

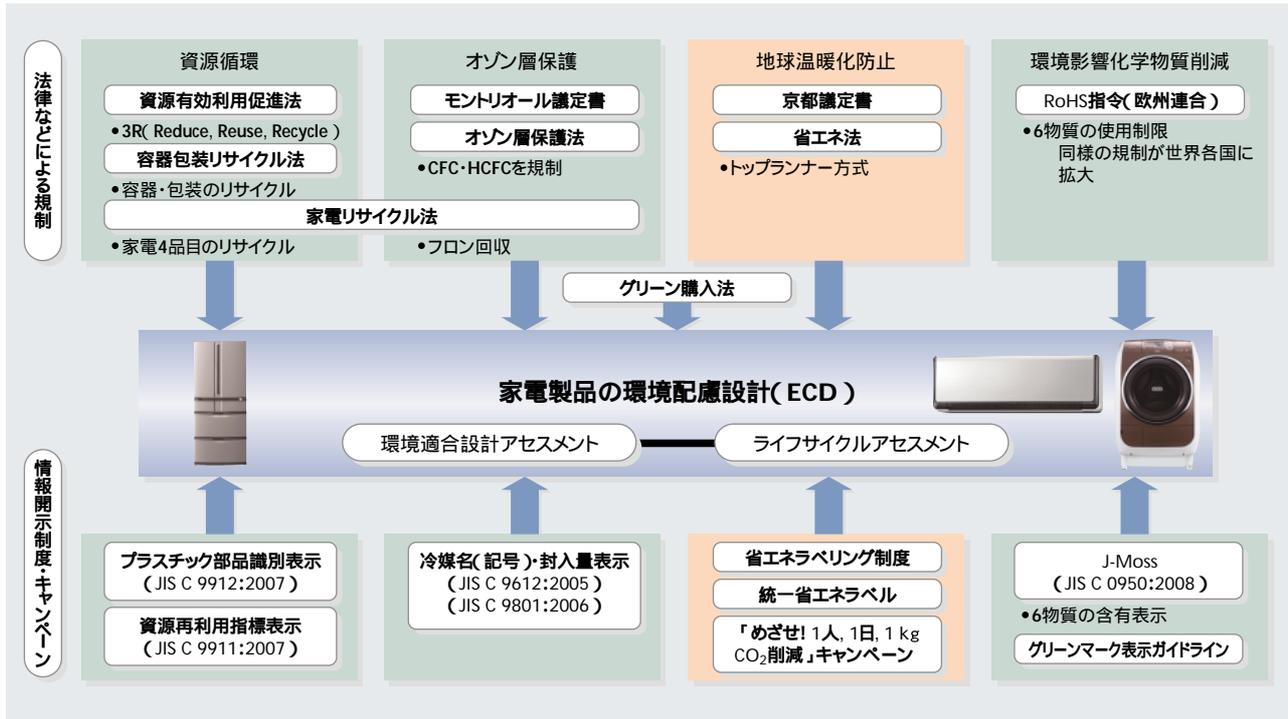
# 家電製品の省エネルギー技術

Energy Saving Technologies in Home Appliances

廣田 明久 Akihisa Hirota

大塚 厚 Atsushi Otsuka

吉田 隆彦 Takahiko Yoshida



注:略語説明 CF<sub>x</sub>(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),RoHS(Restriction of the Use of the Certain Hazardous Substances in Electrical and Electronic Equipment),ECD(Environmentally Conscious Design),J-Moss(the Marking for Presence of the Specific Chemical Substances for Electrical and Electronic Equipment:日本工業規格「電気・電子機器の特定の化学物質の含有表示方法」)

図1 家電製品を取り巻く環境関連の動向

資源循環、環境影響化学物質などの課題への対応の中で、地球温暖化防止のための省エネルギー性能追求のウエイトが高くなっている。また、省エネルギー制度、省エネルギー機器・システム表彰 省エネ大賞 制度、省エネ型製品普及推進優良店制度などが、省エネルギー家電製品の普及促進の後押しとなっている。

家電製品における環境対応の取り組みは、大きく分類すると地球環境保全(温暖化防止,オゾン層保護),資源循環(3R(リデュース,リユース,リサイクル)推進),化学物質対策(製品に含まれる環境影響化学物質の削減,製造時の環境影響化学物質の削減)が柱である。

中でも地球温暖化防止については、京都議定書によるCO<sub>2</sub>排出量削減目標の約束期間(2008年~2012年)が始まり、国際政治上の重要課題に浮上し、注目度が高くなっている。日本のCO<sub>2</sub>排出量のうち民生(家庭)部門は13.5%を占めており、CO<sub>2</sub>排出量を削減するうえで、家電製品の省エネルギーへの期待は高い。

日立アプライアンス株式会社は、このような社会的ニーズに応えるために、省エネルギー性能に優れた家電製品の開発に注力している。

## 1.はじめに

家電製品の環境対応が大きく進み始めたのは、1990年代初頭、増大する使用済み家電製品の問題への対応からである。再生資源利用促進法(1991年施行,2001年に資源有効利用促進法に改正,施行)により、製品のリサイクル性の向上を図る観点から、製品の設計時にアセスメントを実施することが常となり、分解のしやすさや、素材の種類の集約などに工夫を凝らすようになった。

一方、これと並行して、冷蔵庫,エアコンの冷媒などに使用されていた、オゾン層破壊物質の特定フロンであるCFC(Chlorofluorocarbon:クロロフルオロカーボン)を、HCFC(Hydrochlorofluorocarbon:ハイドロクロロフルオロカーボン)、さらにはHFC(Hydrofluorocarbon:ハイドロフルオロカーボン)に代替していく技術開発が進められた。

地球温暖化防止への取り組みとしては、製品の省エネルギー性の向上が重要な課題である。1994年の気候変動枠組条約の発効後、1997年のCOP3(第3回締約国会議、京都会議)において、先進国は地球温暖化ガスの排出を削減するための数値目標を「京都議定書」として約束し、省エネルギーは単に消費者のコストメリットだけの問題ではなく、国家的、全地球的な重要課題となった。

2008年は京都議定書の第一約束期間(～2012年)の初年であり、官民あげて目標達成への動きが活発化している(図1参照)。

日本の温室効果ガス排出量は、年間約13.6億(2005年度、CO<sub>2</sub>換算)、そのうちCO<sub>2</sub>は約12.9億tであり、全世界のCO<sub>2</sub>排出量の約4.8%を占めている。また、家庭部門(間接排出)は約13.5%であり、人口1人当たりでは年間約2.2t、世帯当たりでは年間約5.5tである。この中で電力消費に伴うCO<sub>2</sub>排出が4割近くを占め、中でもエアコン、冷蔵庫のウエイトがそれぞれ約25%、約16%と高い(図2参照)。

政府は「めざせ! 1人、1日、1kg CO<sub>2</sub>削減」キャンペーン(2007年6月～)を、また、家電メーカー、小売事業者、消費者団体の連携で「省エネ家電普及促進フォーラム」を2007年10月に設立し、国民運動を展開している。

このような社会動向に対して、日立アプライアンスは省エネルギー性能に優れた環境配慮製品の開発に力を注いできた。家電の省エネルギーの基幹となる技術は、モータの駆動であり、日立アプライアンスは早くからインバータ制御、PAM(Pulse Amplitude Modulation:パルス振幅変調)制御の開発に取り組み、現在に至るまで進化させてきた。さらに、製品ごとに多面的に省エネルギーの要素技術の開発に取り組み、これらの集大成として、冷蔵庫(「R-X6000」ほか7機種)とルームエアコン(「RAS-S40X2」ほか3機種)について、平成19年度「省エネ大賞(省エネルギーセンター会長賞)」をダブル受賞した。

ここでは、冷蔵庫とルームエアコンにおける、最新の省エネルギー技術について述べる。

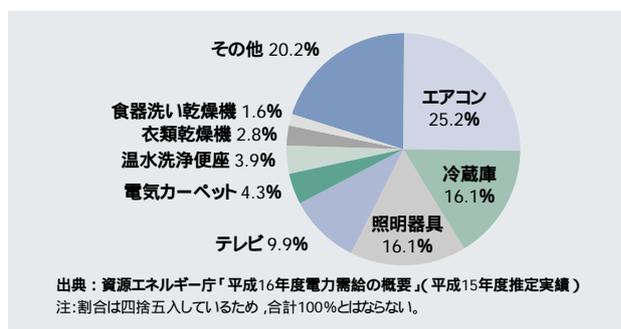


図2 家庭における消費電力量ウエイトの比較

日本の家庭では電力消費に伴うCO<sub>2</sub>排出が4割近くを占めており、その中でもエアコン、冷蔵庫の割合が高い。



図3 「まんなか冷凍」構造の「栄養いきいき 真空チルド」冷蔵庫(R-X6000)

食品の栄養素を守る「真空チルドルーム」を搭載するとともに、601 Lの広い庫内スペースを実現した。

## 2. 冷蔵庫の省エネルギー

### 2.1 冷蔵庫に求められる性能

冷蔵庫の市場は、国内需要が年間約450万台で推移しているものの、定格内容積500 L以上の需要が大きく伸びており、大容量であっても省エネルギーとなる製品が求められている。一方、近年の健康志向の高まりから、冷蔵庫における食品の保存性、鮮度維持について、ユーザーから高い関心が寄せられている。このような背景の中、家庭用冷蔵庫「栄養いきいき 真空チルド」、「まんなか冷凍」シリーズを開発した(図3参照)。

### 2.2 主な省エネルギー技術

#### (1) 「まんなか冷凍」構造

この冷蔵庫は、冷凍室を冷蔵庫中段に設けた「まんなか冷凍」構造(図4(a)参照)を採用しており、従来の「まんなか野菜」構造(図4(b)参照)に比べ、省スペース大容量と省エネルギーを両立した構造とした。この構造が優れている点として、冷凍室がコンプレッサ(圧縮機)と位置的に離れ、冷却器と隣接する構造なので熱の漏洩(えい)によるロスが少なく、その分、薄壁化を図ることができる。また、冷凍室が中央部に集約しており、冷凍室への冷気を分散せず集中できるので冷気循環抵抗が少なく、冷却効率も上がる。その分、省エネルギー効果が大きくなる。

#### (2) 新外板構造

この冷蔵庫は、側面と天面の外板を一体にした新しい構造を筐(きょう)体に採用した(図5参照)。冷蔵庫筐体全体の強度を向上させることで、強度を保つための補強材類を小型化して薄壁化を実現した。

また、側面と天井面を一体化構造にすることで、放熱効率のよい天井面に放熱パイプを配設することができる。この放熱パイプと温度が高くなる制御基板収納部の下に立体成形真

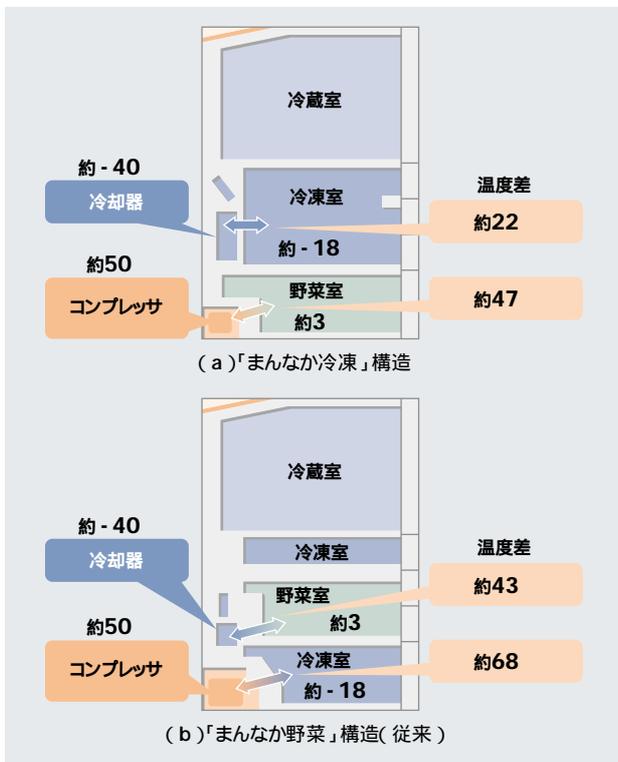


図4 冷凍冷蔵庫の構造比較(横断面)  
「まんなか冷凍」構造は、冷凍室が中央部に集約している。位置的に高温のコンプレッサから遠く、低温の冷却器と隣接する構造であり、冷却効率が上がる。

空断熱材を設けることにより、効率のよい放熱構造を実現した。さらに、側面の真空断熱材の面積を増やし、消費電力量を低減した。

(3) 立体成形真空断熱材

真空断熱材は、芯(しん)材をラミネートフィルムで包み、真空状態にして密封した構成で、建築材料を含め、地球温暖化防止の活動をするうえで重要なキーテクノロジーとなっている。真空断熱材の開発については、その重要性を予見し、

5年前から設備投資を含めて独自に技術開発してきた。その結果、断熱性能が世界最高水準の真空断熱材を開発することに成功している。特に今回の製品では、真空断熱材の真空度を上げることで、従来に比べて断熱性能をいっそう向上した。さらに、筐体内部の凹凸形状に合わせて成形した新開発の「立体成形真空断熱材」を採用している(図5参照)。これにより、従来は制御基板収納による段差があるため、設置できなかった天井部分に真空断熱材を設置することが可能となった。

(4) 高性能コンパクトコンプレッサ

コンプレッサのピストン部の連結機構に、従来のスコッチヨーク方式に代わりボールジョイント方式を採用することで、摺(しゅう)動距離を18 mmから3 mmに短縮し、摺動損失を低減させて効率を改善した(図6参照)。さらに吐出弁構造の最適化や軸受部の精度向上、モータ制御の最適化により、業界トップクラスのCOP(Coefficient of Performance(成績係数))冷凍能力/入力 を達成し、冷蔵庫の消費電力量の低減を図った。また、ボールジョイント機構の組立構造を工夫することにより、フレームとシリンダを一体化してコンプレッサの体積のコンパクト化を図り、外形高さを低くして冷蔵庫の内容積の増加を実現している。

(5) マルチセンシング

冷蔵庫には各部屋のヒータを制御するために合計7個のセンサーが設置されている。個々のヒータへの入力を最小限にするために、7個のセンサーのうち、2個のセンサーの温度データを使い、微細な温度コントロールを行うことでヒータの消費電力量を削減している。

また、製氷機構の給水パイプの凍結を防止するためのヒータを設置している。給水ポンプの電流値が給水タンク内の水

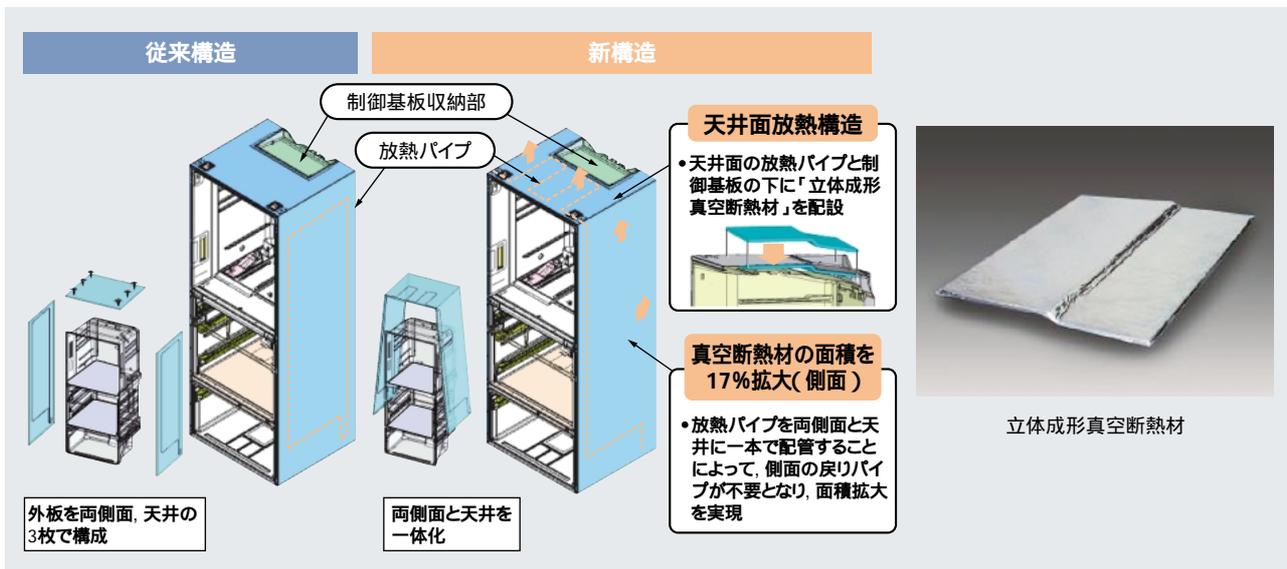


図5 新外板構造と「立体成形真空断熱材」  
側面と天面を一体化構造にし、強度と放熱効率を向上した。

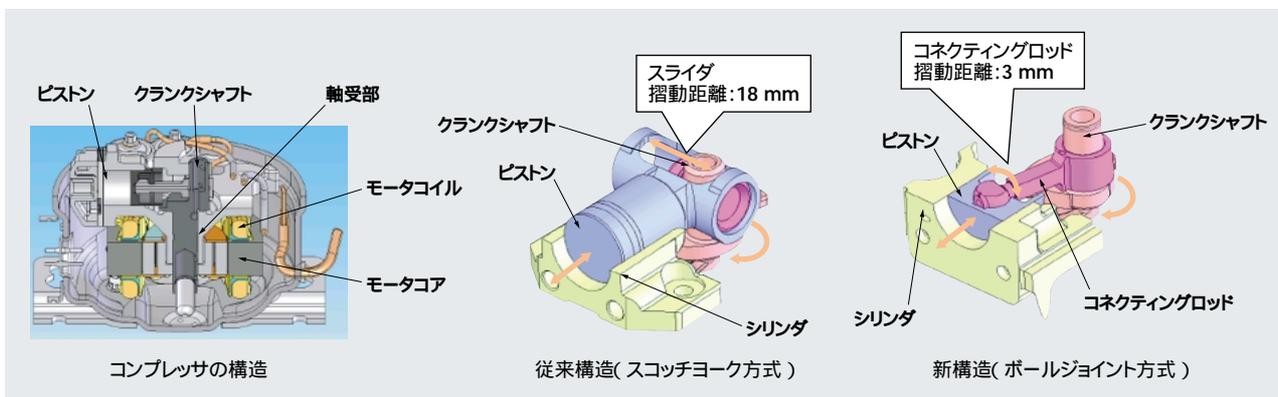


図6 コンプレッサのピストン部連結機構  
ボールジョイント方式でコネクティングロッドの摺動距離を短縮し、摺動によるエネルギー損失を改善した。

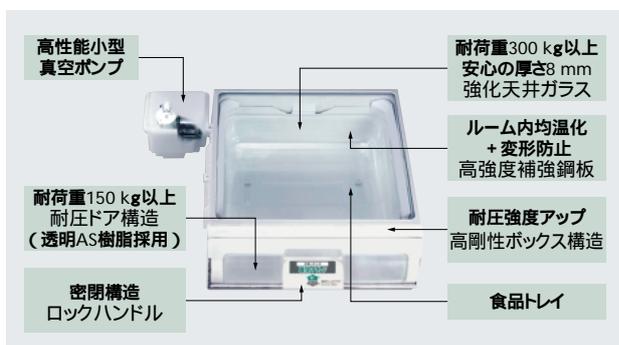


図7 真空チルドルームの耐圧構造  
約0.7気圧の低酸素状態にすることで、酸化によって失われる食品の栄養素を守る。

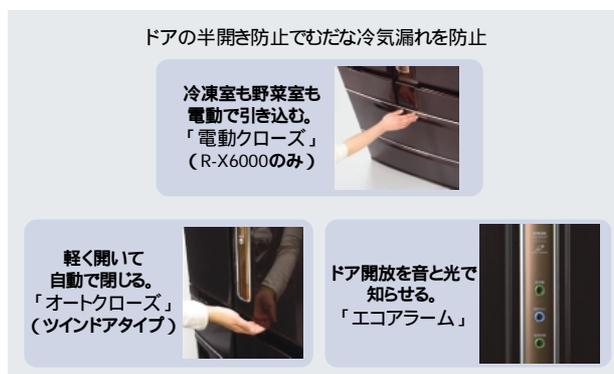


図8 ドア閉め忘れ防止機能  
ドアの閉め忘れによる冷気の流出を防ぐことにより、省エネルギーに貢献する。

の有無で異なることに着目し、ポンプの正転時と逆転時の電流値比較によって水の有無を判別し、水がない場合はこのヒータへの入力を削減する制御方式を採用し、消費電力量を削減している。

#### (6) その他

日立アプライアンスは、独自の真空保存システムを採用した「真空チルドルーム」を、世界で初めて冷蔵庫下部に搭載した(図7参照)。

ロックハンドルで密閉された耐圧構造ルーム内の空気を高性能小型真空ポンプで吸引し、約0.7気圧の低酸素状態にすることで、DHA( Docosahexaenoic acid:ドコサヘキサエン酸) やビタミン類、アミノ酸など酸化によって失われる食品の栄養素をしっかりと守る。また、食品を収納する部屋は、真空ルームの扉を閉めて使用している状態では密閉構造であり、間接的に冷却されているので、湿度の低下を抑えられるとともに冷蔵庫扉の開け閉めによる温度上昇が抑えられ、余分な冷やし込みのための消費電力量なども抑制することができる。

ドアの閉め忘れによる冷気の流出の影響は大きく、イレギュラーであっても省エネルギー効果を妨げるケースが多い。このドア閉め忘れを防止するため、引き出しドア(下段冷凍室と野菜室)にドアが本体に近づくと電動で閉める機能をR-X6000に搭載した。また、冷蔵庫ドアがツインドアタイプの機種

には、冷蔵庫ドアが半ドア開きの状態になったときにドアを庫内側に引き込むオートクローズ機構を採用している(図8参照)。

さらに、ドア引き込み機構で閉めることができない閉め忘れに対しては、ドアを開けた1分後にドアアラームを鳴らすとともに冷蔵庫ドアに設置した急冷蔵、真空ルーム、急速冷凍の三つのLED( Light Emitting Diode) が点滅し、視覚的にも報知を行うエコシグナルを採用した。

冷媒は、オゾン層を破壊せず、地球温暖化への影響がきわめて少ないR600a(イソブタン)を使用し、断熱材発泡剤シクロペンタンと合わせ、環境への影響がきわめて小さなノンフロン冷蔵庫とした。

#### 2.3 省エネルギーの効果

以上の技術開発により、定格内容積451 L以上クラス、および401 ~ 450 Lクラスの国内の家庭用冷凍冷蔵庫において、「R-S45XM」、「R-S42XM」がそれぞれ省エネルギーナンバーワン製品(2007年10月25日時点)となった。また、R-X6000では、外形寸法がほぼ同等の前機種「R-W5700」に比べて、内容積を約6%増やし、業界トップ(2007年9月10日時点)の大容量(601 L)でありながら、約20%の消費電力量削減を実現した(年間消費電力量490 kWh/年、2010年省エネルギー基準達成率125%)。



図9 PAMエアコン(Xシリーズ)ミストでうるおい ステンレス・クリーン 白くまくん(RAS-X40X2)  
 エアコンに高級空気清浄機の機能を搭載し、上質な室内環境を実現した。運転時は前面パネルが開く(写真右)。

### 3. ルームエアコンの省エネルギー

#### 3.1 ルームエアコンに求められる性能

2007年度のルームエアコンの国内市場は約720万台と見込まれる。家庭の電力の消費ではエアコンが最も多くを占めるため、エアコンに求められるユーザーのニーズは、従来から電気代の安さ、すなわち省エネルギー性能が第一となっている。また、最近の傾向として、総販売台数の約51%が買い替え需要となっているために、買い替え対象の室内機の標準的な幅寸法80 cm以下に抑えた機種へのニーズも高まっている。こうした背景を踏まえ、製品ラインアップとして「Xシリーズ(室内機本体幅87.5 cm)と「Sシリーズ(室内機本体幅79.5 cm)を開発した(図9参照)。

#### 3.2 主な省エネルギー技術

ルームエアコンは基本的にヒートポンプ構成であり、省エネルギーを図るにはヒートポンプの基本要素であるコンプレッサ、コンプレッサ駆動制御回路、熱交換器、送風性能をいかに効率化するかがポイントとなる。また、省エネルギーの指標が、従来から用いられてきた「特定の気象条件の下でのエネルギー効率であるCOP」から、「年間を通したエネルギーの消費効率であるAPF(Annual Performance Factor: 年間エネルギー消費効率)」に移行したことを踏まえ、このAPF向上を念頭において、特に、中間能力(定格能力の半分の能力)での効率向上を重点的に行った。これは、ルームエアコンではAPFの中で中間能力での効率の比重が全体の約75%を占めるからである。

##### (1) コンプレッサとコンプレッサ駆動制御回路

冷媒を圧縮させ、冷凍サイクル内に冷媒を循環させるコンプレッサの消費電力はルームエアコンの全消費電力の約80%を占めており、その効率化はきわめて重要である。コンプレッサの効率化とは冷媒圧縮に伴う損失をいかに低減するかであり、この損失には、摺動損失(軸受などの機械部品が摺動することによって生じる損失)、漏れ損失(冷媒が高圧部位から低圧部位に移動することによって生じる損失)、過圧縮・再膨張損失(理論断熱圧縮線より多く圧縮してしまうことによって生じる損失)、モータ損失(銅損・鉄損)がある。これらの損失低減に対しては従来から改善を行ってきたが、今回は主に

中間能力での改善に取り組んだ。

省エネルギータイプの日立ルームエアコンには、スクロールコンプレッサを採用している(図10参照)。このスクロールコンプレッサはその圧縮特性上、中間能力において、過圧縮・再膨張損失が課題となる。この課題を解決するために、過圧縮を防止しつつ再膨張損失を大幅に低減する新リリース弁を新たに開発した。これは、従来から採用してきたリリース弁のデッドボリウムを大幅に削減する機構を開発したことによって実現した(図11参照)。それに加えて、押除量の拡大によって回転数を下げて摺動損失を低減し、APFで約2.5%向上することができた。

モータ損失の低減については積圧を約22%向上するとともに、電流ひずみを低減するコア形状を開発して採用した。また、コンプレッサ駆動制御回路の中間能力での損失は制御回路素子の固定損が大半であり、コンプレッサモータ電流に大きく左右されるため、中間能力でコンプレッサモータ電流をいかに下げるかがポイントとなる。このためにコンプレッサモータに必要とされるトルクを厳密に見極め、この範囲でモータ電流が最も低くなるようにモータ巻線を新設計した。この結果、コンプレッサモータとコンプレッサ駆動制御回路の効率合計で



図10 ルームエアコン室外機とスクロールコンプレッサの内部構造  
 スクロールコンプレッサは、固定スクロールと旋回スクロールの2枚の渦巻き状の羽根を滑らかに回転させて、吸入 圧縮 吐出しの工程を同時に行う方式で、高効率、低振動、低騒音の特長がある。

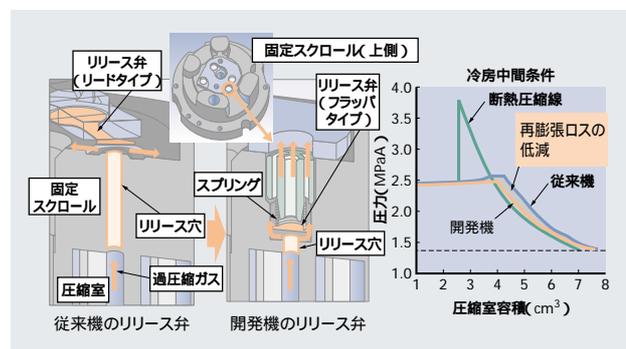


図11 スクロールコンプレッサの新リリース弁  
 今回開発したリリース弁はデッドボリウムを削減し、過圧縮を防止しつつ再膨張損失を大幅に低減した。

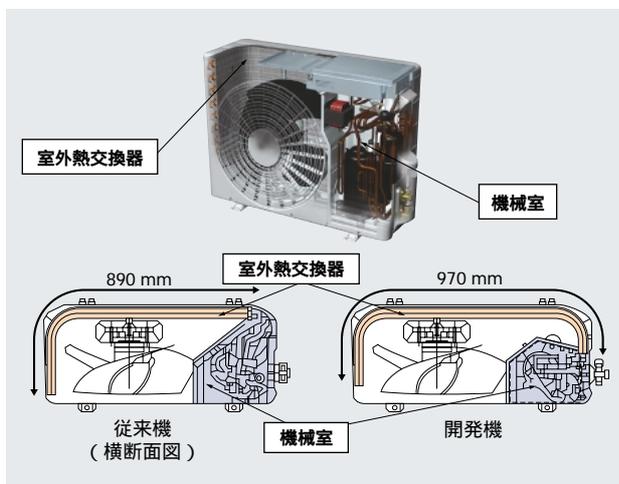


図12 室外機熱交換器の改善

機械室の容積を少なくし、熱交換器面積を約9%拡大した。

約2%の効率向上ができた。

## (2) 熱交換器

室内機熱交換器については補助熱交換器を通风抵抗が均一になるように効果的に配置し、伝熱面積で約17%拡大させた。室外機熱交換器については、スクロールコンプレッサの低振動特性を利用して冷媒配管の長さを短縮し、機械室容積を少なくすることにより、このスペースを利用して熱交換器面積を約9%拡大した(図12参照)。

## (3) 送風性能(室内機)

室内機吹き出し口の上部風向板を翼型形状にするとともに配置位置を従来の通风路内部から吹き出し口付近へ変更することにより、通风抵抗を低減した。その結果、送風機動力を低減するとともに暖房の風が足元へしっかり届く「足もと気流」に加えて、冷房の風が水平方向に向かず「やわらか気流」を実現し、身体に直接風を当てない、これまで以上に快適な気流制御が可能となった(図13参照)。

## (4) フィルタ自動お掃除機能による省エネルギー

「フィルタ自動お掃除機能」を採用することで、フィルタを1年間掃除しない場合と比較して30%の省エネルギーを実現した。

### 執筆者紹介



廣田 明久

1983年日立製作所入社、日立アプライアンス株式会社 家電事業部 栃木家電本部 冷蔵庫設計部 所属  
現在、冷蔵庫の設計開発に従事



大塚 厚

1986年日立製作所入社、日立アプライアンス株式会社 空調事業部 栃木空調本部 空調システム設計部 所属  
現在、ルームエアコンの設計開発に従事

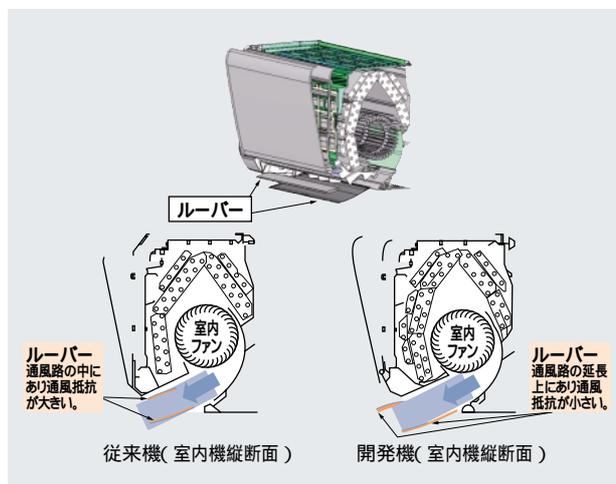


図13 室内機の通风抵抗の削減

通风抵抗を低減して送風機動力を低減し、同時に快適な気流制御を実現した。

## 3.3 省エネルギーの効果

今回の技術開発により、冷房能力4.0 kW機種においてSシリーズでAPF5.8、XシリーズでAPF6.2というナンバーワンの省エネルギー性能を実現した(2008年3月時点)。Xシリーズでは11年前のエアコンに比べて年間消費電力量を約40%低減できる。

## 4. おわりに

ここでは、冷蔵庫、ルームエアコンの省エネルギー技術を中心に述べた。

家電の省エネルギーはこの2製品にとどまらず、洗濯機、電子レンジ、ジャー炊飯器、ヒートポンプ給湯機など幅広い製品群にわたって省エネルギー化を進めている。水を使用する洗濯機では、節水もCO<sub>2</sub>排出量の削減につながるため、少ない水でも高い洗浄力を発揮するような技術開発も進めている。

地球温暖化防止の切り札として、家電製品のさらなる省エネルギー化への期待は高い。また、省エネルギー家電製品をいっそう普及させるためには、使い勝手など、ユーザーに魅力的なベネフィットが不可欠である。日立アプライアンス株式会社は、成熟商品と言われる家電分野において、このような観点に立ったさらなる技術開発を進め、いっそうの省エネルギー化、地球温暖化防止に貢献していく考えである。



吉田 隆彦

1978年日立製作所入社、日立アプライアンス株式会社 環境推進部 所属  
現在、環境管理全般の推進に従事  
日本機械学会会員