

カーエアコン用スクロール圧縮機の省動力化技術

Power Saving Technology of Scroll Compressor for Car Air Conditioner

技術本部 関田 真澄^{*1} 板 鼻 勉^{*2}
竹内 真実^{*3}
エアコン製作所 三浦 茂樹^{*4}

地球温暖化対策としてカーエアコン用圧縮機についても省動力化が必要である。圧縮機の損失低減による高効率化及び負荷に応じて吸入圧力を最適に制御する外部デマンド容量制御により省動力化を行った。すなわち高強度スクロール中央部プロファイルの新規開発による再圧縮損失低減を行い、その効果を筒内圧計測により検証した。新規開発したデマンド容量制御弁により吸入圧力を任意の圧力に制御することを可能とし、これによりエアコン吹出し温度を可変として温水コイルによる吹出し温度制御から外部デマンド制御による吹出し温度制御を可能とし、大幅な省動力化を達成した。

Car air-conditioner compressor input power must be reduced to protect against global warming. Input power was reduced by developing a highly efficient scroll compressor and implementing outer demand capacity control. The highly efficient scroll compressor was achieved by developing a high-strength scroll center profile that reduces recompression loss. This effect was verified by compression chamber pressure measurement. Suction pressure is controlled optionally by a new demand capacity control valve that controls air temperature discharge directly, without reheating the heater core -- greatly reducing overall compressor input power.

1. はじめに

地球温暖化対策として、CO₂の排出量の削減、つまり省エネルギーが要求されている。自動車についても省エネルギー化が要求されており、エンジン補機の中でもっとも動力を必要とするカーエアコン用の圧縮機についても省動力化が必要である。圧縮機の損失低減による高効率化及び負荷に応じて吸入圧力を最適に制御し従来の温水コイルのリヒートによる温調ではなく外部デマンド容量制御による直接温調により大幅な省動力化を行った。

本報ではカーエアコン用スクロール圧縮機の損失低減と容量制御の高効率化について述べるとともに、外部デマンド容量制御によるシステムとしての省動力化について報告する。

2. 容量制御圧縮機の高効率化

2.1 再圧縮損失低減解析

圧縮機の高効率化をねらい図1に示す供試機を作成した。スクロール圧縮機は旋回スクロールが公転運動を行っており、固定スクロールとの間にできた圧縮室が中央部へと動いていくに従い、圧縮室容積が小さくなっていくことで圧縮作用を行っている。スクロール圧縮機ではその構造から、二つの圧縮室ができており、図2に示すようにこの2つの圧縮室が中心部で高圧室と同時に合流して吐出ポートにつながる。通常スクロールのインボリュート曲線の開始点でかみ合っているときに合流するようにしており、そのときのかみ合いの角度を β 角と呼ぶ。スクロール圧縮機の β 角での圧縮室容積と吸入室が縮切られたときの圧縮室容積の比を設計容積比と呼ぶ。設計容積比で決まる圧力比より圧縮機の運転圧力比が大きいと図3の実線で示すように、圧縮行程の途中で筒内圧力が大きくなり、余分に動力を必要とする。これは中央の高圧室（以下、トップクリアランスと称す）が圧縮室の合流で圧力低下し、再度圧縮する必要があるためで、再圧縮損失という。

特に容量制御を行っている場合、指示損失の中では再圧縮動力

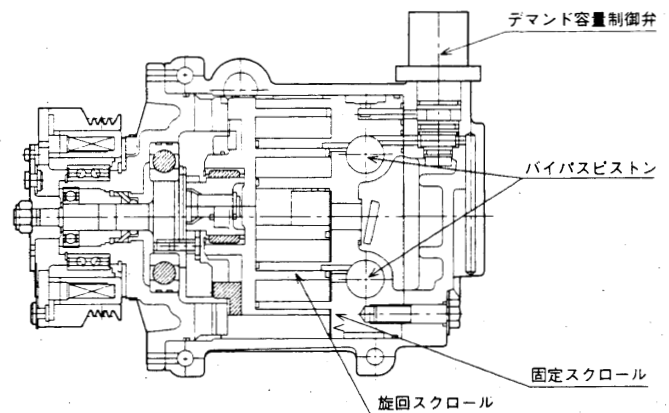


図1 スクロール圧縮機断面 高効率をねらったスクロール容量制御圧縮機断面を示す。2本のバイパスピストンを介し固定スクロール内でバイパス通路が形成されている。

Scroll capacity control compressor section

損失の占める割合が大きく、この低減が重要である。容量制御時の再圧縮動力を減らすためには、トップクリアランス容積を少なくする必要がある。スクロール圧縮機においてトップクリアランス容積を低減するということは、設計容積比を大きくすることと等価である。設計容積比を大きくするには、通常、中央部において、スクロール巻数を増やす、すなわちスクロールの β 角を小さくし、連通時の容積を小さくすることが考えられる。しかし β 角を小さくするプロファイルでは図3に示すようにスクロール中央部のラップ厚みが薄くなり応力が大きくなることから、ラップ強度が問題となる。そこで図4(a)に示すような高強度スクロールプロファイル（2段プロファイル）を新規開発した。このプロファイルは固定、旋回の両スクロールの中央部を上下2段のプロファイルとし、下部を上部より太いプロファイルとしており圧力差で発生するラップ応力を26%低減することができる。固定の上部と旋回の下部、固定の下部と旋回の上部が各々かみ合うようになっ

*1 名古屋研究所圧縮機研究室主査
*2 名古屋研究所冷熱システム研究室主務

*3 名古屋研究所圧縮機研究室
*4 技術部圧縮機設計課

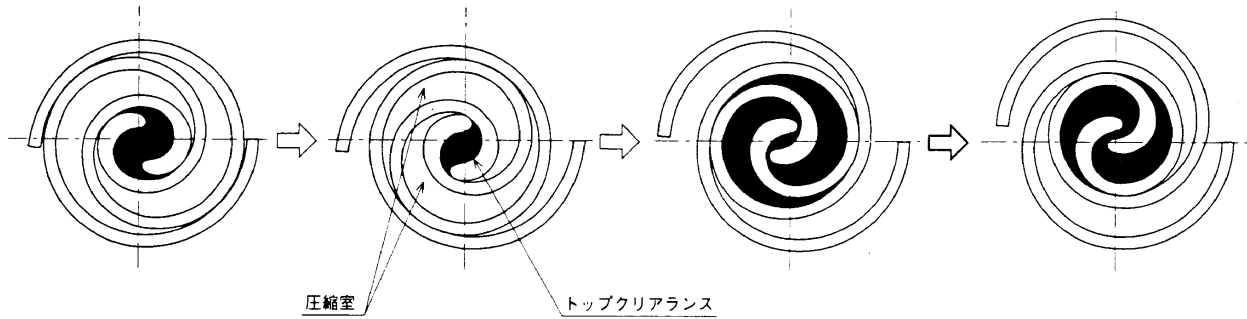


図2 トップクリアランスによる膨張 スクロール圧縮機の圧縮室容積は回転が進むにつれ小さくなっていくが、 β 角でトップクリアランス容積と外側の圧縮室が合流し同じ圧力になる。
Expansion from top clearance

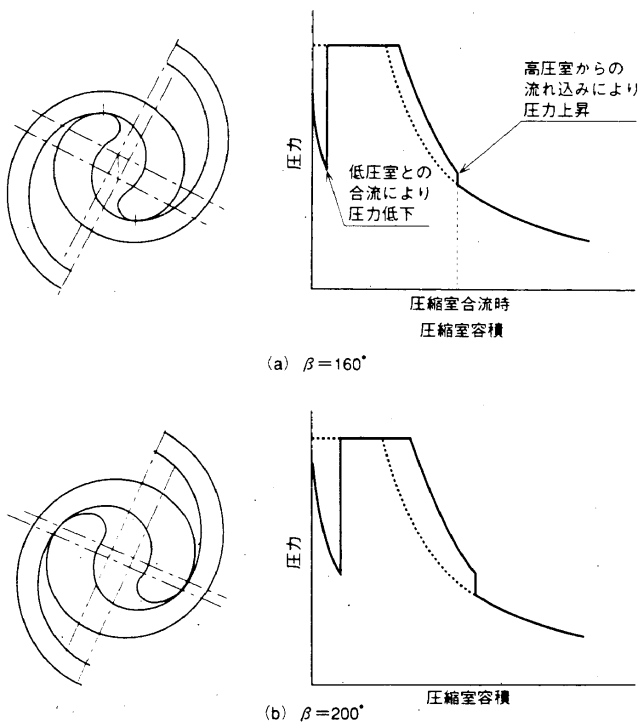


図3 スクロール中央部プロファイルと筒内圧線図 スクロールインボリュート開始角が小さいと中央部ラップが細くなるが、高圧室容積は小さくなり再圧縮損失が少ない。
Scroll profile and compression chamber pressure

ており、中央部に余分な空間を作らないのでトップクリアランス容積の増加はない。このプロファイルによりラップ応力を増加させることなく β 角を小さくすることができ、トップクリアランス容積を小さくすることができた。すなわち設計容積比を大きくすることで再圧縮動力損失を低減した。このプロファイルにより設計容積比を変化させたとき図4(b)に示すように圧縮機断熱効率を8%向上させることができた。

2.2 筒内圧計測による検証

容量制御圧縮機の性能分析を行うために、筒内圧力を計測する供試機を作成した。この供試機により筒内圧計測を行い損失低減を行った効果を検証した。容量制御時の筒内圧力PV線図の一例を図5(a)に、また、損失分析の結果を図5(b)に示す。2段階プロファイル機と従来プロファイル機の損失分析によれば、100%ロード時において再圧縮・漏れ損失を28%低減できている。

なお図6に開発した高効率2段階プロファイルスクロール容量制御圧縮機と斜板容量制御圧縮機の効率の比較を、フルロード時の

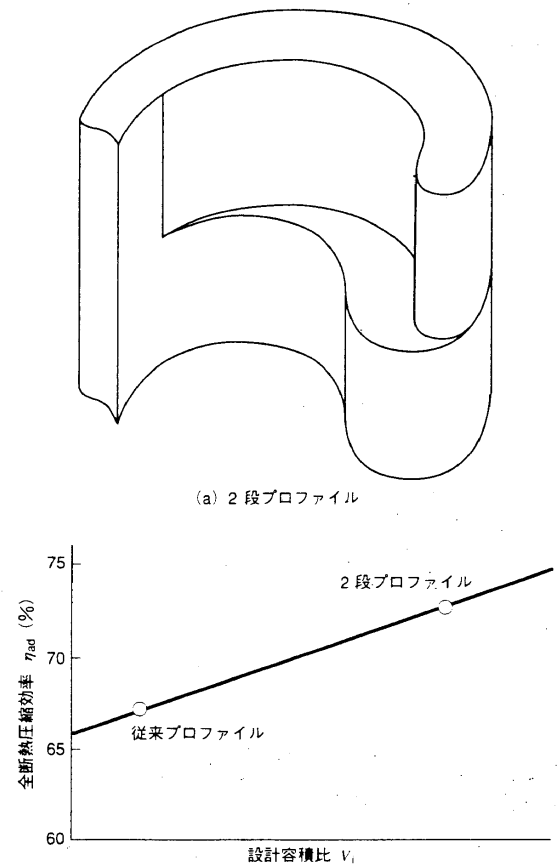


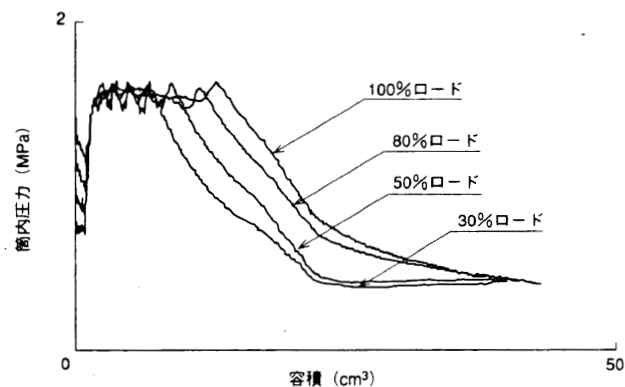
図4 2段階プロファイルとその効果 高強度高性能のスクロール中央部プロファイルを示す。これにより設計容積比を大きくすると全断熱圧縮効率 η_{is} が向上する。
Two stage profile and its effect

スクロール圧縮機の全断熱圧縮効率を100とした比率で示す。フルロードでは約25%の大きな効率差がある。容量制御を行い圧縮機能力が小さくなるに従い差は小さくなっているが、スクロール圧縮機の効率はかなり良いことが分かる。

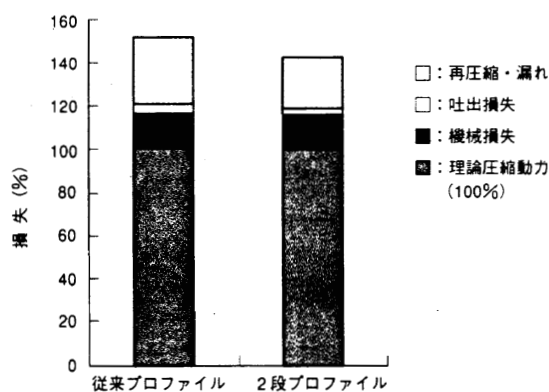
3. デマンド容量制御による省動力化

3.1 デマンド容量制御機構

スクロール圧縮機の容量制御は、圧縮機の吸入圧力を検知しそれを一定に保つように内蔵制御弁により制御している。この制御方式では常に吸入圧力を一定、すなわち、冷媒蒸発温度を一定に保とうとするため、例えば、エアコンの熱負荷が大きくて能力を



(a) 筒内圧線図



(b) 損失分析

図5 筒内圧線図 容量制御時の圧縮機筒内圧を示す。容量制御により圧縮開始が遅れることが分かる。また β 角を変えて効率向上させた圧縮機の損失分析で再圧縮・漏れ損失が減っている。
Compression chamber pressure at capacity control and loss analysis

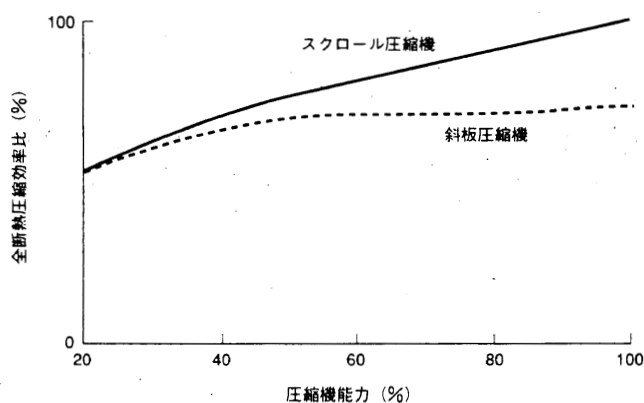
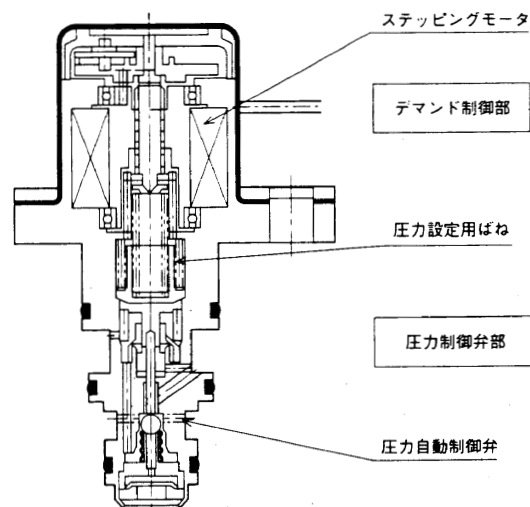
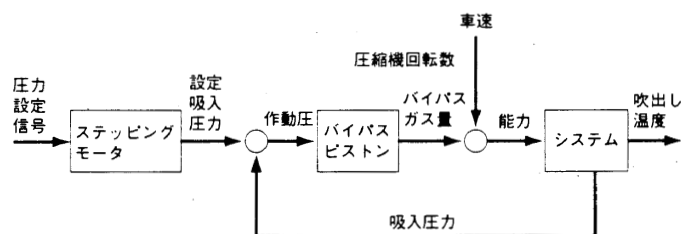


図6 圧縮機効率比較 スクロール圧縮機と斜板圧縮機との容量制御時の断熱圧縮効率を比較する。広い範囲でスクロール圧縮機が高効率である。
Compression efficiency

大きくしたいときには、空気温度と冷媒蒸発温度の温度差が大きくなり大きな能力が得られる。また、エアコンの熱負荷が小さくなってきたときには、吸入圧力が下がってくるため、容量制御が作動して能力を小さくし、エアコン吹出し温度をある所定の温度に制御できる。しかしこの制御される温度は固定であるため、設定温度を高くしたいときは、温水コイルによる再熱で温調していた。そこでこの設定する吸入圧力目標値を可変とし、外部から電気信号により設定できるようにすれば、エアコンの吹出し温度を



(a) デマンド制御弁



(b) 制御の流れ

図7 デマンド制御弁と制御の流れ (a)にデマンド制御弁の軸断面を示す。ステッピングモータの回転でばねが押され圧力制御弁の圧力が設定される。(b)にこのデマンド制御弁を使った制御の流れを示す。
Demand capacity control valve section and its control flow

直接制御することが可能となる。

このような制御を行うために以下の特徴を持つデマンド容量制御弁を新規開発した。この容量制御弁の断面図を図7(a)に示すが、大きく分けて二つの部分から構成されている。一つは吸入圧力と吐出圧力を検知して、制御圧力を作り出す従来からの制御弁と同じ機能を有する圧力制御弁部で、もう一つはステッピングモータにより軸を動かして圧力設定用ばねのたわみ量を変えてばね荷重を変え、圧力制御弁部に加わる力を制御することで吸入圧力設定値を変更する機能を持ったデマンド制御部である。ステッピングモータのパルス数を変化させると設定吸入圧力を変化させることができる。つまり外部信号によりステッピングモータを駆動し容量制御弁の設定圧を変更して、吸入圧力を任意の圧力に制御することが可能となった。この制御弁の設定する吸入圧力範囲は0.15から0.5 MPaであり、広い負荷範囲に対応できる設定とした。

またこのデマンド制御弁の動作に関し、設定圧力を変更しない場合にはステッピングモータに通電する必要はない。このために、通常の使い方においてはステッピングモータは自己保持されており、自動弁部の機能だけでの制御が可能で、この面においても省エネルギーとなっている。

3.2 デマンド容量制御の効果検証

図7(b)にデマンド容量制御によりエアコン吹出し温度を制御する制御の流れを示す。圧力設定信号をデマンド容量制御弁のステッピングモータにパルスとして入れると吸入圧力制御値が設定される。この設定値と圧縮機吸入圧力からバイパスピストンへの作

動圧力が出力される。吸入圧力と作動圧力との差圧とバイパスピストン部のばね力からバイパスピストンの位置が決る。このバイパスピストンの位置により、バイパスガス量を制御する。車速（エンジン回転数）すなわち圧縮機回転数により圧縮機の圧縮するガス量が決るが、この圧縮するガス量からバイパスするガス量を引いたものが圧縮機の正味能力となる。この圧縮機的能力によりシステムのバランス点として圧縮機吸入圧力が決るとともに、エアコン吹出し空気温度も決る。デマンド容量制御弁の設定値を変えると上記のプロセスにより圧縮機吸入圧力が変化する。またデマンド制御弁の設定値を変更しなければ圧縮機回転数が変化しても、吸入圧力が一定になるよう容量制御弁により自動調整される。これの実測例を図8(a)に示す。圧縮機回転数にかかわらずエアコン吹出し温度をほぼ一定に保つことができ、かつ容量制御弁の設定吸入圧力を変えることで吹出し温度を変えることができることが分かる。

従来のカーエアコンではエアコン内の温水ヒータにより冷房能力を相殺させることで、任意のエアコン吹出し空気温度に制御していた。このため、最大能力が要求されているときのほかは温水ヒータから熱を加えており、この熱負荷分の圧縮機動力は無駄に使われているわけで、この分を減らせば省動力になる。例として、吸入圧力が0.12 MPa一定の従来エアコンと吸入圧力を制御する本手法で、圧縮機回転数2500 rpmのときに吹出し温度を14℃にする場合を示す。従来法では、圧縮機入力2.2 kWを使って一度8℃まで下げてから、さらに温水ヒータにより14℃まで温度を上昇させる。これに対して、吸入圧力設定値を0.34 MPaにすると1.2 kWの圧縮機入力で14℃の吹出し温度を実現できる。すなわち、圧縮機入力を約40%低減できることが分かる。

デマンド容量制御によりエアコン吹出し温度を外部から自由に変えることで従来のヒータ再熱対比圧縮機入力を低減可能となり大幅な省動力化が図れた。

4. あ と が き

圧縮機の損失低減による高効率化及び外部デマンド容量制御により省動力化を行った。高強度スクロール中央部プロファイルの新規開発による再圧縮損失低減を行い、圧縮機の効率向上、特に容量制御時の効率向上を行った。新規開発したデマンド容量制御弁により吸入圧力を任意の圧力に制御することを可能とし、これによりエアコン吹出し温度を圧縮機の容量制御で可変として負荷に応じた運転を可能とした。その結果圧縮機入力を従来対比約40

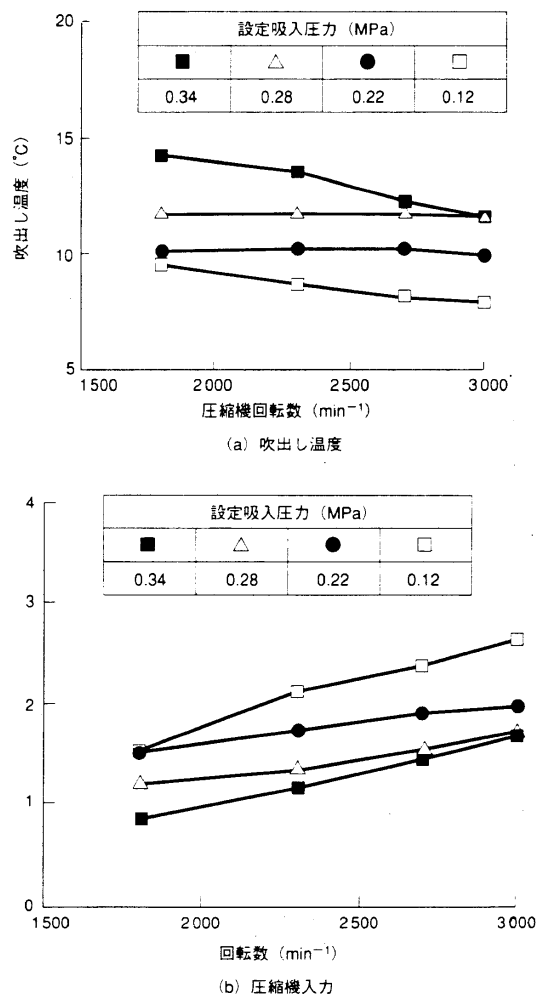


図8 容量制御によるエアコン吹出し温度制御結果 圧縮機回転数を変化させても吹出し温度をほぼ一定に保つことができ、容量制御設定圧力を変えると吹出し温度を変更できる。これにより、圧縮機入力を下げることができる。
Discharge air temperature control by demand capacity control

%低減できることが実証でき、大幅な省動力化を可能とした。

参考文献

- (1) 平野隆久ほか、スクロール流体機械のスクロール形状に関する研究、三菱重工技報 Vol.26 No.3 (1989) p.200