

令和 4 年 6 月 16 日現在

機関番号：32675

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2019～2021

課題番号：19K04357

研究課題名（和文）電気機器の時空間電磁界現象を忠実に模擬した高速高精度設計最適化手法の開発

研究課題名（英文）Development of High-speed and High-accuracy Design Optimization Method with Precise Behavior of Space-time Electromagnetic Field in Electrical Machines

研究代表者

岡本 吉史 (Okamoto, Yoshifumi)

法政大学・理工学部・教授

研究者番号：40415112

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,400,000円

研究成果の概要（和文）：国内のエネルギーの半分以上が、モータに使用されている。本研究では、「1. モータの高出力化を主眼とした電磁界数値解析とトポロジー最適化を併用した革新的な設計最適化手法の構築」、さらには、「2. 設計最適化手法で必要となるモータ鉄芯の磁気特性測定の高速度化」を行った。1の研究では、三相交流回路で駆動される永久磁石同期電動機において、電磁界・電気回路の強連成、ロータの回転、鉄芯の磁気非線形性、定常状態における目的関数の勾配計算法を提案し、設計最適化へ導入することに成功した。2の研究では、Deep Neural Networkにより、Bコイルの出力電圧を正弦波化する時間を削減することに成功した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

三相交流回路で駆動する永久磁石同期電動機の設計最適化において、回転子の回転と磁界・回路双方の動特性を考慮して得られた感度を使用した手法は世界初の技術である。また、実際の時空間現象を緻密に考慮できるため、設計現場における高精度設計に役立つ技術となり得る。また、モータ鉄芯の磁気特性測定では、波形制御に相応の反復回数・時間が必要であったが、Deep Neural Networkの導入により、大幅に高速化することができた。設計最適化への導入だけでなく、新たな材料開発のためにも大いに役立つ技術であると考えている。

研究成果の概要（英文）： Because the half of energy in Japan is consumed by the motor, the research target was designated to the first topic "Development of innovative design optimization method using the numerical electromagnetic field analysis coupled with the topology optimization" and the second one "The elapsed time reduction for the measurement of the magnetic property which is required on the design optimization method". In the first topic, the sensitivity calculation method, with the consideration of strongly coupled analysis between electromagnetic field and three-phase electric circuit, the rotor rotation, the magnetic nonlinearity of magnetic core, and steady state, was proposed. Furthermore, it was successfully applied to the topology optimization. In the second topic, the elapsed time reduction of being sinusoidal wave form derived from B-coil was achieved.

研究分野：電磁気工学

キーワード：電磁界数値解析 トポロジー最適化 磁気特性測定 深層学習 感度解析 随伴変数法 永久磁石同期電動機

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。

様式 C-19、F-19-1、Z-19（共通）

1. 研究開始当初の背景

CO₂濃度の増加や東日本大震災の発生以降、国内の各所で省エネルギー化が強く要求されている。また、電力自由化の本格的な運用が開始され、再生可能エネルギーが積極的に採用されるようになった。このような時代の趨勢から、エネルギーの効率的使用が、益々、要求されている。国内の年間消費電力量は、10¹² kWh 超と見積もられており、特に、モータの消費電力に限っては、その半分以上を占めており、電気機器の効率的運用と高効率設計が、エネルギー問題解決の一翼を担っている。本研究では、モータ等を含めた電気機器の高効率設計を目標として、有限要素法を礎とした電磁界における数値解析手法とトポロジー最適化手法を併用させ、工学的に許容できる時間内（数日）に、試作量を最小限に抑えることができる電気機器の高精度化設計を行える設計最適化手法の構築を目的とする。

一般的に、電気機器の設計最適化手法における順問題の手法として、機器内部の電磁鋼鉄の磁気非線形性や渦電流をモデリングしやすい有限要素法が採用される。本研究でも、有限要素法を採用して、設計最適化手法の構築を行う。一方、最適化手法として採用するトポロジー最適化は、寸法最適化、形状最適化に次ぐ、第三の設計最適化手法として、1988年に構造力学の分野で、Bendsøe、菊池らによって提案された^[1]。本手法は、各有限要素に充填する材料密度を同定することで（鉄芯 or 空気の ON-OFF 問題）、構造のトポロジー変化をも考慮した手法である。以降、1996年に、Dyckらにより、二次元静磁界問題へ適用し、電磁界問題への適用の可能性が示唆された^[2]。その後、我々の研究グループでは、トポロジー最適化を磁気シールドの三次元構造や内部埋込式永久磁石同期（IPM）モータのロータ構造等の実規模電気機器設計へ応用^[3]した。しかし、トポロジー最適化を採用した電気機器設計に関する報告は、静磁界問題に帰着させた手法が多く、空間電磁界の時間変動を厳密に考慮した設計最適化手法はあまりない。

設計現場で要求される設計最適化手法として、磁気飽和が考慮された時空間非線形電磁界現象で構成されたシステムが要求されている。これらの導入は、計算時間、計算負荷も大きく、目的関数の勾配計算手法である感度解析に必要となる時間領域随伴変数法^[4]の実装は多難を極める。それゆえ、これら全ての事象を導入した論文は、世界的に報告されていない。よって、これらの統一的定式化や最適化問題の求解手法は、電気機器設計工学における未解明な内容であるため重要性は極めて高い。

2. 研究の目的

(1) 時空間非線形電磁界現象を考慮した設計最適化手法の開発

我々の研究グループは、設計最適化の高速化を図るため、目的関数の勾配を使用した最適化手法（Method of Moving Asymptotes^[5]等）を使用している。それゆえ、時間積分された物理量を目的関数として採用した場合、その勾配を計算するための随伴変数法による感度解析が必須となる。しかし、時間領域随伴変数法^[4]における、磁気非線形性の考慮法については、学術的に未解明な点である。本項目では、電磁界が時間的に変動した場合における磁性体の磁気飽和現象を考慮した時間領域非線形随伴変数法の開発を行う。

(2) 三相駆動永久磁石同期電動機の時間領域特性を考慮した設計最適化手法の開発

現在のトポロジー最適化に関する報告では、計算時間削減の観点からも、複雑な時間変動場が静的な解析として置換されている例が殆どである。本項目では、(1)で開発した磁性体の磁気非線形特性を考慮した時間領域随伴変数法を、三相交流回路と強連成した永久磁石同期電動機へ適用することを目標とする。

(3) 電磁鋼鉄の磁気特性測定の高速度化

電磁鋼鉄に時間変動する磁界が印可された場合、磁気ヒステリシス現象が発現する。本研究で採用する目的関数の感度に、磁気ヒステリシス現象の影響も考慮することで、時空間電磁界の高精度化を図ることができる。そこで、実際の設計最適化へ導入する前段階として、B コイルの出力電圧が正弦波となるようにフィードバック制御を行う方法を検討し、さらに、フィードバック回数を低減するため、Deep Neural Network（DNN）を導入した波形制御法を検討する。

3. 研究の方法

(1) 時空間非線形電磁界現象を考慮した設計最適化手法の開発

磁気非線形性を考慮した定常状態における感度解析の妥当性検証を行う。その際、前肢差分と比較することで、設計最適化へ感度を受け渡せるような精度であることを確認する。次に、本手法を車載用リアクトルの設計最適化へ導入する。本問題は、リアクトル外部に配置されたアルミ導体に発生する渦電流損失を指定値以下に維持しながら、直流重畳下における自己インダクタンスの最大化を目指す。

(2) 三相駆動永久磁石同期電動機の時間領域特性を考慮した設計最適化手法の開発

前項で開発した時間領域随伴変数法を三相交流回路と強連成した永久磁石同期電動機のトポロジー最適化へ適用する。三相交流回路を強連成した問題に対して、感度解析の精度を緻密に確認した後、トポロジー最適化へ適用する。

(3) 電磁鋼板の磁気特性測定の高速度化

DNN を導入する際、学習データが必要となる。B コイルの電圧波形（奇数次の高調波成分）を入力とし、励磁電圧 v_e 波形を出力するネットワークを構築する。DNN の実装には、Keras^[6]、TensorFlow^[7]を採用し、各種計測器（オシロスコープ・ファンクションジェネレータ・SST・パワーアンプ）をLabVIEW^[8]により制御する。

4. 研究成果

(1) 時空間非線形電磁界現象を考慮した設計最適化手法の開発

磁気非線形性を考慮した時間領域随伴変数法（AVM）を開発し、さらに、定常状態における感度解析手法を開発した。本法を図1に示す車載用ポット型リアクトルへ適用し、 $z = 7 \text{ mm}$ における r 軸方向の感度の値を前進差分（FDM）と比較した。結果、図2に示すように、渦電流損 W_e 、直流重畳インダクタンス W_L の感度解析において、開発したAVMの結果は、FDMと概ね一致していることが確認できる。

次に、図1のポット型リアクトルの直流重畳インダクタンスを最大化し、なおかつ、導体プレート W_c に発生する渦電流損を最小化することを目的として、設計領域 W_m, W_w に鉄芯、一次巻線のトポロジーを最適化手法により決定する。結果、図3のような構造が得られた。漏れ磁束を防止し、なおかつ、自己インダクタンスを高める構造であることが理解できる。本検討の詳細な結果は、文献 [9] に詳述されている。

(2) 三相駆動永久磁石同期電動機の時間領域特性を考慮した設計最適化手法の開発

図4に示す車載用永久磁石同期電動機（IPMSM）の最適化モデルと連成を行う三相交流回路を図5に示す。

図6に磁界解析と三相交流回路を連成した場合におけるAVMによる感度解析の計算精度を示す。なお、平均トルクを目的関数とした。これより、AVMは、FDMの結果と遜色のない結果が得られていることを理解できる。

図7にIPMSMへの入力電力を指定値以下に維持し、なおかつ、トルクリップルを指定値以下に維持しながら、定常状態における平均トルクの最大化できるIPMSMの構造を示す。これより、 d 軸磁束を増加させるため、永久磁石間にフラックスバリアが生成された。また、トルクリップルを低減するため、永久磁石端部にもフラックスバリアが生成されていることが明らかになった。

以上の結果より、磁界解析と三相交流回路を強連成させた場合においても、効果的な設計最適化を実施できており、時空間電磁界の変化を考慮したトポロジー最適化が可能であることが明らかとなった。本内容の子細な結果については、文献 [10] に記載されている。

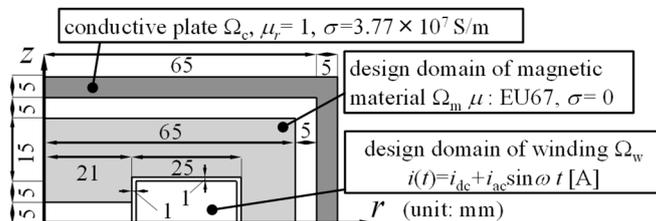


図1 ポット型リアクトル解析モデル

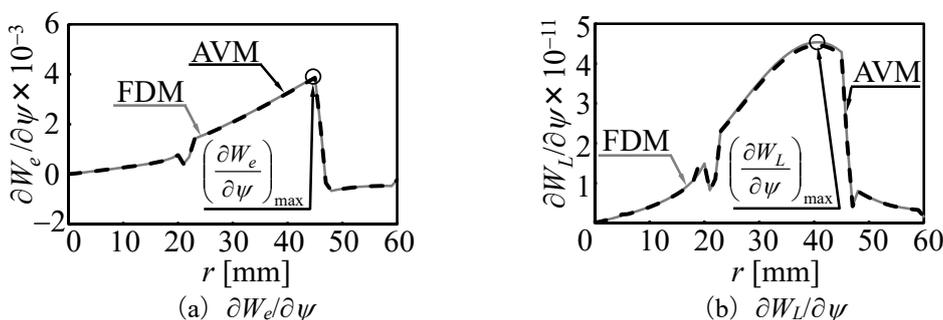


図2 時間領域随伴変数法の計算精度

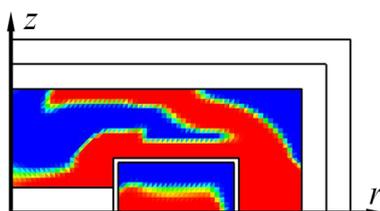


図3 ポット型リアクトルのトポロジー最適化結果

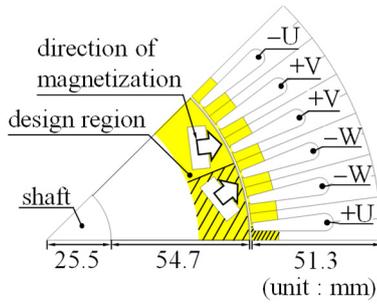


図4 IPMSMの最適化モデル

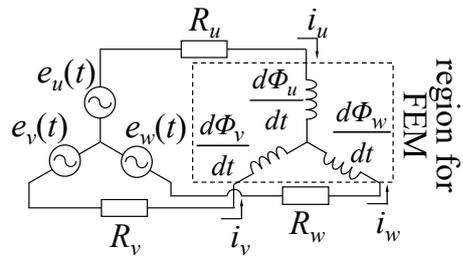


図5 三相交流回路

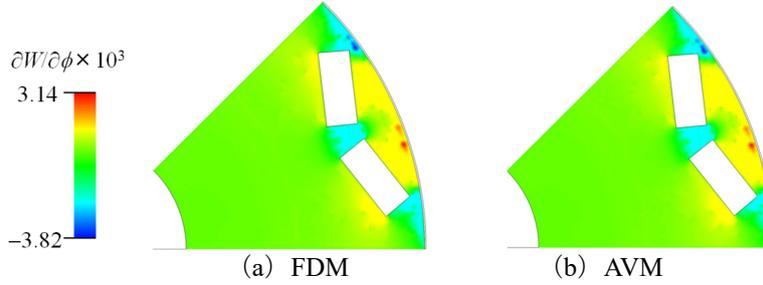


図6 感度解析結果

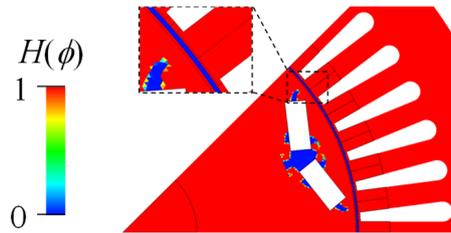
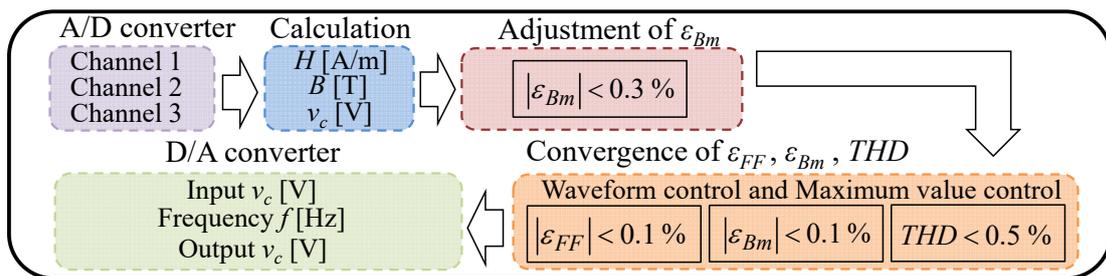


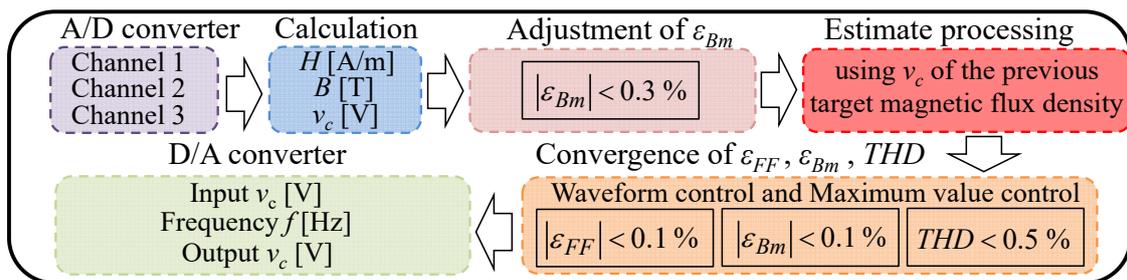
図7 設計最適化結果

(3) 電磁鋼鉄の磁気特性測定の高速度化

磁気特性の測定では、B コイルの出力電圧 v_b を正弦波に近づける必要がある。そのため、フィードバック制御を活用し、励磁電圧 v_c を歪ませる必要がある。本研究では、図8(a)に示す磁気特性システムを採用していたが、飽和磁束密度に近づくにつれて、フィードバック回数が増加傾向にあったため、図8(b)に示すように、 v_c の初期波形をDNNにより推定する。本研究で採用したDNNは、Keras^[6]で実装している。また、DNNでは、入力データとして v_b 波形のフーリエ級数展開した各調波成分の振幅を採用し、出力データとして v_c 波形のフーリエ級数展開し



(a) 従来システム



(b) DNNによる初期波形推定を付加した測定システム

図8 磁気ヒステリシス特性測定システム

た各調波成分の振幅を採用している。本研究では、各種計測器を LabVIEW によりシステム化している。また、図 9 のような GUI を設計し、リアルタイムで測定情報を可視化できるようにしている。

表 1 に DNN で初期波形推定を行った技法 (Proposed Method) を使用した場合のフィードバック回数を示す。これより、従来法よりもフィードバック回数が低減しており、計測時間も大幅に低減していることがわかる。また、図 10 に B と v_c の時間特性を示す。Conventional Method, Proposed Method とも、 B 波形を正弦波に収束できていることがわかる。

なお、本内容の子細な結果は、文献 [11] に示されている。

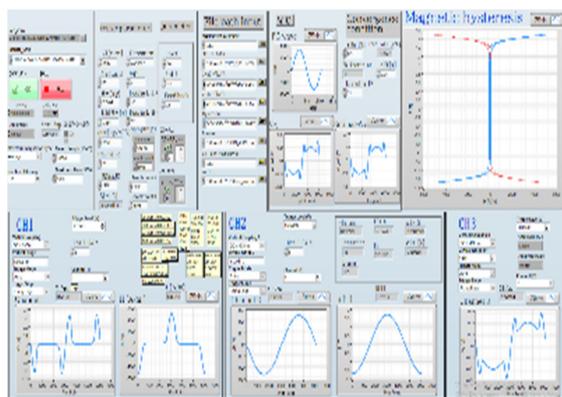


図 9 磁気測定 GUI

表 1 測定時間とフィードバック回数

B [T]	Conventional Method		Proposed Method	
	Elapsed time [s]	Number of feedbacks	Elapsed time [s]	Number of feedbacks
1.5	40	6	13	2
1.55	45	7	6	1
1.6	70	11	13	2
1.65	77	12	13	2
1.7	110	17	6	1
1.75	125	18	13	2
1.8	138	20	6	1
Sum	605	91	70	11

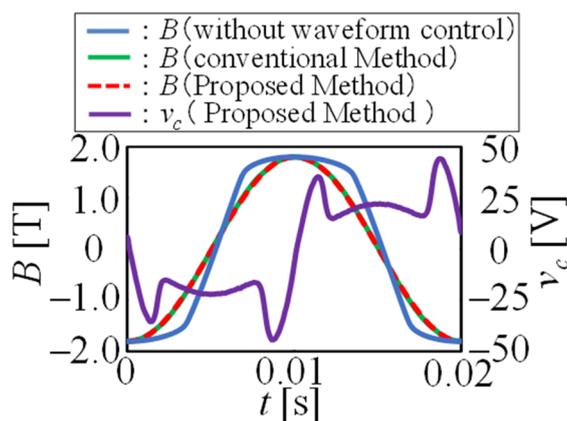


図 10 B 波形と v_c 波形

引用文献

- [1] M. P. Bendsøe and N. Kikuchi, *Comput. Methods Appl. Mech. Eng.*, vol. 71, pp. 197-224 (1988).
- [2] D. N. Dyck and D. A. Lowther, *IEEE Trans. Magn.*, vol. 32, no. 3, pp. 1188-1193 (1996).
- [3] Y. Okamoto, H. Masuda, Y. Kanda, R. Hoshino, and S. Wakao, *IEEE Trans. Magn.*, vol. 53, no. 6, Art. ID 7206204 (2017).
- [4] I. Park, I. Kwak, H. Lee, S. Hahn, and K. Lee, *IEEE Trans. Magn.*, vol. 32, no. 3, pp. 1242-1245 (1996).
- [5] K. Svanberg, *Int. J. Numer. Meths. Eng.*, vol. 24, no. 2, pp. 359-373 (1987).
- [6] Keras; <https://keras.io/ja/>
- [7] Tensorflow; <https://www.tensorflow.org/?hl=ja>
- [8] National Instruments, "LabVIEW," <https://www.ni.com/ja-jp/shop/labview.html>
- [9] Y. Okamoto, "Topology optimization of DC-biased pot-type reactor using design sensitivity in steady state of electromagnetic field with magnetic nonlinearity," *International Journal of Applied Electromagnetics and Mechanics*, (2022) (to be published)
- [10] 片山一哉・山野眞輝・岡本吉史:「電磁界・三相交流回路強連成解析と数値計画法の併用による時間領域特性を考慮した IPMSM のトポロジー最適化」, 電気学会静止器・回転機合同研究会資料, SA-22-020, RM-22-020 (2022)
- [11] 角 和樹・岡本吉史・藤原耕二・佐々木秀徳:「Deep Neural Network を用いた初期波形推定による単板磁気試験器における磁束波形制御の高速化に関する検討」, 令和 4 年電気学会全国大会資料, Web11-A1・磁性材料 (I)・2-063 (2022)

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計6件（うち査読付論文 6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 Yuki Yamashita and Yoshifumi Okamoto	4. 巻 56
2. 論文標題 Design Optimization of Synchronous Reluctance Motor for Reducing Iron Loss and Improving Torque Characteristics Using Topology Optimization Based on the Level-Set Method	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 IEEE TRANSACTIONS ON MAGNETICS	6. 最初と最後の頁 7510704
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1109/TMAG.2019.2954468	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 山下祐輝, 子田 陸, 片山一哉, 岡本吉史	4. 巻 Vol. 141, No. 9
2. 論文標題 密度法・レベルセット法の段階的使用による IPM モータのマルチマテリアル構造最適化	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 電気学会論文誌D	6. 最初と最後の頁 729, 737
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1541/ieejias.141.729	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 Yoshifumi Okamoto	4. 巻 -
2. 論文標題 Topology optimization of DC-biased pot-type reactor using design sensitivity in steady state of electromagnetic field with magnetic nonlinearity	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 International Journal of Applied Electromagnetics and Mechanics	6. 最初と最後の頁 -
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 Hiroshi Masuda, Yoshifumi Okamoto, Shinji Wakao	4. 巻 Vol. 38, No. 3
2. 論文標題 Multistage Topology Optimization of Induction Heating Apparatus in Time Domain Electromagnetic Field with Magnetic Nonlinearity	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 COMPEL - The International Journal for Computation and Mathematics in Electrical and Electronic Engineering	6. 最初と最後の頁 1009, 1022
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1108/COMPEL-10-2018-0386	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 増田弘, 岡本吉史, 若尾真治, 高橋篤弘	4. 巻 J102-C/ 5
2. 論文標題 トポロジー最適化による球殻電磁シールドの遮蔽性能向上に関する検討	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 電子情報通信学会論文誌 C	6. 最初と最後の頁 161, 163
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 貝森弘行, 岡本吉史, 若尾真治	4. 巻 Vol. 139, No. 4
2. 論文標題 トポロジー最適化から得られた同期リラクタンスモータにおけるトルクリプル低減要因に関する検討	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 電気学会論文誌D	6. 最初と最後の頁 380, 387
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1541/ieejias.139.380	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28件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件)

1. 発表者名 子田 陸, 山下祐輝, 岡本吉史
2. 発表標題 フーリエ級数展開を援用したマルチマテリアルトポロジー最適化手法の収束特性改善
3. 学会等名 電気学会 静止器・回転機合同研究会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 荒瀬浩平, 子田陸, 岡本吉史
2. 発表標題 PDEフィルタを援用したトポロジー最適化によるアウターローター型SPMモータの構造複雑性低減に関する検討
3. 学会等名 電気学会 静止器・回転機合同研究会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 山下祐輝, 子田 陸, 片山一哉, 岡本吉史
2. 発表標題 最急降下法とレベルセット法を併用したトポロジー最適化手法によるIPMモータのマルチマテリアル構造最適化
3. 学会等名 電気学会 静止器・回転機合同研究会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 山野眞輝, 山下祐輝, 片山一哉, 岡本吉史
2. 発表標題 磁気非線形性を考慮した時間領域随伴変数法による誘導電動機の感度解析に関する検討
3. 学会等名 電気学会 全国大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 子田 陸, 荒瀬浩平, 岡本吉史
2. 発表標題 実数値遺伝的アルゴリズムによるアウトロータ型同期電動機の鉄芯・永久磁石・磁化角の設計最適化
3. 学会等名 電気学会 全国大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 風見浩之, 大倉寛ノ介, 角 和樹, 岡本吉史
2. 発表標題 LabVIEWによる波形自動制御機構を実装した単板磁気特性試験法に基づく磁気測定システムの開発に関する検討
3. 学会等名 電気学会 全国大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 片山一哉, 山下祐輝, 山野眞輝, 岡本吉史
2. 発表標題 時間領域随伴変数法を用いた磁界・電気回路強連成解析における設計感度解析に関する検討
3. 学会等名 電気学会 全国大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 山下祐輝, 岡本吉史
2. 発表標題 感度解析に基づくトポロジー最適化手法による同期電動機の高トルク・低鉄損化に関する検討
3. 学会等名 電気学会静止器・回転機合同研究会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 荒瀬浩平, 岡本吉史, 若尾眞治
2. 発表標題 レベルセット法に基づく複数材料の構造変化を考慮した電磁機器トポロジー最適化手法の検討 - 磁石磁化方向の設計パラメータへの導入
3. 学会等名 電気学会静止器・回転機合同研究会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 山下祐輝, 荒瀬浩平, 岡本吉史
2. 発表標題 永久磁石磁化方向の変化を考慮したマルチマテリアルトポロジー最適化手法によるIPMモータの高トルク・低鉄損構造の導出
3. 学会等名 電気学会静止器・回転機合同研究会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Hiroshi Masuda, Kohei Arase, Yoshifumi Okamoto, and Shinji Wakao
2. 発表標題 Multi-objective Topology Optimization of DC-biased Reactor in Steady-state Time-domain with Magnetic Nonlinearity
3. 学会等名 the 22nd International Conference on the Computation of Electromagnetic Fields (COMPUMAG 2019)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yoshifumi Okamoto, Yuki Yamashita, Reiya Suzuki, Hiroyuki Kaimori, and Shinji Wakao
2. 発表標題 Design Optimization of Rotor Structure in Synchronous Reluctance Motor to Improve Torque Characteristics in Several Driving Conditions Using Topology Optimization
3. 学会等名 the 22nd International Conference on the Computation of Electromagnetic Fields (COMPUMAG 2019)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Hiroyuki Sawada, Reiya Suzuki, and Yoshifumi Okamoto
2. 発表標題 Optimization of Rotor Structure for Synchronous Reluctance Motor Using Coupled Topology Optimization Based on Electromagnetic Field Analysis and Structural Mechanics
3. 学会等名 the 19th International Symposium on Electromagnetic Fields in Mechatronics, Electrical and Electronic Engineering (ISEF 2019)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 荒瀬浩平, 岡本吉史, 若尾真治
2. 発表標題 密度法とレベルセット法を併用したトポロジー最適化によるリニア同期モータの推進力最大化に関する検討
3. 学会等名 電気学会 全国大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 山下祐輝, 岡本吉史
2. 発表標題 フラックスバリア・鉄芯・永久磁石の構造変化を考慮した IPM モータのマルチマテリアルトポロジー最適化
3. 学会等名 電気学会 全国大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 山野眞輝, 荒瀬浩平, 岡本吉史, 若尾真治
2. 発表標題 レベルセット法に基づくトポロジー最適化による開磁路型一様磁界生成器の設計最適化
3. 学会等名 電気学会全国大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 子田陸, 澤田浩幸, 岡本吉史, 若尾真治
2. 発表標題 開数展開法を用いた実数値遺伝的アルゴリズムによる磁石埋込式同期電動機の電磁気・構造トポロジー最適化
3. 学会等名 電気学会全国大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 風見浩之, 高橋良彰, 岡本吉史
2. 発表標題 電磁鋼板の単板磁気特性試験法における最急降下法を用いた波形制御に関する検討
3. 学会等名 電気学会全国大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Yoshifumi Okamoto
2. 発表標題 Topology Optimization of DC-biased Pot-type Reactor Using Design Sensitivity in Time Domain Electromagnetic Field with Magnetic Nonlinearity
3. 学会等名 the 16th International Workshop on Optimization and Inverse Problems in Electromagnetism (OIPE 2021)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 片山一哉, 山野真輝, 岡本吉史
2. 発表標題 電磁界・三相交流回路強連成解析に基づく時間領域随伴変数法を用いた I P M モータのトポロジー最適化
3. 学会等名 電気学会静止器・回転機合同研究会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 山野真輝, 片山一哉, 岡本吉史
2. 発表標題 時間領域随伴変数法を援用した誘導電動機のトポロジー最適化に関する基礎検討
3. 学会等名 電気学会静止器・回転機合同研究会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Riku Koda, Yoshifumi Okamoto
2. 発表標題 Convergence Acceleration of Multi-material Structural Optimization Method Based on Fourier Series Expansion for Outer-rotor Permanent Magnet Synchronous Motor
3. 学会等名 the 24th International Conference on Electrical Machines and Systems (ICEMS 2021)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Masaki Yamano, Kazuya Katayama, and Yoshifumi Okamoto
2. 発表標題 Sensitivity-based Topology Optimization of Induction Motor in Time Domain with Magnetic Nonlinearity
3. 学会等名 the 23rd International Conference on the Computation of Electromagnetic Fields (COMPUMAG 2021)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Kazuya Katayama, Masaki Yamano, and Yoshifumi Okamoto
2. 発表標題 Sensitivity Analysis Using Time Domain Adjoint Variable Method for Topology Optimization of IPM Motor Supported by Finite Element Analysis Coupled with Three-phase Voltage Source
3. 学会等名 the 23rd International Conference on the Computation of Electromagnetic Fields (COMPUMAG 2021)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 山野真輝, 片山一哉, 岡本吉史
2. 発表標題 レベルセット法によるかご型誘導電動機の時間領域マルチマテリアルトポロジー最適化
3. 学会等名 電気学会静止器・回転機合同研究会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 片山一哉, 山野真輝, 岡本吉史
2. 発表標題 電磁界・三相交流回路強連成解析と数理計画法の併用による時間領域特性を考慮したIPMSMのトポロジー最適化
3. 学会等名 電気学会静止器・回転機合同研究会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 角 和樹, 岡本吉史, 藤原耕二, 佐々木 秀徳
2. 発表標題 Deep Neural Network を用いた初期波形推定による単板磁気試験器における磁束波形制御の高速化に関する検討
3. 学会等名 電気学会全国大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 子田 陸, 岡本吉史
2. 発表標題 実数値遺伝的アルゴリズムによるリラクタンスモータの磁界・構造連携トポロジー最適化
3. 学会等名 電気学会全国大会
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
研究 分担 者	若尾 真治 (Wakao Shinji) (70257210)	早稲田大学・理工学術院・教授 (32689)	

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
---------	---------