下して効率が落ちるという問題があった。

そこで、新型電子膨張弁を各室に配置し、負荷の大きい右室と負荷の小さい中室で、それぞれの負荷状況に合わせて膨張弁の開度を制御し、流量を調整する方法にした。図5に示すように、各室の冷却の時間差を監視しながら、時間の掛かる(負荷が大きい)室には膨張弁で流量を多く

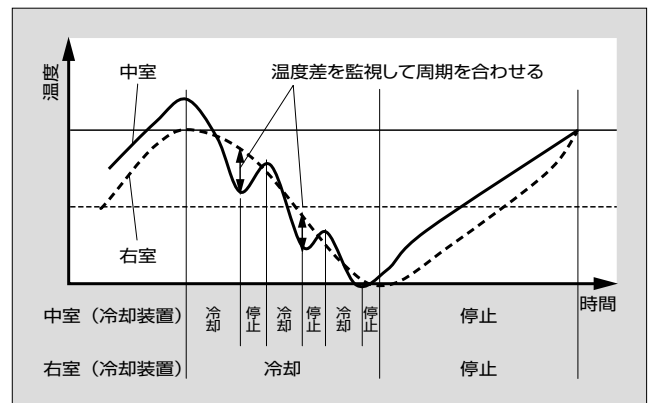


図4 従来同期方式

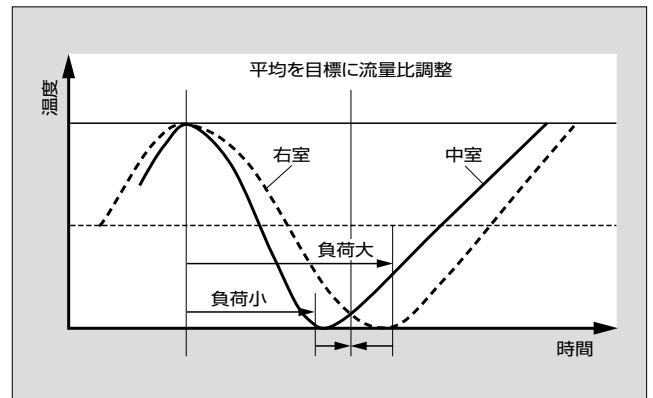


図5 電子膨張弁応用同期方式

し、時間の短い（負荷が小さい）室には流量をより少なくすることで、平均時間が一致するように制御する方法である。これにより、冷却運転中に冷熱装置を止めることなく同期を取ることができ、高効率の冷熱装置運転を実現した。同期の調整には、各室の冷却時間と平均冷却時間の差を偏差とするPID制御によってハンチングの防止を行った。

5.2 負荷変動ヒートポンプ制御

従来は、オン-オフ制御のため冷却加熱装置の能力は周囲温度の影響を受けて効率のよい運転を維持できなかった。ハイブリッドヒートポンプ方式では消費電力を最小にするために、冷却空気または加熱空気の目標温度設定を周囲温度によって変え、高効率運転を実現した。図6に、冷却加熱の負荷量と運転のバランスを示す。春・秋にはヒートポンプ主体の運転を行うが、周囲温度が高くなる夏季は冷却運転が多く、周囲温度が低くなる冬季には加熱運転が多くなる。周囲温度が高いとき、または低いときの周囲温度の変化に応じて、庫内熱利用のヒートポンプ運転を減らし、外気熱利用に切り替えながら運転を行う。

この周囲温度に対して電力が最小になる目標温度設定は、次のようにして行う。ヒートポンプ制御では、蒸発温度と凝縮温度の目標温度を説明変数として用い、それぞれの組合せで実験値を基に応答局面法を用いて消費電力が最小になる最適点を求め、設定温度とした（図7）。

周囲温度を変えて実験した結果、冷却を主とする運転

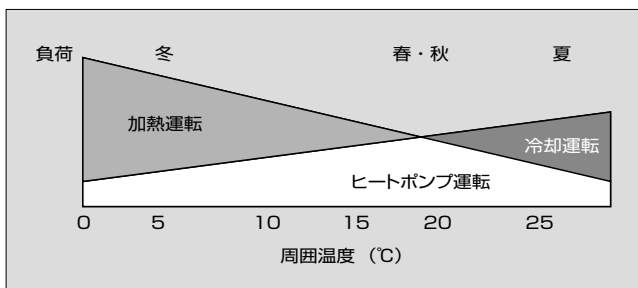


図6 冷却加熱の負荷量と運転のバランス

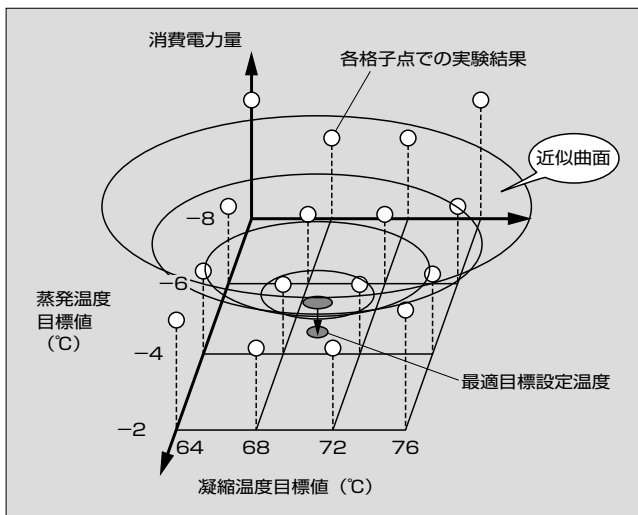


図7 応答曲面法による目標温度設定

(20～25℃)とヒートポンプ中心の運転(15～20℃)と加熱運転(5～15℃)の三つの状態で説明変数の曲線を変えながら制御することにより、最小電力を維持できることが分かった。

6 ハイブリッドヒートポンプ飲料自動販売機の特性

図8に、庫内が3室に分かれている自動販売機における、全室冷却運転時の蒸発器温度の実測値を示す。

従来機では、圧縮機が運転すると同時に各室の電磁弁を開けて冷却運転を行う。冷却速度の速い室から電磁弁を閉じて3室冷却から2室冷却、1室冷却運転となり、圧縮機が停止に至る。膨張機構が固定式のキャピラリであるため、2室冷却や1室冷却運転では蒸発器温度が必要以上に低下し、効率の悪い運転状態となる。

一方、ハイブリッドヒートポンプ飲料自動販売機では、新型電子膨張弁で各蒸発器の冷媒循環量を制御することにより、各室の電磁弁を閉じるタイミングを合わせることが可能。また、各室の蒸発器温度を一定に保ち、安定して最高効率点での運転が可能である。

図9に、11月の屋外に設置した自動販売機の一日の気

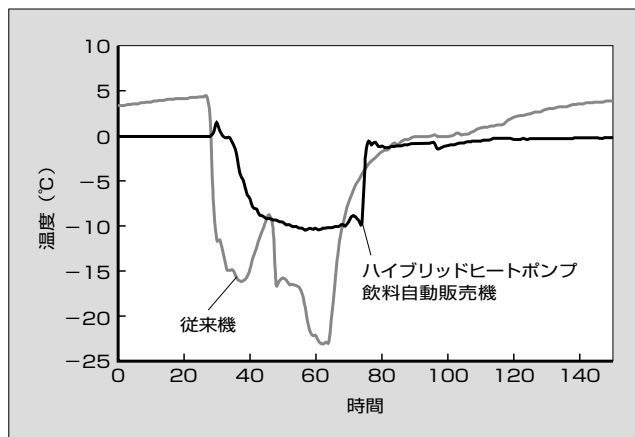


図8 蒸発器温度

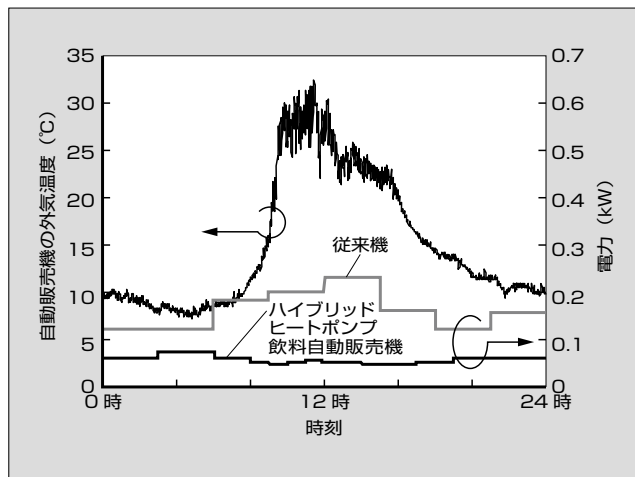


図9 一日の気温と消費電力の変化の例

温と消費電力の変化の例を示す。従来機は、気温が変化すると消費電力も増減する。ハイブリッドヒートポンプ飲料自動販売機は、気温の変化に対して消費電力の変化が少なく、この試験において消費電力量が1日当たり約50%低減した。

7 あとがき

環境に配慮した自動販売機として、究極の省エネルギー技術を適用したハイブリッドヒートポンプ飲料自動販売機を開発した。これまであまり考慮されていなかったが、一日の周囲環境の変化に対応することにより、年間を通して大幅な省エネルギーが可能になる。これが実際に市場で使われ、すぐに効果が実感できるものと期待している。

しかしながら、地球温暖化問題はますます深刻であり、温室効果ガスの低減の継続的な取り組みが必要である。今後もハイブリッドヒートポンプ方式の適用拡大を図るとともに、自動販売機のリーディングカンパニーとして、省エネルギーによるCO₂排出量を低減するためにあるべき姿を追

求し、さらなる環境負荷の少ない製品開発に取り組んでいく所存である。

参考文献

- (1) 岩崎正道ほか. 飲料自動販売機の省エネルギー技術. 富士時報. 2005, vol.78, no.3, p.167-171.



滝口 浩司

自動販売機の冷熱開発に従事。現在、富士電機リテイルシステムズ株式会社生産・開発本部三重工場設計部担当部長。日本冷凍空調学会会員。



高松 英治

自動販売機の制御開発に従事。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。電子情報通信学会会員。





*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。