

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2005-217341

(P2005-217341A)

(43) 公開日 平成17年8月11日(2005.8.11)

(51) Int. Cl. ⁷	F I	テーマコード (参考)
H05K 9/00	H05K 9/00	2G017
A61B 5/05	A61B 5/05	4C027
G01R 33/02	G01R 33/02	5E321

審査請求 未請求 請求項の数 5 O L (全 17 頁)

(21) 出願番号	特願2004-25174 (P2004-25174)	(71) 出願人	591167430 株式会社K R I 京都府京都市下京区中堂寺南町134番地
(22) 出願日	平成16年2月2日(2004.2.2)	(74) 代理人	100109737 弁理士 岡崎 豊野
		(72) 発明者	上田 智章 京都府京都市下京区中堂寺南町134番地 株式会社K R I内
		(72) 発明者	竹中 誠 京都府京都市下京区中堂寺南町134番地 株式会社K R I内
		Fターム(参考)	2G017 AB01 AB02 AC01 4C027 AA10 KK00 5E321 AA01 AA24 AA42 GG07

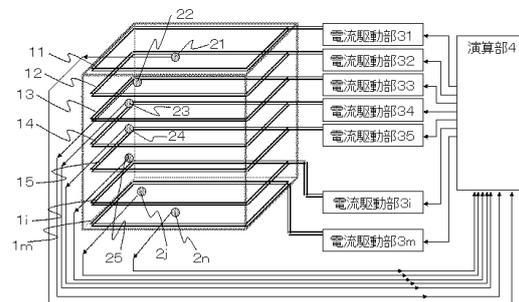
(54) 【発明の名称】 環境磁気雑音遮蔽装置

(57) 【要約】

【課題】 コイル間干渉の影響により発振を起こすこと無く、高速かつ安定に動作する環境磁気雑音遮蔽装置と遮蔽を行いながら所定の印加磁界を発生する環境磁気雑音遮蔽磁界印加装置を提供すること。

【手段】 コイル1 i に単位電流を通流した場合に磁界検出部 2 j に発生する磁界を予め計算または実測によって求めて磁界強度係数 $i j$ とする時、コイル数m個、磁界検出部数 n 個では総数 $m \times n$ 個の磁界強度係数が得られる。この係数と磁気検出部の出力に基づいて各コイルに供給する電流を演算することにより実現する。

【選択図】 図1



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

互いに近接した総数 m 個のコイル 1_1 、 1_2 、 \dots 、 1_i 、 \dots 、 1_m と、予め定められた所定方向の磁束密度の時間変化を検出する総数 n 個の磁気検出部 2_1 、 2_2 、 \dots 、 2_j 、 \dots 、 2_n と、前記 m 個のコイルの各々にコイル電流を供給する電流駆動部 3_1 、 3_2 、 \dots 、 3_i 、 \dots 、 3_m と、前記コイル 1_i に単位電流を通流した場合に前記磁気検出部 2_j に発生する磁界強度を磁界強度係数 i_j と表記するとき前記各々のコイルを独立に単位電流で駆動した場合に前記各々の磁気検出部に発生する総数 $n \times m$ 個の前記磁界強度係数に基づいて前記 n 個の磁気検出部より供給される信号に対して所定の演算を施し前記各コイルに供給する電流値を演算する演算部 4 とにより構成され、前記 m 個のコイルが発生する磁界の相互作用を考慮して前記各々のコイルで取り囲まれた遮蔽空間内に対して環境磁気雑音と逆位相の磁界を発生することにより環境磁気雑音を均質に遮蔽することを特徴とする環境磁気雑音遮蔽装置。

10

【請求項 2】

前記演算部 4 において前記環境磁気雑音と逆位相の磁界を発生する目的で供給するコイル駆動電流と環境磁気雑音遮蔽後の空間に対する印加磁界を発生する目的で供給するコイル駆動電流を加算した値を前記電流駆動部 3_1 、 3_2 、 \dots 、 3_i 、 \dots 、 3_m に供給し、前記磁気検出部 2_1 、 2_2 、 \dots 、 2_j 、 \dots 、 2_n が出力する信号成分から前記環境磁気雑音遮蔽後の空間に対する印加磁界を発生する目的で供給する前記コイル駆動電流に起因して前記磁気検出部 2_1 、 2_2 、 \dots 、 2_j 、 \dots 、 2_n に発生する前期印加磁界を前記磁界強度係数に基づいて算出して減算することにより残留する環境磁気雑音成分を求めるとともに、前記残留する環境磁気雑音成分を遮蔽するための前記コイル電流の修正量を演算する構成を有し、環境磁気雑音を遮蔽しながら任意の印加磁界を遮蔽空間内に発生することを特徴とする請求項 1 記載の環境磁気雑音遮蔽磁界印加装置。

20

【請求項 3】

コイル 1_i に供給される電流値 u_i が前記磁界強度係数のうち総数 n 個の i_1 、 i_2 、 \dots 、 i_n と前記総数 n 個の磁気検出部から供給される磁界検出信号 B_1 、 B_2 、 \dots 、 B_n によって前記環境磁気雑音と逆位相の磁界を発生するための電流修正量 u_i が構成される漸化式によって定まる演算を前記演算部において施すものであることを特徴とする請求項 1 記載の環境磁気雑音遮蔽装置。

30

【請求項 4】

前記漸化式が下記数式 (13) に基づいて予め演算された総数 m 個の係数 K_i を用いて下記数式 (15) に基づいて演算されるものであることを特徴とする請求項 3 記載の環境磁気雑音遮蔽装置。

【数 13】

$$K_i = \frac{1}{\sum_{j=1}^n \alpha_{ij}^2} \dots\dots\dots (13)$$

【数 15】

$$u_i = u_i + K_i \sum_{j=1}^n \alpha_{ij} B_j \dots\dots\dots (15)$$

40

【請求項 5】

コイル 1_i に供給される総数 m 個の電流値が前記磁界強度係数 i_j を要素とする n 行 m 列の行列 A の一般逆行列である m 行 n 列の行列を用いて演算されることを特徴とする請求項 1 記載の環境磁気雑音遮蔽装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、直流または交流の環境磁気雑音、特に近傍に位置する高透磁率磁性材料で作られた地磁気収束体の移動または振動に起因する地磁気の空間勾配を有する非定常な環境

50

磁気雑音に対して高い遮蔽性能と広い均質な遮蔽空間を提供する、軽量で施工性に優れ、採光性や通気性を備えた環境磁気遮蔽装置と環境磁気雑音を遮蔽しながら遮蔽空間内に任意の磁界を印加することが可能な環境磁気遮蔽磁界印加装置に関する。

【背景技術】

【0002】

地球には磁束密度約0.5ガウスの地磁気が存在しており、太陽の黒点活動や地球内部のマントル流の影響により常に変動している。また、自動車やエレベーター等の強磁性体材料を部品として構成された大きな構造体はその高い比透磁率のために地磁気を局所的に収束させる地磁気収束点となっているが、これら地磁気収束点が空間中を移動したり、振動することによって環境磁気の時間的変動と空間勾配を引き起こす原因の一つとなっている。さらに、架線から大電流の供給を受けながら移動する電車や地下鉄もまた、パンタグラフに流れる大電流により強磁界を発生しながら空間中を移動するために環境磁気を変動させている。発生する磁界強度が小さくても近接した場所に設置されているモーター機器、電子装置、照明装置、またこれらに電力を供給する電力線もまた環境磁気を変動させている。このように環境磁気には様々な要因で発生する雑音が存在しており、これらは総称して環境磁気雑音と呼ばれている。環境磁気雑音は時間的に一定ではなく、常に変化し続けている。

10

【0003】

一方、脳の電気的活動に伴って発生する脳磁は地磁気の約10億分の1程度の強度であり、心臓の心筋の電気的活動によって発生する心磁は地磁気の百万分の1程度の大きさである。これら生体が発生する磁界を計測する生体磁気計測システムにおいては、前述した環境磁気雑音が測定の大障害要因となっており、環境磁気雑音を高い遮蔽率で技術的手段により遮蔽する必要がある。

20

【0004】

また、高集積度の半導体である超LSIや特定用途向け集積回路(ASIC)を製作する過程において電子線を用いて直接シリコンウェハ上に露光を行う電子ビーム露光装置が存在するが、荷電粒子が地磁気下で高速に移動すればローレンツ力の影響を受けるため、荷電粒子ビームの露光位置は偏移する。地磁気が一定であればこの偏移量も一定であり、正確な描画が行えるはずである。しかし実際には地球上には環境磁気雑音が存在しているために、この荷電粒子ビームの偏移量も時間的に変動を受け、正確な電子線描画露光を行う上で障害を受けることになる。電子ビーム露光精度を向上させるためには、環境磁気雑音を高い遮蔽率で遮蔽する必要に迫られている。

30

【0005】

環境磁気雑音を遮蔽(低減)する既存技術としては大別して2つの方式が存在している。高透磁率の磁性材料を磁気遮蔽材として遮蔽空間を取り囲むパッシブな磁気シールド方式と、電子回路で環境磁気雑音と逆位相の磁界を発生させるアクティブ磁気シールド方式(アクティブ磁気キャンセラーまたはアクティブ制御方式)がある。

【0006】

パッシブな磁気シールド方式においては、パーマロイ等の強磁性体材料で閉じられた箱状またはボール状の閉空間を構成することにより、この閉空間を構成する強磁性体材料の比透磁率の影響で環境磁気雑音の磁束が強磁性体材料内に引き込まれる結果、閉空間内の磁束は低密度となり、閉空間内部に遮蔽空間が形成されている。

40

パッシブな磁気シールド方式の遮蔽空間の設計には「表皮効果」として知られる基本原理が重要な設計要素となっている。導体に外部から高周波磁界が印加される場合に導体中に流れる渦電流は、表面で多く、導体の内部に行くにしたがって指数関数的に減少する性質があることが知られている。表面の電流値に対してちょうど自然対数の底eの逆数 $1/e$ になる深さの値を表皮の厚さと呼び、磁性材料の透磁率を μ 、導電率を σ 、対象周波数 f [Hz]とするとき表皮深さ δ [m]は式(16)を用いて表される。

【0007】

【数 16】

$$\delta = \frac{1}{\sqrt{\pi f \mu \sigma}} \dots (16)$$

【0008】

従って、電磁波や低い周波数 [例として 0.01 Hz] までの広い周波数帯域で高い遮蔽率を実現しようとするれば、銅やアルミニウム等の電磁波シールド材とパーマロイのような高透磁率磁性材料を組み合わせることで遮蔽空間を構成する必要があり、遮蔽率に大きく関係する各材料の厚みは式 (16) に深く関係している。

【0009】

一方、アクティブ磁気シールド方式は、図 2 に示すように一般に正方形環状のキャンセル磁場発生コイルを 3 軸に対応させてそれぞれの軸に 1 対ずつ具備し、各軸に対応する参照用磁気センサで検出した磁界信号に対してネガティブフィードバック制御を行い、環境磁界と逆位相のキャンセル磁場を発生させ、参照用磁気センサの設置位置において磁気ノイズが打ち消されて、磁気が遮蔽 (低減) される方式である。

【0010】

特許文献 1 は、周波数帯域とスルーレートが互いに異なる複数の磁気検出部を備え、環境磁気雑音をキャンセルするコイルに供給する電流量を求めることを特徴とする環境磁気雑音遮蔽装置に関する。各磁気検出部の周波数帯域とスルーレートを互いに異なる値にすることで発振現象を発生しにくくするようにしている (特許文献 1 参照) 。

【0011】

特許文献 2 は、パッシブな磁気シールド装置とアクティブ磁気シールド装置を組み合わせることによる遮蔽率向上を狙った環境磁気雑音遮蔽装置に関する。強磁性体よりなる磁気遮蔽体に外部磁界が印加されたとき、当該外部磁界と前記磁気遮蔽体の磁化による磁界との合成磁界を検出し得る位置 (壁面の中央部) に、一方向のみの磁界の大きさを検出する磁気センサを 3 個設置して直交 3 軸方向の磁界を検出する。前記磁気センサの磁界検出方向と同じ方向の磁界を発生するように 3 個のヘルムホルツコイルを設置する。前記磁気センサで検出した合成磁界が変化すると、前記コイルにその変化を打ち消す磁界を発生させる電流を流す制御装置を設ける。制御装置は、磁気センサの出力とコイルに流す電流との関係が、磁気遮蔽体内の中心部の磁界が最小となるように設定される。しかしながら、1つのヘルムホルツコイルが発生する磁界は強磁性体よりなる磁気遮蔽体に入り込み、他のヘルムホルツコイルが発生する磁界との干渉を引き起こすために発振しやすく、発振現象を防止しようとするると狭帯域になるという欠点を有している。

【0012】

特許文献 3 は、アクティブ磁気シールド装置に於いて、磁気検出部に広帯域で高感度な磁気インピーダンス効果素子を使用することにより広帯域かつ高感度な磁気シールドを実現することを狙った環境磁気雑音遮蔽装置に関する。しかしながら、キャンセルコイルを複数個具備した場合には、互いのコイルが発生する磁界の干渉により発振現象を引き起こしやすくなり、発振現象を防止しようとするると狭帯域になるという欠点を有している。

【0013】

特許文献 4 は、密封状態の部屋に形成し、高導電率の部材で形成した高導電率層を少なくとも 1 層以上含み、且つ高導電率の部材を含まない高透磁率の部材で形成した高透磁率層からなる壁を有する磁気シールドルームと、前記壁の前記高透磁率層の有する導電性による渦電流シールド効果によるシールドを行う磁気シールド手段とを備えてなる磁気シールド装置であって、前記磁気シールド手段は、前記壁に配置され、前記壁を形成する前記高導電率層が形成する渦電流分布による反抗磁場を模した磁場分布を生成する電流を流すコイルを有することを特徴とする環境磁気雑音遮蔽装置に関する。しかしながら、渦電流を発生させるためのコイルが発生する磁界が遮蔽空間内部に漏洩してしまうために十分な遮蔽性能を達成できないという欠点を有している。

【特許文献 1】特開平 11-083965 号公報 G01R 33/02 東芝：(株) 環境磁場キャンセリン

10

20

30

40

50

グシステム及び磁気計測装置

【特許文献2】特開2002-094280号公報 H05K 9/00 マグバン(株); 竹中工務店:(株) アクティブシールド装置

【特許文献3】特開2003-149311号公報 G01R 33/02 新日本製鐵(株); マルケンシールドテック(株) 広帯域アクティブ磁気シールド法

【特許文献4】特開2003-273566号公報 H05K 9/00 横河電機(株) 磁気シールド装置

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0014】

前述したようにパッシブな磁気シールド方式の遮蔽性能は、各遮蔽材料の表皮厚みに深く依存しており、より広帯域で良好な遮蔽率の遮蔽空間を実現しようとするほど、遮蔽材料の厚みは分厚くなり、総重量も著しく増大する不具合が生じる。加えて高透磁率を有する希少な強磁性体材料を使用するため高コストとなる不具合や、建物の耐荷重の制約から地下や1階にしか設置できない不具合、上層階に設置すると風や環境振動に伴う建物の揺れ(構造振動)の結果、地磁気中では遮蔽空間自体が地磁気収束点となっていることから遮蔽空間内に大きな構造振動に起因する環境磁気雑音が発生してしまう不具合等が生じる。

また、パッシブな磁気シールド方式では、遮蔽材料の透磁性を利用しているために遮蔽空間の形状に依存して遮蔽空間内に磁気勾配を生じてしまうために、均質で広い領域で高い遮蔽性能の遮蔽空間を実現することは困難である。

【0015】

また強磁性体材料が大型かつ高重量であるため施工性(搬送性)が悪いという問題がある。

【0016】

さらに、強磁性体材料は不透明である。また、強磁性体材料に開口を設けると磁気遮蔽性能が低下するため、強磁性体材料に大きな開口部を設けることは困難である。

上記の制約により、生体磁気計測システム向けにパッシブな磁気シールド方式を採用すると、大きな開口部を設けられないことにより被験者に圧迫感及び閉塞感を与えるのみならず、通気性が悪いという問題が生じる。一般的に、生体磁気計測システムの磁気センサにはSQUID(超伝導量子干渉素子)が用いられており、液体ヘリウムを冷却材に用いていることから、被験者が窒息状態に陥ることの無いように防止する換気あるいは酸素濃度の監視等の技術的安全対策をとる必要が生じる。

電子ビーム露光装置の設計においてはこれまでも電子ビーム描画部全体をパーマロイと呼ばれる高透磁率の磁気遮蔽材料で多層被覆する設計が採用され、環境磁気雑音の影響を受けにくくする改良が施されてきた。しかしながら、 $0.15\mu\text{m}$ 以下のデザインルールでの露光処理に適用して行くためには、環境磁気雑音による描画誤差が集積率を上げる上でのボトルネックとなってきた。これは電子ビーム露光装置が空気清浄度が極めて高い半導体製造現場であるクリーンルーム内に設置され、清浄度を維持する必要から開放性を重視しなければならず、シリコンウェハの出し入れを行う窓や電子ビーム制御や電源供給のためのコードの挿入口を設ける必要から高い遮蔽率が達成し難い等の設計上の不具合が関係している。

さらに半導体工場内を部材搬送のための高透磁率性材料で構成されたフォークリフトや搬送装置、エレベーターの空間的移動やドアの開閉動作等は環境磁気雑音の誘因となっており、特にクリーンルーム近傍でのこれらに関係する作業を制限するわけにもいかないので重要な解決すべき課題となってきた。

【0017】

また、既存のアクティブ磁気シールド方式では、参照用磁気センサで検出された磁界に比例したキャンセル磁場を発生させることしかできないので、磁気遮蔽空間内に参照用磁気センサを設置できない場合には、参照用磁気センサの近傍で発生した空間勾配のある環境磁気雑音(例えば、台車の走行、イスの回転、道路を走行する自動車に起因する磁気雑

音)に対して磁気遮蔽効果が低くなるだけでなく、場合によっては遮蔽効果が期待できない、あるいはかえって悪化するという問題がある。

【0018】

従って、既存のアクティブ磁気シールド方式を生体磁気計測システムに適用する場合には、被験者が横たわる寝台や生体磁気センサとそれを支える架台が遮蔽空間中央に収容されねばならず、参照用磁気センサを遮蔽空間中央に配置することが困難であるので、参照用磁気センサの近傍で発生した空間勾配のある環境磁気雑音に対して遮蔽効果が期待できないばかりか、悪化する場合があります。

【0019】

さらに、磁気遮蔽空間とほぼ同サイズの大型コイルを使うので、遮蔽空間が大型の立方体状とされる場合には、例えば水平一方向(x方向)の磁気雑音を打ち消す制御をする際に、x方向のキャンセル磁場発生コイルからの磁気が制御対象と本来無関係な水平他方向(y方向)や垂直方向(z方向)の磁界成分に回り込み易い。1つの参照用磁気センサに複数のコイルで発生した磁界が回り込むことで発振現象を起こす場合もある。また、発振現象を回避しようとする、遮蔽制御の帯域が狭帯域化してしまうという不都合が発生する。

10

【0020】

さらに、環境磁気雑音を遮蔽空間内において遮蔽しながら、任意の波形でしかも任意の印加方向を有する印加磁界を発生させたいが、印加磁界発生装置を印加磁界発生装置よりも1回り大きな環境磁気雑音遮蔽装置で取り囲む必要があるため、装置が大型化してしまう不具合が存在している。

20

【0021】

本発明は以上のような事情に鑑みてなされたものであり、その目的は、小型で軽量であり、低コストで施工性に優れ、圧迫感や閉塞感の少なく、通気性に優れた環境磁気雑音遮蔽装置を提供することにある。

さらに別の目的は、磁気遮蔽空間の近傍で発生する空間勾配を有する磁気雑音に対しても高い遮蔽性能を達成する環境磁気雑音遮蔽装置を提供することにある。

また環境磁気遮蔽空間が大型であっても複数のキャンセル磁場発生コイルで発生した磁界が参照用磁気センサに回りこむことによる発振現象や制御の不安定性を解消して磁気遮蔽率の低下を抑制することである。

30

【0022】

さらに別の目的は、環境磁気雑音を遮蔽しながら任意印加磁界を遮蔽空間内に発生することが可能で、小型かつ軽量の環境磁気雑音遮蔽磁界印加装置を提供することにある。

【課題を解決するための手段】

【0023】

任意形状の空芯コイルに電流を通流させた場合に発生する磁界の磁束密度分布については、図5に示すとおりコイルを多数の微小線分の集合と考え、各線分に流れる電流が発生する磁束密度をビオ・サバル則によって求め、コイルを構成するワイヤー全体に対する周回積分をとることで個別に計算することができる。具体的には式(1)を用いて計算する。ここに μ_0 は真空透磁率、 I はコイルに通流する電流、 s は微小線分の接線ベクトル、 r は微小線分から磁束密度を求める点までの距離ベクトル、 B は磁束密度ベクトルである。下記式(1)を用いることにより任意のコイルに単位電流を通流させた場合に関心点に発生する磁界の磁束密度を求めることができる。

40

【0024】

【数1】

$$\mathbf{B} = \frac{\mu_0 I}{4\pi} \oint_c \frac{d\mathbf{s} \times \mathbf{r}}{r^3} \dots (1)$$

【0025】

また、コイルの施工上の誤差により式(1)通りの磁束密度を発生できない場合または磁界検出用センサの施工上の誤差により式(1)によって与えられる通りの磁束密度を検

50

出できない場合が存在するが、実際にコイルに単位電流振幅を有する交流電流あるいは単位直流電流を通流させて磁束密度を実測することができる。

【0026】

本願発明者は上記目的を達成するために鋭意検討した結果、複数の参照点における環境磁気雑音を複数のコイルより発生させた逆位相の磁界によりキャンセルさせるアクティブ磁気シールド方式は、参照点の検出信号の2乗和を常に最小に維持する問題であることに気付き、そのために各コイルに供給するべき電流が満たすべき条件を導き、発明を完成させた。

【0027】

今、環境磁気雑音を測定する測定点が総数 n 個存在し、その座標に1方向のみの磁界の磁束密度成分を検出する磁気検出センサが配置されているものとし、その j 番目の参照点における外部要因に基づく環境磁気雑音の磁束密度のうちセンサ検出方向成分を S_j とする。環境磁界を相殺するために総数 m 個のコイルが配置されており、 i 番目のコイルに単位電流を通流した場合に参照点 j に発生する磁界のセンサ検出方向の磁束密度成分を O_{ij} とし、 i 番目のコイルに通流する電流値を u_i とすると、総数 m 個のコイルによって参照点 j に発生する磁界 O_j は式(2)で与えられる。

【0028】

【数2】

$$O_j = \sum_{i=1}^m \alpha_{ij} u_i \cdots (2)$$

【0029】

前記磁界 O_j を環境磁気雑音の推定値と考え、全てのコイルに通流する駆動電流を逆符号にすることにより逆位相のキャンセル磁界が発生する。全ての参照点において環境磁気雑音の実際の値とその推定値の逆位相値の和の2乗総和 E を式(3)の通り定義する。

【0030】

【数3】

$$E = \sum_{j=1}^n (S_j - O_j)^2 \cdots (3)$$

【0031】

全ての参照点において常に E が最小に維持されることでコイル間の磁気干渉を考慮して参照点全体で零磁界制御を行うことができるのである。つまり i 番目のコイル通流電流 u_i を二乗誤差エネルギー E を最小にするように修正する条件を考察した。まず式(3)の右辺を未知数 u_i を含まない部分と含む部分に分離して式(4)を得ることができる。

【0032】

【数4】

$$E = \sum_{j=1}^n \{ (S_j - O_j + \alpha_{ij} u_i) - \alpha_{ij} u_i \}^2 \cdots (4)$$

【0033】

式(4)を未知数 u_i に関して整理することにより式(5)が得られる。

【0034】

【数5】

$$E = \sum_{j=1}^n (S_j - O_j + \alpha_{ij} u_i)^2 - 2u_i \sum_{j=1}^n \{ \alpha_{ij} (S_j - O_j + \alpha_{ij} u_i) \} + u_i^2 \sum_{j=1}^n \alpha_{ij}^2 \cdots (5)$$

【0035】

これは未知数 u_i に関して放物線となることから、さらに下記式(6)のように記述することができる。ここに式(7)、式(8)、式(9)で定義される新たな係数 A_i 、 B_i 、 C_i を導入している。

【0036】

【数6】

$$E = (A_i u_i - B_i)^2 + C_i \cdots (6)$$

10

20

30

40

50

【 0 0 3 7 】

【 数 7 】

$$A_i^2 = \sum_{j=1}^n \alpha_{ij}^2 \cdots (7)$$

【 0 0 3 8 】

【 数 8 】

$$A_i B_i = \sum_{j=1}^n \{ \alpha_{ij} (S_j - O_j + \alpha_{ij} u_i) \} \cdots (8)$$

【 0 0 3 9 】

【 数 9 】

$$C_i = \sum_{j=1}^n (S_j - O_j + \alpha_{ij} u_i)^2 \cdots (9)$$

10

【 0 0 4 0 】

図 3 a) に示すように誤差エネルギー関数 E は未知数 u i に関して常に放物線となるので、u i を放物線の軸値に修正することによってより誤差エネルギーを低い状態に保つことができる。式 (6) より u i を放物線の軸値に修正するための式 (1 0) が得られる。

【 0 0 4 1 】

【 数 1 0 】

$$u_i = \frac{B_i}{A_i} = \frac{A_i B_i}{A_i^2} \cdots (10)$$

20

【 0 0 4 2 】

式 (7) と式 (8) を式 (1 0) に代入して式 (1 1) が得られ、さらに式 (1 1) を整理して式 (1 2) が得られる。

【 0 0 4 3 】

【 数 1 1 】

$$u_i = \frac{u_i \sum_{j=1}^n \alpha_{ij}^2 + \sum_{j=1}^n \{ \alpha_{ij} (S_j - O_j) \}}{\sum_{j=1}^n \alpha_{ij}^2} \cdots (11)$$

【 0 0 4 4 】

【 数 1 2 】

$$u_i = u_i + \frac{1}{\sum_{j=1}^n \alpha_{ij}^2} \cdot \sum_{j=1}^n \{ \alpha_{ij} (S_j - O_j) \} \cdots (12)$$

30

【 0 0 4 5 】

ここで、上記式において予め演算しておくことが可能な係数部分を K i とし、下記式 (1 3) で定義する。

【 0 0 4 6 】

【 数 1 3 】

$$K_i = \frac{1}{\sum_{j=1}^n \alpha_{ij}^2} \cdots (13)$$

40

【 0 0 4 7 】

また、参照点 j における環境磁気雑音 S j と総数 m 個のコイルに流れる電流が発生する逆位相磁界 - O j の和は参照点 j に設置された磁気センサの実測値 B j であるので式 (1 4) の通り置き換える。

【 0 0 4 8 】

【 数 1 4 】

$$B_j = S_j - O_j \cdots (14)$$

【 0 0 4 9 】

つまり、個々の未知数 u i に対して式 (1 5) の修正を順次繰り返すことで図 3 b) に示すように誤差エネルギー関数 E のグローバルミニマムに向かって修正されていくことに

50

なる。この演算は掛け算と加算からなる比較的軽い演算負荷で実行できるアルゴリズムである。

【 0 0 5 0 】

【 数 1 5 】

$$u_i = u_i + K_j \sum_{j=1}^n \alpha_j B_j \dots\dots\dots (15)$$

【 0 0 5 1 】

さらに本願発明者は上記目的を改良するために鋭意検討した結果、式(15)に示される漸化式を用いなくても直接誤差エネルギー関数 E の最小値への修正が行えることを見出した。式(17)、式(18)、式(19)、式(20)に示すように行列 S、O、A、u を定義すると、行列 O は式(21)で表記され、実測磁界行列 B は式(22)で表記され、誤差エネルギー関数 E は式(23)で表記されることになる。

10

【 0 0 5 2 】

【 数 1 7 】

$$\mathbf{S} = [S_1, S_2, S_3, \dots, S_j, \dots, S_n]^T \dots (17)$$

【 0 0 5 3 】

【 数 1 8 】

$$\mathbf{O} = [O_1, O_2, O_3, \dots, O_j, \dots, O_n]^T \dots (18)$$

20

【 0 0 5 4 】

【 数 1 9 】

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} \alpha_{11} & \alpha_{21} & \dots & \alpha_{m1} \\ \alpha_{12} & \alpha_{22} & \dots & \alpha_{m2} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \alpha_{1n} & \alpha_{2n} & \dots & \alpha_{mn} \end{bmatrix} \dots (19)$$

【 0 0 5 5 】

【 数 2 0 】

$$\mathbf{u} = [u_1, u_2, u_3, \dots, u_j, \dots, u_m]^T \dots (20)$$

30

【 0 0 5 6 】

【 数 2 1 】

$$\mathbf{O} = \mathbf{A}\mathbf{u} \dots (21)$$

【 0 0 5 7 】

【 数 2 2 】

$$\mathbf{B} = [S_1 - O_1, S_2 - O_2, S_3 - O_3, \dots, S_j - O_j, \dots, S_n - O_n]^T \dots (22)$$

【 0 0 5 8 】

【 数 2 3 】

$$E = \sum_{j=1}^n (S_j - O_j)^2 = (\mathbf{S} - \mathbf{A}\mathbf{u})^T (\mathbf{S} - \mathbf{A}\mathbf{u}) = \mathbf{S}^T \mathbf{S} - 2\mathbf{u}^T \mathbf{A}^T \mathbf{S} + \mathbf{u}^T \mathbf{A}^T \mathbf{A} \mathbf{u} \dots (23)$$

40

【 0 0 5 9 】

誤差エネルギー関数 E は多次元放物面体であるので式(24)に示す極小値条件はグローバルミニマム点においてのみ満たされる条件となる。式(24)を満足する u は式(25)で与えられる。ここに A にマイナス符号を上付きにした行列は A の一般逆行列と呼ばれる。式(25)における行列 S は環境磁気雑音であるので直接的には測定できないが、外部磁界の増分 S をキャンセルする電流差分値 u も A の一般逆行列と S との積により得られる点が本考案の要点である。

【 0 0 6 0 】

【数 2 4】

$$\frac{\partial E}{\partial \mathbf{u}} = 0 \cdots (24)$$

【0 0 6 1】

【数 2 5】

$$\mathbf{u} = \mathbf{A}^{-1} \mathbf{S} \cdots (25)$$

【0 0 6 2】

ここで A の一般逆行列は m 行 n 列の行列である。例えば、コイル数 m がセンサー数 n 以下で行列 A のランクが m の場合には一般逆行列の 1 つは式 (26) で計算され、コイル数 m がセンサー数 n 以上で行列 A のランクが n の場合には一般逆行列の 1 つは式 (27) で計算される。いずれの場合においても行列 A の一般逆行列は予め計算により求めておくことが可能であるので、積和計算によってグローバルミニマムへの修正量 u_i を A の一般逆行列と実測値行列 B の積をとることにより求めることができるのである。

10

【0 0 6 3】

【数 2 6】

$$\mathbf{A}^{-} = (\mathbf{A}^T \mathbf{A})^{-1} \mathbf{A}^T \cdots (26)$$

【0 0 6 4】

【数 2 7】

$$\mathbf{A}^{-} = \mathbf{A}^T (\mathbf{A} \mathbf{A}^T)^{-1} \cdots (27)$$

20

【0 0 6 5】

以上の点に鑑みて、請求項 1 に記載の環境磁気雑音遮蔽装置は、上記の課題を解決するために、互いに近接した総数 m 個のコイル 1 1、1 2、・・・、1 i、・・・、1 m と、予め定められた所定方向の磁束密度の時間変化を検出する総数 n 個の磁気検出部 2 1、2 2、・・・、2 j、・・・、2 n と、前記 m 個のコイルの各々にコイル電流を供給する電流駆動部 3 1、3 2、・・・、3 i、・・・、3 m と、前記コイル 1 i に単位電流を通流した場合に前記磁気検出部 2 j に発生する磁界強度を磁界強度係数 i_j と表記するとき前記各々のコイルを独立に単位電流で駆動した場合に前記各々の磁気検出部に発生する総数 n × m 個の磁界強度係数に基づいて前記 n 個の磁気検出部より供給される信号に対して所定の演算を施し前記各コイルに供給する電流値を演算する演算部 4 により構成され、前記 m 個のコイルが発生する磁界の相互作用を考慮して前記各々のコイルで取り囲まれた空間内に対して環境磁気雑音を均質に遮蔽することを特徴としている。

30

上記の構成によれば、磁気検出部 2 1、2 2、・・・、2 j、・・・、2 n は磁気強度を精確に直線性を持って測定する必要はなく、磁気抵抗センサやホール素子、磁気インダクタンスセンサ等を直線化回路を用いることなく利用することができ、装置の小型化、軽量化と低価格化に寄与する。

【0 0 6 6】

さらに、上記の構成であれば、パッシブな磁気シールド方式に比して軽量な材料でコイルや磁気検出部を作ることができるため、装置全体が軽量化するので、耐荷重の制限も緩和されるとともに、建物の上層階に設置されている場合に構造振動に起因している環境磁気雑音の時間変動をキャンセルすることができる。

40

上記の構成であれば、遮蔽空間全体がどのような形状であっても、さらに設置場所の近傍に地磁気収束体が位置する結果、比較的大きな空間勾配を伴う環境磁気雑音が存在していても、均質で高い遮蔽性能を有する広い遮蔽空間を実現することができる。

また、上記の構成によれば、コイル 1 1、1 2、・・・、1 i、・・・、1 m が発生する磁界の全てを考慮して磁気検出部 2 1、2 2、・・・、2 j、・・・、2 n を設置した全ての参照点における環境磁気雑音を最も誤差エネルギーが小さな状態に低減することができる、しかもこの零磁界制御を安定に維持することができるので、発振等の不具合を回避することができる。

【0 0 6 7】

50

さらに、上記の構成によれば、キャンセル磁場を発生するコイル 1_1 、 1_2 、 \dots 、 1_i 、 \dots 、 1_m に比して十分に小型の磁気検出部 2_1 、 2_2 、 \dots 、 2_j 、 \dots 、 2_n を採用することが可能であるので遮蔽空間内部への採光と通気を兼ね備えた開口部を多数設けることができる。

上記の構成であれば、パッシブな磁気シールド方式に比して軽量で採光性、通気性に優れ、ひいては圧迫感及び閉塞感が少ない環境磁気遮蔽空間を提供することができる。

【0068】

請求項2に記載の環境磁気雑音遮蔽磁界印加装置は、上記の課題を解決するために、請求項1に記載の発明において、前記演算部4において前記環境磁気雑音と逆位相の磁界を発生する目的で供給するコイル駆動電流と環境磁気雑音遮蔽後の空間に対する印加磁界を発生する目的で供給するコイル駆動電流を加算した値を前記電流駆動部31、32、 \dots 、 3_i 、 \dots 、 3_m に供給し、前記磁気検出部 2_1 、 2_2 、 \dots 、 2_j 、 \dots 、 2_n が出力する信号成分から前記環境磁気雑音遮蔽後の空間に対する印加磁界を発生する目的で供給する前記コイル駆動電流に起因して前記磁気検出部 2_1 、 2_2 、 \dots 、 2_j 、 \dots 、 2_n に発生する前期印加磁界を前記磁界強度係数に基づいて算出して減算することにより残留する環境磁気雑音成分を求めるとともに、前記残留する環境磁気雑音成分を遮蔽するための前記コイル電流の修正量を演算する構成を有しており、環境磁気雑音を遮蔽しながら任意の印加磁界を遮蔽空間内に発生することを特徴とする。

10

【0069】

上記の構成であれば、磁界検出部で検出された信号から印加している磁界成分を差し引き、残留している環境磁気雑音成分を求めることができ、そのために供給するべきコイル駆動電流と印加磁界を発生させるためのコイル駆動電流を加算して電流駆動回路に供給することにより環境磁気雑音を遮蔽し、かつ遮蔽空間内に任意の印加磁界を発生することができる。

20

【0070】

請求項3に記載の環境磁気雑音遮蔽装置は、上記の課題を解決するためにコイル 1_i に供給される電流値 u_i が前記磁界強度係数のうち総数 n 個の i_1 、 i_2 、 \dots 、 i_n と前記総数 n 個の磁気検出部から供給される磁界検出信号 B_1 、 B_2 、 \dots 、 B_n によって電流修正量 u_i が構成される漸化式によって定まる演算を前記演算部において施すものであることを特徴としている。

30

【0071】

上記の構成によれば、全ての参照点における環境磁気雑音を誤差エネルギー E が常になくなるように各コイル電流の制御を行うことができるので、発振等の不具合を回避しながら零磁界制御を安定に維持することができる。

請求項4に記載の環境磁気雑音遮蔽装置は、前記漸化式が前記式(13)に基づいて予め演算された総数 m 個の係数 K_i を用いて前記式(15)に基づいて演算されるものであることを特徴とする。

【0072】

上記の構成によれば、漸化式を用いているため請求項3に記載の装置に比べてスルーレートは低下するが、演算負荷を低く抑えながら耐雑音性は向上させることができる。

40

請求項5に記載の環境磁気雑音遮蔽装置は、コイル 1_i に供給される総数 m 個の電流値が前記磁界強度係数 i_j を要素とする n 行 m 列の行列 A の一般逆行列である m 行 n 列の行列を用いて演算されることを特徴としている。

【0073】

上記の構成によれば、漸化式を用いることなく、予め演算した行列 A の一般逆行列を用いて誤差エネルギー E が最小になる点を維持することができるので、高速(高スルーレート)かつ安定に零磁界制御を維持することができる。

【発明の効果】

【0074】

本発明の環境磁気雑音遮蔽装置は、以上のように、互いに近接した総数 m 個のコイル 1_1

50

、 1_2 、 \dots 、 1_i 、 \dots 、 1_m と、予め定められた所定方向の磁束密度の時間変化を検出する総数 n 個の磁気検出部 2_1 、 2_2 、 \dots 、 2_j 、 \dots 、 2_n と、前記 m 個のコイルの各々にコイル電流を供給する電流駆動部 3_1 、 3_2 、 \dots 、 3_i 、 \dots 、 3_m と、前記コイル 1_i に単位電流を通流した場合に前記磁気検出部 2_j に発生する磁界強度を磁界強度係数 i_j と表記するとき前記各々のコイルを独立に単位電流で駆動した場合に前記各々の磁気検出部に発生する総数 $n \times m$ 個の前記磁界強度係数に基づいて前記 n 個の磁気検出部より供給される信号に対して所定の演算を施し前記各コイルに供給する電流値を演算する演算部 4 とにより構成される構造である。それ故、前記 m 個のコイルが発生する磁界の相互作用を考慮して前記各々のコイルで取り囲まれた遮蔽空間内に対して環境磁気雑音と逆位相の磁界を発生することにより環境磁気雑音を均質に遮蔽することが可能である特有の効果奏する。

10

【0075】

また、本発明の環境磁気雑音遮蔽装置は、以上のように、総数 $n \times m$ 個の前記磁界強度係数に基づいて各コイルに供給するべき安定な電流量を演算する構成であるので、コイルを近接して配置する構成であっても、各々のコイルが磁気検出部に発生する磁界を考慮した零磁界制御を行えるため、発振等の不具合を引き起こさないという特有の効果奏する。

【0076】

また、本発明の環境磁気雑音遮蔽装置は、以上のように、総数 m 個のコイルと総数 n 個の小さな磁気検出部で遮蔽空間を取り囲む構造であるので、パッシブな磁気遮蔽装置に比して軽量であり、通気性も良好であり、内部が監視できる視認性の良い設計を行うことができるという特有の効果奏する。また、本発明の環境磁気雑音遮蔽装置は、以上のように、総数 $m \times n$ 個の磁気強度係数はコイルの設計情報に基づいて演算により求めることができ、さらに実際にコイルに単位電流を通流させて実測によって求めることもできるので、無調整で運用することも、実測調整で施工誤差を吸収することもできるという特有の効果奏する。

20

【0077】

また、本発明の環境磁気雑音遮蔽装置は、以上のように、コイル数 m よりも多い磁気検出部個数 n を採用でき、均質化したい空間に密に磁気検出部を配置させることが可能な構成であるので、非常に均質で精確な零磁界空間を実現することができるという特有の効果奏する。

30

【0078】

本発明の環境磁気雑音遮蔽磁界印加装置は、以上のように、前記演算部 4 において前記環境磁気雑音と逆位相の磁界を発生する目的で供給するコイル駆動電流と環境磁気雑音遮蔽後の空間に対する印加磁界を発生する目的で供給するコイル駆動電流を加算した値を前記電流駆動部 3_1 、 3_2 、 \dots 、 3_i 、 \dots 、 3_m に供給し、前記磁気検出部 2_1 、 2_2 、 \dots 、 2_j 、 \dots 、 2_n が出力する信号成分から前記環境磁気雑音遮蔽後の空間に対する印加磁界を発生する目的で供給する前記コイル駆動電流に起因して前記磁気検出部 2_1 、 2_2 、 \dots 、 2_j 、 \dots 、 2_n に発生する前期印加磁界を前記磁界強度係数に基づいて算出して減算することにより残留する環境磁気雑音成分を求めるとともに、前記残留する環境磁気雑音成分を遮蔽するための前記コイル電流の修正量を演算する構成を有している。それ故、環境磁気雑音を遮蔽しながら任意の印加磁界を遮蔽空間内に発生することが可能であるという特有の効果奏する。

40

【0079】

本発明の環境磁気雑音遮蔽装置は、以上のように、コイル 1_i に供給される電流値 u_i が前記磁界強度係数のうち総数 n 個の i_1 、 i_2 、 \dots 、 i_n と前記総数 n 個の磁気検出部から供給される磁界検出信号 B_1 、 B_2 、 \dots 、 B_n によって前記環境磁気雑音と逆位相の磁界を発生するための電流修正量 u_i が構成される漸化式によって定まる演算を前記演算部において施すものである演算部を含んでいるので、確実に誤差エネルギー関数を最小とする点に向かってコイル駆動電流値を修正することが可能であり、安定

50

でかつ外乱雑音にも強いという特有の効果を奏する。

【0080】

本発明の環境磁気雑音遮蔽装置は、以上のように、前記漸化式が下記式13に基づいて予め演算された総数 m 個の係数 K_i を用いて下記式15に基づいて演算されるものである演算装置を含む構造であるため、演算負荷が小さく、DSPや簡易なマイコンによるリアルタイム制御に適しているという特有の効果を奏する。

【0081】

本発明の環境磁気雑音遮蔽装置は、以上のように、コイル 1_i に供給される総数 m 個の電流値が前記磁界強度係数 i_j を要素とする n 行 m 列の行列 A の一般逆行列である m 行 n 列の行列を用いて演算される演算部を含む構造であるので、予め一般逆行列を演算負荷容量の大きなコンピュータで求めておき、加算と乗算からなる単純な積和計算の繰り返しのみで、零磁界制御を高速に行うことができるという特有の効果を奏する。

10

【発明を実施するための最良の形態】

【0082】

本発明の一実施形態について、説明すれば以下のとおりである。

【0083】

本発明の構成要素であるキャンセル磁場を発生するためのコイル 1_1 、 1_2 、 \dots 、 1_i 、 \dots 、 1_m は絶縁性被覆線を巻き付けたコイル、または多心ケーブルやフラットケーブルを1周ごとに結線位置を変えることで構成されるコイル、または絶縁材料表面に導電性材料で印刷されたコイル、または絶縁材料に導電性材料のフィルムを貼り付けた後

20

【0084】

本発明の構成要素であるキャンセル磁場を発生するためのコイル 1_1 、 1_2 、 \dots 、 1_i 、 \dots 、 1_m は各々のコイルが1つの平面上に位置するコイル、またはヘルムホルツコイルやブランデルコイルのように同一平面上に位置しない複数のコイルによって構成されるコイルのいずれであっても良い。

また、本発明の構成要素である総数 m 個の磁気検出部 2_1 、 2_2 、 \dots 、 2_j 、 \dots 、 2_n に採用される磁気センサは、特に直線性を持って磁界を検出する磁気センサである必要はなく、磁界検出コイル、ホール素子、磁気抵抗素子(MR: Magnetic Resistance)、フラックスゲート、磁気インダクタンス素子(MI: Magnetic Inductance)、超伝導量子干渉素子(SQUID: Superconducting QUantum Interference Devices)、直流励磁型アモルファス磁気センサ等を含んでいる。

30

【0085】

本発明の環境磁気雑音遮蔽装置の用途としては、例えば、電車の通過によってテレビやパソコンの映像が乱れることが無いように環境磁場を遮蔽する環境磁気雑音遮蔽装置、脳磁あるいは心磁等の生体磁場を計測するシステムのための環境磁気雑音遮蔽装置、または超LSI製造のための電子ビーム露光装置のための環境磁気雑音遮蔽装置、さらに針状の磁気マーカーを癌患部に打ち込み、このマーカーの位置を磁気的に検出することにより、体動や呼吸によってその位置が変化しても正しく患部に放射線を照射する多軌道照射型放射線治療システムのための環境磁気雑音遮蔽装置等が挙げられる。

40

【0086】

また、本発明の環境磁気雑音遮蔽磁界印加装置の用途としては、磁界が生体に及ぼす影響を調べるために、例えば環境磁気雑音の影響を排除しつつ、所定の磁界を印加できる環境下において細胞培養を行い、DNA異常を引き起こす確率を調べる研究システム、半導体電子ビーム露光装置において環境磁気雑音を遮蔽しながら電子ビームを偏向するための印加磁界を発生する電子ビーム駆動装置が挙げられる。

【実施例1】

【0087】

次に、本発明の具体的な実施例について説明するが、本発明はこれら実施例により限定されるものではない。

50

【0088】

図1に本件発明の請求項1、請求項3、及び請求項4に対応する環境磁気雑音遮蔽装置の一実施例を例示する。図1中の総数 m 個のコイル11、12、13、 \dots 、1 i 、 \dots 、1 m はそれぞれ直径0.4mmの絶縁皮膜銅線を用いて50cm角正方形の枠体に52ターンの角型コイルが形成されており、400mAの電流を供給することにより、コイル平面中央部にコイル平面の法線方向にほぼ地磁気の大きさに相当する500ミリガウス、即ち50マイクロテスラの磁界を発生することができる。総数 n 個の磁気検出部21、22、23、 \dots 、2 j 、 \dots 、2 n は磁気抵抗素子を用いたMRセンサによって構成されたコイル11、12、13、 \dots 、1 i 、 \dots 、1 m のコイル平面の法線方向の磁界成分を捉える磁気センサである。磁気検出部の磁気感度は入力磁束密度が ± 1 ガウス、即ち ± 100 マイクロテスラするとき出力電圧範囲が ± 10 ボルトとなるように設計されている。総数 m 個の電流駆動部31、32、33、 \dots 、3 i 、 \dots 、3 m は入力電圧 ± 10 Vに対して ± 1 Aの電流を出力し、対応するコイル11、12、13、 \dots 、1 i 、 \dots 、1 m に電流を通流することができる。

10

【0089】

環境磁気雑音遮蔽装置を稼動する前に、図示しない信号発生装置を m 個の電流駆動部のうちの特定のひとつ、例えば3 i に接続して直流または所定の周波数の交流の単位電流に対応するコイル1 i に通流した場合に総数 n 個の磁気検出部21、22、23、 \dots 、2 j 、 \dots 、2 n の出力を磁界強度係数 i_1 、 i_2 、 i_3 、 \dots 、 i_j 、 \dots 、 i_n として記録する。選択する電流駆動部を順次31、32、33、 \dots 、3 i 、 \dots 、3 m と変えてゆき、総数 $m \times n$ 個の磁界強度係数を得る。この実測による磁界強度係数を用いて、式(13)による演算を行い、総数 m 個の係数 K_1 、 K_2 、 K_3 、 \dots 、 K_i 、 \dots 、 K_m を得る。

20

【0090】

環境磁気雑音遮蔽装置を稼動させる時は、総数 n 個の磁気検出部21、22、23、 \dots 、2 j 、 \dots 、2 n の出力を残留する環境磁気雑音として取り扱う。即ち、式(14)の B_1 、 B_2 、 B_3 、 \dots 、 B_j 、 \dots 、 B_n として取り扱い、総数 m 個の各コイルに供給するべき電流量を決定するために式(15)の漸化式を用いるのである。式(15)の漸化式を用いたコイル駆動電流の修正は一度に1個のコイル電流に対して行うものとする。

30

【0091】

その結果、発振現象を起こすことなく、安定に環境磁気雑音の影響を減ずる零磁界制御を行うことができる。また、磁界には加算が成立するので、コイル1 i の駆動電流を u_i だけ変更した場合には磁界検出部2 j に及ぼす影響は必ず $i_j u_i$ になる。即ち、磁界検出部2 j の出力 B_j は $i_j u_i$ だけ増加する。コイル1 i の駆動電流を u_i だけ変更した後で磁界検出部の信号を再び取り直す必要はなく、 B_1 、 B_2 、 B_3 、 \dots 、 B_j 、 \dots 、 B_n にコイル電流修正量に基づく磁界変動分の修正を行ってから式(15)の漸化式による別コイルの駆動電流修正を行えばよい。

【0092】

また、コイルと磁気検出部の設計情報に基づいて式(1)による周回積分計算を行うことで、任意形状のコイルが任意位置に設置された磁気検出部に発生する磁界強度を求めることができるので、磁界強度係数を演算によって求めることもできる。この場合には単位電流を駆動した実測値計測を行う必要はない。

40

【0093】

図1の構成では、環境磁気雑音の垂直方向成分に対してのみ零磁界制御を行うことができる。遮蔽空間内のほぼ全域にわたって平坦な零磁界空間が実現する。

【実施例2】

【0094】

図4に本件発明の請求項1、請求項5に対応する環境磁気雑音遮蔽装置の一実施例を例示する。コイルは五角形と六角形からなり、切頂20面体であるサッカーボール状の32

50

面体を構成している。五角形は12個、六角形は20個である。この多面体の中心座標から各コイル面に下した垂線と多面体の中心座標を中心とし多面体よりも小さな球との交点に前記垂線の前記中心方向の磁束密度を検出するための磁気検出部を設置している。

【0095】

図5に示すようにビオ・サバルの法則に基づいて電流Iが流れる微小ワイヤーdsが任意点Pに発生する磁束密度Bを求めることができるので、式(1)に示すようにコイルを構成するワイヤー全体に対して周回積分を実施することで任意形状のコイルに単位電流を通流した場合に個々の磁気検出部の出力電圧に対応する磁界強度係数を予め求めることができ、その一般逆行列(式(26)または式(27))に関しても求めることができるのである。

10

【0096】

まず、全てのコイルに電流を通流しない状態における磁気検出部の出力は環境磁気雑音に基づく信号であるので、式(25)によるコイル電流の演算によって零磁界制御が行える。その後は磁気検出部の出力は環境磁気雑音の変化成分Sによるものであるので、この変化成分Sを零にするためのコイル電流修正量uを式(25)に基づいて計算することができる。実際にコイルに供給する電流は前回のuに電流修正量uを加算したものとす。

【0097】

実施例2においては、五角形と六角形からなる異なる面積と形状のコイルで遮蔽空間を構成しているが、磁気検出部を配置した球体の法線方向から内部に入射する磁束密度成分に対して零磁界制御をかけるので、直交3軸成分に対して零磁界制御が行え、均質な零磁界空間を実現することができる。

20

【0098】

さらに実施例1では漸化式に基づくコイル電流の修正をかけているため、誤差エネルギー関数Eが最小となる点に十分近づくには、複数回の漸化式の実行が不可欠であるのに対して、実施例2では予め計算しておいた一般逆行列を用いて式(25)による修正量演算を1回行えば誤差エネルギー関数Eが最小となる点に修正することが可能である。故に零磁界制御のスルーレートは非常に高い優位性を有している。

【実施例3】

【0099】

図6に本件発明の請求項2に対応する環境磁気雑音遮蔽磁界印加装置の一実施例を例示する。コイルは正方形の枠体に形成され、コイル11と12、13と14、15と16は同一サイズで同一巻き数に設計されている。対をなす両方のコイルに同じ電流を通流させた場合にヘルムホルツコイル条件を満たすように設計されている。即ち、並行で対向する配置であるだけでなく、両コイル間に平坦で均質な磁界を発生させるためにコイル間距離になっている。コイル11と12はx方向成分の磁界を、コイル13と14はy方向成分の磁界を、コイル15と16はz方向成分の磁界を発生させる目的を有している。磁気検出部21と22はそれぞれコイル11と12の法線方向成分即ちx方向成分の磁束密度を計測する目的で各コイル中心付近に設置されている。同様に磁気検出部23と24はそれぞれコイル13と14の法線方向成分即ちy方向成分の磁束密度を計測する目的で各コイル中心付近に設置されている。同じく磁気検出部25と26はそれぞれコイル15と16の法線方向成分即ちz方向成分の磁束密度を計測する目的で各コイル中心付近に設置されている。対になるコイルはヘルムホルツ条件を満たすように巻き数、位置関係が設計されている。故に、本実施例においても、実施例1及び2と同様に磁界強度係数に基づく漸化式や一般逆行列を用いた零磁界制御を行うことができる。

30

40

【0100】

ここで、x方向に例えば式(28)に示すようなサイン波形でコイル1iによる印加磁界発生をさせる場合を考え、印加磁界発生のためにコイル1iに通流する電流を $f_i(t)$ と表現する。

【0101】

50

【数 28】

$$f_i(t) = W \sin 2\pi f_x t \cdots (28)$$

【0102】

コイル 1 i に通流する電流 u_i を式 (29) を用いて演算することにより環境磁気雑音に対して零磁界制御をかけながら印加磁界を発生することができる。

【0103】

【数 29】

$$u_i = u_i + K_i \sum_{j=1}^n \alpha_{ij} B_j + f_i(t) \cdots (29)$$

【0104】

但し、そのままでは各磁気検出部において計測される磁界には印加磁界も含まれるので、磁界強度係数を用いて式 (30) のように印加磁界成分を差し引くことで、環境磁気雑音の真値を得ることができ、環境磁気雑音を遮蔽しながら、遮蔽に使っているコイルを用いて任意の印加磁界を発生することができるのである。

【0105】

【数 30】

$$B_j = B_j - \sum_{i=1}^m \alpha_{ij} f_i(t) \cdots (30)$$

【0106】

この実施例により、例えば半導体電子ビーム露光装置において、描画の障害となる環境磁気雑音を遮蔽しながら、印加磁界により描画に用いる電子ビームを精確に偏向制御することが可能となる。

【0107】

また、本実施例を磁界の生体影響を調べる研究用設備に応用した場合には、不必要な地磁気変動等の環境磁気雑音を遮蔽した状態で、所定強度の磁界を印加することが可能となり、磁界暴露下の細胞に対する DNA 損傷への影響等を精密に調べることが可能となる

【産業上の利用可能性】

【0108】

本発明は、例えば、直流または交流の環境磁気雑音、特に近傍に位置する高透磁率磁性材料で作られた地磁気収束体の移動または振動に起因する地磁気の空間勾配を有する非定常な環境磁気雑音に対して高い遮蔽性能と広い均質な遮蔽空間を提供する、軽量で施工性に優れ、採光性や通気性を備えた環境磁気遮蔽装置と環境磁気雑音を遮蔽しながら遮蔽空間内に任意の磁界を印加することが可能な環境磁気遮蔽磁界印加装置に関する。

【図面の簡単な説明】

【0109】

【図 1】本発明の環境磁気雑音遮蔽装置の一実施例である。

【図 2】従来技術のアクティブ磁気シールド方式の実施例である。

【図 3】式 (15) による漸化式の意味を説明するための図である。

【図 4】本発明の環境磁気雑音遮蔽装置の一実施例である。

【図 5】ピオ・サバル則を説明するための図である。

【図 6】本発明の環境磁気雑音遮蔽磁界印加装置の一実施例である。

【符号の説明】

【0110】

1 1、1 2、1 3、・・・、1 i、・・・、1 m コイル

2 1、2 2、2 3、・・・、2 j、・・・、2 n 磁界検出部

3 1、3 2、3 3、・・・、3 i、・・・、3 m 電流駆動部

4 演算部

1 0 X 1、1 0 X 2、1 0 Y 1、1 0 Y 2、1 0 Z 1、1 0 Z 2 コイル

2 0 X、2 0 Y、2 0 Z 磁界検出部

3 0 X、3 0 Y、3 0 Z 電流駆動部

10

20

30

40

50

40X、40Y、40Z 増幅部

α_{ij} コイル1*i*が磁気検出部2*j*に発生する磁界強度係数

u_i コイル1*i*に通流する電流

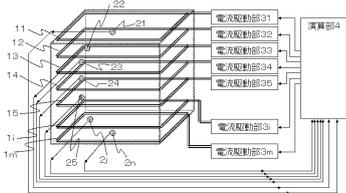
S_j 磁気検出部2*j*における環境磁気雑音成分

O_j 実際には逆位相で印加されているが、総数*m*個のコイルが磁気検出部2*j*に発生する環境磁気雑音推定値

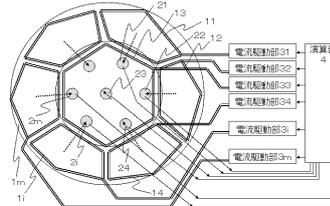
B_j 磁気検出部2*j*において検出される環境磁気雑音と*m*個のコイルで発生した磁界の合成値

E_0 に近い値ほど良好な遮蔽率が達成されていることを示す零磁界制御の良好性を評価する評価関数。

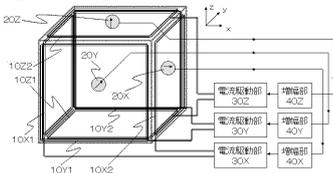
【図1】



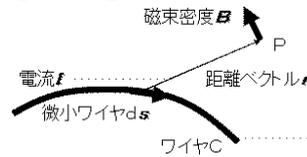
【図4】



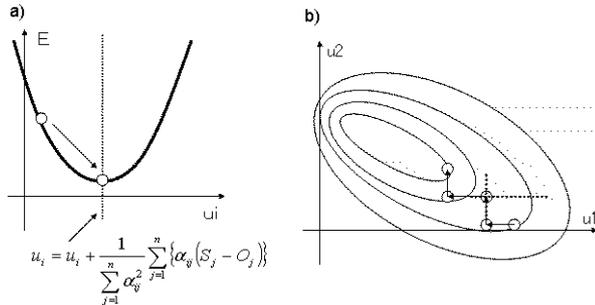
【図2】



【図5】



【図3】



【図6】

