

空調機における省エネルギー・高効率化技術

Technology of Energy Save and High Efficiency for Air Conditioners

エアコン製作所 鈴木一弘*¹ 水野尚夫*²
 技術本部 渡辺吉典*³ 近藤文男*³
 蟹江徹雄*⁴

近年、家庭用、業務用に限らずエアコン全体に対して地球温暖化対策を核とする環境負荷軽減への取組みが求められている。特に改正省エネルギー法による COP 目標値の設定は非常に高いハードルとなっており、さらに高度な技術開発の必要がある。本報ではエアコンとしての省エネルギー・高効率化技術について最新情報を報告するとともに高性能化に対する各コンポーネント、システムの取るべき方向性及びシステム高性能化について述べる。

Global warming has made it necessary to find ways to reduce the load on the environment attributable to the use of all types of air conditioning. Cutting-edge technology is being sought to meet high COP targets set by the Reformed Energy Savings Act. This report provides a guide for manufacturing high-performance components and systems and the latest information on energy saving technology, and high efficiency and performance.

1. ま え が き

地球環境問題に対して冷熱製品が対応していくためには“オゾン層保護”と“地球温暖化防止”が最も重要な課題であり、ルームエアコン業界は代替冷媒切替え及び省エネルギー法による COP (エネルギー消費効率: Coefficient Of Performance, 能力を消費電力で割った値) 新目標値 (代表の 28 クラスにおいて冷、暖の平均で 4.90) 達成に向けて各メーカーとも新規開発を推進している。代替冷媒 (ルームエアコンの場合は HFC 410 A) は従来冷媒対比使用圧力が高く、理論的な COP も劣るため商品化に対しては課題も多い。当社は業界の中でも早期に代替冷媒対応機種 SRK 320 RZX を開発、市場に投入し、平成 9 年度“省エネバングード 21”の“資源エネルギー庁長官賞”を受賞するなど、省エネルギー技術力としては業界のトップクラスに位置している⁽¹⁾。ただし前述のように改正省エネルギー法における目標値は要求としてはかなり高いものであり、今後の性能向上に当っては系統的な開発が求められる。

今回当社における省エネルギー・高効率化技術を各コンポーネント、システムについて現在までの開発経緯を踏まえ整理し、今後期待できる改善項目も交え高性能化推進のための解析を行った。

2. 各コンポーネントの改良

2.1 圧縮機の高効率化

図 1 に代表的な HFC 410 A 用スクロール圧縮機を示す。当社スクロール圧縮機は吐出経路を短縮して立ち上り性能を向上するダイレクトディスチャージ方式を採用しているが、高効率化のために様々な新技術を投入している。

スクロール圧縮機は互いのスクロールをいかに精度良く押付けられるかが性能改善の重要ポイントとなる。本スクロール圧縮機は固定スクロールをバネで支持し、吐出圧力の一部を固定スクロールの背面に与えることにより、常に安定した旋回スクロールの押付け力を得る固定スクロールフローティング構造を採用している。さらに、過大に押付けることなく漏れによる損失を最小とするため、“ダブルドライブ背圧方式”を開発した。その他高効率化の

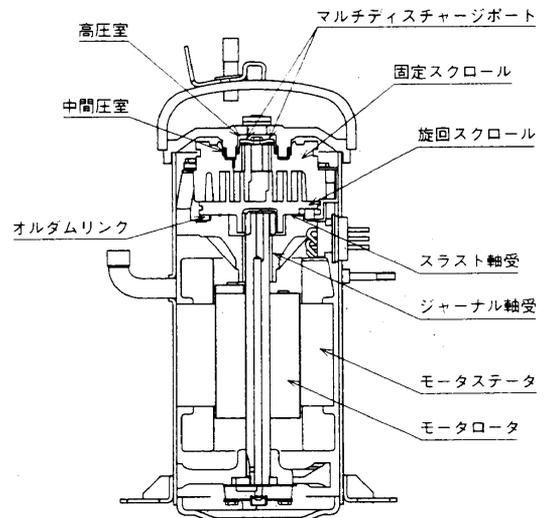


図 1 高効率スクロール圧縮機の構造 スクロールを新規設計し高効率化を達成した。
Structure of scroll compressor

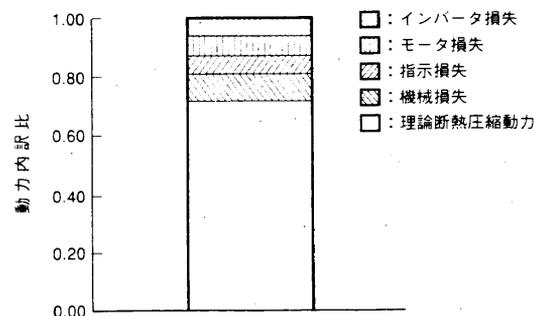


図 2 動力に占める損失の内訳 各部損失を定量把握し損失低減を図った。
Loss analysis

ために“マルチディスチャージ方式”等を開発して製品性能の向上に貢献してきた⁽²⁾。

図 2 に示すように圧縮機の損失には主に“機械損失”、“指示損

*1 技術部ルームエアコン設計課

*4 名古屋研究所制御システム研究室

*2 技術部圧縮機設計課

*3 名古屋研究所機械物理研究室主査

失”，“モータ損失”があり，これらに理論断熱圧縮動力が加わって圧縮機所要動力が構成されている。

2.1.1 機械損失

各損失中最も大きいものであり，中でもスクロールを押付ける際に生ずるスラスト力に起因する軸受の損失が一番大きい。低減に最も効果的なのは当然スラスト力低減であり，スクロール外径の小型化が有効な手段となる。

2.1.2 指示損失

圧縮の際の漏れ，過大圧縮，吸入過熱等により生ずる損失であり，圧縮機の設計仕様によって大きく違いが出る。低減に有効なのはスラスト方向のシール面（シール線長）の低減であり，機械損失低減と同様，スクロール外径の小型化が有効な手段となる。ただし，同等吸入容積におけるスクロール外径の小型化は必然的にスクロール高さのアップが条件となる。過大圧縮はマルチディスクチャージ等の付加技術により改善されるが中間能力に代表されるユニット期間消費電力量に直接影響を与えるため，今後も重点的な改善を行っていく。また吸入経路，吐出経路の圧力損失も損失の一部に含まれる。

2.1.3 モータ損失

基本的には鉄損と銅損とに分けられ，鉄損は磁束密度，励磁周波数，板厚などに依存し，積層板の薄肉化や鋼板組織の変更による渦電流損失・ヒステリシス損失の低減と，回転子磁石・固定子スロット等の形状見直しによる磁束密度分布の最適化を行っている。銅損はモータ電流と巻線抵抗に依存し，磁石の磁力向上及び固定子巻線の巻数増加によるモータ電流の低減や，巻線の高密度実装化が有効である。特に定格運転点では銅損の割合が大きいため，スロット間の渡り線削減などの巻線方式変更による効率改善を行っていく。

2.2 インバータの高効率化

図3にインバータ駆動システムの一例を示す。

インバータは商用電源を直流に変換するコンバータ部と再び3相交流に変換するインバータ部から構成されており，コンバータ部では，リレーを用いて低速時は1倍圧，中高速時は2倍圧の整流回路に切替えるとともに，モータ電圧が不足する際には図3の破線部回路の昇圧作用を利用して直流電圧を可変制御する装置である。商用電源から3相の疑似交流波形の変換過程で各種損失を伴い，主な損失としては“インバータ素子損失”，“リアクタ損失”，“コンバータ損失”等がある。

インバータ素子損失は要因として最も大きく，素子のスイッチング損失・オン抵抗損失が支配的である。従来はトランジスタ素子であったが，当社では数kHzのキャリア周波数に合せたIGBT素子を採用し，高速化によるスイッチング損失の低減と低オン抵

抗化によるオン抵抗損失の低減を図っている。リアクタ損失はシステムの力率改善に必要なリアクタにより消費されるものであり，コア材の低鉄損化や高透磁率化，コイルの低抵抗化等で改善される。コンバータ損失は商用電源を整流する際のダイオードのオン抵抗損失と，昇圧回路（いわゆるPAM制御部）のスイッチング素子で発生する損失で，昇圧比が高すぎると損失が大となる傾向にある。

インバータの損失低減は，素子損失の低減のほか，モータを高電圧仕様化することによるモータ電流の低減が効果的である。またインバータ効率も，PWM（パルス幅変調）制御が必要となる低回転数では悪化する傾向にあり，定格運転点では現状より高回転数化が改善方向になり，モータ効率についても同様な方向にある。さらにインバータの改良ではモータ効率の改善を目的としたものも多く，今後は通電角の拡大や駆動波形の改善により高調波成分を少なくしてモータ損失低減に寄与する技術開発が重要になってくると考えられる。

このように，モータの運転範囲，コンバータの昇圧範囲及びモータの電圧仕様を考慮し，これらを一体とした性能改善を行っていく。

2.3 熱交換器の高性能化

冷媒の持つ熱エネルギーを空気側に伝える重要コンポーネントであり，システムの中での位置付けは高い。ルームエアコンの場合冷房，暖房の違いにより熱交換器は凝縮器，蒸発器双方での高性能化を要求されるが，中でも凝縮器は熱抵抗の割合が大きい空気側，蒸発器は冷媒側の高性能化が特に要求される。

ルームエアコン用としては広くフィン&チューブ式が採用されており冷媒側熱伝達率（ α_r ）向上，制限冷媒量下での有効長増大のためにパイプの細径化が進んでいる。またフィン形状については空気側熱伝達率（ α_a ）を改善するためフィン表面に各種のスリット，ルーバ等が起されている。当社は平成2年より業界に先駆けて $\phi 6.35$ 細径パイプを室内用として採用し，フィンについてもルーバ，新スリットと目的に応じたものを開発してきた⁽⁹⁾。

今回，室内熱交換器性能向上の一環として空気側圧力損失を一定とした場合のパイプ径，熱交換器の段ピッチをパラメータとした熱交換器性能解析を行った。図4に結果を示す。パイプ径については $\phi 6 \sim 6.35$ 付近に性能の極大値を持つ。段ピッチについてはパイプ間の最小流路幅が空気側圧力損失に対して影響が大きいため，段ピッチ拡大による圧力損失低減に伴い，一定圧力損失ではフィン枚数増大となる。このため伝熱面積増大及びフィン前縁効果の増大により，特に凝縮側で性能改善効果が高い。本試算は

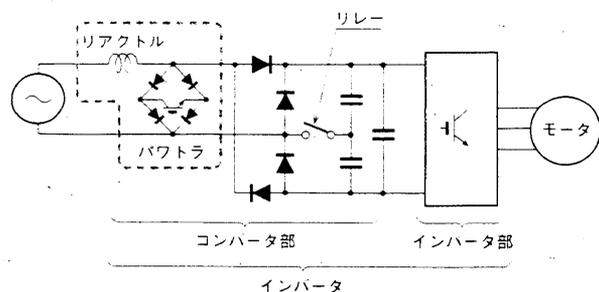


図3 インバータの構成
Electrical diagram of inverter

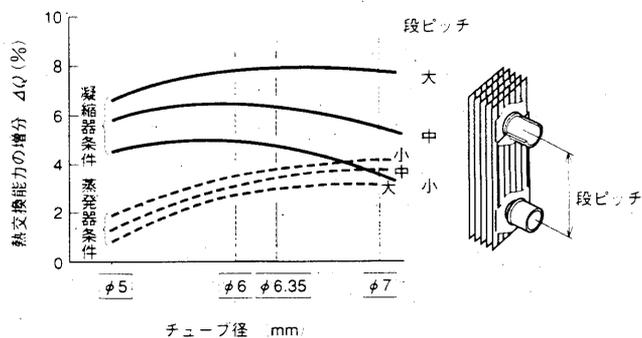


図4 熱交換器単体性能 パイプ径は $\phi 6 \sim 6.35$ に極大点を持ち，凝縮性能は段ピッチ大，蒸発性能は段ピッチ小が改善の方向である。
Performance of heat exchanger

ユニット使用条件をすべて網羅しているわけではないが、解析と実験を併用しより高い熱交換性能を目指す。

室外熱交換器については着霜時の性能確保のため、スリットを持たないプレートフィンが主流となっている。凝縮性能に対してはプレートフィンが劣るため、今後着霜性能を維持しながら空気側熱伝達率を向上させていく方向に重点を置いた研究を行う。また近年高性能化のため室外機が大型化となる傾向となっており、これによる配管有効長増大に対処するための細径化（必要冷媒量の削減）も重要課題である。

2.4 低騒音化

ユニット性能改善の基本は圧縮仕事の減少であり、吐出圧力飽和温度は低く、吸入圧力飽和温度は高くする必要がある。この要求は熱交換器の改良と風量の増大により実現できるが、これに伴う騒音増大に対し送風音の低騒音化を考える必要がある。

2.4.1 室内機

壁掛形エアコンはほとんどの場合タンゼンシャル（又は横流式）ファンを採用している。これは流れが二次元的であり低静圧で大風量が得られるためであるが、同一翼に対し流れがいったん流入して再び出るというプロセスを持つため、効率面ではさほど良くなくファン静圧効率としては20%前後である。最近の傾向としてはユニットの上面から背面にかけても熱交換器が形成される“ラムダ”形配置により吸込み側の流れが変化し、従来とは異なったファン設計が要求され、また発生騒音の傾向も異なるため、レイアウトを含めたきめ細かい検討が必要である。従来、内部流れを予測する際、熱交換器は多孔体でモデル化をしていたが、熱交換器後流の特性の把握も必要となるためパイプをモデル化した解析が必要となる。その解析例を図5に示す。この解析によって熱交換器内部の流れが明確となり、熱交換性能を最大にするレイアウトやnZ音に関係する熱交換器パイプにおける後流の挙動が把握できるようになる。タンゼンシャルファンの場合、ユニットレイアウトにおいて低静圧・大風量という方向性で改善を行ってきたが比騒音、ファン効率等の点では風量は少ない方が良く、今後は熱交換器としてはやや圧損を加え高性能化してファンを高静圧タイプとし、積極的な流れのはく離抑制等も反映の上低騒音化していく。

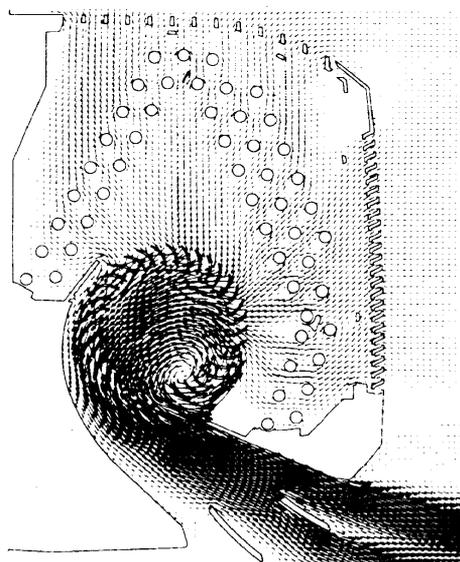


図5 室内機流動解析 熱交換器内の斜めの流れも解析でき、より細かな分析が可能となった。
Air flow analysis of inside unit

2.4.2 室外機

当社プロペラファンの効率特性は業界トップレベルにあり、低騒音化のために翼型化、翼負圧面の乱れ制御用リブレット、翼後縁部乱れ抑制用のこ歯状凹凸（セレーション）等の開発を実施してきた⁽⁵⁾⁽⁶⁾⁽⁷⁾。当社現行ファンは、CFD（数値流動解析）⁽⁸⁾、LDV（レーザドップラー流速計）⁽⁵⁾を駆使して翼面上でのほく離はほとんどないところまで詰められているが、今後の課題としてはボス部での半径方向の流れ抑制、チップ部での翼端渦の抑制等がある。また熱交換器面積増大に対してファンの大径化は、騒音低減のみでなく風速分布改善からも有効である。

ファンを実際のユニットに搭載した場合、機械室や電装箱等によりファン吸込み流れには偏流が発生するため、それによる空力性能の低下や騒音の悪化が起こる。今後、更にユニットの改善を図るために吸込み偏流下でベストマッチしたプロペラファンを開発する手法を確立する。

3. ユニット性能向上

ユニットの所要動力は図6に示すように分類される。最も要因として大きいのは圧縮機入力である。ユニット運転点により定まる理論COPを圧縮機COPで割ったものが全断熱圧縮効率 η_{all} として表され、圧縮機の総合的なポテンシャルとして評価される。インバータ1次（入口）COPとインバータ2次（出口）COPとの比がインバータ効率として評価され、関連して η_{all} もインバータ1次 η_{all1} とインバータ2次 η_{all2} の2通りの評価法があるが、システムとしてはインバータ1次 η_{all1} を基準としている。

ファンモータ動力については風量により定まる理論動力をファン効率で割ったものが軸出力、軸出力をファンモータ動力で割ったものがモータ効率となる。通常ファンモータ特性より負荷点でのファンモータ効率が算出できるため、風量、静圧が特定できればファン効率は評価できる。

その他入力、渡り配管（JISによる計測では5 m）の長さ分の配線電圧降下によるロス、電源リレー、コントロール電源部のロス、四方切替弁コイル用電力等を総合したものである。近年、四方切替弁コイルに磁石を利用して切替時のみ電力供給すれば良いタイプのものも商品化されており、改善内容は細部にまでわたっている。

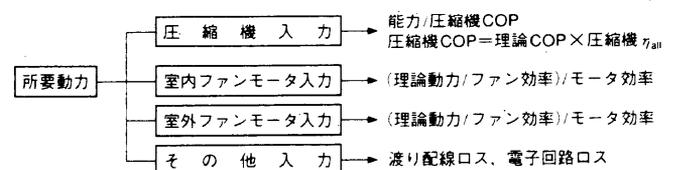


図6 ルームエアコン所要動力の要因 改善に対し寄与度が高いのは理論COPと η_{all} の向上である。

Electric power sources of room air conditioner

3.1 各コンポーネントとの関係

ユニット性能改善の基本は2.3節でも述べたように圧縮仕事の減少であり、熱交換器を代表とする主要コンポーネントの仕様が決定されている場合、ユニットとしては熱交換器の容量アップを行い、風量をアップする。コンポーネント仕様が動かせない場合、理論COPを向上させる手段としてはこれが基本となる。理論COPは凝縮温度（CT）、蒸発温度（ET）、過冷却度（SC）、過熱度（SH）の4点が定まると冷媒種類に応じて一義的に算出され、最

表1 冷媒分配と運転点の実験結果

Experimental of refrigerant distribution and running point

条 件	集合部前温度		凝縮温度 DST (°C)	蒸発温度 CSST (°C)	過冷却度 SC (deg)	過熱度 SH (deg)	理論 COP
	1 (°C)	2 (°C)					
冷房 A	17	14.7	45.1	11.8	7.4	6.1	7.45
冷房 B	20.8	19.8	44.6	12.1	7	5.8	7.65
暖房 A	39.1	34.5	43.1	-0.2	13	1	5.58
暖房 B	33.2	33.8	42.2	-0.1	17	1.5	5.91

も影響度が高いのは CT である⁽⁴⁾。

式(1), (2)は凝縮能力と CT 等の値との関係を表すものである。

$$Q_c = C_{min} \cdot \epsilon (CT - t) \quad (1)$$

$$\epsilon = 1 - e^{-NTU} \quad (2)$$

ただし、

Q_c : 凝縮能力

C_{min} : 空気の熱容量

ϵ : 熱交換器有効さ

CT : 凝縮温度 (システム評価時は DST)

t : 入口空気乾球温度

e : 自然対数の底

NTU : 移動単位係数

熱交換器容量アップにより同等騒音レベルで風量を上げることができると凝縮温度が低下して理論 COP 向上に貢献する。蒸発側も式は異なるが基本的に熱交換器容量アップ及び風量アップは蒸発温度が上昇し理論 COP 向上となる。

また冷媒の適正配分も性能に大きな影響を与える。表1に室内機における凝縮側及び蒸発側での冷媒分配アンバランスと理論 COP の関係を示す。ただしアンバランスは熱交換器各サーキットの集合部手前における配管の温度差で判断した。

暖房時凝縮側においてはアンバランスにより片サーキットの2相域に支配されて過冷却度が少なくなり、エンタルピー差が減少することによって理論 COP が悪化する。冷房時蒸発側はアンバランスにより蒸発器出口の状態が液戻りのサーキットに支配されて蒸発温度が高くならず、理論 COP が悪化する。

3.2 運転点の割付け

前述のようにコンポーネント仕様固定済みの場合でもユニット側で理論 COP を向上させる打手を講ずることはできるが、理論 COP 向上はすなわち圧力比の低下であるため、2.1節の機械損失、指示損失低減のためのスクロール外径小型化及びスクロール高さアップと仕様改善の方向が一致する。よって、ユニット開発側としては開発製品の最終運転点を予測、割付けした上で圧縮機に対し要求を出す必要があり、この点でいえば予測技術の充実が重要な課題となる。また、設計圧力の低下は高圧側の限界、定格回転数にも影響を与えるため、保護制御面でのサポート、暖房側能力確保検討等多面的な配慮を行う。

3.3 製品化

以上に述べた技術開発の方向性に沿って開発した事例を紹介する。

平成11年10月発売のSRK 28 BSV 開発においては開発当初の段階で室内、室外機の設定諸元に基づいた運転点予測を行い圧縮

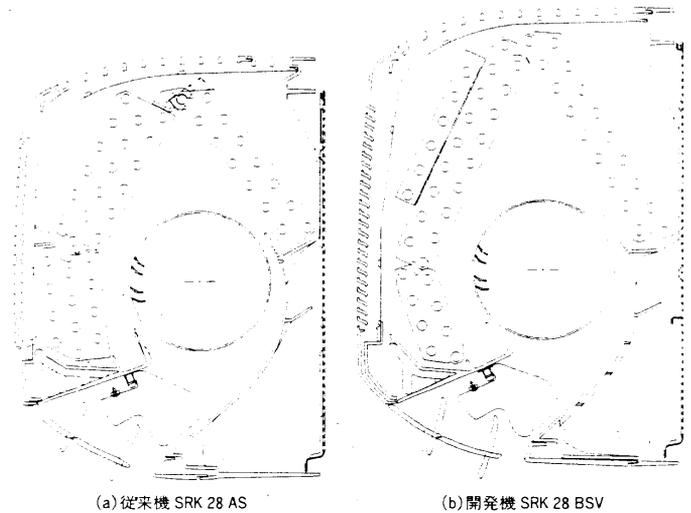


図7 室内ユニット断面 熱交換器の段数を増やし、風速の速い部分に1列の過冷却熱交換器を配置した。
Sectional plan of inside unit

機設計側と性能要求値、設定運転点、高圧側限界、使用回転数域等について解析し、開発に着手した。圧縮機側は運転点に基づき新プロファイルを設計、加工精度向上も含め、各部損失低減を実施し、新圧縮機に反映した。

ユニット側は、設定諸元に基づき室内機各部品レイアウトを流動解析により決定。送風系については再循環渦に着目してスタビライザ形状を見直し、空力性能を改善した。図7に本開発の室内機を示す。

4. ま と め

今回、性能改善の仕様方向性をほぼ明確にした。現在までの開発の積重ねを考えると、今後各コンポーネントの性能改善について飛躍的なものは期待できないが、細部集約の結果生み出される運転点をフィードバックして目標運転点とする方法は効果が高く、今後も有効な性能改善手法として発展させていきたい。

参 考 文 献

- (1) 鈴木ほか、HCFC-22 代替冷媒対応空調機の開発、三菱重工技報 Vol.35 No.2 (1998) p.82
- (2) 鶴飼ほか、代替冷媒対応ルームエアコン用スクロール圧縮機の開発、三菱重工技報 Vol.35 No.2 (1998) p.88
- (3) 谷口ほか、空調機の流動解析技術による高性能化、三菱重工技報 Vol.35 No.2 (1998) p.100
- (4) National Institute of Standards and Technology (NIST), Thermodynamic Properties of Refrigerants and Refrigerant Mixtures Database (REFPROP) Version 4.01 (1996)
- (5) 近藤ほか、空調用プロペラファンの騒音低減、三菱重工技報 Vol.27 No.3 (1990) p.100
- (6) 小島ほか、省エネ形ルームエアコンの開発、三菱重工技報 Vol.33 No.2 (1996) p.100
- (7) 近藤ほか、カーエアコン用薄形コンデンサファンの開発、三菱重工技報 Vol.33 No.2 (1996)
- (8) 近藤ほか、内部流動解析による空調用プロペラファンの低騒音化、三菱重工技報 Vol.31 No.5 (1994) p.100