三次元有限要素法とRosenbrock法による 永久磁石式リターダの最適設計

学生員 梶田 充俊 (岡山大学) 正 員 高橋 則雄 (岡山大学)
 正 員 村松 和弘 (岡山大学) 非会員 山田 忠治 (いすゞ中央研究所)
 非会員 小川 誠 (いすゞ中央研究所) 非会員 小林 晋 (いすゞ中央研究所)
 非会員 桑原 徹 (いすゞ自動車)

Optimization of Permanent Magnet Type of Retarder
 Using 3-D Finite Element Method and Rosenbrock's method

Mitsutoshi Natsumeda, Student Member, Norio Takahashi, Member
 and Kazuhiro Muramatsu, Member (Okayama University)
 Chuji Yamada, Non-member, Makoto Ogawa, Non-member and
 Shin Kobayashi, Non-member (Isuzu Advanced Engineering Center, Ltd.)
 Tohru Kuwahara, Non-member (Isuzu Motors, Ltd.)

3-D optimization method using the finite element method and the Rosenbrock's method, is developed to apply to the optimal design of permanent magnet type of retarder. The Rosenbrock's method has an advantage that the optimal value can be obtained within small number of iterations compared with the stochastic methods, such as simulated annealing method. As the number of searching iterations of the Rosenbrock's method is affected by the initial condition and the constraints, the experimental design method is introduced to the determination of appropriate values of them. A technique for modifying the hexahedral mesh is conceived in order to change the shape of machine at each iteration for the optimization. The obtained result is discussed from the viewpoint of flux and eddy current distributions. It is shown that the number of iterations and CPU time can be reduced by using the experimental design method. The braking torque is increased about 50% by using the optimization method.

キーワード：最適設計，ローゼンブロック法，実験計画法，三次元有限要素法，永久磁石式リターダ

1. まえがき

渦電流が流れる機器の最適設計を行う際は三次元解析が必要であるが，有限要素法を用いる場合には，形状変化に対応した三次元自動分割が容易でないこともあって，実機の三次元最適設計例についてはほとんど報告がなされていない⁽¹⁾。

そこで本論文では，大型トラックの補助ブレーキとして用いられる永久磁石式リターダ⁽²⁾のように，回転部に

渦電流が流れる機器の最適設計を，三次元有限要素法と最適化手法を用いて行う方法について検討した。その際，三次元磁界解析法としては，ロータの回転を運動座標系で考慮した非線形渦電流解析法^{(3)・(4)}を用いた。また，最適化手法としてSimulated Annealing法などの確率論的(stochastic)な手法を用いては，反復回数が膨大となり現状では計算時間の点で実用的でない⁽⁵⁾。それゆえ，局所的最適解が求まってしまう可能性があるが，少ない反復回数で比較的最適値に近い解が求まるRosenbrock法⁽⁶⁾

を用いた。この方法では、設計変数の初期値および制約条件が最適解および収束するまでの反復回数に影響を及ぼすため、これらの決定に実験計画法^{(7)・(8)}を用いる方法についても検討した。さらに、本最適設計法を永久磁石式リターダ⁽²⁾に適用して最適解の検討を行うとともに、どの程度の反復回数および計算時間で実機の最適設計に用いることができるかを明らかにした。

2. 解析モデルおよび解析条件

図1に永久磁石式リターダ⁽²⁾を示す。本モデルは、ステータ側に配置された磁石によって磁束を発生し、ロータが回転することにより生じる渦電流と磁束との間の電磁力により制動トルクを発生する。図2に解析モデル（1/24領域、但し、z方向も対称性を考慮して1/2領域としている）を示す。ロータが一定の回転数（1000rpm）で回転している場合の定常状態（磁束および渦電流分布の時間的変化がない状態、以下、直流場と呼ぶ）で、制動トルクが最大となるように最適設計を行った。表1に、文献（3）で示した各部の寸法および角度（試作した形状）を示す。最適設計の設計変数としては図中の $\theta_1 \sim \theta_5$ 、 $L_1 \sim L_3$ が考えられるが、設計変数8個で最適設計を行うと計算時間が相当かかることが予想されるので、 θ_1 、 θ_2 の2

図1 永久磁石式リターダ

Fig. 1. Permanent magnet type of retarder.

図2 解析モデル (z方向厚さ: 7.5mm)

Fig. 2. Analyzed model (thickness: 7.5mm).

表1 各部の寸法および角度

Table 1. Dimensions and angles.

θ_1 (deg)	θ_2 (deg)	θ_3 (deg)	θ_4 (deg)	θ_5 (deg)	L_1 (mm)	L_2 (mm)	L_3 (mm)
75	105	75	105	6.55	6.3	3.4	3.0

変数の場合と θ_1 、 θ_2 、 L_1 、 L_2 の4変数の場合の2通りの組合せで最適設計を行った。 θ_1 、 θ_2 、 L_1 、 L_2 を設計変数に選んだ理由は以下の通りである。すなわち、制動力を増加させるためには、磁束密度と渦電流密度を大きくすればよい。渦電流分布は磁束密度によって大きく影響される。また、磁束密度は磁気回路の断面の大きさによって変わるので、ここでは断面の寸法に最も関係のあるポールピースの角度 θ_1 、 θ_2 、ヨークの幅 L_1 並びに磁石の厚み L_2 を設計変数に選んだ。なお L_3 は、熱の遮へい並びに構造上の理由で、寸法は3mm一定とした。解析には、六面体一次節点要素を用い、解析領域を3,472個の要素に分割した。

3. 解析方法

<3.1>渦電流解析法

(1) 基礎方程式 磁界解析法としては、磁気ベクトルポテンシャル $\mathbf{A}$ および電気スカラーポテンシャル ϕ を未知数とする $\mathbf{A}-\phi$ 法を用いた。この場合、運動する導体の領域における基礎方程式は、運動する導体上に設けられた運動座標系を用いると、静止時のそれと全く同様な次式となる⁽⁴⁾。

$$\text{rot}(\nu \text{rot} \mathbf{A}) = -\sigma \left(\frac{\partial \mathbf{A}}{\partial t} + \text{grad} \phi \right) \quad \dots \dots \dots (1)$$

$$\text{div} \left\{ -\sigma \left(\frac{\partial \mathbf{A}}{\partial t} + \text{grad} \phi \right) \right\} = 0 \quad \dots \dots \dots (2)$$

ここで、 ν 、 σ はそれぞれ磁気抵抗率、導電率である。また、渦電流を考慮しない磁石領域の基礎方程式は次式となる⁽⁹⁾。

$$\text{rot}(\nu_0 \text{rot} \mathbf{A}) = \nu_0 \text{rot} \mathbf{M} \quad \dots \dots \dots (3)$$

ここで、 $\mathbf{M}$ は磁化ベクトル、 ν_0 は真空の磁気抵抗率を表す。

(2) 直流場における渦電流項の取扱法 直流定常場では、運動座標系を用いた場合の(1)、(2)式における図3の導体中の p_2 点での渦電流項 $\mathbf{J}_e(p_2)$ は、時間微分項に後退差分法を適用すれば、次式で近似される^{(3)・(4)}。

図3 運動導体
Fig. 3. Moving conductor.

$$\mathbf{J}_e(\mathbf{p}_2) = -\sigma \left\{ \frac{\mathbf{A}^*(\mathbf{p}_2) - \mathbf{A}^*(\mathbf{p}_1)}{\Delta t} + \text{grad}\phi^*(\mathbf{p}_2) \right\} \cdots \cdots (4)$$

ここで、 $\mathbf{p}_1$ は $\mathbf{p}_2$ の Δt 秒前の位置を示す静止座標である。また、上付添字*はその変数が求めたい未知変数であることを示し、 $\mathbf{A}^*(\mathbf{p}_i)$ を未知変数として取り扱うことにより、係数マトリクスは非対称となるが、時間に関して反復計算を行わなくても直流定常現象の解が求まる^{(3)・(4)}。また、 $\mathbf{A}^*(\mathbf{p}_i)$ は $\mathbf{p}_i$ を含む要素の節点のポテンシャルを用いて次式で表される。

$$\mathbf{A}^*(\mathbf{p}_i) = \sum_{i=1}^{n^{(e)}} N_i^{(e)} \mathbf{A}_i^{(e)*} \cdots \cdots (5)$$

ここで、 $n^{(e)}$ は要素 e を構成する節点の数、 $N_i^{(e)}$ は節点 i の補間関数である。

<3. 2>力の算出法 力の算出法としては、節点力法⁽¹⁰⁾を用いた。本手法を用いれば、マクスウェルの応力法のように積分面の定義を必要としないため、形状修正に伴い分割図を修正した場合でも、計算を容易に行うことができ、かつ、積分面上の磁束密度を補間により算出する際の誤差も少なくなると考えられる。この方法では、節点 i に働く節点力 $\mathbf{f}_i$ は次式で求められる。

$$\mathbf{f}_i = - \int \mathbf{T}_{lm} \partial_l N_i dV \cdots \cdots (6)$$

ここで、 $\mathbf{T}_{lm}$ はマクスウェルの応力テンソル、 N_i は節点 i の補間関数、 l, m はそれぞれ x, y, z を示す循環する添字である。また、式中の ∂_l は、 $\partial/\partial l$ に対応する。各物体に働く全体力は、その物体に含まれる節点の節点力を加え合わせるにより算出される。

<3. 3>最適設計法

(1) Rosenbrock法⁽⁶⁾ この手法は、例えば制動トルク（目的関数 W ）が最大になる寸法を順次探索する手

法（直接探索法）である。図4に、Rosenbrock法により、鉄の寸法 L_1, L_2 を順次変更しながら探索していく過程を示す。すなわち、ある初期寸法（ L_1, L_2 ）から探索を始め、設計変数をあらかじめ決めておいた刻み幅（ $\Delta L_1, \Delta L_2$ ）だけ変化させる。STEP1, STEP2では、それぞれ L_1 の寸法を ΔL_1 だけ、 L_2 の寸法を ΔL_2 だけ伸ばす。STEP1とSTEP2では、 W が今までの値より大きくなったので成功と見なし、STEP3とSTEP4では、例えば刻み幅を2倍⁽¹¹⁾にして寸法 L_1, L_2 を変化させる。STEP3では W が大きくなったので成功、STEP4では W が小さくなったので失敗である。STEP3で成功したのでSTEP5では L_1 の刻み幅をさらに2倍にし、STEP4では失敗したので、STEP6では L_2 の刻み幅を例えば0.5倍する。そして、設計変数を n 個とすると、 n 個の方向で失敗した場合は（STEP5, 6）、探索方向を回転させて再び探索を開始（STEP7）する。この手順を繰り返し、所定の反復回数になるか、 W が指定した値より大きく、または刻み幅が指定した値より小さくなった時点で計算を終了する。本論文では、角度 θ および長さ L の刻み幅 $\Delta\theta, \Delta L$ の初期値を、それぞれ5 degおよび1 mmとし、その収束判定値は、それぞれ0.1 deg, 0.1 mmとした。

(2) 実験計画法^{(7)・(8)} 実験計画法とは、例えば設計変数の目的関数に対する寄与率などを数回の実験により効率良く求めて、設計変数をどのような値に選べばよいかの指針を得る手法である。本手法では、対象とする設

図4 Rosenbrock法の探索過程
Fig. 4. Searching process of Rosenbrock's method.

計変数の値として、例えば、水準 1:小, 2:中, 3:大の値をとり、各水準を表 2 に示す直交表に割り付け、9 種類の組合せ No. 1 ~ 9 に対して制動トルクを計算する。 L_1 について考えると、水準 1, 2 および 3 であるモデルはそれぞれ No. 1 ~ 3, No. 4 ~ 6 および No. 7 ~ 9 であるので、 L_1 の水準 1 の代表値はモデル No. 1 ~ 3 の制動トルクの平均値となる。同様に、水準 2 および水準 3 の代表値も、それぞれモデル No. 4 ~ 6 および No. 7 ~ 9 の平均値となる。例えば、図 5 に示すように、それぞれの設計変数の水準 1 ~ 3 の代表値の変化を調べれば、どの設計変数が制動トルクに大きく影響するか、さらに、設計変数をどの値に選べばよいかの指針が得られる。

(3) Rosenbrock 法十実験計画法 Rosenbrock

法に実験計画法を下記のようにして導入すれば、より短時間で最適設計を行うことが可能であると考えられる。

- (a) 図 5 の CASE1 のように、寄与率の少ない設計変数がある適当な値に固定することができる。すなわち、設計変数を削減することができる。

表 2 直交表

Table 2. Orthogonal array.

モデル No.	設計変数			
	L_1	L_2	θ_1	θ_2
1	1	1	1	1
2	1	2	2	2
3	1	3	3	3
4	2	1	3	2
5	2	2	1	3
6	2	3	2	1
7	3	1	2	3
8	3	2	3	1
9	3	3	1	2

図 5 要因効果図

Fig. 5. Effect of design variables.

- (b) 設計変数の探索範囲 (制約条件) を狭くすることができる。すなわち、図 5 の CASE2 のように水準 1 が最も大きく、水準 2, 水準 3 の順に制動トルクが小さくなる場合には、最適解は水準 2 より小さい範囲に存在すると考え、設計変数の制約条件を水準 2 以下にすることができる。同様な考えで、CASE3 の場合の制約条件は、水準 1 以上、水準 3 以下とできる。また、CASE4 の場合は、現在の探索範囲内に最適解があると考えられるので制約条件の変更は行わないこととする。
- (c) 設計変数の初期値として、それぞれの設計変数で制動トルクが最も大きくなる水準の値、もしくは、表 2 の直交表において制動トルクが最も大きくなる組合せを選ぶことができる。

4. 三次元の形状修正法

形状修正に伴う三次元分割図の修正は、分割図中で指定されたいくつかの領域毎に節点を線形補間して移動させることにより行った⁽¹²⁾。以下、図 2 中の h-c-e-f-h 領域で、辺 i-l, j-k が形状修正により移動する場合を例にとって説明する。

- (a) 個々に節点が動く領域として、図 6 のように $\alpha \sim \zeta$ 領域を指定する。
- (b) 求まった形状に応じて、移動するモデルの輪郭線 (辺 i-l, j-k) 上の節点を移動させる。また、その輪郭を含む領域 (α, β および γ 領域) 中の節点を、それぞれの領域で線形補間を用いて移動する。
- (c) 上記の節点移動により、他の領域 (δ, η および ζ 領域) の輪郭線上の節点が移動した場合には、その領域についても上記と同様な節点移動を行う。以下、節点

図 6 分割図修正法

Fig. 6. Method for modifying mrsh.

移動を行う領域がなくなるまで、この手順を繰り返す。

5. 結果および検討

< 5. 1 > Rosenbrock法

(1) 2変数の場合 図7に、 θ_1 、 θ_2 を設計変数にした場合の初期形状および最終形状の分割図を示す。 θ_1 、 θ_2 の初期値は表1の値とした。 θ_1 、 θ_2 の制約条件は、辺*i-l*、*j-k*が他の辺と交差しないように、それぞれ $25 < \theta_1 < 145$ deg、 $35 < \theta_2 < 155$ degとした。図8、9および10にそれぞれ磁束密度分布、渦電流分布およびロータに働く電磁力の接線方向成分を示す。また、表3に設計変数および制動トルクの値を示す。最終形状では、初期形状に比べて制動トルクが約15%増加している。制動トルクが増加した理由は、ポールピースの形状を、図8(b)のように絞り込むと、ロータ中の磁束密度が増加して、その結果渦電流も増加し、制動トルクが増加するからである。また、図11にポールピースの角度を変化させた場合の解析値と実測値を示す⁽³⁾。ポールピースを最適形状以上に絞り込むと、逆にポールピースが飽和するため(最適形状の場合のポールピースの最大磁束密度は1.85T)、制動トルクが下がることがわかる。また、図より、実測でもポールピースを絞り込むと制動トルクが増加することが確認

できた。但し、図中の解析および実測値は、それぞれ $\theta_1 = \theta_2 = 90$ degの場合の値で正規化してある。なお、Rosenbrock法の反復回数は23回であり、総計算時間は、HPC160(140MFLOPS)を用いた場合、8.22時間であった。

図9 渦電流分布
Fig. 9. Distributions of eddy current density vectors.

図10 電磁力の接線方向成分
Fig. 10. Distributions of tangential components of electromagnetic forces.

(a) 初期形状 (b) 最終形状
図7 分割図(2変数の場合)
Fig. 7. Meshes (2 design variables).

(a) 初期形状 (b) 最終形状
図8 磁束密度分布
Fig. 8. Distributions of flux density vectors.

表3 解析結果(2変数の場合)
Table 3. Obtained results (2 design variables).

形状	設計変数		制動トルク (N・m)
	θ_1 (deg)	θ_2 (deg)	
初期	75	105	1.92
最終	30.0	140.6	2.18

収束判定 : 0.1 deg
反復回数 : 23 回
計算時間 : 8.22 h
使用計算機 : HPC160 (140MFLOPS)

図11 実験結果との比較
Fig. 11. Comparison of calculated and measured values.

(2) 4変数の場合 図12に、 L_1 , L_2 , θ_1 , θ_2 を設計変数とした場合の初期形状および最終形状の分割図を示す。 L_1 , L_2 , θ_1 , θ_2 の初期値は表1の値とした。 θ_1 , θ_2 の制約条件は2変数の場合と同じとし、 L_1 , L_2 の制約条件は、 $0 < L_1 < 7.3\text{mm}$, $0 < L_2 < 7.3\text{mm}$ とした。図13, 14および15にそれぞれ磁束密度分布、渦電流分布およびロータに働く電磁力の接線方向成分を示す。また、表4に設計変数および制動トルクの値を示す。2変数の場合より磁石長が大きくなる結果、最終形状では、制動トルクが約40%増加している。なお、Rosenbrock法の反復回数は98回であり、総計算時間は、33.5時間であった。

(a) 初期形状 (b) 最終形状

図12 分割図 (4変数の場合)

Fig. 12. Meshes (4 design variables).

(a) 初期形状 (b) 最終形状

図13 磁束密度分布

Fig. 13. Distributions of flux density vectors.

(a) 初期形状 (b) 最終形状

図14 渦電流分布

Fig. 14. Distributions of eddy current density vectors.

(a) 初期形状 (b) 最終形状

図15 電磁力の接線方向成分

Fig. 15. Distributions of tangential components of electromagnetic forces.

表4 解析結果 (4変数の場合)

Table 4. Obtained results (4 design variables).

形状	設計変数				制動トルク (N · m)
	$L_1(\text{mm})$	$L_2(\text{mm})$	$\theta_1(\text{deg})$	$\theta_2(\text{deg})$	
初期	6.3	3.4	75	105	1.92
最終	4.3	6.3	25.3	146.3	2.66

収束判定 : 0.1 deg, 0.1mm

反復回数 : 98 回

計算時間 : 33.5 h

使用計算機 : HPC160 (140MFLOPS)

<5. 2>Rosenbrock法+実験計画法 設計変数 L_1 ,

L_2 , θ_1 , θ_2 の実験計画法の水準1~3の値は、前述の制約条件の範囲を4等分して求まる3点の値(表5)とした。次に、これらの設計変数を表2の直交表に割り付け、モデルNo.1~9の制動トルクの計算を行った。図16に要因効果図を示す。この図より、<3. 3>節(3)項で述べた方針で各設計変数の初期値および制約条件を決定すると、表6のようになる。ここでは、寄与率の少ない設計変数がないため、設計変数の削減は行わなかった。

初期値および探索範囲(θ_1 , θ_2 等の制約条件)の決定に実験計画法を用いた場合の有用性を検討するため、表7のような4種類の場合の最適設計を行った。表8に各最適設計の結果を示す。但し、収束判定条件および使用計算機は表4と同じである。

これらの結果より、実験計画法を用いて決定した初期値を用いれば(CASE C)、通常の方法(CASE A)よりも計算時間を約17%減少でき、かつ、得られた制動トルクも大きくなるのがわかる。これは、実験計画法により得られた初期値が、大域的最適解に近い値となっている可能性が高いことを示している。また、実験計画法によって範囲を狭くした制約条件が、初期の制約条件(CASE AとC)によって得られた最適形状を含んでいないため、得られた制動トルクは、CASE AおよびCに比べて小さくなっている。また、CASE AとBおよびCとDを比べてわかるように、実験計画法によって制約条件の範囲を狭くして

表5 設計変数と水準
Table 5. Design variables and levels.

設計変数	水準		
	1	2	3
L_1 (mm)	1.8	3.7	5.5
L_2 (mm)	1.8	3.7	5.5
θ_1 (deg)	55	85	115
θ_2 (deg)	65	95	125

図16 要因効果図
Fig. 16. Effect of design variables.

表6 実験計画法により得られた初期値および制約条件
Table 6. Initial values and constraints determined by experimental design method.

設計変数	初期値	制約条件
L_1 (mm)	5.5	$3.7 \leq L_1 \leq 7.3$
L_2 (mm)	5.5	$3.7 \leq L_2 \leq 7.3$
θ_1 (deg)	55	$25 \leq \theta_1 \leq 85$
θ_2 (deg)	95	$65 \leq \theta_2 \leq 125$

表7 実験計画法の組合せ
Table 7. With and without experimental design.

CASE	初期値	制約条件
A	×	×
B	×	○
C	○	×
D	○	○

○：実験計画法を使用する
×：実験計画法を使用しない

表8 解析結果の比較
Table 8. Comparison of obtained results.

CASE	設計変数				制動 トルク (N·m)	反復 回数 (回)	計算 時間 (h)
	L_1 (mm)	L_2 (mm)	θ_1 (deg)	θ_2 (deg)			
A	4.3	6.3	25.3	146.3	2.66	98	33.5
B	3.9	6.6	25.1	125.0	2.63	105	36.9
C	4.1	6.6	28.1	152.5	2.68	83	27.8
D	3.8	6.6	25.0	125.0	2.63	71	24.3

も、計算時間はあまり変化しない。よって、初期値の決定にのみ実験計画法を用いるのが得策であるといえる。

Rosenbrock法を用いれば、数千回の反復を要するSimulated Annealing法などの確率的な手法⁽⁵⁾に比べ約100回以内の反復、つまり現状のワークステーションで1日程度で最適解（但し、局所的最適解の可能性あり）を求めることができ、かつ実測値とも比較的良く一致するので、本最適設計法は実際の設計に実用できる可能性があるものと考えられる。

6. むすび

本研究で得られた知見を要約すると、以下のようになる。

- (1) 六面体要素およびRosenbrock法を用いることにより、渦電流および非線形性を考慮した実機の三次元最適設計が可能である。
- (2) 実験計画法を用いて、最適化を行う際の初期値を決定すれば、最適化計算の反復回数および計算時間を減少させることが可能である。
- (3) 本最適設計法を永久磁石式リターダに適用した結果、制動トルクをかなり増加できることを示した。

今回は、形状変化を節点移動のみにより行ったため、形状修正後の分割図に粗密が生じている。今後は、これを回避する自動分割法の開発を行うとともに、計算時間をさらに短縮可能なアルゴリズムの開発を行う予定である。

(平成9年8月1日受付、平成9年12月22日再受付)

文 献

- (1) F. Arpino, P. Di Barba, P. Navarra and A. Savini, "3D global optimum of an electromechanical device", *IEEE Trans. Magn.*, 30, 5, 3427-3430, September (1994)
- (2) 桑原徹：「永久磁石式リターダの開発」，内燃機関，33，8，43-50（平6）

- (3) 村松和弘・橋尾知容・高橋則雄・山田忠治・小川誠・小林晋・桑原徹：「運動座標系を用いた高速回転下の永久磁石式リターダの三次元磁界解析」，電気学会リニアドライブ研究会資料，LD-96-106（平8）
- (4) 村松和弘・中田高義・高橋則雄・藤原耕二：「導体の運動を考慮した渦電流解析法」，電学論D，113，891-900（平5-7）
- (5) 高橋則雄：「最適設計へのアプローチ（磁界問題）」，平7電気学会全国大会シンポジウム，No. S18-3
- (6) D.M.Himmelblau："Applied Nonlinear Programming"（1972）McGraw-Hill
- (7) 田口玄一：「実験計画法上，下」（昭48）丸善
- (8) 井ノ上裕人：「電磁デバイスと最適化」日本能率協会'97磁気応用技術シンポジウム，No. 1-2
- (9) 中田高義・高橋則雄：「電気工学の有限要素法（第2版）」（平4）森北出版
- (10) 亀有昭久：「節点法による電磁力解析」，電気学会静止器・回転機合同研資，SA-93-11，RM-93-49（平5）
- (11) 高橋則雄・藤原耕二：「磁界問題の最適設計法」，第5回電磁界数値解析に関する若手セミナー論文集，11-15（平6）
- (12) 梶田充俊・高橋則雄・村松和弘・山田忠治・小川誠・小林晋・桑原徹：「三次元有限要素法とRosenbrock法を用いた永久磁石式リターダの最適設計」，電気学会全国大会，No. 1241（平9）

梶田 充俊（学生員）1974年2月14日生。96年3月岡山大学工学部電気電子工学科卒業。同年4月岡山大学大学院工学研究科電気電子工学専攻入学，現在に至る。主として，有限要素法を用いた電気機器の最適設計に従事。

高橋 則雄（正員）1951年4月28日生。74年3月岡山大学工学部電気工学科卒業。76年3月京都大学大学院工学研究科電気工学第二専攻修士課程修了。同年4月岡山大学工学部助手，82年6月同講師，84年11月同助教授，93年8月同教授，現在に至る。工学博士。主として，有限要素法による電気・電子機器の磁界解析ならびに最適設計法に関する

研究に従事。83年電気学会著作賞受賞。IEEE，日本応用磁気学会，電子情報通信学会，日本AEM学会，日本応用数理学会会員。

村松 和弘

（正員）1965年8月15日生。90年3月岡山大学大学院工学研究科電気工学専攻修士課程修了。93年3月同自然科学研究科生産開発科学専攻博士課程修了。90年4月アルプス電気（株）入社。92年8月東北アルプス（株）転勤。94年4月岡山大学助手，現在に至る。博士（工学）。有限要素法による電磁界の数値解析に関する研究に従事。93年電気学会論文発表賞受賞。

山田 忠治

（非会員）1946年10月5日生。69年3月東北大学工学部機械工学科卒業。同年4月いすゞ自動車入社。大型車設計部，大型駆動設計部で主に駆動系の開発業務に従事。92年いすゞ中央研究所車両研究部へ移動。主に駆動およびサスペンションシステムの研究を担当し現在に至る。主幹研究員。

小川 誠

1967年7月26日生。90年3月日本大学理工学部工業化学科卒業。92年3月日本大学大学院理工学研究科工業化学専攻修士課程修了。92年4月（株）いすゞ中央研究所入社。現在に至る。磁性材料に関する研究に従事。

小林 晋

1970年10月31日生。93年3月東京理科大学理工学部機械工学科卒業。同年4月（株）いすゞ中央研究所入社。構造解析，磁場解析，流体解析等の解析業務に従事。自動車技術会，日本機械学会会員。

桑原 徹

1947年8月6日生。70年3月信州大学工学部精密工学科卒業。同年4月いすゞ自動車入社。大型車両の設計に従事し，特に駆動系，制動系の装置を担当。93年機械学会技術賞，自動車技術会技術開発賞受賞。現在は制動系を中心に先行開発を担当。日本機械学会正員，自動車技術会正員。