



Title	回転子構造に起因した非対称性を考慮したハイブリッド界磁コンシクエントポール型アキシアルギャップモータの設計手法に関する研究〔論文内容及び審査の要旨〕
Author(s)	小川, 徹
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(工学)
Dissertation Number	甲第13527号
Issue Date	2019-03-25
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/74279
Rights(URL)	https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/
Type	doctoral thesis
File Information	Toru_Ogawa_abstract.pdf, 論文内容の要旨



学 位 論 文 内 容 の 要 旨

博士の専攻分野の名称 博士（工学） 氏名 小川 徹

学 位 論 文 題 名

回転子構造に起因した非対称性を考慮したハイブリッド界磁コンシクエントポール型アキシャルギャップモータの設計手法に関する研究

(Study on design method of hybrid excitation consequent pole type axial gap motor considering asymmetry of magnetic flux density distribution caused by rotor geometry)

電気自動車は次世代自動車として期待されており、その駆動用モータには低速高トルク特性、低負荷領域における高効率特性および広い速度域での定出力特性が求められる。主流となっている駆動用モータには高トルク特性を満足するため、残留磁束密度の大きい希土類磁石を用いた永久磁石同期モータが用いられている。希土類磁石を用いている場合、モータ内の磁束が大きく、低負荷において鉄損の影響が大きくなり高効率の達成が難しい。また、高速回転数領域において誘起電圧が大きくなり、広い回転数領域における定出力運転が難しく、低速高トルク特性との間でトレードオフの関係にある。駆動用モータに求められる三つの特性を同時に満足するためには、動作点に応じて界磁磁束を制御可能な磁束可変モータが有効である。

本論文では、磁束可変モータとしてハイブリッド界磁コンシクエントポール型アキシャルギャップモータを提案し、その非対称性に着目して設計手法を検討し、その妥当性を実験的に検証した結果をまとめたものであり、全6章で構成される。

第1章は、序論として社会的背景からの要求として電気自動車等の電気駆動の自動車が求められていること、および電気自動車駆動用モータに必要な特性を示した。次いで磁束可変モータの研究開発動向について説明し、ハイブリッド界磁コンシクエントポール型アキシャルギャップモータが有効であることを示した。

第2章では、従来のアキシャルギャップモータの特徴と本論文で検討予定のハイブリッド界磁コンシクエントポール型アキシャルギャップモータについて述べている。従来のアキシャルギャップモータの構造を示した後、界磁電流磁束の磁路構造および高トルク密度化に適していることから、提案モータのベースモータとしてシングルロータ-ダブルステータ型のアキシャルギャップモータが適していることを説明した。また、提案モータの基本構造として、非磁性の回転子支持部材に永久磁石と突極鉄心とが周方向交互に配置された回転子構造を有すること、固定子鉄心の内周部に界磁巻線を配置した構造であることを説明し、永久磁石磁束および界磁電流磁束磁路について説明した。また、界磁電流の向きと大きさによるモータ内の磁束を制御する原理について示した。

第3章では、ハイブリッド界磁コンシクエントポール型アキシャルギャップモータに適したスロットコンビネーションの設計手法について提案している。ハイブリッド界磁コンシクエントポール型アキシャルギャップモータでは、回転子に永久磁石と突極鉄心を配置した構造を有することからエアギャップ部の磁束密度分布が永久磁石部と突極鉄心部とで絶対値の異なる非対称となる。この非対称性に起因して偶数次の高調波が発生することを、フーリエ解析を用いて数学的に示した。その対策として偶数次の巻線係数がゼロとなるようなスロットコンビネーションを選択することでその影響を抑制可能であることを示した。3D-FEAを用いて 2:3 系列、8:9 系列および 10:12 系列のモータ

タについて比較した。その結果、ハイブリッド界磁コンシクエントポール型アキシャルギャップモータの極スロットコンビネーションとして 10:12 系列の 20 極 24 スロットが適していることを示した。試作機の評価により、誘起電圧波形に高調波成分を含んでおらず偶数次の高調波成分の影響を抑制できていること、界磁電流によりモータ内の磁束の大きさを広く制御できていることを実験的に確認した。

第 4 章では、コンシクエントポール型回転子の永久磁石および突極鉄心の磁極形状の設計手法について提案した。等価磁気回路法による簡易検討から、永久磁石磁束量と界磁電流磁束量とは永久磁石の磁極幅に対してトレードオフに関係にあることを示した。これにより、本提案モータにおいてトルク発生に寄与する d 軸磁束量を最大化するには、永久磁石の磁極幅の最適化が重要である。また、永久磁石の磁極幅が大きくなるほど q 軸インダクタンスが小さくなり、トルク発生には寄与せず鉄損と誘起電圧の増大の要因となる q 軸磁束量も小さくなる。3D-FEA を用いて磁極形状の最適値を決定し、試作機の評価によって本提案モータの高トルク特性と低負荷における高効率特性、最高回転数までの定出力運転特性を確認した。

第 5 章では、ハイブリッド界磁コンシクエントポール型モータの高速化による高出力密度化手法について検討した。アキシャルギャップモータを高速回転駆動するうえで課題となる、回転子の遠心力に対して回転子支持部材の材料として非磁性の高張力鋼板を採用することで高速化が可能であることを応力解析および高速破壊試験で確認した。また、高速回転駆動するうえで課題となる駆動周波数を 1.5kHz 程度以下に抑制するため、14 極化を検討し、偶数次の巻線係数がゼロとなることおよび鉄心の磁気飽和を抑制可能であることから 18 スロットが適していることを提案し、3D-FEA および試作機の評価によってその有効性を確認した。

第 6 章では、本論文で得られた成果について要約した。