

新型CRコンプレッサの開発

Development of New CR Compressor

山路 陽*
Yo Yamaji

佐藤 敬太*
Keita Sato

中澤 圭佑*
Keisuke Nakazawa

柳川 英輝*
Eiki Yanagawa

要 旨

カーエアコン用コンプレッサの新シリーズとして、効率・静粛性を向上させた新型固定容量ベーンロータリ式コンプレッサ（新型CRシリーズ）を開発した。本開発では、コンプレッサ内部の可視化等の動的挙動計測技術とベーン力学モデルによるシミュレーションを活用し、新構造の冷媒フローパスとベーン背圧コントロール機構を採用、クラストップの効率および静粛性を実現した。

Abstract

We have developed the new vane rotary compressor with fixed displacement (New CR-series) that has improved the efficiency and silence for car air-conditioners. The low-resistance refrigerant flow path and a new vane back pressure control achieved the leading efficiency and silence through simulation of the vane dynamic models, and visualization of the inside of a compressor and pressure.

Key Word : Efficiency, Environment, Simulation, Visualization / Vane rotary, Over compression, Chattering

1. はじめに

昨今、世界の自動車生産台数の増加に伴い、CO₂排出量をはじめとした環境問題への関心が高まっている。同時に、低振動や静粛性といった快適性を求めるニーズも高まっており、各コンポーネント部品もこれら要求に 대응していく必要がある。ベーンロータリ式コンプレッサは、小型で低コストなため軽自動車や小型車に多く搭載されている。燃費に優れるコンパクトカーの需要は今後も拡大が見込まれることから今回、効率と静粛性を改善した新型CRコンプレッサを開発した (Fig. 1)。

2. 開発の概要

2.1. 高効率化

カーエアコン用のベルト駆動コンプレッサは、クランクプーリの回転力で駆動するためコンプレッサの稼働時間や効率の良し悪しがエンジン負荷に直接影響する。燃費向上やCO₂排出量低減に貢献する為にはコンプレッサの効率を向上させることが必要である。本開発は、小型車の車速頻度や登坂性能に着眼し、使用率の高い中速域の効率改善に重点を置いた。動力損失の主因である過圧縮動力を低減するように冷媒の流路形状を見直し、9%の効率向上（当社従来品比）を実現した。



Fig. 1 New CR compressor

2.2. 静粛性向上

ベーンロータリ式は、構造特有の音振課題としてベーン（翼）とシリンダの衝突音（ベーンチャタリング音）がある。車両静粛性を向上するには、このチャタリング音の改善は不可欠なものであり、今回、ベーンの背圧構造を変更することで、チャタリング発生時間を大幅に低減することが出来た。

2.3. 軽量化・部品点数削減

軽量化は燃費やCO₂排出量低減のみならず、部品コスト低減にも欠かせない要素である。今回、各構成部品の除肉と締結ボルトの本数適正化を行い、軽量化とコストに貢献できる仕様とした。また、効率向上に伴い、吐出容量が小さいコンプレッサでも従来と同等性能を発揮できるようになったため同セグメントにおいて10%以上の軽量化を実現した。

3. 主要諸元

Fig. 1に新型CRコンプレッサの外観を、Fig. 2に部品構成、また、Table 1に機種ラインナップを示す。新型CRコンプレッサは5枚のペーンと楕円シリンダから成る1回転10回圧縮構造で、圧縮機部を外装部品で内包するカートリッジ式を採用している。また、シリンダ及びロータ幅を変えることで4つの容量バリエーションを展開している。

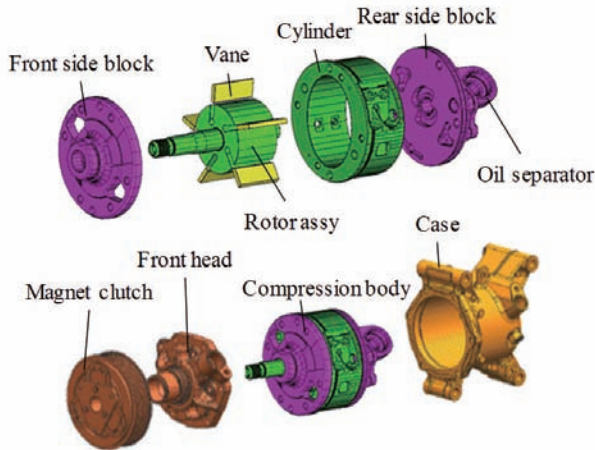


Fig. 2 Structure of New CR compressor

Table 1 New CR series line up

Type	CR06	CR08	CR10	CR12S
Discharge volume [cc/rev]	63	83	95	110
Cylinder width [mm]	26	34	39	45
Body length [mm]	119	132	142	157
Body diameter [mm]	99	99	99	99
Weight w/clutch [kg]	3.0	3.5	3.9	4.5

※Body length, diameter, weight are a value of representation model.

5. 主要投入技術

5.1. コンプレッサ効率の向上（省動力化）

(1) 動力損失分析 ベーンロータリ式は圧縮室内圧力（指圧:Compression chamber pressure）、ベーン底圧力（背圧:Vane back pressure）によって効率が決定される（Fig. 3）。本開発においては指圧、背圧、及び吐出バルブ挙動の計測技術とシミュレーション技術を確認させることで詳細な効率分析を行うことができたようになった。実際に動力損失分析を行った結果を Fig. 4 に示す。コンプレッサ回転速度の上昇とともに、圧力損失による動力損失の寄与が大きくなっている。また、吐出バルブの挙動を確認すると、低速域から既にフルリフトし、過圧縮している様子が見られた（Fig. 5）。よって中速域のさらな

る効率向上のためには、吐出抵抗を抑え圧力損失の低減を図ることが重要なポイントとなることがわかった。

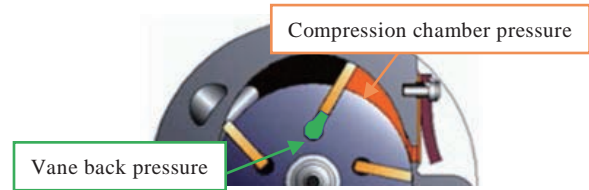


Fig. 3 Compression section

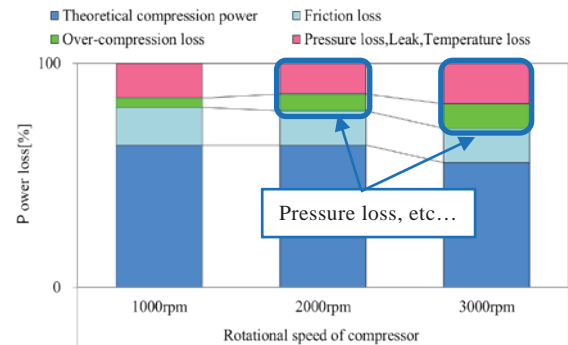


Fig. 4 Analysis of power loss

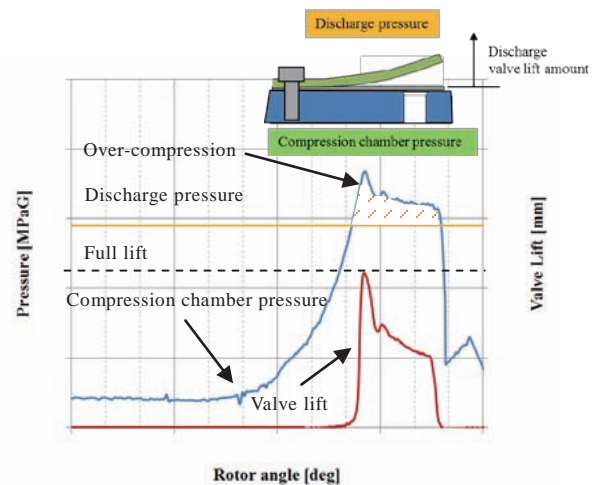


Fig. 5 Test result of compression chamber pressure & behavior of the discharge valve at low speed

(2) 達成手段 吐出経路全体の流れをシミュレーションにて分析した。従来型では吐出バルブ部とオイルセパレータへの導入部で通路抵抗が大きいことがわかり、これらの通路抵抗を低減する構造を採用した。また、従来仕様では吐出通路部に複数壁を設け、通路抵抗を増やすことで圧力変動を減衰させていたが、本仕様では過圧縮を抑えることで圧力変動そのものを低減できるため、壁を廃止し通路抵抗低減と圧力変動低減の両立を図った（Fig. 6, 7）。

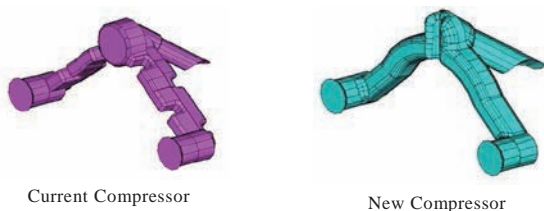


Fig. 6 Analysis model of discharge Passages

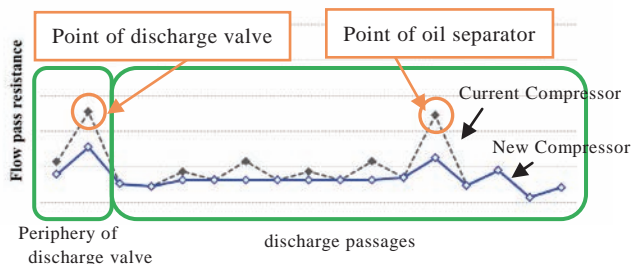


Fig. 7 Flow path resistance of discharge passages

(3) 効果の確認 新型CRコンプレッサの指圧・吐出バルブ挙動を確認すると、シミュレーション・実測ともに過圧縮量の減少が確認できた。結果として過圧縮動力が従来比約50%の改善が図れ、年間消費エネルギーを現行比9%改善させることができた (Fig. 8, 9)。

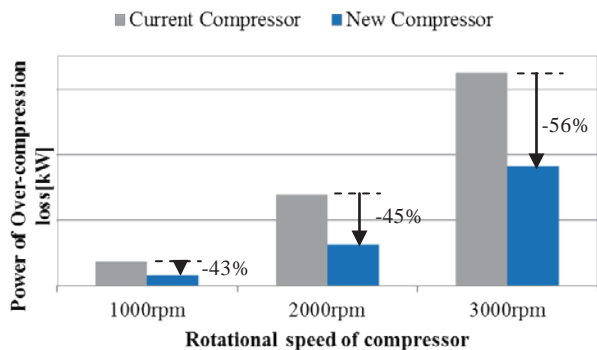


Fig. 8 Test result of over-compression power loss

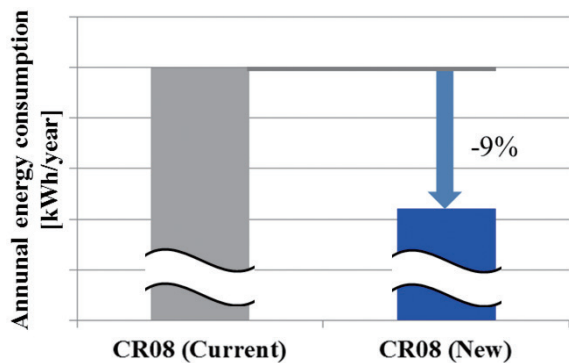


Fig. 9 Energy consumption

5.2. チャタリング音改善 (静粛性向上)

(1) 現象の可視化 チャタリング音はコンプレッサを低外気温且つ低速起動した際に発生しやすい。今回、コンプレッサ起動時のペーンの実際の動きを捉える為、圧縮室を可視化する技術を確認した。可視化によりペーン挙動と指圧、背圧の関係を明らかにすることで、シミュレーションの精度向上と発生メカニズム解明に取り組んだ。

可視化コンプレッサは、圧縮室を構成するリアサイドブロックを透明材料とし、通常、圧縮室後部にあるオイルセパレータと吐出チャンバをコンプレッサ外部に設けることにより、コンプレッサ運転時においても圧縮室内部の様子の観察が可能である (Fig. 10)。この可視化コンプレッサと高速度カメラを用いてコンプレッサ起動時のペーン挙動を観察した。



Fig. 10 Visualized compressor



(a) Initial sticking out mode



(b) Re-collision mode

Fig. 11 Visualization of vane movement

観察の結果、ペーンチャタリングは、ペーンの初期飛出しにより、(a) シリンダ楕円長径付近で衝突するモードと、(b) シリンダに追従しているペーンが離間し、シリンダ楕円短径付近で再度衝突するモードがあることが確認された (Fig. 11)。後者のモードがペーンチャタリング発生時間に支配的であり、これを改善することがペーンチャタリング音の発生時間を短縮する為に有効であることが分かった (Fig. 12)。

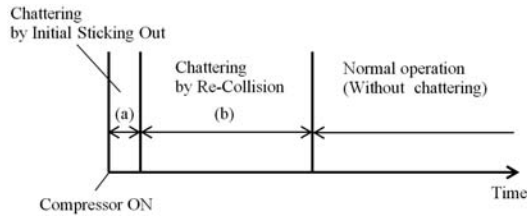


Fig. 12 Vane chattering noise transition

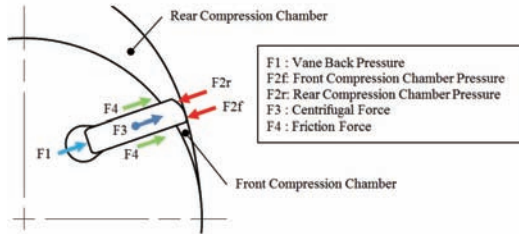


Fig. 13 Force around the vane

(2) 力学的分析 ベーンが再衝突するモードにおいて、ベーンが離間する要因を明らかにする為、ベーンチャタリング時のベーン周りに働く力を分析した⁽¹⁾。ベーンには、指圧や背圧、遠心力、摩擦力などの力が働く (Fig. 13)。

これらの力を実測値及びシミュレーションから算出し、計算したベーンをシリンダに押し付ける力を Fig. 14 に示す。低負荷時には、最も押し付け力が弱く、シリンダ楕円短径付近のロータ回転角度で、ベーンが離れ易くなる。

(3) 達成手段 チャタリングが発生する低速起動運転時には、遠心力や摩擦力の影響は小さく、指圧と背圧による力が支配的である。そこで、背圧を昇圧することでベーン押し付け力を改善し、チャタリング音に対する静粛性向上を図った。可視化によって得られたデータを活用し、シミュレーションを用いて押し付け力が必要なロータ回転角度範囲でベーン背圧を昇圧するように、サイドブロックに設けた背圧供給溝や供給穴形状を決定した。

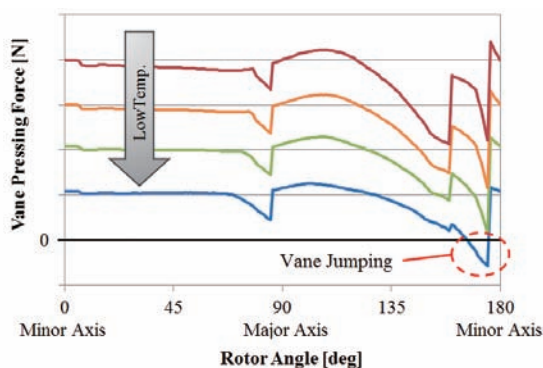


Fig. 14 Vane pressing force

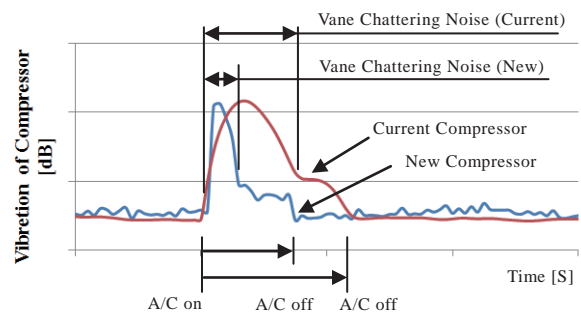


Fig. 15 Compressor startup vibration at low temperature

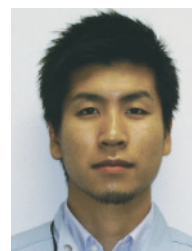
(4) 効果確認 シミュレーション予測及び実測において、シリンダ楕円短径付近でベーン背圧が従来比約10%増加していることが確認できた。これにより、チャタリング音の発生時間を短縮し、静粛性を向上させることができた (Fig. 15)。

9. おわりに

これまでの特徴である小型軽量を活かしつつ、高効率・高静粛性を実現した新型ベーンロータリ式コンプレッサを開発した。今後も車両燃費向上のニーズは非常に高まってくると予想され、車両燃費へ貢献する為の省動力技術をさらに伸ばしていきたい。

参考文献

- (1) 大澤 祐介, 福田 充宏, 柳沢 正: ベーン形圧縮機の起動特性解析モデル, 日本冷凍空調学会論文集, Vol. 24, No. 3, p. 291-302 (2007)



山路 陽



佐藤 敬太



中澤 圭佑



柳川 英輝