

令和 6 年 6 月 24 日現在

機関番号：10101

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2021～2023

課題番号：21H01301

研究課題名（和文）トポロジー最適化による永久磁石モータの新しい3次元構造の創出

研究課題名（英文）Generation of new three-dimensional structure of permanent magnet motors using topology optimization

研究代表者

五十嵐 一（Igarashi, Hajime）

北海道大学・情報科学研究院・教授

研究者番号：90212737

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 13,200,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では永久磁石モータの新しい3次元構造を獲得するために、ガウス基底を用いたトポロジー最適化を行った。このためにモータを回転軸方向に数層に分け、それぞれの層で最適な断面形状を求めるトポロジー最適化を実現した。これにより、高い平均トルクと極めて低いトルクリプルを持つ新しい3次元回転子構造を見出すことができた。また回転軸方向に段スキューを導入した3次元構造の永久磁石モータを対象として、スキュー角度とフラックスバリア構造のパラメータ・トポロジー同時最適化を実現した。この結果、製造誤差に頑健かつトルクリプルの低いモータ構造を得ることができた。また深層学習によるトポロジー最適化の高速化法も開発した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では、永久磁石モータの回転子構造の3次元トポロジー最適化を行った。本最適化では、回転子を複数の層に分割し、それぞれの層で独立に永久磁石構造を変化させることで、モータ全体の平均トルクを最大化しつつ、トルクリプルを最小化した。最適化により見出した各層で異なる永久磁石構造を持つモータは、これまで報告がなく、学術的な新規性を有する。また本研究では、スキュー角と回転子の磁気トポロジーを同時に最適化する新しい手法を開発した。これら研究成果は、電気自動車用モータなど高い性能が要求されるモータの開発に有効である。

研究成果の概要（英文）：In this study, topology optimization using the Gaussian basis was performed to obtain a new three-dimensional structure for permanent magnet motors. For this purpose, the motor was divided into several layers in the direction of the axis of rotation, and topology optimization was performed to find the optimal cross-sectional shape for each layer. This resulted in a new three-dimensional rotor structure with high average torque and extremely low torque ripple. For a three-dimensional permanent magnet motor with a stepped skew in the axial direction, simultaneous parameter and topology optimization of the skew angle and flux barrier structure was achieved. As a result, a motor structure with low torque ripple and robustness to manufacturing errors was obtained. A method to accelerate topology optimization by deep learning was also developed.

研究分野：最適設計

キーワード：トポロジー最適化 最適設計 深層学習 電磁界解析 永久磁石モータ

## 1. 研究開始当初の背景

形状最適化にはパラメータ最適化とトポロジー最適化がある。パラメータ最適化では設計者が与えた寸法、座標などの形状パラメータを変化させ、所望の特性を満たす最適解を探索する。この方法は現在、設計現場で広く使用されているが、適切なパラメータの設定には豊富な知識と経験が必要である。また本手法では新規構造を得ることが難しい。一方、自由に対象を変形させて最適形状を探索するトポロジー最適化は、形状パラメータの設定が不要であるとともに、全く新しい構造発見につながる可能性を持つ。研究代表者らが開発したガウス基底と確率論的最適化手法に基づくトポロジー最適化法[1, 2]は永久磁石モータや同期リラクタンスモータの2次元モデルに適用され、その有効性が多くの研究者、企業により確認されてきた。

一方、薄型モータでは端部効果が大きいいため、2次元断面最適化では所望の性能を得ることが難しい。薄型モータは電気自動車、バイクや電動自転車に多用されており、産業的に重要である。端部効果を考慮して薄型モータの限界性能を引き出すためには、3次元構造最適化が必須である。さらに薄型以外の一般モータに、断面のみならず軸方向への構造変化を含むトポロジー最適化を適用することにより、革新的な3次元構造の発見と、モータ特性の飛躍的向上が期待される。

## 2. 研究の目的

本研究では、永久磁石モータの最適設計法を大きく拡張し、鉄心のみならず永久磁石の形状と配向を自由に変化させるとともに、モータ軸方向への構造変化を包含する3次元トポロジー最適化を実現する。本研究により、電気自動車などに使用される薄型モータの性能向上を実現するとともに、たとえば軸方向に回転子が磁石埋め込み型から表面磁石型に変化するような、全く新しいモータ3次元構造の獲得と、それによるモータ性能の飛躍的向上を目指す。さらに本最適化法を設計現場で活用可能にするため、3次元深層学習による高速化を実現する。また、上記のトポロジー最適化を実現するため、最適化法自体の様々な高度化も行う。

## 3. 研究の方法

本研究で用いるトポロジー最適化では、まず数10の基底関数 $G_j$  (ガウス関数)を設計領域に一樣に配置する。基底関数の重み付き和により形状関数 $y$ を定義し、 $y \geq 0$ の領域を鉄、 $y < 0$ の領域を非磁性体とする。重み係数 $w_j$ を変化させると、形状関数の分布が変化するため、それに応じて鉄心形状が変化する。そして、平均トルクなどの特性値が最大(または最小)になるように、重み係数を求める。本研究ではこの最適化問題を解くために、遺伝的アルゴリズムを用いる。遺伝的アルゴリズムは勾配計算を必要せず、また広域探索が可能であるため汎用性が高く、モータの最適設計に極めて有効である。3次元トポロジー最適化の場合、3次元設計領域にガウス基底関数を均一に配置する。

3次元トポロジー最適化では、3次元磁界解析による特性評価が多数回必要であるため、たとえば32並列の計算サーバーを用いても、2~3週間程度の計算時間が必要である。よって開発現場での活用には、計算時間短縮が必須である。そこで本研究では、研究代表者らが開発した深層学習による高速化法[3]を用いて、トポロジー最適化を高速化する。

## 4. 研究成果

本研究により、つぎのような研究成果を得た。

### (1) トポロジー最適化法の高度化

(1-1) パラメータ最適化とトポロジー最適化を同時に実行する新しい最適化手法を開発した。これにより、幾何パラメータで表現された永久磁石と、幾何パラメータでは表現が難しいフラックスバリアを同時に最適化できるようになった。本手法により得た最適化結果を図 1[4]に示す。

(1-2) モータのトポロジー最適化の探索性能を改善するために、ガボールフィルタを基底関数として形状を表現する新しい手法を開発した。この方法を用いることにより、細い層状のフラックスバリアからなる同期リラクタンスモータの回転子を最適解として得ることができた(ガウス基底を用いた最適化では、このような形状の獲得が難しい)。

(1-3) エアモビリティなどに用いられる表面磁石モータの多材料トポロジー最適化を行った。この結果、永久磁石、フラックスバリア、鉄心からなる新しい回転子構造を得た(図 2 参照[5])。またこの構造により、従来のハルバッハ型磁石よりも高いトルク密度を実現できることを示した。また本研究結果で得た知見を特許出願した。

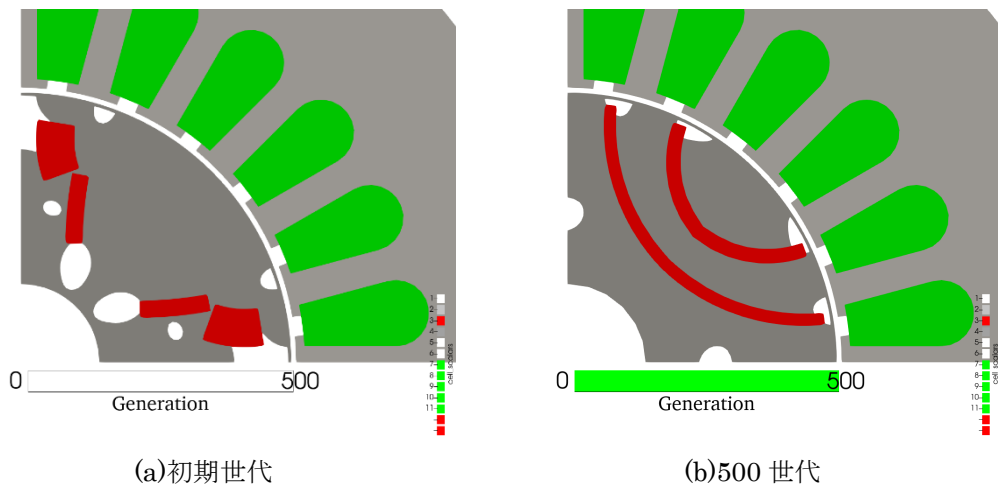


図 1 永久磁石モータ回転子のパラメータ・トポロジー同時最適化[4]

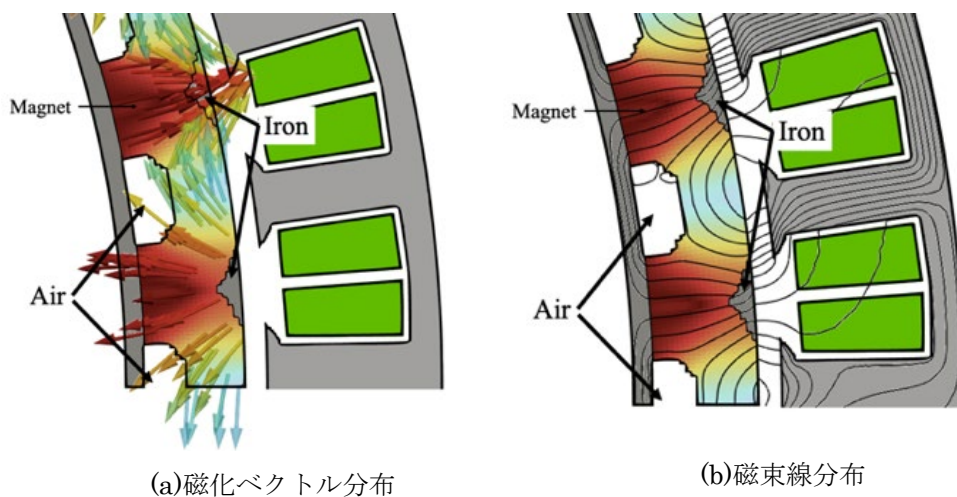


図 2 高トルク密度を持つ表面磁石モータ(多材料トポロジー最適化結果)[5]

## (2)深層学習・AIを用いたモータ最適設計法の開発

(2-1)トポロジー最適化を高速に実施するために、モータ断面画像からトルク特性を予測する深層学習機を開発した。さらにこの深層学習機による推定の根拠を理解するために、深層 NN の注目領域を GradCAM により可視化する方法を開発した。また平均トルクに強く影響を与える領域を GradCAM により求め、それ以外の領域を設計領域としてトルクリプルを最小化する方法を開発した。これにより、平均トルクに影響を与えず、トルクリプルを最小化できる。

(2-2)極数やスロット数、永久磁石配置・構造などの大域構造と、フラックスバリアや固定子ティースなどの局所構造を同時に最適化するために、モンテカルロ木探索を用いた最適設計法を開発した。本法により、モータの大域構造と局所構造の同時最適化が実現できることを示した。

(2-3)異なる大域構造を持つモータの多目的最適化を実現するために、(2-2)で述べたモンテカルロ木探索法を拡張した。本手法により、U字型、V字型、I字型およびナブラ型永久磁石配置のつ回転子を対象とし、それらのフラックスバリアや永久磁石寸法を同時に最適化できる。従来手法では、このような異なる大域構造を持つ機器の同時最適化は難しい。本手法を用いることで、異なる構造の永久磁石モータから成るパレート解を得ることができた。

(2-4)永久磁石モータのトポロジー最適化を高速化するために、モータ断面の画像から電流-トルク特性と電流-磁束特性を推定するための深層学習器を開発した。進化過程で生成された様々な個体のトルク特性を深層学習により評価することで、トポロジー最適化を高速化できた。

## (3)永久磁石モータの3次元トポロジー最適化

(3-1)永久磁石モータを回転軸方向に数層に分け、それぞれの層で最適な断面形状を求めることで、3次元トポロジー最適化を実現した。これにより、高い平均トルクと極めて低いトルクリプルを持つ新しい永久磁石モータ構造を見出すことができた。最適構造を図3[6]に示す。

(3-2)回転軸方向に段スキューを導入した3次元構造の永久磁石モータを対象として、スキュー角度のパラメータ最適化(Parameter Optimization: PO)とフラックスバリア構造のトポロジー最適化(Topology Optimization: TO)の同時実行(PO+TO)を実現した(図4[7]参照。POは永久磁石のパラメータ最適化のみ、TOはフラックスバリアのトポロジー最適化のみ、PO→TOは永久磁石のパラメータ最適化後にフラックスバリアのトポロジー最適化を実施)。この結果、製造誤差に頑健かつトルクリプルの低いモータ構造を得ることができた。

以上により得た研究成果を和文及び英文の学術図書にまとめ、出版した[8, 9]。

### <参考文献>

- [1] 佐藤 孝洋, 五十嵐 一, 高橋 慎矢, 内山 翔, 松尾 圭祐, 松橋 大器, トポロジー最適化による埋込磁石同期モータの回転子形状最適化, 電気学会論文誌 D, Vol. 135, No. 4, 291,-298, 2015.
- [2] T. Sato, K. Watanabe, H. Igarashi, Multimaterial Topology Optimization of Electric Machines Based on Normalized Gaussian Network, IEEE Transaction on Magnetics, 51(3), 7202604, 2015.
- [3] H. Sasaki, H. Igarashi, Topology Optimization Accelerated by Deep Learning, IEEE Transactions on Magnetics, 55(6), 7401305, 2019.
- [4] S. Hayashi, H. Igarashi, Parameter-topology hybrid optimization of electric motor with multiple permanent magnets, Int. J. Appl. Electromag. Mech., 71(S1), pp. S245-S255, 2023.
- [5] S. Hayashi, S., M. Yatsurugi, Y. Kubota, S. Soma, H. Igarashi, Topology Optimization of a Surface Permanent Magnet Motor with High Torque Density, IEEE Transactions on Magnetics, 8201005, 2023.
- [6] Y. Otomo, H. Igarashi, T. Sato, Y. Suetsugu, E. Fujioka, 2.5-D Multi-phase topology optimization of permanent magnet motor using gaussian basis function, IEEE Transactions on Magnetics, 58(9), 8205404, 2022.
- [7] S. Hayashi, Y. Kubota, S. Soma, S. Oya, H. Igarashi, Topology-Parameter Hybrid Optimization of

Skewed Permanent Magnet Motor, IEEE Transactions on Magnetics, 59(5), 8200804, 2023.

[8]五十嵐一, 電磁界解析による最適設計, 森北出版, 340 pages, 2023.

[9]H. Igarashi, Topology Optimization and AI-based Design of Power Electronic and Electrical Devices, Academic Press/Elsevier, 382 pages, 2024.

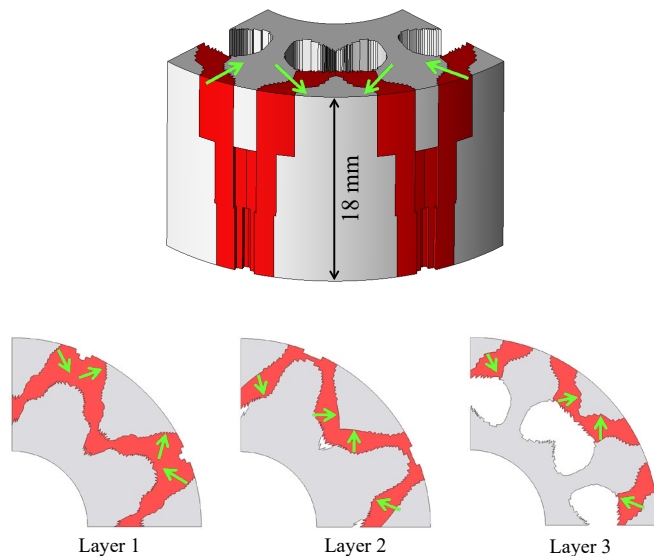
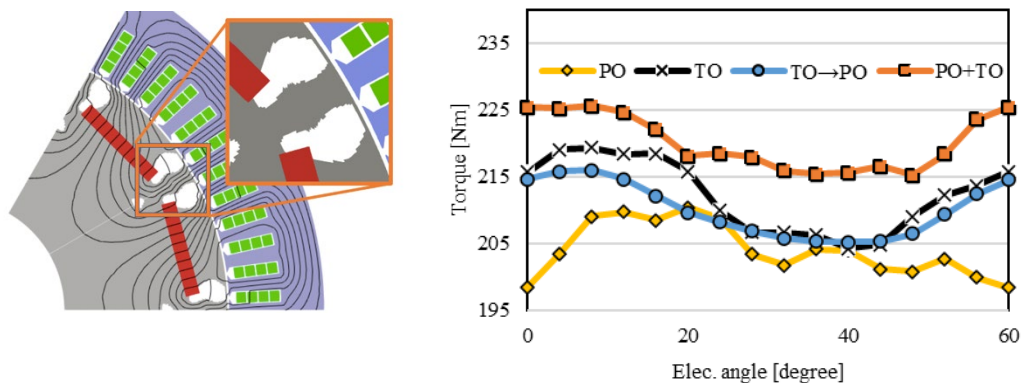


図 3 各層で異なる回転子構造を持つ永久磁石モータ [6]



(a)最適な回転子構造

(b)各手法で得たモータのトルク曲線

図 4 スキュー角と回転子磁気トポロジーの同時最適化 [7]

提案手法(PO+TO)により, 平均トルクの最大化とトルクリプルの最小化ができています。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計24件（うち査読付論文 23件 / うち国際共著 1件 / うちオープンアクセス 9件）

1. 著者名 Hayashi Shogo, Kubota Yoshihisa, Soma Shingo, Oya Satoyoshi, Igarashi Hajime	4. 巻 59
2. 論文標題 Topology-Parameter Hybrid Optimization of Skewed Permanent Magnet Motor	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 IEEE Transactions on Magnetics	6. 最初と最後の頁 1~4
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/TMAG.2023.3239620	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 Sato Hayaho, Igarashi Hajime	4. 巻 59
2. 論文標題 Fast Topology Optimization for PM Motors Using Variational Autoencoder and Neural Networks With Dropout	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 IEEE Transactions on Magnetics	6. 最初と最後の頁 1~4
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/TMAG.2023.3242288	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 Sato Hayaho, Igarashi Hajime	4. 巻 59
2. 論文標題 Multi-Objective Automatic Design of Permanent Magnet Motor Using Monte Carlo Tree Search	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 IEEE Transactions on Magnetics	6. 最初と最後の頁 1~4
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/TMAG.2023.3254510	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 Maruo Akito, Igarashi Hajime	4. 巻 11
2. 論文標題 Robust Covariance Matrix Adaptation Evolution Strategy: Optimal Design of Magnetic Devices Considering Material Variation	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 IEEE Access	6. 最初と最後の頁 67230 ~ 67239
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/ACCESS.2023.3288287	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Hayashi Shogo, Yatsurugi Manabu, Kubota Yoshihisa, Soma Shingo, Igarashi Hajime	4. 巻 60
2. 論文標題 Topology Optimization of a Surface Permanent Magnet Motor With High Torque Density	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 IEEE Transactions on Magnetics	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) 10.1109/TMAG.2023.3309538	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 Iwata Kazuhisa, Sasaki Hidenori, Igarashi Hajime, Nakagawa Daisuke, Ueda Tomoya	4. 巻 60
2. 論文標題 Generalization Performance in Predicting Torque Characteristics Using Convolutional Neural Network and Stator Magnetic Flux	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 IEEE Transactions on Magnetics	6. 最初と最後の頁 1~4
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/TMAG.2023.3303458	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 Sato Hayaho, Igarashi Hajime	4. 巻 60
2. 論文標題 Visual Interpretation of Topology Optimization Results Based on Deep Learning	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 IEEE Transactions on Magnetics	6. 最初と最後の頁 1~4
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/TMAG.2023.3301963	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 Otomo Yoshitsugu, Igarashi Hajime, Sato Tomohiro, Suetsugu Yoshihisa, Fujioka Eiji	4. 巻 58
2. 論文標題 2.5-D Multi-Phase Topology Optimization of Permanent Magnet Motor Using Gaussian Basis Function	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 IEEE Transactions on Magnetics	6. 最初と最後の頁 1~4
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/TMAG.2022.3171558	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 Sasaki Hidenori、Hidaka Yuki、Igarashi Hajime	4. 巻 10
2. 論文標題 Prediction of IPM Machine Torque Characteristics Using Deep Learning Based on Magnetic Field Distribution	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 IEEE Access	6. 最初と最後の頁 60814 ~ 60822
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/ACCESS.2022.3179835	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Sato Hayaho、Igarashi Hajime	4. 巻 58
2. 論文標題 Fast Multi-Objective Optimization of Electromagnetic Devices Using Adaptive Neural Network Surrogate Model	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 IEEE Transactions on Magnetics	6. 最初と最後の頁 1 ~ 9
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/TMAG.2022.3150271	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 Sato Yuki、Kawano Kenji、Igarashi Hajime	4. 巻 58
2. 論文標題 Direct Inverse Modeling for Electromagnetic Components Using Gaussian Kernel Regression	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 IEEE Transactions on Magnetics	6. 最初と最後の頁 1 ~ 8
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/TMAG.2022.3152024	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 Aoyagi Taiga、Otomo Yoshitsugu、Igarashi Hajime、Sasaki Hidenori、Hidaka Yuki、Arita Hideaki	4. 巻 58
2. 論文標題 Prediction of Current-Dependent Motor Torque Characteristics Using Deep Learning for Topology Optimization	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 IEEE Transactions on Magnetics	6. 最初と最後の頁 1 ~ 4
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/TMAG.2022.3167254	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 Sato Hayaho, Igarashi Hajime	4. 巻 58
2. 論文標題 Automatic Design of PM Motor Using Monte Carlo Tree Search in Conjunction With Topology Optimization	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 IEEE Transactions on Magnetics	6. 最初と最後の頁 1~4
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/TMAG.2022.3164926	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 Hayashi Shogo, Kubota Yoshihisa, Soma Shingo, Ohtani Makoto, Igarashi Hajime	4. 巻 58
2. 論文標題 Topology Optimization of Permanent Magnet Synchronous Motor Considering the Control System	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 IEEE Transactions on Magnetics	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) 10.1109/TMAG.2022.3172718	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 Hiruma Shingo, Clenet Stephane, Igarashi Hajime, Henneron Thomas	4. 巻 58
2. 論文標題 Error Estimator for Cauer Ladder Network Representation	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 IEEE Transactions on Magnetics	6. 最初と最後の頁 1~4
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/TMAG.2022.3165943	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 該当する

1. 著者名 Y. Otomo, H. Igarashi	4. 巻 vol.21, no.4
2. 論文標題 Synthesis of Cauer Equivalent Circuit for Electric Devices from Computed and Measured Data	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 IEEE Transactions on Power Electronics	6. 最初と最後の頁 pp.4513-4521
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/TPEL.2020.3022167	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 H. Sato; H. Igarashi	4. 巻 vol.57,no.6
2. 論文標題 3-D Analysis of Soft Magnetic Composite Using Discrete Element Method in Frequency Domain	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 IEEE Transactions on Magnetics	6. 最初と最後の頁 3059034
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/TMAG.2021.3059034	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Y. Otomo; H. Igarashi	4. 巻 vol.57,no.6
2. 論文標題 Topology Optimization Using Gabor Filter: Application to Synchronous Reluctance Motor	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 IEEE Transactions on Magnetics	6. 最初と最後の頁 3057402
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/TMAG.2021.3057402	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 H. Sasaki; Y. Hidaka; H. Igarashi	4. 巻 vol.57,no.6
2. 論文標題 Explainable Deep Neural Network for Design of Electric Motors	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 IEEE Transactions on Magnetics	6. 最初と最後の頁 3063141
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/TMAG.2021.3063141	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 S. Hiruma; M. Ohtani; S. Soma; Y. Kubota; Hajime Igarashi	4. 巻 vol.57,no.7
2. 論文標題 Novel Hybridization of Parameter and Topology Optimizations: Application to Permanent Magnet Motor	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 IEEE Transactions on Magnetics	6. 最初と最後の頁 3078435
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/TMAG.2021.3078435	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Y. Otomo; H. Igarashi; H. Sano; T. Yamada	4. 巻 vol.57,no.8
2. 論文標題 Analysis of Litz Wire Losses Using Homogenization-Based FEM	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 IEEE Transactions on Magnetics	6. 最初と最後の頁 3081819
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/TMAG.2021.3081819	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 H. Sato, H. Igarashi	4. 巻 vol.41, no.3
2. 論文標題 Deep learning-based surrogate model for fast multi-material topology optimization of IPM motor	5. 発行年 2021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 pp.900-914
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1108/COMPEL-03-2021-0086	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 五十嵐一, 伊藤桂一	4. 巻 vol.105, no.1
2. 論文標題 人工知能 (AI) 技術と電磁気学を用いた最適設計 [I]-トポロジー最適化	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 電子情報通信学会誌	6. 最初と最後の頁 pp.33-38
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 五十嵐一, 佐々木秀徳	4. 巻 vol.105, no.2
2. 論文標題 人工知能 (AI) 技術と電磁気学を用いた最適設計 [I]-深層学習・モンテカルロ木探索の応用	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 電子情報通信学会誌	6. 最初と最後の頁 pp.150-155
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 -

[学会発表] 計21件(うち招待講演 9件/うち国際学会 11件)

1. 発表者名 Xiaohan Kong, Hajime Igarashi
2. 発表標題 Multi-objective Optimization of Inductors Based on Neural Network
3. 学会等名 OIPE2023 (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Shuli Yin, Kazuki Sato, Yuki Ito, Hiroaki Ota, Yoshitsugu Otomo, Hajime Igarashi
2. 発表標題 Monte Carlo Tree Search Applied to Design of Wireless Power Transfer System
3. 学会等名 OIPE2023 (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Qiao Liu, Hajime Igarashi,
2. 発表標題 Homogenized Finite Element Analysis of Motor Windings Based on Cauer circuit
3. 学会等名 OIPE2023 (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Sato Hayaho, Igarashi Hajime
2. 発表標題 Topology Optimization of Synchronous Reluctance Motor Using Regularized NGnet Method
3. 学会等名 ISEF2023 (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Jibiki Takuto, Kawasaki Takeshi, Tanomura Masahiro, Igarashi Hajime
2. 発表標題 On predicting the accuracy of surrogate model based on deep learning for microstrip lines
3. 学会等名 ISEF2023 (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 五十嵐一
2. 発表標題 磁気デバイスのモデリング・最適化・AIによる設計
3. 学会等名 磁気学会第246回研究会 (招待講演)
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 五十嵐一, Qiao Liu, Shuli Yin
2. 発表標題 均質化法およびDowellの方法による渦電流損解析について
3. 学会等名 電気学会研究会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 佐藤駿輔, 五十嵐一
2. 発表標題 回転機的设计最適化と代理モデルの活用
3. 学会等名 電気学会全国大会 (招待講演)
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 Hajime Igarashi
2. 発表標題 Optimal Design of Electric Devices Based on Machine Learning
3. 学会等名 ISEM2022 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 五十嵐一
2. 発表標題 AI技術のモータ設計開発への応用
3. 学会等名 電気学会全国大会 (招待講演)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 佐藤駿輔, 五十嵐一
2. 発表標題 モンテカルロ木探索を用いた最適設計
3. 学会等名 電気学会全国大会 (招待講演)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 佐々木秀徳, 五十嵐一
2. 発表標題 深層学習によるモータトポロジー最適化の高速化
3. 学会等名 電気学会全国大会 (招待講演)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 五十嵐一
2. 発表標題 トポロジー最適化・機械学習を用いた最適設計
3. 学会等名 モータ技術シンポジウム（招待講演）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 五十嵐一
2. 発表標題 電気電子機器のトポロジー最適化とAIによる最適設計
3. 学会等名 システム制御情報学会セミナー（招待講演）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Taiga Aoyagi, Yoshitsugu Otomo, Hajime Igarashi, Hidenori Sasaki, Yuki Hidaka, Hideaki Arita
2. 発表標題 Prediction of Current-dependent Motor Torque Characteristics Using Deep Learning for Topology Optimization
3. 学会等名 COMPUMAG2021（国際学会）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Yoshitsugu Otomo, Hajime Igarashi, Tomohiro Sato, Yoshihisa Suetsugu, Eiji Fujioka
2. 発表標題 2.5-D Multi-Phase Topology Optimization of Permanent Magnet Motor Using Gaussian Basis Function
3. 学会等名 COMPUMAG2021（国際学会）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Akito Maruo, Takeshi Soeda, Hajime Igarashi
2. 発表標題 Topology Optimization of Electromagnetic Devices Using Digital Annealer
3. 学会等名 COMPUMAG2021 (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Hayaho Sato, Hajime Igarashi
2. 発表標題 Automatic Design of PM Motor Using Monte-Carlo Tree Search in Conjunction with Topology Optimization
3. 学会等名 COMPUMAG2021 (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Shogo Hayashi, Yoshihisa Kubota, Shingo Soma, Makoto Ohtani, Hajime Igarashi
2. 発表標題 Topology Optimization of Permanent Magnet Synchronous Motor Considering Control System
3. 学会等名 Proc.COMPUMAG2021 (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 五十嵐一
2. 発表標題 電気電子機器のトポロジー最適化および人工知能を用いた自動設計
3. 学会等名 テクノフロンティア2021 技術シンポジウム (招待講演)
4. 発表年 2021年



1. 発表者名 大友佳嗣, 五十嵐一, 佐藤智宏, 末次恵久, 藤岡英二
2. 発表標題 永久磁石モータの2.5次元マルチフェーズ最適化の基礎検討
3. 学会等名 2021年電気学会産業応用部門大会
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計2件

1. 著者名 Hajime Igarashi	4. 発行年 2024年
2. 出版社 Academic Press	5. 総ページ数 382
3. 書名 Topology Optimization and AI-based Design of Power Electronic and Electrical Devices	

1. 著者名 五十嵐 一	4. 発行年 2023年
2. 出版社 森北出版	5. 総ページ数 352
3. 書名 電磁界解析による最適設計	

〔出願〕 計1件

産業財産権の名称 回転電機のロータ	発明者 五十嵐一, 林翔吾, 久保田芳永, 相馬慎 吾, 八弮学	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、特願2023-093221	出願年 2023年	国内・外国の別 国内

〔取得〕 計0件

〔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
---------	---------