

トレンド

ヒートポンプ応用製品を取り巻く環境と東芝キャリア(株)の取り組み

Situation Surrounding Products Applying Heat Pumps and Toshiba Carrier's Approach

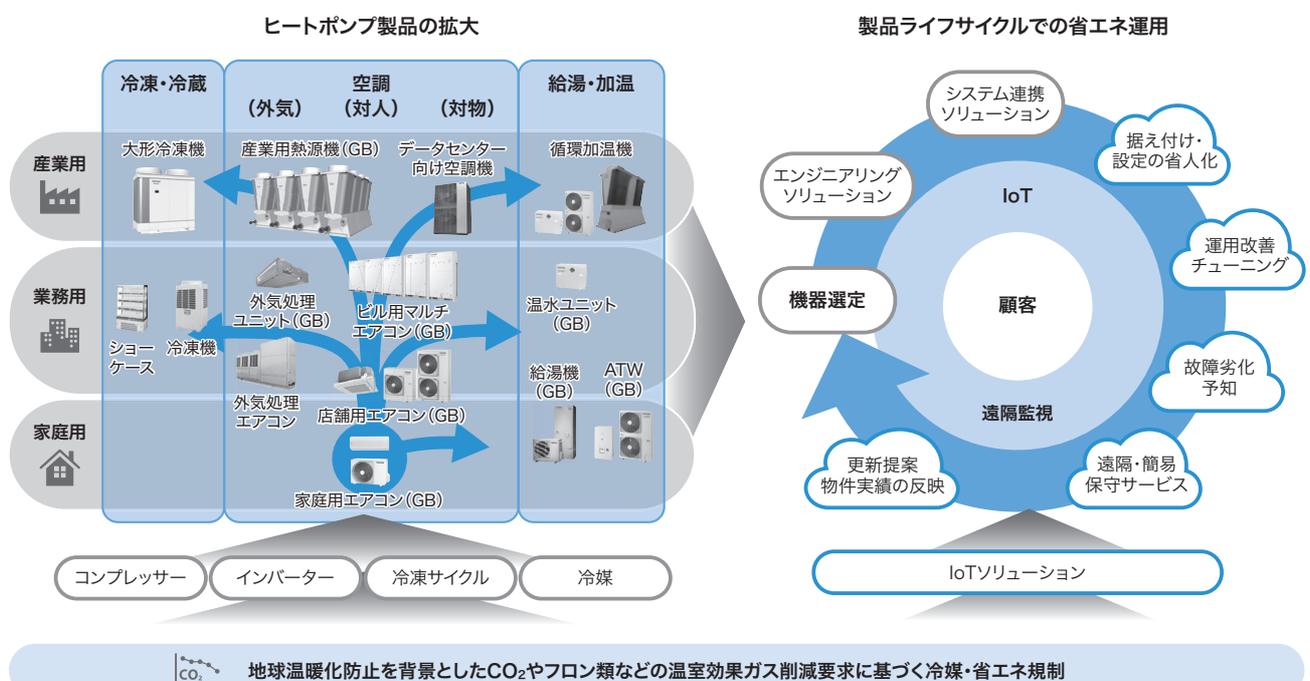
清水 克浩 SHIMIZU Katsuhiko 里舘 康治 SATODATE Koji 遠藤 隆久 ENDO Takahisa

我が国や欧州では、空調製品に用いられるヒートポンプ技術が、再生可能エネルギー利用技術の一つに位置付けられ、エネルギー需要の大きな暖房・給湯用途を中心に、省エネの切り札として期待されている。一方で、地球温暖化防止に向けたCO₂(二酸化炭素)やフロン類などの温室効果ガスの排出量削減を目的に、空調分野では省エネや冷媒への規制が世界各国・地域で施行・強化されている。

東芝キャリア(株)は、ヒートポンプ技術を軸に、環境性能の高い製品を様々な用途・分野・地域向けに開発して市場へ投入していくとともに、製品ライフサイクルを通して環境性能を改善・維持する技術開発に取り組んでいる。

Heat pumps for air-conditioning systems are positioned as renewable energy utilization technologies in Japan and Europe, and are therefore expected to play a key role in enhancing energy conservation, particularly in systems that consume large amounts of energy such as heating and hot-water supply systems. Moreover, the trend toward the prevention of global warming by reducing emissions of greenhouse gases such as carbon dioxide (CO₂) and chlorofluorocarbons (CFCs) has intensified the need for technologies for air conditioners that comply with strengthened environmental regulations related to energy conservation and refrigerants throughout the world.

In response to these circumstances, Toshiba Carrier Corporation is developing and supplying air-conditioning products with high environmental performance utilizing its proprietary heat pump technologies suitable for various purposes, fields of application, and regions, while actively focusing on the development of technologies that can improve and maintain environmental performance throughout the life cycle of products.



GB:グローバル販売の意味。その他は国内販売だけ ATW:Air to Water(ヒートポンプ式温水暖房・給湯システム) IoT:Internet of Things

特集の概要図。地球温暖化防止に貢献する東芝キャリア(株)の取り組み
Toshiba Carrier's initiatives for prevention of global warming

1. 東芝キャリア(株)の取り組みとヒートポンプ技術への期待

東京芝浦電気(株)(現 東芝)が、1980年に世界初のインバーターエアコンを商品化して以来、東芝キャリア(株)(1999年に分社)は、1998年に業界初の代替フロンである冷媒R410Aを採用した家庭用エアコンを、2001年と2003年に世界初のR410A採用の店舗用エアコンとビル用マルチエアコンをそれぞれ商品化し、現在では、産業用熱源機(モジュールチラー)や、給湯機、冷凍機など、様々なヒートポンプ製品を市場投入している。

1.1 ヒートポンプ

エアコンに用いられるヒートポンプは、冷凍サイクル中の冷媒ガスの蒸発・凝縮に伴う相変化熱を利用する。吸熱側と排熱側の間で“熱を移動する”技術のため、移動に使うエネルギーに対し、数倍の熱が得られる。そのため、暖房・給湯用途向けの化石燃料を直接燃焼させて“熱を作る”技術と比べ、非常に高いエネルギー効率を得られる。

1.2 ヒートポンプのインバーター化

エアコンへのインバーター適用により、運転開始時に大能力を得る高速運転や、目標温度に近づくとき小能力に絞る低速運転など、コンプレッサーの運転能力が可変となり、快適な空間が素早く得られる。また、特に低速運転時には、“熱交換器を相対的に大きく利用できる”ことや“ノンインバーターエアコンのようなコンプレッサーの起動・停止ロスを抑制できる”ことなど、高効率な運転が可能となる。

1.3 コンプレッサーのロータリー化

ヒートポンプに投入するエネルギーの大半は、コンプレッサーで消費される。業務用エアコンなどの大能力機器では、吐出弁を持たないスクロールコンプレッサーが主流であるが、当社は吐出弁を持つロータリーコンプレッサーを採用している。吐出弁を持つことで、外気温度や要求能力などによる負荷変化に応じて、圧縮室内の吐出圧力が変化する圧縮比可変運転が常時可能となる。特に、発生頻度の高い低速運転時でも過圧縮を抑制した高効率な運転特性が得られるため、インバーター化との相性も良い。

このようなヒートポンプ技術の進化・普及もあり、2008年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付けられ、我が国においても2009年に施行された「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」の中で、地熱、太陽熱、大気中の熱、及びその他自然界に存在する熱が再生可能エネ

ルギー源の一部として位置付けられた。ヒートポンプ製品は、環境・エネルギー分野における高効率機器として、今後、更なる普及拡大が期待されている。

2. ヒートポンプ製品を取り巻く環境

ヒートポンプ製品への期待が高まる一方で、地球温暖化防止を背景とした法規制は年々強化されている。

2.1 省エネ規制⁽¹⁾

我が国では家庭用エアコンに対し、1998年に改正された「エネルギーの使用の合理化等に関する法律」(省エネ法)から、“トップランナー^(注1)基準”方式が採用された。そして、2006年の改正では、従来の定格のCOP(エネルギー消費効率)に代わり、APF(通年エネルギー消費効率)が省エネ指標として採用され、インバーター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年に、家庭用CO₂ヒートポンプ給湯機は2013年に、同様の規制が施行された。また、2014年の改正では、家庭・業務部門を対象に住宅・建築物の省エネ性能の向上が取り入れられ、建築物に設置される各種設備製品の効率や再生可能エネルギーの導入を勘案する総合的な省エネ性能を規定する指標として、一次エネルギー消費量が用いられることになった。更に、2017年にはこの指標を用いた建築物省エネ法が施行され、新築物件に対し、大規模オフィスビル(延べ床面積2,000 m²以上)などの基準適合義務、中規模オフィスビル(延べ床面積300 m²以上)などの届け出義務が課された。

世界では、欧州のSEER(Seasonal Energy Efficiency Ratio)や米国のIEER(Integrated Energy Efficiency Ratio)など、各国・地域で指標は異なるが、基本的な動向は同じである。それらの指標を用いた規制には“下限値性能以上を有する製品販売の義務化”や“市場抜き取り評価”などがあり、最近では、製品使用時の制御性まで含めたダイナミックテスト法などの検討が進められている。

2.2 冷媒規制⁽¹⁾

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」が採択され、ODP(オゾン層破壊係数)の高いフロン類の生産量・消費量の削減義務が課された。そして、当時冷媒として広く用いられていた特定フロンのCFC(クロロフルオロカーボン)、HCFC(ハイドロクロロフルオロカーボン)をオゾン層破壊のない代替フロンのHFC(ハイドロフルオロカーボン)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年には地球温暖化防止を目

(注1) 現在商品化されている製品のうち、省エネ性能が最も優れている製品。

的に「気候変動に関する国際連合枠組条約の京都議定書」が採択され、代替フロンも対象物質に含まれ、回収して大気中へ放出しないこと、及びGWP（地球温暖化係数）がより低い冷媒を開発することが求められた。その後、2016年にルワンダ共和国のキガリにてモントリオール議定書が改正され、代替フロンについても生産量・消費量のCO₂換算での削減義務が課されることになった。

前述した議定書の各国措置として、我が国では、1988年に「特定物質の規制等によるオゾン層の保護に関する法律」（オゾン層保護法）が施行され、特定フロンの製造許可制・輸入承認制度が導入された。また、2002年には「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、廃棄時のフロン類の引き渡しなどが義務化された。これは、2015年に「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）として改正され、指定製品のノンフロン・低GWP化に向け、製品製造・輸入業者に対して温室効果低減のための目標値設定と達成に向けた制度が導入された。更に、2019年にはオゾン層保護法の改正で、対象物質に代替フロンが追加され、国内全体の代替フロン生産量・消費量の段階的な削減が始まった。欧州では、2015年にFガス（フッ化ガス）規制が改正され、代替フロンであるHFCの段階的削減や冷媒割り当て配分制度などが導入された。HFC削減計画では欧州が先行しており、2015年比で2018年に63%、2030年に21%までの削減が要求されている。

一方、冷媒にはODPやGWP以外にヒートポンプ製品の商品性に大きく影響する物性がある。例えば、空調用の低GWP冷媒として有力なHFO（ハイドロフルオロオレフィン）系冷媒は、燃焼性があり、体積能力が低く、安全性の確保や製品の大型化などの問題がある。そのため、各用途に合わせた候補冷媒とその利用技術の開発が進められている。

2.3 東芝キャリア(株)のコア技術

このようなヒートポンプへの期待や規制がある中、当社は、インバーターとロータリーコンプレッサーの持つ省エネ性を様々なヒートポンプ製品に生かしている。また、更なる展開として、建築物単位でのシステム連携やIoT（Internet of Things）ソリューションによる運用改善・保守サービス・更新提案など、製品ライフサイクルを通して環境負荷を低減する技術開発にも取り組んでいる（特集の概要図）。その中で、コンプレッサー、インバーター、及びIoTソリューションをコア技術と位置付けており、以下では、これらの動向と取り組みについて述べる。

3. コンプレッサー技術

当社は、家庭用エアコンに搭載するロータリーコンプレッサーをスタートに、ヒートポンプ技術を活用した空調機、給湯機、冷凍機、産業用熱源機などに搭載するロータリーコンプレッサーを開発してきた。搭載する製品を拡大する上で、図1のように製品の要求能力へ対応するための“大能力”，省エネ性実現のための“高効率”，及び使用条件拡大のための“タフネス”をコンセプトとして技術開発を推進し、実用化してきた。

3.1 大能力化技術開発

当社のロータリーコンプレッサーは、家庭用エアコン搭載用に国産初となる圧縮室が一つのシングルロータリーを1969年に実用化した。その後、商品性向上として、高効率・低振動・低騒音化を実現するため、圧縮室を二つ保有するツインロータリーを1988年に実用化し、今では、ツインロータリーは家庭用エアコンの主流となっている。また、業務用空調機と産業用熱源機搭載用としては、ツインロータリーの能力拡大を図り、表1にある世界最大能力級^(注2)のロータリーコンプレッサーを2017年に実用化した。更に、昨今の業務用空調機における1筐体（きょうたい）当たりの能力拡大要求（この特集のp.56-60参照）から、2017年開発モデルに対し、20%能力を拡大するため、圧縮室を三つ保有する新トリプルロータリー（同p.61-64参照）を2019年に開発した。

<p>① 大能力</p> <ul style="list-style-type: none"> ・小形・大容量 ・高速回転 ・1筐体1コンプレッサー化  <p>容量No.1 ロータリーコンプレッサー</p>  <p>高速回転技術</p>	<p>② 高効率</p> <ul style="list-style-type: none"> ・高IPLV・APF ・高速性能 ・可変気筒（デュアル）  <p>デュアル技術</p>  <p>高部分負荷特性 ロータリーコンプレッサー</p>	<p>③ タフネス</p> <ul style="list-style-type: none"> ・広い使用範囲 ・高温出湯対応 ・長寿命  <p>構造解析技術</p>  <p>DLCコーティング (Cr+WC) 工具鋼 新タフネス材料</p>
---	--	--

IPLV: 期間成績係数 DLC: ダイヤモンドライクカーボン Cr: クロム
WC: タングステンカーバイド

図1. 東芝キャリア(株)のコンプレッサー開発コンセプト

ロータリーコンプレッサーとして、大能力、高効率、タフネスの三つを並立させるコンセプトで開発を推進している。

Development concept of Toshiba Carrier compressors

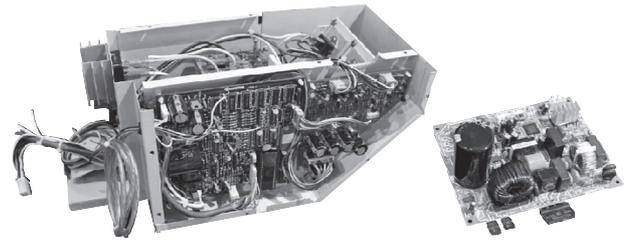
(注2) 2017年9月現在、当社調べ。

表1. ローターコンプレッサーの新旧比較

Comparison of specifications of old type and latest rotary compressors

	1969年 国産初ロータリーコンプレッサー 3/4馬力一定速機	2017年 世界最大能力級ロータリー 20馬力級インバーター機
機種名	CRH75BA	DA1000A4F
冷媒	R22 (HCFC)	R410A (HFC)
冷凍機油	鉱油	合成油
冷却方式	ラジエーター冷却	自然空冷
機械部構造	シングルロータリー メインベア フレーム圧入固定	ツインロータリー 溶接固定フレーム マウント
モーター	分布巻き AC誘導モーター	集中巻きDC ブラシレス モーター
質量 (kg)	15.4	38.2

AC: 交流



(a) 世界初の家庭用エアコン向けインバーター (b) 超小型インバーター

図2. 家庭用エアコンで世界初のインバーターと最新の超小型インバーター

約40年の期間で、インバーター装置は、ほぼ同一の冷房能力で質量は約1/4、体積は約1/5に低減した。

World's first inverter for residential air conditioners and latest small inverter

3.2 高効率化技術

コンプレッサーの搭載製品分野の拡大と同時に、基本性能、高効率化の技術も向上させてきた。製品の要求能力に対応するため、運転回転数のインバーター制御駆動に対し、固定子に絶縁部品を介して直接巻き線化した集中巻きDC（直流）モーターを1999年に開発し、モーター効率の向上を図った。圧縮機械部では、従来は圧縮室一つ当たり一つの吐出弁を保有する構造であったが、圧縮室一つに二つの吐出弁を配置したツインロータリーコンプレッサーを2017年に実用化し、圧縮効率を向上させた。

3.3 タフネス化技術

業務用や産業用製品などのBtoB（Business to Business）製品搭載用コンプレッサーには、信頼性を確保するための技術として摺動（しゅうどう）材料の開発を推進し、独自のベーン表面処理やローリングピストンの材料などを開発した。また、高速化運転に対応するための軸・軸受設計や低回転運転時に潤滑性を確保するための設計などに対して、東芝の研究部門との連携により開発された軸心解析・潤滑解析ツールを活用した設計で、高信頼性のコンプレッサーを開発してきている。昨今の環境規制に対応するための低GWP冷媒への移行に関しては、冷媒と冷凍機油の関係による機械摺動部の潤滑特性評価に解析ツールを駆使し、信頼性設計を行った上で実機による実証試験を実施し、製品（同p.65-79参照）として成果を上げている。

4. インバーター技術

世界初の空調用インバーターが商品化されてから、40年が経過する。それまでの商用電源を駆動源とした一定速駆動のコンプレッサーが、インバーターの登場で能力可変となり、快適性と省エネ性が大幅に向上した。これ以降、イ

ンバーターを構成する電子デバイスにおける急速な進歩や、市場からの快適性・省エネ性の要求、空調機の普及率増加に伴って導入された省エネ規制などがあいまって、空調用インバーターの性能は格段に向上してきた。当社は、インバーター技術の進化軸を“小型化”・“高信頼性”・“高効率”に据えており、この軸に沿った技術開発を進めている。

4.1 小型化技術

グローバル市場でのインバーター化率は、着実に伸長しており、特に近年、東南アジアでの普及率増加が著しい。

当社は、地球環境負荷の低減に貢献するには東南アジア地域での更なるインバーター製品の普及が急務と考えており、廉価モデル向け超小型インバーターを開発・実用化した。

このインバーターは、材料コストを抑制するため、半導体を高周波動作させて受動部品を小型化するなど、徹底的な小型化を図っている。図2に、1981年に世界で初めて実用化された家庭用エアコン向けインバーターと、開発した超小型インバーターを示す。両インバーターの冷房能力は、ほぼ同一であるが、質量は約1/4、体積は約1/5となっている。

4.2 高信頼性技術

高信頼性への取り組みとしては、製品の寿命設計に加え、電源高調波電流の抑制などの低雑音化にも注力している。近年、特にビルや工場などの施設では、吸収式冷温水機やボイラーなどの大型熱源機から、電気駆動する空冷インバーターヒートポンプチラーへの置き換え需要が高まっており、同時にインバーター装置にも大容量化が求められている。チラーで考慮すべき高調波対応としては、経済産業省の「高圧又は特別高圧で受電する需要家の高調波抑制対策ガイドライン」（特定需要家ガイドライン）が挙げられる。チラーの高調波対策は、高調波抑制ユニットを追加接続するのが一般的であり、当社も受動部品で構成される18パルス

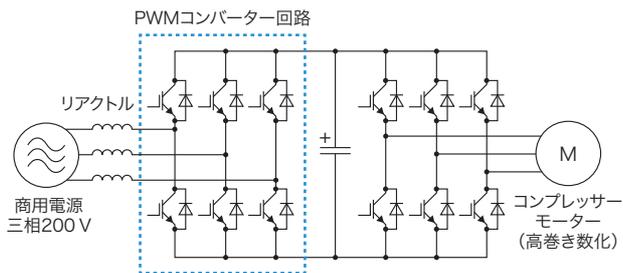


図3. 空調用PWMコンバーター回路

PWM制御を行うことで、高調波電流抑制とシステム効率向上の両立が実現できる。

Block diagram of pulse width modulation (PWM) converter circuit for air conditioners

整流器を採用してきた。18パルス整流器は、受動部品だけを用いるため、低ノイズで制御の必要がないことが特長である一方、体積・質量の低減が課題で、大容量化は困難であった。そこで、半導体を高周波動作させることで受動部品を小型化できる、空調向けPWM（パルス幅変調）コンバーターを開発し、実用化した（この特集のp.65-69参照）。

図3に、開発した空調用PWMコンバーター回路を示す。このシステムでは、コンプレッサーモーターを高巻き数化し、中間負荷領域でのインバーター回路の電流低減効果で高効率化を図ると同時に、定格負荷領域ではPWMコンバーターによる直流電圧昇圧効果により運転範囲を確保している。これらにより、高調波抑制とシステム効率向上の両立を実現している。

4.3 高効率技術

前節で述べた超小型インバーターやPWMコンバーターにも共通するが、空調機では、使用頻度の高い中間及び低負荷領域での省エネ性を高めるため、コンプレッサーモーターの高巻き数化による回路電流の低減と併せ、高負荷（高回転）時の誘起電圧に対応するため直流電圧を昇圧する方式が多く採用されている。昇圧機能は、運転範囲を拡大できる一方、空調負荷が大きくなると回路損失も大きくなるため、昇圧回路の低損失化が求められる。そこで当社は、スーパージャンクション構造の金属酸化物半導体型電界効果トランジスタ（SJ-MOSFET）を用いた新しい低損失昇圧チョッパー回路を開発し、実用化した（図4）。SJ-MOSFETは、優れた導通性能を持つ反面、スイッチング特性の向上に課題があるが、周辺回路技術で克服している⁽²⁾。

一方で、ヒートポンプ製品の更なる大能力化が進むと、昇圧チョッパー方式の損失低減だけでは対応が困難となる。これは、回路電流の増加に伴うパワーデバイスや放熱器の大型化により、機器寸法やコストが大幅に増加するためであ

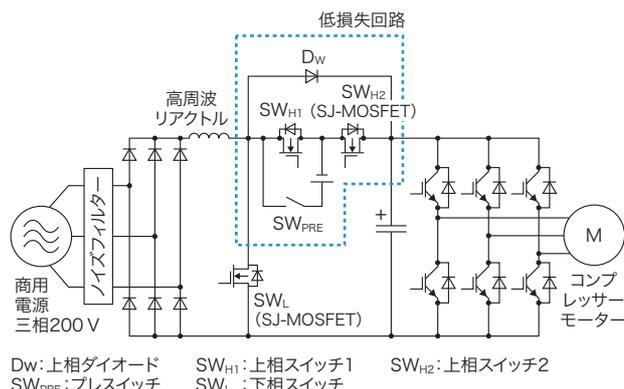


図4. 空調用低損失昇圧チョッパー回路

SJ-MOSFETの持つ課題を低損失回路で克服し、高効率なシステムを実現した。

Block diagram of low-loss boost-chopper circuit for air conditioners

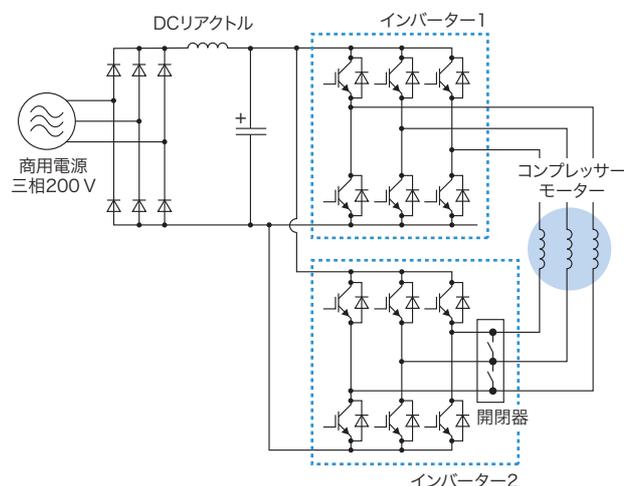


図5. デュアルステートインバーター回路

コンプレッサーの負荷状態に応じて二つのインバーターを制御することで、小型かつ低コストに大能力・高効率化を実現できる。

Block diagram of dual-state inverter circuit

る。当社は、この問題を克服するため、空調機としては世界初^(注3)となるデュアルステートインバーター技術を開発し、ビル用マルチ空調に適用する（同p.56-60参照）。図5に、デュアルステートインバーター回路を示す。従来はスター結線されているコンプレッサーモーターの中性点は開放されており、モーターには二つのインバーター回路が接続され、インバーター2の出力端には開閉器が接続されている。空調負荷（回転数）が低い条件では、インバーター2を停止させて開閉器を閉じ、従来のスター結線のモーター駆動イン

(注3) 2019年12月時点、ビル用マルチ空調において、当社調べ。

パーターと同様の制御を行う。一方、それ以外の運転条件では開閉器を開放状態とし、二つのインバーターでオープン巻線モーターを駆動している。これにより、直流電圧を昇圧することなくモーター印加電圧範囲を拡大でき、昇圧回路を搭載していない通常のインバーターシステムに対し、約1.7倍の出力電圧が得られる(同p.61-64参照)。

このように、大容量・高巻き数のコンプレッサーモーターを、運転状態に応じて適切にインバーター駆動することで、昇圧回路方式よりも小型かつ低コストで高効率システムを実現できる。

5. IoTソリューション技術

業務用空調製品の分野では、省エネ・高性能化に加え、設備の維持管理コスト低減に関するニーズも高まっている。当社も、保守契約としてインターネットを利用し、豊富なデータ量に基づいた運用管理を行う遠隔監視サービスを提供しているが、顧客に更なる省エネ、安心・安全、利便性向上の価値を提供するため、IoTクラウドシステムを適用した新たなサービスを開発した。

図6に、開発した新サービスの概要を示す。東芝のIoTフレームワークであるToshiba IoT Reference Architecture (TIRA)に準拠したクラウドシステムTCCR-NET (Toshiba Carrier Comfortable Remote Access Network System)により、製品の運転状態や各種センサーデータを収集する。また、収集したデータを蓄積・分析することで、これまでの遠隔監視サービス機能である24時間遠隔モニタリングや運転状態レポートサービスに加え、省エネ診断・チューニングサービスや、熱負荷需要の予測サービス、製品の老朽化

や異常を初期段階から顧客に通知する故障予知・異常診断サービスなども提供できる。更に、冷媒の漏えいを検知・通知することで、環境負荷の軽減にもつながる。これらにより、これまでの維持管理コスト低減だけでなく、省エネ・快適環境の維持や、事業上の損失回避(安心・安全)、運用状況の見える化による利便性向上など、新たな価値を顧客に提供することが可能となる。このシステムは、当社のヒートポンプソリューション実現に向けた中心的機能として、産業用熱源機を皮切りにサービスを開始し、業務用空調にも展開していく計画である。

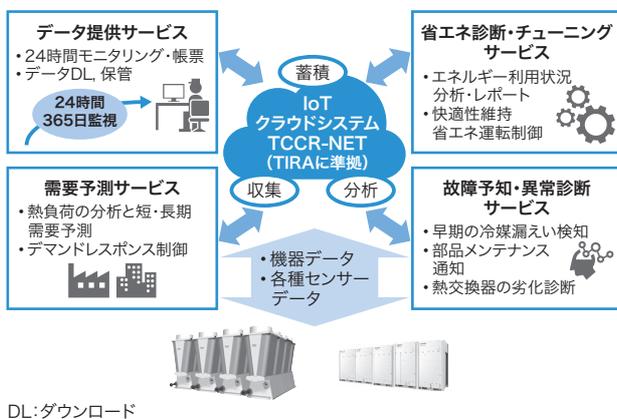
6. 今後の展望

ヒートポンプ技術は、地球温暖化やエネルギー問題を解決する切り札として、今後も発展を続けると考えられる。そして、これらの期待に応えるため、当社の空調製品は、住環境から様々な用途・分野・地域(この特集のp.75-79参照)へと拡大している。また、製品から建築物単位までの最適化(同p.80-83参照)や、製品ライフサイクルを通しての環境負荷低減(同p.56-60参照)、低GWP冷媒への転換(同p.65-74参照)なども進めている。

今後も、ヒートポンプ技術を軸とした熱応用ソリューションによる製品・サービスの技術開発を通して、地球環境問題の解決に貢献していく。

文献

- (1) 鈴木秀明. 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. 東芝レビュー. 2015, 70, 12, p.2-6.
- (2) 石田圭一, ほか. 空調機用低損失昇圧チョッパ回路の開発と実用化. 電気学会論文誌D. 139, 9, p.776-783.



DL:ダウンロード

図6. クラウドシステムを用いた空調遠隔監視サービス

TCCR-NETを中心とした遠隔監視システムにより、顧客に省エネや、安心・安全、利便性向上などのサービスを提供する。

Cloud-based remote monitoring system for air conditioners



清水 克浩 SHIMIZU Katsuhiko
東芝キャリア(株)
Toshiba Carrier Corp.



里舘 康治 SATODATE Koji
東芝キャリア(株)
日本冷凍空調学会会員
Toshiba Carrier Corp.



遠藤 隆久 ENDO Takahisa
東芝キャリア(株)
電気学会・IEEE 会員
Toshiba Carrier Corp.