

巻頭論文

空調システムの進化を支える最新技術



隅田嘉裕*



坂本忠昭**



岡崎多佳志***

Latest Technologies for Air Conditioning Systems

Yoshihiro Sumida, Tadaaki Sakamoto, Takashi Okazaki

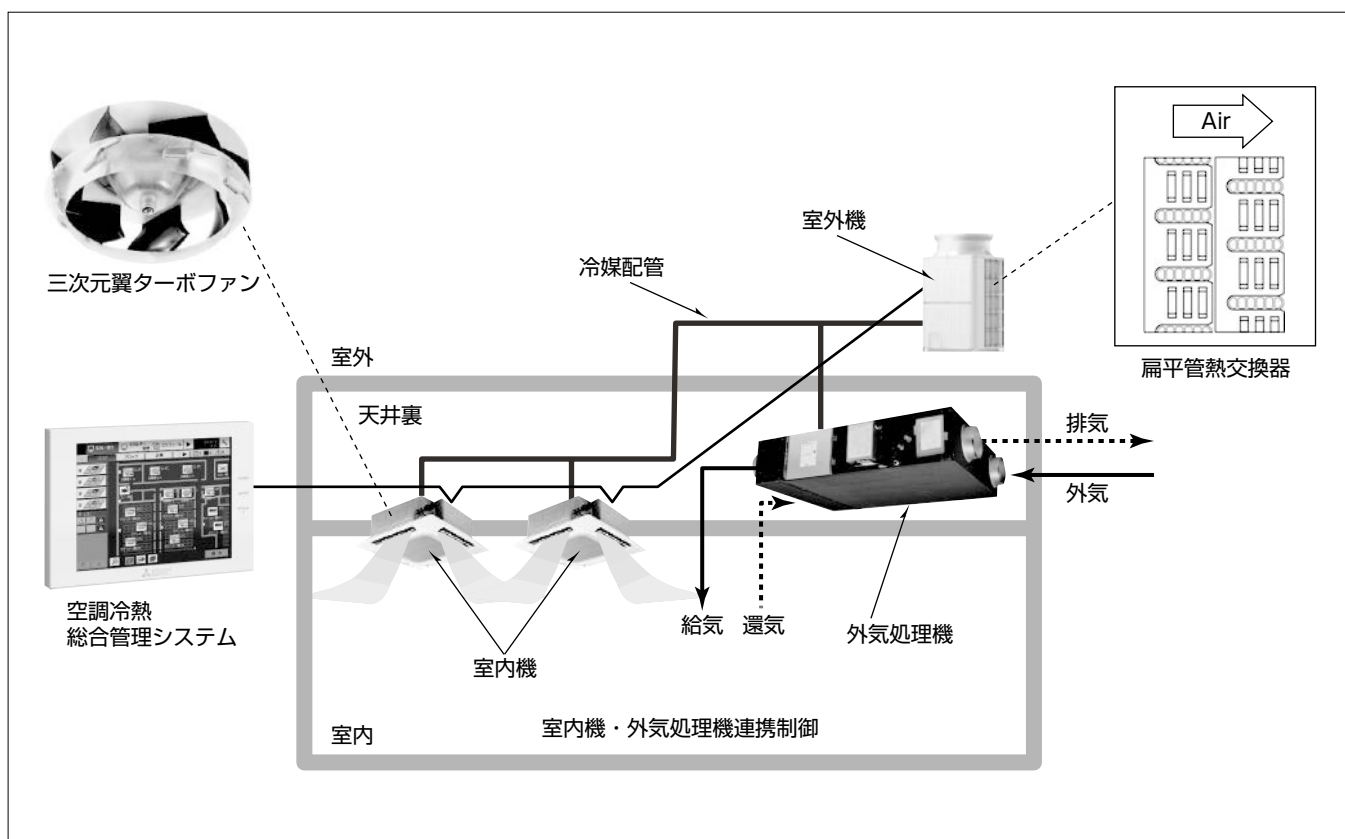
要旨

地球環境負荷低減や省エネルギーの観点から空調機器には高効率化と快適性向上の両立が求められている。三菱電機では、この要求に対応するために、空調機器を構成する熱交換器や送風機等のデバイスの高性能化技術の開発と、家庭内や事務所内の空調機器を連携制御させることによって実使用時の高効率化と快適性向上を両立させるシステム化技術の開発を進めている。

デバイス開発では、熱交換器の管径細径化やオールアルミ扁平(へんぺい)管の採用による高性能化、送風機の翼形状三次元設計による静音化と高効率化、モータの銅線高密度実装による高効率化や磁石配置最適化による低振動・低騒音化を進めている。一方、システム化技術ではルームエ

アコンなどの家庭機器をネットワークで接続して集中的に管理・操作・制御することによって、エネルギーをかしくマネジメントするホームエネルギーマネジメントシステム“三菱HEMS”を開発している。この三菱HEMSでは家族の起床時間や帰宅時間に合わせてルームエアコン運転を自動制御し、高効率化と快適性向上の両立を実現している。また業務用空調の分野ではビル用空調機器の集中管理とエネルギー消費量の見える化を行うシステムコントローラやビル用マルチエアコンと外気処理機との連携制御による高効率システムの開発を進めている。

本稿ではこれら空調システムの進化を支えるデバイス技術、システム化技術の最新技術について述べる。



最新技術を適用した空調システムの一例

室外機の熱交換器にオールアルミ扁平管を採用して伝熱性能を向上させた。また、室内機ファンの翼形状は三次元設計によって消費電力削減と低騒音を実現している。各空調機器は空調冷熱総合管理システムによって集中管理や見える化が可能となっている。室内機と外気処理機の連携によって、顕熱と潜熱の両方を処理しながら省エネルギーを実現している。

1. ま え が き

地球環境負荷低減や省エネルギーの観点から空調機器には高効率化と快適性向上の両立が求められている。当社では、この要求に対応するために、空調機器を構成する熱交換器や送風機等のデバイスの高性能化技術の開発と、家庭内や事務所内の空調機器を連携制御させることによって実使用時の高効率化と快適性向上を両立させるシステム化技術の開発を進めている。本稿ではこれらの最新技術について述べる。

2. デバイス技術

2.1 熱交換器

室内機では、円管熱交換器でフィンパターンの最適化、伝熱管の細径化⁽¹⁾で高性能化を図る方法が主流である。一方、室外機では、伝熱管の扁平管化⁽²⁾によって、管内伝熱面積増加、管外熱伝達率増加、通風抵抗低減を実現する開発を実施している。

2.1.1 熱交換器の細管化

パッケージエアコンの4方向天井カセット室内機向けに伝熱管の管径を従来のφ7.2mmからφ5mmに細径化した(図1)。

この際、段ピッチ及びフィンパターンの最適化を行い、暖房運転時の全伝熱性能(AoK)は従来熱交換器に対して50%増加し、冷房運転時では20%増加した。細管φ5熱交換器を搭載したパッケージエアコン“Mr.SLIMシリーズ”ではAPF(省エネルギー指標)が従来機(5HP)の4.7から5.7へ向上し、業界トップクラスの省エネルギー性能を達成した。

2.1.2 扁平管熱交換器

従来、熱交換器は銅の伝熱管(円管)にアルミのフィンを密着させたものであったが、アルミの扁平管を伝熱管に用いた熱交換器をビル用マルチエアコン向けに世界で初めて^(注2)採用した(図2)。伝熱管に扁平管を採用することで、次の理由によって性能が改善する。

(1) 管内の冷媒から伝熱管への熱伝達の改善

扁平管の内部は、内柱によって区分け(細管化)されている。細管化によって1断面における冷媒と管内面との接触長さは約2倍となり、管内の熱伝達率を改善できる。

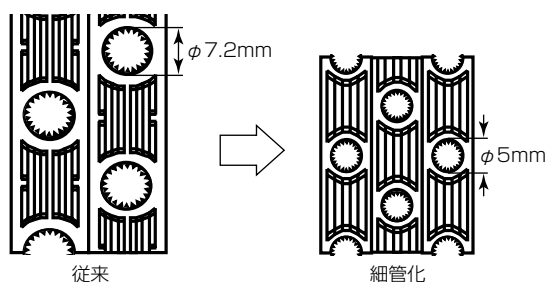


図1. 熱交換器断面図

(2) 伝熱管とフィンの接触長さの増加

1断面当たりの扁平管の外周長さは、円管に比べて約30%増加する。さらに、扁平化のため通風抵抗が小さく、伝熱管を円管に対して高密度に配置できる。これらによって、伝熱管とフィンの接触長さが増加する。

(3) 伝熱管とフィンの密着を改善

扁平管の場合は、ロウ付けによって伝熱管とフィンを接合させるため、この部分の接触熱抵抗が小さくなる。

また、扁平管熱交換器の高いポテンシャルを最大限発揮できるように、熱交換器の冷媒分岐構造も工夫している。トップフロータイプの場合、ファンに近い上部の風速が大きく、下部ほど風速が低下する。そのため、熱交換器全体に均等に冷媒を分配すると、風速の大小によって上部と下部では熱交換量の過不足が発生していた。この課題を解決するためにBSC(Bottom SubCool)回路を採用した。BSC回路の概念を図3に示す。BSC回路では風速が大きい上部で、処理熱量が大きくなるよう、高温高圧ガス冷媒から二相冷媒を経て、飽和液状態まで熱交換する。次に飽和液冷媒は分岐路の合流によって流速を増した上で熱交換器下部に移動する。液冷媒の流速を上げることで、管内の伝熱効率を上げ、過冷却を取りやすくしている。扁平管熱交換器とBSC回路を搭載したビル用マルチエアコン“グランマルチシリーズ”ではAPF(省エネルギー指標)が従来機(10HP)の5.4から5.6へ向上し、業界トップ^(注1)の省エネルギー性能を達成した。

(注1) 2013年7月9日現在、当社調べ

2.2 送風機

航空機などの異分野技術や流体解析技術を適用して翼の三次元化や複合曲面化を進め、剥離渦の抑制や風速分布の均一化を行い、静音・高効率化を実現している。

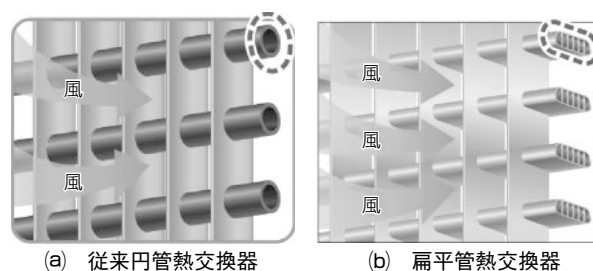


図2. 従来円管熱交換器と扁平管熱交換器

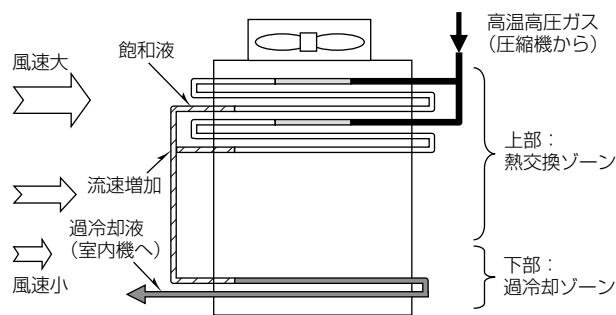


図3. BSC回路の概念図

2.2.1 室内送風機

パッケージエアコンのカセット形室内機に搭載されるターボファンでは、従来の直立した二次元翼に対し、タービン翼と同様に吸込部を回転方向に湾曲させた“インデューサ”と、吹出し部の傾斜角を高さ方向に変化させた“スキューディフューザー”とで翼形状を形成した。開発した“三次元翼ターボファン”(図4)は、ファン吸込側での剥離渦の抑制と吹出し側での風速分布の均一化を実現した(図5)。新型ファンは2014年5月発売の4方向カセット形室内機“ファインパワーカセット”に搭載し、大容量熱交換器と低圧損風路を合わせて送風に必要な消費電力を25%削減した。その結果、全能力帯で業界トップ^(注2)のAPFと業界トップレベルの低騒音を実現した⁽³⁾。

(注2) 2014年1月16日現在, 当社調べ

2.2.2 室外送風機

空調用の室外機に搭載されるプロペラファンは、1980年代に開発した“エクストラファン”をベースに、更なる静音・高効率化のため、翼の大型化とともに前方へせり出した“ストレイク”, 翼先端を屈曲させた“ウイングレット”等航空機分野の技術を適用した。さらに、翼全体の傾斜方向を吸込側から吹出側へ変更して流れを囲い込み流れを抑制する“後傾翼”を開発し、騒音を3dB低減することができた(図6)。新型ファンは2013年度パッケージエアコン室外機“スリムZR”シリーズに搭載している。

2.3 モータ・インバータ技術

モータ及びインバータ技術は、圧縮機や室内外のファンを効率良く運転するための要素技術であり、製品の振動・

騒音、さらに、電源高調波・放射ノイズといった性能の確保向上に必要なキー技術である。次に、当社空調機用モータ・インバータの近年の取組みについて述べる。

2.3.1 ルームエアコン用室内ファンモータ

ルームエアコンに求められるのは高効率化と低振動低騒音化である。そこでまず集中巻によってコイル周長を短縮、さらに高密度実装が可能な“ボキボキコア”の採用によって、巻線銅損を低減し高効率化を実現した。また、ロータとスロットの組合せを10極12スロット化することによって巻線係数を高めた。

一方、低振動低騒音化では、出力トルク脈動低減のため磁石表面配置型のロータ構造を採用した。さらに従来の樹脂鉄心バックヨークから今回新たに極配向のフェライトプラスチックマグネットを配し、その外側に希土類マグネットを配置した(図7)。この構造を採用したモータを2013年11月発売の“霧ヶ峰”上位機種に搭載し、振動・騒音を抑えると同時に内蔵駆動回路も含めた効率を88%まで高めた。

2.3.2 ビル用マルチエアコン圧縮機駆動回路

ビル用は低負荷領域での損失低減のため圧縮機のモータ巻数増加と、高負荷時の最高回転数低下回避のために昇圧コンバータを採用した。

また、特に大型圧縮機の使用時に問題となる運転停止時の冷媒寝込み対策である圧縮機の加熱方法として、今回新たに圧縮機駆動用の既存のインバータを利用して高周波電圧をモータに印加する技術を開発した。この方法によって従来のヒーター加熱より少ない電力で圧縮機加熱が可能となり、運転停止時の冷媒寝込み対策の電力を最大50%削減

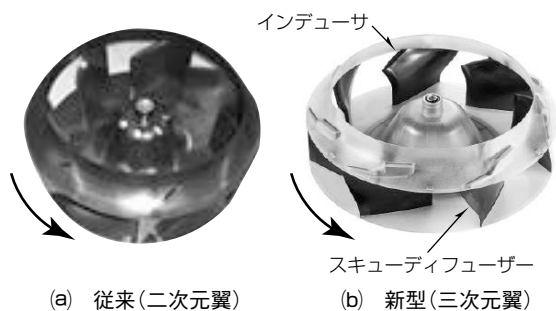


図4. 三次元翼ターボファン

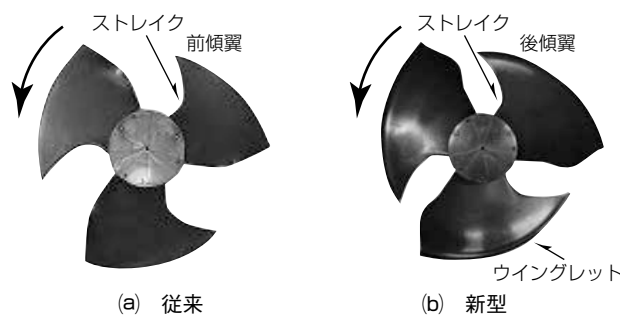


図6. プロペラファン

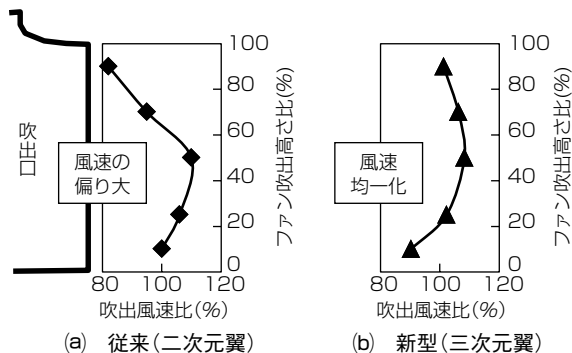


図5. 三次元翼ターボファンによる風速分布均一化

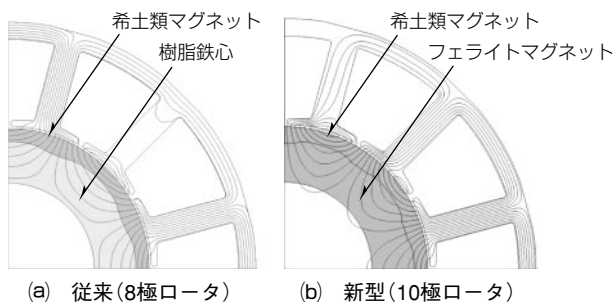


図7. 室内ファンモータのロータとステータ

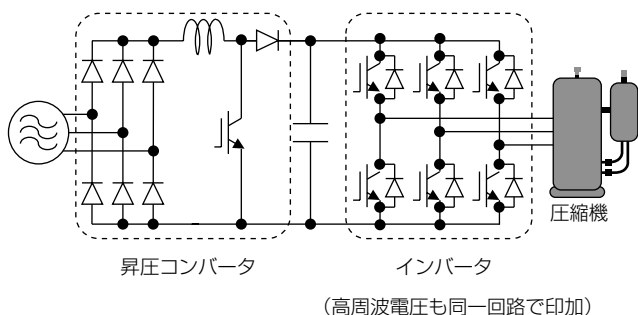


図8. ビル用空調機圧縮機駆動回路

することができた。この圧縮機駆動回路(図8)は2013年10月発売のビル用空調機に搭載している。

3. システム化技術

3.1 HEMS

住宅分野のシステム化に関しては、近年、HEMS (Home Energy Management System) の普及が拡大している。これは、東日本大震災以降の我が国のエネルギー状況の変化に伴い、家庭における省エネルギー・節電・自然エネルギー活用等の意識の高まりを反映したものであり、当社も2013年12月に三菱HEMSを発売した⁽⁴⁾。主な特長は、

- (1) 業界最多^(注3)のHEMS対応7製品を最大16台接続可能
- (2) 目標電気代を設定すると、接続された各製品の節電モードを活用して自動的に節電を実施
- (3) ファミリーカレンダー機能によって、家族の予定に合わせて関連機器を制御

このように三菱HEMSは家電機器をネットワークで接続して集中的に管理・操作・制御することによって、家電機器単体ではできないユーザーメリットを提供する。一例として、ファミリーカレンダー(図9)による家電機器の制御例を次に示す。

- (1) 家族全員の旅行に合わせて、家族不在時のエコキュートの沸き上げを停止
- (2) 家族の起床時刻や帰宅時刻に合わせて、ルームエアコンの予冷予暖運転を実施

(2)のルームエアコンの予冷予暖制御の効果について述べる。従来、ルームエアコンを起動したときは早急に室温を変化させるため大きい能力で運転していたが、予冷予暖制御では起床前や帰宅前にルームエアコンをあらかじめ起動し、従来の起動制御よりも低消費電力で高効率な運転を行う。

検証試験(夏季、ルームエアコン2.2kW、目標温度23℃)の結果を図10、図11に示す。指定時刻(0分)で予冷制御と従来制御の室温は同等である。予冷制御では圧縮機の運転容量を抑制するため、運転時間が延びるものの運転効率が向上し、起動から指定時刻までの消費電力量は、従来制御0.48kWhに対し予冷制御0.40kWhで15%削減した。

(注3) 2013年8月26日現在、当社調べ(HEMSとECONET Liteで接続及び制御できる機器で)



図9. ファミリーカレンダー

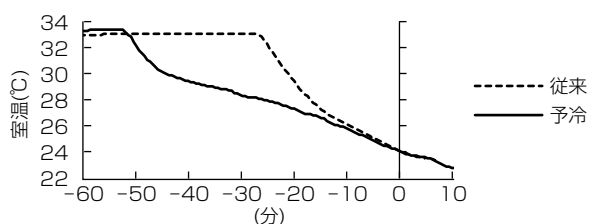


図10. 代表日の室温

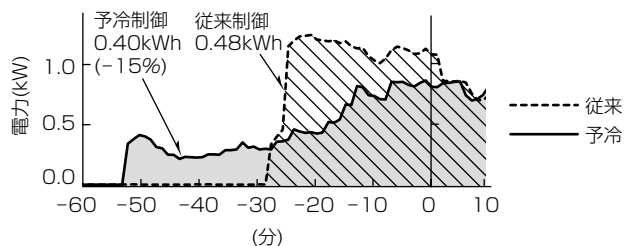


図11. 代表日の消費電力

3.2 ビル空調システムコントローラ

業務用空調の分野では、従来も空調機器をネットワークで接続し、コントローラによる集中管理が行われてきた。しかし、近年の省エネ法の改正や、東日本大震災以降のエネルギー状況の変化等によって、ビル設備、特にエネルギー消費量の大きい空調機器に対するエネルギー管理の要求が高まってきた。当社では、その要求に応えるため、空調機器の集中管理に加え、エネルギー消費量の見える化や給湯・低温機器の操作・監視が可能な空調冷熱総合管理システム“AE-200J”(図12)を2014年6月に発売した⁽⁵⁾。

AE-200Jの主な特長を次に示す。

- (1) エリアごとの空調機器のエネルギー消費量を分かりやすくグラフで表示
- (2) 拡張コントローラを3台併用することによって、最大200台の室内機を集中管理可能
- (3) 2014年12月以降、給湯機器や低温機器の操作・監視にも対応予定



図12. 空調冷熱総合管理システム“AE-200J”

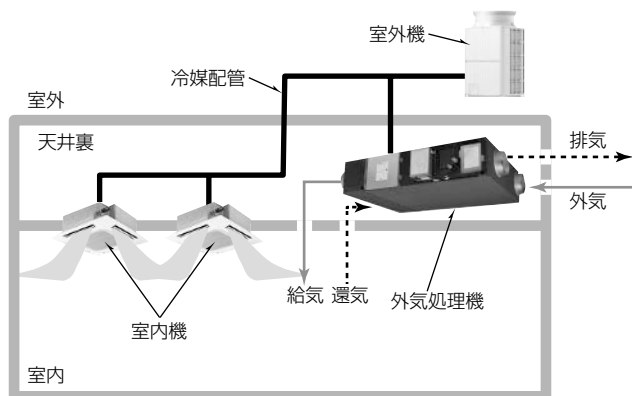


図13. ビル空調システム

3.3 ビル用マルチエアコンと外気処理機の連携制御

業務用空調分野における空調機器の連携制御の例として、ビル用マルチエアコンと外気処理機との連携制御について述べる。図13に示す室内機と外気処理機で構成されるビル空調システムの従来冷房運転では、蒸発温度一定制御となっており、効率低下と過剰潜熱処理量が課題であった。そこで、室内機と外気処理機を連携させ、顕熱、潜熱負荷の両方ともが処理可能となる最高蒸発温度で運転する制御を開発した。

具体的には、図14に示すとおり、外気処理機から得られる室内外の温湿度情報で推定した潜熱負荷から、ETmaxを決定し、室内機の吸込温度と設定温度の偏差 ΔT に応じて蒸発温度を決定する。潜熱負荷が低い場合には、ETmaxを高めて過剰な潜熱処理の防止が可能であり、また、蒸発温度上昇によって冷凍サイクル効率も向上するため、消費電力低減に効果的である。

室内条件を冷房26℃/60%、暖房20℃/40%とし、外気温度はJIS B 8616(東京地区)に記載の外気温度発生パターンを使用して期間消費電力量を算出した。従来制御と開発制御の比較を図15に示す。冷房期間は、高蒸発温度化によるCOP(Coefficient Of Performance)向上効果と過剰潜熱処理量抑制効果で32%の省エネルギーとなる。一方、暖房時の制御は変更しておらず、消費電力量は等しくなり、年間省エネルギー効果は26%となる⁽⁶⁾。この技術を適用した空調システムは2013年7月に製品化している。

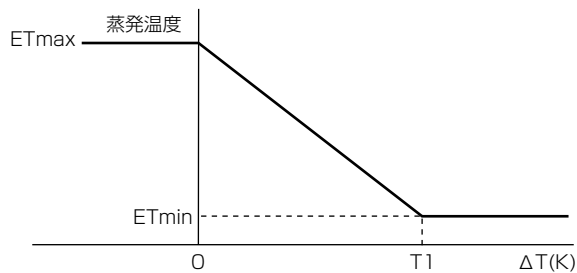


図14. 蒸発温度制御

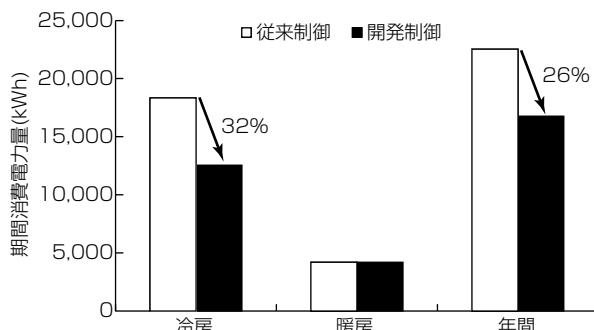


図15. 期間消費電力量

4. むすび

省エネルギー性能向上と快適性向上の両立を目指して進化を続ける空調システムの最新技術について述べた。空調機市場はグローバルな視点で見ると新興国を中心に拡大しているが、更なる市場拡大のためには各地域の特性に見合った製品開発が必要となっている。

今後も空調システムの進化を支えるデバイス技術の開発とシステム化技術の開発を通じて、低炭素化社会の実現、活力とゆとりのある社会の実現に貢献していく。

参考文献

- (1) 松田拓也, ほか: パッケージエアコン用室内細管熱交換器の開発, 冷凍空調学会年次大会講演論文集A221, 251~254 (2009)
- (2) 石橋 晃, ほか: 空調機向け扁平管熱交換器の開発, 第48回空気調和・冷凍連合講演, 48, 177~180 (2014)
- (3) 三菱パッケージエアコン「スリムZR」シリーズ新商品発売のお知らせ, 三菱電機2014年1月16日付ニュースリリース
- (4) 三菱HEMS発売のお知らせ, 三菱電機2013年8月26日付ニュースリリース
- (5) 空調冷熱総合管理システム「AE-200J」発売のお知らせ, 三菱電機2014年1月21日付ニュースリリース
- (6) Hamada, M., et al.: Energy-Saving Technology for Multi Split-Type Air-Conditioning Systems for Buildings, Proceedings of the 11TH IEA HEAT PUMP CONFERENCE, Paper 0.1.7.3 (2014)