OUKA
The University of Osaka
Institutional Knowledge Archive

Title	2軸独立出力モータの構造及び制御手法に関する研究
Author(s)	鈴木, 寛典
Citation	大阪大学, 2022, 博士論文
Version Type	
URL	https://hdl.handle.net/11094/88051
rights	
Note	やむを得ない事由があると学位審査研究科が承認したため、全文に代えてその内容の要約を公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、大阪大学の博士論文についてをご参照ください。

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

https://ir.library.osaka-u.ac.jp/

The University of Osaka

様式３

論　文　内　容　の　要　旨

氏　　名　（　鈴木　寛典　）	
論文題名	2軸独立出力モータの構造及び制御手法に関する研究

論文内容の要旨

本研究では，ハイブリッド自動車や2重反転式ヘリコプター，水平多関節ロボットのような2つのモータが必要な機器の小型・低コスト化を目的とし，新構造のダブルインナー型2軸独立出力モータの提案と，2軸独立出力モータの巻線係数改善手法の提案，5相駆動可能な2軸独立出力モータの提案，インバータ故障時のフォールトトレランス制御の提案を行った。

第1章では，ハイブリッド自動車や2重反転式ヘリコプター，水平多関節ロボットに要求されるモータの特性について述べた。そのような要求特性に対して，電流重畳技術を用いた2軸独立出力モータに着目したが，先行研究の2軸独立出力モータには課題が残されてた。そこで，先行研究の課題を抽出し，本研究の目的を明らかにした。

第2章では，2軸独立出力モータの基本構成を説明し，電流重畳によってトルクが干渉しないことを数学的に証明した。また，2軸独立出力モータへのベクトル制御の適用方法について述べた。

第3章では，先行研究のモデルの構造的課題を解決するような新構造のダブルインナー型2軸独立出力モータを提案した。有限要素解析により，通電時のトルクから一方のロータの駆動電流が他方のロータのトルクにほとんど影響がないこと示した。しかし，突極比が大きなモータを設計する場合は非駆動電流によるリラクタンストルクを考慮する必要があることがわかった。他にも，一方のロータの駆動状態が他方のロータのN-T特性に与える影響を検証した。その結果，非駆動電流によるステータ透磁率の低下やロータ間の磁束の短絡がトルク定数に影響を与えることがわかり，これらを考慮した設計が必要であることがわかった。

第4章では，従来の2軸独立出力モータよりも巻線係数が高くなる様な高巻線係数モデルを提案するため，新しい巻線配置とステータ磁極の不等ピッチを検討した。その結果，新しい巻線配置では既存の巻線配置よりも巻線係数が高くなることを数学的に証明した。ステータ磁極の不等ピッチでは，同相コイル間の鎖交磁束の位相差が大きかった3相ロータにおいて有効性が示せたが，ステータティース側面からの磁束漏れにより6相ロータでは有効性は示せなかった。そのため高巻線係数モデルとして，新しい巻線配置と3相ロータでは不等ピッチ，6相ロータでは等ピッチを採用した。また，高巻線係数モデルと既存のPMSMのトルク密度を比較したところ，扁平な形状ほど高巻線係数モデルの方が高トルク密度であることを確認した。

第5章では，駆動装置であるインバータの小型・低コスト化を目的とし，5相駆動可能な2軸独立出力モータの数学モデルを構築し，有限要素法用いた磁場解析や試作機を用いた実験でその有効性を検証した。各ロータの駆動電流のみを入力した場合と重畳電流を入力した場合でのトルクリップル変化を評価したところ，永久磁石による鎖交磁束に高調波成分が含まれているとき，非駆動電流によるトルク干渉が生じることがわかった。

第6章では，ハイブリッド自動車や2重反転式ヘリコプターなどの輸送機器において，インバータのスイッチング素子故障時でも運転継続が可能なフォールトトレランス制御を提案した。故障時でも2つのロータを独立制御するための入力電流の数学モデルを導出し，有限要素法用いた磁場解析や試作機を用いた実験で両ロータ駆動時でもトルク干渉が生じないことを確認した。さらに，正常時と故障時で負荷特性を比較したところ，故障時の方が低効率となった。これは，フォールトトレランス制御の電流あたりのトルクが低下し，銅損が増加したためであると考えられる。

第7章では，各章での内容を総括している。

様式 7

論文審査の結果の要旨及び担当者

氏　名　（　鈴木　寛典　）		
	（職）	氏　名
論文審査担当者	主査　教授	平田　勝弘
	副査　教授	中谷　彰宏
	副査　教授	吉矢　真人
	副査　准教授	宮坂　史和
	副査　准教授	中西　英之
	副査　准教授	土井　祐介
	副査　講師	石原　尚

論文審査の結果の要旨

機器の高性能化・多機能化に伴い，駆動系に2つのモータを必要とするものがある。このような機器の小型・低コスト化を目的として，2軸独立出力モータが研究されている。しかし，このモータは構造や巻線係数，インバータの制御相数，インバータの耐故障性に関する課題を有している。本論文では，新構造のダブルインナー型2軸独立出力モータと，巻線係数改善手法の提案，5相駆動化とその設計指針の提案，更にインバータ故障時のフォールトトレランス制御の提案を行っており，その有効性を示している。

第1章では，研究背景と先行研究について述べており，既存の2軸独立出力モータの課題を抽出し，本研究の目的を示している。

第2章では，2軸独立出力モータの基本構成を説明し，電流重畳によってトルクが干渉しないことを数学的に証明している。また，2軸独立出力モータへのベクトル制御の適用方法について述べている。

第3章では，先行研究モデルの構造的課題を解決する新構造のダブルインナー型2軸独立出力モータを提案している。有限要素解析及び実験により，一方のロータの駆動状態が他方のロータのN-T特性に与える影響を検証している。その結果，非駆動電流によるステータ透磁率の低下やロータ間の磁束の短絡がトルク定数に影響を与えることを示し，これらを考慮した設計が必要であることを明らかにしている。

第4章では，2軸独立出力モータの巻線係数を向上させるため，新しい巻線配置とステータ磁極の不等ピッチを採用した高巻線係数モデルを提案し，有限要素解析にてその有効性を示している。高巻線係数モデルと既存の永久磁石同期モータ（PMSM）のトルク密度を有限要素解析により比較し，扁平な形状ほど高巻線係数モデルの方が高トルク密度となることを示している。

第5章では，駆動装置であるインバータの小型・低コスト化を目的とし，5相駆動可能な2軸独立出力モータの数学モデルを構築し，有限要素解析や試作機を用いた実験でその有効性を示している。さらに，片方のロータ駆動時と両ロータ駆動時のトルクリップルを比較し，永久磁石による鎖交磁束に高調波成分が含まれているとき，非駆動電流によるトルク干渉が生じることを明らかにしている。

第6章では，輸送機器において，インバータのスイッチング素子故障時でも運転継続が可能なフォールトトレランス制御を提案している。故障時に2つのロータを独立制御するための入力電流の数学モデルを導出し，有限要素解析や試作機による実験によって両ロータ駆動時でもトルク干渉が生じないことを示している。

第7章では，各章での内容を総括し，本論文をまとめている。

以上のように，本論文では2軸独立出力モータの構造や制御手法を提案し，その有効性を明らかにしており，今後の2軸独立出力モータの研究とその応用技術の発展に寄与するものであるといえる。

よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。