

飲料自動販売機に用いる冷媒の技術動向

Technical Trends of the Refrigerant Used for Beverage Vending Machines

滝口 浩司 Koji Takiguchi

土屋 敏章 Toshiaki Tsuchiya

缶飲料自動販売機の重要機器である冷凍機では、冷媒にオゾン層を破壊しない代替冷媒や温暖化係数の小さい低温室効果ガスを適用し、さらに省エネルギー技術の開発も積極的に行っている。温室効果の抑制を重視する場合にはCO₂冷媒を採用し、消費電力の削減を重視する場合には高効率な運転が可能なR134a冷媒を採用している。さらに、各冷媒の特徴を生かせるように開発したヒートポンプを自動販売機に適用し、いっそうの環境負荷低減を図っている。

Refrigeration systems, important equipment in canned beverage vending machines, are using alternative refrigerants that do not damage the ozone layer and low greenhouse-effect gases having a small global warming potential. Energy-saving refrigeration technology is also being developed. CO₂ refrigerant is used in applications where lowering the greenhouse-effect is prioritized. R134a refrigerant, which enables highly efficient operation, is used in applications where reduced power consumption is prioritized. Moreover, a heat pump, developed to leverage the advantages of each type of refrigerant, has been developed and applied to the refrigeration system, and the burden on the environment has been reduced.

① まえがき

各方面で地球温暖化の問題への対応が行われている。各自動販売機メーカーは、機器・システムの効率化や温暖化係数の小さい冷媒の適用技術の開発を行っており、飲料メーカーや自動販売機オペレーター業界は、環境に配慮した自動販売機を積極的に展開している。

缶飲料自動販売機の冷凍機の冷媒として主に使われているハイドロフルオロカーボン（HFC）は、オゾン破壊係数（ODP）がゼロであるが、地球温暖化係数（GWP）が高い。環境負荷の低減を図るためには、GWPが低い自然冷媒の使用が望ましい。同時に、自動販売機の省エネルギー（省エネ）化を推進することも重要である。近年、ヒートポンプを適用してエネルギーを低減する省エネ機器の開発が行われ、加えて環境に優しい冷媒が用いられるようになった。これらの技術動向を紹介する。

② 環境負荷低減への取り組み

缶飲料自動販売機は、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た。この法律では、2000年度の缶飲料自動販売機を基準にして2005年度には消費電力を33.9%削減することを目標とした。これに対して、自動販売機業界の全体平均で37.3%削減を図り目標を達成した。また、第二次の指定では、紙容器飲料自動販売機とカップ式飲料自動販売機も特定機器に追加された。缶飲料自動販売機は第一次に続いて第二次指定となるため、以前から進めてきた冷凍機の効率向上や断熱・気密の改善だけでは目標達成が難しい。そこで、ヒートポンプ技術を飲料商品の加熱に適用する省エネ機器の製品化を推進している。

缶飲料自動販売機は、飲料商品を55℃程度に加熱するため、ルームエアコンのヒートポンプよりも冷凍サイクルの凝縮温度を高温に設定する必要がある。凝縮温度が高くなると高圧側の圧力がいっそう上がるので、従来使用していた冷媒のR407Cではヒートポンプに適用することが困難であった。そこで、飽和圧力が比較的低いR134aやR600aなどが用いられるようになった。

③ 飲料自動販売機の冷媒の変遷

図1に、飲料自動販売機の冷凍機冷媒の変遷と富士電機の取組みを示す。飲料自動販売機では、当初、クロロフルオロカーボン（CFC）を冷媒に使用していた。これは、冷凍サイクルの効率が良く安定しているものの、オゾン層を破壊する冷媒である。1989年の「オゾン層を破壊する物質に関するモントリオール議定書」の発効に従い、ODPを低減するためハイドロクロロフルオロカーボン（HCFC）冷媒に切り替えた。HCFC冷媒であるR22は、ODPが0.055とわずかながらある。このため、富士電機では2000年から、ODPがゼロの代替フロン冷媒（HFC）であるR407Cへの切替えを開始し、現在ではすべての自動販売機への適用を完了している。しかし、GWPが高い代替フロン冷媒は、温室効果ガス削減を目標にした「京都議定書」で削減対象となっているので、富士電機はODPがゼロでGWPが低い冷媒を適用した飲料自動販売機も開発している。

④ 缶飲料自動販売機に用いる冷媒特性

4.1 冷媒の種類と特性

缶飲料自動販売機では、冷媒は主にフロン冷媒である

図1 飲料自動販売機における冷凍機の冷媒の変遷と富士電機の取組み

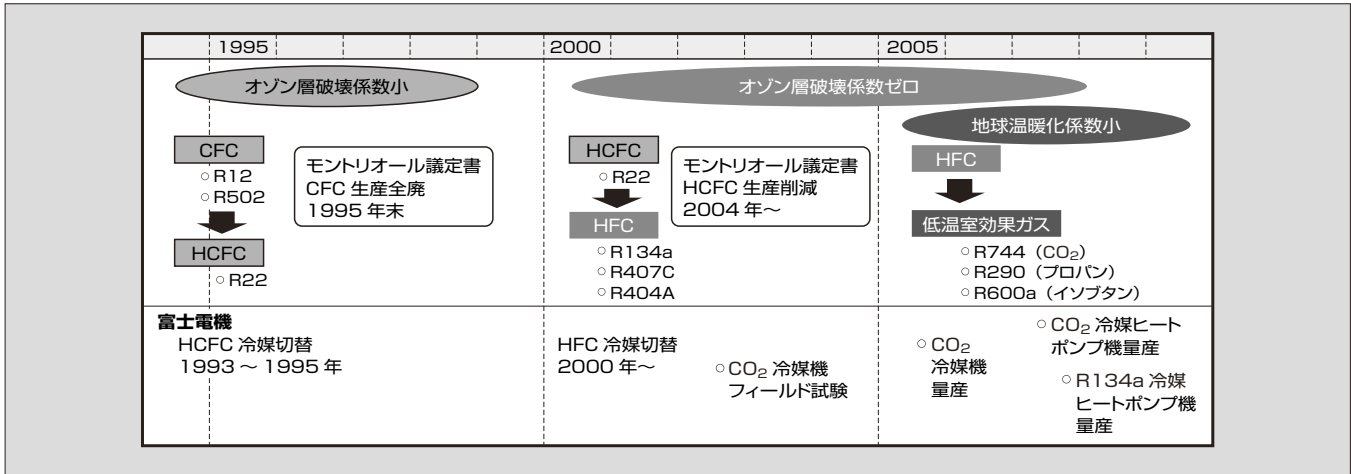


表1 冷媒特性の比較

| 冷媒 | 圧力 (MPa) | 圧力 (MPa) | | ODP ^{*1} | GWP ^{*2} | 燃焼性 | 毒性 |
|---------|-------------------------|----------|------|-------------------|-------------------|-----|----|
| | | 凝縮 | 蒸発 | | | | |
| フロン冷媒 | R407C | 3.30 | 0.36 | 0 | 1,530 | 不燃性 | 低 |
| | R134a | 2.12 | 0.20 | 0 | 1,300 | 不燃性 | 低 |
| 低温室効果ガス | R744 (CO ₂) | 9.00 | 2.65 | 0 | 1 | 不燃性 | 低 |
| | R600a (イソブタン) | 1.09 | 0.11 | 0 | 3以下 | 強燃性 | 低 |

※凝縮圧力は飽和温度 70℃、蒸発圧力は飽和温度 -10℃相当
^{*1}ODP: オゾン破壊係数 57ページ「解説3」参照
^{*2}GWP: 温暖化係数 57ページ「解説3」参照

HFC類と低温室効果ガスの二酸化炭素 (CO₂)、イソブタン (HC) を用いている (表1)。冷媒に求められる特性は以下のとおりである。フロン冷媒はこれらすべての特性を満たしているが、GWPが高いという欠点がある。

- (a) ODP がゼロである。
- (b) 長期使用でも分解・変質しない。
- (c) 漏洩 (ろうえい) しても人体への影響がほとんどない。
- (d) 使用条件に合った熱的特性を持っていて、高効率の運転が可能である。

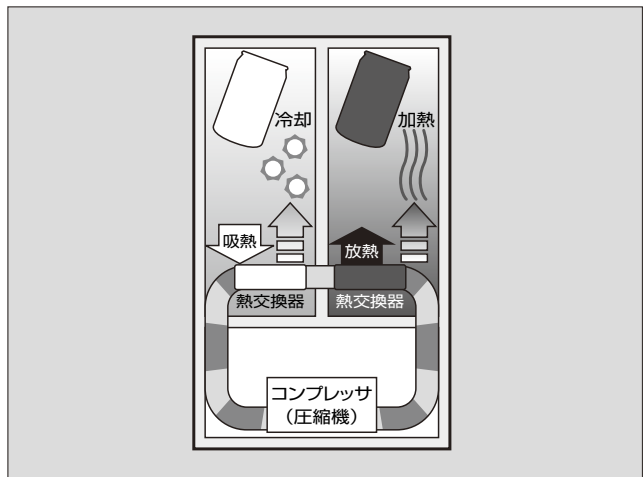
一方、低温室効果ガスは GWP が低く、地球環境負荷への影響が少ないという利点がある。CO₂冷媒は使用圧力が高いため高耐圧設計が必要である。HC冷媒は強燃性のため、漏洩時の爆発に対する安全性の確保が必要であるなどの問題がある。

富士電機は、温室効果ガスの低減によって温暖化の抑制を重視する顧客向けには CO₂冷媒を、より省エネを重視する顧客向けには R134a冷媒を用意し、広く顧客の要望に応えている。

4.2 冷凍機適用の課題

富士電機では、環境対応自動販売機を製品化している。この自動販売機には、低温室効果ガス機とヒートポンプ機がある。低温室効果ガス機は、低温室効果ガス冷媒の採用を積極的に展開する顧客向けの製品として CO₂冷媒を適

図2 ヒートポンプのイメージ



用したものである。図2に示すように、ヒートポンプ機は商品の冷却で得た熱を商品の加熱に利用している。さらに、省エネを追求した製品として、運転効率が良い R134a冷媒を用いたヒートポンプ機を開発した。この冷媒は、ヒートポンプ運転時でも凝縮圧力が 2.5 MPa 以下で従来の圧縮機や冷凍機器が使用できる。

CO₂冷媒や R134a冷媒を缶飲料自動販売機に適用するための課題は次のとおりである。

(1) CO₂冷媒の課題

CO₂冷媒では高圧側圧力が高くなるので、すべての部品の耐圧を向上させる必要がある。周囲温度の変化の影響を受けやすく、特に周囲温度が高い状態では超臨界 (58ページ「解説4」参照) 状態となり熱交換器内で凝縮しないので、ガスクーラでの熱交換量が減少して運転効率が低下してしまう。消費電力量削減のためには、高効率な冷凍サイクルの開発が必要である。

(2) R134a冷媒の課題

R134a冷媒は臨界温度 (58ページ「解説4」参照) 以下で使用するため、高圧側の冷媒は庫内の加熱熱交換や凝縮器で熱を放熱すると液化する。液化した冷媒が休止している熱交換器に溜まると、冷媒の循環量が減少し、冷却・加

熱能力が低下するので、この液溜まりを低減することが必要である。

5 環境対応冷凍技術の特徴

富士電機の環境対応自動販売機である低温室効果ガス機とヒートポンプ機のそれぞれの特徴を次に示す。

5.1 低温室効果ガス機 (CO₂ 冷凍機) の缶飲料自動販売機への適用技術⁽¹⁾

CO₂ 冷凍機はフロン冷媒と異なり、超臨界状態で運転しても運転能力が低下しない工夫が必要である。冷媒を冷却するガスクーラの熱交換能力をフロン冷媒に比べて1.4倍に拡大し、サイクル効率を向上するため内部熱交換器の追加ならびに蒸発器の熱交換性能の向上を図った。圧縮機は低い圧縮比 (= 高圧/低圧) による効率向上を狙い、2段式圧縮機を用いている。いっそうの効率向上を図るためには、1段目と2段目の吐出冷媒を冷却する必要がある。こ

図3 ガスクーラ容積比

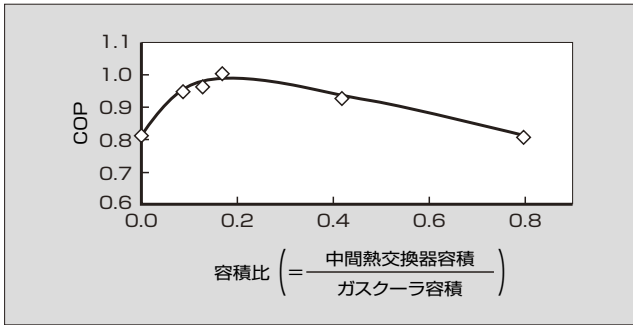


図4 デルタフィンを設置した蒸発器

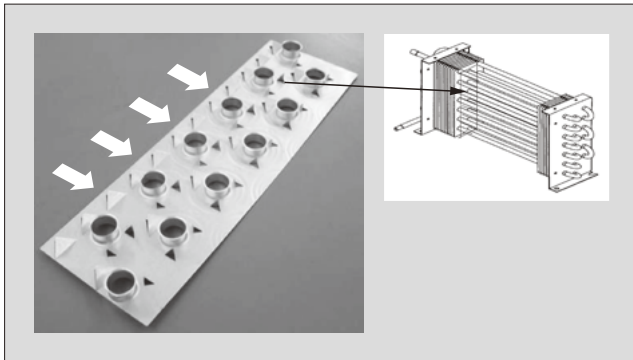
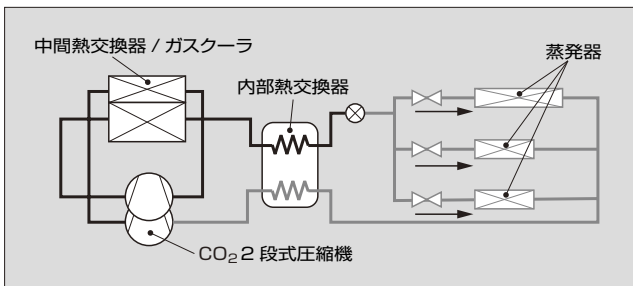


図5 CO₂ 冷却ユニット



の1段目の冷媒を冷却する中間熱交換器と2段目の冷媒を冷却するガスクーラ容積の比で効率が変化することが実験により分かったので、容積比の最適化を行った (図3)。さらに、蒸発器にデルタフィンを設置して、縦渦を起こしてフィン表面の熱伝達率を高くした高効率な熱交換器の開発など、構成機器の効率向上も行った (図4, 図5)。

5.2 ヒートポンプ式自動販売機⁽²⁾

環境負荷低減のためには、待機時の消費電力量を削減することが最も重要である。断熱気密性の向上, 加熱冷却する領域の縮小 (ゾーン化), 冷凍機の効率向上, 冷凍機やファンの省エネ制御などによる省エネを図ってきた。30種類の商品を選択できる一般的な缶飲料自動販売機が、一年を通して各部で消費する消費電力量の割合は図6のようになっている。商品温度を適温にして待機している間, 加熱は冷却に比べ加熱温度と周囲温度との温度差が大きくなるため消費する電力量が大きく, 50%以上を占める。消費電力量をさらに削減するには, 加熱の消費電力量の削減が必要であり, 排熱を利用して加熱を行うヒートポンプ技術を開発した。

(1) CO₂ 冷媒対応ヒートポンプ技術

図7にCO₂ ヒートポンプ冷却ユニットを示す。冷媒回路は, 効率向上を図った冷凍サイクルとし, さらに冷却運転と加熱運転を同時に行い運転のムダをなくした。図8に示すように, 冷却庫内の運転開始を加熱庫内の起動に合わせることで, 圧縮機の運転率を低減させた加熱優先制御法を確立した。これらの改善により, 安定したオン/オフサイクルで運転ができ, 省エネと商品温度ばらつき低減を

図6 消費電力量割合

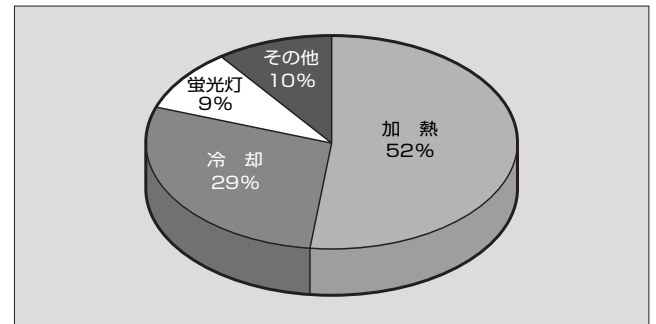
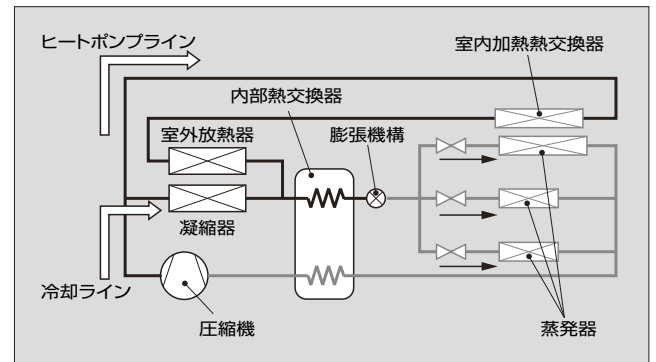


図7 CO₂ ヒートポンプ冷却ユニット



行った。

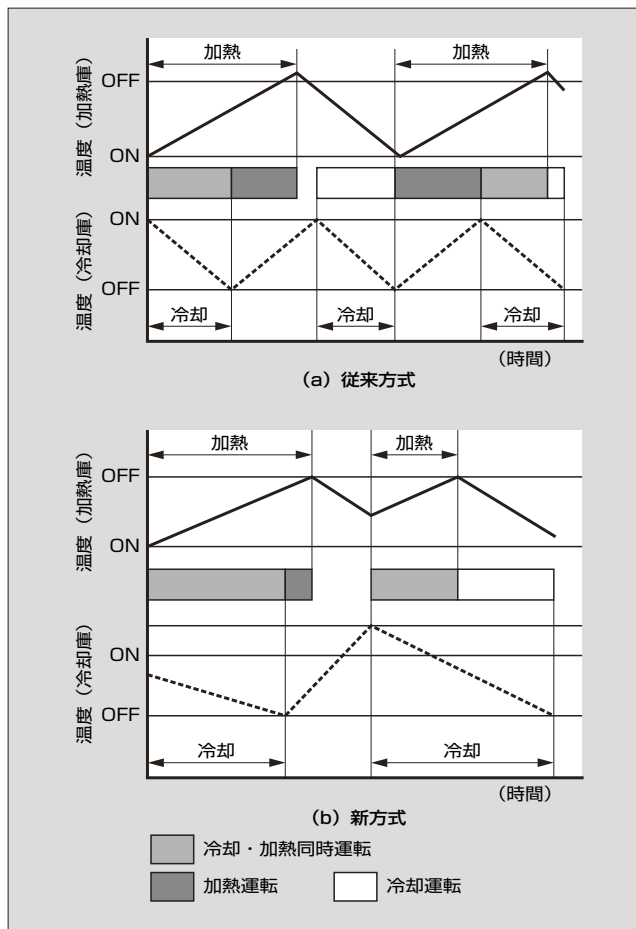
(2) R134a 冷媒対応ヒートポンプ技術

缶飲料自動販売機の加熱商品の温度は 55℃ 程度なので、フロン冷媒を用いたヒートポンプで加熱する場合、加熱空気温度を 60℃ 以上（凝縮温度で 70℃ 程度）にする必要がある。従来の運転状態より凝縮温度（圧力）が高くなるため、コンプレッサ効率の低下や耐久性の課題があった。

R134a 冷媒は比較的飽和圧力が低く、凝縮温度 70℃ 程度でも従来の冷媒に対して低い圧力となり、コンプレッサの効率を高く維持でき、高い運転効率が可能である。

さらに、ヒートポンプで加熱する庫室を従来の 1 室から 2 室にして、加熱する庫内すべてをヒートポンプで加熱することで運転効率を高めるようにした。

図 8 ヒートポンプ運転方法の概要



効率の良い R134a 冷媒を採用して、全室冷却運転においても運転効率を高めることで、年間を通して消費電力量を大幅に削減できた。一方、R134a 冷媒は回路内で液溜まりしやすく、冷却能力や加熱能力に影響を与える。これを回避するために、冷媒回路の圧力バランスを最適になるように構成し、冷媒の液溜まりを防止して安定した能力が発揮できるようにした。

6 あとがき

環境対応自動販売機として低温室効果ガスの CO₂ 冷媒を用いたヒートポンプ機と、いっそうの省エネルギー性能の向上を図った R134a 冷媒を用いたヒートポンプ機を開発した。しかしながら、地球温暖化問題はますます深刻化している。これに対応するため、国際的な場で数多く議論され、温室効果ガス削減の取組みが行われている。今後も富士電機は、低温室効果ガス冷媒の適用技術の開発とさらなる省エネルギーが可能な製品開発に取り組んでいく所存である。

参考文献

- (1) 木村幸雄ほか、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) 藤本裕地ほか、R134a 冷媒を用いたヒートポンプ自動販売機の研究、第 43 回空気調和・冷凍連合講演会、2009.



滝口 浩司

自動販売機的设计に従事。現在、富士電機リテイ
ルシステムズ株式会社ものづくり本部三重工場開
発部担当部長。



土屋 敏章

自動販売機の開発に従事。現在、富士電機アドバ
ンストテクノロジー株式会社生産技術センター機
器技術研究所三重分室主任研究員。日本伝熱学会
会員、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。