

低 GWP 冷媒の自動販売機への適用

Use of Low-Global-Warming-Potential Refrigerant in Vending Machines

石田 真 ISHIDA Shin

起 賢一 OKOSHI Kenichi

環境配慮型社会を構築する上で、自動販売機における環境性能がますます重要視されている。富士電機では、低地球温暖化係数（GWP）冷媒である HFO-1234yf を自動販売機へ適用し、その性能と環境への影響を現行冷媒の HFC-134a と比較して評価した。HFO-1234yf を適用した自動販売機の年間換算の消費電力量は、1% 低減してほぼ同等であった。また、総合等価温暖化因子（TEWI）指標により評価した環境負荷への直接影響は、99% の大幅低減であった。このように、HFO-1234yf の適用により、自動販売機の環境性能が向上することを明らかにした。

Amid efforts to build an environmentally friendly society, even greater emphasis has been placed on the environmental performance of vending machines. Fuji Electric has used HFO-1234yf, a refrigerant with low global warming potential (GWP), in its vending machines and assessed its performance and environmental impact in comparison to those of the HFC-134a refrigerant in current use. Converted annual power consumption was almost the same, with a 1% reduction for the vending machines using HFO-1234yf. As for environmental effects measured as total equivalent warming impact (TEWI) index, HFO-1234yf showed a massive 99% reduction in direct environmental impact. This clearly demonstrates that use of HFO-1234yf increases the environmental performance of vending machines.

1 まえがき

日本国内における飲料自動販売機の普及台数は、日本自動販売機工業会の調査によれば、250 万台以上とアメリカに次ぐ規模である。今日において、自動販売機は日本人の生活環境と極めて密接な関係を持つことになり、節電や環境配慮型社会の構築など、よりいっそうの社会貢献が望まれている。自動販売機における省エネルギー（省エネ）や低 GWP などの環境性能が地域社会から重要視されるようになる中、富士電機では、低 GWP 冷媒である新冷媒 HFO-1234yf を適用した自動販売機を開発した。本稿では、HFO-1234yf 搭載自動販売機の開発における課題と取り組みについて述べる。

2 自動販売機を取り巻く環境

2.1 省エネルギー化

缶・ボトル飲料自動販売機は、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）により、“2005 年度の消費電力量を 2000 年度に対して 33.9% 削減”という目標が設定された。自動販売機業界は、この目標に対して 37.3% の削減率で達成した。富士電機は、さらなる省エネ化に取り組んでおり、2012 年度の第 2 次目標（2005 年の消費電力量に対し 36.3% 削減）を達成する見通しである。

2.2 冷媒の低 GWP 化

近年では、自動販売機を含む冷凍空調機器全般に使用さ

れる冷媒の GWP にも注目が集まっている。先進的な環境政策を進める欧州連合（EU）は、加盟国に対してカーエアコンに使用する冷媒の GWP を規制している（EU 指令）。冷媒メーカーの DuPont 社と Honeywell 社によって GWP が 4 の新冷媒 HFO-1234yf が共同開発され、カーエアコンを中心にさまざまな冷凍空調機器へ適用するための研究開発が加速している⁽²⁾。既に General Motors 社は、2013 年にいくつかの車種への HFO-1234yf の採用を発表している。

HFO-1234yf は、HFC-134a（GWP=1,300）に替わって自動販売機へ適用された冷媒であり、HFC-134a よりもはるかに GWP が低く、自然冷媒（CO₂：GWP=1）にも匹敵する。図 1 に、缶・ボトル飲料自動販売機において一般的に使用されている冷媒とその GWP を示す。低 GWP であることに加えて、HFC-134a と同等の優れた効率を発揮する HFO-1234yf に着目し、富士電機は、缶・ボトル飲料自動販売機用の冷媒としての適用技術の開発を進めて

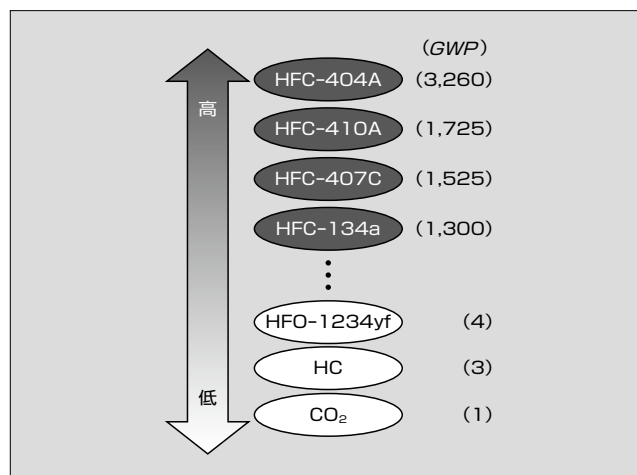


図 1 缶・ボトル飲料自動販売機の冷媒とその GWP

〈注 1〉 GWP (Global Warming Potential: 地球温暖化係数): 384 ページ「解説 3」参照

きた。

欧州だけでなく、日本でも 2011 年 4 月に改正施行された「国等による環境物品等の調達の推進等に関する法律」(グリーン購入法)の中で、一部の自動販売機において、GWP が 140 以下であることが冷媒選択の基準として設定された。

グリーン購入法の GWP への要求は世界的にみても高い。また、同法は省エネ性能についても消費電力量での基準を設けている。HFO-1234yf を採用した缶・ボトル飲料自動販売機は、このグリーン購入法の基準に適合するものであり、低 GWP と省エネを合わせた最高水準の環境対応を実現している。

③ 低 GWP 冷媒の適用における課題

一般的な缶・ボトル飲料自動販売機は、保管している飲料を加熱する部屋(加熱室)と冷却する部屋(冷却室)がある。季節により加熱室と冷却室の室数の配分を変えることにより、顧客のニーズにあった飲料の提供を可能にしている。一つの機器において加熱と冷却を同時に行う缶・ボトル飲料自動販売機には、ヒートポンプ運転が適しており、大幅な消費電力量の低減を可能にしている。

低 GWP 冷媒 HFO-1234yf を適用した飲料用ショーケースの冷却性能は、従来の HFC-134a と同等であることが DuPont 社の Barbara MINOR らによって報告されている⁽³⁾。飲料用ショーケースは冷却運転のみであるが、缶・ボトル飲料自動販売機は冷却運転だけでなくヒートポンプ運転も効率が高くなければならない。缶・ボトル飲料自動販売機の冷却装置において、凝縮温度は冷却運転では外気へ放熱するため約 40℃、ヒートポンプ運転ではホット飲料を約 55℃まで加熱するため約 70℃以上になる。このような高い凝縮温度でのヒートポンプ運転は HFO-1234yf では前例がない。

図 2 に、物性計算ソフトウェア REFPROP⁽⁴⁾により計算したモリエル線図を示す。HFO-1234yf は、凝縮温度 70℃前後(縦軸の約 2 MPa)の高温領域において、圧力上昇に

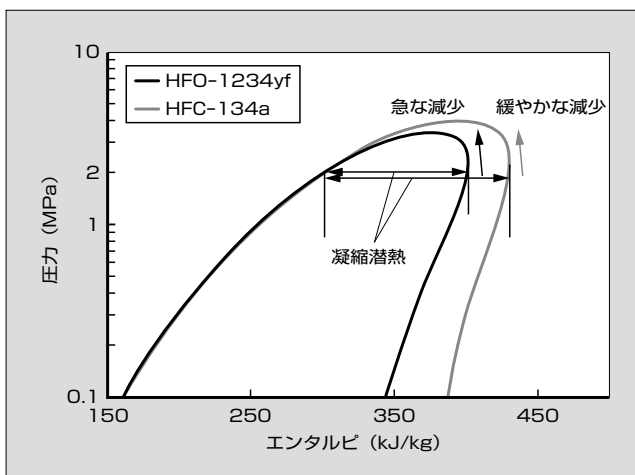


図 2 HFC-134a と HFO-1234yf のモリエル線図

伴う潜熱の減少が HFC-134a に対して顕著であることから、加熱の能力が低下し、冷却装置のシステムとして効率低下が生じることが考えられた。また、凝縮温度が大きく異なる二つの運転条件として、冷却とヒートポンプの両方の効率と消費電力量を、HFC-134a と同等にすることも課題であった。

この課題に対し、冷却装置単体の冷却能力や加熱能力、冷却加熱効率を冷却運転とヒートポンプ運転において測定し、それぞれの運転において最適な条件を出すことでこれを解決した。

④ 低 GWP 冷媒を適用した缶・ボトル飲料自動販売機の性能

富士電機の缶・ボトル飲料自動販売機に搭載しているヒートポンプ冷却ユニットの冷却装置の回路を、冷却運転時とヒートポンプ運転時のそれぞれについて図 3 に示す。図の実線は冷媒が通過する回路を、破線は回路上存在するが冷媒は通過しないことを表している。冷媒の流路の変更は、冷却装置の回路に組み込まれている電磁弁や三方弁により行っている。

③章で述べたとおり、HFO-1234yf はヒートポンプ運転時に凝縮温度(凝縮圧力)が高くなり過ぎると、図 2 のように潜熱の減少が HFC-134a よりも顕著になり、加熱の熱量が低下することが懸念された。そのためヒートポンプ運転では、補助熱交換器を通過する風量を調整することで、

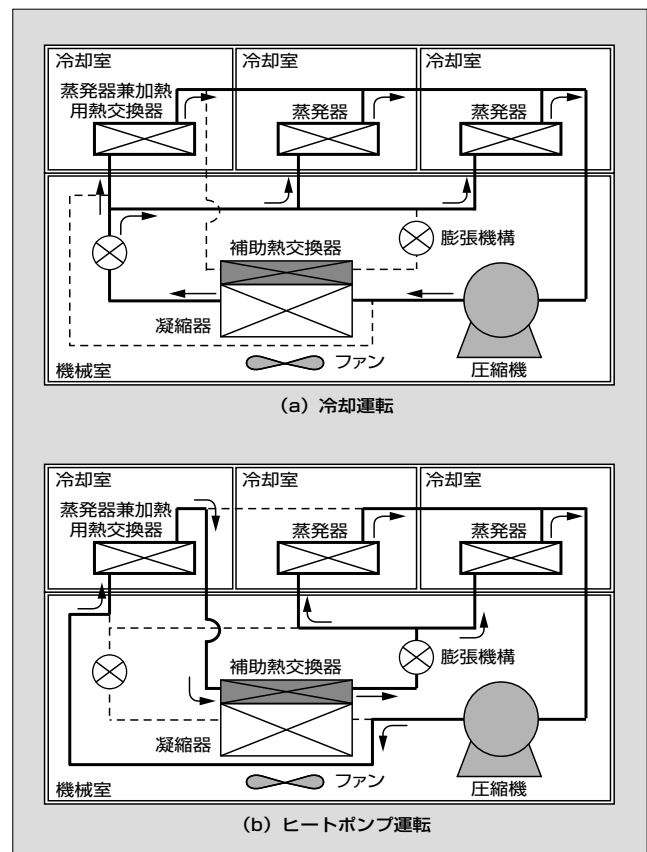


図 3 ヒートポンプ冷却ユニットの冷却装置の回路

凝縮温度が上がりすぎることを防止した。このときの風量調整は、凝縮器への送風ファンを流用し、そのオン・オフの割合を変化させて行った。

4.1 冷却装置単体の性能

冷却装置単体での能力測定に用いた実験装置を図4に、測定条件を表1に示す。冷却装置単体での能力は、断熱箱内のヒータ熱量と冷却能力、水冷熱量と加熱能力をバランスさせ、断熱箱内外の温度差が一定で安定した状態での熱収支によって計算した。この実験から、冷却運転の冷却能力と成績係数 COP、ヒートポンプ運転の冷却能力と加熱能力、冷却成績係数 COP_C 、加熱成績係数 COP_H をそれぞれ求めた。COP はその定義 (出力・入力) から、その冷

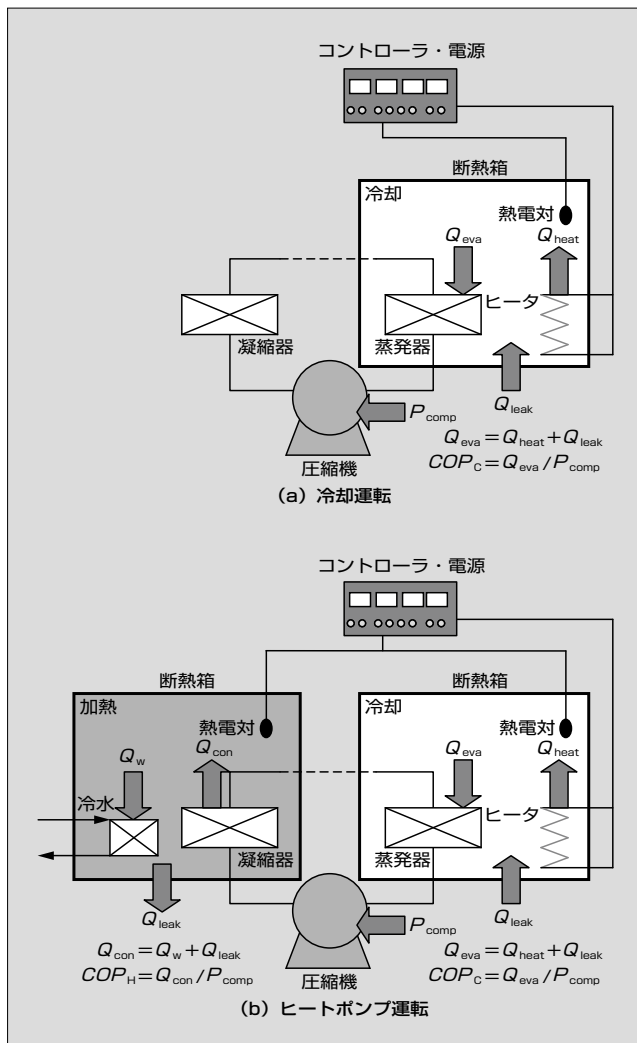


図4 冷却装置単体での能力測定実験装置

表1 冷却装置単体での能力測定実験の条件

	冷却運転	ヒートポンプ運転
凝縮圧力 (MPa)	1.2	2.1
蒸発圧力 (MPa)	0.2	0.2
冷却室空気温度 (°C)	3	3
加熱室空気温度 (°C)	-	55
周囲温度 (°C)	32	15

表2 冷却装置単体の能力と COP (HFC-134a 比)

		HFC-134a	HFO-1234yf
冷却運転	冷凍能力	1	1.09
	COP	1	0.97
ヒートポンプ運転	冷凍能力	1	0.98
	COP_C	1	1.02
	加熱能力	1	1.13
	COP_H	1	1.17

却装置の効率を表し、この三つの成績係数が全体として高くなるようにキャピラリチューブと冷媒封入量の調整を行った。

冷却装置単体を調整した後の冷却能力と COP を、HFC-134a 搭載時との比較として表2に示す。測定結果から、冷却運転では HFO-1234yf は HFC-134a よりも若干効率が低下するが、ヒートポンプ運転の効率が向上している。ヒートポンプ運転の効率向上が冷却運転の効率低下よりも大きいため、総合的にみて HFC-134a と同等の性能が出る見通しを得た。これらによって、缶・ボトル飲料自動販売機の冷却運転とヒートポンプ運転の両立が可能であり、HFC-134a と同等であることが確認できた。

HFO-1234yf は、同じ圧力においては HFC-134a よりも凝縮温度が高くなる特性があり、この温度差は圧力が高い方がより大きくなる。この特性により、凝縮圧力の高いヒートポンプ運転時に、HFO-1234yf の凝縮温度が HFC-134a よりも高く、空気との熱交換量が増加したため、高い COP_H を得られたと考えられる。

4.2 缶・ボトル飲料自動販売機の性能

HFO-1234yf を適用した冷却装置を缶・ボトル飲料自動販売機に組み込み、冷却運転とヒートポンプ運転の消費電力量を測定した。図5に測定結果を示す。消費電力量は、冷却装置単体の COP 測定結果とほぼ同じ傾向であり、冷却運転で HFC-134a 搭載時よりも 5% 増加し、ヒートポンプ運転で 6% 減少した。HFO-1234yf 搭載機と HFC-134a 搭載機の消費電力量がほぼ同等のため、冷却装置のシステムとしての効率もほぼ同等であることが確認できた。

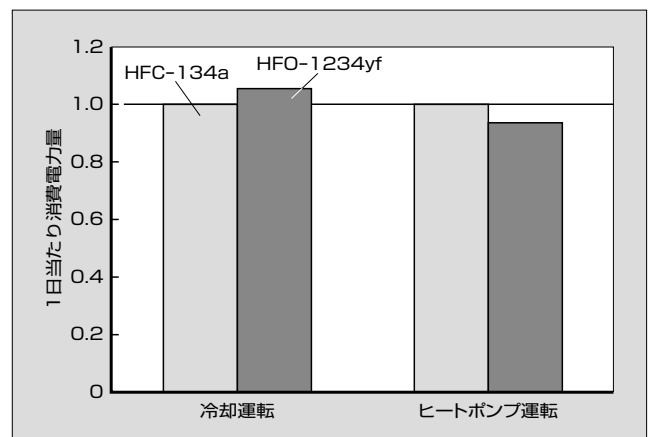


図5 1日当たり消費電力量 (HFC-134a 比)

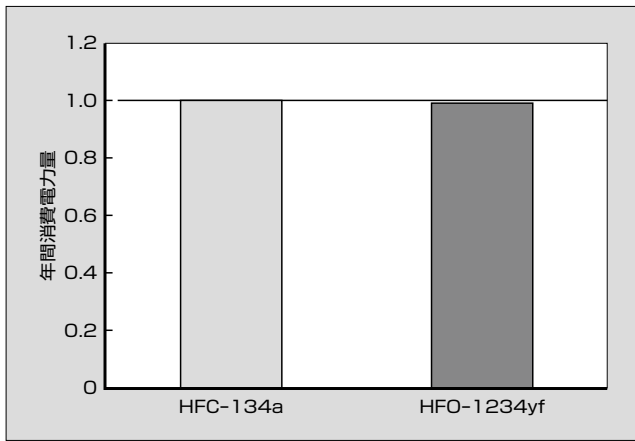


図6 年間消費電力量の推定 (HFC-134a比)

この測定結果から、1年の185日をヒートポンプ運転、180日を冷却運転と仮定して、飲料自動販売機の年間消費電力量を推定した(図6)。HFO-1234yfを缶・ボトル飲料自動販売機へ搭載した場合の消費電力量は、HFC-134a搭載の缶・ボトル飲料自動販売機と同等であることが分かった。

4.3 総合等価温暖化因子 (TEWI) による地球温暖化への影響評価

TEWIは、機器を使用する際の温室効果ガスの漏れや、使用電力量による化石燃料消費なども含め、総合的に地球温暖化への影響が評価できる、日米欧でよく用いられる評価指標である。

HFO-1234yfを搭載した缶・ボトル飲料自動販売機の地球温暖化への影響を、使用期間を7年としてTEWIにより評価した。HFC-134aの間接影響と直接影響の合計を1

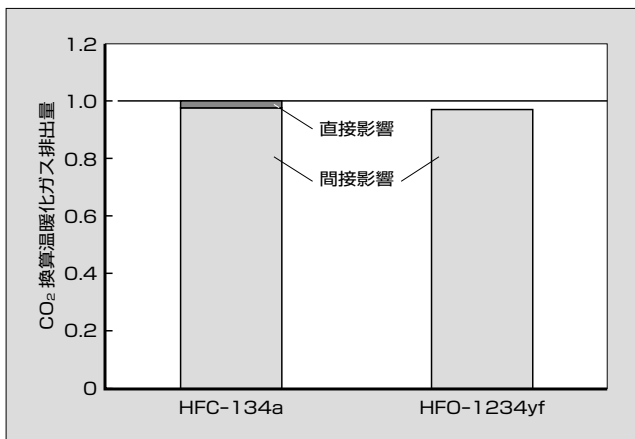


図7 TEWIによる地球温暖化への影響評価結果(HFC-134a比)

〈注2〉TEWI (Total Equivalent Warming Impact : 総合等価温暖化因子) : 384 ページ「解説3」参照

として結果を図7に示す。

HFC-134a搭載の缶・ボトル飲料自動販売機と比較した結果、間接影響は、消費電力量がほぼ同等(約1%低減)であった。これに対して直接影響は、GWPによる影響が大きく、GWPの比が4/1300というほぼゼロに近い値(99.7%低減)を実現した。

5 あとがき

HFO-1234yfを缶・ボトル飲料自動販売機に適用することで、HFC-134aと同等の消費電力量を維持しながら、GWPの大幅低減が可能であることを確認した。また、HFC-134aに適用できる省エネルギー技術がHFO-1234yfにも適用可能であると考えている。

今後は、この最高水準の環境対応技術を、缶・ボトル飲料自動販売機への適用を皮切りに、カップ式飲料自動販売機や食品自動販売機などへ水平展開していく所存である。

参考文献

- (1) 日本自動販売機工業会. “自販機普及台数及び年間自販金額”. 2011年(平成23年)版, 2012. <http://www.jvma.or.jp/information/fukyou2011.pdf>, (参照 2012-08-01).
- (2) O.J.Nielsen, et al., “Atmospheric chemistry of $CF_3CF=CH_2$: Kinetics and mechanisms of gas-phase reactions with Cl atoms, OH radicals, and O_3 ”, Chem. Phys. Lett. 439, 2007, p.18-22.
- (3) Barbara MINOR, et al., “HFO-1234yf Performance in a Beverage Cooler”, International Refrigeration and Air Conditioning Conference at Purdue, 2010-7-12/15, Purdue University, p.2422-2428.
- (4) National Institute of standards and Technology (NIST), Thermodynamic and Transport properties of Refrigerants and Refrigerant Mixtures (REFPROP), Version 8.0, 2007.



石田 真

缶・ボトル飲料自動販売機のヒートポンプ冷却ユニット開発設計に従事。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。日本冷凍空調学会会員。



起 賢一

缶・ボトル飲料自動販売機の商品企画に従事。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・開発室商品開発部。



*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。