

特集 スクロールコンプレッサの開発*

Development of Scroll Type Compressor

永作英一 横山雅人 久永 滋 竹本 剛
 Eiichi NAGASAKU Masato YOKOYAMA Shigeru HISANAGA Tsuyoshi TAKEMOTO

The new scroll type compressor for automotive air-conditioning applications has been developed. This technology has been achieved by enhancing features of the current scroll type compressor, that is improving our own technology and adding the newly high efficiency mechanism.

As a result, this has achieved various superior characteristics such as smaller size, higher efficiency and more power-saving, etc.

This paper reports the mechanism and characteristics of new scroll type compressor.

Key words : Compressor, Air-Conditioning, Fuel Economy, lubrication, Scroll Type, Oil Separator, Power-saving

インプレッサの構造・機能・特性について報告する。

1. まえがき

近年地球環境保護の観点から世界的な規模でさまざまな活動が行われている。自動車業界においても、とりわけ自動車の排出ガスに含まれるCO₂, HC, NO_xの削減が強く叫ばれ、エンジンの直噴化等に代表される燃費改善努力や代替燃料を用いたハイブリッドカー(HEV)・電気自動車(EV)の開発等さまざまな努力が進められている。一方、ユーザーの多様化に対し、安全性・快適性をキーワードにした商品開発も激化している。

このような状況下、自動車の快適性を支えるカーエアコンに対しても省動力化・小型軽量化のニーズはますます強くなっている。我々はこのニーズにこたえるためカーエアコンの心臓部ともいえるコンプレッサ(Fig.1)を新規に開発し市場ニーズである省動力(高効率)・小型軽量化を進めてきた。その結果独自の機構を数多く取り入れ、簡素な構造を追求したスクロールコンプレッサを開発し、1996年から順次市場に送り出している。

本報では、この独自技術を取り入れたスクロールコ

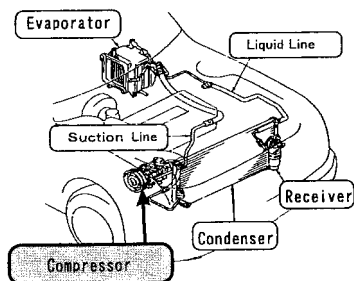


Fig.1 Automotive air-conditioning applications

2. スクロールコンプレッサの特徴

2.1 圧縮特性

スクロールコンプレッサは独特の圧縮原理を持っており、他の機種にはないいろいろな特徴がある。中でもその独特な圧縮原理から“効率の良さ”、“低騒音・低振動”が代表的な特長として挙げられる。その圧縮原理は、Fig.2に示すとおりである。他方式のコンプレッサが1回転以下で吸入・圧縮・吐出を完了するのに対して、スクロールコンプレッサでは約2~3回転かけて2つの渦巻きで形成された三日月状の部屋の容積を変えながら、ゆっくり吸入・圧縮・吐出を行う。

2.2 構造

スクロールコンプレッサは、旋回スクロールの公転

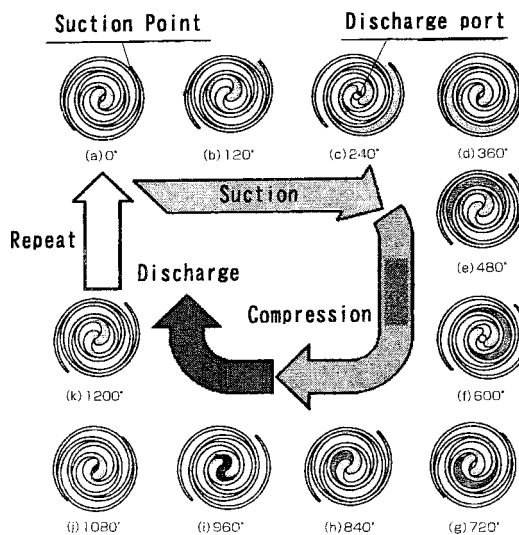


Fig.2 Compression mechanism of scroll type

運動により冷媒を圧縮する。しかし運転中圧縮反力により旋回スクロール中心まわりに自転力が働く。旋回スクロールが自転すると、固定スクロールとの間に隙間が生じ、シール不良を招くことになるため、自転防止機構が必要となる。従来この自転防止機構としてボールカップリング式およびオルダムリング式が採用されているが、これらは、部品点数の増大や構造自体が大きくなる欠点を有していた。そこで我々は、Fig.3に示すように4組のピンとリングの組み合わせだけの大変簡素な構成で、旋回スクロールの自転を防止できる独自構造を採用することとした¹⁾。

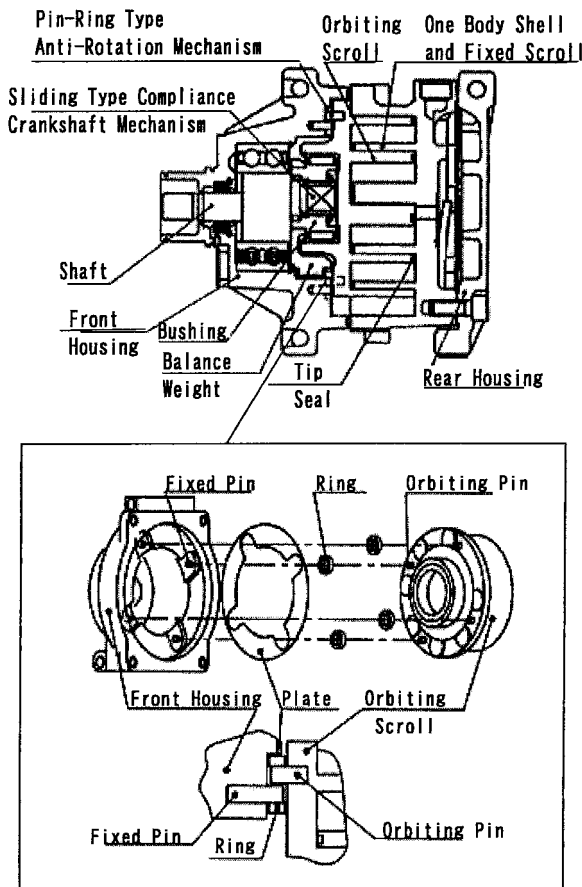


Fig.3 Pin-ring type anti-rotation mechanism

本ピン - リング式自転防止機構の構成と作動をFig.4を用いて説明する。

ピンをフロントハウジング、旋回スクロール双方に圧入し固定する。旋回スクロールに圧入された旋回側ピンは、フロントハウジングに圧入された固定側ピンまわりに公転運動する。

ピンを拘束するために2本のピンを連結するリングを構成する。リングは旋回側ピンが公転する間、ピンの外周上を転がりながら自転と共に公転運動をする。

Fig.4に1組のピンとリングの挙動を示す。図中の白矢印は 旋回スクロールに働く自転力の方向を示す。ここでリングがピンの動きを規制(自転防止)する範囲は0°~180°の間だけで、180°~360°の間はピン同士が近づく方向であり、リングには自転防止能力はない。全公転角度にて自転防止をするためには、ピン - リングの組み合わせは3組以上必要であり、我々は、ピン - リングの組み合わせを4組とした。なお、旋回スクロールに働くスラスト力は、旋回スクロールの端板背面(旋回側ピンの圧入されている平面部)とフロントハウジング側のプレートで摺動、支持させることとした。

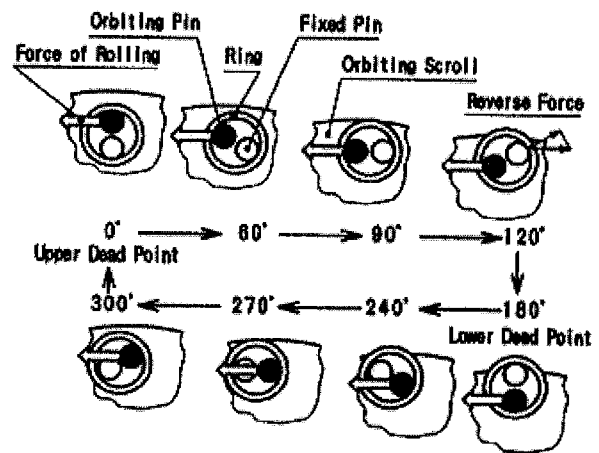


Fig.4 Movement of pin and ring

3. 省動力化(高効率化)技術

高効率化に当たっては、コンプレッサの単体性能向上とエアコンサイクルの効率向上両面から技術検討を行った。以下に代表的な採用機構を述べる。

- ・コンプレッサ単体性能向上のため機械力による内部漏れ損失の低減(スライド式公転半径可変機構)
- ・形状からの内部漏れ損失の低減(渦巻き形状の最適化)
- ・エアコンサイクルからの効率向上(オイルセパレータ内蔵)

3.1 コンプレッサ単体性能向上

(1) 機械力による内部漏れ損失の低減(スライド式公転半径可変機構)

通常スクロールコンプレッサにおいては、旋回・固定両スクロール間のシールを確実にするために、公転半径可変機構を用いている。

我々は、この公転半径可変機構をFig.5のようにシャフトにキーを設け、プッシュをそのキーに沿ってスライドさせて公転半径を可変とする極めて簡素な構成で

実現した。

シャフトは旋回スクロールに駆動力を伝え、公転運動させるのが本来の役目であるが、前述した公転半径を可変とする機構を持たせるために、シャフトとブシュを二分割し、シャフトには駆動力を伝えるキーを突設させる。そのキーはシャフト回転方向とは逆側に、角度だけ傾かせる。このキーにブシュに設けた溝を係合させる。(Fig.5)

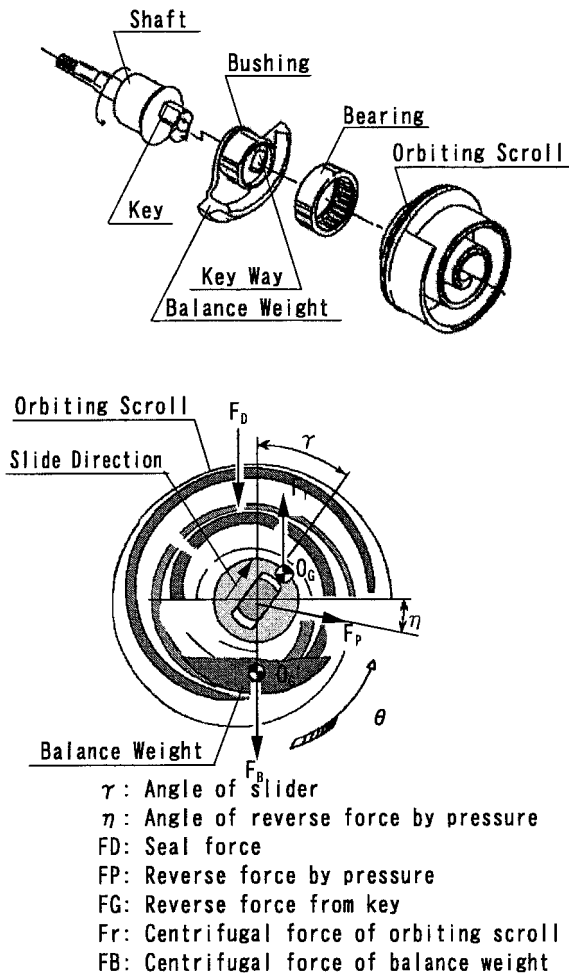


Fig.5 Sliding type compliance crankshaft mechanism

シャフトが回転するとブシュはキーによりシャフトと共に回転し旋回スクロールを公転させる。この時ブシュには公転方向とはほぼ逆向きに、正確には公転軌跡の接線に対し角度()をもつ圧縮反力 $F_r(\alpha)$ が働く。ここで、 α はシャフト回転角度を示し、 $F_r(\alpha)$ はシャフト回転角度の関数であることを意味する。ブシュと係合するキーは、反対方向に傾いているため圧縮反力はFig.5で上向きの成分

$$F_r(\alpha) \sin[\alpha - (\text{傾き})] / \cos$$

を生じる。この上向き成分はブシュ中心をシャフト

中心から離そう(公転半径を大きくしよう)とする力であり、ブシュは上方にスライドし、旋回スクロールが固定スクロールと接触するまで公転半径を常に大きくしながら(スクロール形状誤差を補償しながら)公転運動させる。これによって、スクロール形状に誤差があっても旋回・固定両スクロール間のシールを確実なものとする。このように圧縮反力の大きさに比例するようにシール力を得ることにより内部漏れを機械力によって低減することができる。このブシュがスライドして公転半径を調整する独自構造をスライド式公転半径可変機構と呼んでいる。

(2) 形状からの内部漏れ損失の低減(渦巻き形状の最適化)

通常スクロールコンプレッサにおいては液冷媒圧縮時の過大なトルクにより発生するマグネットクラッチの滑り現象を回避するため、スクロール中心部が噛み合う状態において液逃がし隙間を設け中心部の異常高圧の発生を抑えている。

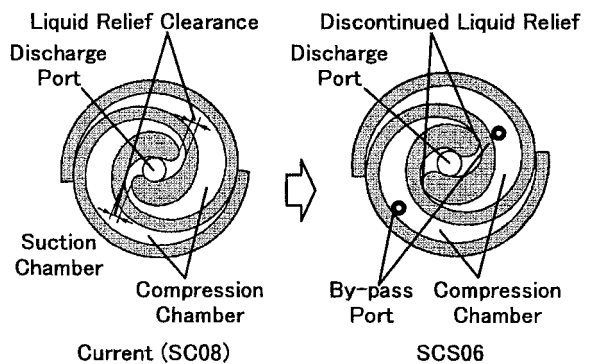


Fig.6 Clearance gap of scroll-center

その方法はFig.6に示すようにスクロール中心部に設けたこの隙間から液冷媒を吐出ポートへ排出する方法を採っている。このため通常の運転条件においては、この部位を通し高圧冷媒が低圧側へ内部漏れすることによる再圧縮損失により動力損失を生じる結果となっていた。我々は、この動力損失を低減するため、液逃がしポートを配置することで中心部隙間を必要最小限にした。これにより圧縮工程での漏れ損失の大幅低減が可能となり単体効率向上が図られた。

(3) 吸入冷媒ガスの損失低減(ペリフェラル方式)

通常吸入孔はコンプレッサの機種によりさまざまな位置に設定されているが、いずれの吸入方式も冷媒ガスを吸入室へ直接送り込むわけではなく、駆動機構部を冷却、潤滑しながら吸入室へ導入している。(Fig.7)

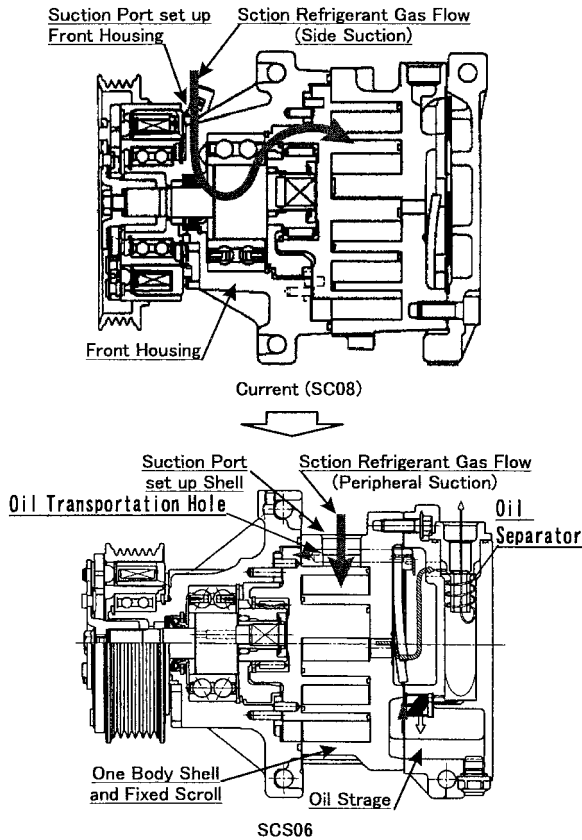


Fig.7 Comparison of suction form

このため吸入室へ送り込まれる冷媒は、駆動機構部を通る間に圧力損失と過熱による大幅な温度上昇を生じ吸入効率(体積効率)を大きく低下させていることがわかった。(Fig.8)

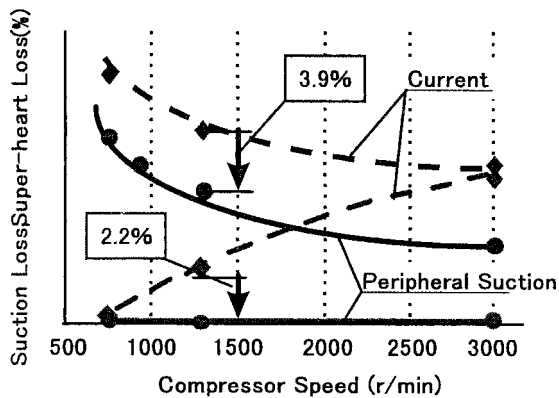


Fig.8 Comparison of suction loss and super-heat loss

そこで我々は、シェルと固定スクロールが一体構造となっているためシェルに吸入室が形成できるという独自構造を利用し、吸入冷媒を直接吸入室へ導入するペリフェラル吸入方式を採用することで吸入効率低下

を防止することとした²⁾。この結果通路抵抗による圧力損失および駆動機構の発熱による吸入冷媒の過熱損失を大幅に低減でき、吸入効率(体積効率)の向上が可能となった。(Fig.8)

3.2 エアコンサイクルの効率向上

3.1項にてコンプレッサの単体性能向上について述べてきた。次に我々は、遠心分離式小型オイルセパレータを内蔵することで、システム内のオイル循環率を低減させ、エアコンシステムの効率向上を図ることとした。通常コンプレッサ内部の潤滑は、コンプレッサから吐出冷媒と共に吐き出され、サイクル内の熱交換器等を循環して吸入冷媒と共に戻されるオイルにより行われている。このオイルは、コンプレッサの潤滑にとっては必要不可欠であるものの、エアコンシステムを構成する熱交換器等にとっては、圧力損失の増大や熱交換効率の低下をもたらす効率低下を生じさせていた。そこで我々は、スクロールの吐出室が一つであり後方に位置している構造に着目し分離能力の高い遠心分離式³⁾⁴⁾小型オイルセパレータを内蔵した。また、オイルセパレータで分離したオイルは貯油室からオイル通路を通し、各摺動部位を潤滑できるようにした(Fig.7)。この結果、エアコン使用全領域において従来品に対しオイルレートを約1/10まで低減できた。(Fig.9)

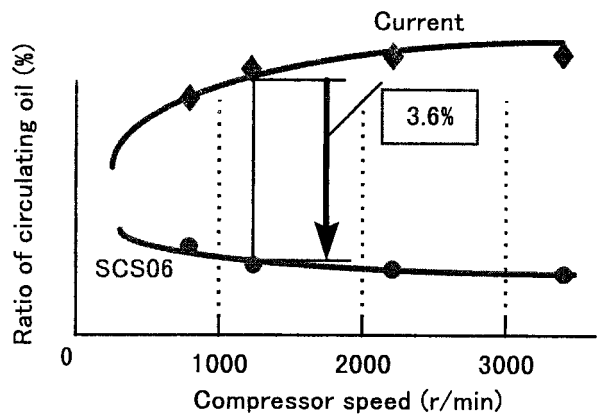


Fig.9 Ratio of circulating oil in A/C system

3.3 評価結果

以上述べてきたように、スクロール型の特長を最大限引き出すべく独自技術の改良と新技術を採用することにより非常に高い効率特性を達成した。

(1) コンプレッサの単体効率向上

今回の独自技術採用によりFig.10に示すようにコンプレッサの単体性能は、大幅に向上した。

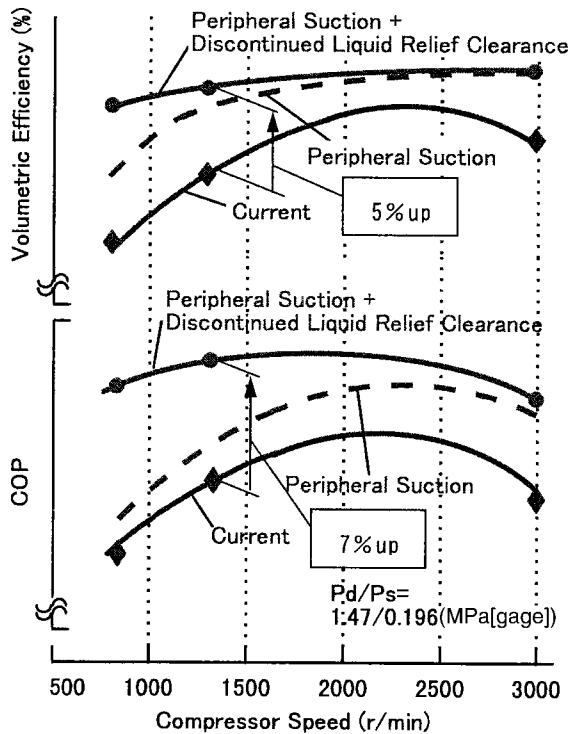


Fig.10 Result of compressor efficiency evaluation

(2) エアコンシステムの効率向上

今回のオイルセパレータの内蔵化技術を冷房能力向上に使用することで5%以上の効率向上が実現できた。また、同一冷房能力での消費動力低減効果に使用すれば、その低減効果は9%以上あることを確認した。

(Fig.11)

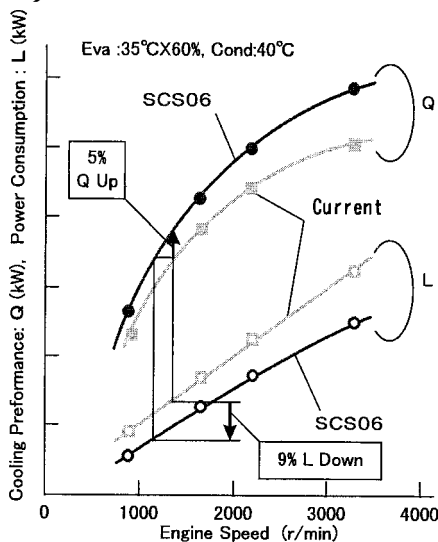


Fig.11 Result of A/C system efficiency evaluation

(3) 実車燃費効果

以上コンプレッサの単体性能およびエアコンシステムでの効率向上の効果を実車燃費（コンパクトカークラス）で比較した結果をFig.12に示す。

真夏の熱負荷を想定した評価において、従来品と比較して燃費増加率が15~35%低減でき、省動力に大きく貢献できることを確認した。

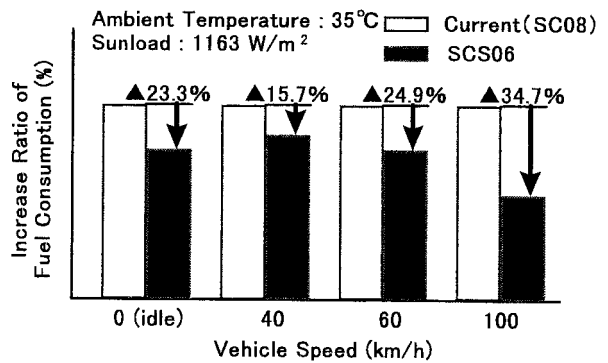


Fig.12 Result of power-saving effect

4. 小型・軽量化への技術

4.1 シェル一体型固定スクロール

固定スクロールは、外殻(シェル)であるハウジングにボルト等の締結手段で固定されるのが通常である。我々は、小型・構造の簡素化を狙い固定スクロールの外周に外殻部を一体形成する「シェル一体型固定スクロール」とした(Fig.13)。更に量産性を実現するため高強度材を用いた高速アルミダイカスト製法⁵⁾を採用した。

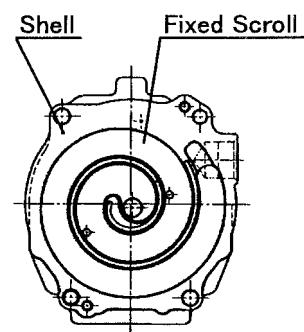


Fig.13 One body shell and fixed scroll

また、コンプレッサの胴径だけでなく車両搭載性を大きく左右する外観上の突出部を低減するため、フロントハウジング-シェル、シェル-リヤハウジングの締結には、リヤハウジング-シェル-フロントハウジングを一体締結するスルーボルト締結方法を採用し

た。(Fig.14参照)

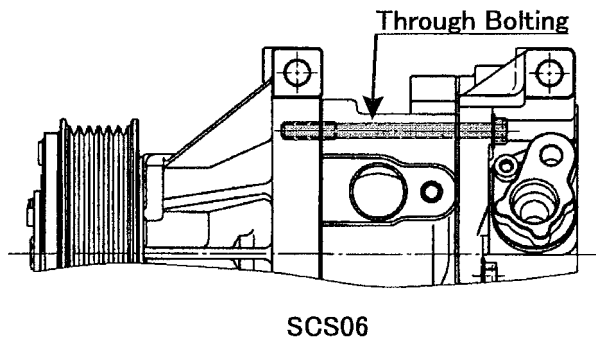


Fig.14 Comparison of bolting joint method

これにより搭載性にかかわる突出部の低減を実現しながら、なおかつ、ボルト回りの肉をリブ代わりとすることで小型・軽量化を図りながらもシェルの高強度化を実現した。また本構造により部品点数の削減および組付工数の短縮も可能となった。

4.2 小容量化

スクロールコンプレッサは、他機種には無い独特の圧縮原理を有するため高効率な特性が得られる。今回、前述の構造を採用することでこの特性を最大限に生かし高効率化を実現した。(Fig.15) その結果、冷房能力を確保しながら従来に対し大幅な小容量化(80 60cm³/rev)が可能となり、小型・軽量化を実現した。(Fig.16)

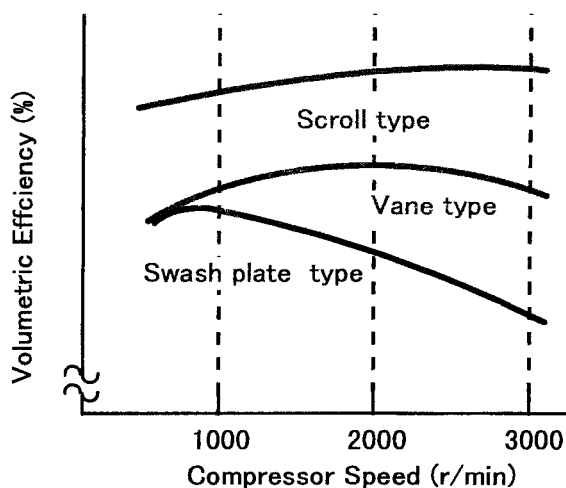


Fig.15 Comparison of volumetric efficiency

5. まとめ

スクロール型圧縮機の特長を最大限に生かすと共に独自技術の採用によりコンパクトカー用小型・高効率スクロールコンプレ

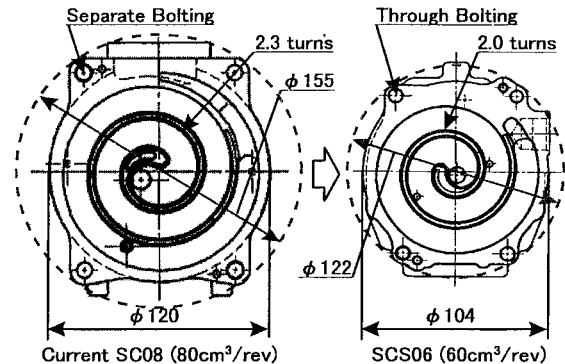


Fig. 16 Comparison of scroll shape

ッサを開発、製品化することができた。

スクロールコンプレッサの持つ特長を更に伸展させ高効率・低騒音・高信頼性の優れた特性を有するSCS06を製品化することができた。

謝 辞

本研究を遂行するにあたり、(株)豊田自動織機製作所コンプレッサ技術部のご協力を頂いたことに感謝致します。

<参考文献>

- 1) 久永 他：“スクロールコンプレッサ(SC08)の開発”，自動車技術会97春季214講演。
- 2) 小川 他：“小型・高性能スクロールコンプレッサSCS06の開発”，自動車技術会99春季52講演。
- 3) 秋山 他：“オイルセパレータ内蔵スクロールコンプレッサSCS08の開発”，自動車技術会98春季151講演。
- 4) 本田 他：“カーエアコン用オイルセーピングシステムの開発”，東海流体熱工学研26講演。
- 5) 高木博己 他：“実体強度250MPaを保証する高速充填ダイカスト技術の開発”デンソーテクニカルレビュー，VOL.3,No.2.

< 著 者 >



永作 英一
(ながさく えいいち)

冷暖房開発2部
カーエアコン用コンプレッサの開発
に従事。



久永 滋
(ひさなが しげる)

冷暖房開発2部
カーエアコン用コンプレッサの開発
に従事。



横山 雅人
(よこやま まさと)

冷暖房開発2部
カーエアコン用コンプレッサの開発
に従事。



竹本 剛
(たけもと つよし)

冷暖房開発2部
カーエアコン用コンプレッサの開発
に従事。