

ヒータ電力 ZERO 自動販売機「ハイブリッド ZERO」

ZERO Heating Power Vending Machine “Hybrid ZERO”

石田 真 ISHIDA, Shin

富士電機は、環境負荷の低減のため、大幅な省エネルギーとピーク電力低減をコンセプトに、電気ヒータを搭載しないヒータ電力 ZERO 自動販売機「ハイブリッド ZERO」を開発した。従来は、貯蔵庫の一部を電気ヒータで加熱していたが、ハイブリッド ZERO は全ての加熱室をヒートポンプで加熱する。熱交換器や圧縮機を高効率化するとともに、冷媒流路の切換弁を新規に開発することでこの機能を実現した。これによりハイブリッド ZERO は、実使用を想定した運転モードにおいて年間消費電力量の 15% の低減と、冬季の運転モードにおける消費電力の最大 55% の低減を達成した。

Fuji Electric has adopted the concept of achieving extensive energy savings while reducing peak power consumption to decrease environmental burdens, and based on this, it has developed the ZERO Heating Power Vending Machine “Hybrid ZERO,” which does not utilize an electric heater. Conventional models heated a part of the storehouse using an electric heater, the Hybrid ZERO, however, heats all heating chambers using a heat pump. We have achieved this functionality by increasing the efficiency of heat exchangers and compressors while newly developing a refrigerant channel switching valve. These enhancements enable the Hybrid ZERO to achieve a 15% reduction in yearly power consumption based on estimated actual usage in operation mode, as well as a maximum reduction of 55% in power consumption in winter operation mode.

① まえがき

富士電機は、自動販売機の大幅な省エネルギー（省エネ）とピーク電力低減をコンセプトとし、ヒータ電力 ZERO 自動販売機「ハイブリッド ZERO」を開発した。ハイブリッド ZERO という名称の由来は次の 2 点である。

(a) ハイブリッドヒートポンプ技術の適用

ヒートポンプ加熱の熱源として、飲料商品冷却時の排熱だけでなく外気の持つ熱も利用する。

(b) 電気ヒータの電力ゼロを実現

ヒートポンプ加熱のみでホット飲料商品の全てを加熱することができるため、補助用の電気ヒータを搭載していない。

ハイブリッド ZERO は、四季を通じてヒートポンプによる冷却と加熱を行うことで、従来機のハイブリッドヒートポンプ飲料自動販売機^(注)に対し、年間消費電力量の 15% の低減と冬季の運転モードにおける消費電力の最大 55% の低減を実現した。本稿では、ハイブリッド ZERO の開発における課題と取組みについて述べる。

② 開発の背景

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等に関する法律」（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

〔注〕年間消費電力量：年間消費電力量の測定は、独自規定の電力量測定方法による。この方法は四季を通じた自動販売機の一般的な使われ方を想定し、周囲温度やホットとコールドの飲料商品数といった条件を変えながら測定するものである。

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、自動販売機の消灯や輪番制での冷却運転の停止により節電を行った。このように、自動販売機業界は環境負荷の低減のための省エネはもちろん、電力需給バランスの改善のための消費電力低減の要求に応じてきた。

富士電機は、この省エネと消費電力低減を両立させ、さらに両方を大幅に改善するための開発を行った。

③ 開発の狙いと課題

3.1 実使用条件下における省エネルギーの課題

図 1 に自動販売機の構造を示す。一般的な自動販売機は、飲料商品の貯蔵庫が三つの室（左室、中室、右室）に分かれており、各室内の冷却・加熱の運転モードの設定を季節ごとに変更する。表 1 に示す四つの運転モードの設定は、消費者の購買ニーズに合わせた販売が行えるよう、オペレータが各自動販売機で個別に設定する。例えば、冷たい飲料商品がよく売れる夏季は 3 室全てを冷却する CCC

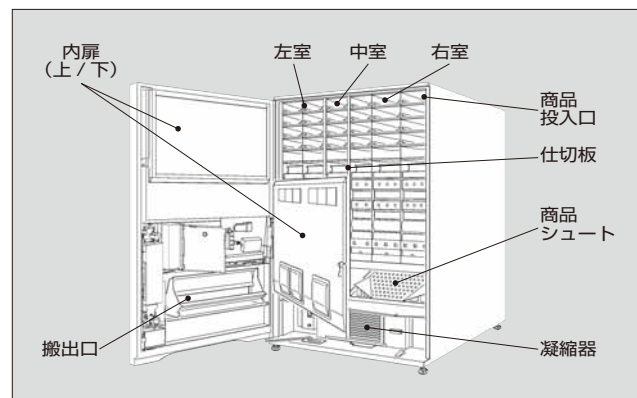


図 1 自動販売機の構造

表1 従来機の運転モードと各室の冷熱設定

運転モード	左室	中室	右室
CCCモード	冷却	冷却	冷却
HCCモード	ヒートポンプ加熱	冷却	冷却
CHCモード	冷却	電気ヒータ加熱	冷却
HHCモード	ヒートポンプ加熱	電気ヒータ加熱	冷却

モードに、温かい飲料商品がよく売れる冬季は2室を加熱し1室を冷却するHHCモードに、また春季と秋季は1室を加熱し、2室を冷却するHCCモードに設定することが一般的である。

従来機は、左室の飲料商品をヒートポンプ運転により電気ヒータに比べ効率良く加熱していた。中室の加熱も電気ヒータからヒートポンプに変更することで省エネを図ることができ、次のような問題があり実現が困難であった。

- (a) 中室のスペースが小さすぎるために十分な大きさの加熱用熱交換器が設置できない。
- (b) 冷媒回路の複雑化や切換弁の増加により冷凍機が大型化する。

3.2 年間消費電力量低減のポイント

図2に、通常用いられる三つの主な運転モードにおける従来機の消費電力量の割合を示す。CCCモードとHCCモードでは圧縮機、HHCモードでは電気ヒータの占める割合が最も大きい。圧縮機の電力量は圧縮機の高効率化によって、電気ヒータの電力量はヒートポンプ化によって低減が可能である。つまり、年間消費電力量低減のポイントは次の2点である。

- (a) 圧縮機の高効率化
- (b) HHCモード時の加熱室（左室および中室）の同時ヒートポンプ加熱

しかし、中室のヒートポンプ加熱を行おうとすると、3.1節で述べたように冷凍機の回路構成が複雑になり、設置スペースが増大することや、狭い中室に設置するために熱交換器の能力が十分得られず吐出圧力が過上昇するという問題がある。さらに、左室と中室の2室同時ヒートポンプ加熱に対しては十分な能力を確保できないという問題もある。これらの課題を整理すると次の3点となる。

- (a) 冷凍回路を構成する機器の簡素化
- (b) 2室同時ヒートポンプ加熱における加熱能力の確保
- (c) 中室ヒートポンプ加熱における吐出圧過上昇の抑制

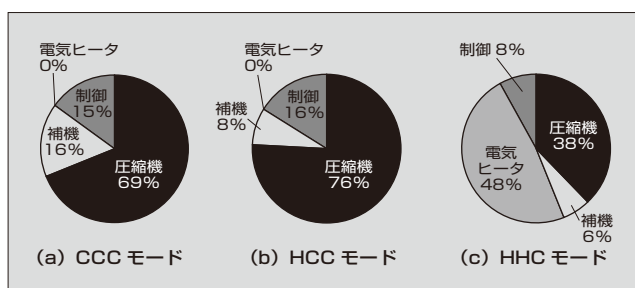


図2 従来機の主な運転モードにおける消費電力量の割合

4 「ハイブリッド ZERO」の冷凍機の構成と技術

4.1 冷凍回路を構成する機器の簡素化

電気ヒータの消費電力量を削減するため、中室のヒートポンプ加熱を行う冷凍回路を構築した。

図3に、従来機の冷凍回路における圧縮機の吐出配管の切換えを示す。従来機では、冷却運転用の凝縮器と、ヒートポンプ加熱用の左室熱交換器の2経路のどちらか一方のみに冷媒を流していた。

一方、左室と中室の2室同時ヒートポンプ加熱を可能とするハイブリッド ZERO においては、圧縮機吐出配管の接続先が、従来の凝縮器と左室熱交換器に新たに中室熱交換器を加えた三つとなる。中室熱交換器を使ったヒートポンプ加熱も行えるようにするには、流路の切換え数が従来の2倍となる。

この冷凍回路を従来の切換弁を用いて構成すると、図4に示すように切換弁の数が従来機より2個増加して冷凍機が大型化するという問題があった。

そこで、ステッピングモータ式の流路切換弁である四方弁を新たに開発することで図5に示す切換えを実現し、弁の増加を抑制することができた。これにより、従来の切換弁を使用した場合に対し、冷凍機部のスペースを約15%縮小した。

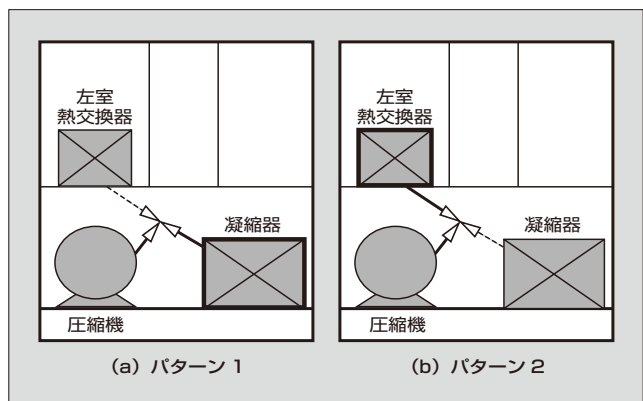


図3 従来機の冷凍回路における圧縮機の吐出配管の切換え

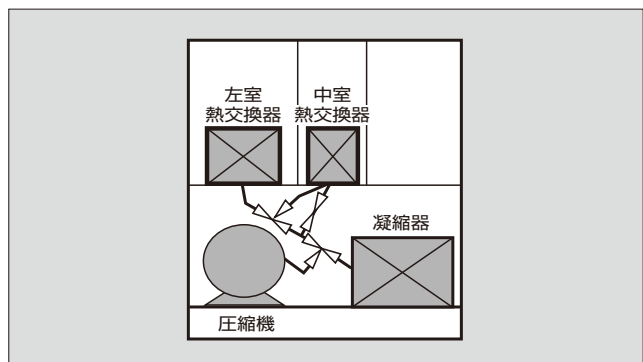


図4 従来の切換弁を使用して2室同時加熱を実現するための吐出配管

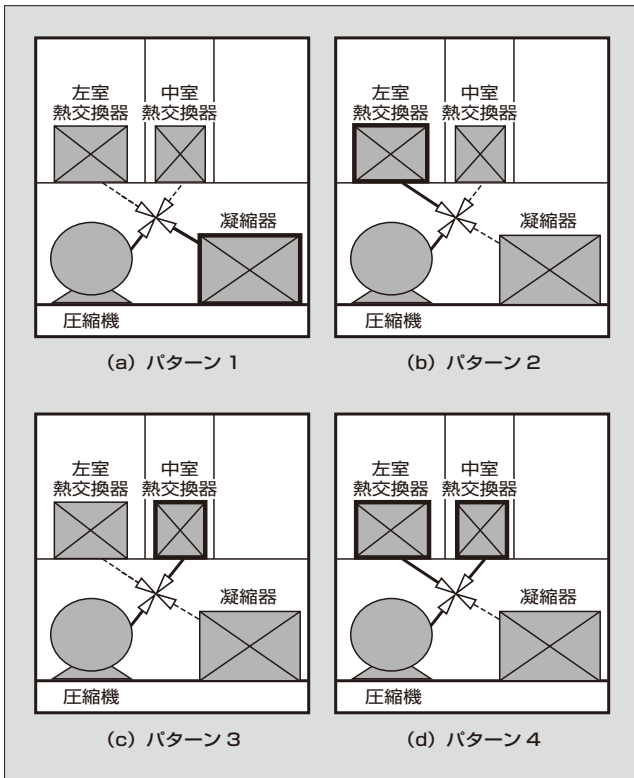


図5 「ハイブリッド ZERO」における吐出配管の切換え

4.2 2室同時ヒートポンプ加熱による加熱能力の確保

HHC モードにおいて、従来はヒートポンプ加熱の対象が1室であったものを、左室と中室の2室に増やそうとすると、1室当たりの加熱能力は1/2に減ってしまう。一般に、加熱能力を増加させるには、単純に圧縮機の回転速度を増加させればよい。しかしながら、圧縮機の効率は回転速度が高いほど低下するので、冷凍機の効率向上を図る必要がある。

この課題に対し、圧縮機の排熱をより効果的に利用できるようにするため、次に説明するように圧縮機が冷媒を吸入する回路を切り換えることで解決した。図6に示すように、一般的なレシプロ型圧縮機には三つのポートがある。冷媒を吸入する吸込ポート、圧縮した冷媒を吐出する吐出ポート、およびサービス用のプロセスポートである。

吸込ポートにはサクシオンマフラが取り付けられており、吸込ポートから圧縮機に吸入された冷媒が図6のように最

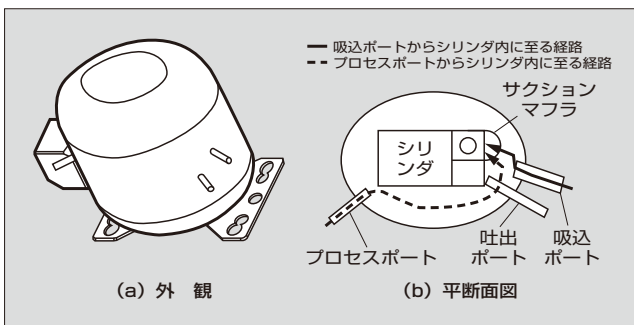


図6 圧縮機

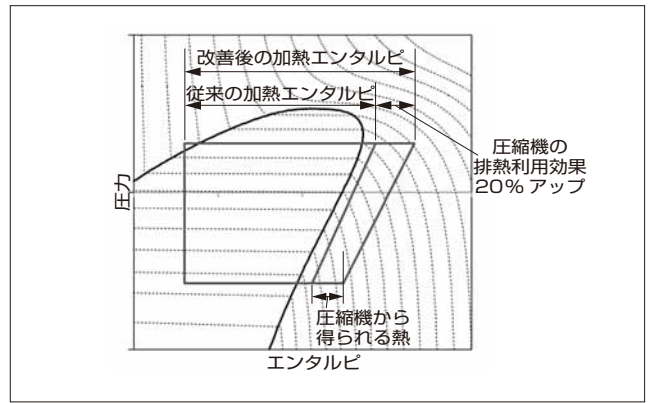


図7 圧縮機の排熱利用効果

短経路でシリンダ内に到達する。このため、冷媒が高温の圧縮機から受ける熱は最小限に抑えられ、圧縮前の冷媒温度の上昇は少ない。この効果により、冷媒を吸込ポートから吸入させると吐出温度が上がりやすく効率の良い冷却運転が可能である。一方、プロセスポートにはサクシオンマフラがなく、プロセスポートから吸入された冷媒がシリンダ内に到達するまでの経路は長くなり、その分冷媒が圧縮機から受ける熱は大きい。この結果、プロセスポートから冷媒を吸入させる方が吐出温度は高くなり、ヒートポンプ加熱の能力を増大させやすい。

しかし、従来機では冷却運転とヒートポンプ運転のいずれにおいても吸込ポートから冷媒を吸入させる冷凍回路としていたため、ヒートポンプ運転において加熱能力を得にくかった。そこで、ハイブリッド ZERO は冷媒を吸い込むポートを、冷却運転時には吸込ポートに、ヒートポンプ運転時にはサクシオンマフラのないプロセスポートにそれぞれ切り換える冷凍回路とした。その結果、図7に示すように圧縮機の排熱を効果的に利用でき、ヒートポンプの加熱能力を20%増大させた。この効果を圧縮機回転速度の増加と併用することで、システム効率を維持しつつ、2室同時ヒートポンプ加熱が可能となった。

4.3 中室ヒートポンプ加熱における圧縮機吐出圧力の過上昇の抑制

左室と中室の2室同時ヒートポンプ加熱が可能な冷凍回路とすると、中室の単独ヒートポンプ加熱も可能である。しかし、この場合には圧力が過上昇するという問題があった。

一般的に自動販売機の中室は三つの室のうち最も小さく、熱交換器を配置するスペースも同様に最も小さい。そのままでは、流れる冷媒量に対して熱交換器で十分な放熱がでず圧力が過上昇する。そこで、対策として熱交換器と圧縮機の高効率化を行った。

(1) 熱交換器の高効率化

2012年に開発したオールアルミニウム熱交換器のアルミニウムフィンのフィンピッチを、図8に示すように従来に比べて25%狭くし、熱交換器の容積を変えずに伝熱面積を25%増加させた。さらに、狭いピッチに対応して

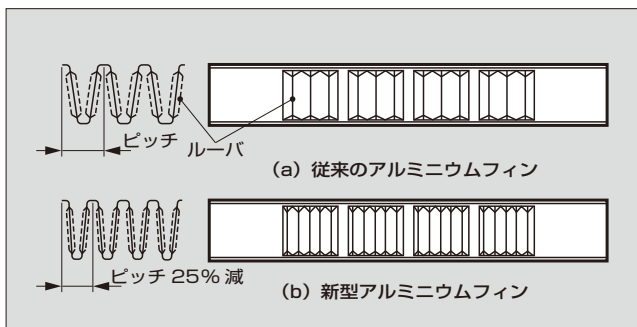


図8 従来のアルミニウムフィンと新型アルミニウムフィン

フィンのルーバの形状も最適化した。この新型アルミニウムフィンは、シミュレーションにより32%の平均熱伝達率の向上を確認している。

(2) 圧縮機の高効率化

中室を加熱するときに中室の熱交換器の冷媒流量を低減するためには、圧縮機の回転速度を落とすことが最も簡単で効果的である。しかし、過上昇を抑制するには従来の圧縮機の最低回転速度は不十分であった。そのため、圧縮機の最低回転速度の低減が必要であり、高効率化と同時に圧縮機メーカーと共同で開発し、自動販売機の負荷に合わせた仕様で最適化した。その結果、圧縮機最低回転速度の12%低減と、効率の約10%向上を実現した。この圧縮機をハイブリッドZEROに採用することにより、中室単独加熱でも十分に回転速度を下げることで、圧縮機の吐出圧力の過上昇を防止するとともに冷凍機としての効率を向上させることができた。

5 「ハイブリッドZERO」の性能

5.1 冷凍機単体性能

ここまで述べた省エネの施策に対する効果を確認するため、成績係数(COP: Coefficient of Performance)を測定した。このCOPはハイブリッドZEROに搭載する冷凍機単体の効率に相当する。測定結果を図9に示す。縦軸は、従来機における冷却ユニットのCOPを1とした比率を表す。特に、HHCモードでヒートポンプ運転を行った

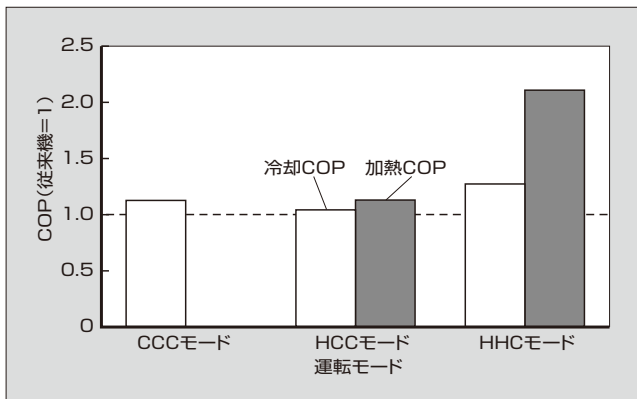


図9 「ハイブリッドZERO」のCOP

ときの加熱効率が大幅に向上しており、中室のヒートポンプ化の効果が大きく表れたことが分かる。

5.2 自動販売機全体の性能

実際に即して比較するため、3モード年間消費電力量を算出した(図10)。3モード年間消費電力量とは、1年間の日数をCCCモードが90日(夏季)、HCCモードが185日(春季・秋季)、HHCモードが90日(冬季)と想定して算出したものである。縦軸は従来機の3モード年間消費電力量を1とした比率を表す。ハイブリッドZEROは3モード年間消費電力量で従来機に比べて15%の低減を達成した。また、JIS B 8561にのっとり測定した消費電力量は27%の低減であった。

次に、消費電力の低減効果を確認するために、HHCモードにおける消費電力を測定した(図11)。他の図と同様に、縦軸は従来機全体の消費電力を1として比率で示した。従来機では消費電力全体の60%以上を占めていた電気ヒータの消費電力が、ハイブリッドZEROでは0になり、全体の消費電力が従来機の45%に抑えられていることが分かる。このことから、年間を通した省エネはもちろん、冬季の電力需給バランスの改善においても非常に大きな効果を得られることが分かる。

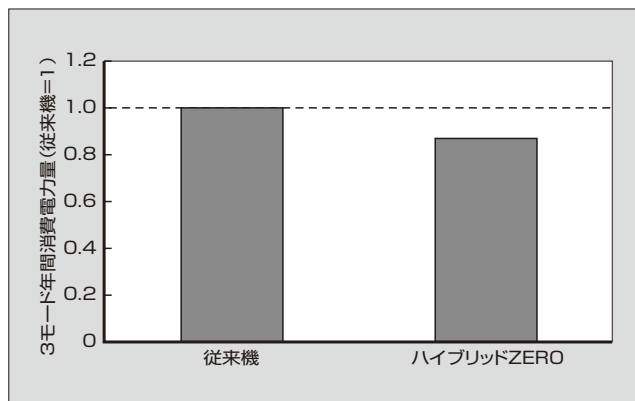


図10 従来機と「ハイブリッドZERO」の3モード年間消費電力量

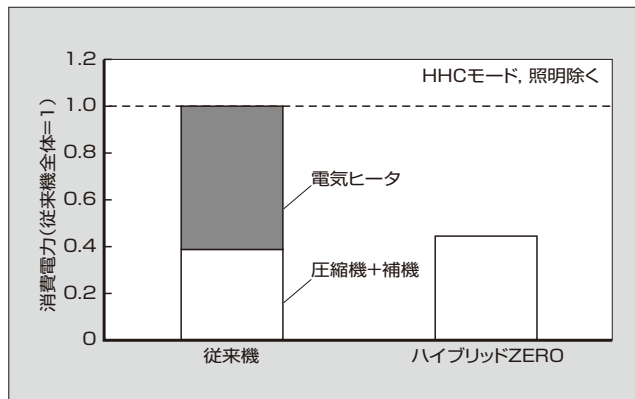


図11 従来機と「ハイブリッドZERO」の消費電力

⑥ あとがき

ヒータ電力 ZERO 自動販売機「ハイブリッド ZERO」について述べた。ハイブリッド ZERO は、環境への配慮を踏まえ、全ての加熱室をヒートポンプにより加熱することで大幅な省エネルギーと冬季の運転モードにおける消費電力の低減を実現し、地球温暖化の防止や日本のエネルギー需給バランスの改善に貢献できる。

今後も継続的に自動販売機の省エネルギーに注力し、さらなる環境負荷の低減に貢献できる製品を開発していく所存である。

参考文献

- (1) 滝口浩司, 高松英治. ハイブリッドヒートポンプ飲料自動販売機. 富士電機技報. 2012, vol.85, no.5, p.345-349.
- (2) 土屋敏章, 倉馨. 自動販売機の高効率熱交換器. 富士電機技報. 2012, vol.85, no.5, p.350-354.



石田 真

缶・ボトル飲料自動販売機におけるヒートポンプ冷却ユニットの開発設計に従事。現在、富士電機株式会社食品流通事業本部三重工場設計第二部主任。日本冷凍空調学会会員。





*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。