

# CO<sub>2</sub> 冷媒対応缶飲料自動販売機

## Application of CO<sub>2</sub> with a low greenhouse effect to Canned Beverage Vending Machines

井下 尚紀 Naoki Inoshita

缶飲料自動販売機の冷凍機に使用する冷媒は、従来のハイドロフルオロカーボン（HFC）から地球温暖化係数の小さい冷媒への転換が必要であった。低温室効果ガスであるCO<sub>2</sub>を缶飲料自動販売機の冷凍機への適用を試み、製品化することができた。また、排熱を有効利用するヒートポンプシステムを開発した。R407C冷媒の同型機に比べ33%の低消費電力化を達成した。

The refrigerants used in canned beverage vending machines must be changed over to refrigerants having a small global warming potential as compared to the hydrofluorocarbon (HFC) based refrigerants used in the past. Fuji Electric experimentally applied CO<sub>2</sub> with a low greenhouse effect to a canned beverage vending machine, and successfully achieved a commercial product. We also developed a heat pump system which utilizes exhaust heat effectively. A 33% reduction in electric power consumption was achieved compared to a similar vending machine that uses R407C refrigerant.

### 1 まえがき

ジュースやコーヒーなどの缶入り飲料を無人で販売する缶飲料自動販売機は、街角やオフィスに置かれ利便性は広く受け入れられている。公共性の観点から、温室効果ガス排出量削減に配慮した、環境に優しい缶飲料自動販売機への要求が高くなってきた。

缶飲料自動販売機の冷凍機に使用する冷媒は、ハイドロフルオロカーボン（HFC）が主に使用されてきた。1997年12月に開催された気候変動防止枠組条約第3回締結国会議（COP3、京都会議）にてHFC冷媒が温室効果ガスとして指定され排出量の削減義務が課せられた。缶飲料自動販売機も、温室効果ガスの使用削減に対応するため、温暖化係数の小さい低温室効果ガスとして、CO<sub>2</sub>を冷媒に使用した自動販売機を開発した。

さらに、温暖化防止のためには省エネルギー（省エネ）を推進することが重要で、さらなる省エネ推進技術として冷却と加熱を同時に行うヒートポンプ方式を缶飲料自動販売機に適用する技術を開発した。

### 2 開発の背景とポイント<sup>(1)</sup>

缶飲料自動販売機の冷媒を温暖化係数の小さい低温室効果ガスに置き換える場合、代替冷媒の候補は可燃性ガスである炭化水素系（HC）冷媒とCO<sub>2</sub>冷媒がある（表1）。選定にあたっては次の点を考慮した。

- (a) 冷媒が外気に漏洩（ろうえい）しても、安全であること
  - (b) 廃棄が安全・容易（低コスト）であること
  - (c) 小型機から大型機までの冷凍能力を確保できること
- 代替冷媒候補であるHC冷媒は強燃性のため、次の手順

表1 低温室効果ガスの比較

		ODP* (オゾン破壊係数)	GWP* (温暖化係数)	燃焼性
低温室効果ガス	CO <sub>2</sub>	0	1	不燃性
	HC	0	3以下	強燃性
フロン系冷媒		0	1,300～1,600	不燃性

\* ODP, GWP : 57 ページ「解説3」参照

が決められている。

- (a) 冷媒封入量は冷却ユニット1台当たり150g以下にする。
- (b) 冷却ユニットの交換時は火気厳禁とし、換気が十分な環境で作業する。
- (c) サービス拠点などのHC系冷媒の総量は300kg以下とする。
- (d) 廃棄時はHC系冷媒を安全な環境で大気放出し、さらに真空引きを行った後、圧縮機だけを取り外して、1週間以上、圧縮機を大気開放して冷凍機油に溶けたHC系冷媒を追い出す。

安全確保のための新たな設備導入や作業工程が増えるので、より高コストとなる可能性が高い。また、封入できる冷媒量の制限は冷却負荷の大きい大型機への強燃性であるHC冷媒の適用には課題が残る。そこで、富士電機では安全性が高く、廃棄も容易で、自然環境負荷が小さく冷凍能力が大きいCO<sub>2</sub>冷媒を選定した。CO<sub>2</sub>冷媒は家庭用の給湯機にも用いられるように、圧縮機吐出ガス温度が100℃近い高温になる。この高温のガス冷媒を利用し、加熱中の庫内に熱を導入するヒートポンプシステムを開発した。

3 狙い

図1に示すような缶飲料自動販売機では、季節ごとの冷却・加熱運転の設定は設置場所や利用者の傾向によって、それぞれ独自に設定している。一般的には気温の低い春、秋には左庫内を暖め、中庫内・右庫内を冷却するH-C-Cモードに設定されることが多く、1年間の中で一番多く使われる運転モードである。年間消費電力量の低減を目指して、このH-C-Cモードのときに中庫内、右庫内の冷熱を左庫内の加熱に利用するヒートポンプシステムを開発することにした。

図2に示すようにヒートポンプシステムでは冷却庫内から吸い上げた熱を加熱庫内の加熱に使用する。作動流体である冷媒には冷却庫内から吸収した熱と同時に圧縮機で圧縮される仕事も熱としてため込む。その結果、圧縮機を出る冷媒の温度は100℃近くに達する。この圧縮機を出た高圧・高温の冷媒を加熱用熱交換器に通して庫内空気を加熱する。

図1 缶飲料自動販売機

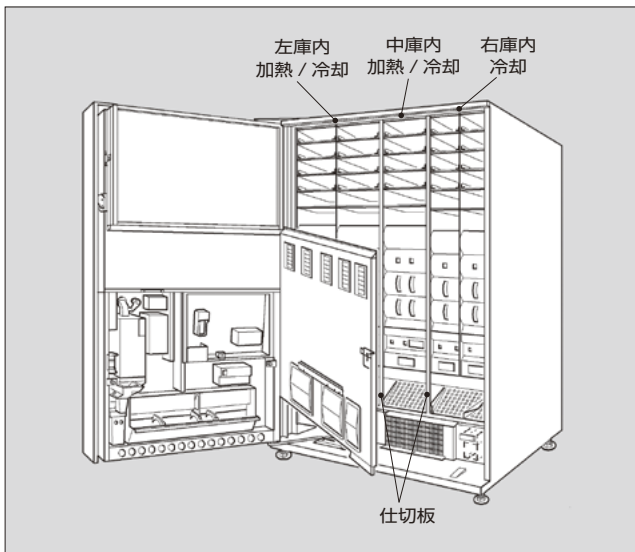
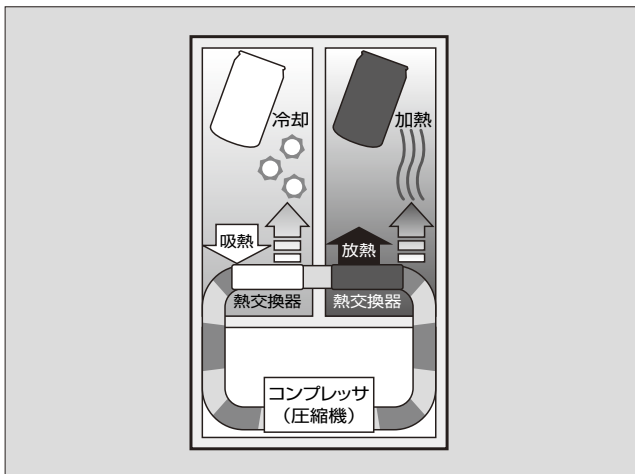


図2 ヒートポンプのイメージ



4 課題

4.1 CO<sub>2</sub> 冷媒

表2に示すように、CO<sub>2</sub>冷媒は従来のフロン系冷媒に比べて運転圧力が高く、臨界温度(58ページ「解説4」参照)が低い。図3にCO<sub>2</sub>冷媒の代表的な冷凍サイクルを示す。CO<sub>2</sub>冷媒では周囲温度が高いときは高圧側圧力が冷媒の臨界圧力(58ページ「解説4」参照)を超えて超臨界サイクルとなる。また自動販売機の冷却ユニットでは冷却する蒸発器が複数あって、冷却する庫内数が減ると余剰冷媒が高圧側配管に滞留するため高圧側圧力が上昇する。したがって、CO<sub>2</sub>冷媒を適用してHFC冷媒以下の消費電力とするには、高周囲温度での冷凍機の運転効率の向上および高圧側圧力の上昇防止が課題となる。

4.2 CO<sub>2</sub> 圧縮機

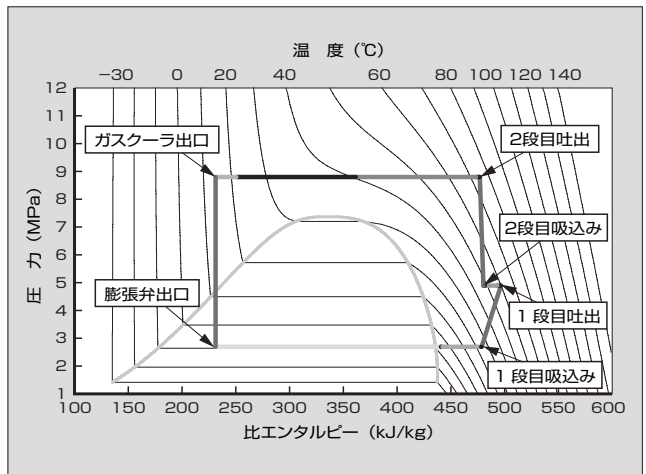
表2に示すようにCO<sub>2</sub>冷媒を用いた冷凍サイクルでは高圧側圧力が9MPa(G)に達する。CO<sub>2</sub>冷媒ヒートポンプシステムでは加熱熱交換器の温度を高温に維持するため、高圧側の圧力がさらに高く、12MPa(G)に達する。この高圧側圧力に耐えられる耐圧設計が求められる。従来の横型2段圧縮ロータリー圧縮機では、2段目の吸気温度を下げるために、1段目の吐出冷媒を庫外の熱交換器で冷却してから圧縮機の2段目の吸気ポートに戻していた。しかし、ヒートポンプシステムでは、この中間冷却システムのために2段目の吐出温度の低下が課題であった。

表2 冷媒特性

		臨界温度	運転圧力	理論運転効率 COP*
低温室効果ガス	CO <sub>2</sub>	31.1℃	9.0MPa	2.62
	HC	96.7℃	1.5MPa	3.69
フロン系冷媒	R407C	86.2℃	2.0MPa	3.63

\* COP: 57ページ「解説3」参照

図3 CO<sub>2</sub> 冷媒冷凍サイクル



### 4.3 庫内熱交換器

従来、蒸発器に使用する熱交換器のフィンは、霜の成長による目詰まりを避けるために一定間隔以上の隙間（すきま）を確保していた。一方、高温冷媒による加熱を行う加熱熱交換器は、同じ体積でできるだけ大きい加熱能力を確保するためにフィンピッチは冷却用蒸発器より狭くしていた。CO<sub>2</sub>冷媒ヒートポンプシステムでは、左庫内を加熱するときに使用する加熱熱交換器と、冷却するときに使用する蒸発器をひとつのフィン & チューブ型熱交換器で構成した。このときフィンピッチは、加熱熱交換能力を重視して従来の加熱用熱交換器に合わせると加熱能力には問題がないが、冷却運転のときに霜が成長して目詰まりに至る課題があった。

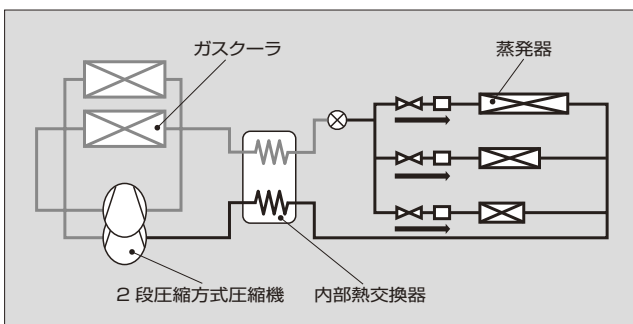
## 5 仮説と対応

### 5.1 内部熱交換器<sup>(2)</sup>

CO<sub>2</sub>冷媒は臨界温度が低く、周囲温度が高いときには高圧側圧力が超臨界工程となる。この冷媒の特性に対応した冷凍回路を図4に示す。圧縮機から吐出された冷媒ガスはガスクーラで冷却される。周囲温度が高い場合は、ガスクーラでは液化しない。そのため、ガスクーラを出た冷媒ガスをさらに冷却して密度の濃い状態にするために、内部熱交換器を使用する。内部熱交換器は、蒸発器を出た低温冷媒とガスクーラを出た高温冷媒を熱交換させるものである。この結果、高圧側冷媒の温度が低下し、密度が増加することで、膨張弁での液化・膨張作用が働くことになる。この内部熱交換器の作用によって、周囲温度が高いときでも必要な冷凍能力が得られる。

缶飲料自動販売機用冷却ユニットでは蒸発器が複数あるので、冷却に使用する蒸発器の数が少なくなると余剰冷媒が高圧側に滞留し高圧側圧力が上昇してしまう危険がある。しかし、運転中の蒸発器の数が少ないほど内部熱交換器の低圧側にはより温度の低い冷媒が流れ、内部熱交換器の作用によって、ガスクーラ出口側である高圧側冷媒が冷却できることになる。その結果、高圧側冷媒の密度増加をよりいっそう促進するので高圧側の冷媒体積を小さくすることができて高圧側圧力の上昇を抑える効果が得られる。

図4 CO<sub>2</sub>冷媒冷凍回路



### 5.2 内部吸気縦型 CO<sub>2</sub> 圧縮機

ヒートポンプ運転時に2段目吐出温度の低下が課題であった。その対策をした内部吸気縦型 CO<sub>2</sub> 圧縮機を図5に示す。内部吸気縦型 CO<sub>2</sub> 圧縮機は1段目圧縮後の冷媒を冷却せずに、直接2段目の吸入ポートに接続している。そのため、2段目の吸入ガス温度の低下を抑え、2段目の圧縮機出口温度をより高温に保つことができる。

中間冷却をなくすことによって、全庫冷却時の冷凍能力の低下が心配であった。ガスクーラの大きさを適正に設計することで全庫冷却時の能力低下がなく、ヒートポンプ運転時には高温の冷媒を加熱熱交換器に送ることができるようになった。

### 5.3 庫内熱交換器

ヒートポンプ運転時の加熱熱交換能力の向上を図るため、加熱熱交換器の配管レイアウトを図6のようにした。加熱を行うときに冷媒が流れる配管と、冷却を行うときに冷たい冷媒が流れる配管の配置を工夫している。加熱時に使用する配管がある熱交換器の上側は、冷却運転中は使用しない。熱交換器の上側には常に空気が流れているので、熱交換器全体が凍結して空気が完全に流れなくなるようなことはないと考えられる。実際の実験結果でも湿度の高い過酷な条件下で運転確認を行ったが、着霜による閉塞はなかった。

図5 内部吸気縦型 CO<sub>2</sub> 圧縮機

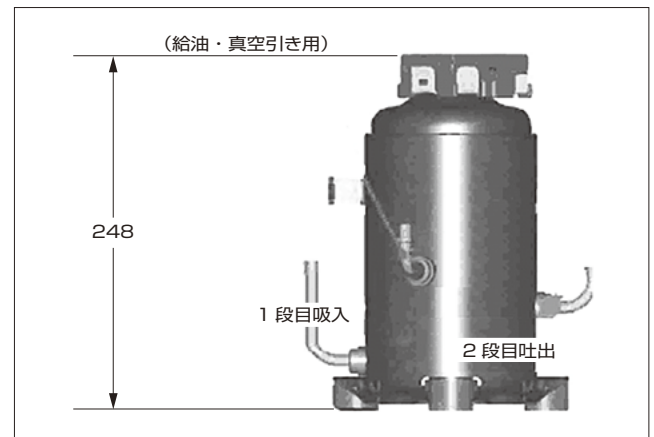


図6 一体型熱交換器の配管レイアウト

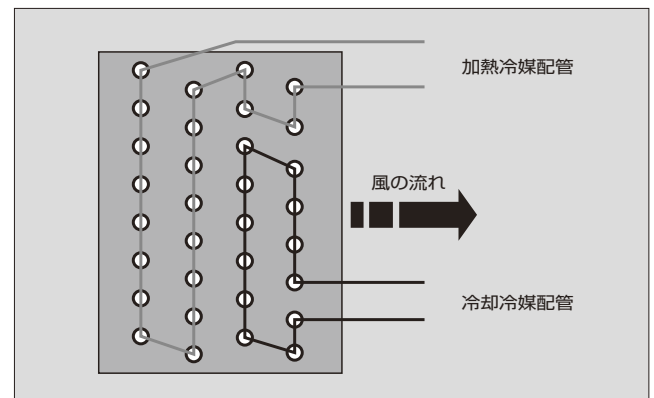


図7 消費電力量の比較

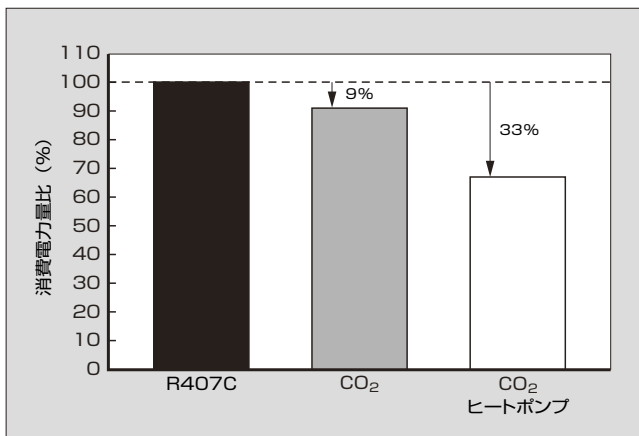
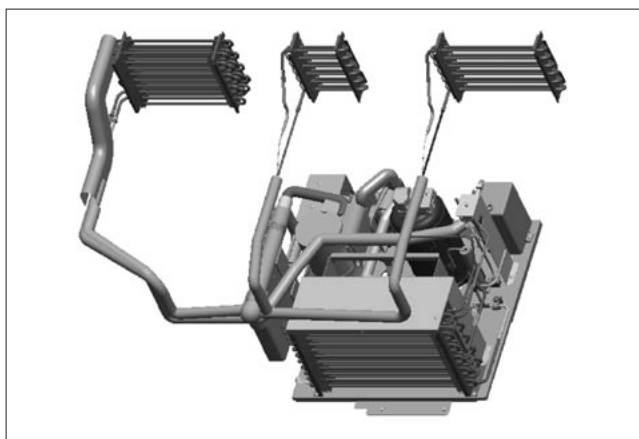


図8 CO<sub>2</sub> 冷媒ヒートポンプユニット



た。

6 結果

缶飲料自動販売機の冷凍システムの冷媒として、地球温暖化係数が1であるCO<sub>2</sub>を採用することができた。CO<sub>2</sub>冷媒は、高圧側圧力が高く冷凍能力が劣るといった課題があった。圧縮機、ガスクーラ、内部熱交換器などの工夫をすることによって、図7に示すようにJISに基づく消費電力量測定では、R407C冷媒を用いた機種と比較して、9%の省エネ化を達成した。

さらに、2009年機CO<sub>2</sub>ヒートポンプ式自動販売機の消費電力量は、代表的な30セレクションタイプのR407C冷媒の同型機と比較すると約33%の消費電力量の低減が図れた。

図8に開発したCO<sub>2</sub>冷媒ヒートポンプユニットを示す。内部吸気2段圧縮ロータリー圧縮機を搭載したことで、奥行き方向の寸法が小さいレイアウトも可能となった。缶飲料自動販売機で奥行き方向の商品コラムが4本という奥行き方向の小さい自動販売機でもヒートポンプユニットが搭載できるようになった。

このヒートポンプユニットを用いて、2009年度に量産するCO<sub>2</sub>冷媒ヒートポンプ式自動販売機のシリーズ化を行った。

7 あとがき

缶飲料自動販売機の冷却装置に使用する冷媒を、地球温暖化係数が1であるCO<sub>2</sub>冷媒にすることができた。また、自動販売機の運転中のCO<sub>2</sub>使用量削減に貢献する電力消費量の少ないヒートポンプシステムを搭載した自動販売機も量産している。しかし、地球温暖化防止のためには自動販売機の消費電力量の低減をさらに進めていく必要がある。冷媒についてもさらに運転効率が高く、地球環境への影響が少ない冷媒を積極的に採用していく所存である。

参考文献

(1) 木村幸雄, 篠原淳. 自動販売機の環境適合技術. 富士時報. 2005, vol.78, no.3, p.181-185.  
 (2) 滝口浩司, 土屋敏章. ノンフロン自動販売機. 日本冷凍空調学会. 冷凍. 2006, vol.81, no.943, p.54-58.



井下 尚紀

自動販売機用冷却ユニットの開発に従事。富士電機リテイルシステムズ株式会社三重工場開発部課長補佐。日本機械学会会員、日本冷凍空調学会会員、品質工学会会員。



\*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。