

日本冷凍空調学会賞 技術賞

自然冷媒CO₂対応単段ロータリ圧縮機

Single-stage Rotary Compressor for Natural Refrigerant CO₂

1. はじめに

自然冷媒CO₂を用いた家庭用ヒートポンプ給湯機は、2001年に製品化されて以来、急成長を続けている。

CO₂冷媒は、動作圧力が10 MPa以上と従来のR 410A冷媒と比べて3倍以上の高圧となるため、圧縮機の信頼性確保が課題となる。特に、R 410A冷媒空調機用圧縮機として主流となっている単段ロータリ方式では、ベーン周りの摺動部の耐久性確保の課題があり、当社以前には量産化されていなかった。

当社は、この課題を独自の技術により解決し、業界唯一のCO₂冷媒対応単段ロータリ圧縮機の量産化を実現した。図1に当社CO₂ロータリ圧縮機の断面図、また表1に主な仕様を示す。

2. 製品の概要

ロータリ圧縮方式は、シリンダ、ローリングピストン、およびベーンなどにて圧縮室を構成するシンプルかつ、小型・軽量の構造である。その構成部品は円筒と平面を主体としているため、加工精度が出しやすく、R 410A空調機用圧縮機と比べてシリンダ押しのけ量が小さいCO₂ヒートポンプ給湯機用圧縮機においても、高い効率を確保できる。

当社はこのロータリ方式に、当社独自技術である小型かつ高効率なポキポキモータを組み合わせることで、製品質量12.7 kgの軽量ながら高効率な圧縮機を実現した。また、この圧縮

表1 CO₂圧縮機の主な仕様

型名	KXB045F
圧縮方式	単段ロータリ
押しのけ量	4.5 cm ²
運転回転数	40 ~ 105 rps
対応加熱能力	4.5 / 6.0 / 7.2 kW
外径寸法(シエル)	φ122 × 278 mm
モータ仕様	ブラシレスDCモータ(ポキポキモータ)
質量	12.7 kg



前山英明* Hideaki MAEYAMA 服部直隆** Naotaka HATTORI 中尾英人* Hideto NAKAO 高山智生* Tomoo TAKAYAMA 坂本英司* Eiji SAKAMOTO

機を搭載した当社の家庭用ヒートポンプ給湯機においても、中間期COP 4.9、質量56 kgと業界トップクラスの省エネと軽量化を実現している(07年製品 6 kWクラス)。

3. ベーン周りの信頼性確保

図2に示すように、ロータリ圧縮機のベーン周りでは、圧力による荷重により摺動状態が厳しくなる部分が2箇所ある。

- ① ベーン先端～ローリングピストン外周部
- ② ベーン側面～シリンダのベーン溝角部

これらの摺動部における摺動耐力確保について説明する。

3.1 ベーン先端の摺動耐力確保

ベーン背部の圧力により、ベーンはローリングピスト

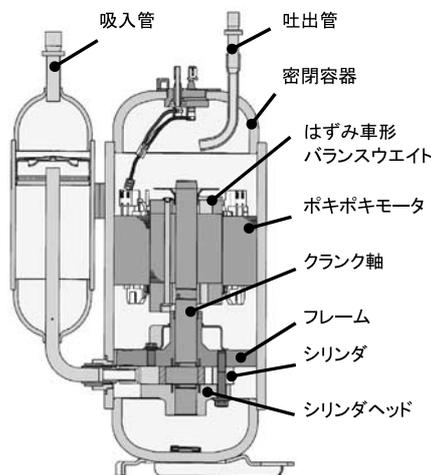


図1 CO₂ロータリ圧縮機

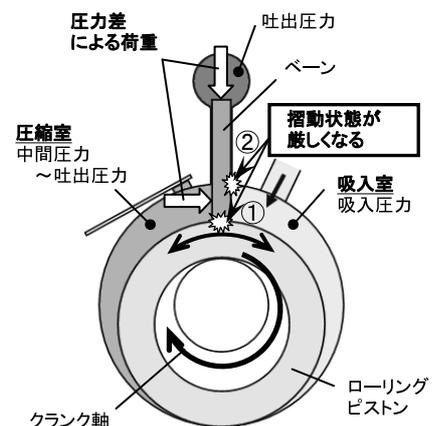


図2 ベーン周りの摺動部

*三菱電機株式会社
Mitsubishi Electric Corporation
**三菱電機エンジニアリング株式会社
Mitsubishi Electric Engineering Corporation
原稿受理 2008年2月29日

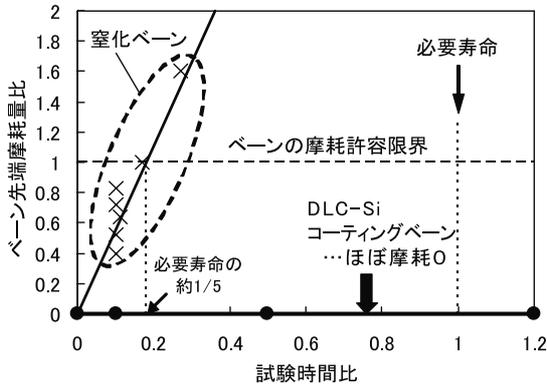


図3 CO₂冷媒圧縮機の寿命試験結果

ン方向に押し付けられる。CO₂冷媒は動作圧力が高いため、この押し付け力が従来のR410A冷媒用圧縮機に比べ増大し、ベーン先端とローリングピストン外周の摺動状態が厳しくなる。

当社はこの部分の摺動耐性を確保するため、ベーンにDLC-Siコーティングを導入した。DLC-Siとは、Diamond Like Carbon - Siliconの略で、DLCにシリコンを加えたものであり、DLCの特性であるダイヤモンドのような硬さと黒鉛のような低摩擦に加えて、コーティング膜自体の耐久性をDLCに対して大幅に改善したものである。

図3にCO₂冷媒におけるベーン先端の摩耗耐性を、R410A冷媒対応圧縮機用の表面に窒化処理を施したベーンとDLC-Siコーティングを施したベーンの比較にて示す。窒化ベーンでは必要寿命の1/5程度しか摩耗耐力がなく、CO₂圧縮機への適用は困難であった。しかし、DLC-Siコーティングベーンでは必要寿命以上の寿命試験においても摩耗の進行がない。また、相手材のローリングピストンも同様に摩耗しておらず、DLC-Siコーティングベーンにより摩耗レスの摺動を実現した。

3.2 ベーン側面の摺動耐力確保

圧縮室と吸入室の圧力差により、ベーンはシリンダのベーン溝方向に押し付けられる荷重を受ける。CO₂冷媒の高い動作圧力により発生する圧力荷重により、図4に示す従来のベーン溝構成では摺動不良が発生し、十分な摺動耐力が得られなかった。

そこで、図5に示すようにシリンダのベーン溝に柔構造部を設けた。ベーンに圧力荷重が加わるとベーン溝の柔構造部がわずかにたわみ、摺動面積を拡大し、接触面圧を低減する。この機構により、CO₂冷媒の高い圧力条件下においても十分な摺動耐力を確保することができた。

ベーン溝の柔構造は接触面圧を低減する効果だけではなく、柔構造そのものの疲労耐久性も考慮する必要があ

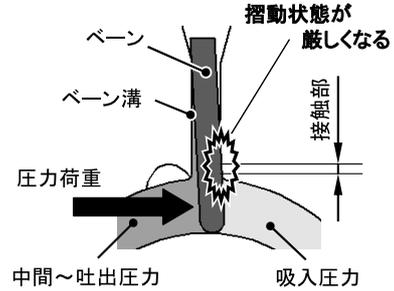


図4 従来圧縮機のベーン側面の摺動状態

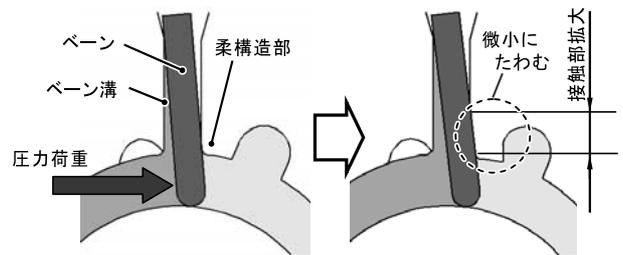


図5 柔構造による接触面圧低減

る。そこで、数種類の柔構造部の寸法について、FEM解析や実機の寿命試験を実施し、柔構造の成立可能な範囲を特定し仕様決定した。

上述の2点の新技术導入により、ベーン周りの摺動部の摺動耐性を従来冷媒対応圧縮機を上回るレベルで確保し、CO₂冷媒対応単段ロータリ圧縮機の量産化を実現した。

4. 圧縮機効率確保

CO₂冷媒の高い動作圧力下で単段ロータリ圧縮機の十分な効率を確保するため、半径隙間漏れの低減を検討した。方法としては下記を導入した。

- ① 高精度組立技術による半径隙間縮小
- ② 圧縮室内給油量適性化によるシール性改善

これらの方法により、CO₂冷媒対応にチューニングを行い、ロータリ方式の持つ高効率のメリットを引き出す仕様を確立した。

5. おわりに

上述のように、ロータリ圧縮機の最大の課題であるベーン周りの信頼性を確保することにより、CO₂冷媒対応単段ロータリ圧縮機を実現し、高効率、軽量化のメリットを得ることができた。今後も、さらなる省エネ、省資源化を実施し、家庭用ヒートポンプ給湯機の普及に貢献していきたい。