

氏 名	つじ たくま 辻 琢磨
本 籍	和歌山県
学位の種類	博士（工学）
学位の番号	甲第31号
学位授与年月日	平成25年3月15日
学位授与の要件	本学大学院学位規則第6条
学位論文題目	主題：空調用圧縮機の高性能化に関する研究 副題：第1部「レシプロ型圧縮機の性能最適設計指針の確立」 第2部「スクロール圧縮機スラスト軸受における潤滑油閉じ込め現象とそのソフトEHL解析」
論文審査委員	主 査 教授 石 井 徳 章 副 査 教授 小 笹 俊 博 副 査 教授 森 幸 治 副 査 矢 部 寛（本学名誉教授）

論文内容の要旨

昨今の地球環境に対する関心の高まりから、1987年にはモントリオール議定書によってオゾン層を破壊するHCFC系冷媒の漸次削減と1996年を目処に完全撤廃することが決定され、さらに、1997年の気候変動枠組条約第3回締結会議（COP3）において、二酸化炭素を含む地球温暖化ガスの排出削減を先進国に課す京都議定書が締結されるなどの取り組みがなされている。これを受けて、各国の冷凍空調機器メーカーは、HFC系冷媒から自然冷媒を用いた機器の開発を行っており、環境に対する配慮がなされている。さらに、冷凍機・空調機を駆動するための電力を生成する際にも温暖化ガスである炭酸ガスが生成されることから、冷凍・空調機の低電力化も同様に重

要な取り組みである。なかでも、冷凍サイクルに使用される電力の約80%を使用する圧縮機の高効率化は冷凍空調機器メーカーの開発上の最重要課題の一つとなっている。

以上の観点に立って、**第1部**では、家庭冷蔵庫及び産業冷蔵用として現在でも数多く利用されているレシプロ型圧縮機の性能最適化を行なっている。レシプロ型圧縮機は冷凍空調産業の黎明期から使用されている古典的圧縮機械である。それゆえ、これに関しては数多くの研究成果が報告されているが、機械効率を最高にする基本主要諸元の最適化といった観点からの研究報告は意外になされていない。レシプロ型圧縮機の吸込み容積が与えられても、ピストン径とピストンストロークの組み合わせが幾通りもあり、その組み合わせによって機械効率が大幅に変化する。そこで、第1に、レシプロ型圧縮機の機械力学的な解析によって得られるクランクシャフトの回転挙動を支配する運動方程式と圧縮機全体のエネルギー式に基づいて、ルームエアコン用の中型レシプロ圧縮機についてピストン径とピストンストロークの組み合わせに関する最適設計計算を行なっている。さらに、各対偶部の摩擦係数の値を変化させ、機械効率が最高となる組み合わせに及ぼす影響を検討している。第2に、家庭冷蔵庫用オフセット方式小型レシプロ圧縮機について最適設計計算を同様に行い、オフセット量の最適値についても検討を行っている。第3に、産業冷蔵用の大型レシプロ圧縮機についても同様な最適設計計算を行い、特に平均運転回転数を変化させ、それが最適な組み合わせに及ぼす影響を検討している。その結果、圧縮機の大さきには関係なく、ピストン径とピストンストロークがある組み合わせのときに最も高い機械効率が得られ、対偶部の摩擦係数が変化してもその最適な組み合わせは変わらないことを明らかにしている。さらに、機械効率を最大にできるピストンのオフセット量も明らかにしている。最後に、平均回転数を変化させて検討を行い、実際の設計においては年間を通して最も使

用頻度の高い回転数に合わせて最適な組み合わせを決定することが妥当であることを明らかにしている。

第2部では、スクロール圧縮機のスラスト・スライド軸受における潤滑油閉じ込め現象を明らかにし、それをソフトEHL解析している。スクロール圧縮機のスラスト・スライド軸受の潤滑メカニズムは長く解明されていなかった。最近になって、外周にくさび角度を持つリング状剛体モデルとしてスラスト軸受を取り扱うことによって、石井・奥らがスラスト軸受における潤滑メカニズムの詳細な特性を明らかにしている。ここでは軸受内外の圧力差によってスラスト軸受全周にわたって一定のくさび角が形成されると仮定しているが、実際には、それに加えて軸受面間に発生する高い油膜圧力によってスラスト軸受の一部がポケット状に弾性変形し、それによって潤滑油の閉じ込め作用が生じ、潤滑性能がさらに高められている可能性がある。本研究では特にこの点に着眼し、第1に、家庭用空調機に使われている比較的小型のスクロール圧縮機を対象にしてポケット状空間の形成をFEM解析と実験によって確かめている。第2に、スラスト板の弾性変形に関するFEM解析と潤滑解析を行うプログラムを作成している。第3に、そのプログラムを用いて、スラスト板の弾性変形によるポケットの大きさによって摺動面に働く油膜圧力がどのように変化するかを等粘度・等密度を仮定したソフトEHL解析によって詳細に検討している。第4に、圧縮機の過負荷運転とスラスト板の厚さが潤滑油閉じ込め現象に及ぼす影響を調べるために、スラスト板内外の圧力差を0.1MPa～0.6MPa、スラスト板厚さを10.4mm～40.0mmの範囲で変化させてソフトEHL解析を行なっている。これらの検討によって、最終的に、潤滑油閉じ込め現象がスラスト軸受の良好な潤滑状態を実現することに重要な貢献をしていること、摩擦係数低減の割合が剛体モデルに比べて最大約55%に達することを明らかにしている。

本研究に関する研究成果は、4編の学術論文と5編の国際会議論文とし

て発表している.

論文審査結果の要旨

冷凍空調産業において使用される空調用圧縮機の高効率化は、昨今の地球環境問題とエネルギー問題の観点から非常に重要な課題となっている。

上のような観点から、本論文の第1部では、家庭用冷蔵庫及び産業冷蔵庫として現在も数多く利用されているレシプロ型圧縮機を対象にして、機械効率を最高にできるピストン径とピストンストロークの最適な組み合わせについて詳細な検討を行っている。冷凍能力の異なる空調用、小型冷蔵庫用、産業冷蔵庫用の3種類の圧縮機について最適設計計算を行い、その結果、それぞれについて機械効率を最高にできるピストン径とピストンストロークの組み合わせが必ず存在すること、その組み合わせは対偶部の摩擦係数に影響されないことを明らかにしている。さらに、オフセット量と運転回転数にも最適値があることを明らかにしている。レシプロ型圧縮機は古典的な機械であるが、これまでに気付かれていなかった全く新しい知見を明らかにしている。

第2部では、スクロール圧縮機のスラスト・スライド軸受の良好な潤滑状態に、スラスト板自体の弾性変形による潤滑油閉じ込め現象が大きく寄与している可能性について、FEM解析と実験及びソフトEHL解析によって詳細に検討している。家庭用空調機に使われている比較的小型のスクロール圧縮機を対象にして研究を行い、その結果、潤滑油閉じ込め現象がスラスト軸受の良好な潤滑状態を実現することに極めて重要な貢献をしていることを定量的に明らかにしている。得られた知見は世界に先駆けて明らかにされた重要な結果である。

以上のように、本論文では2種類の圧縮機についての最先端の研究成果をまとめており、本論文の成果が機械工学及び冷凍空調産業分野における省エネルギー化に寄与するところは極めて大きいものと考えられる。

よって、本論文は博士（工学）の学位論文として価値あるものと認める。

論文審査委員

主 査 教授 石 井 徳 章

副 査 教授 小 笹 俊 博

副 査 教授 森 幸 治

副 査 矢 部 寛 (本学名誉教授)

論文審査結果の要旨

最終試験の結果、合格と認める。

論文審査委員	主査	教授	石井	徳章
	副査	教授	小笹	俊博
	副査	教授	森	幸治
	副査		矢部	寛（本学名誉教授）