飲料自動販売機のヒートポンプ適用技術

Technology for Applying Heat Pumps to Beverage Vending Machines

渡辺　忠男 WATANABE, Tadao　　河野　周 KONO, Amane

利便性が高く広く普及している飲料自動販売機は、エネルギー効率の向上が求められている。富士電機は、庫内間ヒートポンプの運転拡大とエネルギー効率の向上となる飲料自動販売機のヒートポンプ適用技術を開発した。目標の蒸発温度を維持するように電子膨張弁を用いて冷媒の膨張量をきめ細かく制御し、蒸発温度による負荷調整運転を行うことで、庫内間ヒートポンプの運転調整範囲を拡大した。凝縮温度は、PID 制御で目標値に合わせた運転を行った。この結果、庫内間ヒートポンプのみの運転を実現し、約 4% の省エネルギーを達成した。

Beverage vending machines, widely used for their convenience, are required to improve their energy efficiency. Fuji Electric has developed a technology for beverage vending machines to expand the use of heat pumps between internal compartments and improve energy efficiency. An electronic expansion valve is used to precisely control the amount of refrigerant expansion to maintain the target evaporation. This load adjustment operation based on the evaporation temperature allows the adjustable operating range of the heat pumps to be expanded. PID control keeps the condensation temperature to match the target value. This technology was able to run vending machines only on heat pumps between internal compartments, thereby saving approximately 4% of energy.

1　まえがき

飲料自動販売機は、いつでも手軽に飲み頃温度の飲料を提供できる利便性が高い製品であり、国内では約 225 万台が普及している[(1)]。飲料自動販売機はエネルギー消費機器でもあるため、2002 年に「エネルギーの使用の合理化等に関する法律」の特定機器に指定され、エネルギー効率を向上させることが求められている。富士電機は、ヒートポンプを含めさまざまな技術開発に取り組んできた。本稿では、缶飲料とペットボトル飲料を同時に販売する飲料自動販売機のヒートポンプ適用技術について述べる。

2　飲料自動販売機における加熱・冷却の仕組み

2.1　飲料自動販売機の内部構造と運用

図 1 に飲料自動販売機の内部構造を示す。一般的な飲料自動販売機は、庫内に三つの商品保管室（左室・中室・右室）を備え、庫外には機械室がある。商品収納部のラックには、内容量が 350 ml 以下の小容量の缶飲料を主とした“標準ラック”に加え、大容量の 500 ml ペットボトル飲料を収納する“ペットラック”も使用される。収納する商品の種類に応じて飲料自動販売機の幅寸法、奥行寸法も多種類となっている。

飲料自動販売機には、飲料を冷却、または加熱するためのヒートポンプが内蔵されている。各商品保管室は、商品の用途に応じて冷却室と加熱室に使い分けられる。一般的な自動販売機では、左室と中室は冷却室と加熱室を兼用し、右室は冷却室専用となっている。

表 1 に飲料自動販売機の冷却室と加熱室の使い分け（運転モード）を示す。運転モードは 4 種類があり、主に夏季は、3 室全て冷却の CCC モードで運用することが多い。

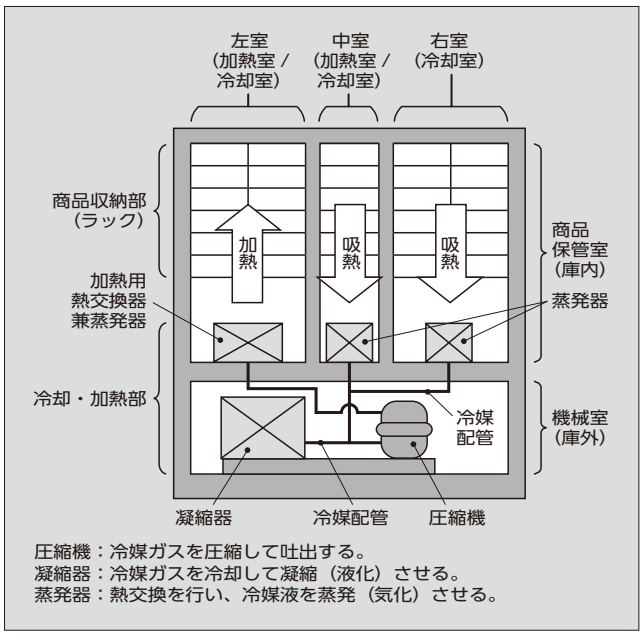

図 1　飲料自動販売機の内部構造

表 1　飲料自動販売機の運転モード

運転モード*	左室（加熱室 / 冷却室）	中室（加熱室 / 冷却室）	右室（冷却室）	主な運用季節
CCC	冷却	冷却	冷却	夏季
HCC	加熱	冷却	冷却	春季・秋季
CHC	冷却	加熱	冷却	春季・秋季
HHC	加熱	加熱	冷却	冬季

＊C：冷却（Cold）、H：加熱（Hot）

他の季節には販売動向などにより冷却と加熱の運転を切り換えているが、実際の運用では、一年の大半が**図 2** に示す HCC モードで運用される。そのため、この運転モード

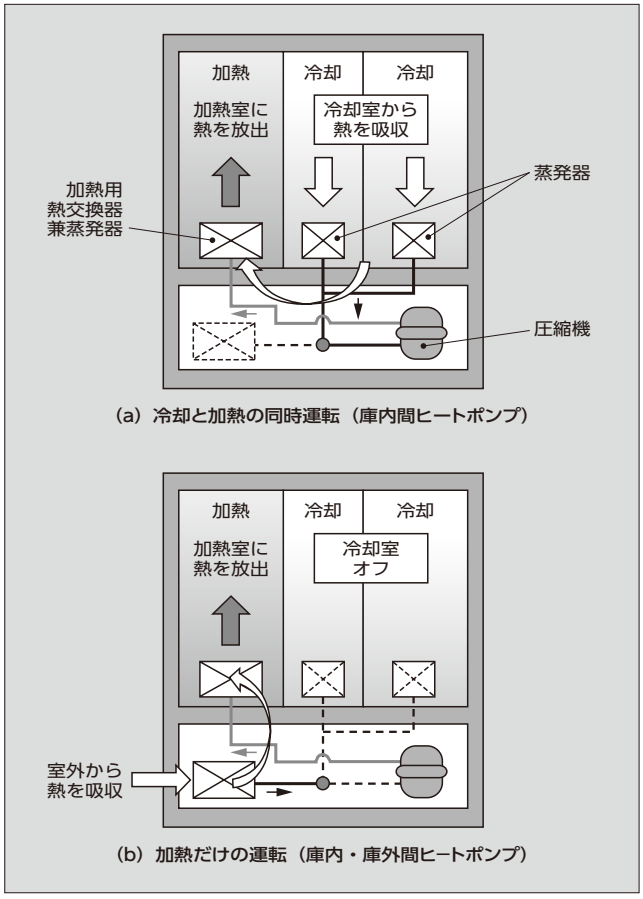

図２　飲料自動販売機のヒートポンプの仕組み（HCC モード運転）

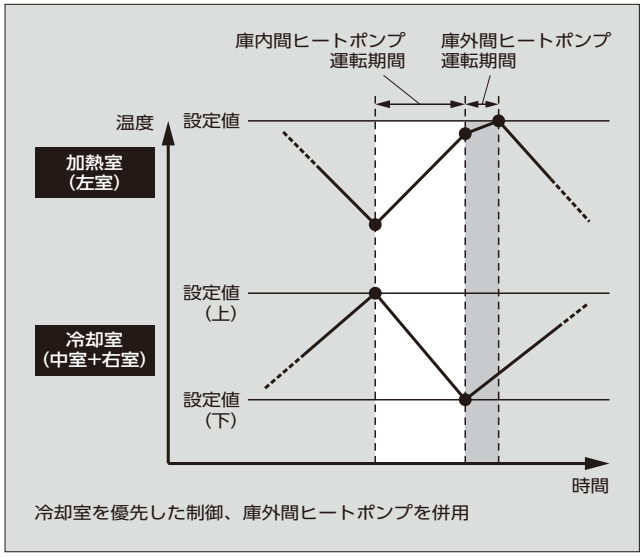

図３　ヒートポンプの運転動作（従来機）

における消費電力量の削減は、大きな省エネルギー（省エネ）効果が期待できる。

2.2　ヒートポンプによる加熱と冷却の仕組み

ヒートポンプとは、“熱を移動させるポンプ”と呼ばれているもので、例えば一般家庭のエアコンにも使われている。エアコンの場合は、少ない電気エネルギーで室外の空気から熱を集めて、室内の空気を温めることに使われる。逆に、室内の空気から熱を集めて室外に温風を放出する冷房としても使うことができる。エアコンでは冷房と暖房を切り替えて使用するが、飲料自動販売機では冷却室でくみ上げた熱を加熱室に送り込んで、冷却と加熱を同時に行う。

加熱室と冷却室の商品は、適切な温度範囲に保つことが求められる。ヒートポンプは、原理的に冷却と加熱を個別に行うことができないため、冷却室の冷却と加熱室の加熱を同期して行う必要がある。従来の飲料自動販売機では、庫内間ヒートポンプ〔**図２**(a)〕は冷却室を主、加熱室を従として制御されている。例えば周囲温度が 15 ℃の場合、冷却室内温度 5 ℃との温度差は 10 K、加熱室内温度 55 ℃との温度差は 40 K となり、加熱する方が負荷が高いため、加熱室への加熱が不足する。これを補うため、室外の空気から熱をくみ上げる庫内・庫外間ヒートポンプ〔**図２**(b)〕を装備している。ヒートポンプの運転動作を**図３**に示す。冷却室の温度が設定した温度まで上昇したら、庫内間ヒートポンプの運転を開始し、冷却室の冷却と加熱室の加熱を開始する。冷却室の温度が設定した温度まで降下したら庫内間ヒートポンプの運転を終了する。この時点では加熱室の加熱が不足しているので、直ちに庫内・庫外間ヒートポンプの運転を開始し、加熱室の加熱を継続する。加熱室の温度が設定した温度に達したら、庫内・庫外間ヒートポンプを停止する。この後、冷却室の温度が再び上昇したら、上述の動作を繰り返す。

庫内・庫外間ヒートポンプは、室外から熱をくみ上げて加熱のみに使用されるため、加熱と冷却を同時に行う庫内間ヒートポンプと比較して効率が低い。省エネを図るためには、庫内・庫外間ヒートポンプの使用割合を低減させることが必要である。

3　ヒートポンプの運転効率の向上

2.2 節で述べた課題を解決するため、効率の低い庫内・庫外間ヒートポンプを使用せずに、庫内間ヒートポンプのみで加熱と冷却を行う技術を開発した。

3.1　蒸発温度の制御による加熱・冷却能力の均衡化

従来の庫内間ヒートポンプの運転方法では、冷却に対して加熱能力が不足していた。蒸発器の冷媒が蒸発する時の温度（蒸発温度）を変えると、冷却能力と加熱能力の比率を変えることができる。**図４**に開発機における冷媒の蒸発温度と加熱・冷却能力の比率との関係を示す。蒸発温度を上げると冷却能力に対する加熱能力の比率は上昇する。膨張弁で冷媒の流量を変えて蒸発温度を制御することにより、冷却を遅らせて、冷却室と加熱室の温度が同時に設定値に達するようにヒートポンプを制御することができる。従来機では、事前に設定した蒸発温度でしか運転できなかったが、開発機では状況に応じて、蒸発温度による能力調整運転を行うことで、庫内間ヒートポンプの運転調整範囲を拡大することが可能となる。

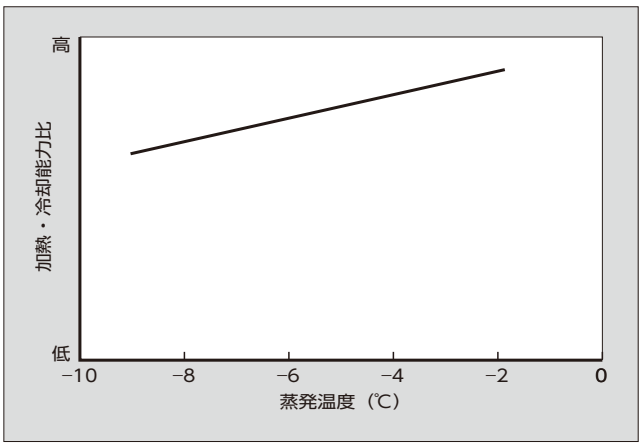

図 4　開発機における冷媒の蒸発温度と加熱・冷却能力の比率との関係

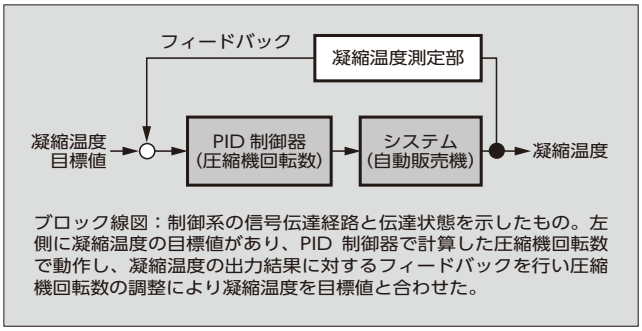

図 5　PID 制御のブロック線図

3.2　凝縮温度の制御による加熱効率の向上

冷媒が凝縮器で凝縮する温度（凝縮温度）には、ヒートポンプの加熱効率が最大になる条件が存在する。圧縮機の回転数を制御することにより、この凝縮温度を保持して加熱効率の最大化を実現できる。PID（Proportional−Integral−Differential）制御を用いて圧縮機の回転数をインバータで制御することにより、加熱室にある熱交換器の凝縮温度を目標値に保持することができる。**図 5** に PID 制御のブロック線図を示す。

3.3　効果

3.1 節で述べた制御を適用したヒートポンプの運転動作を**図 6** に示す。ここでは、加熱室を主、冷却室を従として、ヒートポンプの制御を行っている。加熱室の温度が設定した温度まで降下したら、庫内間ヒートポンプの運転を開始し、加熱室の加熱と冷却室の冷却を開始する。加熱室の温度が設定した温度まで上昇したら庫内間ヒートポンプの運転を終了する。蒸発器の冷媒の蒸発温度を制御することで、加熱室と冷却室の温度が同時に設定値に達することができる。

図 7 にヒートポンプ運転中の凝縮温度推移を示す。開発機では、PID 制御により目標の凝縮温度での運転を実現している。なお、この目標凝縮温度は、商品を加熱するのに必要最低限の温度としている。

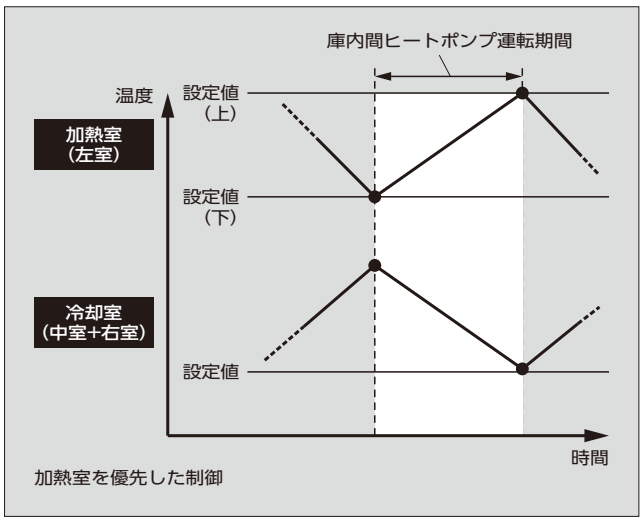

図 6　ヒートポンプの運転動作（開発機）

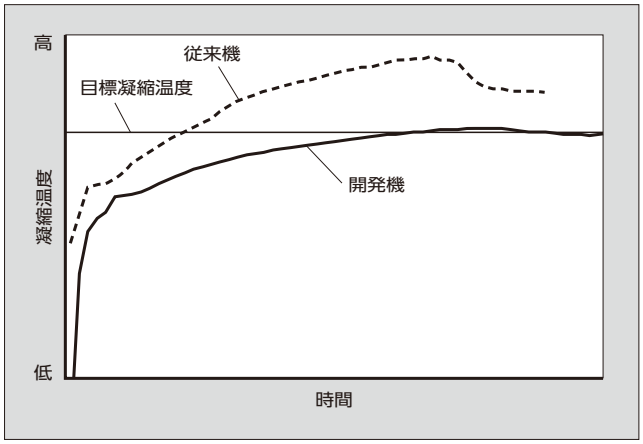

図 7　ヒートポンプ運転中の凝縮温度推移

図 8 にヒートポンプ運転開始から運転終了までのエネルギー効率の推移を示す。開発機は、冷却能力に対する加熱能力の比率が従来機より約 18% 向上しており、運転開始から終了に至るまで従来機よりエネルギー効率が向上している。庫内・庫外間ヒートポンプを使わずに、庫内間ヒートポンプのみで運転をしている効果は大きく、**図 8** の例では 4% の省エネを達成している。

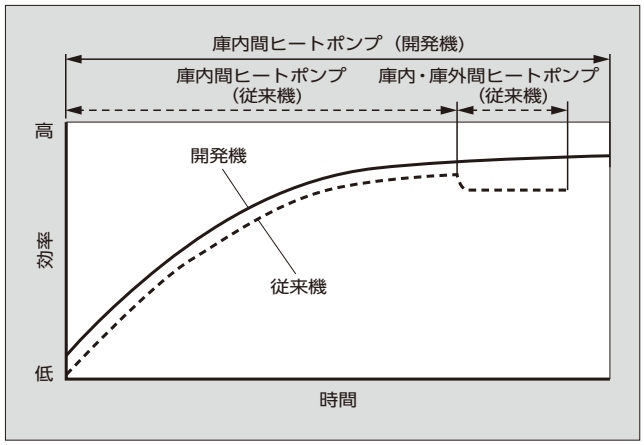

図 8　ヒートポンプ運転中のエネルギー効率

4　あとがき

飲料自動販売機のヒートポンプ適用技術について述べた。本開発により、庫内間ヒートポンプの運転拡大と効率向上を行うことができた。今後も、飲料自動販売機の設置環境に合わせた、最適な省エネルギー運転が求められる。ヒートポンプの回路技術の向上および高効率化につながる制御の高度化・高精度化を目指した技術開発を推進していく所存である。

参考文献

⑴　一般社団法人 日本自動販売システム機械工業会.“普及台数 2021年（令和3年）版”. https://www.jvma.or.jp/information/fukyu2021.pdf,（参照 2022-08-23）.

渡辺　忠男

自動販売機、オープンショーケースの冷凍機開発業務に従事。現在、富士電機株式会社食品流通事業本部三重工場開発部担当課長。

河野　　周

自動販売機の冷凍機開発業務に従事。現在、富士電機株式会社三重工場開発部。日本冷凍空調学会会員。

富士電機

Innovating Energy Technology

＊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。