

(解説)

冷凍機・ヒートポンプの低GWP冷媒対応

神吉英次*・前田倫子

Refrigeration Unit and Heat Pump using Low GWP Refrigerant

Eiji KANKI・Michiko MAEDA

要旨

近年、地球温暖化防止に向けたCO₂排出量の削減が世界的な課題となっている。また、代替フロンは温室効果が高いことから規制が進んでおり、冷凍機やヒートポンプなどの熱源機器に対しては地球温暖化係数（Global Warming Potential：GWP）の低い冷媒への早期転換が求められている。本稿では、当社の冷凍機やヒートポンプへの低GWP冷媒対応として、アンモニア冷媒を使用したインバータ駆動の半密閉アンモニアスクリュ冷凍機の開発をはじめ、ヒートポンプ用冷媒としてR1234yfなどの採用に向けた取り組みを紹介した。

Abstract

In recent years, the reduction of CO₂ emissions to prevent global warming has become a global challenge. Hydrofluorocarbons (HFCs) are being regulated due to their high greenhouse effect; and, for heat source devices such as refrigerators and heat pumps, early conversion to refrigerants with low global warming potential (GWP) is required. This article introduces Kobe Steel's efforts to introduce low GWP refrigerants into refrigerators and heat pumps, which includes the development of an inverter-driven semi-hermetic ammonia screw refrigerator based on ammonia refrigerant and the adoption of R1234yf, or other refrigerants, for heat pumps.

キーワード

地球温暖化, ヒートポンプ, 冷凍機, 低GWP冷媒

ま え が き = 空調機器や冷凍・冷蔵機器にはフロン類が多く使用されているが、近年の地球温暖化問題により、温室効果の高いフロン類への規制が進んでいる。2016年10月に採択されたモントリオール議定書キガリ改正では、高いGWP（Global Warming Potential：地球温暖化係数）をもつHFC（ハイドロフルオロカーボン）が新たな規制対象に加わった。これにより日本を含む先進国は、2011-2013年の平均数量等を基準値として、2019年から削減を開始し、2036年までに85%分を段階的に削減する必要に迫られている¹⁾。

これを受けて国内では、HFC冷媒の製造量および輸入量の事業者ごとの割り当てがオゾン層保護法によって定められ、一部のHFC冷媒の価格が上昇し始め、入手が困難になりつつある。また、フロン排出抑制法では、フロン類を使用する製品区分ごとにフロン類の目標GWP値と目標年度を設定した「指定製品」が定められた。このため機器メーカーは、目標年度以降は出荷台数ベースの加重平均GWP値が目標GWP値を超えないようにしなければならない²⁾。表1はフロン排出抑制法による指定製品の一部を抜粋したものである。現時点で指定製品に挙がっていない製品についても、代替冷媒の安全性評価や技術的課題の解決など要件が整い次第、順次追加される見込みである。このため、機器のノンフロン化・低

表1 フロン排出抑制法によるGWP目標値と目標年度

Table 1 GWP targets and target year under "Act on Rational Use and Proper Management of Fluorocarbons"

Designated products	Present refrigerant (GWP)	Target GWP	Target year
Room air conditioning	R410A (2090) R32 (675)	750	2018
Commercial air conditioning (offices & stores)	R410A (2090)	750	2020
Condensing units and refrigeration units (> 1.5 kW)	R404A (3920) R410A (2090) R407C (1774) CO ₂ (1)	1500	2025
Cold storage warehouse (> 50,000 m ³)	R404A (3920) NH ₃ (0)	100	2019
Mobile air conditioning	R134a (1430)	150	2023

GWP化は機器メーカーにとって急務となっている。

本稿では、当社の冷凍機およびヒートポンプを対象に、モントリオール議定書キガリ改正に基づく低GWP冷媒化に向けた取り組みを紹介する。

1. 冷凍機

当社は2002年に世界で初めてインバータ駆動の2段圧縮スクリュ冷凍機iZシリーズの開発に成功した。さらに2004年にはオゾン層を破壊しないフロン冷媒R404Aを使用したiZ αシリーズを上市した。これらの冷凍機は低温用途の蒸発温度-60~-30℃の広い温度範

* 機械事業部門 汎用圧縮機本部 冷熱・エネルギー部

囲に対応し、食品冷蔵のほか食品用フリーザ装置や真空凍結乾燥、環境試験室、プロセス冷却などの用途において多くのお客さまに使用していただき、ご好評をいただいている。本機はインバータ駆動による部分負荷時の省エネ効果に加え、圧縮機の吸込圧力が下がるにしたがって回転数を増速させる能力増強機能が大きな特長である³⁾。

また、中温用途の単段冷凍機およびブラインクーラユニットを機種追加してシリーズを拡充している。

1.1 冷凍機の低GWP冷媒対応（自然冷媒）

当社は、iZ冷凍機の省エネ、能力増強の特長を生かし、さらにGWPがゼロであるアンモニア冷媒を使用したインバータ駆動の半密閉アンモニアスクリュ冷凍機（iZNシリーズ）を開発・商品化した。

従来のアンモニア冷凍機はメカニカルシール付きの開放型圧縮機であり、冷媒であるアンモニアの漏れが避けられない構造であった。しかしながらアンモニアには毒性や可燃性があることから、アンモニアが外部に漏れない圧縮機が強く望まれていた。

アンモニアが外部に漏れないようにするためには圧縮機本体にモータを内蔵した半密閉構造にする必要がある。しかしながら従来のモータの巻線に使用されている銅線はアンモニアによって腐食される。このため、圧縮機本体の半密閉化にあたってはアルミ巻線モータを採用した。半密閉化によってメカニカルシールが不要な構造の本開発機はアンモニアの漏れがなくなった。またメカニカルシールの定期整備が不要となり、安全性が高く、省メンテナンスな冷凍機である（図1）。

本インバータ駆動半密閉アンモニア冷凍機は、モータ公称出力24～125 kWまでラインアップしている。本機はまた、アンモニアを機械室内で循環させてアンモニアで冷却凝縮したCO₂を冷蔵庫に供給するNH₃/CO₂二次冷媒システムなどで使用されている。

1.2 冷凍機の低GWP冷媒対応（フロン冷媒）

冷凍機にはフロン冷媒R404A（GWP値3920）が多く使用されているが、指定製品化により2025年までにGWP値1500以下の冷媒に転換する必要がある（表1）。しかしながら冷媒のGWP値と燃焼性は相反する関係にあり、現在のところ不燃性でGWP値1000以下の冷媒は上市されていない。また、冷蔵庫内を換気できず、組み合わせられる冷蔵庫も特定できない。そこで、現行冷媒R404Aと圧力が近く、上記GWP規制値をクリアする不

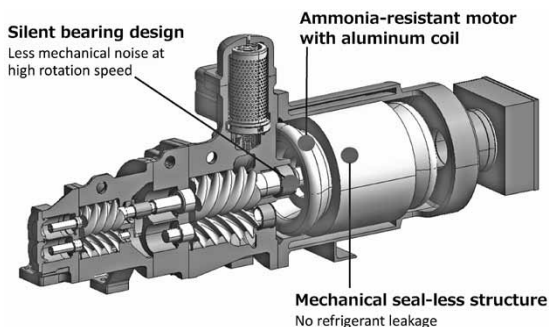


図1 半密閉アンモニア2段スクリュ圧縮機

Fig.1 Two-stage ammonia semi-hermetic screw compressor

燃性冷媒R448A（GWP値1387）を、冷凍機に使用する冷媒として採用することにした。冷媒R448Aを採用して開発した2段スクリュ冷凍機iZFシリーズを図2に示す。

冷媒R448Aは同一圧力の沸点と露点に5℃程度の温度差を有する5種混合の非共沸混合冷媒である。熱交換器の型式によっては伝熱性能が低下するため再設計を行った。また液冷媒の過冷却効果を増強することにより、現行冷媒R404A使用機に対し冷却能力およびCOP（成績係数）の向上を図った。

現在、37 kWおよび55 kWの水冷機と空冷機とを上市しており、順次シリーズを拡充していく予定である。

2. ヒートポンプ

当社は、オフィスビルや商業施設などの空調用途、あるいは工場のプロセス冷却用途のチラーから産業用加熱用途の高温ヒートポンプまで、幅広い温度に対応した高効率の熱源機をラインアップし、お客さまの省エネ・省CO₂に加えてランニングコストの低減に寄与してきた。図3は当社既存代表機種の供給温度範囲を整理・分類したものである。横軸および縦軸はそれぞれ冷水（熱源水）および冷却水（温水）の出力温度を示す。

ヒートポンプは従来、空調用途を主としており、温水温度は暖房に使用する50～55℃程度であった。しかし



図2 冷媒R448Aを採用した2段スクリュ冷凍機iZF90Aの外観
Fig.2 Appearance of two-stage screw refrigerator iZF90A using refrigerant R448A

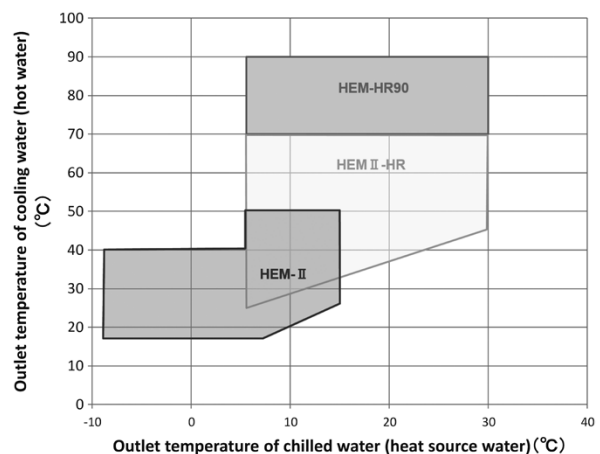


図3 当社ヒートポンプの供給温度範囲

Fig.3 Supply Temperature Range of Heat Pumps

表2 現行のHFC冷媒および低GWP冷媒の候補

Table 2 Current HFC refrigerant and candidate of low GWP refrigerants

Refrigerant	HFC			HFO Blend			HFO			
	R407E	R134a	R245fa	R513A	R454A	R454C	R1234yf	R1234ze(E)	1233zd(E)	R1224yd(Z)
GWP (AR5)	1425	1300	858	573	238	146	<1	<1	1	<1
Safety group ^{*1}	A1	A1	B1	A1	A2L	A2L	A2L	A2L	A1	A1
High pressure gas safety act	Inert gas	Inert gas	Inert gas ^{*2}	Inert gas	Flammable gas	Flammable gas	Specific inert gas	Specific inert gas	Inert gas ^{*2}	Inert gas ^{*2}
Act on rational use and proper management of fluorocarbons	Applicable	Applicable	Applicable	Applicable	Applicable	Applicable	Not applicable	Not applicable	Not applicable	Not applicable
Boiling point (at 1atm)	-43.9°C	-26.1°C	15.3°C	-29.2°C	-48.3°C	-45.9°C	-29.4°C	-19.0°C	18.3°C	14.6°C

*1 A: Lower toxicity, B: Higher toxicity, 1: No flame propagation, 2L: Lower flammability, 2: Flammable, 3: Higher flammability

*2 Not applicable to high pressure gas safety act due to specification conditions

当社では産業用加熱用途に適用可能な高温ヒートポンプの開発を進めてきた。すなわち、2009年には70℃までの温水と冷水を同時供給する「ハイエフミニシリーズ HEM^{注1)} II-HR」を、また2010年には90℃までの温水と冷水を同時供給する「ハイエフミニシリーズ HEM-HR90」を他社に先駆けて商品化した。

生産工場ではガスや石油など化石燃料を燃焼させるボイラが主流である。しかしながら近年は、ヒートポンプの省エネ性が高く評価され、ボイラの代替熱源として普及が進みつつある。

2.1 ヒートポンプの低GWP化

当社ヒートポンプの代表機種に使用している現行HFC冷媒および低GWP冷媒候補を表2に示す。R407EやR134aのGWP値は、冷凍機に多く使用されているR404Aに比べると1/3程度であるものの1000以上と高い値を有している。

チラーやヒートポンプは現在、フロン排出抑制法の指定製品には該当していないが、数年以内には指定製品化されることが予測されている。指定製品となった場合、家庭用・店舗用エアコンの目標GWPが750以下であることから(表1)、同様に750以下が目標となる可能性が高い。低GWP冷媒は主にHFO(ハイドロフルオロオレフィン)を始めとしてさまざまな冷媒が提案されているが、上述の理由からGWP値が750以下の冷媒を代替候補とした。

機器の設計上、現行HFC冷媒と沸点の近い冷媒が候補になると考えるが、R407EやR134aの沸点に近くGWP値が750以下の冷媒はわずかながら燃焼性を有する。A2L(微燃性)冷媒は高圧ガス保安法では「可燃性」に分類されるため、防爆対応などの措置が必要となる。いっぽうで、R1234yf、R1234ze(E)は高圧ガス保安法で「特定不活性ガス」に分類されており、機械換気装置(チラー・ヒートポンプとのインタロックが必要)および冷媒漏れ検知警報装置を設置すれば不活性ガスと同等の扱いができる。ただし現在、A2L冷媒の中で「特定不活性ガス」に定められているのはR32、R1234yf、およびR1234ze(E)の三種のみである。R454AやR454CなどのA2L冷媒は実質使用することができない。低GWP化促進のため、より広範なA2L冷媒が「特定不活性ガス」



図4 HEM-HR70-GNの外観
Fig.4 Appearance of HEM-HR70-GN

とされるよう早期の法緩和が望まれる。

2.2 低GWP冷媒対応ヒートポンプ⁴⁾

2.2.1 70℃/55℃温水取出機

当社のヒートポンプでは初の低GWP冷媒対応機70℃/55℃温水取出機(HEM-HR70/55-GN/GL、図4)を2019年10月から販売開始した。冷媒としてR1234yfを採用したGNモデルと、R513Aを採用したGLモデルとがあり、HEM-HR70-GN/GLは温水55~70℃取出、HEM-HR55-GN/GLは温水40~55℃取出に対応している。

R1234yfは、GWP値が1未満でフロン排出抑制法の対象外である。さらに、高圧ガス保安法で特定不活性ガスに定められていることに加えて、入手性が良いことや運転性能が良いことなどを総合的に判断して採用した。

またR513Aは、GWP750以下の不燃冷媒であり、特定不活性ガスの対応が難しいお客さまからの低GWP化ニーズに応えられるようラインアップした。

2.2.2 85℃/95℃温水取出機

85℃温水取出機は、従来のHEM-HR90の温水取出温度領域(90℃)を85℃までカバーすることを目的に開発した低GWP冷媒対応機である。本機は基本試験を終了し、来年度販売開始予定である。冷媒は、従来のR134aとR245faとの混合冷媒と圧力の近いR1234ze(E)を採用した。

95℃取出機(HEM-HR95-GN)は、蒸留濃縮システムやアンモニア回収装置などの省エネ・省CO₂を目的に、

脚注1) HEMは当社の登録商標である。

従来の温水ヒートポンプでは対応できなかった高温排熱の回収に対応した低GWPモデルである。温水ヒートポンプはこれまで、最高40℃までの排温水から熱回収して70～90℃の温水供給に対応していた。しかしながら本機は、60～75℃というより高温の排温水から熱回収し、最大95℃の温水供給を可能にした。冷媒は当社的高温機で実績のあるR245faに近い物性のR1224yd (Z)を採用した。

むすび = 当社の低GWP冷媒対応について紹介した。低GWP冷媒は冷媒メーカーから多種登録されているが、性能や安全性に優れた低GWP冷媒は少なく、すべてのHFC冷媒に対応した低GWP冷媒はない。このため、機器メーカー各社は創意工夫を凝らしているのが実情である。

また、冷媒規制に関する情報は、即対応を求められている冷媒メーカーや機器メーカーにとっては切迫した問題として認知されているが、機器を使用されるお客さまにはいまだ伝わっていないことも大きな問題である。とくに、R404AはGWP値が高いことからすでに生産量が削減されており、入手が難しくなっている。このため従来の冷媒が入手できず、メンテナンスが実施できなくなって初めて冷媒の低GWP化の動きを知るお客さまやサービス会社も多い。冷媒規制に関する情報を広く伝えていく必要性を痛感している。

当社は今後も低GWP冷媒に対応した機種開発を推進し、環境に優しい製品を提供することによって低炭素社会の実現に貢献していく所存である。

参 考 文 献

- 1) 環境省. モントリオール議定書第28回締約国会合の結果. https://www.env.go.jp/earth/ozone/montreal/mop28_result.html. (参照2020-02-20).
- 2) 経済産業省 フロン類等対策ワーキンググループ. 指定製品の目標値及び目標年度の設定について(案). 第12回 開催資料4, https://www.meti.go.jp/shingikai/sankoshin/seizo_sangyo/kagaku_busshitsu/flon_taisaku/pdf/012_04_00.pdf. (参照2020-02-20).
- 3) ㈱神戸製鋼所. スクリューラインチラーユニット iZSB / iZ a B. https://www.kobelco.co.jp/products/standard_compressors/refrigerationunit/izsb_izab/index.html. (参照2020-02-20).
- 4) ㈱神戸製鋼所. 「グリーン冷媒」採用の水冷式高温ヒートポンプ「HEM-HR-GN/GLシリーズ」を販売開始 ～55℃から95℃温水取出機をラインアップ(95℃温水取出機：木村化工機㈱共同開発)～. 2019年9月9日, https://www.kobelco.co.jp/releases/1201980_15541.html. (参照2020-02-20).



神吉英次

機械事業部門 汎用圧縮機本部
冷熱・エネルギー部



前田倫子

機械事業部門 汎用圧縮機本部
冷熱・エネルギー部