

令和 6 年 6 月 27 日現在

機関番号：12608

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2020～2023

課題番号：20H02128

研究課題名（和文）モータ種別を自在に切り替えらえるリラクタンس応用モータの開拓

研究課題名（英文）Development of Reluctance Motors That Can Switch Motor Types

研究代表者

清田 恭平（Kiyota, Kyohei）

東京工業大学・工学院・准教授

研究者番号：10796519

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 13,500,000円

研究成果の概要（和文）：近年、永久磁石を全く使用せず、かつ回転子が電磁鋼板のみで構成されたスイッチトリラクタンスマータやシンクロナスリラクタンスマータ、巻線界磁型モータが注目されているが、各モータに効率や出力、騒音に関する課題が存在する。本研究の最終的な目的は、モータの機械的構造を変えず、固定子の励磁方法を切り替えることのみにより「モータの種類そのもの」を自在に変化させることを目指した。これにより上記モータが各々有する欠点を他のモータ種別の長所により克服し、そのうえでその能力を最大限引き出せる制御手法を確立し、永久磁石を用いないモータのより高効率、高出力化を目指した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

近年排ガス規制等により急速に電気自動車への注目が高まり、その駆動源であるモータの低コスト・高効率化が急務である。一方で永久磁石などの材料調達におけるリスク分散も重要な要求となりつつある。そのため、特に資源調達リスクの高い永久磁石を廃したモータの需要は急激に高まりつつある。このような状況下において、永久磁石や回転子内の巻線類を完全に廃したモータにおいて、巻線を切り替えることによりモータ種別そのものを変更する例は世界で初めての事象である。永久磁石を用いないモータの低コスト高効率化は、例えば電気自動車等、可変速駆動を行う用途への拡大が期待される。

研究成果の概要（英文）：In recent years, switched reluctance motors, synchronous reluctance motors, and wounded field motors that do not use permanent magnets at all and whose rotors consist only of electromagnetic steel plates have attracted attention, but each motor has its own issues related to efficiency, output, and noise.

The final objective of this research was to freely switch the "motor type itself" by simply switching the stator excitation method without changing the mechanical structure of the motor. This enables the disadvantages of each of the above motors to be overcome by the advantages of the other motor types, and a control method that maximizes their capabilities is established, aiming for higher efficiency and output of motors that do not use permanent magnets.

研究分野：電気機器学

キーワード：モータ種別切り替え スwitchトリラクタンスマータ シンクロナスリラクタンスマータ 巻線界磁型モータ フラックススイッチングモータ 高効率化 高出力化 モータドライブ

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

1. 研究開始当初の背景

電気機器、特に回転機は発電エネルギーの消費先として大きな地位を占めており、二酸化炭素の排出量を削減するためには回転機の高効率化が急務である。一方で、電気自動車などの次世代自動車や電動飛行機等、従来内燃機関を駆動源としていた用途における電動化が急速に進行している。このような状況下において、モータの小型化・高効率化をいかに低コストで実現可能であるかが重要となる。現在の電気自動車やハイブリッド自動車では高効率化のために希土類磁石(レアアース：ネオジウム、ディスプロジウム)を使用した永久磁石モータが適用されている。しかし、レアアースの供給不安、価格上昇といったレアアース問題が発生することが度々あり、電気自動車や電動飛行機の普及のためにはレアアースの使用量削減は喫緊の課題である。

以上のような背景から、脱レアアースモータの研究開発が国内外で進んでいる。その中でも永久磁石を全く使用せず、かつ回転子が電磁鋼板のみで構成されたタイプのモータが有力候補である。すなわち、巻線界磁型モータ、シンクロナスリラクタンスモータ(SynRM)、スイッチトリラクタンスモータ(SRM)、以上3種類のモータが候補である。これらはすべて動作原理に回転子内の磁気抵抗(リラクタンス)の差を利用しているが、それぞれ動作原理および励磁方法に差がある。このため、それぞれにおいて異なる長所と欠点を抱えている。

ところで、一般的にモータの高効率化の手法として、固定子巻線の接続を切り替えることによりモータ特性を変化させ、結果的に高効率領域の拡大を図る研究が国内外で進められている。この手法は誘導モータや永久磁石モータにおいては手法が確立しつつあるが、リラクタンスモータにおける例は少ない。これは回転子の極数が鉄心形状により決定されてしまうためである。これは回転子の極数が鉄心形状により決定されてしまうためである。

2. 研究の目的

本研究の最終的な目的は、モータの機械的構造を変えなく、固定子の励磁方法を切り替えることのみにより「モータの種類そのもの」を図1のように自在に変化させ、リラクタンス応用モータの最大出力・高効率領域を拡大できることを明らかにすることである。上記の通り、固定子鉄心や回転子鉄心の形状は各モータすべてで共通である。よって、巻線の接続を切り替えることにより、SRMをSynRMや巻線界磁型モータとして、駆動することが可能である。例えばSRMの状態の巻線のうち、S極側の極性の巻線のみをN極側に切り替えたと、SynRMの巻線配置と同一となる。これによりSRMの有利な高出力特性と、SynRMの有利な高効率特性と、双方を利用可能である。本研究では、同様の鉄心構造を有する巻線界磁型モータ、特に巻線界磁型フラックススイッチングモータ(WFFSM)も含めて検討し、それぞれのモータが有する欠点を他のモータ種別の長所により克服することを目指す。

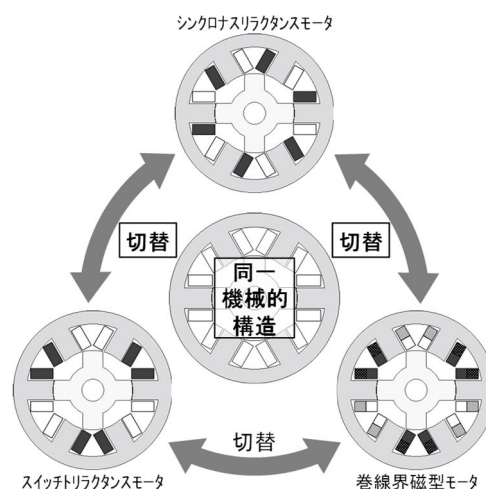


図1 様々なモータ種別に変更可能なリラクタンス応用モータの概念図

3. 研究の方法

本研究では主要な課題が3点ある。すなわち、(a)モータ種別変更時にどこまでモータ特性が変化するのか、(b)モータ種別を変更する回路の簡易化、(c)モータ種別を切り替える前提での最適な鉄心形状の探索、である。

(a) モータ種別変更時にどこまでモータ特性が変化するのか

それぞれのモータ種別においてどのようなモータ特性を有しているのかを、制御面を含めて明確にし、その上で切り替えることによる特性の向上幅を見積もる。

(b) モータ種別を変更する回路の簡易化

一般的に特性を切り替えることを実現するために、必要となるスイッチング素子数が従来の汎用三相インバータより大幅に増加する。本研究では、特性の切り替えを実現するために必要なインバータ素子数を半減させることを目指す。

(c) モータ種別を切り替える前提での最適な鉄心形状の探索

それぞれのモータ種別において最適な形状が存在する。このため、あるモータ種別では最適な形状が別の形状では最適ではなく、背反となる場合がある。本研究ではモータ種別を切り替える前提で鉄心の最適化を図る。

本研究ではスイッチトリラクタンスモータとシンクロナスリラクタンスモータ、および界磁巻線型モータであるフラックススイッチングモータを対象とし、上記3点を総合的に検討し研究を進めた。次章では、各研究成果における該当する課題をa, b, cにて示している。

4. 研究成果

4-1. 既存のモータ種別切り替えモータの実験検証 (a)

本研究をスタートする時点で、すでに SRM と SynRM の切り替えを実現したモータ (以下 DRM) を解析により明らかにしていた^[1]が実機による検証が行われていなかった。そこで DRM において SRM と SynRM との切り替えによる効率や出力の変化を実機試験により明らかにする。

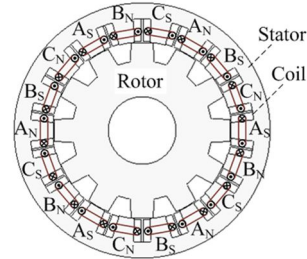
図 2 に試作した DRM の概形・巻線配置および実機試験装置を示す。固定子巻線の極性は全て同一方向に統一されている。A 相, B 相, C 相はそれぞれ 2 種類の巻線 (A_N 相と A_S 相, B_N 相と B_S 相, C_N 相と C_S 相) で構成されている。これら 6 つの電機子巻線は $A_N, B_S, C_N, A_S, B_N, C_S$ の順に, SRM mode で駆動させた際に, それぞれ隣り合う極で極性が交互となるように配置されている。これら 6 つの電機子巻線は, それぞれ電源が共通の H ブリッジインバータに接続されている。SynRM モードではこのうち A_S 相, B_S 相, C_S 相の電流の正負を逆転することにより実現している。なお, 本実験ではインバータ数の都合によりこの切り替えを, 端子接続を切り替えることにより実現している。

図 5 に回転数 3200 r/min における, SRM モードと SynRM モードの電流実効値に対する鉄損の変化を示す。SRM mode の最大出力は電流実効値が 53.4 A のときの 44.9 Nm である。一方, SynRM モードにおける最大出力は 51.2 A のときの 40.4 Nm である。鉄損に関しては, 理論上では, SRM モードに対して SynRM モードでは鉄損が小さくなることが予想されたが, 実際には 10 A 前後の領域を除いて, SRM モードと SynRM モードでは同一電流実効値あたりでの鉄損がほぼ変わらない。これは今回, SynRM モードにて方形波駆動を行っているため, 理想的な回転磁界が生成できていないためである。これにより, 回転子部においても鉄損が発生していると考えられる。これに対する検討は 4-5 にて行う。

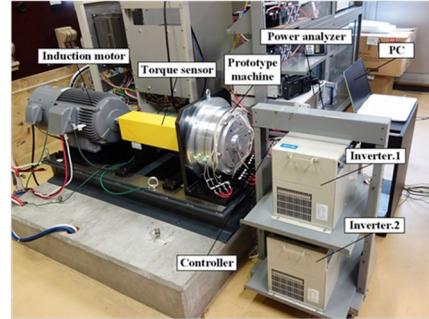
4-2. WFFSM と SynRM とのモータ種別切り替え (a, c)

WFFSM をベースとし, これを SynRM にて動作可能とする構造を明らかにする。図 4 に検討を行った WFFSM の構造の一例を示す。WFFSM で動作する場合 FW 巻線に直流の励磁電流を流すことにより, AF 巻線に三相交流の起電圧が発生する。一方でこの WFFSM の FW 巻線に三相交流電流を流すことにより, 8 極 SynRM として動作する。

図 5 に有限要素法解析による WFFSM 動作時および SynRM 動作時の効率マップを示す。運転領域を比較すると, 低速領域における最大トルクは SynRM 動作の方が大きい, 高速領域における最大トルクは WFFSM 動作の方が大きい。効率を比較すると, 総合効率は SynRM 動作の方が高いことがわかる。特に高速・低トルク領域では, WFFSM 動作では d 軸電流がマイナスになるため効率が悪化し, SynRM 動作では最大 36% 効率が向上している。一方, 低速・中トルク領域では, WFFSM 動作がより高効率となる。この領域は銅損が支配的かつ鉄心が磁気飽和していない領域となる。この解析結果より, WFFSM 動作



(a) 実験対象 DRM



(b) 実験装置

図 2 DRM 実験装置

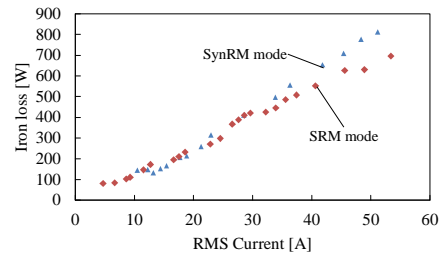


図 3 3200 r/min における鉄損比較

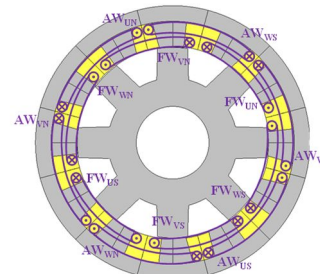
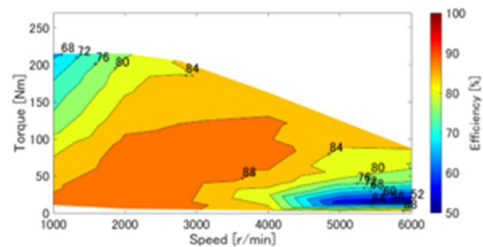
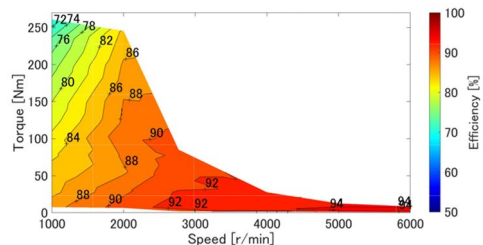


図 4 SynRM 動作可能な WFFSM の一例



(a) WFFSM mode



(b) SynRM mode

図 5 SynRM 動作可能な WFFSM の解析結果

と SynRM 動作の両方により効率を改善できる領域があること、すなわち、それぞれのモータ種別における欠点を、別のモータ種別に切り替えることにより克服可能であることを示した。

4 - 3 . DRM におけるスイッチ素子数半減 (b)

4 - 1 にて実機検証を行った DRM はフルブリッジインバータを 6 台使用する。すなわち、DRM 用インバータはスイッチング素子が 24 個必要であり、コストと信頼性に課題がある。本研究では、従来の 24 個のスイッチング素子数から半減した新しいインバータを提案する。SRM モードにおいて、モータ側の巻線数を調整することにより、提案するインバータにおいても従来型インバータと同等の動作が可能であることを示す。

図 6 に提案する 12 スwitching 素子インバータを示す。このインバータは 6 レグで構成される。各相のコイルについて、コイル端の一方がインバータの各レグに接続し、もう一方は A_N と A_S 、 B_N と B_S 、 C_N と C_S が、それぞれ直列に接続している。この各相の接続点はスイッチ S_{AB} と S_{BC} で相互に接続されている。SRM モードでは、スイッチ S_{AB} と S_{BC} をオフとすることで、従来の SRM と同じ制御が可能となる。SynRM モードでは、 S_{AB} と S_{BC} をオンとし、N 極を三相正弦波電流で制御し、S 極を逆方向、同振幅の別の三相正弦波電流で制御する。なお従来型では A_N 相と A_S 相のコイルが実質的に並列に接続されていたが、提案インバータでは直列に接続されている。このため、同じ電源電圧であれば、提案インバータでは各相の電圧が従来型の半分となる。そこでモータ側の巻線数を従来の半分としている。これにより従来インバータからスイッチング素子数を半減しつつ、従来型と同等の動作が可能となる。

なお、コストや信頼性の観点から、スイッチ S_{AB} および S_{BC} を廃し直結することも想定される。そのため、このスイッチの有無による効率の変化を検討している。図 7 に 1400 r/min における SRM モードの効率の解析結果を示す。スイッチを廃することにより、スイッチがある場合と比べて効率が低下する。これはスイッチを用いる場合に使用可能なゼロ電圧モードが、スイッチを廃することにより使用不可能となるためであり、これにより電流制御時の電流リップルが増加し、鉄損が増加するためである。これは鉄損が顕著である低出力領域にて影響が大きい。

4 - 4 . DRM における回転子形状検討 (c)

4 - 1 にて実機検証を行った DRM は SRM における設計をベースとしている。そのため、空間高調波が大きく、特に SynRM モードではトルクリプルおよび鉄損が増加する。そこで、低速高トルク領域における効率向上を目的とした非対称回転子突極形状を提案する。図 8 に従来モデルと提案の非対称オフセットモデルを示す。回転子端を始点として、そこからオフセット終了角度までオフセットを設ける。オフセットの外径をなす円の中心を、オフセット終了地点と回転子中心を結ぶ線上とする。これにより、対向時における固定子と回転子の間の空気領域の拡大を抑え、銅損の増加を抑える。オフセットは回転方向にのみ設ける。回転方向と逆方向に設けたオフセットは、トルク減少に対して鉄損減少の効果が小さく、低速回転時の効率を低下させるためである。

図 9 に DRM としての動作効率を示す。三角の点が SynRM モード動作、丸の点が SRM モード動作を示す。(a) に低速領域における結果を示す。50 Nm 以下のトルク領域では -5 deg の SynRM モードが最も効率が高く、50 Nm 以上のトルク領域では従来モデルの SRM モードが最も効率が高い。(b) に高速回転時における結果を示す。6 Nm 以下では -7.25 deg の

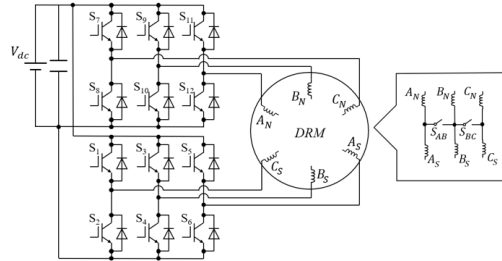


図 6 提案する 12 スwitching 素子インバータ

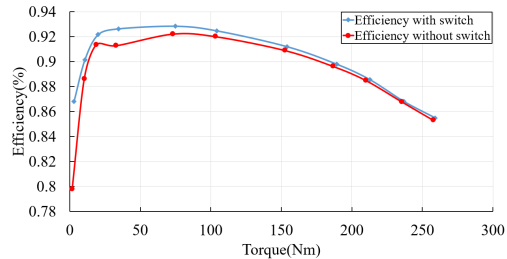
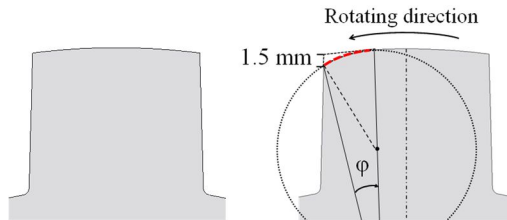
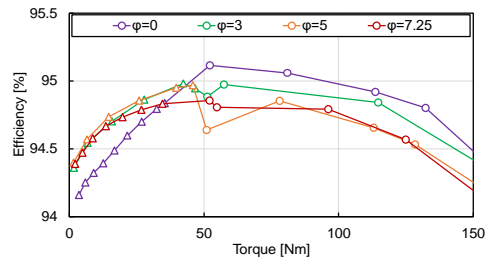


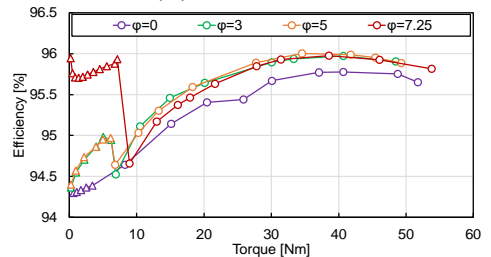
図 7 1400 r/min におけるスイッチ有無による効率変化



(a) 従来モデル (b) 提案モデル
図 8 提案するの非対称オフセットモデル



(a) 2768 r/min



(b) 7500 r/min

図 9 DRM としての効率特性比較

SynRM モードが最も効率が高く、6 Nm 以上では ≈ 5 deg の SRM モードが最も効率が高い。以上より、低速回転時における高トルク領域の効率を重視する場合は従来モデルが適している。低速回転時の低トルク領域、および高速回転時における効率を重視する場合は ≈ 5 deg モデルが適している。高速回転時の低トルク領域の効率を重視する場合は ≈ 7.25 deg モデルが適している。

4 - 5 . SynRM モードへのベクトル制御の適用 (a)

SynRM では通常、永久磁石モータと同様にベクトル制御を適用する。しかし、DRM はオープン結線を採用しているため、従来モータでは原則存在しない零相電流を制御する必要がある。また、DRM は両突極型となるためインダクタンスに高調波が多く含み、これによりベクトル制御中に干渉項や高調波が多く含まれることになる。さらにモータ動作切り替え時に高調波を含む電流を制御する必要がある。

そこで、一般的なベクトル制御に適用可能な高調波電流の重畳制御手法とその制御器について、状態空間表現の導入とそれに基づいた設計を行う。図 11 に提案制御器および制御対象を示す。モータ部に該当する制御対象は高調波成分を含まない LR 回路に近似し、高調波成分を外乱として取り扱う。

図 12 に実機における dqz 軸電流のそれぞれにおける指令値と観測値の応答波形を示す。いずれも正確な追従と高速な応答が実現している。他方で、dqz 軸電流にはさらに高い角速度の高調波電流が生じた。対象とした SynRM のインダクタンスの空間高調波に、ターゲットしたものよりも高次の成分が含まれており、その起電力が外乱電圧として制御対象に印加された結果、制御器に十分に抑制されず影響を与えたためである。

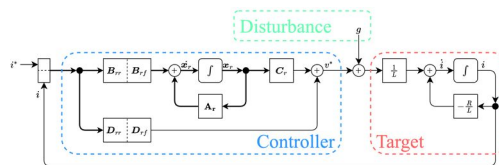


図 10 提案制御器および制御対象

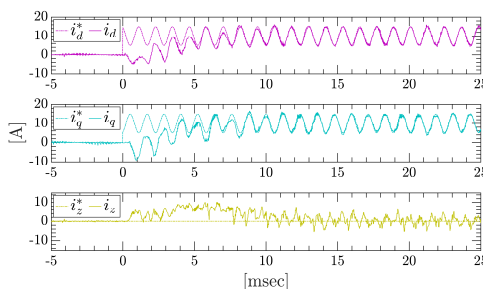


図 11 ベクトル制御を用いた SynRM の実験結果

4 - 6 . SRM モードへのベクトル制御の適用 (a)

一般的に、SRM では方形波駆動を行うため、他のモータと制御方法が異なる。しかし、他のモータ種別ではベクトル制御を用いるため、モータ種別の切り替えを想定すると SRM モードにおいてもベクトル制御を適用する必要がある。しかし、ベクトル制御を適用するために座標変換を行うと、高調波の振動成分が発生し制御が困難である。また、方形波駆動を再現するためにはさらに高調波電流の重畳が必要となる。

そこで、dqz 軸電流に 6 次高調波を重畳することを目指し、その制御手法を検討する。図 12 に d 軸と q 軸に 6 次高調波を重畳させた例を示す。本検討では重畳例として電流周波数の 6 倍、12 倍、18 倍の騒音を同時に抑制可能な電流波形を示している。なお、4 - 5 で検討した制御器を用いることが可能であるが、従来の PID 制御に共振項を追加することによっても実現可能であるかを検討する。

図 13 に高調波電流の有無による実機試験における各軸の電流波形をそれぞれ示す。高調波電流重畳の有無によらず、提案電流波形の出力は指令波形によく追従している。出力電流波形にはわずかな高い周波数帯の振動が発生しているが、これは 20 kHz 以上の周波数であるので、インバータにおける PWM 制御のスイッチングによるものと考えられる。

本報告書のページの都合上紹介を省略しているが、そのほかに、出力および効率の向上を目指した磁束制御の検討なども実施している。

< 引用文献 >

- [1] K. Kiyota, K. Ichiyanagi, K. Amei and T. Ohji, "Principle of a Novel Dual-mode Reluctance Motor for Electric Vehicle Applications," 2019 IEEE International Electric Machines & Drives Conference (IEMDC), San Diego, CA, USA, 2019, pp. 2120-2125.

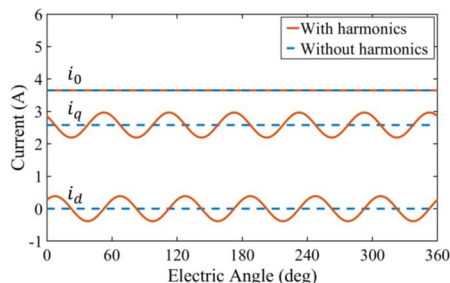


図 12 高調波を含む SRM のベクトル制御時の電流波形例

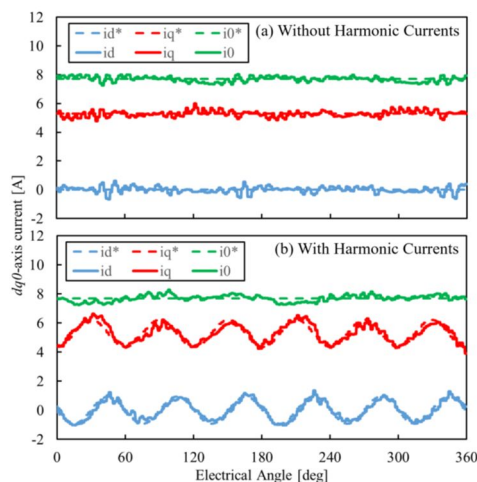


図 13 ベクトル制御を用いた SynRM の実験結果

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計21件（うち査読付論文 0件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 牧原大地, 清田恭平	4. 巻 Y-81
2. 論文標題 回転子突極のオフセット形状によるデュアルモードリラクタン্সモータの効率改善	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 2022年電気学会産業応用部門大会講演論文集	6. 最初と最後の頁 Y-81
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 何康謀, 清田恭平	4. 巻 Y-100
2. 論文標題 スイッチング素子数削減を実現したデュアルモードリラクタン্সモータ用インバータの提案	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 2022年電気学会産業応用部門大会講演論文集	6. 最初と最後の頁 Y-100
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Shou.Qiu, Daichi Makihara, Kyohei Kiyota	4. 巻 0
2. 論文標題 Torque Ripple Suppression and Current Regulation for Vector Controlled Switched Reluctance Motors	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Proceedings of 2022 Energy Conversion Congress and Exposition (ECCE)	6. 最初と最後の頁 4328 - 4333
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/ECCE50734.2022.9947865	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 牧原大地, 清田恭平	4. 巻 RM-22-112
2. 論文標題 6次高調波電流重畳による集中巻シンクロナスリラクタン্সモータのトルクおよび効率向上	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 電気学会回転機研究会資料	6. 最初と最後の頁 1 - 6
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 國分涼, 清田恭平	4. 巻 RM-22-115
2. 論文標題 オープン結線集中巻SynRMの零相インダクタンスと干渉インダクタンスの数値解析	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 電気学会回転機研究会資料	6. 最初と最後の頁 17 - 22
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Daichi Makihara, Kyohei Kiyota, Shou Qiu	4. 巻 1570816378
2. 論文標題 Efficiency Improvement of a Concentrated Winding Synchronous Reluctance Motor Using Sixth Harmonics Component of D- and Q-axis Currents	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Proceedings of 2022 International Conference on Electrical Machines and Systems	6. 最初と最後の頁 1 - 6
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/ICEMS56177.2022.9983404	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Kangmou He, Kyohei Kiyota, Daichi Makihara, Akira Chiba	4. 巻 1570816361
2. 論文標題 Proposal of a Novel Inverter Structure for Dual mode Reluctance Motor with Reduced Switching Components	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Proceedings of 2022 International Conference on Electrical Machines and Systems	6. 最初と最後の頁 1 - 6
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/ICEMS56177.2022.9983114	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Heng Yuan, 清田恭平	4. 巻 5-107
2. 論文標題 Torque Ripple and Radial Force Ripple Suppression in Vector Controlled Switched Reluctance Motors	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 令和5年電気学会全国大会講演論文集	6. 最初と最後の頁 191 - 192
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 矢野身太郎, 清田恭平	4. 巻 5-108
2. 論文標題 トルクリプル及びラジアルカリプルを考慮したベクトル制御型SRMの電流波形の一考察	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 令和5年電気学会全国大会講演論文集	6. 最初と最後の頁 193 - 194
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 牧原大地, 清田恭平	4. 巻 5-032
2. 論文標題 正弦波電圧駆動による集中巻シンクロナスリラクタンスモータのトルク向上	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 令和5年電気学会全国大会講演論文集	6. 最初と最後の頁 57 - 58
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 長谷川稜, 清田恭平	4. 巻 5-033
2. 論文標題 突極集中巻SynRMの非対称回転子形状による低速領域での効率改善	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 令和5年電気学会全国大会講演論文集	6. 最初と最後の頁 59 - 60
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 小久保伊織, 清田恭平	4. 巻 5-040
2. 論文標題 同期リラクタンスモータ駆動によるフラックススイッチングモータの高効率化の初期検討	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 令和5年電気学会全国大会講演論文集	6. 最初と最後の頁 73 - 74
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Kiyota Kyohei, Isogai Haruka, Amei Kenji, Ohji Takahisa	4. 巻 1
2. 論文標題 An Experimental Verification of a Dual-mode Reluctance Motor for Electric Vehicle Applications	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Proceedings of 2021 Energy Conversion Congress and Exposition (ECCE)	6. 最初と最後の頁 4328-4333
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/ECCE47101.2021.9595807	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Shou Qiu, Kyohei Kiyota	4. 巻 RM-21-116
2. 論文標題 Torque Ripple Suppression for a Vector Controlled Switched Reluctance Motor using an Internal Model based Current Controller	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 電気学会回転機研究会資料	6. 最初と最後の頁 1-6
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Shou Qiu, 清田恭平	4. 巻 5-046
2. 論文標題 Effect of Rotor Teeth Shape on Torque Ripple for Vector Controlled Switched Reluctance Motors	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 令和4年電気学会全国大会講演論文集	6. 最初と最後の頁 78-79
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 牧原大地, 清田恭平	4. 巻 5-048
2. 論文標題 回転子突極部のオフセット構造によるスイッチトリラクタンスモータの効率向上	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 令和4年電気学会全国大会講演論文集	6. 最初と最後の頁 82-83
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 何康謀、清田恭平	4. 巻 5-090
2. 論文標題 デュアルモードリラクタンスモータ用新型インバータにおけるスイッチリラクタンスモータモード動作の検討	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 令和4年電気学会全国大会講演論文集	6. 最初と最後の頁 155-156
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Kyohei Kiyota, Haruka Isogai, Kenji Amei, Takahisa Ohji, Akira Chiba	4. 巻 1
2. 論文標題 Development of a Dual-mode Reluctance Motor for Electric Vehicle Applications	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Proceedings of EVTeC and APE Japan	6. 最初と最後の頁 1-5
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 清田恭平, 磯貝遥, 飴井賢治, 大路貴久	4. 巻 1
2. 論文標題 自動車駆動用デュアルモードリラクタンスモータの小型試作機による実証実験	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 自動車技術会2021年春季大会学術講演会講演予稿集	6. 最初と最後の頁 1-6
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 清田恭平, 一柳孝輔, 飴井賢治, 大路貴久	4. 巻 1
2. 論文標題 自動車駆動用デュアルモードリラクタンスモータの提案	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 自動車技術会2020年春季大会学術講演会講演予稿集	6. 最初と最後の頁 1-6
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 清田恭平, 磯貝遥, 飴井賢治, 大路貴久	4. 巻 5-075
2. 論文標題 デュアルモードリラクタンスマータの低速領域における実験的検証	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 令和3年電気学会全国大会講演論文集	6. 最初と最後の頁 128 - 129
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計22件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 6件)

1. 発表者名 牧原大地
2. 発表標題 回転子突極のオフセット形状によるデュアルモードリラクタンスマータの効率改善
3. 学会等名 2022年電気学会産業応用部門大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 何康謀
2. 発表標題 スイッチング素子数削減を実現したデュアルモードリラクタンスマータ用インバータの提案
3. 学会等名 2022年電気学会産業応用部門大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Qiu Shou
2. 発表標題 Torque Ripple Suppression and Current Regulation for Vector Controlled Switched Reluctance Motors
3. 学会等名 2022 Energy Conversion Congress and Exposition (ECCE) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 牧原大地
2. 発表標題 6次高調波電流重畳による集中巻シンクロナスリラクタンスモータのトルクおよび効率向上
3. 学会等名 回轉機研究会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 國分涼
2. 発表標題 オープン結線集中巻SynRMの零相インダクタンスと干渉インダクタンスの数値解析
3. 学会等名 回轉機研究会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Daichi Makihara
2. 発表標題 Efficiency Improvement of a Concentrated Winding Synchronous Reluctance Motor Using Sixth Harmonics Component of D- and Q-axis Currents
3. 学会等名 2022 25th International Conference on Electrical Machines and Systems (ICEMS) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Kangmou He
2. 発表標題 Proposal of a Novel Inverter Structure for Dual mode Reluctance Motor with Reduced Switching Components
3. 学会等名 2022 25th International Conference on Electrical Machines and Systems (ICEMS) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 袁恒
2. 発表標題 Torque Ripple and Radial Force Ripple Suppression in Vector Controlled Switched Reluctance Motors
3. 学会等名 令和5年電気学会全国大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 矢野身太郎
2. 発表標題 トルクリプル及びラジアルカリップルを考慮したベクトル制御型SRMの電流波形の一考察
3. 学会等名 令和5年電気学会全国大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 牧原大地
2. 発表標題 正弦波電圧駆動による集中巻シンクロナスリラクタンスモータのトルク向上
3. 学会等名 令和5年電気学会全国大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 長谷川稜
2. 発表標題 突極集中巻SynRMの非対称回転子形状による低速領域での効率改善
3. 学会等名 令和5年電気学会全国大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 小久保伊織
2. 発表標題 同期リラクタンスモータ駆動によるフラックススイッチングモータの高効率化の初期検討
3. 学会等名 令和5年電気学会全国大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Kyohei Kiyota
2. 発表標題 Development of a Dual-mode Reluctance Motor for Electric Vehicle Applications
3. 学会等名 JSAE EVTeC and APE Japan (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 清田恭平
2. 発表標題 自動車駆動用デュアルモードリラクタンスモータの小型試作機による実証実験
3. 学会等名 自動車技術会 2021年春季大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Kyohei Kiyota
2. 発表標題 An Experimental Verification of a Dual-mode Reluctance Motor for Electric Vehicle Applications
3. 学会等名 2021 Energy Conversion Congress and Exposition (ECCE) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Qiu Shou
2. 発表標題 Torque Ripple Suppression for a Vector Controlled Switched Reluctance Motor using an Internal Model based Current Controller
3. 学会等名 電気学会 回轉機研究会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Qiu Shou
2. 発表標題 Effect of Rotor Teeth Shape on Torque Ripple for Vector Controlled Switched Reluctance Motors
3. 学会等名 令和4年電気学会全国大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 牧原大地
2. 発表標題 回轉子突極部のオフセット構造によるスイッチトリラクタンスモータの効率向上
3. 学会等名 令和4年電気学会全国大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 何康謀
2. 発表標題 デュアルモードリラクタンスモータ用新型インバータにおけるスイッチトリラクタンスモータモード動作の検討
3. 学会等名 令和4年電気学会全国大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 清田恭平
2. 発表標題 自動車駆動用デュアルモードリラクタンスマータの提案
3. 学会等名 自動車技術会2020年春季大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Kyohei Kiyota
2. 発表標題 Proposal of a Dual-mode Reluctance Motor for Electric Vehicle Applications
3. 学会等名 2020 IEEE Power and Energy Society General Meeting (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 清田恭平
2. 発表標題 デュアルモードリラクタンスマータの低速領域における実験的検証
3. 学会等名 令和3年電気学会全国大会
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------	---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8 . 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------