

# ヒートポンプ技術で地球環境負荷の低減に貢献する空調機、給湯機、及び熱源機の技術動向

Trends in Air-Conditioning Systems, Hot-Water Supply Systems, and Heat Source Equipment Utilizing Environmentally Friendly Heat Pump Technologies

鈴木 秀明

■ SUZUKI Hideaki

近年、空調機、給湯機、及び熱源機（以下、空調機器と呼ぶ）では、コンプレッサ、インバータ、及び冷凍サイクル技術をコア技術として省エネ性の高い製品が開発されている。空調機器に用いられているヒートポンプ技術は、わが国や欧州では重要な再生可能エネルギー利用技術の一つに位置づけられ、省エネに貢献するだけでなく二酸化炭素（CO<sub>2</sub>）の排出量削減が期待され、民生分野だけでなく産業分野でも製品が開発されている。

東芝キャリア（株）は、地球環境負荷の低減に貢献するため、ヒートポンプ技術を軸に、グローバル市場向けに省エネ性の高い空調機を製品化するとともに、産業分野向けにCO<sub>2</sub>排出量を低減させた高効率熱源機の製品化に取り組んでいる。

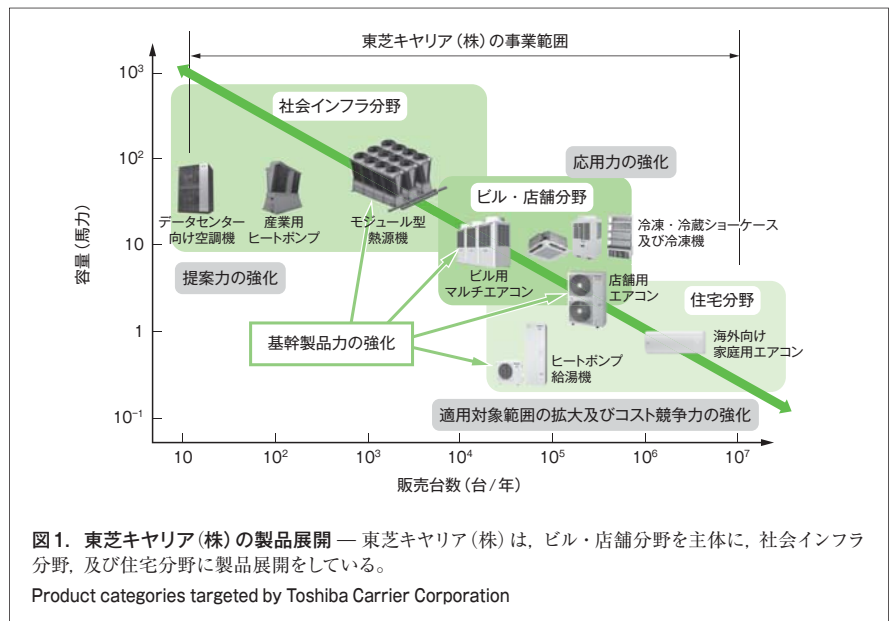
In the field of air-conditioning systems in recent years, products with high energy-saving performance have been developed based on core technologies including compressors, inverters, and refrigerant cycle systems, in particular, heat pumps are considered to be a renewable energy utilization technology in Japan and Europe. Products using heat pump technologies are expected to play a key role in reducing carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) emissions in the commercial and industrial sectors.

To address global environmental issues, Toshiba Carrier Corporation is making efforts not only to provide high energy-saving air-conditioning systems to the global market but also to develop high-efficiency heat source equipment for industrial fields such as heat pump chillers to reduce CO<sub>2</sub> emissions.

## 東芝の取組みと空調機器を取り巻く法規制

1935年にエアコンが国内で初めて製品化されて以来、80年が経過し、家庭用エアコンの普及率は約91%に達し、1世帯当たりの保有数量も平均で2.7台（内閣府 消費動向調査、2015年3月現在）となっている。東京芝浦電気（株）（現 東芝）が1980年12月に世界で初めてインバータエアコンを製品化して以来、東芝キャリア（株）（1999年4月に分社）は、家庭用エアコンから業務用エアコン（店舗用エアコンやビル用マルチエアコン）まで空調機のインバータ化を推進し、様々な分野の空調機を開発して製品化してきた（図1）。

インバータ制御の空調機は、運転開始時には大能力を得るためにコンプレッサを高速で運転し、設定温度に近づくと小能力とするために低速での連続運転を行う。このため、大能力域から小能力域までの幅広い運転範囲で快適な空間が得られるばかりでなく、特に低速



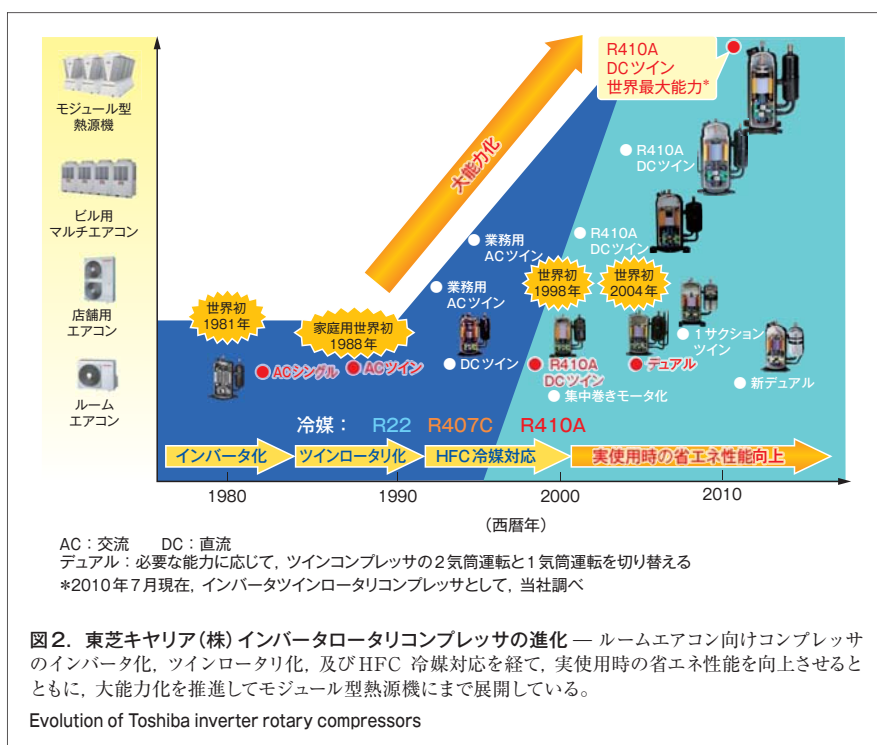
運転時には熱交換器が相対的に大きくなるという効果があるため、大きな省エネ性能が得られるメリットがある。

当社は、空調機の心臓部であるコンプレッサをインバータ駆動化して以降、更に圧縮機構を二つ持つツインロータリ化による振動と騒音の低減や、運転速

度可変幅の拡大、オゾン層保護のためのHFC（ハイドロフルオロカーボン）冷媒採用、といった技術開発を行ってきた。また、業務用エアコンに搭載される大容量コンプレッサで主流になっているスクロールコンプレッサが吐出弁を持たないのに対して、ロータリコンプレッサ

は吐出弁を持つ。このため、運転条件に応じて圧縮室内の吐出圧力が変化する圧縮比可変運転が常に可能であり、冷房負荷又は暖房負荷が定格負荷の50%以下であるような部分負荷運転時にも高効率な運転ができる。当社は、部分負荷特性に優れているインバータロータリコンプレッサの大能力化を推進し、ルームエアコンから大規模施設向けモジュール型熱源機へ展開している(図2)。更に、ヒートポンプ給湯機、冷凍・冷蔵ショーケース、及び冷凍機への展開も図っている。

空調機器に用いられているヒートポンプ技術(囲み記事参照)は、エネルギー需要の大きな暖房・給湯用途を中心に世界的に省エネの切り札としての期待が高まっている。2008年12月に欧州議会で採択された再生可能エネルギー利用促進指令の中で、空気熱利用のヒートポンプは重要な再生可能エネルギー利用技術の一つとして位置づけられている。また、わが国においても2009年8月に施行された「エネルギー供給事業



者による非化石エネルギー源の利用及び化石エネルギー原料の有効な利用の促進に関する法律」(エネルギー供給構造高度化法)の中で、地熱、太陽熱、及

び大気中の熱その他の自然界に存在する熱は、再生可能エネルギー源の一部と位置づけられている。ヒートポンプ機器は、環境・エネルギー分野において、

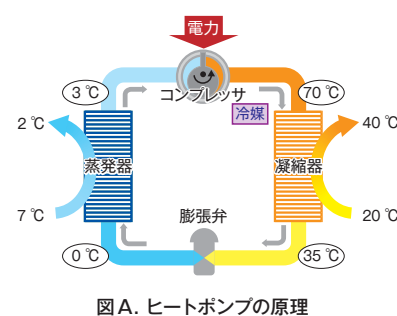
## ヒートポンプ技術

空調及び給湯に用いられているヒートポンプ技術は、蒸気圧縮式ヒートポンプで、一般に、コンプレッサ、凝縮器、膨張弁、及び蒸発器が配管で接続され、その回路内を冷媒が循環し、圧縮、凝縮、膨張、及び蒸発されることにより、低温部分から高温部分へ熱を移動させる技術である(図A)。電力などの投入エネルギーよりも大きい熱エネルギーを回収して利用できるため、暖房・給湯

用途において、化石燃料を直接燃焼させる方式と比べて、非常に高いエネルギー効率が得られる。ヒートポンプ技術は、空調及び給湯以外にも、冷凍・冷蔵庫や、除湿機、自動販売機など、更に最近では洗濯乾燥機にも使用されている。

ヒートポンプで熱を搬送する冷媒は、利用温度帯に応じて最適な冷媒がある。従来、空調機に採用されていたHCFC冷媒(R22)

はオゾン層破壊係数が高く、オゾン層を破壊しないHFC冷媒(R410Aなど)に切り替わった。現在は、表Aに示すように、ほとんどのヒートポンプ機器はHFC冷媒であるが、GWPが高く、安全性や省エネ性の観点からGWPの低い冷媒として、自然冷媒(CO<sub>2</sub>やHC(ハイドロカーボン))やHFO(ハイドロフルオロオレフィン)冷媒などの研究が進められている。



表A. ヒートポンプ機器の用途と使用冷媒

用途	空調機		給湯機		熱源機		
冷媒番号	R410A	R32	R744	R410A	R410A	R407C	
GWP	2,090	675	1	2,090	2,090	1,770	
ガス種	HFC	HFC	CO <sub>2</sub>	HFC	HFC	HFC	
用途	冷凍・冷蔵ユニット			冷蔵庫	カーエアコン		
冷媒番号	R404A	R410A	R407C	R744	R600a	R134a	R1234yf
GWP	3,920	2,090	1,770	1	3	1,430	4
ガス種	HFC	HFC	HFC	CO <sub>2</sub>	HC	HFC	HFO

高効率機器として位置づけられ、一次エネルギー削減のポテンシャルが高く、民生部門（家庭部門及び業務部門）、並びに産業部門での今後の普及拡大が期待されている。

## ■省エネ規制

国内では、家庭用エアコンに対する省エネ規制は、1999年4月に改正が施行された「エネルギーの使用の合理化に関する法律」(現 エネルギーの使用の合理化等に関する法律)から“トップランナー基準”方式(トップランナー：省エネ性能がもっとも優れている機器)が採用された。また、2006年4月に施行された改正では、通年エネルギー消費効率が評価基準として採用され、インバータエアコンの幅広い運転範囲が考慮されるようになった。業務用エアコンは2010年4月、家庭用CO<sub>2</sub>ヒートポンプ給湯機は2013年3月にトップランナー基準が適用された。

更に、2014年4月に施行された改正では、エネルギー消費量が特に大きく増加している業務・家庭部門を対象とした住宅・建築物の省エネ性能向上が取り入れられた。このための施策として、各種設備機器(空調機や給湯機など)の効率や再生可能エネルギーの導入も勘案する総合的な省エネ性能を規定する一次エネルギー消費量が指標に用いられることとなった。2020年をめぐりに基準を義務化することも検討されている。このようなエネルギー消費量評価においては、効率の良いヒートポンプ機器は基準を満たす有効な手段となる。

欧米や新興国においても、空調機の省エネ評価基準として通年エネルギー消費効率が検討されている。建築物についても、2020～2030年までに新築建築物をZEB(Zero Energy Building)化することを目指して、省エネのための施策が推進されている。

## ■冷媒規制

1987年に「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」(モントリオール議定書)が採択され、オゾン層破壊の原因とされるフロンなどの物質の規制が定められた。冷媒として広く用いられていたHCFC(ハイドロクロロフルオロカーボン)はオゾン層破壊係数が大きいために、この規制の中でHCFC冷媒(R22)をオゾン層を破壊しないHFC冷媒へ切り替え、2030年までに全廃することが求められた。更に、1997年に地球温暖化防止を目的に「気候変動に関する国際連合枠組条約の京都議定書」(京都議定書)が採択された。規制対象物質にHFCが含まれ、HFC冷媒を回収して大気中に放出しないこと、及び地球温暖化係数(GWP)がより低い冷媒を開発することが求められている。

国内では、2001年4月に「特定製品に係るフロン類の回収及び破壊の実施の確保等に関する法律」(フロン回収・破壊法)が施行されたが、フロン類の回収率は30%程度で低迷し、またHFC冷媒の排出量の急増や使用時の漏えいといった課題が明らかになった。このため、2015年4月に「フロン類の使用の合理化及び管理の適正化に関する法律」(フロン排出抑制法)へ改正施行された。フロン排出抑制法では、指定製品のノンフロン・低GWP化を進めるため、機器製造・輸入業者に対して、温室効果低減のための目標値を定め、その達成を求める制度を導入した。

欧州では2015年1月にF-Gas規制(F-Gas：フッ化ガス)が改正施行され、フッ化温室効果ガスの大気放出の防止だけでなく削減が織り込まれ、HFC冷媒の段階的削減や冷媒の割当配分制度などが導入された。一方、新興国では、2015年からモントリオール議定書に基づく、HCFC冷媒の削減と禁止が本格化されている。

## 新興国向けローコスト技術

国内での空調機はほとんどがインバータ制御となったが、世界的に見るといま

だノンインバータ型の空調機が大半を占めている。特に、中国や、インド、東南アジア諸国などの新興国は急速に経済発展しており、巨大マーケットとして世界中から注目されているが、価格の安いノンインバータ型の空調機の市場普及率が高い。しかし、これらの国では急速な経済発展に伴う電力需要の急増で深刻な電力不足となっており、今後省エネ意識が高揚して、需要がインバータ型空調機などの省エネ製品へシフトすると予想される。新興国市場へインバータ型空調機の普及を図るために製品へ適用している主要な技術について、以下に述べる<sup>(1)</sup>。

## ■小型大容量ロータリコンプレッサ

小容量でありながら大容量機と同等の性能を引き出すために、(1)高速運転に合わせた内部機構の最適化による圧縮効率の向上や、(2)効率と静音性を両立させた新マフラの採用、(3)大容量化に合わせたガス流路の拡大による、大電流でも高効率な新モータの開発、(4)インバータの最適マッチングなど、効率向上と信頼性向上の施策を織り込んだ。小型コンプレッサを大容量化かつ高速回転化することでコンプレッサの能力を向上させ、システムの低コスト化と、軽量化、及び冷媒量削減を実現した(表1)。

## ■オールアルミニウム製熱交換器

従来のアルミニウムフィンと銅円管で構成した熱交換器に対して、銅円管をアルミニウム多穴扁平(へんぺい)管に変更したオールアルミニウム製パラレルフロー型熱交換器を採用した。この熱交換器の特長は、(1)多穴扁平管による、空気側通風抵抗の低減と冷媒側伝熱性能の向上、並びに冷媒量の大幅削減、(2)コルゲートフィンと扁平管を炉中ろう付けで接続することによる熱伝導性の向上、及び(3)オールアルミニウム化による軽量化である(図3)。これにより、従来のアルミニウムフィンと銅円管で構成した熱交換器に比べ、小型・軽量化



が可能になった。また、冷媒量の削減により、システムの簡素化、更なる軽量化、及び低コスト化が図れる。一方、オールアルミニウム製熱交換器の課題として、アルミニウム腐食によるチューブからの冷媒リーク、及び銅配管冷凍サイクル回路や室外機板金筐体（きょうたい）など異種金属との接触で起こる電気腐食による冷媒リークがある。アルミニウム腐食によるチューブからの冷媒リーク対策として、犠牲陽極フィンによる防食設計と、特殊合金チューブを用いた熱交換器全体の腐食量抑制を実施している。また電気腐食による冷媒リーク対策として、銅配管との接続にはステンレス製継手を採用し、筐体板金との接続には樹脂製の固定具を採用している。

### 産業分野における熱源転換技術

産業プロセスにおける加温処理には、原材料などの洗浄や、脱脂、原料加温、溶解、加熱殺菌など様々な用途があり、一般にガス・油焚き（だき）、又は電気式のボイラやヒータが熱源として用いられ、CO<sub>2</sub>排出量の削減及び省エネに課題があった。また、温水として利用する工程も多く、90℃以下で、かつ槽の温度を一定に保つ循環加温用途に用いられることが多い。産業プロセスで従来使われてきた熱源をヒートポンプに置き換え（熱源転換）、空冷ヒートポンプ式熱源機の産業分野での適用を拡大（図4）するために、当社が開発して製品へ適用している主要技術について、以下に述べる<sup>(2), (3)</sup>。

### ■二元冷凍サイクル技術

送水温度90℃を実現するため、二元冷凍サイクルシステム（図5）を開発した。二元冷凍サイクルは、空気熱交換器を用いて周囲の空気から吸熱する熱源側冷凍サイクルと、水熱交換器を用いて循環水を加熱する温水供給側冷凍サイクルから構成されている。カスケード熱交換器を介して、熱源側冷凍サイクル

表1. コンプレッサの仕様比較

Comparison of specifications of conventional and compact large-capacity compressors

項目	小型大容量コンプレッサ	従来のコンプレッサ
定格能力 (kW)	12.1	12.5
シリンダ容積 (mL)	17.5	42.3
本体高さ×外径 (mm)	282×116	382×156
質量 (kg)	9.7 (約59%軽量化)	23.5
外観		

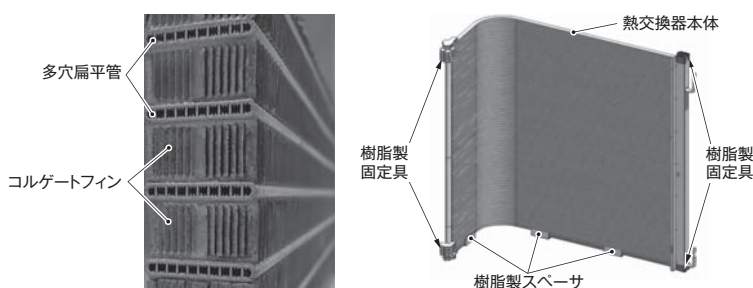


図3. オールアルミニウム製熱交換器 — アルミニウム多穴扁平管の採用による伝熱性能の向上、冷媒量の削減、及び軽量化を達成した。また、アルミニウム腐食と電気腐食を防止する対策を取り入れ、冷媒リークを抑制している。

All-aluminum heat exchanger

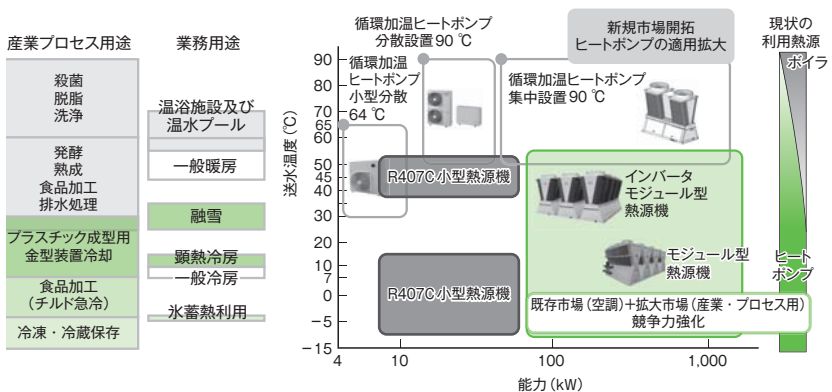


図4. 空冷ヒートポンプ式熱源機の適用拡大 — 産業プロセスにおける送水温度50～90℃のボイラや、従来ヒータを利用していた領域へのヒートポンプ式熱源機の適用拡大を図る。

Application of air-cooled heat pump chillers to industrial fields

で吸熱した熱を温水供給側冷凍サイクルに伝達することで、周囲温度が低い場合でも高温水を取り出せる。使用冷媒は、温水供給側には高温取出しに適したR134aを、熱源側には空調機用と

して幅広く用いられているR410Aを採用している。最適な冷媒の選定により、-15～43℃の幅広い周囲温度においても最大90℃の温水取出しが可能になっている。従来の冷凍サイクルでは、

サグ発生時にもコンプレッサを停止させることなく、高いロバスト性を確保できている。

## 今後の展望

ヒートポンプ技術は、重要な再生可能エネルギー利用技術の一つに位置づけられ、グローバル市場における地球温暖化対策のキー技術として期待され、また、従来の住空間を対象とした空調分野から、産業プロセスにおける熱源転換を図ることで産業分野への拡大が期待されている。更に、地球温暖化抑制の観点から冷媒に関するグローバル規模での動きが活発化しており、GWPの高いHFC冷媒に代わる次世代の冷媒の研究も進んでいる。当社は、今後も環境創造企業として、ヒートポンプ技術を進化させ、システム提案を行うヒートポンプソリューションを通じて、社会に貢献していく。

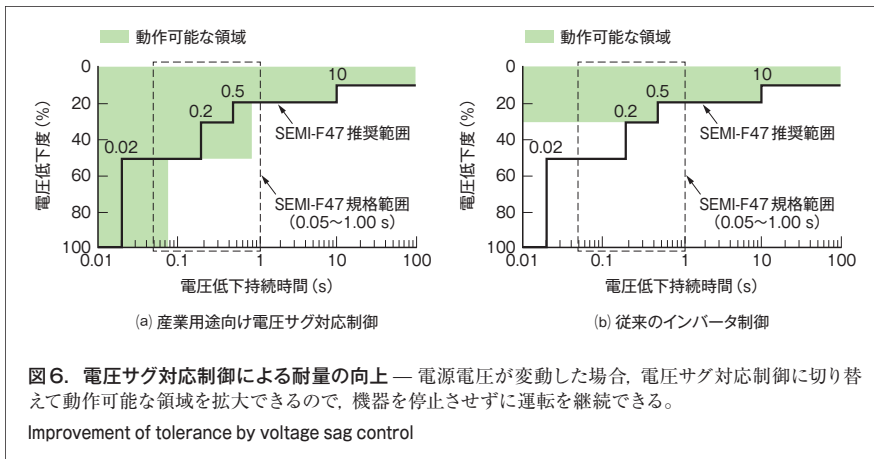
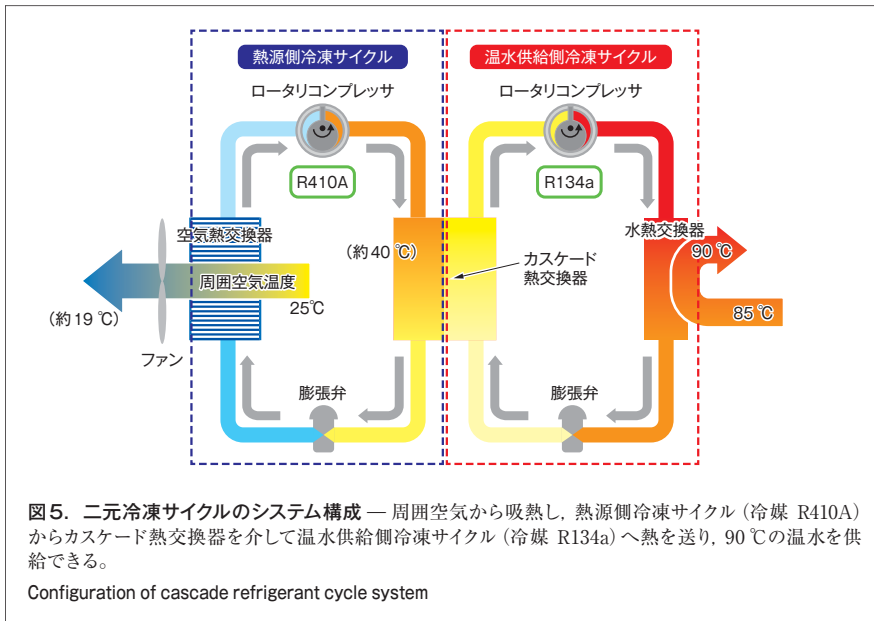
## 文献

- (1) 小谷浩一 他, “新興国向けインバータエアコン”, 2013年度 日本冷凍空調学会年次大会講演論文集, 東京, 2013-09, 日本冷凍空調学会, 2013, p.131-134.
- (2) 今任尚希 他, “最高出口水温90℃と分散設置が可能な空気熱源式 循環加温ヒートポンプ CAONS™140”, 東芝レビュー, 68, 7, 2013, p.52-55.
- (3) 立石章夫 他, “90℃循環加温ヒートポンプ熱源機「CAONS™ 700」”, 第47回空気調和・冷凍連合講演会講演論文集, 東京, 2013-04, 日本機械学会 他, 2013, p.163-166.



鈴木 秀明  
SUZUKI Hideaki

東芝キャリア (株) 技師長。  
空調機器の先行開発に従事。日本冷凍空調学会会員。  
Toshiba Carrier Corp.



高温水を取り出すための循環加温運転では高効率な運転ができなかった。当社は、二元冷凍サイクルを採用し、カスケード熱交換器の圧力を、熱源ユニットの周囲温度と取出し温水温度から決まる運転効率が最適になるように制御することで、高効率運転を実現している。

### ■インバータ装置のロバスト制御

省エネ型空調機に用いている高効率インバータ制御を熱源機向けに進化させるためには、産業用途で求められる、電源電圧変動に対する高いロバスト性能が必要である。これを実現するため、半導体製造装置における電圧サグコミュニティ規格SEMI-F47<sup>(注1)</sup>を指標と

し、電圧サグ耐量を高める開発を行っている。これは、インバータ回路の電圧をリアルタイムで検出し、瞬時停電などの電圧低下が発生した場合、通常のコンプレッサモータ駆動制御から、電圧サグ対応制御に切り替え、機器を停止させずに運転を継続させるものである。これにより、業務用途だけでなく、産業用途としても利用可能になる。従来のインバータ制御と今回開発した電圧サグ対応制御の比較を図6に示す。従来のインバータ制御に比べ、短時間の電圧

(注1) SEMI (半導体の製造装置メーカーや、フラットディスプレイ製造装置メーカー、材料メーカーなどの国際的な業界団体が定めた、瞬時電圧低下 (電源サグ) に対する耐性についての規格。