

博士学位論文

(内容の要旨及び論文審査の結果の要旨)

Matamura Noriaki

氏名 松村 憲明
学位の種類 博士(工学)
学位記番号 博 乙 第17 号
学位授与 平成19年10月25日
学位授与条件 学位規程第3条第4項該当
論文題目 渦電流式センサ開発とその圧縮機への応用

(The Development of the Eddy Current Sensor and
the Application of it to the Compressor)

論文審査委員 (主査) 教授 堀 康郎¹
(審査委員) 教授 加藤 厚生¹ 教授 渡辺 修¹ 教授 日比野 倫夫²

論文内容の要旨

渦電流式センサ開発とその圧縮機への応用

(The Development of the Eddy Current Sensor and the Application of it to the Compressor)

本論文は空調用圧縮機の研究・開発において必要な微小すきま計測用渦電流式センサの開発に関する研究およびその圧縮機への応用をまとめたものである。空調用圧縮機として使用されているロータリ式、スクロール式圧縮機は、圧縮機内に微小なすきまが多く存在する。運転中の微小すきまの挙動が空調用圧縮機の効率、信頼性に与える影響は大きい。

本研究では、微小すきま挙動把握のために市販品にはない温度ドリフトが小さく、小型の渦電流式変位センサを開発した。渦電流式変位センサ開発にあたりセンサのインピーダンス推定精度向上を図り、それをベースに信号処理部を含めた温度ドリフトの推定が可能な設計法を提案した。また開発した渦電流式変位センサの応用としてロータリ圧縮機において運転中の種々のすきまを計測した。更にスクロール圧縮機において、開発した圧縮機の評価としてチップシール、旋回スクロールの傾きの挙動計測を実施し設計通りの挙動であることを明らかにした。

本論文第1章「序論」では、本研究を始めるに至った経緯を述べている。エネルギー・資源問題、地球環境問題より空調機に対し高効率、高信頼性の要求が強くなり、空調機の心臓部である圧縮機に対する要求は特に大きい。ロータリ式、スクロール式圧縮機では微小なマイクロサイズのすきまがその内部に多く存在し、微小すきま把握のための計測法が圧縮機の開発において重要である。空調用圧縮機内での計測を考慮した時、種々ある計測原理の中で渦電流式センサが実用的な観点より優れている。そこで渦電流式変位センサを開発対象とし、センサの小型化、温度ドリフト低減が課題であることを明らかにしている。

第2章2.1節「渦電流式変位センサのインピーダンス特性推定法」では、小型で温度ドリフトの小さいセンサを開発するにあたり渦電流式変位センサの設計手法構築の第一ステップとして、実用的な渦電流式変位センサのインピーダンス特性推定法を提案している。温度ドリフト推定のためには抵抗成分の推定精度が重要であり、その推定精度向上のために、コイル素線の表皮効果、近接効果を考慮している。更にセンサの浮遊容量、センサと信号処理部間のケーブル特性も変位センサの特性解析に含め、センサを試作し解析値と実験値を比較検討している。実験値と解析値を比較検討し、抵抗成分及びインダクタンス成分の推定精度はそれぞれ6%、9%の誤差で推定可能なことを示した。

2.2節「渦電流式変位センサ温度特性の解明」にお

1 愛知工業大学 工学部 機械学科 (豊田市)

2 愛知工業大学 工学部 電気学科 (豊田市)

いては、渦電流式変位センサのインダクタンス、抵抗の温度特性推定法を提案している。2.1節で提案したセンサのインピーダンス推定結果をベースに、温度変化による要因として、コイル導線の抵抗変化、ボビン等の構造体の寸法変化、ターゲット金属の物性値（導電率、透磁率）の変化を考慮した。製作した変位センサの実験結果より、実験値と解析値は良く一致し、ボビン等の構造体の熱膨張による影響は小さいことが判った。

2.3節「渦電流式変位センサ温度ドリフト低減法開発」では、センサ温度変化時のインピーダンス推定結果を基に信号処理回路も含めた温度ドリフトの推定を行っている。信号の復調回路に包絡線検波回路、位相検波回路を採用したとき、ブリッジの一边に温度ドリフト補償センサを設置したときのそれぞれの温度ドリフト推定結果について述べている。銅をターゲット金属とし温度補償センサを用い、空調用圧縮機の微小すきま測定を仮定した時、100℃の温度変化で数 μm オーダーの温度ドリフトに抑えることが可能なことを示した。

第3章「微小すきま計測法の圧縮機への応用」において、3.1節「空調用ロータリ圧縮機運転時微小すきま計測」では、第2章で提案した設計手法を用い空調用ロータリ圧縮機の微小すきま計測用の変位センサを設計した。一つのボビンに測定用のアクティブコイル、温度補償用のダミーコイルを設置した変位センサを開発した。部品の寸法精度、電磁気特性の不均一さによる誤差を校正作業により定量的に明確にし、高精度計測のための手法を明らかにしている。開発した変位センサを用いロータリ圧縮機運転中のブレードとブレード溝間のすきま、ロータとシリンダ間のすきまを数 μm の精度で測定し、その挙動を明らかにした。本計測結果により、ブレードとブレード溝間のすきま及びロータとシリンダ部のすきまの適正化により前者では、ブレードの信頼性向上に、また後者では1～2%の性能向上に寄与している。

3.2節「高効率スクロール圧縮機開発におけるすきま計測」においては、スクロール圧縮機開発において実施した挙動計測について述べている。変位センサを利用し旋回スクロールの傾きおよびスクロールラップ上面にシール作用のために設置してあるチップシールの挙動を計測し、設計の狙いどおりの挙動であることを明らかにした。それによりシミュレーションの妥当性が検証でき、圧縮機開発の効率化に寄与している。

第4章はまとめである。

論文審査結果の報告

本論文は空調用圧縮機の研究・開発において必要な微小すきま計測用渦電流式センサの開発に関する研究及びその圧縮機への応用をまとめたものである。空調用圧縮機として使用されているロータリ式、スクロール式圧縮機内に微小なすきまが多く存在する。運転中の微小すきまの挙動が空調用圧縮機の効率、信頼性に与える影響は大きい。

本研究では、微小すきま挙動把握のために市販品にはない温度ドリフトが小さく、小形の渦電流式変位センサを開発した。渦電流式変位センサ開発にあたり、センサのインピーダンス推定精度向上を図り、それをベースに信号処理部も含めた温度ドリフトの推定が可能な設計法を提案した。また、開発した渦電流式変位センサの応用としてロータリ圧縮機において運転中の種々のすきまを計測した。更にスクロール圧縮機において、開発した圧縮機の評価としてチップシール、旋回スクロールの傾きの挙動計測を実施し、設計通りの挙動であることを明らかにした。

本論文は4章からなっており、第1章「序論」では、本研究を始めるに至った経緯について述べている。エネルギー・資源問題、地球環境問題より空調機に対し高効率、高信頼性の要求が強く、空調機の心臓部である圧縮機に対する要求は特に大きい。ロータリ式、スクロール式圧縮機では微小なマイクロサイズのすきまがその内部に多く存在し、微小すきま把握のための計測法が圧縮機の開発において重要である。空調用圧縮機内での計測を考慮した時、種々ある計測原理の中で渦電流式センサが実用的な観点より優れている。そこで渦電流式変位センサを開発対象とし、センサの小型化、温度ドリフト低減が課題であることを明らかにしている。

第2章2.1節「渦電流式変位センサのインピーダンス特性推定法」では、小型で温度ドリフトの小さいセンサを開発するにあたり、渦電流式変位センサの設計手法構築の第一ステップとして、実用的な渦電流式変位センサのインピーダンス特性推定法を提案している。温度ドリフト推定のためには抵抗成分の推定精度が重要であり、その推定精度向上のために、コイル素線の表皮効果、近接効果を考慮している。更にセンサの浮遊容量、センサと信号処理部間のケーブル特性も変位センサの特性解析に含め、センサを試作し解析値と実験値を比較検討している。実験値と解析値を比較検討し、抵抗成分及びインダクタンス成分の推定精度はそれぞれ6%、9%の誤差で推定可能なことを示した。

2.2節「渦電流式変位センサ温度特性の解明」においては、渦電流式変位センサのインダクタンス、抵抗の温度特性推定法を提案している。2.1節で提案したセンサのインピーダンス推定結果をベースに、温度変化による要因として、コイル導線の抵抗変化、ボビン等の構造体の寸法変化、ターゲット金属の物性値（導電率）の変化を考慮した。製作した変位センサの実験結果より、実験値と解析値は良く一致し、ボビン等の構造体の熱膨張による影響は小さいことがわかった。

2.3節「渦電流式変位センサ温度ドリフト低減法開発」では、センサ温度変化時のインピーダンス推定結果をもとに信号処理回路も含めた温度ドリフトの推定を行っている。信号の復調回路に包絡線検波回路、位相検波回路を採用したとき、ブリッジの一辺に温度ドリフト補償センサを設置したときのそれぞれの温度ドリフト推定結果について述べている。包絡線検波、位相検波時の温度ドリフトを解析し、位相検波の方が包絡線検波より温度ドリフトを小さくできることを示した。銅をターゲット金属とし温度ドリフト補償センサを用いて微小すきまを計測し、位相検波を行った場合、100℃の温度変化で2 μ m程度の温度ドリフトに抑えることが可能なことを示した。

第3章「微小すきま計測法の圧縮機への応用」において、3.1節「空調用ロータリ圧縮機運転時微小すきま計測」では、第2章で提案した設計手法を用い空調用ロータリ圧縮機の微小すきま測定用の変位センサを設計した。部品の寸法精度、電磁気特性の不均一

さによる誤差を校正作業により定量的に明確にし、高精度計測のための手法を明らかにしている。開発した変位センサを用いロータリ圧縮機運転中のブレードとブレード溝間のすきま、ロータとシリンダ間のすきまを数 μ mの精度で測定し、その挙動を明らかにした。本計測結果により、ブレードとブレード溝間のすきま及びロータとシリンダ部のすきまの適正化により、ロータリ圧縮機の性能向上、信頼性向上に寄与している。

3.2節「高効率スクロール圧縮機開発におけるすきま計測」においては、スクロール圧縮機開発において実施した挙動計測について述べている。変位センサを利用し、旋回スクロールの傾きおよびスクロールラップ上面にシール作用のために設置してあるチップシールの挙動を計測し、設計の狙いどおりの挙動であることを明らかにした。それによりシミュレーションの妥当性が検証でき、圧縮機開発の効率化に寄与している。

第4章はまとめであり、本研究で得られた成果を総括している。

以上のように、本論文は空調用圧縮機の効率、信頼性に与える影響の大きい運転中の微小すきまの計測を目的とし、センサの設計法、特性算出法、温度ドリフトの低減法などの開発を行ったもので、実際の圧縮機にも適用し、計測に成功し、性能向上に寄与している等、工学上、工業上寄与するところ大なるものがある。よって、本論文提出者松村憲明氏は博士（工学）の学位を受けるに十分な資格を有するものと判定した。

（受理 平成20年3月19日）