

令和 6 年 6 月 26 日現在

機関番号：15301

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2021～2023

課題番号：21H01312

研究課題名（和文）10万rpmの超高速回転で高出力密度化と高効率化を両立する超高速モータの開発

研究課題名（英文）Development of an ultra-high speed motor achieving both high power density and high efficiency at an ultra-high speed of 100,000 rpm

研究代表者

竹本 真紹（Takemoto, Masatsugu）

岡山大学・環境生命自然科学学域・教授

研究者番号：80313336

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 15,800,000円

研究成果の概要（和文）：モータへの高効率化と小型化・高出力密度化への要求は年々高まっている。そこで、研究代表者が新たに提案している新構造を適用することで、高出力密度化と高効率化を両立する4極集中巻構造の超高速モータを開発した。そして、10万rpmの超高速回転下で試作機による実機試験を行い、新構造が従来構造に比べて1.5倍という高出力密度化を達成しながらも、高効率化を両立できるという優れた特性を備えていることを示した。そして、新構造を備えた超高速モータを設計するために、電磁解析と熱流体解析を連成解析することで、モータ形状によるモータ各部の損失密度分布と温度分布の関係を明らかにする手法が有効であることも示した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

従来構造である2極機の超高速モータについて、高出力密度化と高効率化の研究を実施しても、ブレードスルーを学術的に得ることは難しい。そこで、研究代表者は、4極化と集中巻構造という高出力密度化を図るうえで効果的な手法を本研究課題で採用した。しかし、この二つの手法は、高出力密度化という点では有効であるが、固定子の鉄損増加に加えて、磁石で大きな渦電流損が生じるため、高効率化とモータの成立性という点で問題がある。従って、従来の2極集中巻構造をそのまま4極化しただけでは高出力密度化と高効率化を両立できないため、研究代表者が新たに提案する新構造が実機試験によりその有効性を実証できた意義は大きい。

研究成果の概要（英文）：The demand for motors with higher efficiency, smaller size, and higher power density is increasing year by year. Therefore, by applying a new structure proposed by the principal investigator, an ultra high-speed motor with four-pole concentrated winding structure that can achieve both high power density and high efficiency has been developed. The load operation test was conducted using a prototype machine under ultra high-speed rotation of 100,000 rpm. As a result, it was shown that the new structure has excellent characteristics in that it can achieve both high power density 1.5 times higher than the conventional structure and high efficiency. In order to design the ultra high-speed motor with the new structure, the coupled analysis of electromagnetic analysis and thermo-fluid analysis is effective in clarifying the relationship between the loss density distribution and temperature distribution in each part of the motor.

研究分野：電気機器

キーワード：超高速モータ 超高速 高出力密度化 高効率化 磁石同期モータ

1. 研究開始当初の背景

現在、我が国における電力消費の 50%以上がモータによるものであるため、電気エネルギーを有効に利用する観点から、モータの更なる高効率化は必須である。また同時に、省資源対策の観点からモータの小型化に対する要求も高く、より高出力密度を実現できるモータが望まれている。そこで、モータの小型化・高出力密度化に有効な手段として、モータの高速化が注目されており、近年では超高速モータの研究が世界中で盛んに行われている。

一般的に従来の超高速モータでは、高出力密度化を図るために残留磁束密度が高いネオジウム焼結磁石が回転子に用いられている。しかし、ネオジウム焼結磁石は電気伝導率が高いため、高速回転において磁石内で磁束変化が生じると渦電流損が発生し、発熱や効率低下を招き大きな問題となる。そこで、磁石内の磁束変化を抑制できる分布巻の巻線構造を固定子に採用することで、磁石での渦電流損の発生を最小限に抑制している。ところが、分布巻構造はコイルエンドが軸長方向に長くモータ体積を増加させることから、小型化及び高出力密度化には適していない。加えて、回転子の軸長が長くなることから、超高速モータで問題となる危険速度の低下を招いてしまう。そこで、近年ではコイルエンドを短くでき、小型化に有効である集中巻の巻線構造を採用した超高速モータも検討されている。しかし、集中巻構造では、磁石内での磁束変化が増加するため、磁石での損失が大きくなりやすいという課題がある。

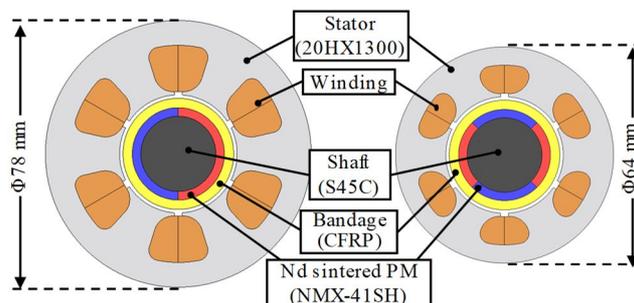
また、超高速モータの更なる高出力密度化を実現する手段として、モータの極数を増やすことが考えられる。超高速モータにおいては、インバータの駆動周波数が高くなるため、一般的には 2 極機が採用される。一方、近年では SiC、GaN 等の次世代パワー半導体デバイスの登場により、高周波での駆動が可能となってきているため、超高速モータを 4 極化することで出力密度の向上を図ることは十分有効であると考えられる。

しかし、集中巻構造を採用した従来の超高速モータにおいて、4 極化すると駆動周波数、すなわち、磁束変化の周波数が高くなることから、固定子の鉄損増加は勿論のこと、特に磁石で発生する渦電流損が大きくなり、発熱の観点からモータとして成立することは難しい。

そこで、本研究課題の核心をなす学術的な「問い」であるが、「4 極集中巻構造の超高速モータにおいて、10 万 rpm という超高速回転下で従来構造では難しい高出力密度化と高効率化を両立できる新しいモータ構造とは何か」である。すでに研究代表者を含めて世界中の研究チームが、2 極の超高速モータに関する研究を盛んに行っており、構造的な最適化がかなり進んでいる。そのため、2 極機のまま高出力密度化と高効率化の研究を継続しても、世界に大きなインパクトを与えるようなブレークスルーを学術的に得ることは難しい。そこで、研究代表者は、4 極化と集中巻構造という高出力密度化を図るうえで効果的な手法を本研究課題で採用する。しかし、この二つの手法は、高出力密度化という点では有効であるが、先に述べたように固定子の鉄損増加に加えて、磁石で大きな渦電流損が生じるため、高効率化とモータの成立性という点で問題があり、超高速モータにおいてこの二つの手法を採用した事例は無い。したがって、従来の 2 極集中巻構造をそのまま 4 極化しただけでは高出力密度化と高効率化を両立できないため、研究代表者が新たに提案する新構造について、実機試験によりその有効性を実証できれば、世界に先駆けて大きなブレークスルーを得ることができる。

図 1(a)は、ネオジウム焼結磁石と集中巻構造を用いた 2 極の一般的な従来モデルの断面図を示す。モータの各寸法は、目標値とする 100,000 rpm で出力 2.5 kW (出力密度 9.0 kW/L) を達成できるように、コイルエンドを含むモータ全体の損失密度を 600 W/L 以下、回転子での損失密度を 800 W/L 以下となるように、2D-FEM によるパラメータスタディを実施して最適設計している。これまでの実機試験の実績から、これらの損失密度の条件を満たせば、強制空冷環境下において十分に連続運転が可能であると想定している。一方、図 1(b)は、ネオジウム焼結磁石を用いた 2 極の従来モデルを基に 4 極化した従来モデルの断面図を示す。2 極モデルを 4 極化するにあたり、目標出力は 2.5 kW のままで体積を 33%小さくすることによって、1.5 倍という挑戦的な値である 13.5 kW/L という高出力密度を目標として解析設計した。

図 2 は、100,000 rpm で 2.5 kW を出力した場合の従来の 2 極モデルと 4 極モデルの損失内訳の解析結果を示す。4 極化することで、電流が小さくなり銅損が低下しているため、4 極化は高出力密度化に効果的であることがわかる。しかし、固定子鉄損および磁石の渦電流損は大きく増加しており、特に磁石の渦電流損は 2.16 倍に激増している。その結果、表 1 に示す両モデルの損失密度からもわかるように、従来の 4 極モデルの損失密度は非常に大きく、冷却の観点から現実的な構造ではない。



(a) 従来の 2 極集中巻構造 (b) 従来の 4 極集中巻構造

図 1 ネオジウム焼結磁石と集中巻構造を用いた従来モデル

2. 研究の目的

研究代表者は、4 極集中巻構造の超高速モータにおいて、10 万 rpm という超高速回転下で高出力密度化と高効率化を両立するために、(a) 電気伝導率が非常に小さいネオジウムボンド磁石の採用、(b) 固定子にストレートティース形状を採用、(c) 回転子の磁石とシャフトの間に半径方向に薄い電磁鋼板のコアを挿入、(d) 巻線に使用する導線の線径を細くし、導線の並列数を増加、という 4 個の改善点を同時に備えた新構造を提案している。その断面形状を図 3 に示す。

提案する新構造については、次節の「学術的独自性と創造性」で解説する。

図 4 は、100,000 rpm で 2.5 kW を出力した場合の従来の 2 極モデルと新構造の損失内訳の解析結果を示す。新構造は 4 個の改善点を同時に備えることで、損失は 156.7 W から 104.7 W と 33.3% 減少している。その結果、新構造のモータ全体の損失密度は 592.0 W/L、回転子の損失密度は 73.4 W/L と良好な結果になっており、冷却の観点からも問題は無い。これにより、従来の 2 極モデルの出力密度は 9.0 kW/L、効率は 94.1% であるのに対し、新構造の出力密度は 13.5 kW/L、効率は 96.0% となり、新構造は高出力密度化と高効率化の両立に有効である。

以上のように、研究代表者は、これまでに、新たに提案する新構造について、電磁場解析によって出力や損失といった電磁構造的な面からその有効性を解析的に明らかにした。そして、この新構造については、特許を基本構造として出願済みである。しかし、モータ分野で不可欠である実機試験による検証は行われていない。

そこで、本研究の目的は、新たに提案する新構造を備えた 4 極集中巻構造の超高速モータの試作機を開発し、世界に先駆けて 10 万 rpm という超高速回転下で新構造が高出力密度化と高効率化に有効であることを実験により検証することである。

3. 研究の方法

新構造で重要なポイントは、4 極集中巻構造において、4 個の改善点を同時に備えていることである。例えば、改善点 (a) のネオジウムボンド磁石の採用は、電気伝導率が非常に小さいため磁石の渦電流損の抑制、すなわち、高効率化という点では効果的であるが、残留磁束密度がネオジウム焼結磁石より低い場合、高出力密度化という点では不利である。しかし、4 極化することによって高トルク化できることからこの欠点を補うことができる。次に、改善点 (b) のストレートティース形状の採用であるが、一般的な従来型のネオジウム焼結磁石を用いた構造では、磁石内での磁束変化が大幅に増加し、渦電流損が激増するため、従来構造では絶対に採用されないティース形状である。これは、ネオジウムボンド磁石だからこそ採用できる形状であり、4 極化で増加する固定子鉄損を抑制し、新構造の高効率化の点で効果的なティース形状である。このように 4 個の改善点は、それぞれ個別には高出力密度化と高効率化の両立には効果は無い。4 極集中巻構造において、この 4 個の改善点を同時に備えることで、互いの長所が他の短所を補い合うため、高出力密度化と高効率化の両立に効果を発揮するという、従来の固定観念を覆す極めて高い独自性と獨創性を備えている。

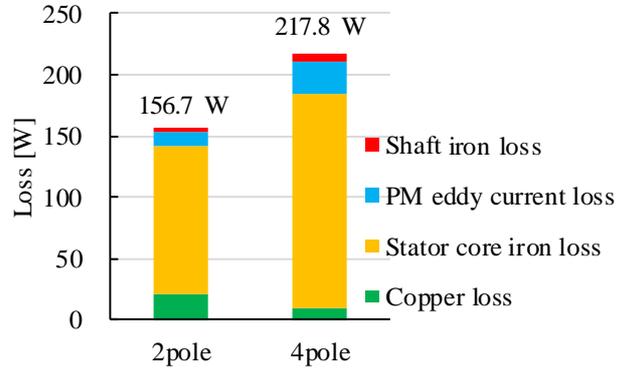


図 2 ネオジウム焼結磁石を用いた 2 極と 4 極の従来モデルにおける解析による損失比較 (100,000 rpm, 2.5 kW)

表 1 ネオジウム焼結磁石を用いた 2 極と 4 極の従来モデルにおける解析による損失密度比較

Model	Rotor [W/L]	Total [W/L]
2pole	758.6	596.4
4pole	1699.2	1231.1

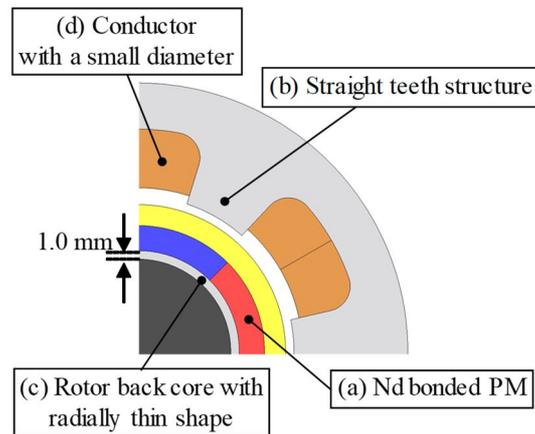


図 3 新たに提案する 4 極構造の断面図

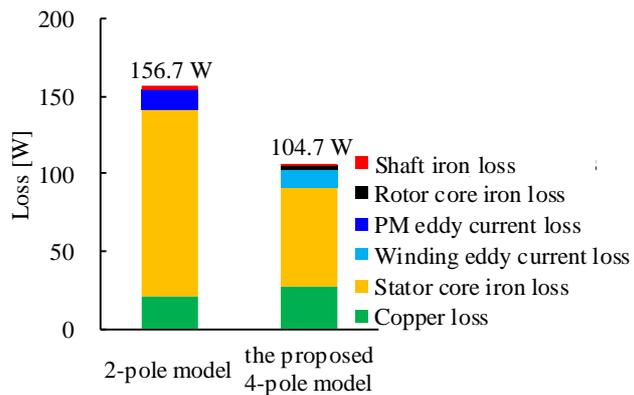


図 4 従来型の 2 極モデルと提案する 4 極構造の損失比較 (100,000 rpm, 2.5 kW)

4. 研究成果

以下の項目について、順を追って研究開発を実施し、研究成果を積み上げた。

4.1 新構造について電磁構造に加えて風損・冷却・危険速度の影響といった機械構造を連成した試作機の詳細な解析設計および設計手法の確立

これまででは、新構造について電磁場解析のみで検討を行ってきた。しかし、実際に超高速モータの試作機を製作するには、風損・冷却・危険速度などの影響も考慮する必要があるため、電磁場解析に加えて、流体解析、熱解析、応力解析、振動解析といった機械構造についても連成して大規模に解析を実施することで、試作機を設計する必要がある。そこで、新構造について電磁構造に加えて風損・冷却・危険速度の影響といった機械構造を連成した試作機の詳細な解析設計を実施した。

4.2 SiC-MOSFET を用いた高周波スイッチングが可能な超高速モータ用のドライブシステムの製作

100,000 rpm で 4 極駆動を実現し、スイッチングリップル電流などによる鉄損を抑制するには、高周波スイッチングによる高精度な電流制御を実現することで、3.33 kHz という非常に高い周波数の電流をひずみの少ない正弦波で通電する必要がある。そのために、SiC-MOSFET を用いた PWM インバータとそのコントロールシステムを製作し、その動作検証を行った。その際、速度制御系や電流制御系などの制御プログラムの製作も行った。

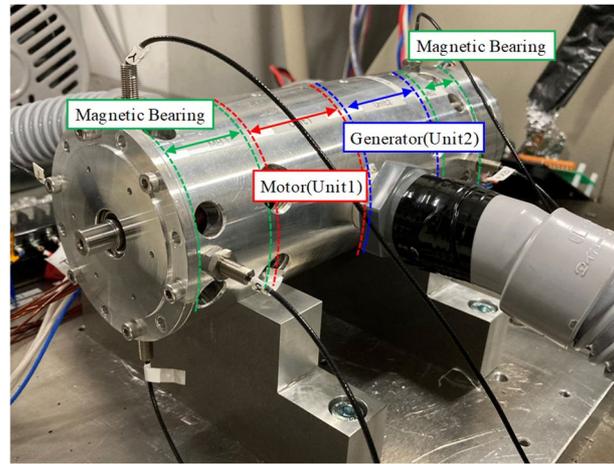
4.3 新構造を備えた超高速モータの製作

4.1 節で設計した新構造を備えた超高速モータを実際に製作した。図 5(a)は、製作した試作の外観を示し、図 5(b)は、試作機の回転子を示す。図 6 は、試作機内部の構成図を示す。100,000 rpm という超高速回転下で 2.5 kW の出力を計測できるトルクメータは世の中に存在していなく、そして、供試機や負荷機などを接続するためのカップリングの製作も非常に困難である。そこで、本研究課題では、図 5(b)に示すように、回転子主軸上に、まったく同じ形状・寸法である今回提案するモータを 2 台タンデムに装着することで、1 台を電動機動作させ、もう 1 台を発電機動作させることで、実負荷試験を実施できる構成とした。さらに、超高速回転下でのベアリング損を抑制し、安定した回転を実現するために、モータの両端に磁気軸受を配置することで、回転子主軸を非接触磁気浮上回転できる構成となっている。この結果、実験の再現性を高めている。回転子の半径方向位置は、鏡面加工されたセンターターゲットを用いて検出し、回転角度は非接触のロータリーエンコーダによって求める。また、製作過程で注意した重要な事項が、コアを製作する際、加工した電磁鋼板を回し積みしながらの積層である。僅かな加工誤差や電磁鋼板の圧延方向とその直交方向における透磁率や鉄損特性の差が、超高速モータにおいて、無視できない損失分布の不均衡に直結するためである。加えて、安定な超高速回転の実現のために、回転子のバランスが重要であり、設計段階から注意した。

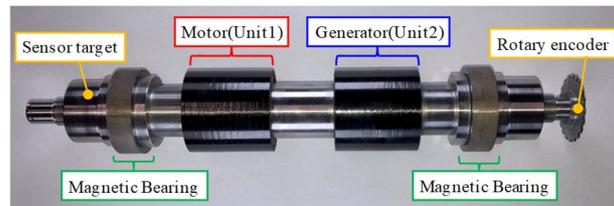
4.4 製作した新構造を備えた超高速モータと SiC-MOSFET を用いたドライブシステムを組み合わせることで、実機による実負荷試験の実施と新構造の有効性の検証

SiC-MOSFET を用いた高周波スイッチングが可能なドライブシステムと新構造を備えた超高速モータの試作機を組み合わせ、100,000 rpm において安定な運転が実現できる制御システムの作りこみを実施した。その結果、安定な超高速回転が実現でき、実負荷試験を実施した。

図 7 は、従来型の 2 極超高速モータの試作機と本研究課題で新たに提案する新構造の 4 極超高速モータの試作機の 100,000 rpm における実負荷試験により計測したそれぞれの効率を示す。2 つの試作機で使用したインバータのスイッチング周波数は、共に駆動周波数の 24 倍である。そして、2 つの試作機にはそれぞれ同じ流量の冷却空気を注入することで、試作機全体を強



(a) Overview



(b) Rotor

図 5 試作機の写真

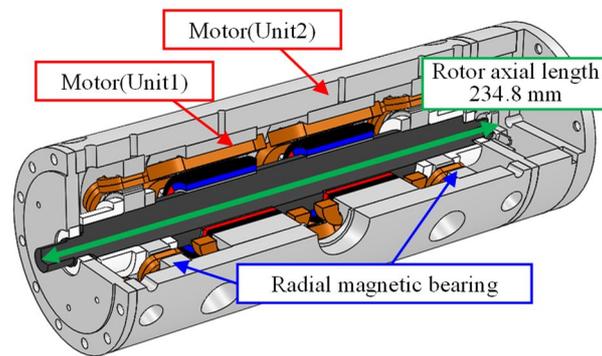


図 6 試作機内部の配置図

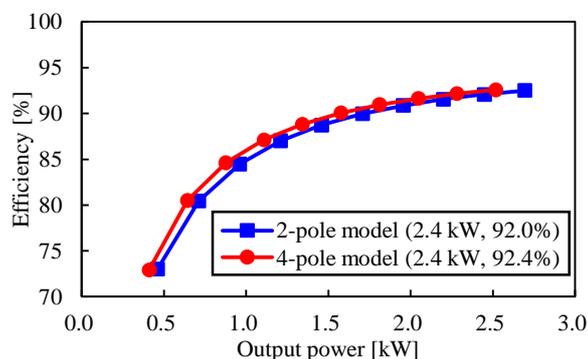
制空冷した。図 7(a)は、出力電力に対する 2 極モータと 4 極モータの風損を含む効率を示す。定格出力電力での効率は、2 極モータで 92.0%、4 極モータで 92.4%です。図 7(b) は、2 つの試作機において、それぞれ風損を除いた効率を示す。風損を除くと、定格出力電力での効率は、従来型の 2 極モータで 94.0%、新構造の 4 極モータで 95.4%です。この実験結果より、新構造の 4 極モータは、4 極集中巻構造において、4 個の改善点を同時に備えることで、出力電力密度が従来型の 1.5 倍、電動機としての効率が 1.4%ポイント向上することが実証できた。

図 8(a)は、従来型の 2 極モータの各回転速度における風損を除いた運転特性を示す。2 極モータでは、回転速度が異なっても、同一トルクでは効率はほとんど変化しない。そして、2 極モータの最大効率は、80,000rpm の最大負荷において 94.3%である。一方、図 8(b)は、新構造の 4 極モータの運転特性を示す。4 極モータでは、回転速度が低いほど、効率が上がる。4 極モータの最大効率は 60,000rpm の最大負荷において 95.9%である。さらに、4 極モータは、2 極モータに比べて運転領域全体で効率が向上している。

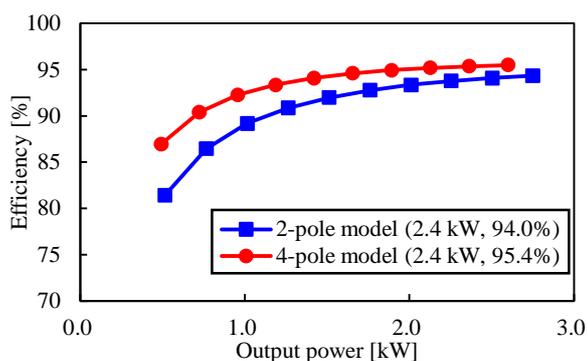
以上の結果より、4 極集中巻構造の超高速モータにおいて、100,000 rpm という超高速回転下で高出力密度化と高効率化を両立するために、新構造とその設計手法が有効であることが実験により明らかになった。

4.5 実験結果と解析結果の詳細な比較検討による更なる高性能化の検討

新構造の 4 極モータの試作機を用いた実負荷試験による出力・損失・効率やモータ各部の温度といった詳細な実験結果と、電磁場解析により求まる同運転条件下における出力・損失・効率や熱流体解析により求まるモータ各部の温度の解析結果などが複数の運転条件で一致するように、熱抵抗などの様々な解析設定条件の同定を正確に実施し、解析精度の向上を図った。そして、解析精度を向上した電磁場解析と熱流体解析を、すべての解析モデルで連成解析するという手法により、モータ形状によるモータ各部の損失密度分布と温度分布の関係を明らかにした。その結果、更なる高出力密度化と高効率化を達成できる構造を求めることができたと同時に、今回用いた手法の有効性を示した。

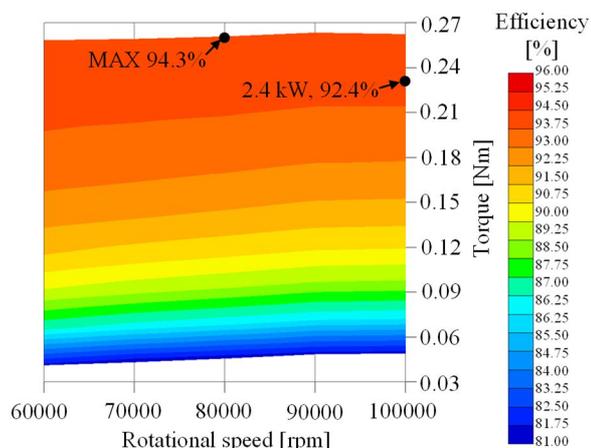


(a) 風損を含む効率

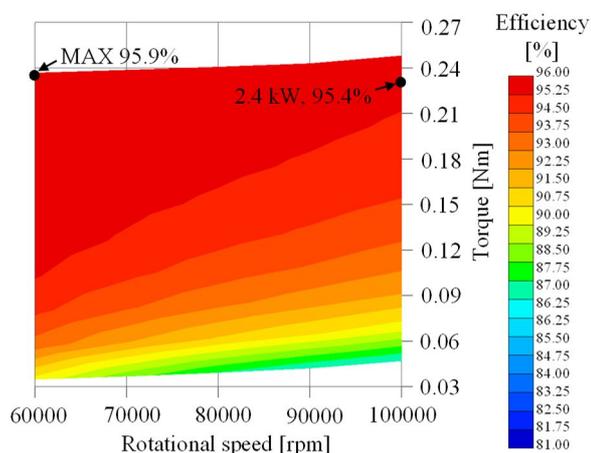


(b) 風損を除外した効率

図 7 風損を除外した 100,000 rpm における従来型の 2 極モータと新構造の 4 極モータの出力に対する効率の測定結果



(a) 従来型の 2 極モータ



(b) 新構造の 4 極モータ

図 8 各回転速度に対する 2 つの試作機の風損を除外した運転特性

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計7件（うち査読付論文 3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 Tao Xianji, Takemoto Masatsugu, Tsunata Ren, Ogasawara Satoshi	4. 巻 11
2. 論文標題 Reduction in Eddy Current Loss of Special Rectangular Windings in High-Torque IPMSM Used for Wind Generator	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 IEEE Access	6. 最初と最後の頁 4740 ~ 4751
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/ACCESS.2023.3236105	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 Tsunata Ren, Takemoto Masatsugu, Imai Jun, Saito Tatsuya, Ueno Tomoyuki	4. 巻 59
2. 論文標題 Comparison of Thermal Characteristics in Various Aspect Ratios for Radial-Flux and Axial-Flux Permanent Magnet Machines	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 IEEE Transactions on Industry Applications	6. 最初と最後の頁 3353 ~ 3367
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/TIA.2023.3255845	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 Tsunata Ren, Yokomichi Keito, Takemoto Masatsugu, Imai Jun	4. 巻 11
2. 論文標題 Design and Analysis of Hybrid-Excitation Variable Flux Memory Motor for Traction Applications: Improving Output Power in High-Speed Area During Six-Step Operation Mode	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 IEEE Access	6. 最初と最後の頁 82024 ~ 82036
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/ACCESS.2023.3301809	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 Tsunata Ren, Takemoto Masatsugu, Imai Jun, Saito Tatsuya, Ueno Tomoyuki	4. 巻 11
2. 論文標題 A Proposal of an Axial-Flux Permanent-Magnet Machine Employing SMC Core With Tooth-Tips Constructed by One-Pressing Process: Improving Torque and Manufacturability	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 IEEE Access	6. 最初と最後の頁 109435 ~ 109447
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/ACCESS.2023.3321829	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 Tsunata Ren, Takemoto Masatsugu, Ogasawara Satoshi, Saito Tatsuya, Ueno Tomoyuki	4. 巻 58
2. 論文標題 SMC Development Guidelines for Axial Flux PM Machines Employing Coreless Rotor Structure for Enhancing Efficiency Based on Experimental Results	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 IEEE Transactions on Industry Applications	6. 最初と最後の頁 3470 ~ 3485
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/TIA.2022.3154336	査読の有無 有
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 J. Park, R. Tsunata, M. Takemoto, K. Orikawa, Ogasawara	4. 巻 30
2. 論文標題 Hybrid-Type PM Motor for Electric Vehicle Traction with improved Reluctance Torque	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of the Japan Society of Applied Electromagnetics and Mechanics	6. 最初と最後の頁 324 ~ 334
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 有
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 Iida Takayuki, Takemoto Masatsugu, Ogasawara Satoshi, Orikawa Koji, Sato Ikuya, Kokubun Hiroyuki, Toba Aki, Shuto Masao	4. 巻 141
2. 論文標題 Selection of Rotor Retaining Sleeve Considering Loss Density and Prototype Machine Operating Characteristics in 2-pole Ultra-High-Speed Motors	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 IEEJ Transactions on Industry Applications	6. 最初と最後の頁 472 ~ 485
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1541/ieejias.141.472	査読の有無 有
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9件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 8件)

1. 発表者名 R. Tsunata, M. Takemoto, J. Imai, T. Saito, and T. Ueno
2. 発表標題 The Superiority of Efficiency Considering Harmonic Current caused by PWM inverter in Axial-Flux PM Machine Using Ferrite PM for Traction applications: Comparison to Radial-Flux PM Machines Using NdFeB PM
3. 学会等名 the 2023 IEEE Energy Conversion Congress and Exposition (ECCE) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1 . 発表者名 J. Park, R. Tsunata, M. Takemoto, S. Ogasawara and K. Orikawa
2 . 発表標題 Evaluation of Switching Ripple Effect on Efficiency of Novel Spoke-Type IPMSM Using Dy-Free Magnet-Comparison to IPMSM using NbFeB Magnet
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 K. Terada, M. Takemoto, R. Tsunata and J. Imai
2 . 発表標題 Dividing Repulsion Permanent Magnets for Enhancing Suspension Force Characteristics in a 1-axis Active Control Type Magnetic Levitation Pump
3 . 学会等名 IECON 2022; 48th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society (国際学会)
4 . 発表年 2022年

1 . 発表者名 R. Nakazawa, M. Takemoto, S. Ogasawara, R. Tsunata and K. Orikawa
2 . 発表標題 Examination of the Characteristics of a Hybrid Excitation Motor with Field Winding on a Rotor for Electric Vehicle and Hybrid Vehicle Traction
3 . 学会等名 IECON 2022; 48th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society (国際学会)
4 . 発表年 2022年

1 . 発表者名 K. Izumiya, R. Tsunata, M. Takemoto, J. Imai, T. Saito and T. Ueno
2 . 発表標題 Axial-Flux Machine Using Ferrite PM and Round Wire Competitive to Radial-Flux Machine Using Nd-Fe-B PM for HEV Traction
3 . 学会等名 the 2022 International Conference on Electrical Machines (ICEM), 2022 (国際学会)
4 . 発表年 2022年

1. 発表者名 K. Yokomichi, R. Tsunata, M. Takemoto and J. Imai
2. 発表標題 A Proposal of Hybrid Excitation Variable Flux Memory Motor Having Field Winding with Magnetization Function in the Rotor
3. 学会等名 the 2022 IEEE Energy Conversion Congress and Exposition (ECCE) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 R. Nakazawa, M. Takemoto, S. Ogasawara and K. Orikawa
2. 発表標題 Basic Examination for an Adjustable Field IPM Motor with a Field Adjustment Winding on a Rotor
3. 学会等名 the 2022 IEEE Energy Conversion Congress and Exposition (ECCE) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 R. Tsunata, M. Takemoto, J. Imai, T. Saito and T. Ueno
2. 発表標題 Comparison of Thermal Characteristics in Various Aspect Ratios of Radial-Flux and Axial-Flux Permanent Magnet Machines
3. 学会等名 the 2022 IEEE Energy Conversion Congress and Exposition (ECCE) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 高井 一光, 竹本 真紹, 小笠原 悟司, 折川幸司
2. 発表標題 集中巻固定子を持つ100,000rpm超高速PMモータの高出力密度化に関する検討 ~積層化した磁石保護リングの磁性・非磁性材料の比較~
3. 学会等名 電気学会モータドライブ/家電・民生合同研究会
4. 発表年 2022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
---------	---------