

(19)日本国特許庁(JP)

## (12)特許公報(B2)

(11)特許番号  
特許第7061882号  
(P7061882)

(45)発行日 令和4年5月2日(2022.5.2)

(24)登録日 令和4年4月21日(2022.4.21)

(51)国際特許分類 F I  
G 0 1 R 33/02 (2006.01) G 0 1 R 33/02 X

請求項の数 12 (全22頁)

(21)出願番号	特願2018-7258(P2018-7258)	(73)特許権者	390005175 株式会社アドバンテスト 東京都千代田区丸の内1丁目6番2号
(22)出願日	平成30年1月19日(2018.1.19)	(74)代理人	100097490 弁理士 細田 益稔
(65)公開番号	特開2019-124661(P2019-124661 A)	(72)発明者	畑 善之 東京都練馬区旭町1丁目32番1号 株 式会社アドバンテスト内
(43)公開日	令和1年7月25日(2019.7.25)	審査官	島田 保
審査請求日	令和2年12月10日(2020.12.10)		

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 測定装置、方法、プログラム、記録媒体

## (57)【特許請求の範囲】

## 【請求項1】

測定対象が発生する測定対象量を測定する測定装置であって、  
前記測定対象量に加算する加算量が発生する加算量発生部と、  
前記測定対象量に前記加算量を加算された合成量を測定するセンサと、  
前記センサの出力を受けて、1 / f ノイズを、パルスの周波数と同じ周波数の成分よりも減衰させるハイパスフィルタと、  
前記ハイパスフィルタの出力から前記測定対象量を導出する導出部と、  
を備え、  
前記センサによる測定の際に、前記1 / f ノイズが発生し、  
前記合成量が0未満の場合の前記センサの出力値は、前記合成量が0の場合の前記センサの出力値と同じ値であり、  
前記加算量は、前記パルスであり、  
該パルスは、前記測定対象量の最大値の絶対値よりも大きな振幅を有し、  
該パルスの最大値が0であり、  
該パルスは、前記1 / f ノイズを無視できる程度に高い周波数を有し、  
前記導出部は、前記センサの出力値を検波することにより、前記測定対象量を導出する、  
測定装置。

## 【請求項2】

請求項1に記載の測定装置であって、

前記測定対象量は磁場である、  
測定装置。

【請求項 3】

請求項 1 または 2 に記載の測定装置であって、  
複数の前記センサの出力を合計して前記ハイパスフィルタを介して一つの前記導出部に与える合計部を備えた測定装置。

【請求項 4】

請求項 1 または 2 に記載の測定装置であって、  
複数の前記センサの出力を、前記ハイパスフィルタを介してそれぞれ別々の前記導出部に与える測定装置。

10

【請求項 5】

請求項 1 または 2 に記載の測定装置であって、  
前記合成量に、誤差補正量を加えて、前記センサに与える前置誤差補正部を備えた測定装置。

【請求項 6】

請求項 1 または 2 に記載の測定装置であって、  
アナログである前記センサの出力を、デジタルに変換して、前記導出部に与える測定装置。

【請求項 7】

請求項 6 に記載の測定装置であって、  
前記導出部の出力を受けて、外部環境に起因する誤差を補正する外部誤差補正部を備えた測定装置。

20

【請求項 8】

請求項 6 に記載の測定装置であって、  
ある一つの前記センサと、その出力を受けるある一つの前記導出部とを有するチャンネルを複数備え、  
さらに前記チャンネル間の誤差を補正するチャンネル間誤差補正部を備えた測定装置。

【請求項 9】

請求項 6 に記載の測定装置であって、  
前記  $1/f$  ノイズを無視できる程度に高い周波数帯域における前記導出部の出力の誤差を測定する高周波帯域誤差測定部と、  
前記高周波帯域誤差測定部の測定結果に基づき、前記パルスの周波数を決定する周波数決定部と、  
を備えた測定装置。

30

【請求項 10】

測定対象が発生する測定対象量を測定する測定方法であって、  
前記測定対象量に加算する加算量が発生する加算量発生工程と、  
センサにより、前記測定対象量に前記加算量が加算された合成量を測定する測定工程と、  
ハイパスフィルタにより、前記測定工程の測定結果を受けて、 $1/f$  ノイズを、パルスの周波数と同じ周波数の成分よりも減衰させる減衰工程と、  
前記減衰工程の出力から前記測定対象量を導出する導出工程と、  
を備え、  
前記センサによる測定の際に、前記  $1/f$  ノイズが発生し、  
前記合成量が 0 未満の場合の前記センサの出力値は、前記合成量が 0 の場合の前記センサの出力値と同じ値であり、  
前記加算量は、前記パルスであり、  
該パルスは、前記測定対象量の最大値の絶対値よりも大きな振幅を有し、  
該パルスの最大値が 0 であり、  
該パルスは、前記  $1/f$  ノイズを無視できる程度に高い周波数を有し、  
前記導出工程は、前記センサの出力値を検波することにより、前記測定対象量を導出する、  
測定方法。

40

50

## 【請求項 1 1】

測定対象が発生する測定対象量を測定する測定装置であって、前記測定対象量に加算する加算量が発生する加算量発生部と、前記測定対象量に前記加算量を加算された合成量を測定するセンサと、前記センサの出力を受けて、 $1/f$ ノイズを、パルスの周波数と同じ周波数の成分よりも減衰させるハイパスフィルタとを有する測定装置における測定処理をコンピュータに実行させるためのプログラムであって、

前記測定処理は、

前記ハイパスフィルタの出力から前記測定対象量を導出する導出工程を備え、

前記センサによる測定の際に、前記 $1/f$ ノイズが発生し、

前記合成量が0未満の場合の前記センサの出力値は、前記合成量が0の場合の前記センサの出力値と同じ値であり、

10

前記加算量は、前記パルスであり、

該パルスは、前記測定対象量の最大値の絶対値よりも大きな振幅を有し、

該パルスの最大値が0であり、

該パルスは、前記 $1/f$ ノイズを無視できる程度に高い周波数を有し、

前記導出工程は、前記センサの出力値を検波することにより、前記測定対象量を導出する、プログラム。

## 【請求項 1 2】

測定対象が発生する測定対象量を測定する測定装置であって、前記測定対象量に加算する加算量が発生する加算量発生部と、前記測定対象量に前記加算量を加算された合成量を測定するセンサと、前記センサの出力を受けて、 $1/f$ ノイズを、パルスの周波数と同じ周波数の成分よりも減衰させるハイパスフィルタとを有する測定装置における測定処理をコンピュータに実行させるためのプログラムを記録したコンピュータによって読み取り可能な記録媒体であって、

20

前記測定処理は、

前記ハイパスフィルタの出力から前記測定対象量を導出する導出工程を備え、

前記センサによる測定の際に、前記 $1/f$ ノイズが発生し、

前記合成量が0未満の場合の前記センサの出力値は、前記合成量が0の場合の前記センサの出力値と同じ値であり、

前記加算量は、前記パルスであり、

30

該パルスは、前記測定対象量の最大値の絶対値よりも大きな振幅を有し、

該パルスの最大値が0であり、

該パルスは、前記 $1/f$ ノイズを無視できる程度に高い周波数を有し、

前記導出工程は、前記センサの出力値を検波することにより、前記測定対象量を導出する、記録媒体。

## 【発明の詳細な説明】

## 【技術分野】

## 【0001】

本発明は、センサにおいて発生する $1/f$ ノイズの除去に関する。

## 【背景技術】

40

## 【0002】

従来より、微弱な磁界を測定するセンサが知られている（例えば、特許文献1の要約を参照）。また、耐ノイズ性を向上し、磁界強度の計測を用いた位置検出法が知られている（例えば、特許文献2の要約を参照）。さらに、磁気センサとしてはMIセンサが知られている（例えば、特許文献3の要約を参照）。

## 【先行技術文献】

## 【特許文献】

## 【0003】

【文献】特開2017-133993号公報

特開平9-325003号公報

50

特開 2014 - 190774 号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

本発明は、磁気センサなどのセンサにおいて発生する  $1/f$  ノイズによる測定結果の誤差を軽減することを課題とする。

【課題を解決するための手段】

【0005】

本発明にかかる測定装置は、測定対象が発生する測定対象量を測定する測定装置であって、前記測定対象量に加算する加算量を発生する加算量発生部と、前記測定対象量に前記加算量が加算された合成量を測定するセンサと、前記センサの出力から前記測定対象量を導出する導出部とを備え、前記センサによる測定の際に、 $1/f$  ノイズが発生し、前記合成量が 0 未満の場合の前記センサの出力値は、前記合成量が 0 の場合の前記センサの出力値と同じ値であり、前記加算量は、パルスであり、該パルスは、前記測定対象量の最大値の絶対値よりも大きな振幅を有し、該パルスの最大値が 0 であり、該パルスは、前記  $1/f$  ノイズを無視できる程度に高い周波数を有し、前記導出部は、前記センサの出力値を検波することにより、前記測定対象量を導出するように構成される。

10

【0006】

上記のように構成された測定装置は、測定対象が発生する測定対象量を測定する。加算量発生部は、前記測定対象量に加算する加算量を発生する。センサは、前記測定対象量に前記加算量が加算された合成量を測定する。導出部は、前記センサの出力から前記測定対象量を導出する。前記センサによる測定の際に、 $1/f$  ノイズが発生する。前記合成量が 0 未満の場合の前記センサの出力値は、前記合成量が 0 の場合の前記センサの出力値と同じ値である。前記加算量は、パルスである。該パルスは、前記測定対象量の最大値の絶対値よりも大きな振幅を有する。該パルスの最大値が 0 である。該パルスは、前記  $1/f$  ノイズを無視できる程度に高い周波数を有する。前記導出部は、前記センサの出力値を検波することにより、前記測定対象量を導出する。

20

【0007】

なお、本発明にかかる測定装置は、前記測定対象量は磁場であるようにしてもよい。

【0008】

なお、本発明にかかる測定装置は、前記センサの出力を受けて、前記  $1/f$  ノイズを、前記パルスの周波数と同じ周波数の成分よりも減衰させて、前記導出部に与えるハイパスフィルタを備えるようにしてもよい。

30

【0009】

なお、本発明にかかる測定装置は、複数の前記センサの出力を合計して一つの前記導出部に与える合計部を備えるようにしてもよい。

【0010】

なお、本発明にかかる測定装置は、複数の前記センサの出力を、それぞれ別々の前記導出部に与えるようにしてもよい。

【0011】

なお、本発明にかかる測定装置は、前記合成量に、誤差補正量を加えて、前記センサに与える前置誤差補正部を備えるようにしてもよい。

40

【0012】

なお、本発明にかかる測定装置は、アナログである前記センサの出力を、デジタルに変換して、前記導出部に与えるようにしてもよい。

【0013】

なお、本発明にかかる測定装置は、前記導出部の出力を受けて、外部環境に起因する誤差を補正する外部誤差補正部を備えるようにしてもよい。

【0014】

なお、本発明にかかる測定装置は、ある一つの前記センサと、その出力を受けるある一つ

50

の前記導出部とを有するチャンネルを複数備え、さらに前記チャンネル間の誤差を補正するチャンネル間誤差補正部を備えるようにしてもよい。

【0015】

なお、本発明にかかる測定装置は、前記  $1/f$  ノイズを無視できる程度に高い周波数帯域における前記導出部の出力の誤差を測定する高周波帯域誤差測定部と、前記高周波帯域誤差測定部の測定結果に基づき、前記パルスの周波数を決定する周波数決定部とを備えるようにしてもよい。

【0016】

本発明は、測定対象が発生する測定対象量を測定する測定方法であって、前記測定対象量に加算する加算量を発生する加算量発生工程と、センサにより、前記測定対象量に前記加算量が加算された合成量を測定する測定工程と、前記センサの出力から前記測定対象量を導出する導出工程とを備え、前記センサによる測定の際に、 $1/f$  ノイズが発生し、前記合成量が0未満の場合の前記センサの出力値は、前記合成量が0の場合の前記センサの出力値と同じ値であり、前記加算量は、パルスであり、該パルスは、前記測定対象量の最大値の絶対値よりも大きな振幅を有し、該パルスの最大値が0であり、該パルスは、前記  $1/f$  ノイズを無視できる程度に高い周波数を有し、前記導出工程は、前記センサの出力値を検波することにより、前記測定対象量を導出する測定方法である。

10

【0017】

本発明は、測定対象が発生する測定対象量を測定する測定装置であって、前記測定対象量に加算する加算量を発生する加算量発生部と、前記測定対象量に前記加算量が加算された合成量を測定するセンサとを有する測定装置における測定処理をコンピュータに実行させるためのプログラムであって、前記測定処理は、前記センサの出力から前記測定対象量を導出する導出工程を備え、前記センサによる測定の際に、 $1/f$  ノイズが発生し、前記合成量が0未満の場合の前記センサの出力値は、前記合成量が0の場合の前記センサの出力値と同じ値であり、前記加算量は、パルスであり、該パルスは、前記測定対象量の最大値の絶対値よりも大きな振幅を有し、該パルスの最大値が0であり、該パルスは、前記  $1/f$  ノイズを無視できる程度に高い周波数を有し、前記導出工程は、前記センサの出力値を検波することにより、前記測定対象量を導出するプログラムである。

20

【0018】

本発明は、測定対象が発生する測定対象量を測定する測定装置であって、前記測定対象量に加算する加算量を発生する加算量発生部と、前記測定対象量に前記加算量が加算された合成量を測定するセンサとを有する測定装置における測定処理をコンピュータに実行させるためのプログラムを記録したコンピュータによって読み取り可能な記録媒体であって、前記測定処理は、前記センサの出力から前記測定対象量を導出する導出工程を備え、前記センサによる測定の際に、 $1/f$  ノイズが発生し、前記合成量が0未満の場合の前記センサの出力値は、前記合成量が0の場合の前記センサの出力値と同じ値であり、前記加算量は、パルスであり、該パルスは、前記測定対象量の最大値の絶対値よりも大きな振幅を有し、該パルスの最大値が0であり、該パルスは、前記  $1/f$  ノイズを無視できる程度に高い周波数を有し、前記導出工程は、前記センサの出力値を検波することにより、前記測定対象量を導出する記録媒体である。

30

40

【図面の簡単な説明】

【0019】

【図1】本発明の第一の実施形態にかかる測定装置1の構成を示す機能ブロック図である。

【図2】加算磁場発生部12の構成の一例を示す図である。

【図3】測定対象磁場MF1(図3(a))、加算磁場MF0(図3(b))、合成磁場MF2(図3(c))の波形を示す図である。

【図4】加算磁場MF0および測定対象磁場MF1のスペクトルを示す図である。

【図5】磁気センサ14の入出力特性を示す図である。

【図6】磁気センサ14の出力(図6(a))、測定対象磁場MF1(図6(b))、加算磁場MF0と同じ周波数のパルス(図6(c))の波形を示す図である。

50

【図 7】磁気センサ 1 4 の出力のスペクトルを示す図である。

【図 8】ハイパスフィルタ 1 6 b の出力（図 8（a））、検波部（導出部）1 6 c の出力（図 8（b））のスペクトルを示す図である。

【図 9】本発明の第二の実施形態にかかる測定装置 1 の構成を示す機能ブロック図である。

【図 10】本発明の第三の実施形態にかかる測定装置 1 の構成を示す機能ブロック図である。

【図 11】本発明の第四の実施形態にかかる測定装置 1 の構成を示す機能ブロック図である。

【図 12】本発明の第五の実施形態にかかる測定装置 1 の構成を示す機能ブロック図である。

10

【図 13】本発明の第六の実施形態にかかる測定装置 1 の構成を示す機能ブロック図である。

【図 14】本発明の第七の実施形態にかかる測定装置 1 の構成を示す機能ブロック図である。

【図 15】本発明の第八の実施形態にかかる測定装置 1 の構成を示す機能ブロック図である。

【発明を実施するための形態】

【0020】

以下、本発明の実施形態を図面を参照しながら説明する。

【0021】

20

第一の実施形態

図 1 は、本発明の第一の実施形態にかかる測定装置 1 の構成を示す機能ブロック図である。

【0022】

第一の実施形態にかかる測定装置 1 は、測定対象 2（例えば、心臓）が発生する測定対象量（例えば、測定対象磁場  $M F 1$ ）を測定するものであり、加算磁場発生部（加算量発生部）1 2、磁気センサ 1 4、センサ出力処理部 1 6 を備える。

【0023】

加算磁場発生部（加算量発生部）1 2 は、測定対象量（例えば、測定対象磁場  $M F 1$ （図 3（a）参照））に加算する加算量（例えば、加算磁場  $M F 0$ （図 3（b）参照））を発生する。

30

【0024】

磁気センサ 1 4 は、測定対象量に加算量を加算された合成量（例えば、合成磁場  $M F 2$ （図 3（c）および図 4 参照））を測定する。この加算は、空間  $S$  において行われる。磁気センサ 1 4 による測定の際に、 $1/f$  ノイズが発生する（図 7 参照）。

【0025】

なお、本発明の実施形態においては、測定装置 1 が磁気センサ 1 4 を備えることとなっているが、 $1/f$  ノイズが問題となる（すなわち、測定対象量の周波数が、 $1/f$  ノイズを無視できない程度に低い周波数である）ようなセンサであれば、磁気センサに限定されるものではない。

【0026】

40

図 2 は、加算磁場発生部 1 2 の構成の一例を示す図である。加算磁場発生部 1 2 は、加算磁場発生用電源 1 2 a、加算磁場発生用コイル 1 2 b を有する。磁気センサ 1 4 は、例えば  $M I$  センサである。磁気センサ 1 4 は、加算磁場発生用コイル 1 2 b 内に挿入されている。

【0027】

加算磁場発生用電源 1 2 a が加算磁場発生用コイル 1 2 b に電流を流すと、加算磁場発生用コイル 1 2 b 内に加算磁場  $M F 0$  が発生する。また、加算磁場発生用コイル 1 2 b 内には、測定対象 2 より、測定対象磁場  $M F 1$  が与えられている。

【0028】

よって、磁気センサ 1 4 には、合成磁場  $M F 2 = M F 0 + M F 1$  が与えられる。

50

## 【 0 0 2 9 】

センサ出力処理部 1 6 は、アンプ 1 6 a、ハイパスフィルタ 1 6 b、検波部（導出部） 1 6 c を有する。

## 【 0 0 3 0 】

アンプ 1 6 a は、磁気センサ 1 4 の出力を増幅する。ハイパスフィルタ 1 6 b は、磁気センサ 1 4 の出力を、アンプ 1 6 a を介して受け、磁気センサ 1 4 において発生する  $1/f$  ノイズを、加算磁場 MF 0（パルスである）の周波数  $f_0$ （図 4 参照）と同じ周波数の成分よりも減衰させて、検波部（導出部） 1 6 c に与える。検波部（導出部） 1 6 c は、磁気センサ 1 4 の出力を、アンプ 1 6 a およびハイパスフィルタ 1 6 b を介して受け、受け取った磁気センサ 1 4 の出力から測定対象量（測定対象磁場 MF 1）を導出する。なお、検波部（導出部） 1 6 c は、磁気センサ 1 4 の出力値を検波することにより、測定対象量（測定対象磁場 MF 1）を導出する。なお、検波は、ダイオードを用いて行ってもよいし、サンプルホールド、包絡線検波、同期検波または遅延検波を用いて行ってもよい。

10

## 【 0 0 3 1 】

次に、第一の実施形態の動作を説明する。

## 【 0 0 3 2 】

測定対象 2 が発生する測定対象磁場 MF 1 が、加算磁場発生部 1 2 が発生する加算磁場 MF 0 と加算され合成磁場 MF 2（ $= MF 0 + MF 1$ ）となり、磁気センサ 1 4 に与えられる。

## 【 0 0 3 3 】

図 3 は、測定対象磁場 MF 1（図 3（a））、加算磁場 MF 0（図 3（b））、合成磁場 MF 2（図 3（c））の波形を示す図である。図 4 は、加算磁場 MF 0 および測定対象磁場 MF 1 のスペクトルを示す図である。ただし、図 3 および図 4 においては、磁場を磁束密度 [ $\mu T$ ] に変換して図示している。

20

## 【 0 0 3 4 】

図 3（a）を参照して、測定対象磁場 MF 1 は、非常に微弱な磁場であり（例えば、心臓が発生する磁場）、例えば、時間を横軸に、磁束密度 [ $\mu T$ ] を縦軸にとると、最大値が  $3 [\mu T]$  よりやや小さい値であり、しかも最小値が  $0 [\mu T]$  よりやや大きい値の正弦波を描く。この正弦波の周波数は、磁気センサ 1 4 において発生する  $1/f$  ノイズが無視できない程度に低い周波数  $f_1$  である（図 7 参照）。

30

## 【 0 0 3 5 】

図 3（b）においては、 $0 [\mu T]$  から  $-50 [\mu T]$  までの間で、縦軸を一部省略している。図 3（b）を参照して、加算磁場 MF 0 は、パルスである。このパルスは、測定対象量の最大値（ $3 [\mu T]$  よりやや小さい値）の絶対値よりも大きな振幅（例えば、 $50 [\mu T]$ ）を有する。しかも、このパルスの最大値は 0 である。さらに、このパルスは、磁気センサ 1 4 において発生する  $1/f$  ノイズを無視できる程度に高い周波数  $f_0$  を有する（図 4 および図 7 参照）。加算磁場 MF 0 は、 $0 [\mu T]$  または  $-50 [\mu T]$  の値をとるパルスである。例えば、周波数  $f_0$  は、 $1/f$  ノイズの  $1/f$  コーナー周波数よりも高い値（例えば、 $2 [kHz]$ ）である。

## 【 0 0 3 6 】

図 3（c）および図 4 を参照して、合成磁場 MF 2 = MF 0 + MF 1 である。

40

## 【 0 0 3 7 】

図 3（c）を参照して、合成磁場 MF 2 は、加算磁場 MF 0 が  $0 [\mu T]$  のときは測定対象磁場 MF 1 と同じ値をとるが、加算磁場 MF 0 が  $-50 [\mu T]$  のときは  $-47 [\mu T]$  未満の値をとる。ただし、図 3（c）においては、およそ  $-3 [\mu T]$  未満のグラフを図示省略している。

## 【 0 0 3 8 】

図 4 を参照して、合成磁場 MF 2 は、周波数  $f_1$  の成分（測定対象磁場 MF 1）と、周波数  $f_0$  の成分（加算磁場 MF 0）とを有する。ただし、図 4 においては、加算磁場 MF 0 の高調波成分（ $2f_0$ 、 $3f_0$ 、...）を図示省略している（図 7 および図 8 も同様）。ま

50

た、図 4 においては、周波数  $f_1$  と周波数  $f_0$  との間で、横軸を一部省略している。

【 0 0 3 9 】

磁気センサ 1 4 は、合成磁場  $M F 2$  を電圧に変換して出力する。

【 0 0 4 0 】

図 5 は、磁気センサ 1 4 の入出力特性を示す図である。ただし、図 5 においては、横軸に  
入力である磁束密度 [ $\mu T$ ] を、縦軸に出力である電圧 [ $V$ ] をとっている。

【 0 0 4 1 】

磁気センサ 1 4 の出力の下限は、合成磁場  $M F 2$  が 0 [ $\mu T$ ] において飽和している。すな  
わち、合成磁場  $M F 2$  が 0 未満の場合の磁気センサ 1 4 の出力値 0 [ $V$ ] は、合成磁場  $M F 2$   
が 0 の場合の磁気センサ 1 4 の出力値 0 [ $V$ ] と同じ値である。

10

【 0 0 4 2 】

なお、磁気センサ 1 4 の出力の上限も、合成磁場  $M F 2$  の最大値 ( 3 [ $\mu T$ ] よりやや小さ  
い値 ) よりも大きな値 ( 例えば、5 [ $\mu T$ ] ) において飽和している。

【 0 0 4 3 】

図 6 は、磁気センサ 1 4 の出力 ( 図 6 ( a ) )、測定対象磁場  $M F 1$  ( 図 6 ( b ) )、加  
算磁場  $M F 0$  と同じ周波数のパルス ( 図 6 ( c ) ) の波形を示す図である。ただし、図 6  
( a ) および図 6 ( b ) においては、磁場を磁束密度 [ $\mu T$ ] に換算している。

【 0 0 4 4 】

上述のとおり、合成磁場  $M F 2$  が 0 [ $\mu T$ ] において、磁気センサ 1 4 の出力は飽和してい  
る ( 図 5 参照 )。よって、磁気センサ 1 4 の出力波形は、合成磁場  $M F 2$  の波形 ( 図 3 ( c )  
参照 ) において 0 [ $\mu T$ ] 未満の磁束密度を 0 [ $\mu T$ ] に置き換えたものとなる ( 図 6 ( a )  
参照 )。ただし、図 6 ( a ) において、磁気センサ 1 4 から発生する  $1 / f$  ノイズお  
よび熱雑音は図示省略している。

20

【 0 0 4 5 】

図 6 ( b ) は、図 3 ( a ) と同じグラフである。

【 0 0 4 6 】

図 6 ( c ) は、加算磁場  $M F 0$  と同じ周波数のパルスであるが、縦軸は無次元であり、1  
または 0 の値をとる。

【 0 0 4 7 】

図 6 ( a )、図 6 ( b ) および図 6 ( c ) を参照して、磁気センサ 1 4 の出力 ( 図 6 ( a )  
参照 ) は、測定対象磁場  $M F 1$  ( 図 6 ( b ) 参照 ) に、加算磁場  $M F 0$  と同じ周波数の  
パルス ( 図 6 ( c ) 参照 ) を乗じたものとなる。

30

【 0 0 4 8 】

図 7 は、磁気センサ 1 4 の出力のスペクトルを示す図である。ただし、図 7 においては、  
磁気センサ 1 4 の出力を磁束密度 [ $\mu T$ ] に換算している。また、図 7 においては、周波数  
 $f_1$  と周波数  $f_0$  との間で、横軸を一部省略している。

【 0 0 4 9 】

磁気センサ 1 4 の出力は、測定対象磁場  $M F 1$  ( 周波数  $f_0$  ) に、加算磁場  $M F 0$  と同じ  
周波数  $f_0$  のパルスに乗じたものとなるので、周波数  $f_0 + f_1$  の成分と、周波数  $f_0 -$   
 $f_1$  の成分を有する。これらの二つの成分は、加算磁場  $M F 0$  と同じ周波数  $f_0$  のパルス  
( 図 6 ( c ) 参照 ) を搬送波として、測定対象磁場  $M F 1$  により、この搬送波を変調した  
ものといえる。

40

【 0 0 5 0 】

しかも、磁気センサ 1 4 の出力は、搬送波の成分 ( 周波数  $f_0$  ) と、測定対象磁場  $M F 1$   
( 周波数  $f_1$  ) と、 $1 / f$  ノイズと、熱雑音とを有する。磁気センサ 1 4 の出力の成分の  
うち、 $1 / f$  ノイズと測定対象磁場  $M F 1$  とは低周波であり、周波数  $f_0 + f_1$  の成分と  
、周波数  $f_0 - f_1$  の成分と、加算磁場  $M F 0$  の成分と、熱雑音とは高周波である。ただ  
し、熱雑音は、周波数  $f_0 + f_1$  の成分と、周波数  $f_0 - f_1$  の成分と、加算磁場  $M F 0$   
の成分とに比べると無視できる程に小さい。

【 0 0 5 1 】

50

磁気センサ 14 の出力はアンプ 16 a により増幅され、ハイパスフィルタ 16 b に与えられる。ハイパスフィルタ 16 b の出力は、検波部（導出部）16 c に与えられる。

【0052】

図 8 は、ハイパスフィルタ 16 b の出力（図 8（a））、検波部（導出部）16 c の出力（図 8（b））のスペクトルを示す図である。ただし、図 8 においては、周波数  $f_1$  と周波数  $f_0$  との間で、横軸を一部省略している。

【0053】

図 8（a）を参照して、磁気センサ 14 の出力を、ハイパスフィルタ 16 b に与えると、 $1/f$  ノイズと測定対象磁場  $M F_1$  とが著しく減衰し、無視できる程度の大きさとなる。周波数  $f_0 + f_1$  の成分と、周波数  $f_0 - f_1$  の成分と、加算磁場  $M F_0$  の成分とは、ほとんど減衰しない。

10

【0054】

図 8（b）を参照して、ハイパスフィルタ 16 b の出力を、検波部（導出部）16 c に与えると、検波により、測定対象磁場  $M F_1$ （周波数  $f_1$ ）の成分を得ることができる。ただし、検波部 16 c の出力には熱雑音も含まれるが、測定対象磁場  $M F_1$  の成分に比べると無視できる程に小さい。

【0055】

第一の実施形態によれば、磁気センサ 14 において発生する  $1/f$  ノイズによる測定装置 1 による測定対象磁場  $M F_1$  の測定結果の誤差を軽減することができる。

【0056】

すなわち、磁気センサ 14 の出力は、加算磁場  $M F_0$  と同じ周波数  $f_0$  のパルス（図 6（c）参照）を搬送波として、測定対象磁場  $M F_1$  により、この搬送波を変調したもの（周波数  $f_0 + f_1$  の成分および周波数  $f_0 - f_1$  の成分）を有する。ここで、磁気センサ 14 において  $1/f$  ノイズが発生しても、磁気センサ 14 の出力する周波数  $f_0 + f_1$  の成分および周波数  $f_0 - f_1$  の成分には、 $1/f$  ノイズが無視できる程度にしか含まれていない（図 7 参照）。このため、周波数  $f_0 + f_1$  の成分および周波数  $f_0 - f_1$  の成分を復調して、測定対象磁場  $M F_1$ （周波数  $f_1$ ）の成分を得れば、この成分には、 $1/f$  ノイズが無視できる程度にしか含まれていないことになる。

20

【0057】

第二の実施形態

30

第二の実施形態にかかる測定装置 1 は、複数の磁気センサ 14 の出力を合計して一つの導出部 16 c に与える合計部 15 を備えた点が、第一の実施形態にかかる測定装置 1 と異なる。

【0058】

図 9 は、本発明の第二の実施形態にかかる測定装置 1 の構成を示す機能ブロック図である。第二の実施形態にかかる測定装置 1 は、測定対象 2（例えば、心臓）が発生する測定対象量（例えば、測定対象磁場  $M F_1$ ）を測定するものであり、加算磁場発生部（加算量発生部）12、磁気センサ 14、合計部 15、センサ出力処理部 16 を備える。

【0059】

加算磁場発生部 12 は、第一の実施形態と同様であり、説明を省略する。

40

【0060】

磁気センサ 14 は複数（図 9 の例では、3 個）設けられており、いずれも、空間  $S$  内のほぼ同一地点の合成磁場  $M F_2$  を測定する。合計部 15 は、複数の磁気センサ 14 の出力を合計して、一つの検波部（導出部）16 c に、アンプ 16 a およびハイパスフィルタ 16 b を介して与える。

【0061】

アンプ 16 a は、合計部 15 の出力を増幅して、ハイパスフィルタ 16 b に与える。ハイパスフィルタ 16 b および検波部 16 c は、第一の実施形態と同様であり、説明を省略する。

【0062】

50

次に、第二の実施形態の動作を説明する。

【0063】

測定対象2が発生する測定対象磁場MF1が、加算磁場発生部12が発生する加算磁場MF0と加算され合成磁場MF2(=MF0+MF1)となり、複数の磁気センサ14に与えられる。

【0064】

複数の磁気センサ14の出力は、合計部15により合計されて、アンプ16aに与えられる。以後の動作は、第一の実施形態と同様であり、説明を省略する。

【0065】

第二の実施形態によれば、第一の実施形態と同様な効果を奏する。

10

【0066】

しかも、第二の実施形態によれば、以下のような効果を奏する。すなわち、磁気センサ14の出力には1/fノイズに限らず、色々なノイズが混入するので、S/N比が低下してしまう。ここで、複数(例えば、3個)の磁気センサ14の出力を合計すれば、磁気センサ14の信号(本来の出力)は単純に3倍になるが、ノイズは磁気センサ14ごとにランダムなので単純に3倍とはならない。複数(例えば、3個)の磁気センサ14の出力を合計した場合、ノイズはおおむね、各磁気センサ14のノイズの2乗の総和の平方根にしかならず、3倍未満となる。よって、複数(例えば、3個)の磁気センサ14の出力の合計を、センサ出力処理部16によって処理するようすれば、S/N比が向上する。

【0067】

20

第三の実施形態

第三の実施形態にかかる測定装置1は、複数の磁気センサ142、144、146の出力を、それぞれ別々の導出部16cに与える点が、第一の実施形態にかかる測定装置1と異なる。

【0068】

図10は、本発明の第三の実施形態にかかる測定装置1の構成を示す機能ブロック図である。第三の実施形態にかかる測定装置1は、測定対象2(例えば、心臓)が発生する測定対象量(例えば、測定対象磁場MF1)を測定するものであり、加算磁場発生部(加算量発生部)12、磁気センサ142、144、146、センサ出力処理部162、164、166を備える。

30

【0069】

加算磁場発生部12は、第一の実施形態と同様であり、説明を省略する。

【0070】

磁気センサ142、144、146は複数(図10の例では、3個)設けられている。複数の磁気センサ142、144、146は、それぞれ、空間S内の別々の地点の合成磁場MF2a、MF2b、MF2cを測定する。

【0071】

複数の磁気センサ142、144、146の出力は、それぞれ別々のセンサ出力処理部162、164、166内のアンプ16aおよびハイパスフィルタ16bを介して、別々の導出部16cに与えられる。

40

【0072】

センサ出力処理部162、164、166内のアンプ16aは、それぞれ、複数の磁気センサ142、144、146の出力を増幅する。センサ出力処理部162、164、166内のハイパスフィルタ16bおよび検波部16cは、第一の実施形態と同様であり、説明を省略する。

【0073】

次に、第三の実施形態の動作を説明する。

【0074】

測定対象2が発生する測定対象磁場MF1が、加算磁場発生部12が発生する加算磁場MF0と加算される。合成磁場MF2は、空間S内の別々の地点において、別々の合成磁場

50

MF 2 a、MF 2 b、MF 2 c となり、複数の磁気センサ 1 4 2、1 4 4、1 4 6 に与えられる。

【0075】

複数の磁気センサ 1 4 2、1 4 4、1 4 6 の出力は、それぞれ、別々のセンサ出力処理部 1 6 2、1 6 4、1 6 6 内のアンプ 1 6 a に与えられる。以後の動作は、第一の実施形態と同様であり、説明を省略する。

【0076】

第三の実施形態によれば、第一の実施形態と同様な効果を奏する。

【0077】

しかも、第三の実施形態によれば、空間 S 内の別々の地点において磁場が異なる場合、空間 S 内の磁場の分布を測定することができる。例えば、測定対象 2 が心臓である場合、心臓の磁場の分布を広範囲に測定することができる。

10

【0078】

第四の実施形態

第四の実施形態にかかる測定装置 1 は、複数の磁気センサ 1 4 2、1 4 4、1 4 6 に与えられる別々の合成磁場 MF 2 a、MF 2 b、MF 2 c に、誤差補正量を加えて、複数の磁気センサ 1 4 2、1 4 4、1 4 6 に与えるキャンセルコイル（前置誤差補正部）1 3 2、1 3 4、1 3 6 を備えた点が、第三の実施形態にかかる測定装置 1 と異なる。

【0079】

図 1 1 は、本発明の第四の実施形態にかかる測定装置 1 の構成を示す機能ブロック図である。第四の実施形態にかかる測定装置 1 は、測定対象 2（例えば、心臓）が発生する測定対象量（例えば、測定対象磁場 MF 1）を測定するものであり、加算磁場発生部（加算量発生部）1 2、キャンセルコイル（前置誤差補正部）1 3 2、1 3 4、1 3 6、磁気センサ 1 4 2、1 4 4、1 4 6、センサ出力処理部 1 6 2、1 6 4、1 6 6 を備える。

20

【0080】

加算磁場発生部 1 2、磁気センサ 1 4 2、1 4 4、1 4 6、センサ出力処理部 1 6 2、1 6 4、1 6 6 は、第三の実施形態と同様であり、説明を省略する。

【0081】

キャンセルコイル（前置誤差補正部）1 3 2、1 3 4、1 3 6 は、磁気センサ 1 4 2、1 4 4、1 4 6 より前に（すなわち、磁気センサ 1 4 2、1 4 4、1 4 6 と空間 S との間に）配置される。キャンセルコイル（前置誤差補正部）1 3 2、1 3 4、1 3 6 は、それぞれ、合成磁場 MF 2 a、MF 2 b、MF 2 c に、誤差補正量を加えて、複数の磁気センサ 1 4 2、1 4 4、1 4 6 のそれぞれに与える。例えば、キャンセルコイル 1 3 2、1 3 4、1 3 6 に所定の電流を流すことで、誤差補正のための磁場（誤差補正量）を、合成磁場 MF 2 a、MF 2 b、MF 2 c に加えることができる。

30

【0082】

ここで、誤差補正量は、例えば、特開 2017-133993 号公報の [0030] ~ [0033] に記載の方法により決定する。すなわち、センサ出力処理部 1 6 2、1 6 4、1 6 6 の出力の総和は、測定装置 1 外部のノイズが無ければ、ほぼ 0 となる。よって、センサ出力処理部 1 6 2、1 6 4、1 6 6 の出力の総和が、測定装置 1 外部のノイズとなる。そこで、センサ出力処理部 1 6 2、1 6 4、1 6 6 の出力の総和が 0 となるように誤差補正量を決定する。

40

【0083】

次に、第四の実施形態の動作を説明する。

【0084】

測定対象 2 が発生する測定対象磁場 MF 1 が、加算磁場発生部 1 2 が発生する加算磁場 MF 0 と加算される。合成磁場 MF 2 は、空間 S 内の別々の地点において、別々の合成磁場 MF 2 a、MF 2 b、MF 2 c となる。キャンセルコイル 1 3 2、1 3 4、1 3 6 には、所定の電流が流れており、誤差補正のための磁場（誤差補正量）が、合成磁場 MF 2 a、MF 2 b、MF 2 c に加えられる。合成磁場 MF 2 a、MF 2 b、MF 2 c に、誤差補正

50

のための磁場が加えられたものは、それぞれ、複数の磁気センサ 142、144、146 に与えられる。

【0085】

以後の動作は、第三の実施形態と同様であり、説明を省略する。

【0086】

第四の実施形態によれば、第一の実施形態と同様な効果を奏する。

【0087】

しかも、第四の実施形態によれば、測定装置 1 外部のノイズにより測定に誤差が生ずることを抑制することができる。

【0088】

例えば、測定装置 1 外部のノイズとして、1/f ノイズよりも大きい環境雑音（例えば、50Hz 商用電源やエアコンなどの磁気ノイズ）がある場合が考えられる。このような環境雑音を放置しておく、測定に誤差が生ずることとなる。ここで、第四の実施形態によれば、このような環境雑音により測定に誤差が生ずることを抑制することができる。

【0089】

第五の実施形態

第五の実施形態にかかる測定装置 1 は、複数の磁気センサ 142、144、146 の出力をデジタルに変換して、それぞれ、センサ出力処理部 162、164、166 の検波部（導出部）16c に与える点が、第四の実施形態にかかる測定装置 1 と異なる。

【0090】

図 12 は、本発明の第五の実施形態にかかる測定装置 1 の構成を示す機能ブロック図である。第五の実施形態にかかる測定装置 1 は、測定対象 2（例えば、心臓）が発生する測定対象量（例えば、測定対象磁場 MF1）を測定するものであり、加算磁場発生部（加算量発生部）12、キャンセルコイル（前置誤差補正部）132、134、136、磁気センサ 142、144、146、ADC 152、154、156、センサ出力処理部 162、164、166 を備える。

【0091】

加算磁場発生部 12、キャンセルコイル（前置誤差補正部）132、134、136、磁気センサ 142、144、146 は、第四の実施形態と同様であり、説明を省略する。ただし、キャンセルコイル 132、134、136 に与える電流を PWM 方式で供給してよい。

【0092】

ADC 152、154、156 は、それぞれ、複数の磁気センサ 142、144、146 の出力をデジタルに変換して、センサ出力処理部 162、164、166 の検波部（導出部）16c に、アンプ 16a およびハイパスフィルタ 16b を介して与える。

【0093】

センサ出力処理部 162、164、166 は、第四の実施形態と同様であるが、デジタル信号を処理できるようなもの（例えば、波形等価器、FIR フィルタおよび適応フィルタなど）により実装する。

【0094】

次に、第五の実施形態の動作を説明する。

【0095】

測定対象 2 が発生する測定対象磁場 MF1 が、加算磁場発生部 12 が発生する加算磁場 MF0 と加算される。合成磁場 MF2 は、空間 S 内の別々の地点において、別々の合成磁場 MF2a、MF2b、MF2c となる。キャンセルコイル 132、134、136 には、所定の電流が流れており、誤差補正のための磁場（誤差補正量）が、合成磁場 MF2a、MF2b、MF2c に加えられる。合成磁場 MF2a、MF2b、MF2c に、誤差補正のための磁場が加えられたものは、それぞれ、複数の磁気センサ 142、144、146 に与えられる。

【0096】

10

20

30

40

50

磁気センサ 142、144、146 の出力は、それぞれ、ADC 152、154、156 に与えられ、デジタルに変換して、センサ出力処理部 162、164、166 に与えられる。

【0097】

以後の動作は、第四の実施形態と同様であり、説明を省略する。

【0098】

第五の実施形態によれば、第一の実施形態と同様な効果を奏する。

【0099】

しかも、第五の実施形態によれば、測定装置 1 の回路規模削減、制御電子化およびケーブルレス化を行うことができる。

【0100】

なお、第五の実施形態の変形例として、キャンセルコイル 132、134、136 にかえて、同じ機能のアナログ信号処理部またはデジタル信号処理部を設けてもよい。また、測定装置 1 の各部を接続するためにバス配線を用いてもよいが、バス配線にかえて、光ファイバを用いてもよいし（高速シリアル通信が可能となる）、無線（Wi-Fi やブルートゥース（登録商標）など）を用いてもよい。

【0101】

第六の実施形態

第六の実施形態にかかる測定装置 1 は、検波部（導出部）16c の出力を受けて、外部環境に起因する誤差を補正する外部誤差補正部 182 を備えた点が、第五の実施形態にかかる測定装置 1 と異なる。

【0102】

図 13 は、本発明の第六の実施形態にかかる測定装置 1 の構成を示す機能ブロック図である。第六の実施形態にかかる測定装置 1 は、測定対象 2（例えば、心臓）が発生する測定対象量（例えば、測定対象磁場 MF1）を測定するものであり、加算磁場発生部（加算量発生部）12、キャンセルコイル（前置誤差補正部）132、134、136、磁気センサ 142、144、146、ADC 152、154、156、センサ出力処理部 162、164、166、外部誤差補正部 182 を備える。

【0103】

加算磁場発生部（加算量発生部）12、キャンセルコイル（前置誤差補正部）132、134、136、磁気センサ 142、144、146、ADC 152、154、156 およびセンサ出力処理部 162、164、166 は、第五の実施形態と同様であり説明を省略する。

【0104】

外部誤差補正部 182 は、センサ出力処理部 162、164、166 の検波部（導出部）16c の出力を受けて、測定装置 1 の外部環境に起因する誤差を補正する。測定装置 1 の外部環境に起因する誤差は、以下の様にして求められる。

【0105】

すなわち、センサ出力処理部 162、164、166 の出力の総和は、測定装置 1 外部のノイズが無ければ、ほぼ 0 となる。よって、センサ出力処理部 162、164、166 の出力の総和の加算平均値が、測定装置 1 の外部環境に起因する誤差となる。

【0106】

または、磁気センサ 142、144、146 の配置されている領域が、測定対象 2 に比べて非常に広い場合は、測定対象 2 から離れて配置された磁気センサの出力は、測定対象磁場 MF1 を含まず、測定装置 1 の外部環境に起因する誤差となる。

【0107】

このように外部環境に起因する誤差を求めると、外部誤差補正部 182 は、この外部環境に起因する誤差を補正する。

【0108】

次に、第六の実施形態の動作を説明する。

10

20

30

40

50

## 【0109】

センサ出力処理部162、164、166の出力までは、第五の実施形態の動作と同じなので説明を省略する。

## 【0110】

外部誤差補正部182は、求めておいた外部環境に起因する誤差に基づき、センサ出力処理部162、164、166の出力における測定装置1の外部環境に起因する誤差を補正する。

## 【0111】

第六の実施形態によれば、第一の実施形態と同様な効果を奏する。

## 【0112】

しかも、第六の実施形態によれば、測定装置1の外部環境に起因する誤差を補正できる。

## 【0113】

第七の実施形態

第七の実施形態にかかる測定装置1は、チャンネル間の誤差を補正するチャンネル間誤差補正部184を備えた点が、第五の実施形態にかかる測定装置1と異なる。ただし、各チャンネルは、ある一つの磁気センサと、その出力を受けるある一つの検波部(導出部)16cとを有する。

## 【0114】

図14は、本発明の第七の実施形態にかかる測定装置1の構成を示す機能ブロック図である。第七の実施形態にかかる測定装置1は、測定対象2(例えば、心臓)が発生する測定対象量(例えば、測定対象磁場MF1)を測定するものであり、加算磁場発生部(加算量発生部)12、キャンセルコイル(前置誤差補正部)132、134、136、磁気センサ142、144、146、ADC152、154、156、センサ出力処理部162、164、166、チャンネル間誤差補正部184を備える。

## 【0115】

加算磁場発生部(加算量発生部)12、キャンセルコイル(前置誤差補正部)132、134、136、磁気センサ142、144、146、ADC152、154、156およびセンサ出力処理部162、164、166は、第五の実施形態と同様であり説明を省略する。

## 【0116】

ここで、キャンセルコイル132、磁気センサ142、ADC152、およびセンサ出力処理部162をチャンネル1とする。磁気センサ142の出力を、センサ出力処理部162の(導出部)16cが、ADC152と、センサ出力処理部162のアンプ16aおよびハイパスフィルタ16bとを介して受ける。

## 【0117】

また、キャンセルコイル134、磁気センサ144、ADC154、およびセンサ出力処理部164をチャンネル2とする。磁気センサ144の出力を、センサ出力処理部164の(導出部)16cが、ADC154と、センサ出力処理部164のアンプ16aおよびハイパスフィルタ16bとを介して受ける。

## 【0118】

さらに、キャンセルコイル136、磁気センサ146、ADC156、およびセンサ出力処理部166をチャンネル3とする。磁気センサ146の出力を、センサ出力処理部166の(導出部)16cが、ADC156と、センサ出力処理部166のアンプ16aおよびハイパスフィルタ16bとを介して受ける。

## 【0119】

チャンネル間誤差補正部184は、チャンネル1、2および3の間の誤差を補正する。

## 【0120】

チャンネル1、2および3の間の誤差について説明する。チャンネル1、2および3のキャンセルコイル132、134、136に、それぞれ同じ磁場を与えた場合、本来ならば、チャンネル1、2および3の各々の検波部(導出部)16cの出力は同じ値となる。しかし、

10

20

30

40

50

チャンネル 1、2 および 3 の特性（例えば、変復調特性）の相違により、チャンネル 1、2 および 3 の入力と同じであるにもかかわらず、チャンネル 1、2 および 3 の出力が異なった値となることがある。これが、チャンネル 1、2 および 3 の間の誤差である。

【0121】

測定装置 1 による測定対象 2 の測定を行う前に、加算磁場 MF 0 を空間 S に与え（測定対象磁場 MF 1 は空間 S に与えない）、チャンネル 1、2 および 3 により測定することにより、チャンネル 1、2 および 3 の間の誤差を求めることができる。本来、同じ加算磁場 MF 0 を、チャンネル 1、2 および 3 により測定しているので、同じ測定結果となるはずである。そこで、チャンネル 1、2 および 3 の測定結果が異なれば、チャンネル 1、2 および 3 の測定結果の差異が、チャンネル 1、2 および 3 の間の誤差となる。

10

【0122】

次に、第七の実施形態の動作を説明する。

【0123】

センサ出力処理部 162、164、166 の出力までは、第五の実施形態の動作と同じなので説明を省略する。

【0124】

チャンネル間誤差補正部 184 は、求めておいたチャンネル 1、2 および 3 の間の誤差に基づき、センサ出力処理部 162、164、166 の出力におけるチャンネル 1、2 および 3 の間の誤差を補正する。

【0125】

第七の実施形態によれば、第一の実施形態と同様な効果を奏する。

20

【0126】

しかも、第七の実施形態によれば、チャンネル 1、2 および 3 の間の誤差を補正できる。

【0127】

第八の実施形態

第八の実施形態にかかる測定装置 1 は、 $1/f$  ノイズを無視できる程度に高い周波数帯域における導出部 16c の出力の誤差を測定し、その測定結果に基づきパルスの周波数  $f_0$  を決定する点が、第五の実施形態にかかる測定装置 1 と異なる。

【0128】

図 15 は、本発明の第八の実施形態にかかる測定装置 1 の構成を示す機能ブロック図である。第八の実施形態にかかる測定装置 1 は、測定対象 2（例えば、心臓）が発生する測定対象量（例えば、測定対象磁場 MF 1）を測定するものであり、加算磁場発生部（加算量発生部）12、キャンセルコイル（前置誤差補正部）132、134、136、磁気センサ 142、144、146、ADC 152、154、156、センサ出力処理部 162、164、166、高周波帯域誤差測定部 186、周波数決定部 188 を備える。

30

【0129】

加算磁場発生部（加算量発生部）12、キャンセルコイル（前置誤差補正部）132、134、136、磁気センサ 142、144、146、ADC 152、154、156 およびセンサ出力処理部 162、164、166 は、第五の実施形態と同様であり説明を省略する。

40

【0130】

高周波帯域誤差測定部 186 は、 $1/f$  ノイズを無視できる程度に高い周波数帯域（例えば、 $1/f$  ノイズの  $1/f$  コーナー周波数よりも高い周波数の帯域）における検波部（導出部）16c の出力の誤差を測定する。図 7 を参照すると、 $1/f$  ノイズを無視できる程度に高い周波数帯域には、周波数  $f_0 + f_1$  の成分および周波数  $f_0 - f_1$  の成分に比べれば無視できる程度に小さい熱雑音しかない。しかし、 $1/f$  ノイズを無視できる程度に高い周波数帯域に、周波数  $f_0 + f_1$  の成分および周波数  $f_0 - f_1$  の成分に比べても無視できないようなノイズ（例えば、環境雑音）がある場合も考えられる。

【0131】

周波数決定部 188 は、高周波帯域誤差測定部 186 の測定結果に基づき、パルスの周波

50

数  $f_0$  を決定する。決定結果は、加算磁場発生部 1 2 に与えられ、加算磁場  $M F 0$  (パルスである) の周波数が決定された値  $f_0$  となるようにする。

【 0 1 3 2 】

例えば、周波数決定部 1 8 8 は、高周波帯域誤差測定部 1 8 6 の測定結果に基づき、周波数  $f_0 + f_1$  の成分および周波数  $f_0 - f_1$  の成分に比べれば無視できる程度に小さいノイズしかない周波数帯域を決定し、その周波数帯域から任意の周波数を加算磁場  $M F 0$  (パルス) の周波数  $f_0$  とする決定を行う。

【 0 1 3 3 】

次に、第八の実施形態の動作を説明する。

【 0 1 3 4 】

センサ出力処理部 1 6 2、1 6 4、1 6 6 の出力までは、第五の実施形態の動作と同じなので説明を省略する。

【 0 1 3 5 】

測定装置 1 による測定対象 2 の測定を行う前に、高周波帯域誤差測定部 1 8 6 は  $1/f$  ノイズを無視できる程度に高い周波数帯域における検波部 (導出部) 1 6 c の出力の誤差を測定する。周波数決定部 1 8 8 は、高周波帯域誤差測定部 1 8 6 の測定した誤差に基づき、加算磁場  $M F 0$  (パルス) の周波数  $f_0$  を決定し、加算磁場発生部 1 2 に与える。この後、測定装置 1 による測定対象 2 の測定を行う。

【 0 1 3 6 】

第八の実施形態によれば、第一の実施形態と同様な効果を奏する。

【 0 1 3 7 】

しかも、第八の実施形態によれば、周波数  $f_0 + f_1$  の成分および周波数  $f_0 - f_1$  の成分に比べて無視できる程度に小さいノイズしかないように周波数  $f_0$  を決定できる。

【 0 1 3 8 】

また、上記の実施形態は、以下のようにして実現できる。CPU、ハードディスク、メディア (フロッピー (登録商標) ディスク、CD-ROM など) 読み取り装置を備えたコンピュータに、上記の各部分、例えばセンサ出力処理部 1 6、1 6 2、1 6 4、1 6 6 を実現するプログラムを記録したメディアを読み取らせて、ハードディスクにインストールする。このような方法でも、上記の機能を実現できる。

【 符号の説明 】

【 0 1 3 9 】

$M F 0$  加算磁場

$M F 1$  測定対象磁場

$M F 2$ 、 $M F 2 a$ 、 $M F 2 b$ 、 $M F 2 c$  合成磁場

$f_0$  加算磁場  $M F 0$  の周波数

$f_1$  測定対象磁場  $M F 1$  の周波数

1 測定装置

2 測定対象

1 2 加算磁場発生部 (加算量発生部)

1 3 2、1 3 4、1 3 6 キャンセルコイル (前置誤差補正部)

1 4 磁気センサ

1 5 合計部

1 5 2、1 5 4、1 5 6 ADC

1 6、1 6 2、1 6 4、1 6 6 センサ出力処理部

1 6 a アンプ

1 6 b ハイパスフィルタ

1 6 c 検波部 (導出部)

1 8 2 外部誤差補正部

1 8 4 チャネル間誤差補正部

1 8 6 高周波帯域誤差測定部

10

20

30

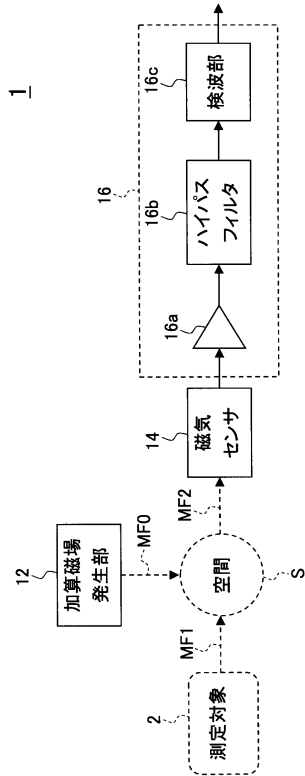
40

50

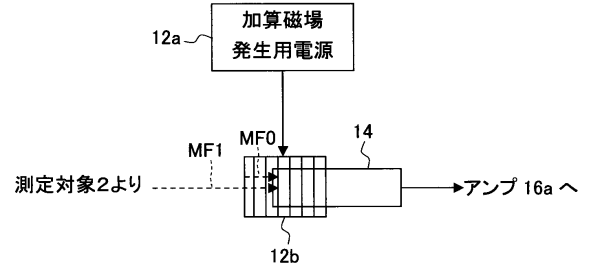
1 8 8 周波数決定部

【図面】

【図 1】



【図 2】



10

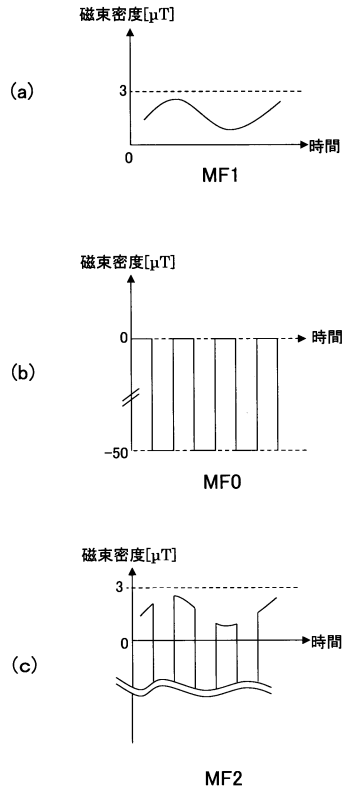
20

30

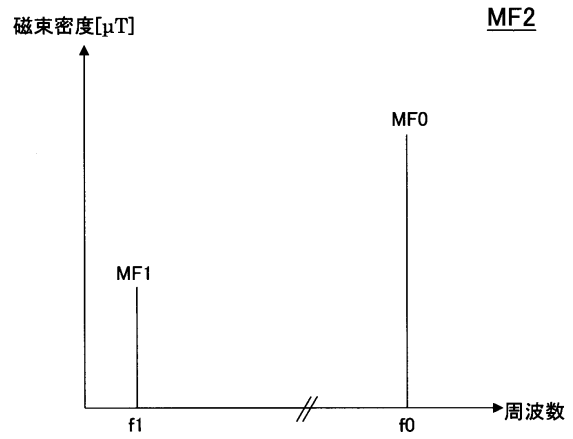
40

50

【 図 3 】



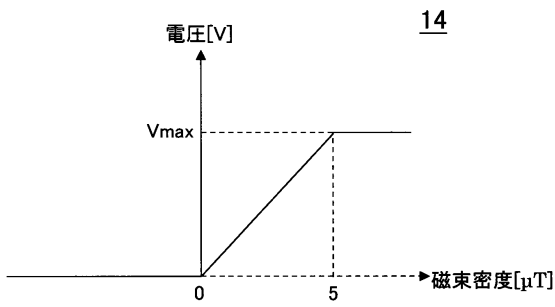
【 図 4 】



10

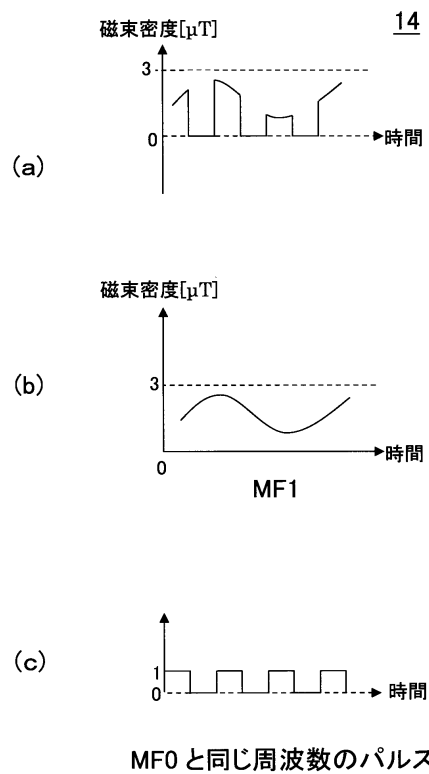
20

【 図 5 】



14

【 図 6 】

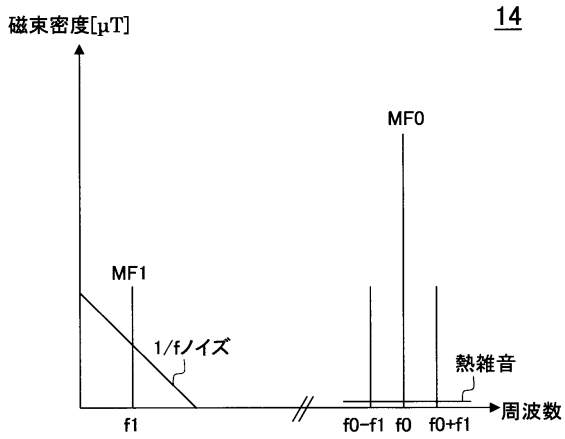


14

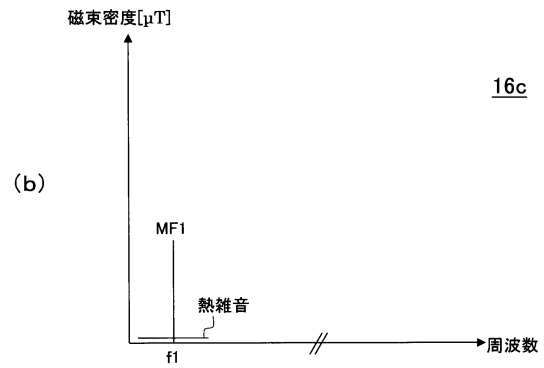
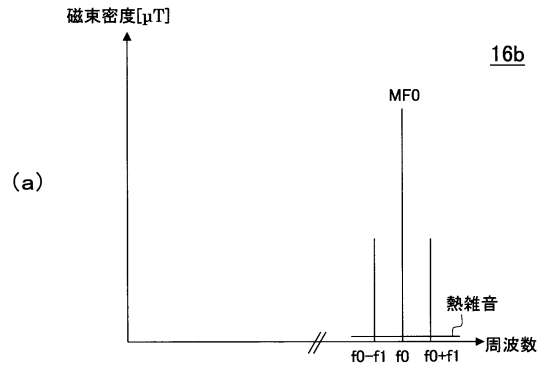
30

40

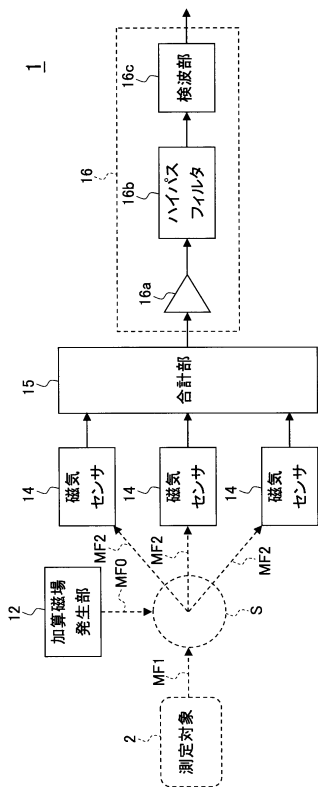
【図7】



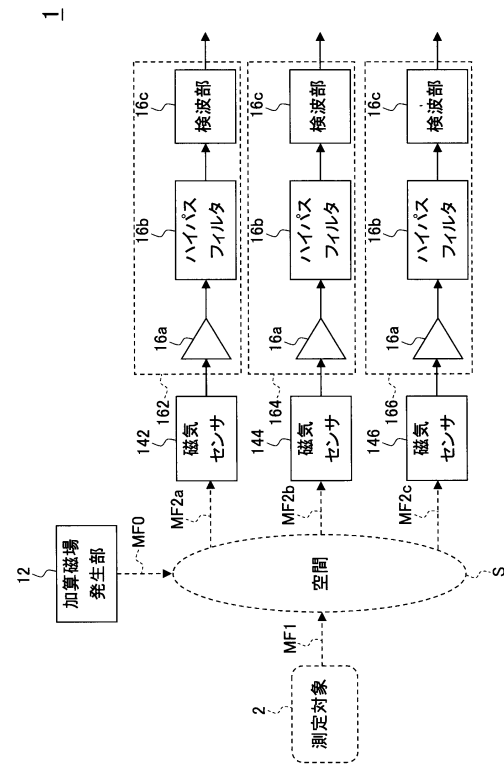
【図8】



【図9】



【図10】



10

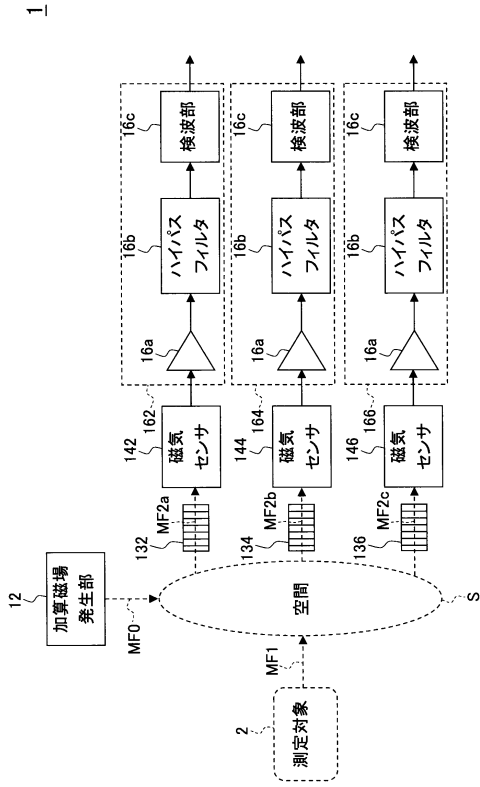
20

30

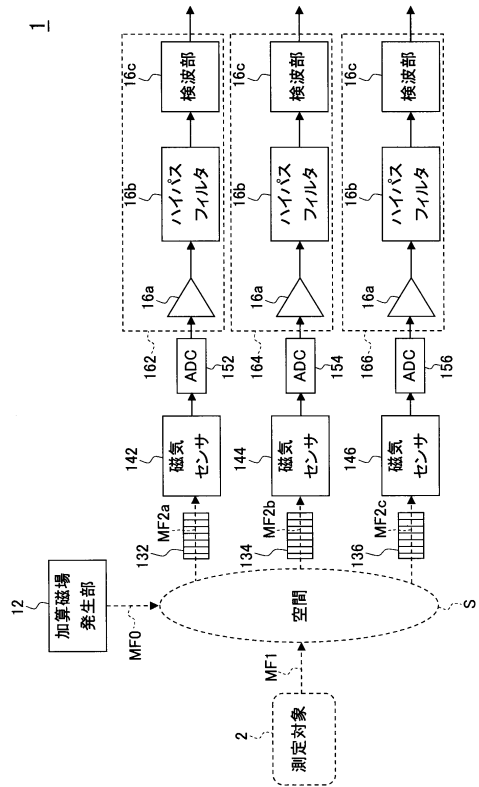
40

50

【図 1 1】



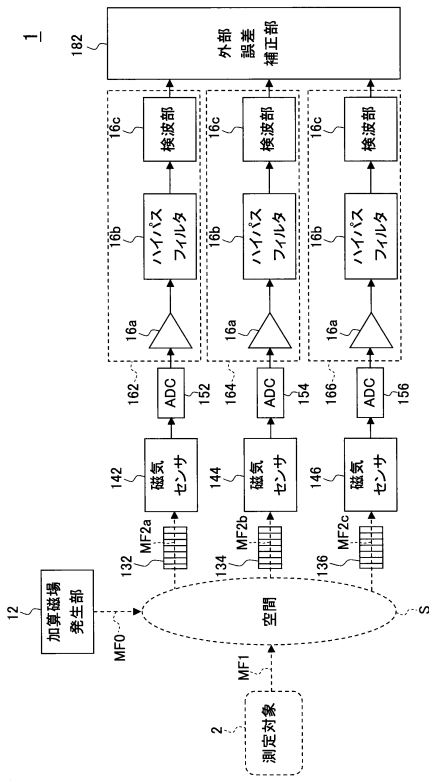
【図 1 2】



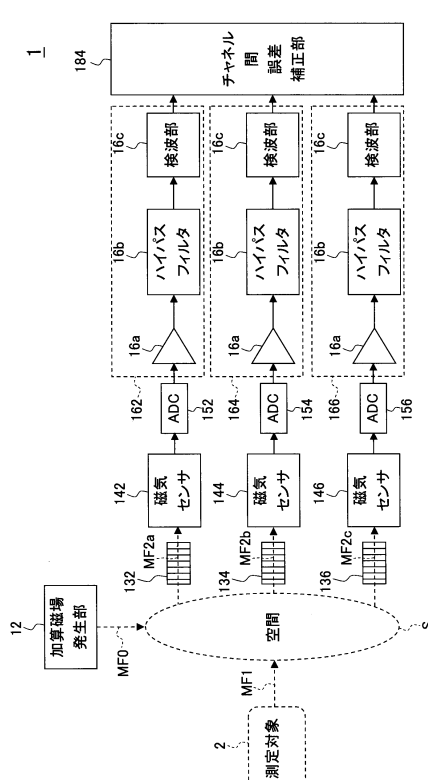
10

20

【図 1 3】



【図 1 4】



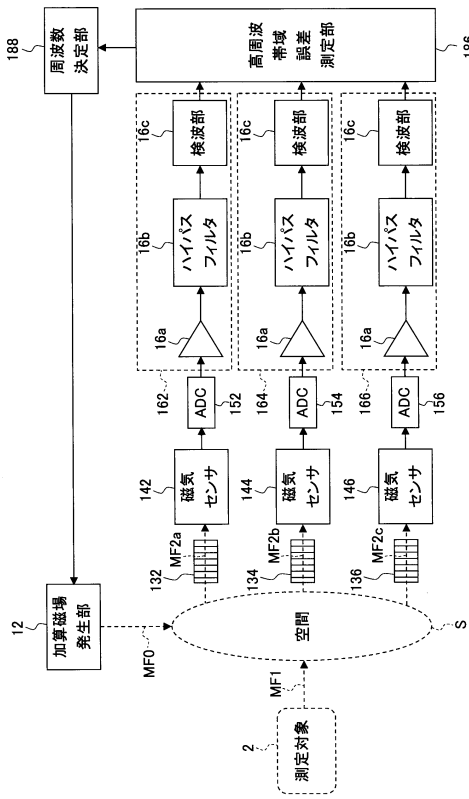
30

40

50

【図 15】

1



10

20

30

40

50

---

フロントページの続き

- (56)参考文献 国際公開第2010/052664(WO, A2)  
米国特許第08222898(US, B1)  
特開2007-322125(JP, A)  
特開2017-133993(JP, A)  
特開2016-183944(JP, A)  
特表2018-500146(JP, A)  
米国特許出願公開第2015/0331065(US, A1)  
米国特許第07046002(US, B1)  
特表2008-513762(JP, A)
- (58)調査した分野 (Int.Cl., DB名)  
G01R 33/00 - 33/26