電磁力励起による電動機の振動放射音解析法

正 員 塩幡宏規 (日立製作所)
 非会員 名川泰正 (日立製作所)
 正 員 小林孝司 (日立製作所)
 正 員 小原木春雄 (日立製作所)

非会員 根本佳奈子 (日立製作所)
 非会員 坂本 茂 (日立製作所)
 正 員 伊藤元哉 (日立製作所)

A Method for analyzing Electromagnetic-Force-Induced Vibration and Noise Analysis

Koki Shiohata, Kanako Nemoto, Yasumasa Nagawa, Shigeru Sakamoto, Takashi Kobayashi, Motoya Itou, Haruo Koharagi

In this analysis method, electromagnetic force calculated by 2-dimensional analysis is transformed into external force for 3-dimensional structural-vibration analysis. And a modeling procedure for a vibrating structure is developed. Further, a space-modal-resonance criteria which relates electromagnetic force to structural-vibration or noise is introduced. In the structural-vibration analysis, the finite element method is used; and in the noise analysis, the boundary element method is used. Finally, vibration and noise of an induction motor are calculated using this criteria.

Consequently, high-accuracy modeling is achieved and noise the calculated by the simulation almost coincides with that obtained by experiments. And it is clarified that the-space-modal resonance criteria is effective in numerical simulation.

キーワード: 電磁力, 振動, 騒音, 固有振動数

1. まえがき

誘導電動機, 同期電動機は超小形から発電設備のような大形機械の駆動源として多く用いられている。最近では, 電気的特性の効率向上や構造物の軽量化・小形化の傾向にあり, これに伴い振動や騒音が発生しやすくなってきた。電動機の振動騒音は, 大別して(1)冷却ファンからの通風によるもの, (2)軸受やギヤ等の機械的なもの, (3)電磁力の高調波加振力によるものの三種類に分けられる。このうち, 中小形電動機の場合は電磁力とフレームの共振による振動騒音が大部分を占める。このため快適性や静粛性の観点から電動機の電磁力によって発生する振動や騒音の低減要求が多くなってきている。このような要求を満たすために, 製品の設計時に構造物の振動やこの振動から発生する騒音をシミュレーションにて予測することが望まれている。このシミュレーションにより, 試作回数が低減し, 製品開発の期間短縮や開発コスト低減に貢献できる。

振動騒音の加振源である磁束は有限要素法を用いて詳細に計算できるようになってきた^{(1),(2),(3)}。この磁束を用いてマクスウェルの電磁応力の式から電磁力が求められる。この電磁力の高調波成分が可聴領域の騒音を引き起こす。この時の高調波成分の発生や大小関係はスロットコンビネーションに依存している⁽⁴⁾。

構造振動解析の高精度化を目的としてコイル部分やティース部分のモデル化に関する報告がある⁽⁵⁾。二次元電磁力計算結果を構造加振力として固定子の振動応答計算についての報告がある⁽⁶⁾。小形かご形三相誘導電動機を対象に電磁振動と騒音発生のメカニズムに関する報告もある⁽⁷⁾。自

動車用発電機をいくつかの部品に分けてそれぞれの振動特性を実験で求めておき部分構成合成法により全体系の振動特性を高精度で求める手法が提案されている⁽⁸⁾。しかし, 電磁力によって励起される騒音までを三次元領域で定量的に評価した報告はない。

本報告では, 有限要素法を用いた二次元電磁力の解析に基づいて求められた高調波成分によって発生する電動機の三次元振動・騒音を効率良く解析する手法について述べており, その内容は以下の通りである。まず有限要素法を用いて二次元電磁界解析によって求めた電磁力の高調波成分を, 有限要素法を用いた三次元構造振動解析の加振力に変換する手法について述べる。つぎに振動解析のために, 電動機を前後端板, 固定子, 回転子の部品に分解して打撃試験を行い, 組立時のモデルの高精度化を図る。また, 電磁力の高調波成分の円環モードと構造の固有振動モードとから共振の程度を表す空間モード共振判定値を提案する。これらを基に, 4極機の電動機を対象に振動騒音の数値シミュレーション及び実験を行い, 騒音予測精度について比較検討する。また, 振動・騒音予測にあたり, 電磁力の高調波成分のうち, 構造振動に及ぼす卓越した成分は空間モード共振判定値が他に比べて大きいことを明らかにする。

以上の結果は, 電動機高調波成分によって発生する振動・騒音の予測及びその低減に有効であると考えられる。

2. 解析法

<2.1> 電磁力の高調波解析 ここでは, 電磁力解析の概略を述べ, 詳細は文献(4)に譲る。電磁界解析により回転子を固定子コア内周一回りしたときのエアギャップにおける

図1 電磁力空間モード
Fig. 1. Space modes of electromagnetic force

径方向の空間磁束密度が求められる。この求めた磁束密度波形には基本波の上に高調波成分が重畳している。

これら高調波磁束密度からマクスウェル方程式を用いて電磁力が次式で与えられる。

$$\sigma_r = \frac{1}{2\mu_0} (B_r^2 - B_t^2) \quad (1)$$

ここで、 B_r は径方向、 B_t は接線方向の磁束密度を表す。式(1)には基本波成分と基本波の整数倍の高調波成分が含まれている。電磁音には基本波の影響は少なく、高調波成分に依存する。式(1)の波形をフーリエ級数に展開すると次式で表される。

$$\sigma_r = \sum_k \sum_l a_{k,l} \sin(kx - l\omega t + \alpha_{k,l}) \quad (2)$$

ここで、 $\omega (=2\pi f)$: 固定子電流の角周波数 (rad/s), f : 電源周波数 (Hz), l : 時間次数, k : 空間の次数である。また、 $a_{k,l}$ は高調波成分の振幅、 $\alpha_{k,l}$ は位相角である。振幅 $a_{k,l}$ は次式で与えられる。

$$c_{k,l} = \iint \sigma_r \sin(kx - l\omega t) dt dx \quad (3)$$

$$d_{k,l} = \iint \sigma_r \cos(kx - l\omega t) dt dx \quad (4)$$

$$a_{k,l} = \sqrt{c_{k,l}^2 + d_{k,l}^2} \quad (5)$$

位相角 $\alpha_{k,l}$ は次式で与えられる。

$$\alpha_{k,l} = \tan^{-1} \left(\frac{c_{k,l}}{d_{k,l}} \right) \quad (6)$$

式(2)に示すように電磁力は時間と空間のフーリエ級数に展開される。時間次数は正負があり、正の時間次数は回転方向と同方向の回転磁界、負の時間次数は回転方向と逆方向の回転磁界を意味する。一方、空間次数 k は径方向の

図2 電磁力-構造加振力変換

Fig. 2. Transformation of electromagnetic force into structural external force

変形に関係し、円環モード次数 n への変換は電動機の極数を p としたとき次式で行う。

$$n = k \times (p/2) \quad (7)$$

図1に4極の電動機に現れる電磁力高調波の空間モードの例として $k=0 \sim 3$ の4つのモードを示す。()の数値は円環モード n の次数を示す。電動機が内転形の場合、この電磁力が固定子コアを加振してハウジングを振動させ外部に騒音を発生させる。

<2.2> 電磁力-構造振動加振力変換 ここでは、前節で求めた2次元の電磁力を3次元の構造振動解析用の加振力に変換する方法について図2をもとに詳述する。2次元電磁界解析によって求められた電磁力は図2(a)に示すように円周上の二次元分布で与えられ、その単位はPa(パスカル)である。一方、電磁力が構造に作用する加振力は図2(b)に示すように3次元分布となり、その単位はN(ニュートン)である。一般に電動機のスキュー構造がない場合、長手方向ではほぼ一定であるため、構造加振力も長手方向に一定であると仮定できる。いま、図2(b)のように構造が有限要素に分割されているとする。このとき、要素 m の重心位置の円周方向の極座標 (r_m, θ_m) における電磁力 σ を式(2)で求める。電磁力振幅 $a_{k,l}$ は圧力の形で構造の各要素に分布して作用している。この分布電磁力に要素面積 S_m を乗じて要素全体にかかる集中荷重 f_m を求めることができる。構造振動解析では、加振力は要素節点に作用する。有限要素モデルとして4節点要素を用いた場合、各節点 i には $f_m/4$ が作用することになる。このようにして、電磁力の作用する構造部分のすべての節点にかかる加振力を求めることができる。

<2.3> 電磁力-構造振動共振判定法 電磁力の高調波空間分布は図1に示すように円環モードに展開され、軸方向一定に現れるとする。この円環モードで電動機の固定子コアが加振される。この円環モードをもつ電磁力周波数と構造系の固有モードのうちの円環モードを示す固有振動数とが一致した時に共振状態となり振動がピークを示す。一般に電動機の固定子コアの軸方向直角断面は、断面中心に対して対称構造をしている場合が多いため、図1に示す

円環モードが発生しやすくしかも軸方向ほとんど同じとなる。しかし、フレームは冷却フィンや端子箱があるため、図1の円環モードとは異なり歪みを持ちさらに軸方向で異なる。この結果、固定子コアとフレームは結合しているため固定子コアの断面も図1に示すような円環モードとはならないことが多い。このため、電磁力が構造振動や騒音にどの程度影響を及ぼすかを評価することが難しい。これら電磁力と構造振動との共振状態を評価できれば、電気的にまたは構造的に共振を避ける設計が可能になる。そこで、電磁力高調波成分のうち図1に示すような空間次数に対応する分布を第2.2節に示す手法で3次元加振力分布に変換し、空間（座標）の関数として表した $\{\phi_s\}$ を電磁力高調波空間モードベクトルとする。同様に構造系の固有モードを空間の関数とする $\{\phi_s\}$ を固有モードベクトルとする。これら2つのベクトルの共振状態を定量的に判定するために次式で表される値SMORC (Space Modal Resonance Criteria) γ を導入する。

$$\gamma = \frac{\|\{\phi_e\} \cdot \{\phi_s\}\|}{\|\{\phi_e\}\| \cdot \|\{\phi_s\}\|} \quad \dots\dots\dots (8)$$

式(8)は2つの空間ベクトルの方向余弦を表しており、空間ベクトルが等しいときには1となり、直交するときには0となる。すなわち、1に近いほど電磁力と構造振動は共振状態に近づき、0に近いほど非共振状態に近づくことになる。

＜2.4＞ 振動放射音解析 まず、構造を有限要素法を用いて離散化し、固有振動数及び固有モードを解析する。この後にモード解析法を用いて振動応答を計算する。解析自由度縮小のために低次及び高次モード補正を行う^{9), 10)}。構造を忠実に有限要素化した場合、要素数が多く、解析自由度は大きく、計算負荷が膨大となり、解析が困難になってしまう。そこで、構造を単純にモデル化することが必要となる。具体的な方法として、まず電動機の部品単体及び組立て状態で拘束の影響を排除するために吊り下げて打撃加振を行い固有振動数、固有モードを求める。つぎに固有振動数を計算し、実測値と比較して構造のヤング率、密度等を同定する。この場合、回転子及び固定子の積層部分、

図3 音場解析モデル

Fig.3 Acoustic Analytical Model

コイル及びコイル端部分、固定子のティース部分については、積層部分やコイル巻き付けの部分は打撃の力加減や方向によってバラツキがあるため、振動モデル作成にあたり、データの再現性を十分に考慮して実験する必要がある。このモデル化に従い、振動応答解析を実行する。

つぎに、上記振動応答をもとに、音場解析を行う。音場解析では閉空間の解析に適した境界要素法を用いることにする¹¹⁾。以下、境界要素法を用いる手法について簡単に述べる。図1に示すように領域V内の任意の点pの速度ポテンシャルを $\Phi(p)$ とすると、音圧 $P(p)$ 及び境界面Aの法線方向の粒子速度 $v_n(\bar{q})$ との関係は次式で表される。

$$P(p) = -j \omega \rho \Phi(p) \quad \dots\dots\dots (9)$$

$$v_n(\bar{q}) = -(\partial \Phi(\bar{q}) / \partial n_{\bar{q}}) \quad \dots\dots\dots (10)$$

ここで、jは虚数単位、 ω は角速度(rad/s)、 ρ は媒質の密度(kg/m³)、 $n_{\bar{q}}$ は境界面位置 $\bar{q}$ における法線ベクトルを表す。このとき点pにおける速度ポテンシャル $\Phi(p)$ はHelmholtzの公式から次式で与えられる。

$$4\pi\Phi(p) = 4\pi \sum_{m=1}^M \Psi_m(p) + \iint_{q \in A} \left\{ \Phi(\bar{q}) \frac{\partial \Gamma(p, \bar{q})}{\partial n_{\bar{q}}} - \frac{\partial \Phi(\bar{q})}{\partial n_{\bar{q}}} \Gamma(p, \bar{q}) \right\} ds \quad \dots\dots\dots (11)$$

また

$$\Psi_m(p) = E_m \cdot \Gamma(p, S_m) \quad \dots\dots\dots (12)$$

を得る。ここで、 $\Psi_m(p)$ は点音源 S_m から点pへの直接音成分、 E_m は点音源 S_m の強さ、 $\Gamma(p, \bar{q})$ は基本解($=e^{-j\kappa r}/r$)、 κ は波数、rは閉空間Vの任意点pと境界面A上の点 $\bar{q}$ との距離、 $n_{\bar{p}}$ 、 $n_{\bar{q}}$ は境界面Aの点 $\bar{p}$ 、点 $\bar{q}$ における外向き法線ベクトルを表す。

式(11)の右辺において点音源の強さ E_m 及び境界面A上の粒子速度 $v_n(\bar{q})$ を境界条件として与え境界面A上の速度ポテンシャル $\Phi(\bar{q})$ を求めれば空間Vの任意の受音点pにおける速度ポテンシャル $\Phi(p)$ が得られる。そこで境界面A上 $\bar{q}$ の $\Phi(\bar{q})$ を求めるため点Pを境界面A上の点 $\bar{p}$ に収束させ次の積分方程式を導く。

$$2\pi \frac{\partial \Phi(\bar{p})}{\partial n_{\bar{p}}} = 4\pi \sum_{m=1}^M \frac{\partial \Psi_m(p)}{\partial n_{\bar{p}}} + \iint_{q \in A} \left\{ \Phi(\bar{q}) \frac{\partial^2 \Gamma(\bar{p}, \bar{q})}{\partial n_{\bar{q}} \partial n_{\bar{p}}} - \frac{\partial \Phi(\bar{q})}{\partial n_{\bar{q}}} \frac{\partial \Gamma(\bar{p}, \bar{q})}{\partial n_{\bar{p}}} \right\} ds \quad \dots\dots\dots (13)$$

この $\Phi(\bar{q})$ を精度良く求める方法として高野らは境界面の表裏に対し独立に境界上の積分方程式を提案しその有効性について報告している¹¹⁾。式(12)、(13)から空間の任意点における速度ポテンシャルが得られ、式(9)に代入して音圧が計算さ

図4 試作誘導電動機外観

Fig. 4. A View of the induction motor

図5 電動機の後端板騒音測定結果(10cm 後方)

Fig. 5. Measured noise level at 10 cm behind rear end bracket

れる。このため、有限要素法を用いた振動解析結果を境界要素解析用にデータ変換することが必要であり、ここでは一定要素を用いて変換している。

3. 振動放射音のシミュレーション

＜3・1＞ 電磁力の計算と加振周波数 図4に4極機の試作誘導電動機の外観を示す。試作電動機的主要仕様は、電圧200V、極数4、固定子スロット数48、回転子スロット数40、固定子外径300mm、固定子積厚260mmである。この電動機を対象に電磁力の高調波解析を行った結果、図1に示した円環モード $n=0, 2, 4, 6$ さらに $n=8, 10$ が顕著に現れた。また、本モデルとなる電動機を実際に運転して、周辺の騒音を測定した。図5に定格運転における端板後方10cmのところの騒音の周波数特性を示す。これより、1100Hzのところで騒音が最大を示していることがわかる。この電動機は50Hz、1500rpmであるので時間次数22次の高調波電磁力が作用していることになる。そこで、以下の振動、音場解析の加振周波数として1100Hzを選ぶことにする。この電磁力をもとに構造加振力に変換を行った。

＜3・2＞ 構造のモデル化 図4に示す試作電動機を対象に、前後端板、回転子、固定子(コア、フレーム、冷却用フィン)の一体構造に分解した時の部品及び全体組立後の一体構造状態における固有振動数を打撃試験によって求めた。いずれの打撃試験も吊り下げの状態で行った。これら試験結果をもとに振動計算に必要なモデル化した定数を表

図6 電動機部品及び一体構造固有振動数

Fig. 6. Natural frequency of parts and motor assembly

表1 有限要素モデルと材料定数

Table 1. Finite element model and material properties

部品名	材質	要素モデル	ヤング率 (N/m^2)	密度 (kg/m^3)
前端板	鋳鉄	シェル	9.8×10^{10}	7.25
後端板	鋳鉄	シェル	9.12×10^{10}	7.15
回転子	珪素鋼	ソリッド	2.1×10^{11}	7.85
固定子	コア	珪素鋼 異方性ソリッド	$E_x = 2.1 \times 10^{10}$ $E_y = 2.1 \times 10^{10}$ $E_z = 2.1 \times 10^{11}$	7.85
	フレーム	アルミ	ソリッド 7.2×10^{10}	2.7
フィン	アルミ	シェル 7.2×10^{10}		2.7

1に示す。フレーム、回転子は等方性ソリッド、コイル端、固定子コアの積層部分には異方性ソリッド、端板はシェル、冷却用フィンはシェル要素としてモデル化した。

図6に単体及び組立状態の固有振動数の実測と計算値を示す。構造振動計算において、前後の端板とフレームとのボルト結合部は、剛結合としてモデル化した。図6中、各部品を表す記号が実線上にあれば実測値と計算値が一致している。この場合、部品単体での差は3%以内、一体構造で最大差で7%程度であり、モデル化の精度は十分と考える。また、組立て後の一体構造の固有振動数は1100Hz近傍にあり、騒音の最大となる周波数にはほぼ一致していることから、共振による振動騒音が発生していることが予想される。

＜3・3＞ 空間モード共振判定値の計算 騒音がピークを示す1100Hz近傍の構造固有振動数は1067Hzに存在し、その固有モードの固定子コアの部分を取り出して図7に示す。さらに固定子コアの両端部及び中央部断面のモードを図8に示す。図7、図8から振動モードは第2.3節で述べた通り複雑な形状をしており、その断面は図1に示す円環モードとは異なりしかも長手方向にも変化していることがわかる。電動機一体構造の1100Hzにおける電磁力空間モードとして $k=0 \sim 5$ に対応する円環モードとして表2に示す6つ

を選んだ。式(8)から電磁力と構造振動モードとの共振判定値の計算結果は表2ようになる。この結果、1100Hzにおける構造振動が1067Hzの固有モードに類似したモードで振動していると仮定すると、電磁力円環モードは $n=2, 4$ が支配的となることが予想される。

3.4 振動・騒音の計算 まず、前節の共振判定値の大小関係が振動騒音にどの程度影響を与えるかについて検討する。振動解析のための自由度は36555、音場解析のため1の自由度は6814である。振動応答を計算するために用いた減衰比は実験で求め、0.02~0.06とした。振動放射音を計算するための境界面としてフレーム、フィン、端板の外表面を選んだ。

騒音を計算する前に、各円環モード次数を持つ電磁力が構造振動にどの程度寄与するかについて検討する。振動加

図7 固定子全体の固有モード(1067Hz)

Fig. 7. Natural mode of stator at 1067 Hz

図8 固定子断面の円環モード

Fig. 8. Circular modes of stator

表2 共振判定値

Table 2. Space-modal- resonance criteria

構造 固有振動数	電磁 加振周波数	電磁力 円環モード次数	共振判定値 SMORC
1067Hz	1100Hz	0	0.01
		2	0.15
		4	0.21
		6	0.03
		8	0.007
		10	0.006

速度を評価量として、図8に示した3ヶ所の断面を選ぶ。各断面の最大加速度の計算結果を表3に示す。さらに、6つのモードの電磁力が同時に作用した時の振動加速度を表3に併記して示した。これより、単独のモードの電磁力が作用した場合、SMORC 値のもっとも大きい $n=4$ における振

表3 1100Hzにおける最大振動振幅の比較

Table 3. Comparison of maximum vibration amplitude at 1100Hz

円環モード 次数, n	共振判定値 SMORC	フレーム振動加速度 (mm/s ²)		
		端部 A	中央部	端部 B
0	0.01	1.5×10^2	1.6×10^2	2.1×10^2
2	0.15	1.9×10^{-4}	2.7×10^{-4}	6.7×10^{-4}
4	0.21	2.3×10^3	2.2×10^3	2.7×10^3
6	0.03	1.7×10^{-4}	1.5×10^{-4}	2.2×10^{-4}
8	0.007	3.2×10^1	2.5×10^1	2.8×10^1
10	0.006	2.0×10^{-5}	3.3×10^{-5}	4.7×10^{-5}
0,2,4,6, 8,10	-	2.4×10^3	2.3×10^3	2.8×10^3

図9 騒音分布計算結果(1100Hz)

Fig. 9. Contour map of noise level from a motor

動加速度の大きいことがわかる。 $n=2$ の SMORC 値も大きいですが電磁力が0に近く小さいため振動振幅は小さい。一方、 $n=2, 8$ の場合 SMORC 値は小さいが電磁力が $n=4$ と同程度であるので振動振幅が大きくなっているが $n=4$ に比べて小さい。表3から $n=4$ と6つのモードの電磁力が同時に作用した時の振動加速度を比較するとほとんど同じであることがわかる。これより、電磁力の高調波成分によって発生する振動加速度を予測する時には SMORC 値の大きい電磁力の円環モードが支配的であることがわかる。

以上の結果を踏まえて、1100Hzにおける騒音を計算した。図9に電動機周辺の騒音分布を示す。この図から、騒音分布には指向特性のあることが分かる。また図中に、前後の端板から10cm離れたところ及びフレームから径方向に10cm離れたところの音圧の計算値と実測値を併記した。と実測値を併記した。この結果、計算値と実測値との差が3dB以内であり、計算による予測精度が良好であることがわか

った。

4. むすび

電磁力によって励起される振動放射音解析法について検討し、以下のことを明らかにした。

- (1) 二次元電磁力を三次元構造振動の加振力に変換する手法を導いた。
- (2) 部品単体の打撃実験をもとに振動解析に必要な定数を同定し、固有振動数で実測と計算の差が最大7%以内となるよう精度のよいモデル化構造モデルを導いた。
- (3) 電磁力の空間高調波と構造の固有振動モードとの共振度合を評価する共振判定値を提案した。この共振判定値が騒音レベルに大きな影響を与えることを明らかにした。
- (4) 電動機の振動放射音の解析結果と実験結果を比較してその差3 dBとなり、本解析手法を用いて電動機の振動放射音を予測できる見通しを得た。

(平成10年2月23日受付、平成10年7月8日再受付)

文 献

- (1) Williamson, S. and Ralph, J. W. "Finite element analysis of an induction motor fed from a constant-voltage source", Proc. IEE 130 ~13, 1(1983-1)
- (2) H. Mikami, K. Ide, K. Arai, M. Mikami, K. Kajiura: "Dynamic Harmonic Field Analysis of an Inverter-Fed Induction Motor Considering All Harmonic Components in the Secondary Current", IEEE-IAS, Conf. Rec. 579~583(1995)
- (3) 石橋・小林: 「小形誘導電動機の高調波磁束の実験的考察」電学論D, 110, 891(平2-8)
- (4) T. Kobayashi, F. Tajima, M. Ito, S. Shibukawa: "Effect of Slot Combination on Acoustic Noise from Induction Motors" IEEE Transaction on Magnetics, 33, 2, 2101~2104(1997)
- (5) I. Suzuki, S. Noda, K. Itomi, F. Ishibashi: "Natural Frequencies of Stator in Induction Motors" Proc. of DETC'97, 1-8(1997)
- (6) 石橋: 「小形誘導電動機電磁振動の数値解析」第2回モータ技術フォーラム, 日本能率協会, 1~10(1996)
- (7) 石橋・野田・森: 「小形誘導電動機の電磁振動について」電学論D, 112, 3, 307~313(平4)
- (8) 嵯峨・岩城・中沢: 「自動車用発電機の部分合成法による電磁振動解析」電学論D, 115, 12, 1545~1550(平7)
- (9) 畠・塩幡: 「動的応答計算における外力項を考慮した一般化座標(第3報)」機論C, 57, 540, 2606~2614(平3)

- (10) 岩壺・河村・鎌田・塩幡: 「構造・音場連成解析手法の開発に関する研究(高次と低次の周波数帯域を省略する手法の提案)」機論C, 61, 585, 1917~1923(平7)

- (11) 高野・下出: 「境界要素法による直方体周辺音場予測精度」日音講論, 465~466(昭59)

塩幡 宏規

(正員) 昭和22年5月1日生。昭和47年3月茨城大学大学院工学研究科修士課程終了。同年(株)日立製作所入社。機械研究所勤務。ローターダイナミクス、電動機の振動・騒音の研究に従事。現在、同所主任研究員。工学博士。昭和55年、62年に日本電機工業会電機工業技術功績者進歩賞受賞、日本機械学会、計測自動制御学会会員。

根本佳奈子

(非会員) 昭和37年8月2日生。昭和60年3月筑波大学第3学群情報学類卒業。同年4月(株)日立製作所入社。同社機械研究所勤務。機械系のシミュレーション技術の開発に従事。現在、誘導電動機の低騒音化技術の開発に従事。日本機械学会会員。

名川 泰正

(非会員) 昭和24年4月15日生。昭和50年3月東京農工大大学院工学研究科修士課程終了。同年(株)日立製作所入社。機械研究所勤務。流体機械、メカトロ関係の研究を経て、電動機の振動騒音の研究に従事。日本機械学会会員

坂本 茂

(非会員) 昭和35年8月15日生。昭和59年3月東京工業大学数学科卒業。同年4月(株)日立製作所入社。平成3年3月筑波大学大学院経営システム科学専攻修士課程修了。同社機械研究所において、磁気浮上列車や回転電機等の振動解析に従事。日本機械学会、日本OR学会、日本AEM学会会員。

小林 孝司 (正員) 昭和 31 年 12 月 8 日生。昭和 56 年 3 月東北大学大学院工学研究科原子核工学専攻博士前期課程修了。同年 4 月 (株)日立製作所入社。日立研究所勤務。超電導磁石, 回転電気機械の研究・開発に従事。現在, 同所主任研究員。

小原木春雄 (正員) 昭和 28 年 2 月 5 日生。46 年 3 月佐賀県立鳥栖工業高等学校電気科卒業。同年 4 月 (株)日立製作所入社。日立研究所勤務。回転電気機械の研究・開発に従事。現在, 同所主任研究員。工学博士。昭和 62 年オーム技術賞, 平成 8 年電気学会論文賞受賞

伊藤 元哉 (正員) 昭和 22 年 8 月 19 日生。昭和 45 年, 横浜国立大学工学部電気工学科卒業。同年 (株)日立製作所入社。同社日立研究所において, 回転電気機械および電磁界解析の研究・開発に従事。現在, 同所主任研究員。計測自動制御学会, 日本応用磁気学会, IEEE 会員。平成 5 年電気学会論文賞受賞。