

## 科学研究費助成事業（学術研究助成基金助成金）研究成果報告書

平成 25 年 3 月 28 日現在

機関番号：12201

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2011～2012

課題番号：23760252

研究課題名（和文） 磁性材料最適配置計画法の開発と圧粉磁芯モータの最適形態シミュレーションへの挑戦

研究課題名（英文） Development of Optimal Layout Programming for Magnetic Material and Challenge to the Design of Soft Magnetic Composite Motor

研究代表者

岡本 吉史（OKAMOTO YOSHIFUMI）

宇都宮大学・大学院工学研究科・助教

研究者番号：40415112

研究成果の概要（和文）：磁性材料の最適配置問題は、大規模な整数変数（設計領域の要素数）で構成された NP 問題となる。そこで、本研究課題では進化型アルゴリズムに基づく磁性材料最適配置計画法を開発した。提案手法では、複数の有限要素メッシュを準備し、最も解像度の粗いメッシュから順に解像度を向上させ、設計領域の縮減を併用することで、最も解像度の高い設計領域を直接取り扱うよりも、高速かつ確実に良好な性能を有する磁気回路の導出を可能とした。本法を二次元 IPM モータのフラックスバリアの位相最適化に適用した結果、従来モデルよりも高出力なフラックスバリアが得られた。なお、圧粉磁芯が得意とする三次元磁路設計への拡張が、今後の課題として残された。

研究成果の概要（英文）：The optimal layout programming for the magnetic material is composed of large scale integer variables. To solve the topology optimization problem, I have developed the evolutionary algorithm-based topology optimization method, which utilizes the several resolution meshes and the operation to restrict the design domain in changing the resolution level. I have applied the proposed method to the flux barrier design of 2-D IPM motor model. The resulting flux barrier enhances the torque characteristics. The extension of proposed method to 3-D magnetic circuit design is the remaining research issue.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
交付決定額	3,400,000	1,020,000	4,420,000

研究分野：電力工学・電力変換・電気機器

科研費の分科・細目：電気電子工学・電力工学・電力変換・電気機器

キーワード：位相最適化，進化型アルゴリズム，並列化，有限要素法，IPM モータ，圧粉磁芯

### 1. 研究開始当初の背景

CO<sub>2</sub> 濃度の増加や東日本大震災の発生に伴い、国内の各所で省エネルギー化が唱えられている。その一方、国内の年間消費電力量は、一万億 kWh 超と見積もられており、モータの消費電力はそのうちの半分以上（約 500 万 kWh に相当）を占めている。仮に、国内全てのモ

ータの消費電力を 1 % 向上できれば、50 万 kW 分の電力（小規模火力発電所）を削減できるため、電力消費の核であるモータの高効率化は、国内の消費電力削減のための重要な研究テーマである。

通常、モータの回転子・固定子は、渦損低減のため、積層電磁鋼板を二次元的に積層し

て構成されているが、コイルエンド部の固定子側への突出によるモータ全体の体積が増加する。一方、圧粉磁芯を採用したモータは、三次元的な設計が容易であるため、巻線部をコンパクトに収納可能な三次元形状を実現できる。圧粉磁芯は、渦電流損失が少ない利点もあるが、電磁鋼板よりも透磁率が低いため、出力特性が悪化傾向にある。それゆえ、より磁気抵抗の低い圧粉磁芯の三次元的な磁気回路を成形するための磁気回路設計手法の開発は重要である。

## 2. 研究の目的

磁気回路の設計手法として、寸法・形状最適化、位相最適化がある。寸法・形状最適化は、初期形状よりも確実に特性の良い結果が得られるが、事前に策定したモデルに強く依存する。一方、位相最適化は、有限要素メッシュの材料配置を同定するため、事前に初期モデルを策定する必要がなく、磁気回路の新構造が得られる可能性を秘めている。材料配置を問う問題は、通常、NP 問題となるため、進化型アルゴリズムにより求解できる。しかし、大規模な整数変数で構成された問題に対しては、最終的に得られる解は、具体的な磁気回路を示唆していない形状が多い。

そこで、本研究課題では、複数の解像度を有する設計領域の有限要素メッシュを準備し、進化型アルゴリズムをそれらの解像度で多段的に使用する方法を開発した。また、解像度を向上させる際に、設計領域を縮減する方法を提案し、従来の進化型アルゴリズムよりも高速に、かつ、安定に位相最適解を得られる磁性材料最適配置計画法を開発した。提案手法を IPM モータに適用し、その効果を適用することで、その実用性を明らかにする。

## 3. 研究の方法

(1) 進化型アルゴリズムの中でも、幅広く利用されている遺伝的アルゴリズムを採用し、そのパラメータチューニングにある程度の時間を費やし、有限要素法とのカップラソフトを構築する。また、求解可能な解像度レベルを推定し、回転機の位相最適化への足掛かりとする。

(2) 多段階進化型アルゴリズムを構築するため、解を割り当てる粗メッシュと細メッシュとの要素比率に関する詳細な検討を行う。次に、段階が移行する際、設計変数の数が相当数増加するため、設計空間の縮減とその適用効果に関する検討を行う。

(3) 進化型アルゴリズムを用いる際、適合度の評価回数は数万回以上に及ぶため、順解析として使用する有限要素法の高速化、あるいは、進化型アルゴリズムの並列化が重要である。まず、有限要素法の高速化として、線形方程式解法に前処理付き MRTR 法を導入

し、回転機解析に対する適用効果を詳細に評価した。また、進化型アルゴリズムを PC クラスタへの実装を行い、高速化効果を検証する。

## 4. 研究成果

### (1) 多段階進化型アルゴリズムの開発

多段階進化型アルゴリズムでは、図 1 に示すように、複数の有限要素メッシュを準備する (例では 2 段階)。まず、探索初期段階では、粗メッシュを使用して、大雑把な解を得る。本例では、設計変数の数は、 $n_d=24$  とする。次に、粗メッシュで得られた解を細メッシュに割り当てる。なお、解を割り当てる場合の解像度の増加が、大よそ 4 倍程度であれば、最終解への悪影響が少ないことを数値実験より明らかにしている。細メッシュに割り当てられた状態で、全ての領域を設計領域として設定すると、設計変数が単純に増加するのみで、粗メッシュの解よりも良好な解が得られにくい。そこで、磁気回路の輪郭線を抽出し、輪郭線に接する有限要素のみを新たな設計変数として設定することで、設計変数の数を削減できる。本例では、 $n_d=90$  から  $n_d=45$  まで低減できる。以上の手順によって、取り扱うべき解像度の位相最適解を高速に、かつ、安定に得られる。しかし、三次元問題のように、大規模整数変数で構成された問題に対しては、鉄芯要素が浮島状に分布したり、チェッカーボード状に配置されたりするケースがあるため、今後も継続して検討する必要がある。

### (2) 有限要素法の高速化と進化型アルゴリズムの並列実装

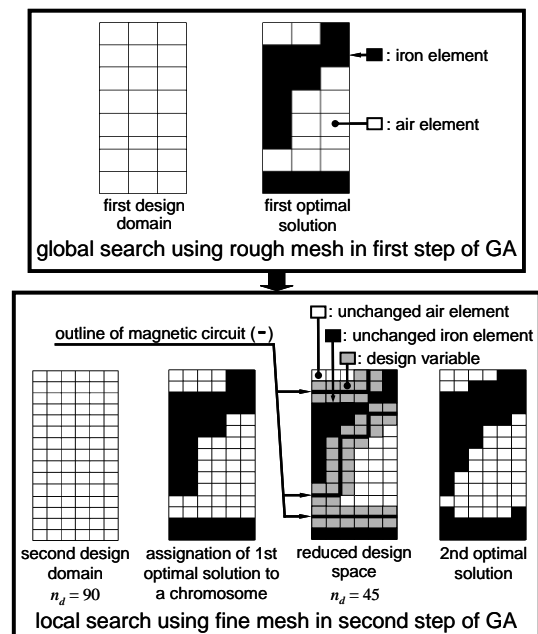


Fig. 1. Procedure of multistep GA.

進化型アルゴリズムで使用する適合度の評価のために、有限要素法を採用する。有限要素法は、係数行列の生成時間は短く、得られる線形方程式の求解部の計算時間が支配的となる。従来、辺要素で離散化された有限要素法から得られる線形方程式の解法として、不完全コレスキー分解付き共役勾配 (ICCG) 法が多用されている。しかし、共役勾配法には、残差振動起因の丸め誤差が含まれるため、最小残差に到達する前に、発散する。それゆえ、本研究課題では、CG 型三項漸化式に基づく最小残差 (MRTR) 法を採用し、前処理が反復回数に与える影響を検討し、ICCG 法よりも高速に求解できるアルゴリズム開発を行った。以下にそのアルゴリズムを示す。ここで、線形方程式を  $Ax = b$ , 下三角行列を  $C$ , 前処理行列を  $M = CC^T$  として定義する。

**Algorithm** (Preconditioned MRTR method supported by Eisenstat's technique). Set

$$C = \begin{cases} (LD^{-1} + I)\hat{D}^{1/2} & (\text{DIC}) \\ L + I & (\text{SGS}) \end{cases}$$

Let  $x_0$  be  $M^{-1}b$  and put  $r_0 = b - Ax_0$ . Set  $\hat{r}_0 = C^{-1}r_0$ ,  $\hat{y}_0 = -\hat{r}_0$ .

For  $k = 0, 1, 2, \dots$ , repeat the following steps until the condition  $\|r_k\|_2 / \|b\|_2 < \epsilon_{MR}$  holds:

$$u = C^{-T} \hat{r}_k,$$

$$\hat{A}\hat{r}_k = \begin{cases} \hat{D}^{1/2}u + C^{-1}\{\hat{D}^{1/2}\hat{r}_k - (2\hat{D} - I)u\} & (\text{DIC}) \\ u + C^{-1}(\hat{r}_k - u) & (\text{SGS}) \end{cases}$$

$$\zeta_k = \begin{cases} (\hat{A}\hat{r}_k, \hat{r}_k) / (\hat{A}\hat{r}_k, \hat{A}\hat{r}_k) & (k = 0) \\ \frac{v_k(\hat{A}\hat{r}_k, \hat{r}_k)}{v_k(\hat{A}\hat{r}_k, \hat{A}\hat{r}_k) - (\hat{y}_k, \hat{A}\hat{r}_k)(\hat{A}\hat{r}_k, \hat{y}_k)} & (k \geq 1) \end{cases}$$

$$\eta_k = \begin{cases} 0 & (k = 0) \\ \frac{-(\hat{y}_k, \hat{A}\hat{r}_k)(\hat{A}\hat{r}_k, \hat{r}_k)}{v_k(\hat{A}\hat{r}_k, \hat{A}\hat{r}_k) - (\hat{y}_k, \hat{A}\hat{r}_k)(\hat{A}\hat{r}_k, \hat{y}_k)} & (k \geq 1) \end{cases}$$

$$v_{k+1} = \zeta_k (\hat{A}\hat{r}_k, \hat{r}_k),$$

$$p_k = u + \frac{\zeta_{k-1}}{\zeta_k} \eta_k p_{k-1},$$

$$x_{k+1} = x_k + \zeta_k p_k,$$

$$\hat{y}_{k+1} = \eta_k \hat{y}_k + \zeta_k \hat{A}\hat{r}_k,$$

$$\hat{r}_{k+1} = \hat{r}_k - \hat{y}_{k+1},$$

$$r_{k+1} = C\hat{r}_{k+1}.$$

以上のアルゴリズムを図 2 に示す三次元 IPM モータ (準定常界 Maxwell 方程式と三相交流電気回路方程式との強連成解析) へ適用した

結果、図 3 のような残差ノルムの収束特性が得られた。なお、図 3 の収束特性は、初期ステップで得られた特性である。これより、MRTR 法は総合的に CG 法よりも収束特性が良好である。また、MRTR 法の残差ノルムは、単調減少性を示しており、アルゴリズムの設計指針通りの特性が得られた。また、表 1 に各線形解法の計算時間を示す。その結果、MESGS-MRTR 法を使用することで、ICCG 法に要した計算時間を半分以下に低減できることが明らかとなった。

さらなる高速化を実現するため、多段式進化型アルゴリズムを図 4 に示す PC クラスタへ Message Passing Interface (MPI) により並列実装した。なお、PC クラスタは、17 台の PC で構成し、本研究資金を元にして作成した。PC クラスタの各 PC のクロック数を 3.4 GHz から 4.2 GHz へオーバークロックしている。図 5 に並列化遺伝的アルゴリズムの並列性能を示す。これより、50 並列で 40 倍程度の高速化を実現できた。以上より、1 プロ

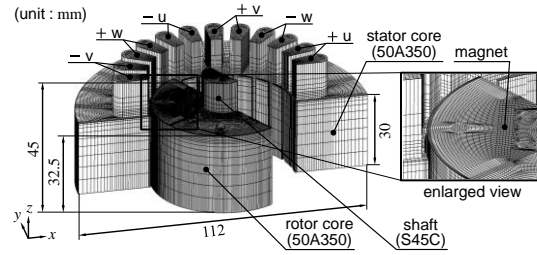


Fig. 2. Finite element mesh of IPM motor.

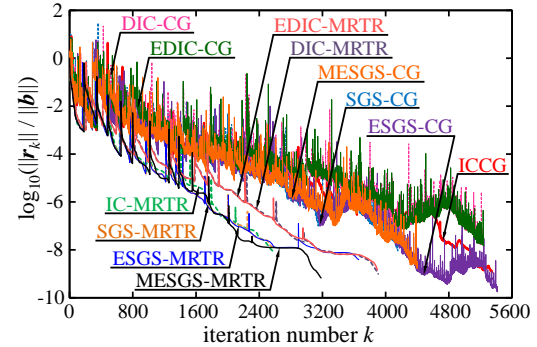


Fig. 3. Convergence characteristics of linear solvers.

TABLE I ELAPSED TIME

linear solver	precond.	total linear ite.	total NR ite.	time for precond. [h]	elapsed time [h]
CG	IC	1,594,657 (1.00)	4,981 (1.00)	4.84	39.1 (1.00)
	DIC	1,802,278 (1.13)	5,008 (1.01)	4.80	43.6 (1.11)
	EDIC	1,796,243 (1.13)	4,990 (1.00)	4.79	42.7 (1.09)
	SGS	1,401,647 (0.88)	5,002 (1.00)	0.03	29.4 (0.75)
	ESGS	1,411,503 (0.88)	4,990 (1.00)	0.03	28.6 (0.73)
	MESGS	1,382,248 (0.87)	4,439 (0.89)	0.03	19.7 (0.50)
MRTR	IC	931,974 (0.58)	5,231 (1.05)	5.24	26.5 (0.67)
	DIC	1,084,577 (0.68)	5,166 (1.04)	4.95	29.6 (0.75)
	EDIC	1,078,449 (0.68)	5,185 (1.04)	4.99	28.3 (0.72)
	SGS	866,008 (0.54)	5,456 (1.09)	0.04	19.7 (0.50)
	ESGS	861,497 (0.54)	5,451 (1.09)	0.04	18.0 (0.46)
	MESGS	904,879 (0.57)	5,195 (1.04)	0.04	13.7 (0.35)

セスの PC で ICCG 法を採用した有限要素法に基づく最適化計算の約 80 倍以上の高速化を達成できたことになる。



Fig. 4. PC cluster.

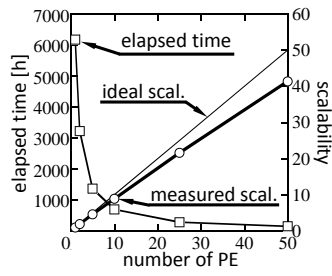


Fig. 5. Scalability of parallelized GA.

### (3) 並列化多段階式遺伝的アルゴリズムによる IPM モータの位相最適化

本申請課題で開発した並列化多段階進化型アルゴリズムを図 6 に示す IPM モータの二次元問題へ適用する。回転子内部に設計領域を定義し、設計領域内部の鉄芯面積を指定値以下に維持しながら、平均トルクの最大化を位相最適化目標とする。それゆえ、本最適化問題は、(1) 式のようになる。

$$\begin{aligned} & \text{Maximize } T_{\text{ave}}, \\ & \text{Subject to } S_{\text{iron}} = \iint_{\Omega_{\text{iron}}} dS \leq S_0, T_r \leq T_0 \quad (1) \end{aligned}$$

ここで、 $T_{\text{ave}}$  は平均トルク、 $S_{\text{iron}}$  は回転子領域の鉄芯面積、 $S_0$  はその制約値、 $T_r$  はトルクリップル、 $T_0$  はその制約値とする。(1) 式を単目的化すると、目的関数は (2) 式のようになる。

$$W = 1/T_{\text{ave}}^2 + P_S(S_{\text{iron}}) + P_T(T_r) \quad (2)$$

ここで、 $P_S$ 、 $P_T$  は、制約条件を考慮するためのペナルティ関数とする。また、段階数を 2 として、図 7 に示す有限要素メッシュを使用する。図 8 に位相最適化結果を示す。第一段階の結果 (b) より、基準モデルとは異なるフラックスバリアが得られており、バリア内部には補極が生じた。また、第二段階に移行すると、(c) のように、補極の本数が増加し

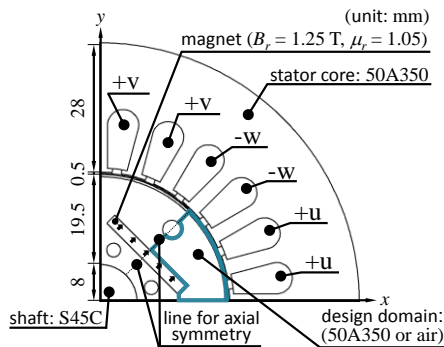
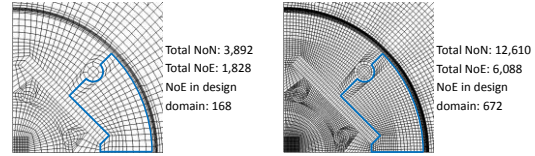


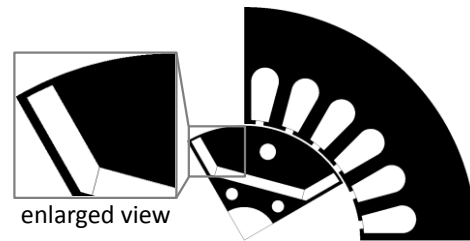
Fig. 6. Optimized model for IPM motor.

た。これは、磁気抵抗を低下させるために、発生したものと考えられる。その結果、図 9 に示すようなトルク特性の改善が達成された。位相最適化によって、基準モデルの最小トルクが大きく改善されていることがわかる。また、最大トルクも微小に増加していることがわかる。図 9 の二次元データを三次元化して表示すると、図 10 のようなモータ構造となる。

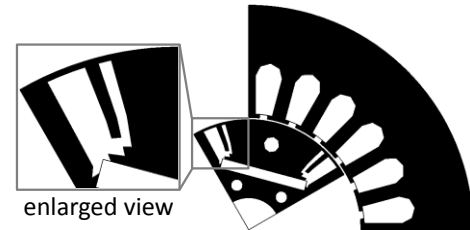


(a) 1st step (b) 2nd step

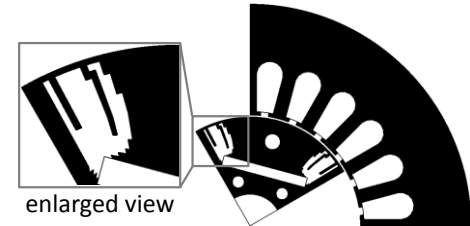
Fig. 7. Finite element meshes.



(a) standard model



(b) topology in 1st step



(c) topology in 2nd step

Fig. 8. Optimization results.

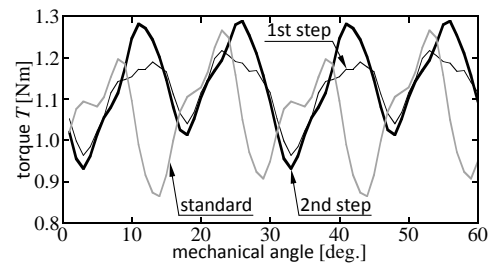


Fig. 9. Torque characteristics.

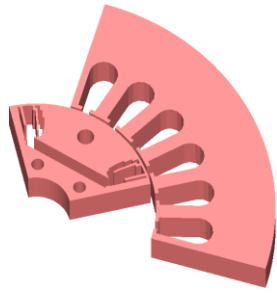


Fig. 10. 3-D configuration.

#### (4) 今後の検討課題

本申請課題では、回転機の磁気回路構造を推定できる位相最適化手法を開発できたが、圧粉磁芯を採用した三次元位相最適化までには到達できなかった。それも踏まえた今後の課題を以下に列挙する。

1. 三次元磁気回路設計では、整数変数の数がさらに増加し、進化型アルゴリズムにより求解しても、設計の指針となる具体的な磁気回路構造が得られない可能性がある。それゆえ、感度解析を使用した方法の開発が必須となる。
2. 圧粉磁芯は渦電流損が少ないが、正確な鉄損評価のためには、ヒステリシス損評価が重要である。今後は、磁気特性測定から得られたヒステリシスデータをプレイモデルに実装し、ヒステリシスを直接考慮した位相最適化手法が必要となる。

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 4 件)  
(査読付き)

- [1] Y. Tominaga, Y. Okamoto, S. Wakao, and S. Sato, "Binary-based Topology Optimization of Magnetic Shielding by a Hybrid Evolutionary Algorithm Combining Genetic Algorithm and Extended Compact Genetic Algorithm," *IEEE Trans. Magn.*, Vol. 49, No. 5, (2013). (to be published)
- [2] T. Tsuburaya, Y. Okamoto, K. Fujiwara, and S. Sato, "Improvement of the Preconditioned MRTR Method with Eisenstat's Technique in Real Symmetric Sparse Matrices," *IEEE Trans. Magn.*, Vol. 49, No. 5, (2013). (to be published)
- [3] Y. Okamoto, Y. Tominaga, and S. Sato, "Topological Design for 3-D Optimization Using the Combination of Multistep Genetic Algorithm with Design Space Reduction and Nonconforming Mesh Connection," *IEEE Trans. Magn.*, Vol. 48, No. 2, pp. 515-518 (2012).
- [4] 岡本吉史, 富永悠介, 里周二: 「遺伝的アルゴリズムの多段階使用と設計空間の縮

減を併用した磁気回路の形態最適化手法の提案」, 電気学会論文誌 B, Vol. 131, No. 8, pp. 677-686 (2011)

[学会発表] (計 19 件)

- [1] 富永悠介, 岡本吉史, 若尾真治, 里周二: 「材料密度のモデリングにシグモイド関数を適用した逐次線形計画法による磁気シールドの位相最適化」, 第 3 回電気学会東京支部栃木・群馬支所合同研究発表会, ETT-12-70, ETG-12-70, pp. 187-190, 2013 年 3 月, 発表場所: 宇都宮大学陽東キャンパス
- [2] 山下祐貴, 岡本吉史, 里周二: 「プレイモデルによるスカラーヒステリシス磁界解析に関する検討」, 第 3 回電気学会東京支部栃木・群馬支所合同研究発表会, ETT-12-72, ETG-12-72, pp. 195-198, 2013 年 3 月, 発表場所: 宇都宮大学陽東キャンパス
- [3] 富永悠介, 岡本吉史, 若尾真治, 里周二: 「逐次線形計画法による材料密度ベースの位相最適化手法を用いた磁気回路設計」, 平成 25 年電気学会静止器・回転機合同研究会資料, SA-13-012, RM-13-012, pp. 61-66, 2013 年 1 月, 発表場所: 芝浦工業大学豊洲キャンパス
- [4] Y. Okamoto, Y. Tominaga, S. Wakao and S. Sato, "Discrete 0/1 Topological Optimization of Magnetic Shielding by Means of Hybrid Evolutionary Algorithm Composed of GA and ECGA," *Proceedings of the 15<sup>th</sup> Biennial IEEE Conference on Electromagnetic Field Computation*, p. 310, CEFC 2012, Oita, Japan, 2012 年 11 月 (査読付き)
- [5] Y. Okamoto, T. Tsuburaya, K. Fujiwara, and S. Sato, "Effectiveness of Preconditioned MRTR Method in Solving Linear Equation of Edge-based Finite Element Method," *Proceedings of the 15<sup>th</sup> Biennial IEEE Conference on Electromagnetic Field Computation*, p. 186, CEFC 2012, Oita, Japan, 2012 年 11 月 (査読付き)
- [6] Y. Okamoto, Y. Tominaga, S. Wakao, and S. Sato, "Topological Optimization of Flux Barrier in IPM Motor by Means of Multistep Genetic Algorithm Using PC Cluster," *Proceedings of the 15<sup>th</sup> Biennial IEEE Conference on Electromagnetic Field Computation*, p. 258, CEFC 2012, Oita, Japan, 2012 年 11 月 (査読付き)
- [7] 岡本吉史, 圓谷友紀, 藤原耕二, 里周二: 「辺要素有限要素法より得られる対称疎行列に対する最小残差に基づく線形解法の有効性の検討」, 日本機械学会第 25 回計算力学講演会 (CMD2012), OS-7-1-702, pp. 316-317, 2012 年 10 月, 発表場所: 甲

- 南大学ポートアイランドキャンパス  
FIBER
- [8] **Y. Okamoto**, Y. Tominaga, S. Wakao and S. Sato, "Topological Optimization of Magnetic Shielding by Means of Multistep Evolutionary Algorithms with Additional Search in Restricted Design Space," *Proceedings of the 12<sup>th</sup> International Workshop on Optimization and Inverse Problems in Electromagnetism*, pp. 168-169, OIPE 2012, Ghent, Belgium, 2012年9月(査読付き)
- [9] **Y. Okamoto**, T. Tsuburaya, K. Fujiwara, and S. Sato, "Effectiveness of the Preconditioned MRTR Method Supported by Eisenstat's Technique in Real Symmetric Sparse Matrices," *Proceedings of the 15<sup>th</sup> International IGTE Symposium on Numerical Field Calculation in Electrical Engineering*, pp. 113-118, IGTE 2012, Graz, Austria, 2012年9月(査読付き)
- [10] T. Nagano, S. Yasukawa, S. Wakao, and **Y. Okamoto**, "Topology Optimization Using Parallel Search Strategy for Magnetic Devices," *Proceedings of the 15<sup>th</sup> International IGTE Symposium on Numerical Field Calculation in Electrical Engineering*, pp. 288-293, IGTE 2012, Graz, Austria, 2012年9月(査読付き)
- [11] 圓谷友紀, **岡本吉史**, 藤原耕二, 里周二: 「辺要素有限要素法より得られる線形方程式に対する前処理付き MRTR 法の収束特性」, 平成 24 年電気学会静止器・回転機合同研究会資料, SA-12-085, RM-12-100, pp. 35-40, 2012 年 9 月, 発表場所: 函館市民会館
- [12] 永野拓身, 安川昇吾, 若尾真治, **岡本吉史**: 「密度法に基づく位相最適化における並列計算を援用した大域的最適解の効率的探索方法の提案」, 平成 24 年電気学会静止器・回転機合同研究会資料, SA-12-079, RM-12-094, pp. 1-6, 2012 年 9 月, 発表場所: 函館市民会館
- [13] 富永悠介, **岡本吉史**, 若尾真治, 里周二: 「局所探索を併用した多段式進化型アルゴリズムによる磁気シールドの三次元位相最適化計算」, 平成 24 年電気学会全国大会, 703-A2: 静止器 磁界解析(II), 5-146, pp. 222-223, 2012 年 3 月, 発表場所: 広島工業大学
- [14] **岡本吉史**, 圓谷友紀, 藤原耕二, 里周二: 「辺有限要素法より得られる実対称疎行列に対する Eisenstat の方法を導入した前処理付き MRTR 法の有効性」, 平成 24 年電気学会全国大会, 703-A2: 静止器 磁界解析(II), 5-150, pp. 229-230, 2012 年 3 月, 発表場所: 広島工業大学
- [15] 富永悠介, **岡本吉史**, 若尾真治, 里周二: 「局所探索を併用した並列化多段式進化型アルゴリズムによる磁気シールドの二次元トポロジー最適化計算」, 第 2 回進化計算学会研究会/第 8 回進化計算フロンティア研究会合同研究会資料集, o3, pp. 25-35, 2012 年 3 月, 発表場所: 大阪大学豊中キャンパス
- [16] 圓谷友紀, **岡本吉史**, 藤原耕二, 里周二: 「辺要素有限要素法より得られる不定な線形方程式に対する CG 法と MRTR 法の前処理に関する検討」, 第 2 回電気学会東京支部栃木・群馬支所合同研究発表会, ETT-11-16, ETG-11-16, pp. 53-56, 2012 年 2 月, 発表場所: 桐生市市民文化会館
- [17] 富永悠介, **岡本吉史**, 若尾真治, 里周二: 「動的突然変異と局所探索を併用した並列化多段式進化型アルゴリズムによる磁気シールドの位相最適化計算」, 第 2 回電気学会東京支部栃木・群馬支所合同研究発表会, ETT-11-37, ETG-11-37, pp. 121-124, 2012 年 2 月, 発表場所: 桐生市市民文化会館
- [18] **岡本吉史**, 富永悠介, 若尾真治, 里周二: 「並列計算を援用した多段式進化型アルゴリズムによる永久磁石型同期電動機の位相最適化」, 平成 24 年電気学会静止器・回転機合同研究会資料, SA-12-030, RM-12-030, pp. 41-46, 2012 年 1 月, 発表場所: 関西大学千里山キャンパス
- [19] **Y. Okamoto**, Y. Tominaga, and S. Sato, "Optimal Design Method Based on Magnetic Material Distributions using Multistep Genetic Algorithm with Reduced Design Space," *Proceedings of the 18<sup>th</sup> Conference on the Computation of Electromagnetic Fields, COMPUMAG 2011*, Sydney, Australia, 2011 年 7 月(査読付き)
- [図書] (計 0 件)
- [産業財産権]  
○出願状況 (計 0 件)
- [その他]  
なし
6. 研究組織  
(1)研究代表者  
岡本 吉史 (OKAMOTO YOSHIFUMI)  
宇都宮大学・大学院工学研究科・助教  
研究者番号: 40415112
- (2)研究分担者 なし
- (3)連携研究者 なし