

空調冷暖の歩みと今後の展望

リビング・デジタルメディア事業本部
副事業本部長
永友秀明



1. ま え が き

三菱電機の空調冷暖製品は、1954年当社静岡製作所でエアコンの生産を開始して以来約60年にわたり、人と環境に配慮した高い技術力と品質によって、グローバルに発展してきた。現在では、家庭用のルームエアコンや換気扇から店舗やビルなどの業務用エアコン、産業用冷暖機器やロスナイなど様々な機種を展開しており、当社の中核を成す事業へと成長しつつある。

本稿ではこれまでの空調冷暖製品及びその主要な技術の歴史を振り返るとともに将来についての展望を行う。

2. 空調冷暖事業を取り巻く環境

空調冷暖機器の場合、その特性から省エネルギー性が常に評価の対象となってきた。近年の空調冷暖機器は、これまで定格ワットポイントで性能評価されていたものから、年間を通しての効率を表す指標に変わってきており、インバータ技術や冷媒制御技術等に優れた日本の技術が世界的に評価されている。また、近年ではソフト省エネルギー技術や快適性にかかわる技術発展も目覚ましく、ルームエアコンでは、当社“ムーブアイ”に代表されるセンシング技術の発達によって、従来温まりにくかった足元を目がけて温めるといった技術が確立された。また従来ヒートポンプでは、寒冷地での暖房は難しいとされていたが、当社“ズバ

暖シリーズ”に代表される低外気での暖房性能も格段に向上しており、従来のエアコンに対する暖房の温まりにくいイメージは大幅に変わってきている。

一方、安全性や性能面で優れていることから空調冷暖機器の冷媒として広く使用されてきたフロンガスは、オゾン層破壊という問題があり、塩素を含まない冷媒への転換を図っている。最近では地球温暖化などの環境問題に絡んで各国で規制の対象となりつつあり、今後はより地球温暖化係数(GWP)が低く、性能や安全性面で優れた冷媒への転換ができるかどうか空調冷暖製品の鍵になってきている。

3. 事業・技術の変遷

3.1 ルームエアコン

3.1.1 一体形からセパレート形へ

当社では1954年に小型エアコンの生産を開始した後に、1959年に家庭用ルームエアコン(以下“エアコン”という。)第1号を発売した(表1)。当時は、現在のような室内機と室外機で構成するスプリットの形態ではなく一体形であった。1966年に当社としては初めてセパレート形エアコンを発売し、その翌年の1967年にはセパレート形の壁掛け形エアコン“霧ヶ峰”を発売した。それまで主流の一体形では、屋内と屋外に機器が露出している必要があったことから、窓を利用したり、壁などの家の造作を壊して取り付けが必要があった。一方セパレート形では、壁に直径10cm

表1. ルームエアコンの歩み

1954年	エアコンの生産開始
1959年	家庭用ルームエアコン第1号発売
1966年	セパレート形エアコン発売
1967年	壁掛け形エアコン“霧ヶ峰”発売
1968年	“ラインフローファン”を世界で初めてエアコンに搭載
1978年	室温と健康温度範囲がわかるLED表示“グリーンサイン”を業界初搭載
1986年	温感自動コントロールによる体感温度制御を導入
1994年	人の位置がわかるセンサ“パノラマイ”を搭載
1997年	暖房能力を強化した寒冷地向けエアコン“ズバ暖・霧ヶ峰”を発売
2000年	体感温度を測る輻射センサを業界初搭載
2005年	ワイドリビングでもしっかりセンシングできる可動式センサ“ムーブアイ”を搭載
2007年	人の居場所を検知する“人感ムーブアイ”搭載
2010年	リモコンでエアコン設定をナビゲートする“ナビするエアコン”発売
2012年	快適性を保ちながら送風と冷暖房を切り替えて節電する“ハイブリッド霧ヶ峰”発売
2013年	人の手足の温度まできめ細かく見極める“ムーブアイ極”、足元をねらってピンポイントで温める“匠フラップ”を搭載

程度の穴をあけて室内機と室外機をつなぐだけの施工で済み、室内の美観が向上するとともに、圧縮機を屋外に設置できることから、室内における運転音や振動を低減することができた。このセパレート形を実現するための技術的な課題の一つに冷媒配管工事があった。専門家でなければ扱えなかった冷媒配管工事を容易にするために、スパナによって施工可能なインスタントカップリング(図1)方式を採用し、据付けスピードも飛躍的に改善された。

3.1.2 シロッコファンからラインフローファンへ

1968年には、シロッコファンが主流であった室内機の送風機構にエアコンで初めてラインフローファンを搭載した。シロッコファンは、直径が大きく、また空気を横方向から取り込む構造のため、奥行を大きくとる必要があった。その結果、室内機は壁掛け設置するにはかなり大きく、テレビ用の脚に乗せたり(図2)、棚に設置するといった方法もとられていた。これに対し、当社のエアカーテンに搭載していたラインフローファンは、横長で直径が小さく、また風がまっすぐ入りまっすぐ出ていくので、静音性や部屋を急速に冷やす機能にも優れていた。そこでこのラインフローファンをエアコン用に対応させる開発を行い、世界で初めてエアコンに搭載した。これによって室内機の奥行寸法は画期的に薄くなり、壁掛け設置が容易になった(図3)。ラインフローファンの改良を積極的に行い、製造面では軽量化、耐久性向上、低コスト化を目指した結果、超音波溶着によるプラスチック製ラインフローファン(図4)の製造技術を確立し、世界で初めて超音波溶着の自動化ラインを導入した(図5)。

3.1.3 センサと気流制御技術の進化

エアコン空調による快適性の向上や、室内機のコンパクト化が進むと同時に、一家に一台から寝室などほかの部屋にもエアコンが普及し、冷房のみならず暖房でも積極的に利用されるようになった。一方、需要が高まる中でエアコ

ン空調に対する不満も高まっていった。そこで、当社はそれまでの部屋全体を均一に空調するという概念から、人中心の空調へと概念の転換を図った。1994年に発売したエアコン“FSシリーズ”では、人の位置と距離を測るセンシング機能と、従来左右15度程度であった風向きの偏向幅を約45度にまで広げて、ねらったところに素早く風を送る気流制御機能を実現した。“パノラマイ”(図6)と名付けた2個の焦電センサでは、人体が放射する赤外線量の変化を検出し、位置を特定した。きめ細かく検出するために、ドーム型の9分割したレンズをトンボの目のようにそれぞれのセンサに取り付けた。この人の位置を検出するセンシング機能によって、人のいる場所に直接風を送ることと人を避けて風を送るという2通りの風の送り方ができるようになった。暖房運転時には人の足元をねらって温めることで、部屋全体を温める場合に対し、同一快適性で約15%の電気代節約が可能となるなど、現在まで技術開発競争が続いている快適性と省エネルギー性の両立について、いち早く着目し製品化した。

エアコンの快適性を追求していく中で、人が感じている温度(体感温度)をエアコンが理解して快適制御を行うことを目標にして、壁や床などの生活空間や人が発する熱を非接触で計測する赤外線センサを開発した。これを応用し業界初の輻射センサを搭載したエアコンを2000年に発売した。そして2005年には、現在の当社エアコンの構成の原型となる部屋の中をより広範囲にセンシングする左右に可動するセンサ“ムーブアイ”を初搭載し(図7)、以降センシング機能を年々進化させ、さらに上下風向板を左右分割し独立させて動かす“ダブルフラップ”による柔軟な気流制御と連携させることで快適性と省エネルギー性のより一層の向上を図った。ムーブアイとダブルフラップは当社独自の技術として現在まで改良を加えながらその技術を引き継いできている。

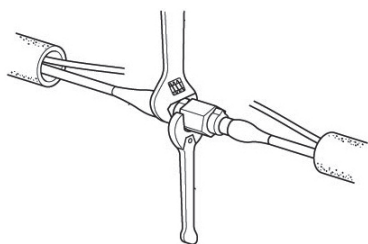


図1. インスタントカップリングの施工イメージ



図2. テレビ用の脚に乗せたセパレート形エアコン



図5. ラインフローファン製造の様子



図3. ラインフローファンを搭載した壁掛け形エアコン



図4. プラスチック製ラインフローファン

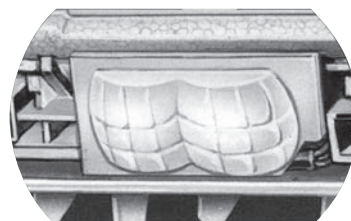


図6. パノラマイ

特集Ⅰ：当社技術の変遷と将来展望

2011年の震災で社会的に節電の要求が高まったことを背景に、快適性を維持しつつ更なる省エネルギー化の実現を目指した結果、2011年秋に“ハイブリッド霧ヶ峰”を発売した(図8)。この製品では、体感温度に応じて冷房運転から圧縮機の運転を停止した送風運転に自動的に切り替えることができる。また送風運転時も、体感温度を検知して送風量を自動的に変化させて快適性を保つよう工夫した。利用者が無理なく、無駄なく節電できるように節電をアシストするリモコンを搭載した。また、エアコン操作に精通していなくても、また年配者でも簡単に操作ができるようリモコン上のボタンの数を最小限にそして大きなボタンとし、液晶画面にフルドットディスプレイを採用することで、画面の中で分かりやすくサポートしながら節電設定ができるようにした。2013年に発売した最新のエアコンでは、人の手足の温度まで見極め、足元が冷えている時には、暖房時はピンポイントでねらって温めて体感温度を上げ、冷房時は冷え過ぎ防止で冷房運転を弱める等、節電かつ快適なエアコン運転を実現している。新しい試みとして送風運転では、実際に霧ヶ峰高原で測定した自然の風のリズムを再現している。

3.1.4 海外向けエアコン

海外に目を向けてみると、欧州では、日本製の快適かつ高い省エネルギー性能を持ったエアコンは高い需要があり、機能・性能以外のところでの要求、具体的には薄形でスタイリッシュな外観に対する要求が非常に高かったことから、2010年には薄形でかつ外観デザインを重視した“霧ヶ峰・禪(図9)”を発売した。200mmを切る薄形の奥行サイズと欧州のインテリア空間に馴染(なじ)む箱形を基調とした形状、さらに白、黒、シルバーの3色展開を行った。また、2012年には薄型でかつ高い省エネルギー性能を持ち、北欧などの寒冷地での利用に対応したハイエンド機である“FHシリーズ”を発売している。中国でも欧州同様、外観デザ

インに対する要求が高かったことから、現地の嗜好(しこう)に合った色や素材、表面仕上げにこだわった製品を発売している(図10)。

3.2 業務用エアコン

業務用エアコンは、1954年からパッケージエアコンとして生産を開始した。当初は床置き形が主流であったが、1968年に国内初の天吊式パッケージエアコンを発売した。

また、1978年から床置き形室内機がスリムであることを特長とした“ミスタースリムシリーズ”を発売し、現在でも当社の店舗用エアコンは“スリムエアコン”の名称で呼ばれている。1987年には、世界初の現地での追加冷媒チャージを不要にした冷媒チャージレスエアコンを発売した。室内と室外に別々の膨張弁機構を持ち、液冷媒配管を気液二相冷媒とすることによって、延長配管分の冷媒量を大幅に削減しあらかじめ室外機に入れることを可能にした。その後、冷媒として使用しているフロンガスがオゾン層破壊や地球温暖化といった環境問題に直面し、2000年には、オゾン層を破壊する塩素を含まないオゾン破壊係数0の冷媒R407Cを使用したスリムエアコンを発売した。この冷媒転換の際に施行上問題になったのが、冷媒と相溶性がある冷凍機油の化学的な安定性が低く、水分や塩素等のアタックによって油が劣化しやすいということであった。これによって、塩素を含む従来冷媒で使用していた配管などを洗浄なしにそのまま流用できないことは、当時新しい冷媒を使用する空調機器の常識となっていた。しかし、業務用エアコンでは延長配管が長かつ埋め込み配管がある等配管を再度設置することが困難な場所が多かったことから、既設配管を流用したいという要望が強くあった。またリプレース市場が半分近くまで上昇していたこともあり、当社空調機では、冷蔵庫で知見があった冷媒と相溶性がない非相溶性油で、ルームエアコンからパッケージエアコンの小型のゾーンまでをカバーし、また非相溶性油が使えない大型ゾーンでは、



図7. ムーブアイを初めて搭載したエアコン



図9. 欧州向けのエアコン“霧ヶ峰・禪”



図8. ハイブリッド霧ヶ峰と節電をアシストするリモコン



図10. 中国向けのエアコン

活性炭を応用したリプレースフィルタを配管途中に取付け、余分な塩素分などを取り除くことによって既設の配管を洗浄レスで使用することを可能にしたリプレースインバータを発売し、他社に先駆けて既設配管の流用を可能とした。その後2005年に発売したズバ暖スリムは、現在の北国地区へのヒートポンプ暖房の普及率向上のきっかけを作った。2006年にはムーブアイを搭載した新4方向カセット、2009年には通年エネルギー消費効率(APF)が業界No.1の“スリムER”，2013年には業界初の複数の室外機を連動して制御するパワーシェア運転機能を搭載し、実運転における省エネルギー性に優れた効果を発揮している。

一方、1984年にビル用の直膨エアコン“シティマルチシリーズ”を、1988年からビル用マルチエアコン“シティマルチYシリーズ”を発売し、現在世界中に展開するビル用マルチシリーズのさきがけとなった。1990年に1つの熱源機及び2本の内外接続配管によって室内機が冷房と暖房を同時かつ高効率な運転を可能とした“二管式冷暖同時マルチR2”を発売した。2管でこの冷暖同時マルチを実現したのは当社だけで現在もオンリーワン商品となっている。2001年に発売した“リプレースマルチ”では、複雑な配管で洗浄再利用困難と言われたマルチの配管を当社独自の“気液二相洗浄方式”などの配管洗浄技術を使って既設配管に残る冷凍機油を回収し、既設配管を流用可能とした。また、2013年には、熱交換器の冷媒通過部分が従来の銅円管ではなく、アルミ扁平(へんぺい)管となる熱交換器を搭載した“グランマルチ機種”を発売した。

省エネルギー性に優れたこれらの製品の中で、現在でも当社の看板商品になっている“二管式冷暖同時マルチR2シリーズ”と2005年に発売された寒冷地向けエアコン“ズバ暖スリム”について述べる。

3.2.1 二管式冷暖同時マルチR2シリーズ

ビル用マルチエアコンとは1つの室外機に複数の室内機

がつながっているビル用のエアコンのことである。ビル空間では、従来のペリメータゾーンなど外気の影響に加え、OA機器などの内部発熱負荷などが増えてきていることから、空調が置かれるスペースによって、負荷の差が拡大するケースがあり、冷房と暖房を同時に使いたいというようなケースも増えてきている。当社R2シリーズでは、このような冷暖同時に使用したい用途で、業界唯一室内／室外機を連携する配管をガス、液の2本の配管で実現した。

図11は、冷房主体運転時の動作を示したものである。冷房主体運転時には、室外熱交換器で気液二相冷媒状態で循環してきた冷媒を気液分離し、気体のみ暖房運転ユニットに循環し、高圧液冷媒化させ、膨張弁を介して冷房運転ユニットに冷媒を循環させることによって、2管で冷房暖房同時運転を実現させている。この冷暖同時運転は、室内ユニットの冷房と暖房のバランスが良くなるほど室外熱交換器での排熱が少なくなり、冷房や暖房だけの運転に対し、よりエネルギー消費効率が高い運転となる。

3.2.2 ズバ暖スリム

空調機の暖房に使われているヒートポンプ技術は大気の熱を利用するため、消費電力に対して数倍の暖房を行うことができる非常に優れた技術であるが、外気温度が低くなると能力が低下するため、寒冷地でのヒートポンプによる暖房は難しいと言われていた。当社では、2005年に低外気でも暖房能力の低下を抑制するための、フラッシュインジェクション回路(図12)を搭載したズバ暖スリムを発売して、-15℃までの定格能力の維持と、-25℃までの運転範囲の拡大を行い、さらにデフロストなどに改善を加えることによって、寒冷地でも安心してヒートポンプを使えるようになった。フラッシュインジェクションは、液配管から取り出した冷媒を二相状態にして圧縮機の圧縮工程途中にインジェクションする技術で、低外気での高い能力と効率の両立を可能として業界でも高く評価されている。

■ シティマルチ R2 Eco 熱回収運転時の COP 値

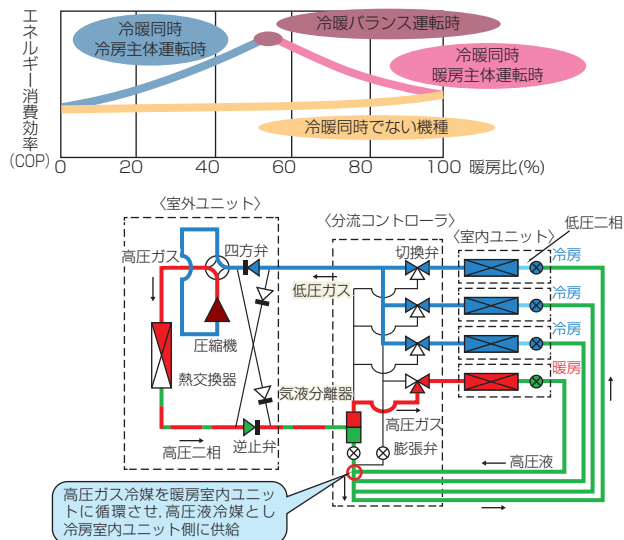


図11. 冷房主体運転時の動作

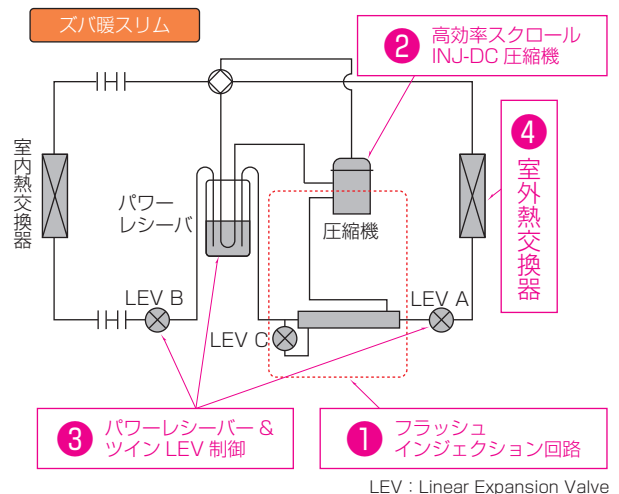


図12. ズバ暖スリムのインジェクション回路

特集 I：当社技術の変遷と将来展望

3.3 産業用冷熱製品

3.3.1 産業用チラー

1958年産業用チリングユニットを開発して1966年から業界に先駆け空調用のチリングユニットを発売し、1970年代に入ってから空気熱源であるヒートポンプチラーへと展開した(図13(a))。また、2007年に発売したCO₂冷媒を使った業務用エコキュート“サニーバックQ Eco”(図13(b))では、高効率DCブラシレスモータを採用したインバータスクロールCO₂圧縮機の搭載によって業務用エコキュートでは業界トップの定格エネルギー消費効率4.1を達成した。また、従来のフロン冷媒を使用した同容量の給湯機では2台の圧縮機を搭載していたのに対して、1台の圧縮機で実現することによって大幅な設置面積の削減と軽量化を実現し、電力負荷平準化機器システム表彰“資源エネルギー庁長官賞”を受賞した。

一方、大型チラーは1962年から生産を始め1971年からヒートポンプチラーを発売した。当時は冷暖切替は手動バルブ操作、デフロストは散水方式で行われていた。1989年には業界初のリキッドインジェクション方式の半密閉型シングルスクリー圧縮機を搭載した“空冷スクリーヒートポンプチラーシリーズ”を発売した。オイルインジェクション方式から脱却し、オイルセパレータ不要のコンパクト性、低振動、耐久性の向上等を図った。

最近では2008年に発売したコンパクトキューブでDCインバータ駆動スクロール圧縮機の複数搭載などのモジュール化設計と当社独自の斜め上方風吹き出し構造“Vフロー”熱交換器の搭載によって、製品質量を約1/3にし、設置面積も半減させ、さらに集中設置を可能とした。平成20年度の省エネ大賞省エネルギーセンター会長賞や日本冷凍空調学会の技術賞を受賞するなど高い評価を受けている(図13(c))。

3.3.2 冷凍機器

1947年に大型製氷設備のアンモニア冷媒対応の冷凍機として、“MF-873形(50馬力/3気筒/250rpm)”を仙台市に納入したのが皮切りとなり、産業界の生産能力増大に伴い、機種拡充の必要性から、“高速多気筒MA形冷凍機(75馬力/8気筒/1,000rpm)”が1951年に誕生した。MA形冷凍機は食糧増産・農村振興の政策に伴う乳業界の振興によって乳業メーカーに多く採用され、長寿命製品として高く評価された。小形半密閉圧縮機開発は戦争で中断されたが、1957年から本格的量産を開始した。一方機種群としては、1970年に世界で初めて冷凍・冷蔵クーリングユニットを開発した。現地工事の簡素化、制御面の簡素化に加えて、除霜システムの改良を加え、急速凍結用途にも適用が拡大された。また、低温ユニットの中で唯一の間接方式用途であるブラインクーラも1970年に誕生した。間接方式の対応の大きなねらいは、アンモニア製氷設備のフロン化、工業用・乳業化学プラントの全自動化・フロン化、スケートリンク設備の熱源対応、船用低温設備の無人・全自動化であった。また、超低温対応として、-60~-75℃対応のブラインクーラも発売した(1982年)。1996年からは、圧縮機としてオーバホールインターバルが40,000時間を誇るシングルスクリー圧縮機を搭載した製品群を市場投入し、高い信頼性が評価され、大型熱源機では今日の主流となっている。

また、地球環境保護の観点からHCFC(ハイドロクロロフルオロカーボン)冷媒からHFC(ハイドロフルオロカーボン)冷媒への転換も済ませ、更なる環境低負荷対応の開発を進めている。

3.4 業務用ロスナイ

1960年代の後半から、温度と湿度を逃さず換気するという発想で、ロス(損失)がナイ(ない)(図14、図15)“ロスナイ”というネーミングの全熱交換器が世界で初めて誕生し、1970年から発売された。その後、ロスナイエレメント



(a) チリングユニット



(b) サニーバックQシリーズ



(c) コンパクトキューブeシリーズ

図13. 産業用冷熱製品

は進化を遂げ、2004年に25 μ mの超薄膜無孔系特殊加工紙を給排気仕切材に適用して交換効率を改善したハイパーエレメントを、2008年には、湿度透過の高い新接着剤を開発し、湿度交換効率を改善した“ハイパー Ecoエレメント”を開発した。また、2012年には樹脂製の細リブで、紙製の仕切板を両面から挟み込んで固定する新構造及びリブと仕切板の一体成型技術の確立によって、全熱交換効率を改善した高効率ロスナイエレメントを開発して、業界トップの位置を保っている。

3.5 圧縮機

当社の圧縮機は空調機よりも歴史が古く1932年冷蔵庫用のレシプロ圧縮機を開発・生産したのが始まりである。その後1975年から小型・軽量・高効率のロータリ圧縮機“RH型”（図16）を生産し、パッケージエアコン用にも1980年から“NH型”圧縮機を量産導入した。また1983年からはインバータ圧縮機を生産、1994年からはBLDC(BrushLess Direct Current)モータ、2000年にポキポキモータ（集中巻）（図17）を搭載し、世界をリードする高効率な圧縮機となっている。スクロール圧縮機については1980年代後半から業務用空調用にZ型圧縮機を生産し、1990年代に入り小型高速大容量化を図っている。また大型冷熱用圧縮機としては1981年からターボ圧縮機を、1986年から単段スクリー圧縮機（図18）を導入し、1989年からは二段機も開発して今日にいたっている。

3.6 海外展開

当社空調冷熱事業では、1989年にタイに立ち上げたエアコン工場を皮切りに中国、欧州、米州等の6拠点に工場を設立し、グローバル供給に最適な生産配置を目指している。また、2000年以後欧州におけるヒートポンプを使った暖房給湯事業“Air To Water”を始め、各地域のニーズに応じた応用商品を展開しており、今後も更なる拡張を図っていく。

4. 今後の方向性と将来展望

現在自然冷媒を始めとする次世代冷媒の候補は、性能・可燃性・実現できるサイズ等、現在使用している冷媒と比較すると、何らかの問題や課題を抱えており、各国又は各地域の規制や冷媒の供給・入手性に依拠して使用する冷媒が変わってくる可能性がある。当社では、グローバル展開を加速していく中で、このような冷媒規制と合わせ、どのような冷媒戦略を取っていくかが非常に重要な開発の方向性となる。

一方機器の効率や省エネルギーについては、2000年頃までは、圧縮機や熱交換器の性能向上といったハードによる省エネルギーが推進されてきているが、今後個々の要素技術では、理論的に大幅な性能向上を見込むことは難しい状況になっている。したがって、今後はシステムを組み合わせることによる省エネルギー効果の創出や、ムーブアイなどのセンシング技術を応用した快適性とソフト省エネルギーの両立等、機器単体の効率改善によらずにエネルギー使用量を削減していく開発が増えていくと考えられる。

5. むすび

空調機器や冷熱製品の開発・製造・販売を通して、更なる省エネルギー性、環境性や快適性を追求しながら、皆がより良い暮らしができるよう貢献していく所存である。



図14. ロスナイ熱交換器第1号
（実証試作機）

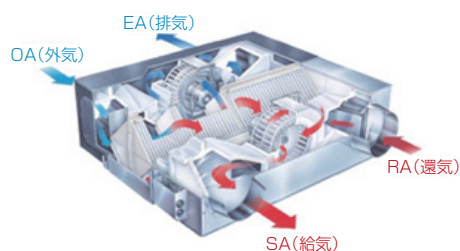


図15. ロスナイ（天吊埋込型）



図16. ロータリ圧縮機

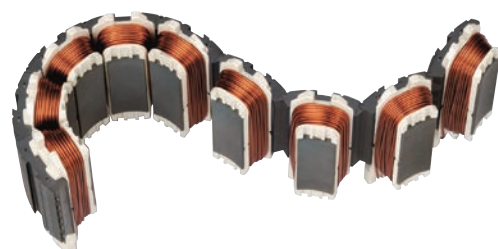


図17. ポキポキモータ

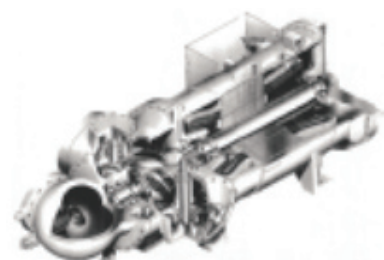


図18. 単段スクリー圧縮機