

(論文博士・様式10) (Doctoral qualification by publication, Form 10)

学位論文要旨

Abstract of Draft Doctoral Thesis

申請者氏名：平山 卓也

Name : Hirayama Takuya

論文題目：ロータリ圧縮機の高効率大容量化に関する研究

Title of Thesis : Study on high efficiency and large capacity rotary compressors

論文要旨：

蒸気圧縮式ヒートポンプによる電化技術は、未利用エネルギーを活用できる省エネ技術として、カーボンニュートラルを実現するための欠かせない手段と考えられ、特に未だ一部を化石燃料に頼る業務用や産業用の大容量のシステムへの普及が期待されている。そのためには、システムの消費電力の約80%を占め、振動・騒音の発生源でもあり、システムの寿命や信頼性に最も影響する圧縮機の大容量化が重要となる。圧縮機は圧力容器でもあることから、耐圧安全性と軽量化の面からケース径を大きくせず軸方向に大容量化することがポイントとなり、その場合圧縮機構部が両持ち構造で、軸方向に多気筒化が可能なロータリ圧縮機が有望と考えられる。本研究では、ロータリ圧縮機において、その利点を損なうことなく大容量化できる技術の検討を行い、大容量システムに向けた具体的な設計仕様を提案することを目的とした。

2気筒のロータリ圧縮機については、シリンダ高さ増大による大容量化限界を示し、限界要因となる吐出弁通過部の損失対策として、1シリンダあたりの吐出ポート数を2つに増やし、2つのポート断面積はあえて異ならせ、吐出弁の応答性も変える新吐出構造を提案した。新構造については、吐出弁挙動や圧縮室圧力の実測により、従来構造に対し過圧縮損失がほぼ半分になることを検証し、騒音についても、吐出脈動低減等により大幅に改善することを確認した。また大容量化に伴う摺動部信頼性悪化の改善として、軸摺動部については、構造解析を用いた軸受形状最適化により、軸たわみと軸受の最大接触面圧を、市場実績機種以下に低減できることを示し、ベーン摺動部については、ベーンを軸方向に分割し、ベーン1枚あたりに働く負荷を減らすことで、局所的な接触面圧の低減を図った。上記技術に加え、吸込過給の活用、新開発のモータ等により、開発モデルの性能は、従来機種に対し、最大冷凍能力が1.7倍に拡大し、全能力域でCOPが約6%向上することを確認した。

更なる大容量化のため、軸方向にシリンダを3つ並べた3気筒のロータリ圧縮機について検討した。大負荷・長軸化による運転中の軸の曲げ変形について明らかにするために、軸心の挙動解析を実施し、シリンダ間に中間軸受を設けることが圧縮室の漏れ損失低減に極めて有効であることがわかった。これは中間軸受がない場合、特に第2圧縮室のシール部において、差圧が大きい時にクリアランスが拡大する方向にシャフトが大きいたわむことによる。中間軸受を設けた3気筒ロータリ圧縮機は、軸摺動部の信頼性向上にも有効で、軸受最小油膜厚さは、同一排除容積の2気筒従来構造に対し、最大2倍近くまで厚くできることを示した。機械部の大容量化に合わせ、モータとその駆動制御についても大容量化検討を行い、2つのインバータで1つのモータを駆動するオープン巻線モータシステムを提案し、低負荷から高負荷まで高効率で運転できることを示した。上記技術による3気筒開発モデルを1台で運転した場合と、2気筒従来機種2台で運転した場合について、性能を比較した結果、開発モデルは、ほぼ全域で2気筒機種以上のCOPを示し、特に2気筒機種が1台運転から2台運転に移行する中間能力域において大きな優位性が得られることを示した。

3気筒ロータリ圧縮機の振動と騒音の優位性を明らかにするため、軸に働く加振力について理論計算を行い、3気筒の回転トルク変動率、半径方向負荷の変動率と変動範囲は、2気筒の30%程度にまで低減できることを示した。また軸の振れ回りを改善するカウンタバランスの新構造を提案し、軸心挙動解析により、軸端の振れ回り振幅、及び軸受負荷の低減効果を示した。上記効果を検証す

るため、3気筒の開発モデルの振動と騒音を実測し、2気筒最大機種と比較した結果、2気筒に対し排除容積が20%大きいにも関わらず、振動変位は回転方向で1/4以下、半径方向で30%程度と大幅低減し、騒音OA値も約3dB低減することを示した。

大容量ロータリ圧縮機的能力可変幅をより低能力域まで拡大するため、複数あるシリンダの1つを圧縮させずに空転させる可変気筒技術について、大容量機種にも適する新方式を提案した。新方式は、従来方式のように、吸込流路に切替弁を設けずに構成でき、可変気筒起因の吸込損失がないため、特に冷媒流量が増大する大容量機種に好適である。課題として、可変シリンダ側のベーン潤滑対策と、ベーン背圧室の圧力を制御する圧力制御管内における液溜まり対策が必要であることを示し、それぞれについて対策となる設計仕様を提案した。家庭用エアコン向けに開発した新方式のモデルは、従来方式に対し、全能力域で平均4%程度の総合効率向上が得られた。また新方式を大容量機種に適用した設計事例について示し、試算の結果から、従来方式に対する省資源・省スペース・低コストの優位性を明らかにした。