

カーエアコン用スクロール圧縮機の製造技術

Production Technologies Related to Manufacturing
of Scroll Compressor for Automobile Air Conditioner

エアコン製作所 佐橋輝昭*¹ 向井雅敏*²
永井志郎*²
技術本部 井野口和彦*³
中菱エンジニアリング株式会社 大山幸雄*⁴

スクロール圧縮機は、低振動・高効率であることからカーエアコン用としても利用ニーズは高いが、量産車載用としてはコンパクト化・軽量化・低コスト化・品質安定化も併せて実現しなければならない。そのため、量産化に当っては被削性に優れた軽量高強度スクロール素材・高能率かつ高精度渦巻加工技術・潤滑皮膜処理及びばり取り品質の安定化・容易かつ高精度な組立て法等の実現が不可欠であった。これに対し、高圧凝固鑄造法の採用と特殊アルミ地金の開発・ $R-\theta$ 軸制御渦巻体加工法開発・連続処理式潤滑アルマイト法の開発・電解ばり取り法の採用・心出し組立て法等の新規製造技術の開発と新工法の採用を行い、量産化を可能とした。

Scroll type compressors are suitable for use in automobile air conditioning systems because this type of compressor operates with low vibration and high efficiency. Mass production automobile manufacturers also require downsizing, reduced weight, reduced costs and high production capability. And these requests lightweight, tough material is required for scroll parts, high speed, and accurate machining is required to shape the scroll contours, and a stable anodizing and lubricant coating process, reliable deburring, and accurate, simple assembly and also essential. For this purpose MHI has developed several new production techniques and has adopted new manufacturing methods. These include low flow rate, high pressure die casting, special aluminum materials, volute contour creation method using X & C axes ($R-\theta$ method), continuous and non-fully submerged anodizing system, and deburring by electrolyzation.

1. ま え が き

自動車の高性能化に伴い、小型・軽量で高効率な車載エアコン用圧縮機のニーズが高まった。カーエアコンメーカー各社は独自構造の圧縮機の開発、既存の圧縮機の改良を実施し、これにこたえている。

当社では、その対応として早くからスクロール圧縮機の開発と採用を行い、1991年には更なる効率・静粛性アップのために主要機構部の構造変更を含むモデルチェンジも行った。

この新規開発スクロール圧縮機及びモデルチェンジ機の商品化には、設計開発はもちろんのことながら製造面での新技術の導入、

開発も不可欠であった。

本報では、当社でのカーエアコン用スクロール圧縮機の製造における各種新技術の開発、導入状況について述べる。

2. スクロール圧縮機の構成と特徴

スクロール圧縮機 [図1(a)参照] は、その構成を大きく分類すると旋回・固定の両スクロールで構成される圧縮機構部、オルダムリンクによる自転阻止機構部、クランクシャフト及びドライブプッシュによる旋回駆動部、キャパコンブロック等で構成される容量制御部、さらにこれらを組付け保持し密封するケーシング部に区分される。

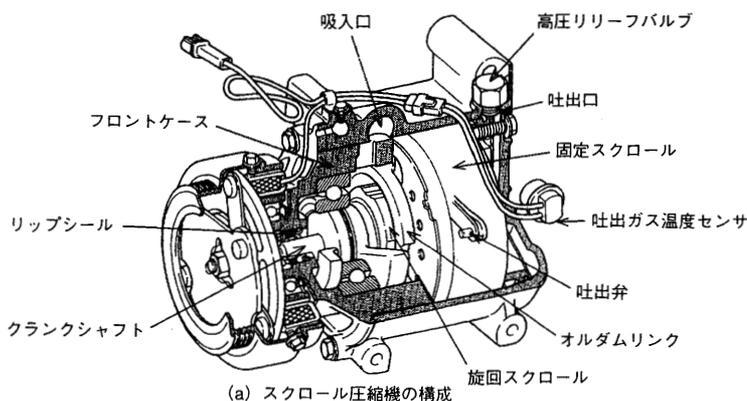
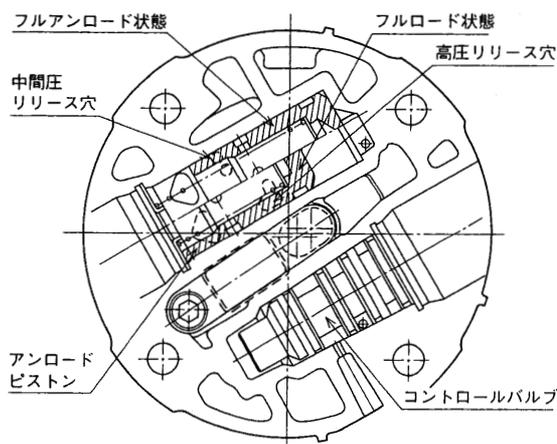


図1 スクロール圧縮機の概要 (a)はスクロール圧縮機の全容と主要構成部品を示す。(b)はスクロール圧縮機の容量制御機構と構成部品を示す。
Outline drawing of scroll compressor



(b) 容量制御機構概念図 (キャパコンブロック)

*1 工作部松阪工作二課長
*2 工作部生産技術課

*3 名古屋研究所材料・強度研究室
*4 枇杷島事業所冷熱技術室主査

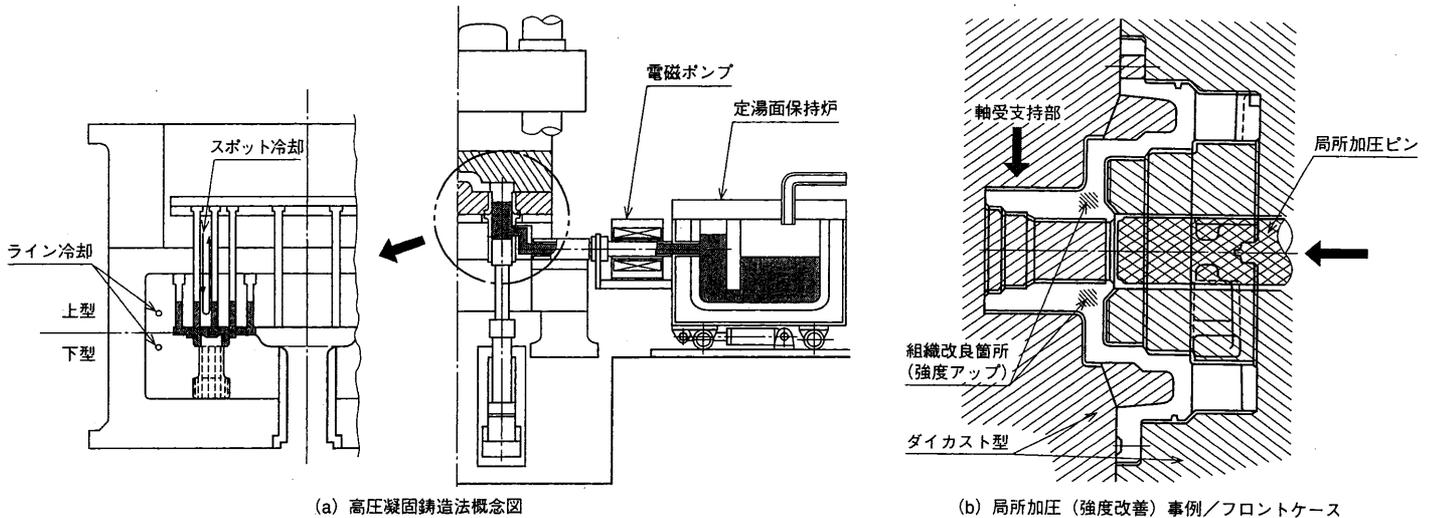


図2 素形材製造技術 (a)はスクロール素形材成形装置の一例により、高圧凝固鑄造工法の概念を示す。(b)は局所加圧法により、ダイカスト素材の強度改善をした事例を示す。
 Concept drawing of low flow rate and high-pressure casting

表1 スクロール用アルミ素形材強度 (T6 処理後)
 Strength of casting material for aluminum scroll (after dissolution treatment : T6)

	σ_b (kgf/mm ²)	$\sigma_{0.2}$ (kgf/mm ²)	δ (%)
M45+高圧凝固鑄造	39.4	31.6	4.0
AC8C+高圧凝固鑄造	33.8	—	1.4
AC8C+重力鑄造	30.7	—	1.0

注) σ_b : 引張強さ $\sigma_{0.2}$: 0.2%耐力 δ : 破断伸び

また、当社のスクロール圧縮機の特徴としては、固定・旋回の両スクロールとも同一材質アルミ材を使用していること、自転阻止機構としてオルダムリンクを使っていること、スラスト軸受を滑り方式（モデルチェンジ前は転がり方式）として転がり軸受特有の騒音を減らしていること、圧縮機構部の気密度を高めるための背圧加圧によるスクロール同士の押付け機構を持たないこと、キャパコンブロック [図1 (b)参照] に設けた多数の交差穴の仕切り位置をフローティングピストンで切替えることで成立つ容量制御機構を有すること、等が挙げられる。次章以降にこれらの特徴のある当社スクロール圧縮機構造を実現するために採用、開発した製造技術について述べる。

3. 部品製造技術

3.1 素形材製造技術

3.1.1 高圧凝固鑄造法とM45アルミ地金

カーエアコン用圧縮機にとって小形・軽量化は最重要課題であり、スクロール圧縮機を採用するためには低比重素材を使用し、かつスクロール部材の渦壁高さを高く（圧縮機外径を小さく）する必要がある。

通常のアルミダイカスト材は廉価で量産性に優れた軽量素材であるが、渦壁高さが高く大きな繰返し応力の加わるスクロール部材には強度不足である。

アルミ製スクロールの開発創始期、他社の多くは高シリコン成分材で強度アップを図ったのに対し、当社は被削性を考慮し独自に開発したM45地金と高圧凝固鑄造法 [図2 (a)参照] の採用で、表1に示す高い引張強さと伸び（疲労強度）を有し、かつ被削性に優れたアルミ製スクロール素材の製造を可能とした。

3.1.2 局所加圧鑄造法

図2 (b)の例に示すように、圧縮機のケーシングは強度部材として働く箇所（軸受やクラッチ等の支持部）のように肉厚を要する部分と密閉空間を形成するだけの部位で軽量化のため極力肉厚を薄くしたい箇所が混在する。

このため一般的なダイカストでは全域にわたる均質な組織を得ることができず、各種の鑄造欠陥を生じ、圧力容器としての十分な気密性や軸受支持材としての十分な強度が得られないことが多い。そこで、溶湯の流動解析や凝固解析を行い、型冷却方式やゲート位置の最適化を図るとともに、漏れにつながる欠陥を生じやすい部分や強度上密度を上げたい箇所については局所加圧法を加えることで大幅な品質改善を実現した。

3.2 R-θ法による渦巻形状加工

スクロールの渦巻形状部は、その輪郭線の総延長が非常に長い上に、圧縮効率を向上させるためには高い輪郭精度を要求されるため、加工の高速化と高精度化を両立させなければならない。そこで、インボリュート曲線ベースのスクロール形状加工においては、高速送り条件下でも工作機の各制御軸の加減速度を低くでき、結果として輪郭精度も高められるR-θ輪郭創成法 (図3参照) を開発した。当工法の採用により、全体的な輪郭精度の向上とともに従来のX-Y輪郭創成法ではどんなに機械精度を向上させても免れることのできない位相角90°ごとのバックラッシュマークを消すことが可能であり、圧縮性能向上・運転音低減に寄与している。

開発当初は、R-θ法のメリットを生かせる高回転主軸と高トル

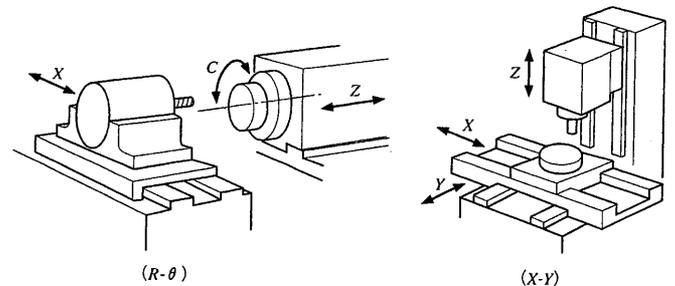


図3 R-θ輪郭創成法とX-Y輪郭創成法 R-θ, X-Y各輪郭創成法を使用した工作方法を示す。
 R-θ method and X-Y method to create contour of scroll

クC軸を有する工作機械が未開発で、当社製のマシニングセンタを高精度高回転仕様化して生産を始めたが、現在は量産機種から順次R-θ工法加工機による生産に切替えている。

また、R-θ法を用いたスクロール加工については、スクロール圧縮機開発初期段階において当社京都精機製作所との共同研究で特許申請している。

3.3 連続処理式潤滑アルマイト法

軽量化のために両スクロールにアルミ素材を採用するに当って、しゅう動し合うスクロールの渦上面と底面には溶着防止及び耐摩耗性付与処理が必要である。そこで当社独自の高品質潤滑アルマイト処理法（アルロン処理：特許）を開発し、従来の潤滑アルマイトでは不可能であった高速運転での良好なしゅう動潤滑性を得て信頼性を向上させた。また、従来の全水没方式のバッチ処理による硬質アルマイトでは陽極電極に多数個付けされたワークピースに対し、以下の項目が問題となっていた。

- ① 処理槽内の温度分布のばらつき→アルマイトの硬度ばらつき
- ② 陰極からの電流密度ばらつき→アルマイト層厚さのばらつき
- ③ 陽極ジグの接点腐食・通電不良→隣接ワークのバーニング（過電流密度となった際に生じる組織の溶け出し）
- ④ マスキング部分への処理液侵入→保護面の酸化・腐食

そこで非全水没型（図4参照）の連続処理装置を開発し、独自の電流制御方式や陰極噴流システムの併用で不良率を大幅に低減させた。さらに、この連続処理装置は全密閉カバーを有し、かつ全処理槽からの雰囲気はダクト吸引されスクラバへ導かれ無害化された後、屋外へ排気されており、作業環境・工場周囲環境に十分な配慮を行なっている。

3.4 焼結体のガス軟窒化法

オルガムリンクには、圧縮作用やスクロールの旋回に伴うモーメントを支持するための十分な強度と高速なしゅう動に対する十分な耐摩耗性が要求される。この要求特性を満たすためには、高い表面硬度と高い靱性を併せ持たねばならない。当社では、その形状特性から生産性を考慮し粉末焼結金属を使用しているが、一般にポーラスな焼結体にガス窒化処理を行うと深部まで硬度が上

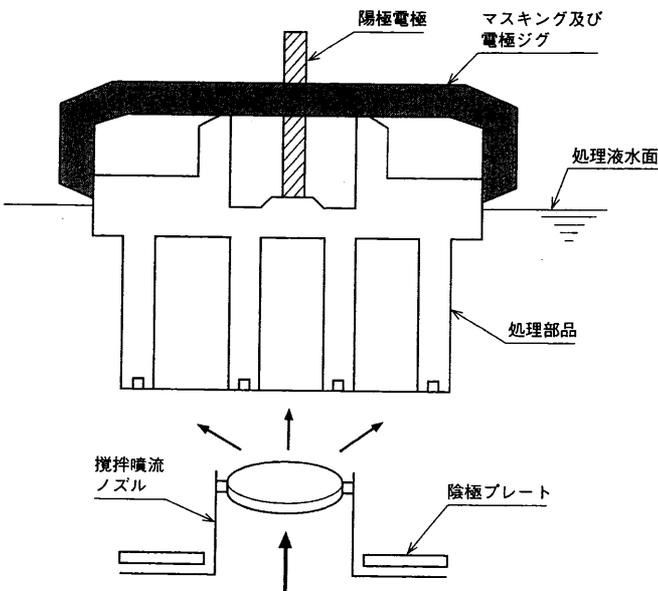


図4 非全水没型アルマイト処理装置概念図 処理物を陽極と共に水没させない新工法概念を示す。 Concept drawing of anodizing system in which processed part doesn't need to be fully submerged

がり、靱性維持が困難である。そこで高密度な成形を行い、さらにコア強度を保ちながら表面硬度のみを向上させるスチーム一室素ガス置換特殊ガス軟窒化法を採用し、要求機能を満足させた。

3.5 精密鍛造による仕上げ加工の削減

ドライブブシュは、クランクシャフトから伝えられた偏心回転運動をスクロールの非自転旋回運動に変換伝達する機能を果たす。当社のスクロール圧縮機の場合、ドライブブシュ（図5参照）の外周は直接ニードルベアリングの転動面となり、内面には対向平面を持つ小判穴を有している。この平行・平面部は旋回スクロールから伝えられる圧縮力の反力によりドライブブシュがクランクシャフトピン部に設けられた平面上を滑り、旋回スクロールを固定スクロールとのシール線方向に押付けるためのスライドガイド面として働く。したがって、一般には機械加工精度のレベルである数十μmの平行・平面度が要求されているが、当社では精密冷間鍛造でこの精度を確保し、機械加工を廃止し（外径は研磨加工を行っている）生産性を向上させた。

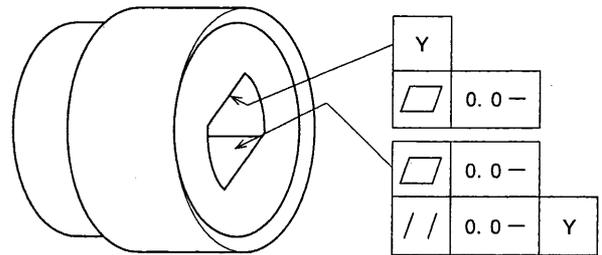


図5 ドライブブシュ平行・平面度（精密鍛造） ドライブブシュに要求される平行・平面度精度を示す。 Parallelism and flatness of drive bush (made by high precision cold forging)

3.6 高深度浸炭

前節で説明したとおり、ドライブブシュの外周面はニードルベアリングの転動面となるため当然十分な表面硬度が要求されるが、当社のスクロール圧縮機はコンパクト化のために高回転仕様で設計されているため、ベアリングには通常よりも深い硬化層（表2参照）が必要とされる。従来、このスペックを充足するためにはベアリング鋼と特殊硬化処理を用いなければならなかったが、SCR 420材レベルの一般材と一般的な浸炭炉を用いて要求レベルの硬化層深さと硬度を得ることのできる高深度浸炭技術を確立し、生産性を向上させた。

表2 高深度浸炭と従来浸炭
Deep range carburizing and usual carburizing

	材 料	有効浸炭深さ (mm)	表面硬度 (HR 30 N)
高深度浸炭	SCR 420	1.2~1.6	75.5以上
従来浸炭	SCM 415	0.5~0.7	75.5以上

3.7 電解ばり取り法

当社のカーエアコン用スクロール圧縮機の容量制御は、コントロールバルブから供給される制御圧によりアンロードピストンがキャパコンブロックに設けられたシリンダに交差開放しているアンロード穴（高圧及び中間圧リリース穴）を適宜開閉することで連続的に行われる [図1(b)参照]。したがって、シリンダと圧力リリース穴との交差部にわずかでもばり・かえりが存在するとア

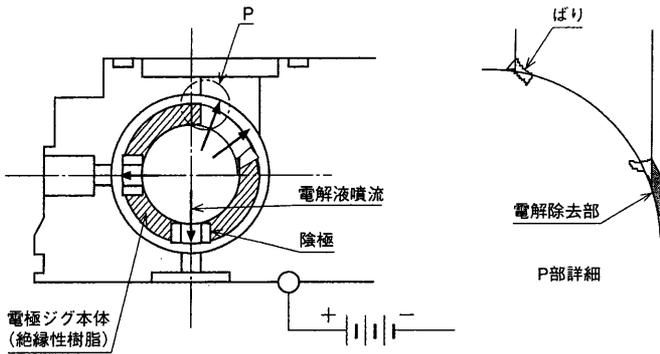


図6 電解ばり取り概念図 電解加工をキャパコンブロックのばり取りに用いた例を示す。
Concept drawing of deburring by electrolyzing

ンロードピストンの動きを阻害し容量制御が不能となる。しかしながらばりの発生部(図6参照)は、ブラシやさらえ工具が有効に使えない形状や位置(シリンダ内面はシール面でもあるため、面粗度を荒らすようなばり取り工法は採用できない)にあり、自動化のネックとなってきた。そこで、図6のような専用の電極ジグを用いた電解加工をばり取りに応用することで、必要最小限の影響(精度劣化)範囲で通常の工法では除去困難なばりを自動で処理することを可能とした。

また、このばり取り工法は、同様に自動化の困難なスクロールの渦巻形状に沿った内凹部のばりの除去にも採用している。

4. 組立て技術(心出し組立て工法)

部品単体精度と並んで、スクロール圧縮機の圧縮性能に大きく影響を与えるのが、両スクロール間の相対位相ずれ量である。位相ずれが大きいと当然圧縮効率が落ちるが、更にあるレベルを超えると渦中央端の干渉で破壊に至る場合もある。そこで当社では次に述べる心出し組立て工法を考案し、両スクロール間の最適位相出しを実現している。

まず、図7(a)①フロントケースに②旋回スクロール及び、その旋回駆動機構部品(③④⑤⑥)と⑦自転阻止機構部品、⑧スラスト軸受部材を組付ける。これにより①フロントケースと②旋回スクロール間では、個々の部品単体精度の積上げ精度の範囲で保証された相対角度が得られる。次に図7(b)の心出し組立てジグの固定スクロール位相決めピンに⑨固定スクロールをセットし(容量制御機構付きの場合はここで⑨キャパコンブロックも組込む)、続いてハウジング位相決めピンに⑩ハウジングをセットした後、ボルトを用いて⑨と⑩を締結する。これにより所定の⑨固定スクロール⑩ハウジング間相対位相が得られる。最後に、先に切組みの完了している①フロントケースと同様に切組みの完了した⑩ハウジングのそれぞれに設けられた位相基準穴に心出しピンを連通した上で両パーツを締結すれば、両スクロールが所定の相対位相にされた状態で組付けを完了できる。

この心出し組立て工法(当社特許)により、ハウジング/固定スクロール間位相決めジグのみで固定・旋回両スクロールの相対

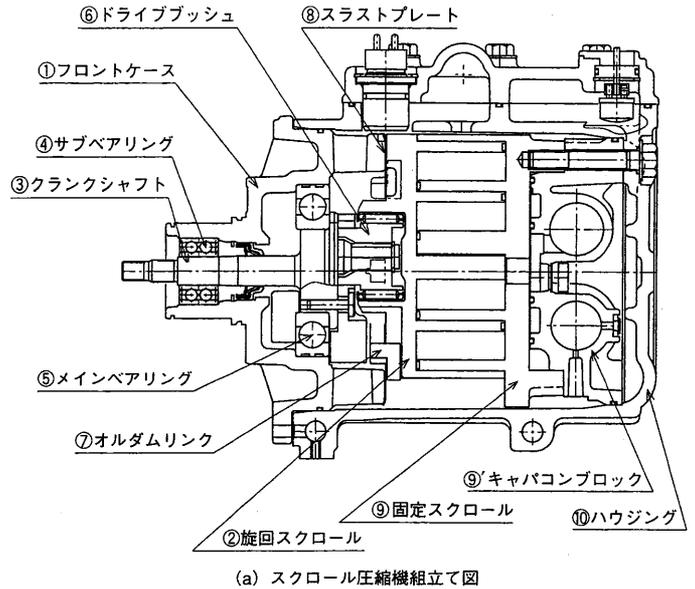


図7 スクロール圧縮機の組立て (a)はスクロール圧縮機の組立て構造の断面を示す。(b)は心出し組立て工法の概念を示す。
Assembling drawing of scroll compressor

位相を容易に決められるほか、心出しに用いた穴を閉そくする必要がないので、モデルチェンジ前に比べ大幅な部品点数削減・組立工数低減ができた。

5. む す び

以上に述べた製造技術の幾つかは、当社カーエアコン用スクロール圧縮機の製品化のために研究所や他事業所の協力を得て新規開発したものであり、幾つかは既存の技術の応用ではあるが、これらの技術を確立することにより、当社の特徴あるカーエアコン用スクロール圧縮機が製品化できた。また、当社ではルームエアコン用やパッケージエアコン用にも各種のスクロール圧縮機を製造しており、これらの製品もカーエアコン用スクロール圧縮機開発の際、玉成した製造技術がベースとなり量産化が実現している。

今後更に高精度加工・高速加工等、製品の品質・性能の向上につながる新たな製造技術開発を行っていく計画である。