自動車の移動に起因する磁界変動の検討

正員 鎌田 清孝^{*}正員 湯ノ口万友^{**}正員 山崎 慶太^{***}正員 加藤 和夫^{***}非会員 上田 智章^{****}正員 芳賀 昭^{*****}

Magnetic Field Fluctuation Due to Movement of Automobile

Kiyotaka Kamata^{*}, Member, Kazutomo Yunokuchi^{**}, Member, Keita Yamazaki^{***}, Member,
Kazuo Kato^{***}, Member, Tomoaki Ueda^{****}, Non-member, Akira Haga^{*****}, Member

The fluctuations of magnetic field (FMF) from automobiles of different shapes and sizes running north to south, and east to west are measured and the characteristics are grasped. The direction of magnetization of the automobile is assumed by the waveform and amplitude of the FMF obtained by the measurements. In this report, the distribution of disturbance magnetic fields around the automobile is measured, by which the size, direction and location of magnetic dipole is predicted. In order to obtain the size and direction of dipole M of the automobile, the distribution of disturbance magnetism around that is measured and is calculated, using the BTnet method. Finally, the amplitude of the FMF calculated using the size and direction of magnetic dipole M of the automobiles are compared with those measured.

キーワード：自動車，磁性体，磁界変動，微弱磁気計測，BTnet 法

Keywords：automobile, fluctuation of magnetic fields, weak magnetic measurements, BTnet method

1. はじめに

脳磁界計測や心磁界計測等の生体磁気計測では、 $10^{-12} \sim 10^{-14}$ T 程度の微弱でしかも数 Hz 以下の低周波磁界を対象としている場合が多い⁽¹⁾。また、半導体製造装置のエレクトロンビームマスク描画装置、電子顕微鏡の精度は低周波環境磁界変動に影響される⁽²⁾。このような計測や描画を精度良く行うためには、環境磁界変動の低い場所を選定するか、

環境磁界変動を遮蔽するための磁気シールドルーム(MSR)やアクティブ磁気シールド(AMS)が用いられることが多い。しかしながら、MSR や AMS の遮蔽性能の設計のためには、設置場所の磁界変動の波形や振幅の大きさ、周波数特性などの環境磁界変動の特性を把握、予測することが重要である。数 Hz 以下の低周波磁界変動の主な発生源には、直流電車の送・帰電流、自動車、エレベータ、鉄扉等の磁性体の残留磁気の移動等が挙げられる。既報⁽³⁾で我々は、直流電車の電流と低周波磁界変動を同時に測定し、その軌道からの距離減衰特性を把握するとともに磁界変動の発生機構を検討した。さらに電流値の変動から磁界変動の大きさを予測する解析手法を提案した。

その一方、直流電車が近傍に存在しない場所においても、生体磁気計測やエレクトロンビームマスク描画が行われている場所の周囲には自動車が走行することが多い。自動車の残留磁気に関して、種々の研究発表が行なわれているが、自動車の移動に伴って生じる磁界変動波形を利用して通行車両の方向、速度、車長を自動計測・記録するシステム開発⁽⁴⁾や位置検出⁽⁵⁾など自動車の残留磁気を積極的に利用する立場のものが多く、環境擾乱磁界源としての自動車の残留磁気に関する報告は少ない⁽⁶⁾⁽⁷⁾。そこで本論文では、生体磁気計測やエレクトロンビームマスク描画装置など微弱

^{*} 鹿児島工業高等専門学校
〒899-5193 鹿児島県始良郡隼人町真孝 1460-1
Institute of National Colleges of Technology
1460-1, Shinko, Hayato, Aira-gun, Kagoshima 899-5193

^{**} 鹿児島大学
〒899-0065 鹿児島市郡元 1-21-40
Kagoshima University
1-21-40, Korimoto, Kagoshima 899-0065

^{***} (株) 竹中工務店
〒270-1352 印西市大塚 1-5-1
Takenaka Corporation

^{****} 1-5-1, Otsuka, Inzai 270-1352
KRI (株) 関西新技術研究所
〒600-8813 京都市下京区中堂寺南町 134
Kansai Research Institute

^{*****} 134, Chudoji Minami, Shimogyo-ku, Kyoto 600-8813
東北学院大学
〒985-8537 多賀城市中央 1-13-1
Tohoku Gakuin University
1-13-1, Chuo, Tagajo 985-8537

磁界計測装置に影響を及ぼす、貨物自動車・普通乗用車等の自動車の移動に起因する磁界変動の大きさや波形の特徴を把握し、予測することを目的とする。

本論文では、まず始めに、各種自動車を移動速度や方向や方向を変えて走行させて磁界変動の測定を行い、車種毎の振幅や波形の特性を把握する。振幅の距離特性および波形の車種毎に異なる特徴から、自動車を磁化された磁性体として仮定することが可能であることを示す。そこで次に、各種自動車の移動に起因する磁界変動の範囲を定量的に予測するため、自動車周囲の擾乱磁界分布を測定し、測定結果から、磁化された磁性体の向きを推定する。さらに、BTnet (Base Transition network) 法⁽⁸⁾を用いて、磁荷分布を求め、散らばった磁荷を一つの磁化された磁性体として磁化 M の向き、大きさおよび位置を算出し、擾乱磁界分布から推定した磁化された磁性体の向きと比較し、BTnet 法の妥当性を検討した。さらに、求めた磁化された磁性体の磁化 M を用いて、磁化された磁性体から距離 r 離れた位置に発生する磁束密度 $B(r)$ を積分公式により算出し、測定結果と比較、検討した。

2 測定方法と測定結果

〈2・1〉 自動車の移動に起因する磁界変動の測定と結果

〈2・1・1〉 自動車の移動に起因する磁界変動の測定方法

図 1 に自動車の移動に起因する磁界変動の測定配置図を示す。測定に用いた自動車は 7 種類 (バス (Bus)、普通貨物 (Dump Truck) および普通乗用車 (Small size Passenger Car) 等) 合計 22 台の車を東西方向に 50 m、南北に 40 m の距離を走行速度 (10 km/h, 20 km/h) を変えて走行させた。東西と南北の交点 0 から北方向および東方向に 5 m, 10 m および 15 m の位置に高さ 50 mm のコンクリートブロックを配置して、その上に置いたフラックスゲート型磁束計 (Applied Physics Systems 社製: APS520A) により、移動方向、走行速度および車種をパラメータとして移動時の磁界変動を測定した。例えば、東西方向に自動車が走行した場合、交点 0 から北方向に $r = 5$ m, 10 m および 15 m の位置に車の走行方向と直交に置かれたセンサで測定を行う。同様に南北方向に自動車が走行した場合、交点 0 から東方向にセンサを同じ距離を離し車の走行方向と直交するように配列して測定を行う。センサの配置は、 X を東方向、 Y を南方向、 Z を垂直方向とした。測定結果は、データレコーダとサーマルドットレコーダで記録した。

〈2・1・2〉 自動車の移動に起因する磁界変動の測定結果

(1) 走行速度による磁界変動幅の比較 車の走行速度が 10 km/h と 20 km/h のときの磁界変動幅には変化が見られなかった。

(2) 磁界変動幅の距離減衰特性 図 2 に磁界変動幅 ΔB_x , ΔB_y および ΔB_z の合成値 $\Delta|B|$ と 0 点からセンサまでの距離の関係を示す。車種に関係なく 0 点からの距離 r の約 3 乗で減衰することが分かる。

また、Dump Truck の磁界変動幅は他の車種に比べ一桁

図 1 自動車の移動に起因する磁界変動の測定配置図

Fig. 1. Measurement location of fluctuation of magnetic field due to automobile movement.

図 2 自動車の走行位置からの距離と磁界変動幅 ($\Delta|B|$) の関係

Fig. 2. Relation between amplitude of fluctuation of magnetic field ($\Delta|B|$) and the distance from the automobile traffic.

から 2 桁ほど大きい。

(3) 東西および南北方向に走行した場合の磁界変動幅の比較 図 3(a) 東から西、南から北へ走行したとき (運転席がセンサに近い位置の場合)、(b) に西から東、北から南へ走行したとき (運転席がセンサから遠い位置の場合) の 5 m 地点での磁界変動幅を示す。大多数の車種では走行方向による変動幅の顕著な違いは認められなかった。このことから自動車は走行方向に依存せず車両毎に磁化していると推測できる。

図 4 に磁界変動の測定結果から磁化された磁性体の推測の方法を示す。例えば、図 4 に示すように水平後方向きに磁化された磁性体が A から C へ移動したとする。ただし、センサの配置は、図 4 の通りである。水平後方向きに磁化された磁性体が A 地点にある場合、磁化された磁性体から生ずる磁界の向きは、 X 方向のセンサに対して反対向きでほぼ 0 である。B 地点に進むにつれて負の方向に最大となり、

(a) Measured points on the side of driver

(b) Measured points on the opposite side of driver

図 3 自動車の移動に起因する磁界変動

Fig. 3. Amplitude of fluctuation of magnetic field due to automobile movement.

図 4 磁界変動の測定結果から磁化された磁性体の推測

Fig. 4. Estimation of magnetized magnetic material by measurement results of fluctuation of magnetic field.

B 地点では 0 となる。さらに、C 地点に進むにつれて、X 方向のセンサに対して同じ向きになり、正の方向に最大となり、その後、ほぼ 0 となる。一方、Y 方向の磁界は Y 方向のセンサに対して反対向きでありほぼ 0 であり、B 地点に進むにつれて、負に増加し、B 地点でさらに、最大値となる。さらに、C 地点に進むにつれて、ほぼ 0 となる。このようにして、磁界変動の測定結果から磁化された磁性体の磁化の方向を推測した。

図 5 に自動車の走行に伴う、それぞれの走行方向におけ

図 5 自動車の移動に起因する磁界変動の測定結果 (B_x)

Fig. 5. Measurement results of fluctuation of magnetic field due to automobile movement.

図 6 Dump Truck 周囲の擾乱磁界分布の測定箇所

Fig. 6. Measurements points for distribution of disturbance magnetic fields around the Dump Truck.

る自動車から 5 m 地点での磁界変動波形の測定結果と、推定される磁化された磁性体の磁化の向きを示す。Dump Truck は水平後方向き、SPCA では水平前方向き、Bus では車体の幅方向を主成分とする水平の磁化された磁性体を持つと推定され、推定される磁化された磁性体の磁化の向きが各種自動車によって異なる。また、図 5 では各車種とも、南北方向に走行する場合の磁界変動幅は東西方向に比べて小さかった。

(2・2) 自動車周囲の擾乱磁界分布の測定

(2・2・1) 測定方法

磁化された磁性体の磁化 M の大きさと向きを推定するために、各種自動車の領域とその前後左右の端から 1.5 m 離れた領域を 0.5 m 間隔の格子点で、0 m, 0.5 m, 1.0 m および 1.5 m の高さで擾乱磁界分布の測定を行った。図 5 は、Dump Truck 周囲の擾乱磁界分布の測定点の例を示したもので、測定はホール素子磁力計 (ADS: 東洋磁気工業) を用いて測定した。

ただし、センサは X を東方向、Y を南方向、Z を垂直方向とし、予め磁場測定に影響を及ぼす磁性体等の無いグラウンド中央 (50 m × 100 m) で、3 方向の地磁気を測定し、各

図 7 自動車周囲の擾乱磁界分布の測定結果

Fig. 7. Results of disturbance magnetic fields distribution around the automobiles.

図 8 各種自動車の磁化された磁性体の位置推定

Fig. 8. Position estimation of magnetized magnetic material of automobiles.

測定点の B_x , B_y および B_z から地磁気を差し引いた値の擾乱値を測定データとした。

〈2・2・2〉 測定結果 図 7 に、高さ 0 m における自動車周囲の擾乱磁界分布の結果の一例を示す。また、車体の形状を擾乱磁界分布に破線で示す。

図 7 (a) Bus の(a-3) B_z では、6~7 付近を境界として+、-の領域が区分されており、(a-1) B_x においては、+領域が大部分の領域を占めているが測定値の最小値は前方側に最大値は後方側にずれている。また、(a-2) B_y において、I~K, O~Q 付近を境界として+、-の領域が区分されている。したがって、推定される磁化された磁性体の向きは上半分は主として S 極、下半分は主として N 極とする幅方向成分と前方向成分を有する左に傾いた前方水平に磁化された磁性体として考えられる。

(b) Dump Truck の(b-3) B_z では、H~J 付近を境界として+、-の領域が区分されている。(b-1) B_x においては、左上半分と右下半分が-の領域、右上半分と左下半分が+領域が占めている。したがって、推定される磁化された磁性体の向きは、右半分領域は N 極、左半分領域は S 極とする水平後方向きに磁化された磁性体として考えられる。

一方、(c) SPCA において、若干異なる部分があるが、(b) Dump Truck の擾乱磁界分布とは+と-領域の占める領域が反対である。したがって、推定される磁化された磁性体の向きは右半分領域は S 極、左半分領域は N 極とする水平前方向きに磁化された磁性体として考えられる。

これらの磁化された磁性体の方向は〈2・1・2〉節 (1) 項の走行する自動車の磁界変動波形から推定したものと一致している。そこで次章で磁化された磁性体の磁化 M の向き、大きさおよび位置を算出した。

3. 磁化された磁性体の解析方法および解析結果

〈3・1〉 BTnet 法による磁化された磁性体の推定方法と推定結果

〈3・1・1〉 推定方法 磁化された磁性体の推定方法には BTnet 法を用いた。BTnet 法とは、解析対象内に存在する物理源を、未知数を 1 つだけ持った座標を固定した物理源の集合で近似して解析モデルの線形化を行えば、任意の未知数と評価関数（残差平方和）の関係が常に放物線になることに着目した軸値への修正を反復する最小 2 乗推定アルゴリズムである。未知数の個数に比して観測点数が十分に多く、S/N が良好である場合には一意収束する解析手法である。今回は、上記反復アルゴリズムを用いて、誤差を最も改善する未知数を探索する修正アルゴリズムを用いた。この修正アルゴリズムとは最も誤差を小さくする未知数を探索すると物理源から観測面までの距離に関して感度係数の大小ばらつきが生じ、放物線の開口度も未知数毎に異なるため、観測面に近い未知数ばかり選択されてしまう。そこで、放物線の開口度を正規化した評価関数を用いたものである。この修正 BTnet 法を用いて、磁荷分布を求め、正負の磁荷の重心座標から散らばった磁荷を一つの磁

化された磁性体として磁化 M の向きと大きさを算出した⁹⁾。

〈3・1・2〉 推定結果 図 8 に、BTnet 法による各種自動車の磁化された磁性体の磁荷の位置推定結果を示す。○印は+極、●印は-極である。円の大きさは、磁荷に比例した大きさになっている。また、車体の形状を破線で示す。図 8(a) の Bus では、+極、-極が混在しているが、車体半分の上領域は-極、下領域は+極の占める割合が多い。正負の磁荷の重心座標から求めた磁化 M は左に傾いた水平前向きに磁化された磁性体として考えられる。その長さが 0.83 m で大きさが 15.5 μwbm 、方向は左前方である。図 8(b) の Dump Truck は、車体半分の前方領域は-極、後方領域は+極の占める割合が多く、前方領域に S 極、後方領域に N 極とする水平後方向きに磁化された磁性体として考えられる。正負の磁荷の重心座標から求めた磁化 M は長さが 2.46 m で大きさが 369.0 μwbm 、方向は前方から後方に向いている。一方、図 8(c) の SPCA は、車体の前方領域は+極、後方領域は-極の占める割合が多く、前方領域に N 極、後方領域に S 極とする水平前方向きに磁化された磁性体として考えられる。正負の磁荷の重心座標から求めた磁化 M は長さが 0.96 m で大きさが 19.01 μwbm 、方向は後方から前方に向いている。これらの結果は、図 7 の自動車周囲の擾乱磁界分布の測定結果から推定した磁化された磁性体の方向とほぼ一致している。

〈3・2〉 積分公式による磁性体の移動に起因する変動磁界の解析方法と解析結果

〈3・2・1〉 解析方法 BTnet 法により磁荷分布を求め、散らばった磁荷を一つの磁化された磁性体として表すために、正負の磁化の重心座標を求め、自動車の磁化された磁性体の磁化 M の向きと大きさを算出し、その M の磁性体から r の位置に発生する磁束密度 $B(r)$ を、次式に示す積分公式⁽¹⁰⁾⁽¹¹⁾より算出した。

$$B(r) = \frac{1}{4\pi} \text{grad} \left(\iiint \text{grad} \left(\frac{1}{r} \right) M dv \right) \dots\dots\dots (1)$$

図 9 に、 X 軸上に磁化された磁性体が、移動したときの測定点における磁界変動の解析方法を示す。仮定した各種

図 9 磁化された磁性体の移動に起因する磁界
Fig. 9. Magnetic field due to the magnetized magnetic material movement.

図 10 自動車の移動に起因する磁界変動の解析結果と測定結果の比較

Fig. 10. Comparison between waveform of fluctuation of magnetic field due to automobile movement by analyzing and that by measurement.

自動車の磁化された磁性体が X から $-X$ に移動したとして、上記の積分公式より自動車と観測点の距離 r として、観測点に発生する磁束密度 $B(r)$ を求めた。ただし、Bus の磁化された磁性体の磁化 M は、BTnet 法により水平前方向きでやや左に偏ったものとして考えられたので、 X 成分と Y 成分に分解し、十分に細長い直方体と近似して解析を行った。

〈3・2・2〉 解析結果 図 10 に、自動車の移動に起因する磁界変動の測定結果と解析結果を示す。解析結果と測定結果を比較すると、Dump Truck では磁界変動波形と変動幅は良く一致している。しかし、SPCA では波形は一致しているが、変動幅は数倍解析結果が大きかった。Bus では磁界変動波形が似ているが、磁界変動幅は解析値の方が小さかった。Dump Truck 以外の自動車でも BTnet 法の試行回数を増やすと自動車の磁性体領域以外にも分布が認められ、さらに正磁荷領域に負磁荷、または負磁荷領域に正磁荷が混在し、磁化された磁性体の大きさを推定する際に誤差が生じたと考えられる。

自動車を構成する鉄部品は、主として鉄板製造時や自動車組立過程の電気溶接器により磁化されるものと推測される。したがって、自動車の各部品ごとに磁化の大きさ方向は異なると考えられる。自動車の移動に起因する磁界変動の測定において観測点は自動車から 5 m、10 m および 15 m であり、この場合の磁界変動は距離 r の 3 乗で減衰する。これは自動車から 5 m 以上離れた点から見れば、車全体は各部品の磁化のベクトルを平均した一つの磁化された磁性体とみなすことができることを示している。一方、自動車周囲の擾乱磁界分布の測定では自動車から 1.5 m の範囲内を測定しており、最も近い自動車部品の磁化の影響を受け、BTnet 法によって推定すると、自動車全体の平均した一つの磁化された磁性体の磁化ではなく局所的な磁荷が推定されることになる。そのため、今回の SPCA や Bus のようにもともと磁化が低く、もともと少ない点数の測定の S/N 比が高くおらず、しかも磁性体が集中せずに散在している場合は、磁化された磁性体の推定には誤差が大きい。磁化

された磁性体の磁化の推定精度をさらに向上させるためには、感度の高い測定器で測定領域を現状より広くし、かつ地磁気の経時変化も考慮し、正確な擾乱分布を得る必要がある。また、各自動車の磁荷分布(擾乱分布)測定よりも、離れた点での磁束密度測定値から 1 ～ 3 個の磁気双極子の量を推定する太良尾らのような方法のほうが磁気双極子の推定精度が良いのではないかと考えられるが⁽¹²⁾、今回のような測定では既存のセンサでは S/N が確保できないので磁性体からの広い範囲の擾乱磁界を計測することは困難である。Dump Truck の磁界変動幅は他の車種に比べ一桁から二桁ほど大きいので、影響を及ぼす範囲が広く自動車の中で最大の磁界変動発生源であるので Dump Truck の移動に伴う磁界変動を予測することは、MSR および AMS の設計には重要である。Dump Truck の解析結果と測定結果は良く一致していると言えるので、求めた磁化された磁性体を用いて自動車に起因する磁界変動は予測でき、MSR 等の設計に活用できると考えられる。

4. まとめ

自動車の移動に起因する磁界変動が、微弱磁気計測に影響を及ぼす範囲を予測するために、自動車周囲の擾乱磁界分布の測定結果と BTnet 法により、磁荷分布を求め、散らばった磁荷を一つの磁化された磁性体として磁化 M の向き、大きさおよび位置を求め、距離 r 離れた所の位置に発生する磁界 $B(r)$ を積分公式より算出した。Dump Truck の解析結果と測定結果を比較すると、Dump Truck では磁界変動波形と変動幅は良く一致している。しかし、SPCA と Bus では波形は一致しているが、変動幅は解析と測定値の差が大きかった。Dump Truck は他の車種に比べ一桁から二桁ほど大きいので、影響を及ぼす範囲が広く自動車の中で最大の磁界変動発生源であるので BTnet 法により求めた磁化された磁性体を用いて距離特性を予測し、MSR および AMR に設計データとして活用できる。

今後は、広い範囲で S/N 比が高くとれる擾乱磁界分布の測定方法を検討し、Dump Truck 以外の車種についてもより正確に磁化された磁性体の磁化の大きさ、向きを推定し、MSR 等の設計に応用できるようにしたい。

(平成 16 年 4 月 13 日受付, 平成 16 年 8 月 19 日再受付)

文 献

- (1) J. Malmivuo, J. Lekkala, P. Kontro, L. Suomaa, and Vihinen : "Improvement of the properties of an eddy current magnetic shield with active compensation", *J. Phys. E, Sci. Instrum.*, No.20, pp.151-164 (1987)
- (2) 山崎慶太 : 「磁気シールドクリーンルーム」, クリーンテクノロジー, Vol.12, pp.76-79 (1995)
- (3) K. Yamazaki, K. Kato, K. Kobayashi, K. Kawamata, A. Saga, N. Goto, S. Minegishi, and A. Haga : "Environmental low-frequency magnetic field due to direct-current electric railcar", *T. IEE Japan*, Vol.120, No.8/9, pp.836-843 (2000-8/9) (in Japanese)
山崎慶太・加藤和夫・小林宏一郎・川又 憲・嵯峨頭悦・後藤 昇・嶺岸茂樹・芳賀 昭 : 「直流電車に起因する低周波環境磁界」, 電学

論 A, 120, 8/9, pp.836-843 (2000/8/9)

- (4) T. Uchiyama, T. Itoh, K. Mohri, K. Nakashima, S. Sagawa, J. Ohuchi, and Y. Sudoh: "Car Sensing Method Using Amorphous Wire CMOS MI Sensor built into a Disk Installed on a Road", *Magnetics Society Japan*, Vol.24, pp.775-778 (2000) (in Japanese)
内山 剛・伊藤寿倫・毛利佳年雄・中島健次・笹川新一・大内純一・須藤能啓:「アモルファスワイヤ CMOS MI センサ内蔵道路鉄による車両センシング」, 応用磁気学誌, 24, pp.775-778 (2000)
- (5) K. Mori: "Application of Weight Function to the Magnetic Localization of an Object", *IEEE Trans. Magnetics*, Vol.25, No.3, pp.2726-2731 (1989)
- (6) Y. Kumagai, A. Haga, T. Tomoya, K. Yamazaki, K. Kato, K. Kamata, K. Yunokuchi, and K. Kobayashi: "Characteristics of magnetic field due to movement of object composed of magnetic materials for measuring apparatus of weak magnetic field No.1 Magnetic field fluctuation due to automobile movement", The Papers of Technical Meeting on Magnetics & Linear Drive, IEE Japan, MAG-01-154, LD-01-82, pp.39-45 (2001) (in Japanese)
熊谷洋二・芳賀 昭・佐藤智也・山崎慶太・加藤和夫・鎌田清孝・湯ノ口万友・小林宏一郎:「微弱磁界計測装置のための磁性体の移動に起因する磁界変動の特性 その1 自動車の移動に起因する磁界変動」, 電気学会マグネティックス・リニアドライブ合同研資, MAG-01-154, LD-01-82, pp.39-45 (2001)
- (7) T. Arai and H. Ono: "An observations of magnetic patterns of a moving object by flux-gate magnetometer", *TIEE Japan*, Vol.121-E, pp.8-13 (2001-1) (in Japanese)
荒木 喬・小野久雄:「Flux-gate Magnetometer による移動体の磁気パターン測定」, 電学論 E, 121, pp.8-13 (2001-1)
- (8) 上田智章・相根政幸・葛西直子・栗野直行:「MCG による心機能部位の推定」, MAG-95-144, pp.21-29 (1995)
- (9) 鳥居一雄・宮本敏雄: 重心の概念の幾何への応用, 東京図書 (1966)
- (10) K. Yamazaki, K. Fujiwara, N. Takahashi, K. Yunokuchi, and K. Kamata: "Analysis of Magnetic Noise Due to Movement of Object Composed of Magnetic Materials", The Papers of Technical Meeting on Magnetics, IEE Japan, MAG-98-145, pp.1-9 (1998) (in Japanese)
山崎慶太・藤原耕二・高橋則夫・湯ノ口万友・鎌田清孝:「磁性体の移動に起因する磁気ノイズ解析」, 電気学会マグネティックス研資, MAG-98-145, pp.1-9 (1998)
- (11) 太田恵造: 磁気工学の基礎, 共立出版 (1971)
- (12) H. Tarao, N. Hayashi, and K. Isaka: "Numerical Analysis of Induced Current in Human Head Exposed to Nonuniform Magnetic Field Including Harmonics", *IEEE Trans. FM*, Vol.123, No.11, pp.1100-1107 (2003-11) (in Japanese)
太良尾浩生・林 則行・伊坂勝生:「高調波を含む不平等磁界による頭部モデル内誘導電流の解析」, 電学論 A, 123, 11, pp.1100-1107 (2003-11)

鎌田 清 孝

(正員) 1972年4月7日生。95年3月鹿児島大学電気工学科卒業。97年3月鹿児島大学大学院工学研究科修士課程電気電子工学専攻修了。同年、鹿児島工業高等専門学校電子制御工学科助手、2002年、講師、現在に至る。博士(工学)。主として、環境電磁気雑音の測定と解析に関する研究に従事。日本応用磁気学会。

湯ノ口 万 友

IEEE などの会員。

(正員) 1950年11月11日生。1975年鹿児島大学大学院工学研究科終了、同年鹿児島大学工学部助手。88~90年 M.I.T, フランシスビッタ国立磁気研究所客員研究員, 96年鹿児島大学工学部助教授, 98年同大学教授, 現在に至る。工学博士。生体磁気に関する研究, 生体信号の計測, 解析に関する研究などに従事。日本ME学会, 日本生体磁気学会, 電子情報通信学会,

山 崎 慶 太

(正員) 1957年4月24日生。82年3月早稲田大学大学院理工学研究科建設工学専攻修了。同年4月(株)竹中工務店入社, 現在に至る。博士(工学)。主として、建築物に対する磁場の影響とその評価法および磁気応用技術に関する研究に従事。日本生体磁気学会, 日本ME学会, 日本応用磁気学会, 日本機械学会, 日本建築学会会員。

加 藤 和 夫

会, 日本建築学会会員。

(正員) 1970年7月30日生。93年3月秋田大学鉱山学部電子工学科卒業。98年3月北海道大学大学院工学研究科博士後期課程システム情報工学専攻修了。同年4月(株)竹中工務店入社, 現在に至る。博士(工学)。主として、建築に関する環境磁気計測および磁気遮蔽に関する研究に従事。電子情報通信学会, 日本ME学会, 日本応用磁気学会, 日本生体磁気学会,

上 田 智 章

体磁気学会。

(非会員) 1958年12月1日生。82年3月同志社大学工学部電子工学科卒業。84年3月同志社大学大学院工学研究科電気工学専攻修了。株式会社KR I センシング技術部主席研究員, 現在に至る。主要研究領域造磁場環境システム, 応用磁気センサ技術, 生体計測, 逆問題, 信号処理に関する研究に従事。電子情報通信学会, 日本エムイー学会, 日本音響学会, 日本生

芳 賀 昭

る研究に従事。電子情報通信学会, 日本応用磁気学会, IEEE 学会員。

(正員) 1944年4月24日生。70年3月山形大学大学院修士課程修了。同年4月シズン時計研究所入所, 72年東北学院大学工学部電気工学科助手, 講師, 助教授を経て, 92年同教授, 東北大学電気通信研究所客員研究員, 2000年ローマ大学客員研究員, 工学博士。現在, 環境電磁工学に関連して, 磁気遮蔽を中心とした磁気応用及び低周波環境磁界測定技術に関する研究に従事。電子情報通信学会, 日本応用磁気学会, IEEE 学会員。