

D231 カーエアコン用圧縮機の変遷

HISTORY OF CAR AIRCONDITIONING COMPRESSORS

◎高井 和彦* (サンデン株式会社)

◎Kazuhiko TAKAI*

*Sanden Co. Ltd, Isesaki-shi, Gunma, 372-8502, Japan

This paper presents the history of technology about compressors for Car Air Conditioning. Various kinds of compression mechanisms were introduced for Car Air Conditioning and have evolved up to now. Especially, the specification that changes greatly is a piston type compressor. Here, these transitions are clarified.

Keywords: Car air conditioning, Reciprocating Compressor, Wobble Plate Compressor, Swash Plate Compressor, Vane Rotary Compressor, Scroll Compressor, Infinite Variable Displacement Compressor,

1. はじめに

蒸気圧縮機を用いたの車両冷房は、アメリカ車において、1930年代後半から始まった。当時、CFC-12冷媒を用いた蒸気圧縮式冷房サイクルが住宅やビル空調に用いられ始めていたが、その技術が車両へ展開された。それ以降、多くの開発が進められて来ている。現在、自動車空調は、必要不可欠な要素となっており、年間生産数7,000万台と言われる車両の大半に装着されている。

バスは別として、乗用車やトラックの自動車空調は、住宅やビル空調とは異なる点が多く、圧縮機とこれを支える要素が独自に進化してきた。主な差異は、圧縮機の駆動源が空調とは無関係に回転数変化するエンジンで有り、よってシステム能力を制御する手段を別に持つ必要があること。圧縮機回転数を調整できない為、真夏炎天下の渋滞走行の様に、低回転時も高負荷運転となる機会が多くあり、圧縮摺動部のシール性確保がカギとなること等である。

本報告では、カーエアコン用に利用されてきた冷媒圧縮機の変遷の概要と技術の進展について述べる。

2. 米国における誕生と発展

車両の開発は、ヨーロッパとアメリカとで進められていたが、特にアメリカに於いては冷房に対する要求が強くなり、1930年代には、水の蒸発熱を利用した、ミスト散布の原理を用いたクーラーが導入された。

1930年代後半になると、CFC-12を用いた住宅用冷房システムが自動車空調に展開検討され始めた。1938年には自動車空調の考え方がSAEにも投稿された[1]。その包含領域は、①冷暖房調整、②加湿と除湿、③換気、④空気分配、⑤空気浄化とあり既に自動車空調要素が明確化されていた。1939年には、超高級車のパッカードスーパー8を始として空調システムが、特別注文で工場装着されていた。暖房には燃焼ヒータが用いられた。冷房システムは、CFC-12を用いた家庭用冷房装置を車両用に改造し搭載した。現在と同様、圧縮機・凝縮器・レシーバ・

膨張弁・蒸発器からなり、エバユニットは後部座席の後ろのトランクルームを押し退けて配置された。圧縮機は鋳鉄製 2シリンダレシプロ式で重量14kg、圧縮機の運転・停止を制御する電磁クラッチは無く、Vベルトによりエンジンで直回しされ、エンジン運転時は常に動作した。このため、冬場はベルトを外して圧縮機を停止させた[2] (Fig1)。

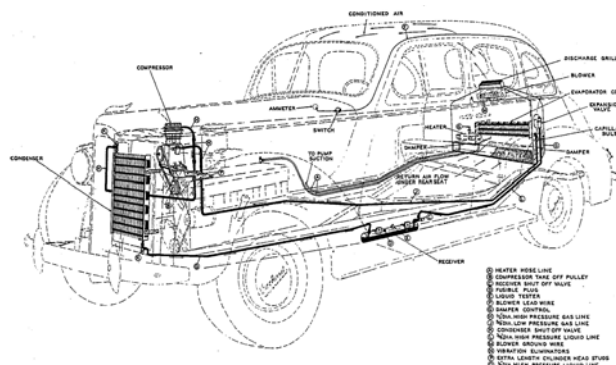


Fig.1 Arrangement of cooling, heating, and ventilating units in the Packard system.

1940年代は世界大戦の影響のためか、技術的な進展の記録は少ない。しかし、1952年 GM社で行なわれたCadillac用エアコン開発の事前市場調査で、アメリカ南部の州では既に92%のCadillacにエアコンが搭載されていた事が判明した。

GM社の開発によるCadillac用エアコンでは住宅空調用ロータリベン圧縮機が車載用に改造され用いられた(吐出容量117cc/rev、クラッチ付重量28kg)。冷房性能調整は冷媒を圧縮機に戻すバイパス弁を搭載し、1953年より一部車両にライン装着された[3]。1954年には、エアコンスイッチにだけに連動作動する電磁クラッチ付2シリンダレシプロ型圧縮機を開発すると共に、全てのコンポーネントをボンネット下に装着する形態(現在と同様な方式)も開発された[4]。1955年には、サーモスイッチ

による温度コントロール方式も始めて採用され、温度制御としての断続運転が可能な電磁クラッチと共に、5 シリンダ揺動板式圧縮機が開発された。揺動板の回転阻止には、揺動板の半径方向に飛び出したガイド棒をケーシングに設けた誘導板部に摺動させる方式がとられた。また殆どの材質は鉄製であった(吐出容量 152cc/rev、電磁クラッチ付き重量 17kg) [5] (Fig.2)。この揺動板式圧縮機の開発過程では、シャフトの回転と同期して開閉するロータリ吸入弁も検討されたが、信頼性とコスト面でリード弁が勝ったため採用はされなかった。尚、電磁クラッチに関して、乾式摩擦式という点では現行と同じだが、電磁吸引力をトリガとして使用し、ボールを介して回転力を摩擦面押圧力に変換する形態で、電磁吸引力だけで押圧力を発生させる現在の仕様とは異なっていた。

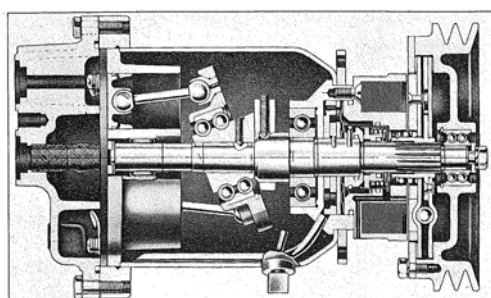


Fig.2 Wobble-plate Compressor

1962年には、シャフトの周りに、片側3本/両側で6本のシリンダを配し、左右端にピストン頭部を設けた3本のピストンを、シャフトに固定された傾斜円板の回転に伴い往復動させる、6シリンダ斜板式圧縮機が開発された。また、現行仕様とほぼ同様な電磁クラッチも、同時に開発され、斜板式圧縮機の基本構造が確立された[6] (吐出容量 206cc/rev、電磁クラッチ付き重量 15.1kg) (Fig.3)。圧縮に伴うシャフトトルク変動を多シリンダ化により低減する共に、ピストン往復運動のスムーズさと、回転アンバランスをゼロにできる等、低振動低騒音化が進んだ。

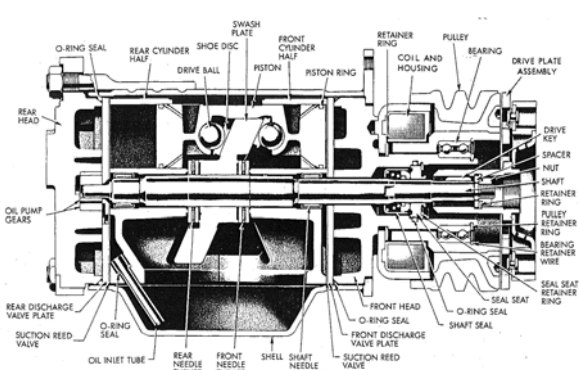


Fig.3 Swash Plate Compressor

これと同時期に、YORK社より、同じ外形形状で3種の吐出容量を持ち、アルミダイカスト製ケーシングの採用で大幅に軽量化した垂直2シリンダレシプロ型圧縮機が開発された(吐出容量 100cc/rev、143cc/rev、169cc/rev、

電磁クラッチ付重量 10.2~10.5kg)。垂直シリンダは、クランクケース内の潤滑油保持能力が高く、このため冷房性能を低下させるオイル循環率(OCR: Oil Circulation Ratio)を低く抑え得ることが出来る。しかし、2シリンダであるため、トルク変動や騒音振動面では不利であったが、このシリーズは広く使用された。

3. 日本における発展

日本においても、1950年代後半にはカーエアコンが導入された。圧縮機の開発面では、1959年にレシプロ型圧縮機、1964年に6シリンダ斜板式圧縮機が豊田自動織機から生産開始された。1971年には揺動板の回転阻止に傘歯車を使用した5シリンダ揺動板式圧縮機(吐出容量 138cc/rev、電磁クラッチ付重量 7.7kg)がサンデンから生産開始され小型軽量と装着性の観点から、米国アフターマーケット市場に受け入れられた。生産数量面では、1974年に豊田自動織機が、1975年にサンデンが、それぞれ累計生産数量 100万台を達成した。

1970年代中頃から80年代中頃にかけては、カーエアコンの急速な市場拡大を背景に、多くのメーカーが種々の機構の圧縮機を開発生産した。重複する部分も有るが、2シリンダレシプロ型をYORK社・豊田自動織機・三菱重工業・ユニクラ・玉製作所・東芝・ナショナルが、斜板式をGM社・豊田自動織機・FORD社・日立製作所・デーゼル機器・クラリオンが、揺動板式をサンデン・セントラル自動車、スクリュ式を三菱重工業が、ローリングピストン式[7]を三菱電機が、スコッチヨーク式ラジアル型をGM社が、バンケルロータリ型[8]を小倉クラッチが開発生産した。ベーン型は円形シリンダ内に偏芯ロータを配置したYORKタイプと、楕円ケーシングの中心にロータを配置したBOSHタイプの2種類あるが、前者をYORK社・ナショナルが、後者をゼクセル・セイコウ精機が開発生産した。更に1981年にはスクロール型圧縮機が世界で初めて空調用圧縮機としてサンデンから生産開始された[9] (Fig.4)。

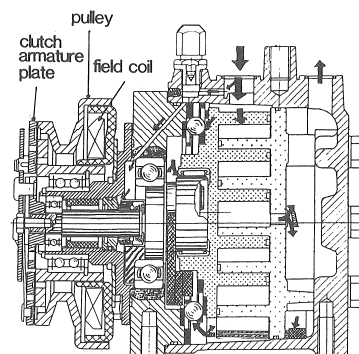


Fig.4 Scroll type Compressor

自動車空調が一般化して行く中、エアコン使用時の運転快適性の向上やエンジンへの負荷低減の必要性が高まって行った。これに応え、1980年代前半からは、圧縮機の運転負荷変動平準化のため、更なる多シリンダ化が進んだ。両斜板式圧縮機は6シリンダから10シリンダへ、

揺動板式圧縮機は5シリンダから7シリンダへの開発がなされた。また、ベーンロータリ圧縮機では、ベーンの枚数が、主には4枚から5枚へと増加した。

4. 可変容量型圧縮機の展開

1980年代中頃からは、吐出容積可変型圧縮機の開発が始まった。ベルトを介してエンジンで直接駆動されるカーエアコン用圧縮機の冷房能力制御は、前述したように電磁クラッチのOn/Offによる圧縮機の運転/停止で行なっていた。このため断続に伴う起動時の振動騒音発生や、エンジンに与える負荷変動が問題視されていた。

これを回避するため、圧縮機の吐出容積を変化させて、断続の頻度を軽減する方法が考案された。1985年には2段階可変型の斜板式圧縮機がトヨタ自動車他にて開発された[10]。また、5シリンダ揺動板式可変容量型圧縮機がYORK社やGM社で開発され[11] (Fig.5)、1988年には7シリンダ揺動板式可変容量型圧縮機がサンデンで開発された[12]。

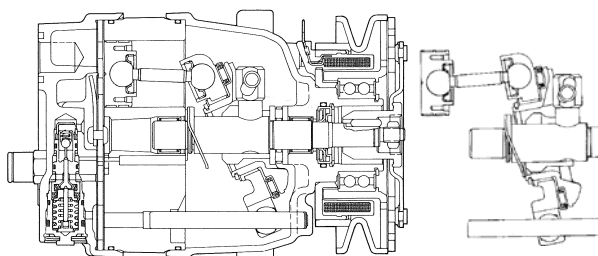


Fig.5 Wobble Plate type Variable Displacement Compressor. Maximum Displacement and Reduced Cam Angle

2段階可変の斜板式圧縮機は、左右に各5シリンダを持つ10シリンダ斜板式圧縮機の片方の吐出室出口に逆止弁を備えると共に、その吐出室に連通する各シリンダの吐出弁を弁板の吐出室から浮かすことで、シリンダ内のガスの圧縮・吐出を停止させた構造を持つ[10]。また、揺動板式可変容量型圧縮機では、ピストンストローク量を決定する揺動板の傾斜角を変化できる機構を設け、最大容量から最小容量まで無段階に変化できる。ピストンストローク量の制御は、クランクケース内を吐出室から導入したガスで昇圧し、ピストンにクランクケース側からの押圧力を発生させ、下死点側にあるピストンを上死点側に移動させることで、シリンダへのガス吸い込み容積を減少させる。反対に、クランクケース内のガスを吸入室へと排出すると、クランクケース内圧力は下がり、ピストン背面の押圧力が低下する為、ピストンは元の最大吐出容量側へと移行する(Fig.5)。ベローズ内部を真空にすることで絶対圧感知が可能となるが、このベローズを吸入圧力下に置き、その伸縮を利用して先端部に設けた弁を動作させ、クランクケース内圧を増減し、吸入圧力を目標値になるよう制御している。

ところで、可変容量圧縮機の高速回転時は、通常、吐出容量が減少した状態で運転されるが、この時、クランクケース内圧は固定容積圧縮機に比べ高くなり、軸シール部への負担が高まる。これより少し前まで使われて来

たメカシールでは信頼性確保が困難と考えられるが、この時期既に導入されていたリップシールと、更にゴムリップ②のシャフト締め付け力を軽減する右図③リングの設置により、可変容量圧縮機の信頼性の確保が為された[13] (Fig.6)。

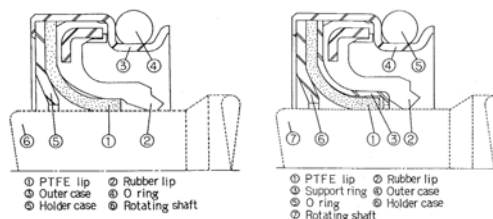


Fig.6 Lip Seal: Standard Type and High Pressure Type

1992年には、10シリンダ斜板式圧縮機の斜板傾斜角を圧縮機内部に個別に設けたパワピストンを用いて減少させる機構を持つ可変容量型斜板式圧縮機が、日本デンソー他にて開発された[14]。

また、1995年には、左右両側にあった斜板式圧縮機のシリンダを片側のみとし、そのシリンダに挿入されるピストンを長くして倒れを防止した上で、斜板の傾斜角を可変とした片斜板型可変容量型圧縮機が開発された。更に、1997年には外部信号により吐出容量を制御することで、電磁クラッチを排除したクラッチレス外部制御容量可変型圧縮機が豊田自動織機より生産開始された[15] (Fig.7)。ここに用いられる外部制御弁は、先に述べたベローズ制御弁とソレノイドの組合せで構成されている。ソレノイドへの通電により、制御弁の弁動作を開始させることで、最小容量状態から容量制御モードへと移行させると共に、電流値の増減によりベローズに付与するソレノイド力を増減させ、制御吸入圧を変化させている (Fig.8)。

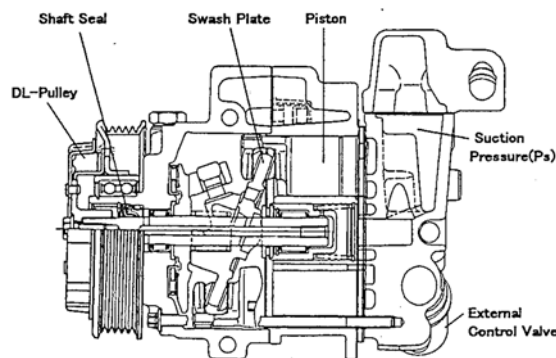


Fig.7 Externally Controlled Variable Displacement Compressor

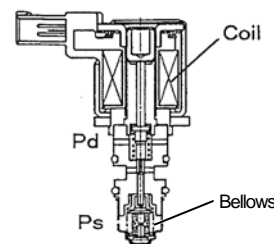


Fig.8 External Control Valve

片斜板式可変容量型圧縮機に関しては、その後、カルソニックカンセイ・サンデン・Delphi 社・パレオサーマルシステムズ・Visteon 社からも生産開始された。

一方、ロータリータイプの圧縮機においても可変容量化の検討がなされた。例えば、圧縮途中のガスを吸入側へバイパスする方式を用いた可変容量スクロール型圧縮機[16]や、吸入ポートの開口終了点を可動化し、吸入口を吐出口近傍まで拡張することで、実質的な圧縮体積を減少させたベンロータリ型可変容量型圧縮機[17]が検討された。

可変容量スクロール型圧縮機は、サンデン・三菱重工・Visteon 社にて一時期量産されたが、効率面や吐出ガス温上昇の問題が有り、現在では生産されなくなった。

5. 環境対応に伴う変化

オゾン層破壊問題から、1985 年に「ウィーン条約」、1987 年に「モントリオール議定書」が採択され、国際的にオゾン層破壊フロン生産・消費の削減が求められた。カーエアコン用に使用されていた冷媒 CFC-12 も、分子中に塩素を含まない HFC-134a への移行が 1980 年代後半に検討された。この冷媒の特性として、CFC-12 に比ベシシステム冷房性がやや落ちる事、CFC-12 には潤滑性が有ったが、HFC-134a ではそれが期待できない事等の問題があった。しかし、潤滑面では、HFC-134a と相溶性のある PAG に極圧添加剤を微量混合した合成潤滑油が選定され、圧縮機側の大きな変更を伴わずに信頼性を確保でき、性能効率面でも大きな影響は生じなかった。

また現在、欧州連合 (EU) 指令「2011 年 1 月以降に出荷する新型車のカーエアコンでは、GWP が 150 以下の冷媒を使用すること。2017 年からは全ての新車において、HFC-134a の使用を禁止すること」の対応として、ハネウエル社とデュボン社が共同開発した代替冷媒 HFO-1234yf への移行検討が進められている。

6. 新たな展開

地球温暖化防止・二酸化炭素排出量の削減等に向け、ハイブリッド車や電動自動車が広がりつつある。このため圧縮機もエンジン動力だけでなく、専用モータを内部に設けた電動圧縮機や、エンジンと内部モータとを切替えて駆動できるハイブリッド圧縮機が開発されている。

ここでは主にスクロール形圧縮機が用いられているが、冷房能力制御を独立駆動源による回転数制御で行えることで、スクロール圧縮機の利点をフルに引き出すことが可能となっている。今後、市場規模の拡大と共に、静音化や低コスト化と、またヒートポンプへの展開も含めて、発展が加速される領域と言える。

7. まとめ

どの技術分野でも求められる事は、「より良いものをより安く、より少ない環境負荷で」と言うことが出来る。車両空調用圧縮機も、これまで小型軽量・高効率・長寿命・低振動低騒音・低コスト化へ向けて進展してきた。エンジン駆動の圧縮機では、車両ランクに合わせての棲

み分けも概略出来て、軽自動車や小型車向けにはより小型化が可能なロータリータイプが、中型から大型車に対しては、容量可変型のピストン式圧縮機が使われる傾向にある。エンジン駆動型圧縮機は、まだ暫くは主流で有り続ける。更なるエネルギー効率の向上に向けての更なる展開が望まれる。

REFERENCES

- [1] F.J.Linsenmeyer: "Heating and Air-conditioning of Automobiles?" 1938 SAE Congress Paper 380096
- [2] Herbert Chase: "Heating, Ventilating, and Cooling of Passenger Cars" SAE Journal, Vol. 46, No.4 (April 1940)
- [3] Webster J. Owen: "Development of the Cadillac Air Conditioner" General Motor Engineering Journal, Vol.1, No.1 (June-July 1953), pp.44-49
- [4] J. Ralph Holmes: "Development of an Automobile Air Conditioning System for Underhood Installation" GM Engineering Journal May-June 1955, pp.2-9
- [5] John Dolza, et al.: "A Product Engineering Study: Design of an Axial-Type Refrigeration Compressor" GM Engineering Journal May-June 1956, pp.40-46
- [6] Raymond N. Mantey, et al "Production Design and Development of 1962 Frigidaire Automotive Compressor and Clutch" 1962 SAE Congress Paper 481C
- [7] T. Koda, et al: "Rolling Piston Type Compressor for Automotive Air Conditioner" 1981 SAE Congress Paper 810502
- [8] Ichiro Ogura: "The Ogura-Wankel Compressor-Application of Wankel Rotary Concept as Automotive Air Conditioning Compressor" 1982 SAE Congress Paper 820159
- [9] Masaharu Hiraga: "The Spiral Compressor - An Innovative Air Conditioning Compressor for the New Generation Automobiles" 1983 SAE Congress Paper 830540
- [10] Yoji Nishimura, et al: "Development of Two-Stage Variable Displacement Compressor for Automotive Air Conditioner" 1985 SAE Congress Paper 850039
- [11] Timothy J. Skinner, et al: "V-5 Automotive Variable Displacement Air Conditioning Compressor" 1985 SAE Congress Paper 850040
- [12] Kazuhiko Takai, et al: "A 7-Cylinder IVD Compressor for Automotive Air Conditioning" 1989 SAE Congress Paper 890309
- [13] Takao Shimomura, et al: "Application of Lip Seals for a High Pressure Type Automotive Air Conditioning Compressor" 1989 SAE Congress Paper 890610
- [14] Toshiki Taya, et al: "10PC20 Swash Plate Type Variable Displacement Compressor for Automotive Air Conditioners" 1992 SAE Congress Paper 920260
- [15] Akira Kishibuchi, et al: "Development of Continuous Running, Externally Controlled Variable Displacement Compressor" 1999 SAE Congress Paper 1999-01-0876
- [16] Atsushi Mabe, et al: "The Scroll Type Variable Capacity Compressor for Automotive Air Conditioners" 1987 SAE Congress Paper 870037
- [17] Nobuyuki Nakajima, et al: "New Rotary-Type Continuous Variable Capacity Compressor for Automotive Air Conditioners" 1990 SAE Congress Paper 901736