

低GWP冷媒と安全・安心を両立した 荏原の高効率ターボ冷凍機

＜低GWP冷媒でも、どなたにも使いやすいターボ冷凍機RTBA型＞

荏原冷熱システム(株) 天野 俊輔

1. はじめに

地球温暖化の防止は人類に共通の課題であり、CO₂をはじめとする温室効果ガスの排出量削減がパリ協定としてグローバルで合意された。それに関連して今日では地球温暖化係数 [Global Warming Potential (以下GWP)] の低い冷媒 (以下低GWP冷媒) を使用した冷凍空調機器が求められている。

当社は、ユーザーの低GWP冷媒に対するニーズに対応して、下記の特長を有する、新冷媒 R1224yd(Z) (AMOLEA[®] 1224yd) を採用した RTBA 型ターボ冷凍機 (写真 1) を 2018 年 4 月に発売し、好評販売中である。

- ・不燃性かつ低毒性の低GWP冷媒採用で、環境性と安全・安心を両立
- ・フロン排出抑制法の対象外で、冷凍機はノンフロン扱い
- ・高効率
- ・高信頼性、かつ各種仕様に対応

すなわち RTBA 型ターボ冷凍機は、低GWP と不燃性かつ低毒性を両立する新冷媒の採用により、使い勝手も従来通り良好で低GWP冷媒の使用に伴う欠点がないことに加えて、高効率であり、しかも様々なユーザーの仕様や使い方に柔軟に対応できる、言わば「低GWP冷媒でも、どなたにも使いやすいターボ冷凍機」であり、「環境負荷を低減したい、かつ安全・安心で使いやすい冷凍機」を使いたいユーザーに最適な製品である (第 1 図)。

本稿ではまず低GWP冷媒が必要な背景と新

冷媒候補について概説し、当社の新冷媒選択について述べる。そしてこの度改良を実施した RTBA 型ターボ冷凍機について説明する。

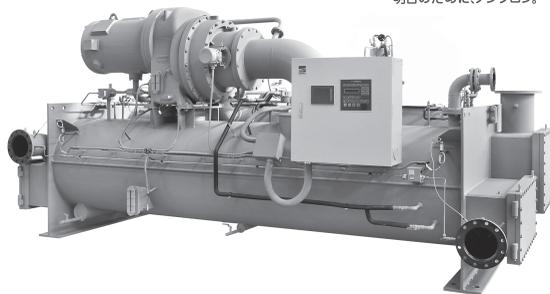


写真 1 RTBA 型ターボ冷凍機外観

- ・冷凍機の環境負荷を低減したい
- ・安全・安心な冷凍機をご検討の
お客様に最適です。

環境性と安全・安心を両立する
低GWP冷媒 R1224yd(Z)
フロン排出抑制法対象外

シリーズ最高COP 6.4^(RTBA135型 JIS B 8621条件)
IPLV 8.9^(インバータ機) / 7.0^{(固定速機) (RTBA0365型 JIS B 8621条件)}

信頼と実績のRTBF型ベース

冷凍能力 220～1500USRT
各種仕様に対応

第 1 図 RTBA 型ターボ冷凍機の特長

2. 新たな冷媒規制の経緯

冷凍機の冷媒はこれまで数回の転換を経験している。フロンの発明以前の冷凍機には適切な物質が他になく、毒性の高い物質や強い燃焼性を有する物質が冷媒として使用された。1929年に不燃性と低毒性を両立した最初のフロンCFC [Chloro Fluoro Carbon] が発明され安全・安心な物質を冷媒に使用できるようになった。

しかし1970年代からCFCが成層圏でオゾン層を破壊することが議論され、1987年のモントリオール議定書により1996年までの特定フロンCFCの廃止と代替フロンHCFC [Hydro Chloro Fluoro Carbon] の長期段階的廃止が決定された。

HCFCを代替するために開発されたHFC [Hydro Fluoro Carbon] はオゾン層を破壊せず、不燃性で毒性が低い、安全・安心な冷媒である。しかし地球温暖化係数は高い。時代が過ぎ徐々に地球温暖化問題への意識が高まる⁽¹⁾に伴い、HFCに対する規制が動き始めた。2006年に欧州でFガス規制が制定されたことに始まり、米国を中心とする国々によるモントリオール議定書におけるHFC規制の提案（通称北米提案）を経て、日本においてはフロン回収破壊法が改正され、通称フロン排出抑制法が制定された（2015

年4月施行）。グローバルでは2016年10月、ルワンダのキガリにおけるモントリオール議定書締約国会合（MOP28）において締約国はHFC総量規制に合意した（キガリ改正）⁽²⁾。具体的には先進国はHFCの生産量および消費量をCO₂換算で2019年に10%、2024年に40%、2029年に70%と段階的に削減し、最終的に2036年に85%削減する必要がある。キガリ改正合意によって日本のフロン排出抑制法による規制も強化され⁽³⁾、機器メーカーに対して低GWP冷媒への転換を求める「指定製品制度」に2019年1月にターボ冷凍機が追加（2025年以降GWP100以下）⁽⁴⁾された。そのため今日ではユーザーから低GWP冷媒を使用した冷凍機が求められている。

3. 低GWP冷媒候補

低GWPを実現するために冷媒のもつ性質は変わってくる。自然冷媒と呼ばれるものはGWPが低い、炭化水素には強い燃焼性、アンモニアには燃焼性と毒性などの課題がある。そこで近年、低GWP冷媒候補物質として炭素-炭素の二重結合を有するHFO (Hydro Fluoro Olefin) 系の物質が開発されてきた。大気中では紫外線によって分解し、寿命が短いためにGWPが低い。しかし速やかに分解するように分子の安定

第1表 ターボ冷凍機用低GWP冷媒候補

代替冷媒	R1336mzz(Z)	R514A	R1233zd(E)	R1224yd(Z)	R1234ze(E)	R1234yf	R513A
現行冷媒 (GWP)	R123 (77)		R245fa (1,030)		R134a (1,430)		
単一/混合	単一	共沸混合	単一	単一	単一	単一	共沸混合
GWP	2	2	1	<1	<1	<1	573
大気寿命	22日	-	26日	21日	18日	11日	-
標準沸点 [°C]	33.4	29.1	18.3	14.0	-19.0	-29.6	-29.2
分子量	164.1	-	130.5	148.5	114.0	114.0	-
ASHRAE Std34 分類	A1	B1	A1	A1	A2L	A2L	A1
燃焼性	不燃性	不燃性	不燃性	不燃性	微燃性	微燃性	不燃性
毒性	低毒性	高毒性	低毒性	低毒性	低毒性	低毒性	低毒性
冷媒限界濃度 RCL [ppm]	13,000	2,400	16,000	60,000	16,000	16,000	72,000
職業暴露限界 OEL [ppm]	500	320	800	1,000	800	500	650
体積能力 (現行冷媒比) ^{注)}	80%	100%	85%	100%	70%	100%	100%

注1) 冷媒物性データベース NIST Refprop Ver9.1

2) 二段圧縮二段膨張サブクールサイクル。蒸発温度6℃、凝縮温度38℃

性を下げているため、本質的なトレードオフとして、GWPを下げるほど燃焼性を有する傾向がある。様々な種類の冷凍空調機器に対して異なる低GWP冷媒が開発されている⁽⁵⁾⁽⁶⁾が、低GWPのためには不燃性は必ずしも守れない条件になったとすることができる。

ターボ冷凍機に適する低GWP冷媒候補となるHFO系物質をまとめたのが第1表である。GWP、大気寿命、沸点、分子量、燃焼性と毒性のランクそして冷媒限界濃度（RCL）と職業暴露限界（OEL）、圧縮機吸込体積あたりの冷凍能力（以下体積能力。現行冷媒に対する相対値）を示す。R134a（GWP：1,430）の代替となるR1234yfやR1234ze(E)はGWPが1以下と低いが僅かな燃焼性（微燃性）がある。R513Aは不燃性の共沸混合冷媒であるがGWPは573と高い。R134a以上の圧力では不燃性と低GWPの両立は困難との研究もある⁽⁷⁾。一方R123（GWP：77）の代替としては不燃性のR1336mzz(Z)があるが体積能力が低い。共沸混合冷媒のR514Aは不燃性でR123に近い体積能力であるが高毒性に分類される。最後にR245fa（GWP：1,030）の代替としてはR1233zd(E)とR1224yd(Z)が、単一物質であってGWPは1以下と低く、不燃性かつ低毒性である。R1224yd(Z)は、物質としての安定性も現行のHFC冷媒並みに高い⁽⁸⁾ことも重要な利点である。

4. RTBA型ターボ冷凍機の特長

ターボ冷凍機をお使いいただいているユーザーにとって、温暖化防止という視点に立って冷媒に求める性質は何かを想定してみた。ユーザーごとに答えは異なるが、本質的、理想的には下記のような性質が想定される。

- 低GWP：環境負荷低減 環境規制遵守
- 低毒性：万一漏洩しても安全性が高い
- 不燃性：火災や有毒物質発生リスクなし
- 単一物質：万一漏洩しても補充可能
- 高安定性：長期間で性能変化や腐食等なし
- 高効率：間接環境負荷低減

低GWP冷媒の開発状況と、上に挙げた冷媒に対する本質的ニーズの両方を考慮した結果、当社はターボ冷凍機用の低GWP新冷媒として、R1224yd(Z)（AMOLEA[®] 1224yd）を採用した。新冷媒R1224yd(Z)は低GWP（1以下）で不燃性かつ低毒性、高安定性の単一物質で、前述の本質的ニーズを全て満足する。

第1表には示していないが下記も特長である。

- フロン排出抑制法対象外、ノンフロン冷凍機
- 生産量の多い他用途（発泡剤等）展開
- 取り扱いの容易な低圧冷媒
- 現行冷媒と同等能力と高COPが期待できる

環境配慮と安全・安心を両立する新冷媒R1224yd(Z)を採用したRTBA型ターボ冷凍機は、実績と信頼性を重視して、当社の主力製品であるRTBF型ターボ冷凍機の技術をベースに開発し、2018年4月に発売した⁽⁹⁾。この度ターボ冷凍機のコア技術である遠心圧縮機の羽根車等を改良し、シリーズの冷凍能力範囲を拡大するとともに、成績係数COPも向上した。改良されたRTBA型シリーズには下記の特長がある。

(1) 幅広いシリーズ構成

冷凍能力範囲は220冷凍トンから1,500冷凍トンと、従来機種であるRTBF型と同等の、十分に幅広い範囲をカバーしている（第2表、第3表）。

(2) 高効率

定格条件のCOPがシリーズ最高で6.4と高効率である。またRTBA030型で6.2（従来6.0）、

RTBA型ターボ冷凍機 定格COP

シリーズ最高COP

6.4 (RTBA135型)

COP

6.3 (RTBA050型)

↑3.3%UP
(従来機 6.1)

COP

6.2 (RTBA030型)

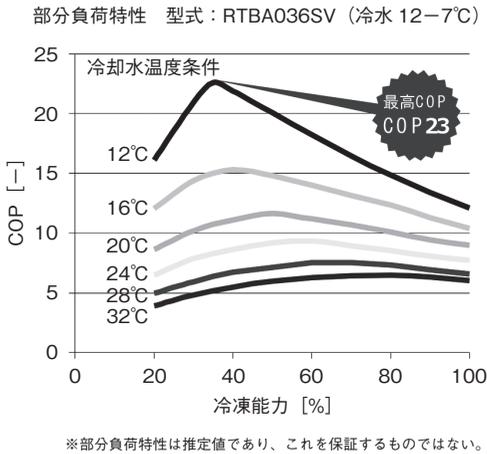
↑3.3%UP
(従来機 6.0)

(いずれもJIS B8621条件)

第2図 RTBA型ターボ冷凍機の定格性能

RTBA050型で6.3（従来6.1）に3.3%向上した。
部分負荷効率についても、インバータ機では

最高COPは23と十分に高く（第3図）、期間成績係数（Integrated Part Load Value：以下IPLV）もインバータ機は8.9、固定速機は7.0と十分高く当社従来機比で、それぞれ約11%と9%向上した（第4図）。



第3図 RTBA型ターボ冷凍機の部分負荷特性

RTBA型ターボ冷凍機 期間成績係数 (IPLV)



第4図 RTBA型ターボ冷凍機の期間成績係数

第2表 RTBA型ターボ冷凍機選定例（その1）

■冷水入口温度12℃→7℃ 冷却水入口温度32℃→37℃

型式		-	RTBA022	RTBA025	RTBA027	RTBA030	RTBA036S	RTBA040	RTBA044	RTBA050	RTBA053	RTBA060
冷凍能力	kW		774	879	949	1,055	1,266	1,407	1,547	1,758	1,864	2,110
	{USRT}		220	250	270	300	360	400	440	500	530	600
冷水	流量	L/min	2,220	2,520	2,720	3,020	3,630	4,030	4,430	5,030	5,340	6,040
	圧力損失	kPa	48	49	51	54	45	47	48	51	49	54
	接続配管径	A	150	150	150	150	200	200	200	200	250	250
	パス数	-	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
冷却水	流量	L/min	2,599	2,948	3,177	3,522	4,240	4,700	5,163	5,869	6,226	7,051
	圧力損失	kPa	53	53	52	53	55	55	55	56	69	63
	接続配管径	A	200	200	200	200	250	250	250	250	250	300
	パス数	-	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
主電動機	電圧	V	400V級・3,000V級・6,000V級									
	始動方式	-	400V級（オープンスターデルタ）、3000V級・6000V級（リアクトル）									
据付寸法	長さ（L）	mm	4,470	4,470	4,470	4,470	4,570	4,640	4,640	4,640	4,640	4,960
	幅（W）	mm	2,065	2,065	2,065	2,065	2,510	2,510	2,510	2,510	2,650	3,010
	高さ（H）	mm	1,950	1,950	1,950	1,950	2,235	2,400	2,400	2,400	2,460	2,790
質量	運転質量	t	7.3	7.5	7.6	7.8	10.9	12.2	12.5	12.9	13.0	16.1
	搬入質量	t	6.1	6.2	6.3	6.4	9.0	10.1	10.2	10.4	10.7	13.6
冷水保有量	L		320	350	370	400	570	610	640	700	840	1,020
冷却水保有量	L		360	380	390	420	580	610	640	680	710	1,000

(3) 各種仕様対応力

ターボ冷凍機は一般的にユーザーの使い方に合わせて様々な仕様に対応することを要求されることが多い。RTBA型ターボ冷凍機は、様々な仕様に対応できる柔軟性も従来機種RTBF型から引き継いでいる。例えば冷水温度差、ノズル方向、各種フィルタの多重化等、使い勝手に直結する仕様に対応できる。また一般的になりつつあるインバータ仕様にも対応する。さらに、搬入経路が十分確保できないリニューアル時に特に重要となる分割搬入仕様や防爆仕様にもオプションで対応できる。

まとめると、RTBA型ターボ冷凍機は、低GWPと不燃性かつ低毒性を両立する新冷媒の採用によって、使い勝手も従来通り良好で低

GWP冷媒の使用に伴う欠点がないことに加えて、定格でも期間成績係数でも十分に高効率であり、かつ各種仕様やオプションにも柔軟に対応できるなどの長所を全て兼ね備えている。言わばRTBA型は「低GWP冷媒でもどなたにも使いやすいターボ冷凍機」であり、環境負荷を低減したい、かつ安全・安心で使いやすい冷凍機をお使いになりたいユーザーに最適な製品である。

RTBA型ターボ冷凍機は日刊工業新聞社主催の第21回オゾン層保護・地球温暖化防止大賞において、審査委員会特別賞を受賞した⁽⁹⁾。低GWPと安全・安心を両立する新冷媒をすべてのユーザーに使いやすく提供することを目指した当社の姿勢が評価された結果と考えている。

第3表 RTBA型ターボ冷凍機選定例（その2）

■冷水入口温度12℃→7℃ 冷却水入口温度32℃→37℃

型式		-	RTBA065	RTBA070	RTBA075	RTBA080	RTBA090	RTBA100	RTBA115	RTBA125	RTBA135	RTBA150
冷凍能力	kW		2,286	2,461	2,637	2,813	3,077	3,516	3,868	4,395	4,571	5,063
	{USRT}		650	700	750	800	875	1000	1100	1250	1300	1440
冷水	流量	L/min	6,550	7,050	7,550	8,060	8,811	10,070	11,080	12,590	13,091	14,500
	圧力損失	kPa	57	60	62	65	69	62	61	63	61	63
	接続配管径	A	250	250	250	250	300	350	350	400	400	400
	パス数	-	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
冷却水	流量	L/min	7,627	8,215	8,805	9,385	10,249	11,702	12,873	14,640	15,204	16,906
	圧力損失	kPa	65	66	68	70	92	78	72	83	79	84
	接続配管径	A	300	300	300	300	300	400	400	400	400	400
	パス数	-	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
主電動機	電圧	V	400V級・3,000V級・6,000V級					3,000V級・6,000V級				
	始動方式	-	400V級（オープンスターデルタ）、3,000V級・6,000V級（リアクトル）					3,000V級・6,000V級（リアクトル）				
据付寸法	長さ（L）	mm	4,960	4,960	4,960	4,960	5,630	5,685	5,685	5,720	5,720	5,720
	幅（W）	mm	3,010	3,010	3,010	3,010	3,010	3,440	3,440	3,465	3,465	3,570
	高さ（H）	mm	2,790	2,790	2,790	2,790	2,790	3,250	3,365	3,365	3,365	3,450
質量	運転質量	t	17.0	17.2	17.5	17.8	19.3	27.5	28.1	30.3	30.8	32.9
	搬入質量	t	14.1	14.3	14.6	14.7	15.8	22.3	22.9	24.5	25.0	26.5
冷水保有量	L		1,020	1,060	1,110	1,150	1,300	1,650	1,650	1,950	2,000	2,200
冷却水保有量	L		1,000	1,030	1,070	1,100	1,200	1,600	1,600	1,850	1,950	2,050

注) 冷水・冷却水は清水。

最高使用圧力は1.0MPa。

本仕様要項は予告なく変更されることがある。

本仕様要項は型式選定される場合の目安である。

5. 納入事例

環境負荷を低減しつつ安全・安心で使いやすいRTBA型ターボ冷凍機は、引き合い好調であり、多数を受注、出荷している。以下に納入事例を紹介する。

現時点ではユーザーが低GWP冷媒使用ターボ冷凍機とHFC使用ターボ冷凍機のいずれも選択できるが、環境配慮を重視するユーザーを中心として多数が納入され、稼働中である。

旭化成(株)では、旭化成発祥の地である宮崎県延岡市にある同社延岡支社の、樹脂製造過程でプロセスの冷却の為、従前より大型ターボ冷凍機を多数ご採用いただいております。この度地球温暖化防止対策に有効な低GWP冷媒を使用したRTBA型ターボ冷凍機をいち早く導入いただいた(写真2)。

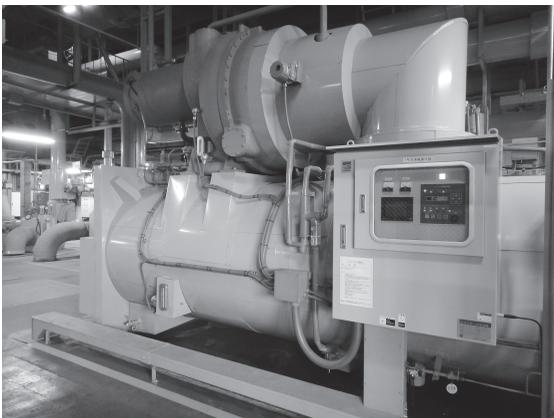


写真2 納入事例1 旭化成(株)納入機

1907年に創立し、日本初となるガラス工場の操業を開始してから100年以上の歴史をもち、ガラス分野だけでなく電子・化学品・セラミックなど幅広い分野に事業を拡大しているAGC(株)では、同社千葉工場のプロセス冷却用途向けに、経年したターボ冷凍機の後継機として環境性に優れたRTBA型ターボ冷凍機を採用いただいた(写真3)。

大正7年に大阪泉州の地で創業され、20年前から、CO₂排出量削減など、いち早く環境目

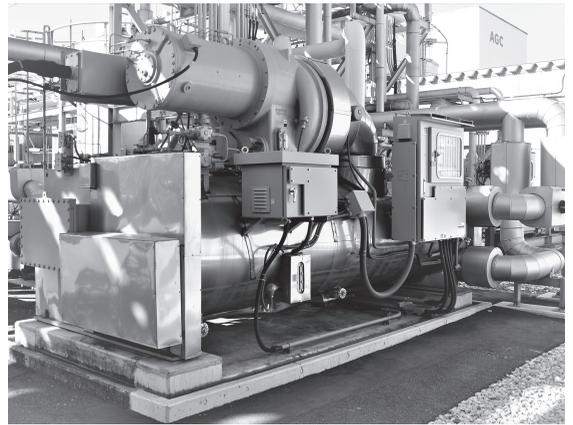


写真3 納入事例2 AGC(株)納入機

標を設定して事業に取り組まれている大正紡績(株)では、【環境保全に役立つ設備】として、経年したターボ冷凍機をRTBA型ターボ冷凍機に更新いただいた(写真4)。



写真4 納入事例3 大正紡績(株)納入機

また、今国内で最もシンボリックな施設である【国立競技場】では、その空調設備として、当社のRTBA型を採用いただいた(写真5)。

これら4件以外にも多数のユーザーに、低GWP冷媒でも、どなたにも使いやすいRTBA型ターボ冷凍機を採用いただいております。ユーザーのニーズに従い稼働中である。

現時点ではユーザーが低GWP冷媒使用ターボ冷凍機とHFC使用ターボ冷凍機の内いずれも選択できる。しかし、2020年2月の産業構造審議会では、日本全体としてのHFCの使用見通

しをこれまでよりも厳しく削減する方針が示された⁽¹⁾。ターボ冷凍機の規制値と目標年度は既に決定済みであるが、ターボ冷凍機の指定製品目標年度である2025年に向けて、ユーザーの低GWP冷媒採用機器へのニーズは更に高まっていくと考えられる。当社としては、高まる低GWP冷媒へのニーズに対して、より多くのユーザーにとって実効的で有用な選択肢として、「低GWP冷媒でもどなたにも使いやすいRTBA型ターボ冷凍機」を、自信を持って提案していきたいと考えている。

6. レトロフィット技術の開発

実効的な温暖化影響を低減するために可能な限り早期に冷媒を転換していくことが望ましいが、冷凍機には機種ごとの指定された以外の冷媒を使用することはできない。そのため低GWP冷媒を採用した新機種をいち早く採用いただくほど、実効的な環境負荷の低減につながる。しかしながら、ターボ冷凍機は製品寿命が非常に長い製品であるため、低GWP冷媒のターボ冷

凍機が販売されていても実際に導入できるのは10年や20年後になるという場合もある。

今回採用した新冷媒R1224yd(Z)は、現行冷媒のR245faに圧力等の物性値が非常に近い。そこで既納入ターボ冷凍機に対してR1224yd(Z)対応化というサービスメニュー（レトロフィット技術）を開発した。すなわちR245faを使用する当社の冷凍機を既に使用いただいているユーザーが要望された場合、当社が確立した技術に基づいて、当社が行う定期メンテナンスの際に冷凍機の一部の部品を交換することで、低GWP冷媒R1224yd(Z)に入れ換えることが可能である。R1224yd(Z)は低GWPでも不燃性かつ低毒性であるため、ユーザーはこれまでと変わらない安全・安心を維持しながら、より早い時期から冷媒による環境負荷を低減できる。従って寿命が長く機器の入れ替わりに場合によっては数十年を必要とするターボ冷凍機であっても、より実効的な環境負荷低減に大きく寄与できる。



写真5 国立競技場

(出典：大成建設(株)提供)

7. おわりに

現代の生活に不可欠な冷凍空調機器で使用されているHFC冷媒を、地球温暖化防止のために低GWP冷媒に転換する必要がある、グローバルで長期のHFC総量規制が始まった。そのため今日では低GWP冷媒を使用した冷凍機が求められている。

当社はターボ冷凍機用低GWP冷媒に、低GWPと不燃性かつ低毒性を両立でき、冷媒に対する本質的なニーズを全て満足するR1224yd(Z)を採用した。低GWPとこれまで同様の安全・安心を両立する新冷媒の採用により使い勝手も従来通り良好で低GWP冷媒の使用に伴う欠点がないことに加えて、高効率であり、しかも様々なユーザーの仕様や使い方に柔軟に対応できる、言わば「低GWP冷媒でも、どなたにも使いやすい」ターボ冷凍機RTBA型を2018年4月に発売した。

この度2020年4月に改良を実施し、冷凍能力範囲を1,500冷凍トンまで拡大するとともに定格および部分負荷の効率を大幅に向上した。

環境負荷を低減しつつ安全・安心で、どなたにも使いやすいRTBA型ターボ冷凍機は、引き合い好調であり、多数を受注、出荷している。今後とも広く御利用いただけるように、新冷媒ターボ冷凍機の拡販と更なる開発を進め、ユーザーの要望に応じていく所存である。

- 記事中のRTBA型など、～型とは当社の機種記号です。
- 「AMOLEA」はAGC㈱の商標または登録商標です。

<参考文献>

- (1) Guus J. M. Velders et al. : “The large contribution of projected HFC emissions to future climate forcing”
https://www.epa.gov/sites/production/files/documents/velders_pnas.pdf
- (2) MOP28の報告及び今後の検討方針（経済産業省）
https://www.meti.go.jp/shingikai/sankoshin/seizo_sangyo/kagaku_bussuitsu/flon_taisaku/pdf/009_05_00.pdf
- (3) キガリ改正を踏まえた新たな代替フロン規制の基本的事項等について（経済産業省、環境省）
<https://www.env.go.jp/press/y0615-05/mat02.pdf>

- (4) 指定製品の目標値および目標年度の設定について、平成29年12月18日（経済産業省）
http://www.meti.go.jp/shingikai/sankoshin/seizou/kagaku/freon_wg2/pdf/012_04_00.pdf
- (5) 建築設備と配管工事、第55巻、第9号、pp.35-39（2017年8月号）
- (6) BE建築設備、第68巻、第11号、pp.57-62（2017年11月号）
- (7) Mark O. McLinden et al. : “Hitting the Bounds of Chemistry: Limits and Tradeoffs for Low-GWP Refrigerants”, The 24th IIR International Congress of Refrigeration ICR2015 Yokohama
- (8) AMOLEA I224 yd 技術資料
<http://www.agc-chemicals.com/jp/ja/products/detail/index.html?pCode=JP-JA-G016>
- (9) エバラ時報、No.257、pp.15-21（2019年4月号）
https://www.ebara.co.jp/about/technologies/abstract/detail/_icsFiles/afiedfile/2019/07/04/257_P15.pdf
- (10) 日刊工業新聞社、第21回オゾン層保護・地球温暖化防止大賞
<https://biz.nikkan.co.jp/sanken/ozon/number21.html>
- (11) フロン排出抑制法に基づくフロン類の使用見通し（案）、経済産業省（令和2年2月14日）
https://www.meti.go.jp/shingikai/sankoshin/seizo_sangyo/kagaku_bussuitsu/flon_taisaku/pdf/015_03_01.pdf
- (12) 荏原冷熱システムホームページ
<https://www.ers.ebara.com/cases/>

【筆者紹介】

天野 俊輔

荏原冷熱システム(株) グローバル生産開発統括部
冷凍機開発部 製品開発課
〈主な業務歴及び資格〉
工学博士