

(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2021-71350  
(P2021-71350A)

(43) 公開日 令和3年5月6日(2021.5.6)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
<b>GO1D 5/245 (2006.01)</b>	GO1D 5/245 R	2F077
	GO1D 5/245 H	
	GO1D 5/245 I1OL	

審査請求 未請求 請求項の数 11 O L (全 31 頁)

(21) 出願番号	特願2019-197349 (P2019-197349)	(71) 出願人	000003067
(22) 出願日	令和1年10月30日 (2019.10.30)		T D K 株式会社
			東京都中央区日本橋二丁目5番1号
		(74) 代理人	110002907
			特許業務法人イトーシン国際特許事務所
		(72) 発明者	岡 禎一郎
			東京都中央区日本橋二丁目5番1号 T D K 株式会社内
		(72) 発明者	平野 裕幸
			東京都中央区日本橋二丁目5番1号 T D K 株式会社内
		(72) 発明者	安▲徳▼ 洋介
			東京都中央区日本橋二丁目5番1号 T D K 株式会社内

最終頁に続く

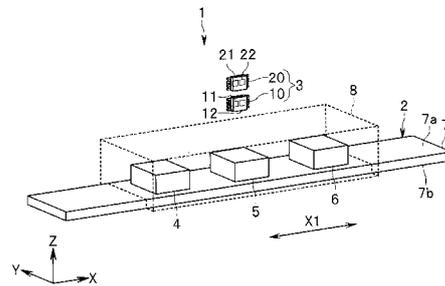
(54) 【発明の名称】 位置検出装置

(57) 【要約】 (修正有)

【課題】磁気センサの設置に大きな制約を生じさせることなく、ノイズ磁界に起因した誤差を低減する位置検出装置を提供する。

【解決手段】位置検出装置1は、磁気スケール2と磁気センサ3とを備えている。磁気センサ3は、検出部11、12、21、22と、演算回路とを含んでいる。検出部11、12は、第1の強度の検出対象磁界とノイズ磁界との合成磁界である第1の合成磁界を検出するように配置されている。検出部21、22は、第2の強度の検出対象磁界とノイズ磁界との合成磁界である第2の合成磁界を検出するように配置されている。演算回路は、検出部11、21が生成した検出信号の差に対応する演算後信号と、検出部12、22が生成した検出信号の差に対応する演算後信号に基づいて、検出値を生成する。

【選択図】 図1



## 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

強度および方向が空間的な分布を有する外部磁界を発生する磁気スケールと、前記外部磁界の一部である検出対象磁界と前記検出対象磁界以外のノイズ磁界とを検出する磁気センサとを備えた位置検出装置であって、

前記磁気スケールは、直線的な方向または回転方向である移動方向に沿った所定の範囲内において、前記磁気センサに対する相対位置が変化可能であり、

任意の位置における前記検出対象磁界の方向は、前記相対位置の変化に伴って前記任意の位置を中心として回転し、

前記検出対象磁界の強度は、前記磁気スケールからの距離に応じて変化し、

10

前記磁気センサは、

第 1 の強度の前記検出対象磁界と前記ノイズ磁界との合成磁界である第 1 の合成磁界を検出するように配置された第 1 の検出部および第 2 の検出部と、

前記第 1 の強度とは異なる第 2 の強度の前記検出対象磁界と前記ノイズ磁界との合成磁界である第 2 の合成磁界を検出するように配置された第 3 の検出部および第 4 の検出部とを含み、

前記第 1 の検出部は、前記第 1 の合成磁界の第 1 の方向の成分の強度に対応する第 1 の検出信号を生成し、

前記第 2 の検出部は、前記第 1 の合成磁界の前記第 1 の方向とは異なる第 2 の方向の成分の強度に対応する第 2 の検出信号を生成し、

20

前記第 3 の検出部は、前記第 2 の合成磁界の第 3 の方向の成分の強度に対応する第 3 の検出信号を生成し、

前記第 4 の検出部は、前記第 2 の合成磁界の前記第 3 の方向とは異なる第 4 の方向の成分の強度に対応する第 4 の検出信号を生成し、

前記磁気センサは、更に、

前記第 1 の検出信号と前記第 3 の検出信号との差に対応する第 1 の演算後信号を生成する第 1 の演算回路と、

前記第 2 の検出信号と前記第 4 の検出信号との差に対応する第 2 の演算後信号を生成する第 2 の演算回路と、

前記第 1 および第 2 の演算後信号に基づいて、前記相対位置と対応関係を有する検出値を生成する第 3 の演算回路とを含むことを特徴とする位置検出装置。

30

## 【請求項 2】

前記検出対象磁界の方向が理想的に変化する場合に想定される、前記第 1 の検出部が検出する前記検出対象磁界の方向が前記第 1 の方向に対してなす角度を第 1 の角度とし、前記第 3 の検出部が検出する前記検出対象磁界の方向が前記第 3 の方向に対してなす角度を第 3 の角度としたときに、前記第 1 の検出部と前記第 3 の検出部は、前記第 1 の角度と前記第 3 の角度が互いに等しくなるように配置され、

前記検出対象磁界の方向が理想的に変化する場合に想定される、前記第 2 の検出部が検出する前記検出対象磁界の方向が前記第 2 の方向に対してなす角度を第 2 の角度とし、前記第 4 の検出部が検出する前記検出対象磁界の方向が前記第 4 の方向に対してなす角度を第 4 の角度としたときに、前記第 2 の検出部と前記第 4 の検出部は、前記第 2 の角度と前記第 4 の角度が互いに等しくなるように配置されていることを特徴とする請求項 1 記載の位置検出装置。

40

## 【請求項 3】

前記第 1 の角度と前記第 2 の角度との差は  $90^\circ$  であり、

前記第 3 の角度と前記第 4 の角度との差は  $90^\circ$  であることを特徴とする請求項 2 記載の位置検出装置。

## 【請求項 4】

前記第 3 の方向は、前記第 1 の方向と同じ方向であり、

前記第 4 の方向は、前記第 2 の方向と同じ方向であることを特徴とする請求項 1 ないし

50

3のいずれかに記載の位置検出装置。

【請求項5】

前記移動方向は、直線的な方向であり、

前記第1の合成磁界は、前記磁気スケールと交差し且つ前記移動方向に直交する仮想の直線上の第1の検出位置における前記検出対象磁界と前記ノイズ磁界との合成磁界であり

、  
前記第2の合成磁界は、前記仮想の直線上の前記第1の検出位置とは異なる第2の検出位置における前記検出対象磁界と前記ノイズ磁界との合成磁界であることを特徴とする請求項1ないし4のいずれかに記載の位置検出装置。

【請求項6】

前記移動方向は、所定の中心軸を中心とする回転方向であり、

前記第1の検出部が検出する前記第1の合成磁界は、前記中心軸と交差する第1の仮想の直線上の第1の検出位置における前記検出対象磁界と前記ノイズ磁界との合成磁界であり、

前記第2の検出部が検出する前記第1の合成磁界は、前記中心軸と交差し、前記第1の仮想の直線とは異なる第2の仮想の直線上の第2の検出位置における前記検出対象磁界と前記ノイズ磁界との合成磁界であり、

前記第3の検出部が検出する前記第2の合成磁界は、前記第1の仮想の直線上の前記第1の検出位置とは異なる第3の検出位置における前記検出対象磁界と前記ノイズ磁界との合成磁界であり、

前記第4の検出部が検出する前記第2の合成磁界は、前記第2の仮想の直線上の前記第2の検出位置とは異なる第4の検出位置における前記検出対象磁界と前記ノイズ磁界との合成磁界であることを特徴とする請求項1ないし4のいずれかに記載の位置検出装置。

【請求項7】

前記磁気スケールは、前記移動方向に沿って配置された複数の磁石を含み、

前記外部磁界は、前記複数の磁石の各々が発生する磁界が合成されたものであることを特徴とする請求項1ないし6のいずれかに記載の位置検出装置。

【請求項8】

前記複数の磁石は、互いに間隔を開けて配置されていることを特徴とする請求項7記載の位置検出装置。

【請求項9】

前記磁気スケールは、更に、磁性材料よりなり、前記複数の磁石を磁氣的に接続するヨークを含むことを特徴とする請求項8記載の位置検出装置。

【請求項10】

前記第1ないし第4の検出部の各々は、少なくとも1つの磁気抵抗効果素子を含むことを特徴とする請求項1ないし8のいずれかに記載の位置検出装置。

【請求項11】

前記第1ないし第4の検出部の各々は、少なくとも1つのホール素子を含むことを特徴とする請求項1ないし8のいずれかに記載の位置検出装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、磁気スケールと磁気センサを備えた磁気式の位置検出装置に関する。

【背景技術】

【0002】

磁気スケールと磁気センサを備えた磁気式の位置検出装置は、例えば、直線的な方向または回転方向に位置が変化する可動物体の位置を検出するために用いられている。可動物体の位置を検出するために用いられる位置検出装置は、可動物体の位置の変化に対応して、所定の範囲内で、磁気センサに対する磁気スケールの相対位置が変化するように構成されている。

10

20

30

40

50

## 【 0 0 0 3 】

磁気スケールは、例えば、直線的な方向または回転方向に沿って配列された複数の磁石を含んでいる。磁気センサに対する磁気スケールの相対位置が変化すると、磁気スケールによって発生されて磁気センサに印加される検出対象磁界の方向が回転する。磁気センサは、例えば、検出対象磁界の互いに異なる2つの方向の成分を検出して、この2つの方向の成分の強度に対応する2つの検出信号を生成する。そして、磁気センサは、2つの検出信号に基づいて、磁気センサに対する磁気スケールの相対位置と対応関係を有する検出値を生成する。

## 【 0 0 0 4 】

特許文献1には、磁気感知素子と、磁極面が磁気感知素子と対向して直線状に配列された複数の磁気部材とを備え、複数の磁気部材に対する磁気感知素子の位置を検出する位置検出装置が記載されている。特許文献2には、磁気ドラムの回転角を検知する磁気式エンコーダであって、磁気ドラムの外周面に形成された多極着磁層に対向しかつ約180°対向位置に配置された2個の磁気センサを備えた磁気式エンコーダが記載されている。

10

## 【 0 0 0 5 】

特許文献3には、検出対象の回転軸の回転位置を検出する磁気式エンコーダであって、多極マグネットの円形外周面に沿って配置した第1および第2磁気検出素子と第3および第4磁気検出素子を、多極マグネットの円周方向に沿って、機械角で180°離れた角度位置に配置した磁気式エンコーダが記載されている。この磁気式エンコーダでは、第1の検出信号の出力信号と第3の磁気検出素子の出力信号の和信号あるいは差信号と、第2の検出信号の出力信号と第4の磁気検出素子の出力信号の和信号あるいは差信号とに基づいて、回転軸の回転位置を表す信号を生成する。

20

## 【 0 0 0 6 】

特許文献4には、検出磁石の回転軸上に並べて配置された2つのホール素子と、2つのホール素子からの検出信号を差動出力する差動出力回路とを備えた磁気検出装置が記載されている。この磁気検出装置では、2つのホール電圧の差動をとることによって、外乱磁界に起因するオフセット電圧をキャンセルして、外乱磁界が印加されていない場合と略等しい出力波形の電圧を出力する。

## 【 先行技術文献 】

## 【 特許文献 】

30

## 【 0 0 0 7 】

【 特許文献 1 】 特開 2 0 1 1 - 1 3 7 7 9 6 号 公 報

【 特許文献 2 】 特開 2 0 0 1 - 1 2 9 6 7 号 公 報

【 特許文献 3 】 国際公開第 2 0 0 8 / 1 3 6 0 5 4 号

【 特許文献 4 】 特開 2 0 0 6 - 2 5 0 5 8 0 号 公 報

## 【 発明の概要 】

## 【 発明が解決しようとする課題 】

## 【 0 0 0 8 】

磁気式の位置検出装置では、磁気センサに、検出対象磁界の他に、検出対象磁界以外のノイズ磁界が印加される場合がある。ノイズ磁界としては、例えば地磁気やモーターからの漏れ磁界がある。このように磁気センサにノイズ磁界が印加される場合には、磁気センサは、検出対象磁界とノイズ磁界との合成磁界を検出することになる。そのため、検出対象磁界の方向とノイズ磁界の方向が異なるときには、検出値に誤差が生じる。

40

## 【 0 0 0 9 】

特許文献1に記載された位置検出装置と特許文献2に記載された磁気式エンコーダでは、ノイズ磁界は考慮されていない。一方、特許文献3に記載された磁気式エンコーダと特許文献4に記載された磁気検出装置では、ノイズ磁界に起因する誤差を低減することはできるが、磁気センサの位置が制約される。

## 【 0 0 1 0 】

本発明はかかる問題点に鑑みてなされたもので、その目的は、磁気センサの設置に大き

50

な制約を生じさせることなく、ノイズ磁界に起因した誤差を低減できるようにした位置検出装置を提供することにある。

【課題を解決するための手段】

【0011】

本発明の位置検出装置は、強度および方向が空間的な分布を有する外部磁界を発生する磁気スケールと、外部磁界の一部である検出対象磁界と検出対象磁界以外のノイズ磁界とを検出する磁気センサとを備えた位置検出装置である。磁気スケールは、直線的な方向または回転方向である移動方向に沿った所定の範囲内において、磁気センサに対する相対位置が変化可能である。任意の位置における検出対象磁界の方向は、相対位置の変化に伴って任意の位置を中心として回転する。検出対象磁界の強度は、磁気スケールからの距離に応じて変化する。

10

【0012】

磁気センサは、第1の強度の検出対象磁界とノイズ磁界との合成磁界である第1の合成磁界を検出するように配置された第1の検出部および第2の検出部と、第1の強度とは異なる第2の強度の検出対象磁界とノイズ磁界との合成磁界である第2の合成磁界を検出するように配置された第3の検出部および第4の検出部とを含んでいる。第1の検出部は、第1の合成磁界の第1の方向の成分の強度に対応する第1の検出信号を生成する。第2の検出部は、第1の合成磁界の第1の方向とは異なる第2の方向の成分の強度に対応する第2の検出信号を生成する。第3の検出部は、第2の合成磁界の第3の方向の成分の強度に対応する第3の検出信号を生成する。第4の検出部は、第2の合成磁界の第3の方向とは異なる第4の方向の成分の強度に対応する第4の検出信号を生成する。

20

【0013】

磁気センサは、更に、第1の検出信号と第3の検出信号との差に対応する第1の演算後信号を生成する第1の演算回路と、第2の検出信号と第4の検出信号との差に対応する第2の演算後信号を生成する第2の演算回路と、第1および第2の演算後信号に基づいて、相対位置と対応関係を有する検出値を生成する第3の演算回路とを含んでいる。

【0014】

本発明の位置検出装置において、検出対象磁界の方向が理想的に変化する場合に想定される、第1の検出部が検出する検出対象磁界の方向が第1の方向に対してなす角度を第1の角度とし、第3の検出部が検出する検出対象磁界の方向が第3の方向に対してなす角度を第3の角度としたときに、第1の検出部と第3の検出部は、第1の角度と第3の角度が互いに等しくなるように配置されてもよい。また、検出対象磁界の方向が理想的に変化する場合に想定される、第2の検出部が検出する検出対象磁界の方向が第2の方向に対してなす角度を第2の角度とし、第4の検出部が検出する検出対象磁界の方向が第4の方向に対してなす角度を第4の角度としたときに、第2の検出部と第4の検出部は、第2の角度と第4の角度が互いに等しくなるように配置されていてもよい。第1の角度と第2の角度との差は90°であってもよく、第3の角度と第4の角度との差は90°であってもよい。

30

【0015】

また、本発明の位置検出装置において、第3の方向は、第1の方向と同じ方向であってもよく、第4の方向は、第2の方向と同じ方向であってもよい。

40

【0016】

また、本発明の位置検出装置において、移動方向は、直線的な方向であってもよい。この場合、第1の合成磁界は、磁気スケールと交差し且つ移動方向に直交する仮想の直線上の第1の検出位置における検出対象磁界とノイズ磁界との合成磁界であってもよい。また、第2の合成磁界は、仮想の直線上の第1の検出位置とは異なる第2の検出位置における検出対象磁界とノイズ磁界との合成磁界であってもよい。

【0017】

また、本発明の位置検出装置において、移動方向は、所定の中心軸を中心とする回転方向であってもよい。この場合、第1の検出部が検出する第1の合成磁界は、中心軸と交差

50

する第1の仮想の直線上の第1の検出位置における検出対象磁界とノイズ磁界との合成磁界であってもよい。また、第2の検出部が検出する第1の合成磁界は、中心軸と交差し、第1の仮想の直線とは異なる第2の仮想の直線上の第2の検出位置における検出対象磁界とノイズ磁界との合成磁界であってもよい。また、第3の検出部が検出する第2の合成磁界は、第1の仮想の直線上の第1の検出位置とは異なる第3の検出位置における検出対象磁界とノイズ磁界との合成磁界であってもよい。また、第4の検出部が検出する第2の合成磁界は、第2の仮想の直線上の第2の検出位置とは異なる第4の検出位置における検出対象磁界とノイズ磁界との合成磁界であってもよい。

【0018】

また、本発明の位置検出装置において、移動方向に沿って配置された複数の磁石を含んでいてもよい。外部磁界は、複数の磁石の各々が発生する磁界が合成されたものである。複数の磁石は、互いに間隔を開けて配置されていてもよい。この場合、磁気スケールは、更に、磁性材料よりなり、複数の磁石を磁氣的に接続するヨークを含んでいてもよい。

10

【0019】

また、本発明の位置検出装置において、第1ないし第4の検出部の各々は、少なくとも1つの磁気抵抗効果素子を含んでいてもよい。あるいは、第1ないし第4の検出部の各々は、少なくとも1つのホール素子を含んでいてもよい。

【発明の効果】

【0020】

本発明の位置検出装置では、第1の検出信号と第3の検出信号との差に対応する第1の演算後信号と、第2の検出信号と第4の検出信号との差に対応する第2の演算後信号に基づいて、相対位置と対応関係を有する検出値を生成する。本発明では、その強度が第1の強度となる検出対象磁界を検出することができる位置に、第1および第2の検出部を配置するという要件と、その強度が第2の強度となる検出対象磁界を検出することができる位置に、第3および第4の検出部を配置するという要件を満たす必要があるが、これらの要件は、第1ないし第4の検出部の設置に大きな制約を生じさせるものではない。従って、本発明によれば、磁気センサの設置に大きな制約を生じさせることなく、ノイズ磁界に起因した誤差を低減することができるという効果を奏する。

20

【図面の簡単な説明】

【0021】

【図1】本発明の第1の実施の形態に係る位置検出装置の概略の構成を示す斜視図である。

30

【図2】本発明の第1の実施の形態に係る位置検出装置の概略の構成を示す正面図である。

【図3】本発明の第1の実施の形態における基準方向と第1ないし第4の方向を示す説明図である。

【図4】本発明の第1の実施の形態における磁気センサの構成を示すブロック図である。

【図5】本発明の第1の実施の形態における磁気センサの第1の例における第1の検出部の構成の一例を示す回路図である。

【図6】本発明の第1の実施の形態における磁気センサの第1の例における第2の検出部の構成の一例を示す回路図である。

40

【図7】図5および図6における1つの磁気抵抗効果素子の一部を示す斜視図である。

【図8】本発明の第1の実施の形態における磁気センサの第2の例における電子部品の要部を示す斜視図である。

【図9】本発明の第1の実施の形態における磁気センサの第2の例における第1の検出部の構成の一例を示す回路図である。

【図10】本発明の第1の実施の形態における磁気センサの第2の例における第2の検出部の構成の一例を示す回路図である。

【図11】第1のシミュレーションにおける第1および第2の検出信号の波形を示す波形図である。

50

【図12】第1のシミュレーションにおける第3および第4の検出信号の波形を示す波形図である。

【図13】第1のシミュレーションにおける第1および第2の演算後信号の波形を示す波形図である。

【図14】第1のシミュレーションにおける比較例の検出値を示す特性図である。

【図15】第1のシミュレーションにおける比較例の誤差を示す特性図である。

【図16】第1のシミュレーションにおける実施例の検出値を示す特性図である。

【図17】第1のシミュレーションにおける実施例の誤差を示す特性図である。

【図18】本発明の第1の実施の形態における磁気スケールの変形例を示す斜視図である。

10

【図19】本発明の第2の実施の形態に係る位置検出装置の概略の構成を示す平面図である。

【図20】第2のシミュレーションによって求めた変動率を示す特性図である。

【図21】第2のシミュレーションによって求めた変動幅を示す特性図である。

【図22】第3のシミュレーションによって求めた変動率を示す特性図である。

【図23】本発明の第2の実施の形態における磁気スケールの変形例を示す平面図である。

【発明を実施するための形態】

【0022】

[第1の実施の形態]

20

以下、本発明の実施の形態について図面を参照して詳細に説明する。始めに、図1および図2を参照して、本発明の第1の実施の形態に係る位置検出装置の概略の構成について説明する。本実施の形態に係る位置検出装置1は、磁気スケール2と、磁気センサ3とを備えている。磁気スケール2は、強度および方向が空間的な分布を有する外部磁界MFを発生する。磁気センサ3は、外部磁界MFの一部である検出対象磁界と、検出対象磁界以外のノイズ磁界M<sub>ex</sub>とを検出する。

【0023】

磁気スケール2は、直線的な方向または回転方向である移動方向に沿った所定の範囲内において、磁気センサ3に対する相対位置が変化可能である。また、磁気スケール2は、移動方向に沿って配置された複数の磁石を含んでいる。複数の磁石は、互いに間隔を開けて配置されていてもよい。本実施の形態では特に、磁気スケール2は、複数の磁石として、互いに間隔を開けて配置された3つの磁石4, 5, 6を含んでいる。外部磁界MFは、3つの磁石4, 5, 6の各々が発生する磁界が合成されたものである。

30

【0024】

本実施の形態では特に、磁気スケール2は、リニアスケールである。磁石4, 5, 6は、一方向にこの順に配置されている。磁石4と磁石5の間隔と、磁石5と磁石6の間隔は、互いに等しい。磁気スケール2は、更に、NiFe等の磁性材料よりなるヨーク7を含んでいる。ヨーク7は、磁石4, 5, 6を磁氣的に接続すると共に、磁石4, 5, 6を支持する基板として用いられる。ヨーク7は、一方向に長い板状である。また、ヨーク7は、上面7aと下面7bを有している。磁石4, 5, 6は、ヨーク7の上面7aの上に配置されている。磁気センサ3は、ヨーク7の上面7aに対向するように配置されている。

40

【0025】

磁気スケール2は、更に、樹脂等の非磁性材料よりなり、磁石4, 5, 6とヨーク7の一部を覆う保護部8を含んでいる。なお、図2では、保護部8を省略している。

【0026】

ここで、図1および図2に示したように、X方向、Y方向およびZ方向を定義する。本実施の形態では、ヨーク7の上面7aに垂直で下面7bから上面7aに向かう方向をZ方向とする。また、Z方向に垂直な2方向であって、互いに直交する2つの方向をX方向とY方向とする。図2では、Y方向を図2における手前から奥に向かう方向として表している。また、X方向とは反対の方向を-X方向とし、Y方向とは反対の方向を-Y方向とし

50

、Z方向とは反対の方向を - Z方向とする。

【0027】

3つの磁石4, 5, 6は、X方向にこの順に配置されている。また、3つの磁石4, 5, 6の各々は、N極とS極を有している。磁石4, 6では、N極とS極は、-Z方向にこの順に配置されている。磁石5では、N極とS極は、Z方向にこの順に配置されている。ヨーク7は、磁石4のS極側の端面と、磁石5のN極側の端面と、磁石6のS極側の端面を磁氣的に接続している。ヨーク7は、磁石5のN極側の端面より発生された磁束が、磁石4のS極側の端面および磁石6のS極側の端面に効率的に流入するように、磁束の流れを制御する機能を有している。

【0028】

前記の移動方向は、直線的な方向であって、X方向に平行な方向である。以下、移動方向を記号X1で表す。磁気スケール2は、移動方向X1に沿った所定の範囲内において、磁気センサ3に対する相対位置が変化可能である。以下、磁気センサ3に対する磁気スケール2の相対位置を、単に、相対位置と言う。本実施の形態では、磁気スケール2と磁気センサ3の一方は、図示しない可動物体に連動して、X方向または-X方向に直線的に移動する。これにより、相対位置がX方向または-X方向に変化する。任意の位置における検出対象磁界の方向は、相対位置の変化に伴って任意の位置を中心として回転する。

【0029】

位置検出装置1は、相対位置を検出するための装置である。磁気センサ3は、相対位置と対応関係を有する検出値を生成する。本実施の形態では特に、磁気センサ3は、検出値として、基準平面内において基準位置における検出対象磁界の方向が基準方向DRに対してなす角度を表す値sを生成する。以下、検出値を、検出値sとも記す。検出値sは、相対位置と対応関係を有する。

【0030】

本実施の形態では、検出値sの範囲を、相対位置を一意に特定可能な範囲としてもよい。このような検出値sの範囲は、複数の相対位置において検出値sが同じ値になることがない範囲である。これは、例えば、 $0^{\circ} \sim 360^{\circ}$ よりも狭い範囲である。検出値sの範囲を $0^{\circ} \sim 360^{\circ}$ よりも狭い範囲にするには、相対位置が変化可能な所定の範囲(以下、可動範囲と言う。)を、検出値sの $0^{\circ} \sim 360^{\circ}$ に対応する範囲とするが、実際に磁気センサ3が生成する検出値sの範囲を $0^{\circ} \sim 360^{\circ}$ よりも狭い範囲に制限して、その制限された検出値sの範囲に対応する相対位置の範囲のみを、検出可能な相対位置の範囲としてもよい。あるいは、可動範囲を、検出値sが $0^{\circ} \sim 360^{\circ}$ となる範囲よりも狭い範囲としてもよい。これらのことにより、検出値sによって、相対位置を一意に特定することができる。

【0031】

磁気センサ3は、2つの電子部品10, 20を含んでいる。また、磁気センサ3は、第1の検出部11と、第2の検出部12と、第3の検出部21と、第4の検出部22とを含んでいる。第1の検出部11と第2の検出部12は、電子部品10に含まれている。第3の検出部21と第4の検出部22は、電子部品20に含まれている。電子部品10, 20は、磁気スケール2に対して、Z方向について離れた位置にある。

【0032】

ここで、図2に示したように、磁気スケール2と交差し且つ移動方向X1に直交する仮想の直線Lを想定する。電子部品10, 20は、仮想の直線L上の互いに異なる位置に配置されている。電子部品20は、電子部品10よりも磁気スケール2からより遠い位置に配置されている。

【0033】

検出対象磁界の強度は、磁気スケール2からの距離に応じて変化する。第1および第2の検出部11, 12は、第1の強度の検出対象磁界とノイズ磁界 $M_{ex}$ との合成磁界である第1の合成磁界MF1を検出するように配置されている。第3および第4の検出部21, 22は、第1の強度とは異なる第2の強度の検出対象磁界とノイズ磁界 $M_{ex}$ との合成

10

20

30

40

50

磁界である第2の合成磁界MF2を検出するように配置されている。

【0034】

本実施の形態では特に、第1の合成磁界MF1は、仮想の直線L上の第1の検出位置P1における検出対象磁界とノイズ磁界Mexとの合成磁界である。電子部品10は、第1の検出位置P1に配置されている。これにより、第1および第2の検出部11, 12は、第1の合成磁界MF1を検出することができる。同様に、第2の合成磁界MF2は、仮想の直線L上の第1の検出位置P1とは異なる第2の検出位置P2における検出対象磁界とノイズ磁界Mexとの合成磁界である。電子部品20は、第2の検出位置P2に配置されている。これにより、第3および第4の検出部21, 22は、第2の合成磁界MF2を検出することができる。

10

【0035】

図2に示したように、本実施の形態では、第2の検出位置P2を、第1の検出位置P1よりも磁気スケール2からより遠い位置とする。

【0036】

第2の検出位置P2におけるノイズ磁界Mexの方向および強度は、それぞれ第1の検出位置P1におけるノイズ磁界Mexの方向および強度と等しい。ノイズ磁界Mexは、その方向と強度が時間的に一定の磁界であってもよいし、その方向と強度が時間的に周期的に変化する磁界であってもよいし、その方向と強度が時間的にランダムに変化する磁界であってもよい。

20

【0037】

以下、第1の検出位置P1における検出対象磁界を第1の部分磁界MFaと言い、第2の検出位置P2における検出対象磁界を第2の部分磁界MFbと言う。第1の部分磁界MFaの強度は第1の強度であり、第2の部分磁界MFbの強度は第2の強度である。第1および第2の部分磁界MFa, MFbの方向は、相対位置の変化に応じて変化する。

【0038】

ここで、検出対象磁界の方向が理想的に変化する場合を想定する。検出対象磁界の方向が理想的に変化する場合とは、相対位置の変化と、任意の位置における検出対象磁界の方向が所定の方向に対してなす角度の変化との関係が、線形性を満たす関係にある場合である。以下、検出対象磁界の方向が理想的に変化する場合を、理想状態と言う。理想状態において想定される、第1の部分磁界MFaの方向と第2の部分磁界MFbの方向は、互いに一致している。

30

【0039】

第1の合成磁界MF1は、第1の部分磁界MFaとノイズ磁界Mexとの合成磁界である。第1の検出部11は、第1の合成磁界MF1を検出して、第1の合成磁界MF1の第1の方向D1の成分の強度に対応する第1の検出信号S1を生成する。第2の検出部12は、第1の合成磁界MF1を検出して、第1の合成磁界MF1の第1の方向D1とは異なる第2の方向D2の成分の強度に対応する第2の検出信号S2を生成する。第1の方向D1は、第1の検出部11が第1の検出信号S1を生成する基準となる方向である。第2の方向D2は、第2の検出部12が第2の検出信号S2を生成する基準となる方向である。

40

【0040】

第2の合成磁界MF2は、第2の部分磁界MFbとノイズ磁界Mexとの合成磁界である。第3の検出部21は、第2の合成磁界MF2を検出して、第2の合成磁界MF2の第3の方向D3の成分の強度に対応する第3の検出信号S3を生成する。第4の検出部22は、第2の合成磁界MF2を検出して、第2の合成磁界MF2の第3の方向D3とは異なる第4の方向D4の成分の強度に対応する第4の検出信号S4を生成する。第3の方向D3は、第3の検出部21が第3の検出信号S3を生成する基準となる方向である。第4の方向D4は、第4の検出部22が第4の検出信号S4を生成する基準となる方向である。

【0041】

ここで、理想状態において想定される、第1の検出部11が検出する第1の部分磁界MFaの方向が第1の方向D1に対してなす角度を第1の角度と言い、記号 $\theta_1$ で表す。ま

50

た、理想状態において想定される、第2の検出部12が検出する第1の部分磁界MF aの方向が第2の方向D2に対してなす角度を第2の角度 $\theta_2$ と言い、記号 $\theta_2$ で表す。また、理想状態において想定される、第3の検出部21が検出する第2の部分磁界MF bの方向が第3の方向D3に対してなす角度を第3の角度 $\theta_3$ と言い、記号 $\theta_3$ で表す。また、理想状態において想定される、第4の検出部22が検出する第2の部分磁界MF bの方向が第4の方向D4に対してなす角度を第4の角度 $\theta_4$ と言い、記号 $\theta_4$ で表す。第1の検出部11と第3の検出部21は、第1の角度 $\theta_1$ と第3の角度 $\theta_3$ が互いに等しくなるように配置される。第2の検出部12と第4の検出部22は、第2の角度 $\theta_2$ と第4の角度 $\theta_4$ が互いに等しくなるように配置される。

#### 【0042】

図3は、本実施の形態における基準方向DRと第1ないし第4の方向D1~D4を示す説明図である。基準方向DRは、基準平面P内に位置する。本実施の形態では特に、Z方向を基準方向DRとする。基準平面Pは、磁気スケール2と交差するXZ平面である。この基準平面P内において、第1の部分磁界MF aは第1の検出位置P1を中心として回転し、第2の部分磁界MF bは第2の検出位置P2を中心として回転する。以下の説明において、第1および第2の部分磁界MF a, MF bの方向とは、基準平面P内に位置する方向を指す。

#### 【0043】

図3には、理想状態において想定される第1および第2の部分磁界MF a, MF bと、第1ないし第4の角度 $\theta_1 \sim \theta_4$ を示している。図3において、MF aを付した矢印の長さは、第1の部分磁界MF aの強度すなわち第1の強度を模式的に表している。また、MF bを付した矢印の長さは、第2の部分磁界MF bの強度すなわち第2の強度を模式的に表している。図3に示したように、第2の強度は、第1の強度よりも小さい。

#### 【0044】

理想状態において想定される、第1の部分磁界MF aの方向が基準方向DRに対してなす角度と、第2の部分磁界MF bの方向が基準方向DRに対してなす角度は、互いに等しくなる。以下、これらの角度を、記号 $\theta$ で表す。角度 $\theta$ は、基準方向DRから時計回り方向に見たときに正の値で表し、基準方向DRから反時計回り方向に見たときに負の値で表す。

#### 【0045】

基準位置は、基準平面P内に位置する。以下の説明では、理想状態において想定される第1および第2の部分磁界MF a, MF bの方向は、理想状態において想定される基準位置における検出対象磁界の方向に一致するものとする。この要件を満たす限り、基準位置は、第1の検出位置P1と一致していてもよいし、第2の検出位置P2と一致していてもよいし、これらの位置とは異なる任意の位置であってもよい。理想状態において想定される基準位置における検出対象磁界の方向が基準方向DRに対してなす角度は、角度 $\theta$ と等しい。

#### 【0046】

本実施の形態では、第1の方向D1と第3の方向D3をX方向とし、第2の方向D2と第4の方向D4をZ方向とする。すなわち、本実施の形態では、第3の方向D3は、第1の方向D1と同じ方向であり、第4の方向D4は、第2の方向D2と同じ方向である。

#### 【0047】

前述のように、第1の角度 $\theta_1$ と第3の角度 $\theta_3$ は互いに等しく、第2の角度 $\theta_2$ と第4の角度 $\theta_4$ は互いに等しい。また、第1の角度 $\theta_1$ と第2の角度 $\theta_2$ との差は $90^\circ$ であり、第3の角度 $\theta_3$ と第4の角度 $\theta_4$ との差は $90^\circ$ である。第1ないし第4の角度 $\theta_1 \sim \theta_4$ の正負の定義は、角度 $\theta$ と同様である。図3に示したように、第2および第4の角度 $\theta_2, \theta_4$ は、角度 $\theta$ と等しい。

#### 【0048】

次に、図4を参照して、磁気センサ3の構成について詳しく説明する。図4は、磁気センサ3の構成を示すブロック図である。前述の通り、磁気センサ3は、第1ないし第4の

10

20

30

40

50

検出部 1 1 , 1 2 , 2 1 , 2 2 を含んでいる。磁気センサ 3 は、更に、アナログ - デジタル変換器 ( 以下、A / D 変換器と記す。 ) 3 1 , 3 2 , 3 3 , 3 4 を含んでいる。A / D 変換器 3 1 は、第 1 の検出信号 S 1 をデジタル信号に変換する。A / D 変換器 3 2 は、第 2 の検出信号 S 2 をデジタル信号に変換する。A / D 変換器 3 3 は、第 3 の検出信号 S 3 をデジタル信号に変換する。A / D 変換器 3 4 は、第 4 の検出信号 S 4 をデジタル信号に変換する。

【 0 0 4 9 】

磁気センサ 3 は、更に、第 1 の演算回路 3 5 と、第 2 の演算回路 3 6 と、第 3 の演算回路 3 7 とを含んでいる。第 1 ないし第 3 の演算回路 3 5 ~ 3 7 は、例えば、特定用途向け集積回路 ( A S I C ) またはマイクロコンピュータによって実現することができる。第 1 ないし第 3 の演算回路 3 5 ~ 3 7 は、機能ブロックであってもよいし、物理的に別個の回路であってもよい。

10

【 0 0 5 0 】

第 1 の演算回路 3 5 は、A / D 変換器 3 1 によってデジタル信号に変換された第 1 の検出信号 S 1 と、A / D 変換器 3 3 によってデジタル信号に変換された第 3 の検出信号 S 3 との差 S 1 - S 3 に対応する第 1 の演算後信号 S a を生成する。第 1 の演算後信号 S a は、差 S 1 - S 3 そのものであってもよいし、差 S 1 - S 3 にゲイン調整およびオフセット調整等の所定の補正を加えたものであってもよい。

【 0 0 5 1 】

第 2 の演算回路 3 6 は、A / D 変換器 3 2 によってデジタル信号に変換された第 2 の検出信号 S 2 と、A / D 変換器 3 4 によってデジタル信号に変換された第 4 の検出信号 S 4 との差 S 2 - S 4 に対応する第 2 の演算後信号 S b を生成する。第 2 の演算後信号 S b は、差 S 2 - S 4 そのものであってもよいし、差 S 2 - S 4 にゲイン調整およびオフセット調整等の所定の補正を加えたものであってもよい。

20

【 0 0 5 2 】

第 3 の演算回路 3 7 は、第 1 および第 2 の演算後信号 S a , S b に基づいて、検出値 s を生成する。具体的には、第 3 の演算回路 3 7 は、例えば下記の式 ( 1 ) によって、s を算出する。なお、“ a t a n ” は、アークタンジェントを表す。

【 0 0 5 3 】

$$s = a t a n ( S a / S b ) \quad \dots ( 1 )$$

30

【 0 0 5 4 】

s が 0 ° 以上 3 6 0 ° 未満の範囲内では、式 ( 1 ) における s の解には、1 8 0 ° 異なる 2 つの値がある。しかし、S a , S b の正負の組み合わせにより、s の真の値が、式 ( 1 ) における s の 2 つの解のいずれであるかを判別することができる。第 3 の演算回路 3 7 は、式 ( 1 ) と、上記の S a , S b の正負の組み合わせの判定により、0 ° 以上 3 6 0 ° 未満の範囲内で s を求める。

【 0 0 5 5 】

次に、磁気センサ 3 の第 1 および第 2 の例について説明する。始めに、磁気センサ 3 の第 1 の例について説明する。第 1 の例では、第 1 ないし第 4 の検出部 1 1 , 1 2 , 2 1 , 2 2 の各々は、少なくとも 1 つの磁気抵抗効果素子を含んでいる。以下、磁気抵抗効果素子を M R 素子と記す。

40

【 0 0 5 6 】

図 5 は、第 1 の例における第 1 の検出部 1 1 の具体的な構成の一例を示している。この例では、第 1 の検出部 1 1 は、2 つの M R 素子 R 1 1 , R 1 2 と、電源ポート V 1 1 と、グランドポート G 1 1 と、出力ポート E 1 1 とを含んでいる。M R 素子 R 1 1 の一端は、電源ポート V 1 1 に接続されている。M R 素子 R 1 1 の他端は、M R 素子 R 1 2 の一端と出力ポート E 1 1 に接続されている。M R 素子 R 1 2 の他端は、グランドポート G 1 1 に接続されている。電源ポート V 1 1 には、所定の大きさの電源電圧が印加される。グランドポート G 1 1 はグランドに接続される。出力ポート E 1 1 は、M R 素子 R 1 1 , R 1 2 の接続点の電位に対応する信号を出力する。

50

## 【 0 0 5 7 】

第 1 の例では、第 3 の検出部 2 1 の構成は、第 1 の検出部 1 1 の構成と同じである。そのため、以下の説明では、第 3 の検出部 2 1 の構成要素について、第 1 の検出部 1 1 の構成要素と同じ符号を用いる。

## 【 0 0 5 8 】

図 6 は、第 1 の例における第 2 の検出部 1 2 の具体的な構成の一例を示している。この例では、第 2 の検出部 1 2 は、2 つの MR 素子 R 2 1 , R 2 2 と、電源ポート V 1 2 と、グランドポート G 1 2 と、出力ポート E 1 2 とを含んでいる。MR 素子 R 2 1 の一端は、電源ポート V 1 2 に接続されている。MR 素子 R 2 1 の他端は、MR 素子 R 2 2 の一端と出力ポート E 1 2 に接続されている。MR 素子 R 2 2 の他端は、グランドポート G 1 2 に接続されている。電源ポート V 1 2 には、所定の大きさの電源電圧が印加される。グランドポート G 1 2 はグランドに接続される。出力ポート E 1 2 は、MR 素子 R 2 1 , R 2 2 の接続点の電位に対応する信号を出力する。

10

## 【 0 0 5 9 】

第 1 の例では、第 4 の検出部 2 2 の構成は、第 2 の検出部 1 2 の構成と同じである。そのため、以下の説明では、第 4 の検出部 2 2 の構成要素について、第 2 の検出部 1 2 の構成要素と同じ符号を用いる。

## 【 0 0 6 0 】

MR 素子は、例えばスピバルブ型の MR 素子である。スピバルブ型の MR 素子は、磁化方向が固定された磁化固定層と、検出対象磁界の方向に応じて磁化の方向が変化する磁性層である自由層と、磁化固定層と自由層の間に配置された非磁性層とを有している。スピバルブ型の MR 素子は、TMR 素子でもよいし、GMR 素子でもよい。TMR 素子では、非磁性層はトンネルバリア層である。GMR 素子では、非磁性層は非磁性導電層である。スピバルブ型の MR 素子では、自由層の磁化の方向が磁化固定層の磁化の方向に対してなす角度に応じて抵抗値が変化し、この角度が 0 ° のときに抵抗値は最小値となり、角度が 180 ° のときに抵抗値は最大値となる。図 5 および図 6 において MR 素子 R 1 1 , R 1 2 , R 2 1 , R 2 2 に描いた矢印は、それぞれ、それらに含まれる磁化固定層の磁化の方向を表している。

20

## 【 0 0 6 1 】

第 1 の検出部 1 1 では、MR 素子 R 1 1 の磁化固定層の磁化の方向は第 1 の方向 D 1 ( X 方向 ) であり、MR 素子 R 1 2 の磁化固定層の磁化の方向は第 1 の方向 D 1 とは反対の方向である。この場合、第 1 の合成磁界 M F 1 の第 1 の方向 D 1 の成分の強度に応じて、MR 素子 R 1 1 , R 1 2 の接続点の電位が変化する。従って、第 1 の検出部 1 1 は、第 1 の合成磁界 M F 1 の第 1 の方向 D 1 の成分を検出して、その強度に対応する信号を第 1 の検出信号 S 1 として出力する。

30

## 【 0 0 6 2 】

第 2 の検出部 1 2 では、MR 素子 R 2 1 の磁化固定層の磁化の方向は第 2 の方向 D 2 ( Z 方向 ) であり、MR 素子 R 2 2 の磁化固定層の磁化の方向は第 2 の方向 D 2 とは反対の方向である。この場合、第 1 の合成磁界 M F 1 の第 2 の方向 D 2 の成分の強度に応じて、MR 素子 R 2 1 , R 2 2 の接続点の電位が変化する。従って、第 2 の検出部 1 2 は、第 1 の合成磁界 M F 1 の第 2 の方向 D 2 の成分を検出して、その強度に対応する信号を第 2 の検出信号 S 2 として出力する。

40

## 【 0 0 6 3 】

第 3 の検出部 2 1 では、MR 素子 R 1 1 の磁化固定層の磁化の方向は第 3 の方向 D 3 ( X 方向 ) であり、MR 素子 R 1 2 の磁化固定層の磁化の方向は第 3 の方向 D 3 とは反対の方向である。この場合、第 2 の合成磁界 M F 2 の第 3 の方向 D 3 の成分の強度に応じて、MR 素子 R 1 1 , R 1 2 の接続点の電位が変化する。従って、第 3 の検出部 2 1 は、第 2 の合成磁界 M F 2 の第 3 の方向 D 3 の成分を検出して、その強度に対応する信号を第 3 の検出信号 S 3 として出力する。

## 【 0 0 6 4 】

50

第4の検出部22では、MR素子R21の磁化固定層の磁化の方向は第4の方向D4（Z方向）であり、MR素子R22の磁化固定層の磁化の方向は第4の方向D4とは反対の方向である。この場合、第2の合成磁界MF2の第4の方向D4の成分の強度に応じて、MR素子R21、R22の接続点の電位が変化する。従って、第4の検出部22は、第2の合成磁界MF2の第4の方向D4の成分を検出して、その強度に対応する信号を第4の検出信号S4として出力する。

【0065】

検出部11、12、21、22内の複数のMR素子における磁化固定層の磁化の方向は、MR素子の作製の精度等の観点から、上述の方向からわずかにずれていてもよい。

【0066】

なお、上述のように、第1ないし第4の検出信号S1～S4が検出対象磁界の一方向の成分の強度を表すようにするためには、MR素子の抵抗値が、第1および第2の合成磁界MF1、MF2の強度の範囲内では飽和しないことと、検出対象磁界の一方向の成分の強度の変化とMR素子の抵抗値の変化との関係が、線形性の関係を満足することが必要である。上記の要件を満たすために、MR素子R11、R12、R21、R22として、磁界の一方向の成分の強度を検出するタイプのMR素子を用いてもよい。このタイプのMR素子は、例えばMR素子の平面形状をほぼ矩形にすることによって、磁界の一方向の成分の強度の変化に対して、MR素子の自由層の磁化の方向が実質的に一定の速度で変化するように構成されている。

【0067】

ここで、図7を参照して、MR素子の構成の一例について説明する。図7は、図5および図6に示した検出部11、12における1つのMR素子の一部を示す斜視図である。この例では、1つの磁気検出素子は、複数の下部電極62と、複数のMR膜50と、複数の上部電極63とを有している。複数の下部電極62は図示しない基板の上に配置されている。個々の下部電極62は細長い形状を有している。下部電極62の長手方向に隣接する2つの下部電極62の間には、間隙が形成されている。図7に示したように、下部電極62の上面において、長手方向の両端の近傍に、それぞれMR膜50が配置されている。MR膜50は、下部電極62側から順に積層された自由層51、非磁性層52、磁化固定層53および反強磁性層54を含んでいる。自由層51は、下部電極62に電氣的に接続されている。反強磁性層54は、反強磁性材料よりなり、磁化固定層53との間で交換結合を生じさせて、磁化固定層53の磁化の方向を固定する。複数の上部電極63は、複数のMR膜50の上に配置されている。個々の上部電極63は細長い形状を有し、下部電極62の長手方向に隣接する2つの下部電極62上に配置されて隣接する2つのMR膜50の反強磁性層54同士を電氣的に接続する。このような構成により、図7に示したMR素子は、複数の下部電極62と複数の上部電極63とによって直列に接続された複数のMR膜50を有している。なお、MR膜50における層51～54の配置は、図7に示した配置とは上下が反対でもよい。

【0068】

次に、磁気センサ3の第2の例について説明する。第2の例では、第1ないし第4の検出部11、12、21、22の各々は、少なくとも1つのホール素子を含んでいる。

【0069】

図8は、第2の例における電子部品10の要部を示す斜視図である。第2の例では、第1の検出部11は、第1のホール素子H1と第3のホール素子H3とを含み、第2の検出部は、第2のホール素子H2と第4のホール素子H4とを含んでいる。電子部品10は、更に、非磁性材料よりなり上面41aを有する基板41と、磁性材料よりなるヨーク42とを含んでいる。上面41aは、XZ平面に平行である。

【0070】

第1ないし第4のホール素子H1～H4は、上面41aの近傍において、感磁面が上面41aに平行になるような姿勢で基板41に埋め込まれている。第1および第3のホール素子H1、H3は、X方向に並ぶように配置されている。第2および第4のホール素子H

10

20

30

40

50

2, H4は、Z方向に並ぶように配置されている。

【0071】

ヨーク42は、円板状である。ヨーク42は、第1ないし第4のホール素子H1~H4のそれぞれの一部にまたがるように、基板41の上面41aの上に配置されている。第1のホール素子H1は、ヨーク42の-X方向の端の近傍に位置する。第2のホール素子H2は、ヨーク42の-Z方向の端の近傍に位置する。第3のホール素子H3は、ヨーク42のX方向の端の近傍に位置する。第4のホール素子H4は、ヨーク42のZ方向の端の近傍に位置する。

【0072】

図9は、第2の例における第1の検出部11の具体的な構成の一例を示している。図10は、第2の例における第2の検出部12の具体的な構成の一例を示している。図9に示したように、第1の検出部11は、更に、電源ポートV21と、グランドポートG21と、2つの出力ポートE21, E22と、差分検出器13とを含んでいる。図10に示したように、第2の検出部12は、更に、電源ポートV22と、グランドポートG22と、2つの出力ポートE23, E24と、差分検出器23とを含んでいる。図9および図10に示したように、第1ないし第4のホール素子H1~H4の各々は、電源端子Haと、グランド端子Hcと、2つの出力端子Hb, Hdとを有している。

【0073】

第1の検出部11では、第1および第3のホール素子H1, H3の電源端子Haは、電源ポートV21に接続されている。第1および第3のホール素子H1, H3のグランド端子Hcと、第1および第3のホール素子H1, H3の出力端子Hdは、グランドポートG21に接続されている。第1のホール素子H1の出力端子Hbは、出力ポートE21に接続されている。第3のホール素子H3の出力端子Hbは、出力ポートE22に接続されている。電源ポートV21には、所定の大きさの電源電圧が印加される。グランドポートG21は、グランドに接続される。

【0074】

第2の検出部12では、第2および第4のホール素子H2, H4の電源端子Haは、電源ポートV22に接続されている。第2および第4のホール素子H2, H4のグランド端子Hcと、第2および第4のホール素子H2, H4の出力端子Hdは、グランドポートG22に接続されている。第2のホール素子H2の出力端子Hbは、出力ポートE23に接続されている。第4のホール素子H4の出力端子Hbは、出力ポートE24に接続されている。電源ポートV22には、所定の大きさの電源電圧が印加される。グランドポートG22は、グランドに接続される。

【0075】

電子部品10では、ヨーク42は、第1の合成磁界MF1を受けて、出力磁界を発生する。出力磁界は、Y方向に平行な方向の出力磁界成分であって、第1の合成磁界MF1に応じて変化する出力磁界成分を含んでいる。具体的には、ヨーク42は、第1の合成磁界MF1のX方向の成分を受けた場合には、第1のホール素子H1の近傍において-Y方向の出力磁界成分を発生し、第3のホール素子H3の近傍においてY方向の出力磁界成分を発生する。ヨーク42が第1の合成磁界MF1の-X方向の成分を受けた場合には、出力磁界成分の方向は、ヨーク42が第1の合成磁界MF1のX方向の成分を受けた場合とは逆になる。

【0076】

第1の検出部11では、第1および第3のホール素子H1, H3は、第1および第3のホール素子H1, H3の近傍において発生したY方向または-Y方向の出力磁界成分を検出することによって、第1の合成磁界MF1のX方向または-X方向の成分を検出する。出力ポートE21, E22の電位差は、第1の合成磁界MF1のX方向すなわち第1の方向D1の成分の強度に応じて変化する。差分検出器13は、出力ポートE21, E22の電位差に対応する信号、すなわち第1の合成磁界MF1の第1の方向D1(X方向)の成分の強度に対応する信号を、第1の検出信号S1として出力する。

10

20

30

40

50

## 【 0 0 7 7 】

また、電子部品 1 0 では、ヨーク 4 2 は、印加磁界の Z 方向の成分を受けた場合には、第 2 のホール素子 H 2 の近傍において - Y 方向の出力磁界成分を発生し、第 4 のホール素子 H 4 の近傍において Y 方向の出力磁界成分を発生する。ヨーク 4 2 が印加磁界の - Z 方向の成分を受けた場合には、出力磁界成分の方向は、ヨーク 4 2 が印加磁界の Z 方向の成分を受けた場合とは逆になる。

## 【 0 0 7 8 】

第 2 の検出部 1 2 では、第 2 および第 4 のホール素子 H 2 , H 4 は、第 2 および第 4 のホール素子 H 2 , H 4 の近傍において発生した Y 方向または - Y 方向の出力磁界成分を検出することによって、第 1 の合成磁界 M F 1 の Z 方向または - Z 方向の成分を検出する。出力ポート E 2 3 , E 2 4 の電位差は、第 1 の合成磁界 M F 1 の Z 方向すなわち第 2 の方向 D 2 の成分の強度に応じて変化する。差分検出器 2 3 は、出力ポート E 2 3 , E 2 4 の電位差に対応する信号、すなわち第 1 の合成磁界 M F 1 の第 2 の方向 D 2 ( Z 方向 ) の成分の強度に対応する信号を、第 2 の検出信号 S 2 として出力する。

10

## 【 0 0 7 9 】

第 2 の例における電子部品 2 0 ならびに第 3 および第 4 の検出部 2 1 , 2 2 の構成は、図 8 ないし図 1 0 に示した電子部品 1 0 ならびに第 1 および第 2 の検出部 1 1 , 1 2 の構成と同じである。そのため、以下の説明では、電子部品 2 0 ならびに第 3 および第 4 の検出部 2 1 , 2 2 の構成要素について、電子部品 1 0 ならびに第 1 および第 2 の検出部 1 1 , 1 2 の構成要素と同じ符号を用いる。

20

## 【 0 0 8 0 】

電子部品 2 0 では、ヨーク 4 2 は、第 2 の合成磁界 M F 2 を受けて、出力磁界を発生する。出力磁界は、Y 方向に平行な方向の出力磁界成分であって、第 2 の合成磁界 M F 2 に応じて変化する出力磁界成分を含んでいる。具体的には、ヨーク 4 2 は、第 2 の合成磁界 M F 2 の X 方向の成分を受けた場合には、第 1 のホール素子 H 1 の近傍において - Y 方向の出力磁界成分を発生し、第 3 のホール素子 H 3 の近傍において Y 方向の出力磁界成分を発生する。ヨーク 4 2 が第 2 の合成磁界 M F 2 の - X 方向の成分を受けた場合には、出力磁界成分の方向は、ヨーク 4 2 が第 2 の合成磁界 M F 2 の X 方向の成分を受けた場合とは逆になる。

## 【 0 0 8 1 】

第 3 の検出部 2 1 では、第 1 および第 3 のホール素子 H 1 , H 3 は、第 1 および第 3 のホール素子 H 1 , H 3 の近傍において発生した Y 方向または - Y 方向の出力磁界成分を検出することによって、第 2 の合成磁界 M F 2 の X 方向または - X 方向の成分を検出する。出力ポート E 2 1 , E 2 2 の電位差は、第 2 の合成磁界 M F 2 の X 方向すなわち第 3 の方向 D 3 の成分の強度に応じて変化する。差分検出器 1 3 は、出力ポート E 2 1 , E 2 2 の電位差に対応する信号、すなわち第 2 の合成磁界 M F 2 の第 3 の方向 D 3 ( X 方向 ) の成分の強度に対応する信号を、第 3 の検出信号 S 3 として出力する。

30

## 【 0 0 8 2 】

また、電子部品 2 0 では、ヨーク 4 2 は、印加磁界の Z 方向の成分を受けた場合には、第 2 のホール素子 H 2 の近傍において - Y 方向の出力磁界成分を発生し、第 4 のホール素子 H 4 の近傍において Y 方向の出力磁界成分を発生する。ヨーク 4 2 が印加磁界の - Z 方向の成分を受けた場合には、出力磁界成分の方向は、ヨーク 4 2 が印加磁界の Z 方向の成分を受けた場合とは逆になる。

40

## 【 0 0 8 3 】

第 4 の検出部 2 2 では、第 2 および第 4 のホール素子 H 2 , H 4 は、第 2 および第 4 のホール素子 H 2 , H 4 の近傍において発生した Y 方向または - Y 方向の出力磁界成分を検出することによって、第 2 の合成磁界 M F 2 の Z 方向または - Z 方向の成分を検出する。出力ポート E 2 3 , E 2 4 の電位差は、第 2 の合成磁界 M F 2 の Z 方向すなわち第 4 の方向 D 4 の成分の強度に応じて変化する。差分検出器 2 3 は、出力ポート E 2 3 , E 2 4 の電位差に対応する信号、すなわち第 2 の合成磁界 M F 2 の第 4 の方向 D 4 ( Z 方向 ) の成

50

分の強度に対応する信号を、第2の検出信号S2として出力する。

【0084】

次に、本実施の形態に係る位置検出装置1の作用および効果について説明する。本実施の形態では、第1の検出部11は、第1の合成磁界MF1の第1の方向D1すなわちX方向の成分の強度に対応する第1の検出信号S1を生成し、第2の検出部12は、第1の合成磁界MF1の第2の方向D2すなわちZ方向の成分の強度に対応する第2の検出信号S2を生成し、第3の検出部21は、第2の合成磁界MF2の第3の方向D3すなわちX方向の成分の強度に対応する第3の検出信号S3を生成し、第4の検出部22は、第2の合成磁界MF2の第4の方向D4すなわちZ方向の成分の強度に対応する第4の検出信号S4を生成する。そして、第1の検出信号S1と第3の検出信号S3との差に対応する第1の演算後信号Saを生成し、第2の検出信号S2と第4の検出信号S4との差に対応する第2の演算後信号Sbを生成し、第1および第2の演算後信号Sa, Sbに基づいて、検出値sを生成する。

10

【0085】

本実施の形態によれば、第1の検出信号S1と第3の検出信号S3との差に対応する第1の演算後信号Saを生成し、第2の検出信号S2と第4の検出信号S4との差に対応する第2の演算後信号Sbを生成することによって、ノイズ磁界Mexに起因した誤差を低減することができる。以下、その理由について詳しく説明する。

【0086】

第1の合成磁界MF1の強度をB1とし、第2の合成磁界MF2の強度をB2とし、第1の部分磁界Mfaの強度をBaとし、第2の部分磁界Mfbの強度をBbとし、ノイズ磁界Mexの強度をBexとし、第1の検出位置P1におけるノイズ磁界Mexの方向が基準方向DRに対してなす角度(第2の検出位置P2におけるノイズ磁界Mexの方向が基準方向DRに対してなす角度と同じ)を記号exとする。理想状態において想定される、第1の合成磁界MF1の第1の方向D1の成分の強度B1と、第1の合成磁界MF1の第2の方向D2の成分の強度B2は、角度exを用いて、それぞれ下記の式(2)、(3)によって表すことができる。

20

【0087】

$$B1 = Ba \cdot \sin \theta_{ex} + Bex \cdot \sin \theta_{ex} \quad \dots (2)$$

$$B2 = Ba \cdot \cos \theta_{ex} + Bex \cdot \cos \theta_{ex} \quad \dots (3)$$

30

【0088】

式(2)において、 $Bex \cdot \sin \theta_{ex}$ は、ノイズ磁界MexのX方向の成分の強度を表している。また、式(3)において、 $Bex \cdot \cos \theta_{ex}$ は、ノイズ磁界MexのZ方向の成分の強度を表している。

【0089】

同様に、理想状態において想定される、第2の合成磁界MF2の第3の方向D3の成分の強度B3と、第2の合成磁界MF2の第4の方向D4の成分の強度B4は、角度exを用いて、それぞれ下記の式(4)、(5)によって表すことができる。

【0090】

$$B3 = Bb \cdot \sin \theta_{ex} + Bex \cdot \sin \theta_{ex} \quad \dots (4)$$

$$B4 = Bb \cdot \cos \theta_{ex} + Bex \cdot \cos \theta_{ex} \quad \dots (5)$$

40

【0091】

以下、第1の検出信号S1を強度B1と任意の定数Aとの積 $A \cdot B1$ とし、第2の検出信号S2を強度B2と定数Aとの積 $A \cdot B2$ とし、第3の検出信号S3を強度B3と定数Aとの積 $A \cdot B3$ とし、第4の検出信号S4を強度B4と定数Aとの積 $A \cdot B4$ とする。第1の演算後信号Saを、第1の検出信号S1と第3の検出信号S3との差 $S1 - S3$ そのものとする、第1の演算後信号Saは、下記の式(6)によって表される。

【0092】

$$\begin{aligned} Sa &= A \cdot B1 - A \cdot B3 \\ &= A (Ba \cdot \sin \theta_{ex} + Bex \cdot \sin \theta_{ex} - Bb \cdot \sin \theta_{ex} - Bex \cdot \sin \theta_{ex}) \end{aligned}$$

50

$$\begin{aligned}
 & - A ( B b \cdot \sin \quad + B e x \cdot \sin \quad e x ) \\
 & = A ( B a - B b ) \sin \quad \dots ( 6 )
 \end{aligned}$$

【 0 0 9 3 】

また、第 2 の演算後信号  $S b$  を、第 2 の検出信号  $S 2$  と第 4 の検出信号  $S 4$  との差  $S 2 - S 4$  そのものとする、第 2 の演算後信号  $S b$  は、下記の式 ( 7 ) によって表される。

【 0 0 9 4 】

$$\begin{aligned}
 S b & = A \cdot B 2 - A \cdot B 4 \\
 & = A ( B a \cdot \cos \quad + B e x \cdot \cos \quad e x ) \\
 & \quad - A ( B b \cdot \cos \quad + B e x \cdot \cos \quad e x ) \\
 & = A ( B a - B b ) \cos \quad \dots ( 7 )
 \end{aligned}$$

10

【 0 0 9 5 】

式 ( 6 ) に示したように、第 1 の検出信号  $S 1$  と第 3 の検出信号  $S 3$  との差を求めると、 $B e x \cdot \sin \quad e x$  が相殺されて、ノイズ磁界  $M e x$  に依存しない信号が得られる。また、式 ( 7 ) に示したように、第 2 の検出信号  $S 2$  と第 4 の検出信号  $S 4$  との差を求めると、 $B e x \cdot \cos \quad e x$  が相殺されて、ノイズ磁界  $M e x$  に依存しない信号が得られる。式 ( 6 )、( 7 ) を式 ( 1 ) に代入すると、下記の式 ( 8 ) が得られる。

【 0 0 9 6 】

$$\begin{aligned}
 s & = \operatorname{atan} ( S a / S b ) \\
 & = \operatorname{atan} ( ( A ( B a - B b ) \sin \quad ) / ( A ( B a - B b ) \cos \quad ) ) \\
 & = \operatorname{atan} ( \sin \quad / \cos \quad ) \\
 & = \quad \dots ( 8 )
 \end{aligned}$$

20

【 0 0 9 7 】

式 ( 8 ) に示したように、検出値  $s$  は、理論上、角度  $\theta$ 、すなわち理想状態において想定される、基準位置における検出対象磁界の方向が基準方向  $D R$  に対してなす角度と等しくなる。式 ( 6 ) ~ ( 8 ) から理解されるように、本実施の形態によれば、第 1 の検出信号  $S 1$  と第 3 の検出信号  $S 3$  との差に対応する第 1 の演算後信号  $S a$  を生成し、第 2 の検出信号  $S 2$  と第 4 の検出信号  $S 4$  との差に対応する第 2 の演算後信号  $S b$  を生成することによって、検出値  $s$  のノイズ磁界  $M e x$  に起因した誤差を低減することができる。

【 0 0 9 8 】

なお、上述のようにノイズ磁界  $M e x$  に起因した誤差を低減するためには、その強度が第 1 の強度となる位置における検出対象磁界すなわち第 1 の部分磁界  $M F a$  を検出することができる位置に、第 1 および第 2 の検出部 1 1 , 1 2 を配置するという第 1 の要件と、その強度が第 2 の強度となる位置における検出対象磁界すなわち第 2 の部分磁界  $M F b$  を検出することができる位置に、第 3 および第 4 の検出部 2 1 , 2 2 を配置するという第 2 の要件を満たす必要がある。言い換えると、第 1 および第 2 の要件を満たす限り、第 1 ないし第 4 の検出部 1 1 , 1 2 , 2 1 , 2 2 を任意の位置に配置することができる。例えば、本実施の形態では、第 3 および第 4 の検出部 2 1 , 2 2 が含まれる電子部品 2 0 を、第 1 および第 2 の検出部 1 1 , 1 2 が含まれる電子部品 1 0 よりも磁気スケール 2 からより遠い位置に配置している。第 1 および第 2 の要件を満たす限り、電子部品 1 0 と電子部品 2 0 は、 $Y$  方向について同じ位置に配置されていてもよいし、 $Y$  方向について異なる位置に配置されていてもよい。

30

40

【 0 0 9 9 】

また、第 1 および第 2 の要件を満たす限り、電子部品 1 0 と電子部品 2 0 は、 $X$  方向について同じ位置に配置されていてもよいし、 $X$  方向について異なる位置に配置されていてもよい。後者の場合、第 1 の検出信号  $S 1$  と第 3 の検出信号  $S 3$  の位相差が 0 になるように、第 1 の検出信号  $S 1$  と第 3 の検出信号  $S 3$  の少なくとも一方を補正してもよく、第 2 の検出信号  $S 2$  と第 4 の検出信号  $S 4$  の位相差が 0 になるように、第 2 の検出信号  $S 2$  と第 4 の検出信号  $S 4$  の少なくとも一方を補正してもよい。また、後者の場合であって、特に、第 1 ないし第 4 の検出部 1 1 , 1 2 , 2 1 , 2 2 の各々が少なくとも 1 つの  $M R$  素子を含んでいる場合、第 1 の検出信号  $S 1$  と第 3 の検出信号  $S 3$  の位相差が 0 になるように

50

、第1の検出部11に含まれるMR素子の磁化固定層の磁化の方向と第3の検出部21に含まれるMR素子の磁化固定層の磁化の方向の少なくとも一方を、図5に示した方向からずらしてもよく、第2の検出信号S2と第4の検出信号S4の位相差が0になるように、第2の検出部12に含まれるMR素子の磁化固定層の磁化の方向と第4の検出部22に含まれるMR素子の磁化固定層の磁化の方向の少なくとも一方を、図6に示した方向からずらしてもよい。

#### 【0100】

また、第1の検出部11と第2の検出部12は、電子部品10の代わりに、物理的に分離された2つの異なる電子部品に含まれていてもよい。この場合、第1の検出部11が含まれる電子部品と第2の検出部12が含まれる電子部品は、X方向について同じ位置に配置されていてもよいし、X方向について異なる位置に配置されていてもよい。後者の場合、第1の検出信号S1と第2の検出信号S2の位相差が90°になるように、第1の検出信号S1と第2の検出信号S2の少なくとも一方を補正してもよい。また、後者の場合であって、特に、第1および第2の検出部11, 12の各々が少なくとも1つのMR素子を含んでいる場合、第1の検出信号S1と第2の検出信号S2の位相差が90°になるように、第1の検出部11に含まれるMR素子の磁化固定層の磁化の方向と第2の検出部12に含まれるMR素子の磁化固定層の磁化の方向の少なくとも一方を、図5および図6に示した方向からずらしてもよい。

10

#### 【0101】

同様に、第3の検出部21と第4の検出部22は、電子部品20の代わりに、物理的に分離された2つの異なる電子部品に含まれていてもよい。この場合、第3の検出部21が含まれる電子部品と第4の検出部22が含まれる電子部品は、X方向について同じ位置に配置されていてもよいし、X方向について異なる位置に配置されていてもよい。後者の場合、第3の検出信号S3と第4の検出信号S4の位相差が90°になるように、第3の検出信号S3と第4の検出信号S4の少なくとも一方を補正してもよい。また、後者の場合であって、特に、第3および第4の検出部21, 22の各々が少なくとも1つのMR素子を含んでいる場合、第3の検出信号S3と第4の検出信号S4の位相差が90°になるように、第3の検出部21に含まれるMR素子の磁化固定層の磁化の方向と第4の検出部22に含まれるMR素子の磁化固定層の磁化の方向の少なくとも一方を、図5および図6に示した方向からずらしてもよい。

20

30

#### 【0102】

以上説明したように、本実施の形態では、第1および第2の要件を満たす限り、第1ないし第4の検出部11, 12, 21, 22を任意の位置に配置することができる。従って、本実施の形態によれば、第1ないし第4の検出部11, 12, 21, 22の設置に大きな制約を生じさせることなく、ノイズ磁界 $M_{ex}$ に起因した誤差を低減することができる。

#### 【0103】

なお、ここまでは、理想状態を想定して、本実施の形態に効果について説明してきた。実際には、角度が0°、90°、180°および270°となる相対位置以外の相対位置では、磁気スケール2からの距離が変化すると、任意の位置における検出対象磁界の方向は、理想状態における方向からずれてしまう。その結果、検出値 $s$ に、磁気スケール2に起因した誤差が生じ得る。そのため、従来は、検出対象磁界の方向にずれが生じないように、磁気センサの検出部を配置する必要があった。これに対し、本実施の形態では、検出対象磁界の方向のずれを許容している。その代わりに、本実施の形態では、第1および第2の要件を満たすように、第1ないし第4の検出部11, 12, 21, 22を配置して、ノイズ磁界 $M_{ex}$ に起因した誤差を低減している。なお、磁気スケール2に起因した誤差は、例えば、相対位置の変化に伴う第1および第2の演算後信号 $S_a$ ,  $S_b$ の変化の波形が正弦波に近づくように、例えばゲイン調整およびオフセット調整等によって、第1および第2の演算後信号 $S_a$ ,  $S_b$ を補正することによって低減することができる。

40

#### 【0104】

50

以下、第1のシミュレーションの結果を参照して、本実施の形態の効果について説明する。第1のシミュレーションでは、方向と強度が一定のノイズ磁界  $M_{ex}$  が存在する状況の下で、検出値  $s$  を生成したときの、検出値  $s$  の誤差を求めた。第1のシミュレーションでは、ノイズ磁界  $M_{ex}$  の強度  $B_{ex}$  の大きさを、第1および第2の検出部 11, 12 が検出する第1の部分磁界  $M_{Fa}$  の強度  $B_a$  すなわち第1の強度の大きさの30%とし、第1の検出位置  $P_1$  におけるノイズ磁界  $M_{ex}$  の方向が基準方向  $D_R$  に対してなす角度  $e_x$  を、 $60^\circ$  とした。

#### 【0105】

第1のシミュレーションでは、位置検出装置1に対応するモデルを用いた。ここで、磁石4, 5, 6の各々のX方向における位置を、以下のように定義する。まず、ヨーク7の上面7aに位置してX方向に延びる直線であって、磁石4, 5, 6と接する直線を、位置基準線とする。そして、位置基準線のうち、磁石4, 5, 6の各々と重なる線分の midpoint の位置を、磁石4, 5, 6の各々のX方向における位置とする。第1のシミュレーションで用いたモデルでは、磁石4のX方向における位置と磁石5のX方向における位置との間隔と、磁石5のX方向における位置と磁石6のX方向における位置との間隔を、いずれも12mmとした。

10

#### 【0106】

また、第1のシミュレーションで用いたモデルでは、磁石5と電子部品10, 20がX方向について同じ位置にある状態を原点として相対位置を定義した。すなわち、実施例のモデルでは、磁石5と電子部品10, 20がX方向について同じ位置にある状態の相対位置を0mmとし、磁石4と電子部品10, 20がX方向について同じ位置にある状態の相対位置を-12mmとし、磁石6と電子部品10, 20がX方向について同じ位置にある状態の相対位置を12mmとした。

20

#### 【0107】

また、第1のシミュレーションで用いたモデルでは、第3および第4の検出部21, 22が検出する第2の部分磁界  $M_{Fb}$  の強度  $B_b$  すなわち第2の強度の大きさが、第1および第2の検出部11, 12が検出する第1の部分磁界  $M_{Fa}$  の強度  $B_a$  すなわち第1の強度の大きさの20%となるように、第1ないし第4の検出部11, 12, 21, 22を配置した。

30

#### 【0108】

第1のシミュレーションでは、第1の検出信号  $S_1$  と第3の検出信号  $S_3$  との差  $S_1 - S_3$  を第1の演算後信号  $S_a$  とし、第2の検出信号  $S_2$  と第4の検出信号  $S_4$  との差  $S_2 - S_4$  を第2の演算後信号  $S_b$  とした。そして、第1および第2の演算後信号  $S_a, S_b$  の各々の値を式(1)に代入することによって、検出値  $s$  を求めた。以下、この検出値  $s$  を、実施例の検出値  $s$  と言う。

#### 【0109】

また、第1のシミュレーションでは、式(1)における  $S_a$  に第1の検出信号  $S_1$  の値を代入し、式(1)における  $S_b$  に第2の検出信号  $S_2$  の値を代入することによって、比較例の検出値  $s$  を求めた。

40

#### 【0110】

また、第1のシミュレーションでは、実施例の検出値  $s$  の誤差(以下、実施例の誤差  $E_1$  と言う。)と、比較例の検出値  $s$  の誤差(以下、比較例の誤差  $E_2$  と言う)を求めた。なお、第1のシミュレーションでは、実施例の検出値  $s$  と角度  $e_x$  との差を実施例の誤差  $E_1$  とし、比較例の検出値  $s$  と角度  $e_x$  との差を比較例の誤差  $E_2$  とした。

#### 【0111】

図11は、第1のシミュレーションにおける第1および第2の検出信号  $S_1, S_2$  の波形を示す波形図である。図12は、第1のシミュレーションにおける第3および第4の検出信号  $S_3, S_4$  の波形を示す波形図である。図13は、第1のシミュレーションにおける第1および第2の演算後信号  $S_a, S_b$  の波形を示す波形図である。図11ないし図13における横軸は、相対位置を示している。図11における縦軸は、第1および第2の検

50

出信号  $S_1$  ,  $S_2$  の大きさを示している。図 1 2 における縦軸は、第 3 および第 4 の検出信号  $S_3$  ,  $S_4$  の大きさを示している。図 1 3 における縦軸は、第 1 および第 2 の演算後信号  $S_a$  ,  $S_b$  の大きさを示している。図 1 1 において、符号 7 1 を付した曲線は、第 1 の検出信号  $S_1$  の波形を示し、符号 7 2 を付した曲線は、第 2 の検出信号  $S_2$  の波形を示している。図 1 2 において、符号 7 3 を付した曲線は、第 3 の検出信号  $S_3$  の波形を示し、符号 7 4 を付した曲線は、第 4 の検出信号  $S_4$  の波形を示している。図 1 3 において、符号 7 5 を付した曲線は、第 1 の演算後信号  $S_a$  の波形を示し、符号 7 6 を付した曲線は、第 2 の演算後信号  $S_b$  の波形を示している。なお、第 1 のシミュレーションでは、ノイズ磁界  $M_{ex}$  が存在しない状態における第 1 および第 2 の検出信号  $S_1$  ,  $S_2$  の振幅が 1 になるように、第 1 ないし第 4 の検出信号  $S_1 \sim S_4$  を規格化している。

10

#### 【 0 1 1 2 】

図 1 4 は、比較例の検出値  $s$  を示す特性図である。図 1 5 は、比較例の誤差  $E_2$  を示す特性図である。図 1 6 は、実施例の検出値  $s$  を示す特性図である。図 1 7 は、実施例の誤差  $E_1$  を示す特性図である。図 1 4 ないし図 1 7 における横軸は、相対位置を示している。図 1 4 における縦軸は、比較例の検出値  $s$  の大きさを示している。図 1 5 における縦軸は、比較例の誤差  $E_2$  の大きさを示している。図 1 6 における縦軸は、実施例の検出値  $s$  の大きさを示している。図 1 7 における縦軸は、実施例の誤差  $E_1$  の大きさを示している。図 1 5 および図 1 7 に示したように、実施例の誤差  $E_1$  は、比較例の誤差  $E_2$  よりも小さくなり、理論上、0 になる。実施例の誤差  $E_1$  は、第 1 および第 2 の検出信号  $S_1$  ,  $S_2$  のみに基づいて検出値  $s$  を生成した場合の誤差である。従って、本実施の形態によれば、第 1 および第 2 の検出信号  $S_1$  ,  $S_2$  のみに基づいて検出値  $s$  を生成する場合に比べて、検出値  $s$  の誤差を小さくすることができる。

20

#### 【 0 1 1 3 】

##### [ 変形例 ]

次に、図 1 8 を参照して、磁気スケール 2 の変形例について説明する。図 1 8 は、磁気スケール 2 の変形例を示す斜視図である。磁気スケール 2 の変形例の構成は、以下の点で図 1 および図 2 に示した磁気スケール 2 の構成と異なっている。変形例では、磁石 6 が設けられていない。すなわち、変形例では、磁気スケール 2 は、複数の磁石として、2 つの磁石 4 , 5 を含んでいる。なお、変形例では、検出値  $s$  の範囲は、 $0^\circ \sim 180^\circ$  よりもある程度広い範囲までに限定される。

30

#### 【 0 1 1 4 】

##### [ 第 2 の実施の形態 ]

次に、図 1 9 を参照して、本発明の第 2 の実施の形態について説明する。図 1 9 は、本実施の形態に係る位置検出装置の概略の構成を示す平面図である。本実施の形態に係る位置検出装置 1 は、第 1 の実施の形態における磁気スケール 2 の代わりに、強度および方向が空間的な分布を有する外部磁界を発生する磁気スケール 1 0 2 を備えている。磁気スケール 1 0 2 は、複数の磁石 1 0 4 を含んでいる。複数の磁石 1 0 4 は、互いに間隔を開けて配置されている。磁気スケール 1 0 2 が発生する外部磁界は、複数の磁石 1 0 4 の各々が発生する磁界が合成されたものである。

40

#### 【 0 1 1 5 】

磁気スケール 1 0 2 は、更に、樹脂またはアルミニウム等の非磁性材料よりなり、複数の磁石 1 0 4 を支持する基板 1 0 5 を含んでいる。基板 1 0 5 は、その中心が所定の中心軸  $C$  上に位置する円板状である。また、基板 1 0 5 は、上面 1 0 5 a と下面を有している。複数の磁石 1 0 4 は、基板 1 0 5 の上面 1 0 5 a の上に配置されている。

#### 【 0 1 1 6 】

磁気スケール 1 0 2 は、回転動作をする図示しない可動物体に連動し、中心軸  $C$  を中心として回転方向  $R$  に回転する。これにより、磁気スケール 1 0 2 は、回転方向  $R$  に沿った所定の範囲内において、磁気センサ 3 に対する相対位置が変化する。以下、磁気センサ 3 に対する磁気スケール 1 0 2 の相対位置を、単に、相対位置と言う。なお、回転方向  $R$  は、図 1 9 における時計回り方向と、図 1 9 における反時計回り方向とを含んでいる。回転

50

方向 R は、本発明における移動方向に対応する。

【0117】

複数の磁石 104 は、回転方向 R（移動方向）に沿って配置されている。複数の磁石 104 の各々は、中心軸 C に最も近い第 1 の端面と、回転中心から最も遠い第 2 の端面を有している。中心軸 C から複数の磁石 104 の各々の第 1 の端面までの距離は互いに等しく、中心軸 C から複数の主磁石の各々の第 2 の端面までの距離は互いに等しい。

【0118】

また、複数の磁石 104 の各々は、N 極と S 極を有している。ここで、複数の磁石 104 のうち、回転方向 R に隣接する任意の 2 つの磁石 104 に着目する。2 つの磁石 104 の一方では、N 極と S 極は、中心軸 C から遠ざかる方向に、この順に配置されている。2 つの磁石 104 の他方では、N 極と S 極は、中心軸 C に近づく方向に、この順に配置されている。

【0119】

図示しないが、本実施の形態では、磁気センサ 3 は、磁気スケール 102 が発生する外部磁界の一部である検出対象磁界と、検出対象磁界以外のノイズ磁界  $M_{ex}$  とを検出する。磁気センサ 3 の第 1 ないし第 4 の検出部 11, 12, 21, 22 は、基板 105 の半径方向の外側において、基板 105 の外周部に対向するように配置されている。任意の位置における検出対象磁界の方向は、相対位置の変化に伴って任意の位置を中心として回転する。図 19 に示した例では特に、磁気スケール 102 が 1 回転すると、任意の位置における検出対象磁界の方向は 4 回転する。

【0120】

ここで、図 19 に示したように、中心軸 C と交差する第 1 の仮想の直線 L1 と、中心軸 C と交差し、第 1 の仮想の直線 L1 とは異なる第 2 の仮想の直線 L2 を想定する。本実施の形態では特に、第 1 および第 2 の仮想の直線 L1, L2 は、いずれも中心軸 C と直交する。また、第 1 および第 2 の仮想の直線 L1, L2 は、いずれも、磁気スケール 102 と交差し中心軸 C に垂直な仮想の平面上にある。以下、この仮想の平面を、基準平面と言う。また、基準平面において検出対象磁界が第 1 の強度となる任意の 1 つの位置を、第 1 の検出位置 P11 とする。第 1 の仮想の直線 L1 は、第 1 の検出位置 P11 を通る。また、基準平面において検出対象磁界が第 1 の強度となる位置であって、第 1 の検出位置 P11 から電気角の 90° に相当する角度だけ、回転方向 R にずれた位置を、第 2 の検出位置 P12 とする。第 2 の仮想の直線 L2 は、第 2 の検出位置 P12 を通る。図 19 に示した例では特に、第 2 の検出位置 P12 は、第 1 の検出位置 P11 から回転方向 R に 22.5° ずれた位置にある。

【0121】

第 1 の実施の形態で説明したように、第 1 および第 2 の検出部 11, 12 は、第 1 の強度の検出対象磁界とノイズ磁界  $M_{ex}$  との合成磁界である第 1 の合成磁界を検出するように配置されている。本実施の形態では、第 1 の検出部 11 は、第 1 の検出位置 P11 に配置され、第 1 の合成磁界として、第 1 の検出位置 P11 における検出対象磁界とノイズ磁界  $M_{ex}$  との合成磁界を検出する。第 2 の検出部 12 は、第 2 の検出位置 P12 に配置され、第 1 の合成磁界として、第 2 の検出位置 P12 における検出対象磁界とノイズ磁界  $M_{ex}$  との合成磁界を検出する。

【0122】

また、第 1 の仮想の直線 L1 上の第 1 の検出位置 P11 とは異なる位置であって、検出対象磁界が第 2 の強度となる第 1 の仮想の直線 L1 上の位置を第 3 の検出位置 P21 とする。また、第 2 の仮想の直線 L2 上の第 2 の検出位置 P12 とは異なる位置であって、検出対象磁界が第 2 の強度となる第 2 の仮想の直線 L2 上の位置を第 4 の検出位置 P22 とする。図 19 に示した例では、第 3 の検出位置 P21 は、第 1 の検出位置 P11 から中心軸 C から遠ざかる方向に所定の距離だけ離れた位置であり、第 4 の検出位置 P22 は、第 2 の検出位置 P12 から中心軸 C から遠ざかる方向に所定の距離だけ離れた位置である。

【0123】

10

20

30

40

50

第 1 の実施の形態で説明したように、第 3 および第 4 の検出部 2 1 , 2 2 は、第 2 の強度の検出対象磁界とノイズ磁界  $M_{ex}$  との合成磁界である第 2 の合成磁界を検出するように配置されている。本実施の形態では、第 3 の検出部 2 1 は、第 3 の検出位置 P 2 1 に配置され、第 2 の合成磁界として、第 3 の検出位置 P 2 1 における検出対象磁界とノイズ磁界  $M_{ex}$  との合成磁界を検出する。第 4 の検出部 2 2 は、第 4 の検出位置 P 2 2 に配置され、第 2 の合成磁界として、第 4 の検出位置 P 2 2 における検出対象磁界とノイズ磁界  $M_{ex}$  との合成磁界を検出する。

#### 【 0 1 2 4 】

本実施の形態では、第 1 の検出部 1 1 が第 1 の検出信号 S 1 を生成する基準となる第 1 の方向 D 1 は、第 1 の仮想の直線 L 1 に直交する一方向（図 1 9 では右側に向かう方向）である。また、第 2 の検出部 1 2 が第 2 の検出信号 S 2 を生成する基準となる第 2 の方向 D 2 は、第 2 の仮想の直線 L 2 に直交する一方向（図 1 9 では右上側に向かう方向）である。第 3 の検出部 2 1 が第 3 の検出信号 S 3 を生成する基準となる第 3 の方向 D 3 は、第 1 の方向 D 1 と同じ方向である。第 4 の検出部 2 2 が第 4 の検出信号 S 4 を生成する基準となる第 4 の方向 D 4 は、第 2 の方向 D 2 と同じ方向である。

10

#### 【 0 1 2 5 】

理想状態において想定される、第 1 の検出部 1 1 が検出する検出対象磁界の方向が第 1 の方向 D 1 に対してなす第 1 の角度  $\theta_1$  と、第 3 の検出部 2 1 が検出する検出対象磁界の方向が第 3 の方向 D 3 に対してなす第 3 の角度  $\theta_3$  は、互いに等しい。また、理想状態において想定される、第 2 の検出部 1 2 が検出する検出対象磁界の方向が第 2 の方向 D 2 に対してなす第 2 の角度  $\theta_2$  と、第 4 の検出部 2 2 が検出する検出対象磁界の方向が第 4 の方向 D 4 に対してなす第 4 の角度  $\theta_4$  は、互いに等しい。また、第 1 の角度  $\theta_1$  と第 2 の角度  $\theta_2$  との差は  $90^\circ$  であり、第 3 の角度  $\theta_3$  と第 4 の角度  $\theta_4$  との差は  $90^\circ$  である。

20

#### 【 0 1 2 6 】

図示しないが、基準方向 D R は、前述の基準平面内に位置する。基準位置は、第 1 ないし第 4 の検出位置 P 1 1 , P 1 2 , P 2 1 , P 2 2 のいずれかと同じ位置であってもよいし、第 1 ないし第 4 の検出位置 P 1 1 , P 1 2 , P 2 1 , P 2 2 とは異なる位置であってもよい。一例では、基準位置は第 1 の検出位置 P 1 1 と同じ位置であり、基準方向 D R は、第 1 の検出位置 P 1 1 から中心軸 C に向かう方向である。

30

#### 【 0 1 2 7 】

第 1 の実施の形態における磁気センサ 3 の第 1 の例と同様に、第 1 ないし第 4 の検出部 1 1 , 1 2 , 2 1 , 2 2 の各々は、少なくとも 1 つの MR 素子を含んでいてもよい。第 1 の検出部 1 1 に含まれる MR 素子の磁化固定層の磁化の方向と、第 1 の方向 D 1 との関係は、第 1 の実施の形態と同じである。同様に、第 2 の検出部 1 2 に含まれる MR 素子の磁化固定層の磁化の方向と、第 2 の方向 D 2 との関係は、第 1 の実施の形態と同じである。同様に、第 3 の検出部 2 1 に含まれる MR 素子の磁化固定層の磁化の方向と、第 3 の方向 D 3 との関係は、第 1 の実施の形態と同じである。同様に、第 4 の検出部 2 2 に含まれる MR 素子の磁化固定層の磁化の方向と、第 4 の方向 D 4 との関係は、第 1 の実施の形態と同じである。

40

#### 【 0 1 2 8 】

あるいは、第 1 の実施の形態における磁気センサ 3 の第 2 の例と同様に、第 1 ないし第 4 の検出部 1 1 , 1 2 , 2 1 , 2 2 の各々は、少なくとも 1 つのホール素子を含んでいてもよい。本実施の形態では特に、第 1 ないし第 4 の検出部 1 1 , 1 2 , 2 1 , 2 2 の各々は、別個の電子部品に含まれていてもよい。この電子部品は、第 1 の実施の形態における磁気センサ 3 の第 2 の例の電子部品 1 0 , 2 0 と同様に、非磁性材料よりなる基板と、磁性材料よりなるヨークとを含んでいる。基板は、前述の基準平面に平行な上面を有している。少なくとも 1 つのホール素子は、基板に埋め込まれている。

#### 【 0 1 2 9 】

第 1 の検出部 1 1 を含む電子部品は、第 1 の検出部 1 1 に含まれるホール素子が第 1 の

50

合成磁界の第1の方向D1の成分を検出することができるように、ホール素子とヨークが構成される。第2の検出部12を含む電子部品は、第2の検出部12に含まれるホール素子が第1の合成磁界の第2の方向D2の成分を検出することができるように、ホール素子とヨークが構成される。第3の検出部21を含む電子部品は、第3の検出部21に含まれるホール素子が第2の合成磁界の第3の方向D3の成分を検出することができるように、ホール素子とヨークが構成される。第4の検出部22を含む電子部品は、第4の検出部22に含まれるホール素子が第2の合成磁界の第4の方向D4の成分を検出することができるように、ホール素子とヨークが構成される。

#### 【0130】

なお、ここまでは、第1の仮想の直線L1上に、第1の検出位置P11と第3の検出位置P21があり、第2の仮想の直線L2上に、第2の検出位置P12と第4の検出位置P22がある例について説明してきた。しかし、本実施の形態における第1ないし第4の検出位置P11, P12, P21, P22の位置は、図19に示した例に限られない。例えば、第3の検出位置P21は、図19に示した第3の検出位置P21から、電気角の360°に相当する角度すなわち90°だけ、回転方向Rにずれた位置であってもよい。同様に、第4の検出位置P22は、図19に示した第4の検出位置P22から、電気角の360°に相当する角度すなわち90°だけ、回転方向Rにずれた位置であってもよい。

#### 【0131】

次に、磁気スケール102の複数の磁石104の形状および配置について調べた第2および第3のシミュレーションの結果について説明する。理想的には、任意の検出位置における検出対象磁界の強度は、磁気センサ3に対する磁気スケール102の相対位置の変化に関わらずに一定である。しかし、実際には、任意の検出位置における検出対象磁界の強度は、磁気センサ3に対する磁気スケール102の相対位置の変化、具体的には、任意の検出位置に対する複数の磁石104の相対位置の変化に伴って変動し得る。

#### 【0132】

ところで、ノイズ磁界M<sub>ex</sub>の影響を小さくするために、検出位置を磁気スケール102に近づけて、検出対象磁界の強度に対するノイズ磁界M<sub>ex</sub>の強度を相対的に小さくすることが考えられる。これにより、ノイズ磁界M<sub>ex</sub>の影響を受けにくくすると共に、検出対象磁界の強度そのものを大きくして、第1ないし第4の検出信号S1~S4の質を高めることができる。しかし、検出位置を複数の磁石104に近づけすぎると、相対位置の変化に伴う検出対象磁界の強度の変動が顕著に表れる。本実施の形態では特に、第2の検出位置P12は、第1の検出位置P11から回転方向Rにずれた位置にあり、第4の検出位置P22は、第3の検出位置P21から回転方向Rにずれた位置にある。そのため、検出対象磁界の強度が変動すると、第1の検出部11と第2の検出部12が同じタイミングで同じ強度の検出対象磁界を検出することができなくなると共に、第3の検出部21と第4の検出部22が同じタイミングで同じ強度の検出対象磁界を検出することができなくなる。その結果、検出値sを精度よく生成することができなくなる。従って、第1ないし第4の検出位置P11, P12, P21, P22は、相対位置の変化に伴う検出対象磁界の強度の変動が小さくなるような位置にあることが好ましい。

#### 【0133】

第2のシミュレーションでは、相対位置の変化に伴う検出対象磁界の強度の変動が小さくなるような位置を調べた。具体的には、磁気スケール102からの距離が異なる複数の点を想定した。そして、この複数の点における検出対象磁界の強度を求めた。

#### 【0134】

第2のシミュレーションでは、図19に示した磁気スケール102のモデルを用いた。ただし、第2のシミュレーションでは、回転方向Rに隣接する2つの磁石104の間隔を0とした。また、中心軸Cに平行な一方向から見たときの回転方向Rにおける磁石104の最大の寸法を6mmとし、中心軸Cに平行な一方向から見たときの基板105の半径方向における磁石104の寸法を3mmとした。

#### 【0135】

ここで、複数の磁石 104 のうち、回転方向 R に並んだ 3 つの磁石 104 を、第 1 の磁石、第 2 の磁石、第 3 の磁石と言う。また、基準平面内において第 1 の磁石と第 2 の磁石の境界と中心軸 C を通る仮想の直線上の点であって、磁気スケール 102 から所定の間隔だけ離れた位置にあり且つ第 1 の磁石に最も近い点を第 1 点とする。また、基準平面内において第 3 の磁石の回転方向 R における中央と中心軸 C を通る仮想の直線上の点であって、磁気スケール 102 から上記所定の間隔だけ離れた位置にあり且つ第 3 の磁石に最も近い点を第 10 点とする。

【0136】

また、基準平面内において第 1 点と第 10 点を通り、磁気スケール 102 から上記所定の間隔だけ離れた位置にある仮想の曲線と、この仮想の曲線上において第 1 点と第 10 点との間にある 8 つの点を想定する。この 8 つの点を、第 1 点に近い順に、第 2 点ないし第 9 点とする。第 1 点ないし第 10 点は、等間隔に配置されている。第 1 点ないし第 10 点は、第 1 ないし第 3 の磁石との位置関係が互いに異なっている。なお、第 4 点は、基準平面内において第 2 の磁石の回転方向 R における中央と中心軸 C を通る仮想の直線上の点であって、磁気スケール 102 から上記所定の間隔だけ離れた位置にあり且つ第 2 の磁石に最も近い点である。また、第 7 点は、基準平面内において第 2 の磁石と第 3 の磁石の境界と中心軸 C を通る仮想の直線上の点であって、磁気スケール 102 から上記所定の間隔だけ離れた位置にあり且つ第 2 の磁石に最も近い点である。

10

【0137】

以下、仮想の曲線と磁気スケール 102 との間隔を、記号 WD で表す。第 2 のシミュレーションでは、間隔 WD を 1 mm から 3.5 mm の範囲内で 0.5 mm ずつ変化させて、間隔 WD が互いに異なる複数の仮想の曲線毎に、その仮想の曲線上にある第 1 点ないし第 10 点の各々における検出対象磁界の強度と、その仮想の曲線上にある全ての点の検出対象磁界の強度の平均値を求めた。そして、各点毎に、その点の検出対象磁界の強度とその点を通る仮想の曲線上にある全ての点の検出対象磁界の強度の平均値との差を求め、この差の、平均値に対する割合を求めた。以下、この割合を変動率と言う。

20

【0138】

任意の 1 つの仮想の曲線上にある第 1 点ないし第 10 点の各々における検出対象磁界の強度の変動は、磁気センサ 3 に対する磁気スケール 102 の相対位置の変化に伴う、仮想の曲線上にある任意の検出位置における検出対象磁界の強度の変動を表している。任意の 1 つの仮想の曲線上にある全ての点の変動率の最大値と最小値の差は、仮想の曲線上にある任意の検出位置における検出対象磁界の強度の変動幅を表している。第 2 のシミュレーションでは、複数の仮想の曲線毎に、変動率の最大値と最小値の差を求めた。以下、この差を変動幅と言う。

30

【0139】

図 20 は、第 2 のシミュレーションによって求めた変動率を示す特性図である。図 20 において、横軸は、仮想の曲線上の位置を示している。図 20 では、仮想の曲線上の位置として、第 1 点ないし第 10 点を示している。なお、図 20 では、第 1 点ないし第 10 点を、それぞれ 1 から 10 までの数字で表している。また、図 20 において、縦軸は変動率を示している。また、図 20 において、符号 81 を付した曲線は、間隔 WD が 1 mm の仮想の曲線上の各点の変動率を示している。符号 82 を付した曲線は、間隔 WD が 1.5 mm の仮想の曲線上の各点の変動率を示している。符号 83 を付した曲線は、間隔 WD が 2.0 mm の仮想の曲線上の各点の変動率を示している。符号 84 を付した曲線は、間隔 WD が 2.5 mm の仮想の曲線上の各点の変動率を示している。符号 85 を付した曲線は、間隔 WD が 3.0 mm の仮想の曲線上の各点の変動率を示している。符号 86 を付した曲線は、間隔 WD が 3.5 mm の仮想の曲線上の各点の変動率を示している。図 20 から、仮想の曲線上の任意の点の変動率は、第 1 ないし第 3 の磁石との位置関係によって変化することが分かる。この結果から、任意の検出位置における検出対象磁界の強度は、相対位置の変化に伴って変動することが分かる。

40

【0140】

50

図 2 1 は、第 2 のシミュレーションによって求めた変動幅を示す特性図である。図 2 1 において、横軸は間隔  $W D$  を示し、縦軸は変動幅を示している。図 2 1 から、間隔  $W D$  が  $2.5 \text{ mm}$  となる仮想の曲線の変動率が最小になることが分かる。この結果から、検出位置と磁気スケール 102 の間隔が  $2.5 \text{ mm}$  の場合に、相対位置の変化に伴う検出対象磁界の強度の変動幅が最小になることが分かる。

#### 【0141】

前述のように、第 1 ないし第 4 の検出信号  $S 1 \sim S 4$  の質を高めるためには、検出位置を磁気スケール 102 に近づける、すなわち間隔  $W D$  を小さくすることが好ましい。図 2 1 から、間隔  $W D$  が  $2.5 \text{ mm}$  よりも小さい場合、間隔  $W D$  が小さくなるに従って変動幅が大きくなることが分かる。この結果から、検出位置と磁気スケール 102 の間隔が  $2.5 \text{ mm}$  よりも小さい場合、検出位置と磁気スケール 102 の間隔が小さくなるに従って、相対位置の変化に伴う検出対象磁界の強度の変動幅が大きくなることが分かる。

10

#### 【0142】

ところで、変動率は、回転方向  $R$  に隣接する 2 つの磁石 104 の間隔によっても変化し得る。2 つの磁石 104 の間隔を変化させて、1 つの仮想の曲線上にある第 1 点ないし第 10 点の各々における検出対象磁界の強度を求めた。そして、第 2 のシミュレーションと同様に、各点毎に、変動率を求めた。

#### 【0143】

第 3 のシミュレーションでは、第 2 のシミュレーションと同様に、図 19 に示した磁気スケール 102 のモデルを用いた。ただし、第 3 のシミュレーションでは、中心軸  $C$  に平行な一方向から見たときの回転方向  $R$  における磁石 104 の最大の寸法を  $6 \text{ mm}$ 、 $5 \text{ mm}$ 、 $4.35 \text{ mm}$ 、 $4 \text{ mm}$  と変化させることによって、回転方向  $R$  に隣接する 2 つの磁石 104 の間隔を、 $0 \text{ mm}$ 、 $1 \text{ mm}$ 、 $1.65 \text{ mm}$ 、 $2 \text{ mm}$  と変化させた。また、第 3 のシミュレーションでは、第 1 ないし第 4 の検出信号  $S 1 \sim S 4$  の質を高めるために検出位置を磁気スケール 102 に近づけることを想定し、仮想の曲線と磁気スケール 102 との間隔  $W D$  を、変動幅が最小となる  $2.5 \text{ mm}$  よりも小さい  $1.5 \text{ mm}$  とした。

20

#### 【0144】

図 2 2 は、第 3 のシミュレーションによって求めた変動率を示す特性図である。図 2 2 において、横軸は仮想の曲線上の位置を示し、縦軸は変動率を示している。図 2 2 における仮想の曲線上の位置の表し方は、図 20 と同じである。また、図 2 2 において、符号 9 1 を付した曲線は、2 つの磁石 104 の間隔が  $0 \text{ mm}$  のときの各点の変動率を示している。符号 9 2 を付した曲線は、2 つの磁石 104 の間隔が  $1 \text{ mm}$  のときの各点の変動率を示している。符号 9 3 を付した曲線は、2 つの磁石 104 の間隔が  $1.65 \text{ mm}$  のときの各点の変動率を示している。符号 9 4 を付した曲線は、2 つの磁石 104 の間隔が  $2 \text{ mm}$  のときの各点の変動率を示している。図 2 2 から、2 つの磁石 104 の間隔が  $0 \text{ mm}$  のとき（符号 9 1）に、変動率の最大値と最小値の差すなわち変動幅が最大になることと、2 つの磁石 104 の間隔が  $0 \text{ mm}$  以外のときに、変動幅は、2 つの磁石 104 の間隔が  $0 \text{ mm}$  のときよりも小さくなることと、2 つの磁石 104 の間隔が  $1.65 \text{ mm}$  のとき（符号 9 3）に、変動幅が最小になることが分かる。第 3 のシミュレーションの結果から、2 つの磁石 104 の間に磁化されていない部分を設けることによって、相対位置の変化に伴う検出対象磁界の強度の変動幅を小さくすることができることが分かる。

30

40

#### 【0145】

仮想の曲線と磁気スケール 102 との間隔  $W D$  は、第 1 ないし第 4 の検出位置  $P 1 1$ ， $P 1 2$ ， $P 2 1$ ， $P 2 2$  の位置を決定するための基準である。第 3 のシミュレーションの結果から、間隔  $W D$  が  $1.5 \text{ mm}$  の場合、中心軸  $C$  に平行な一方向から見たときの、回転方向  $R$  における磁石 104 の最大の寸法を  $4.35 \text{ mm}$  とし、回転方向  $R$  に隣接する 2 つの磁石 104 の間隔を  $1.65 \text{ mm}$  とし、第 1 および第 2 の検出位置  $P 1 1$ ， $P 1 2$  と磁気スケール 102 との間隔を  $1.5 \text{ mm}$  よりもわずかに小さくし、第 3 および第 4 の検出位置  $P 2 1$ ， $P 2 2$  と磁気スケール 102 との間隔を  $1.5 \text{ mm}$  よりもわずかに大きくすることによって、第 1 ないし第 4 の検出位置  $P 1 1$ ， $P 1 2$ ， $P 2 1$ ， $P 2 2$  の全てにお

50

いて検出対象磁界の強度の変動幅を小さくすることができる。

【0146】

第2および第3のシミュレーションの結果から理解されるように、第1ないし第4の検出位置P11, P12, P21, P22と磁気スケール102との間隔を調整すると共に、2つの磁石104の間隔を調整することによって、第1ないし第4の検出位置P11, P12, P21, P22の各々における検出対象磁界の強度の変動幅を小さくすることができる。従って、検出対象磁界の強度の変動幅を小さくするための検討として、これらの間隔を調整する検討を行った後に、第1ないし第4の検出位置P11, P12, P21, P22を決定することが好ましい。

【0147】

第2および第3のシミュレーションの結果は、第1の実施の形態に係る位置検出装置1にも当てはまる。すなわち、第1および第2の検出位置P1, P2と磁気スケール2との間隔を調整すると共に、磁石4, 5の間隔と磁石5, 6の間隔を調整することによって、第1および第2の部分磁界Mfa, Mfbの各々の強度の変動幅を小さくすることができる。従って、検出対象磁界の強度の変動幅を小さくするための検討として、これらの間隔を調整する検討を行った後に、第1および第2の検出位置P1, P2を決定することが好ましい。

【0148】

[変形例]

次に、図23を参照して、磁気スケール102の変形例について説明する。図23は、磁気スケール102の変形例を示す平面図である。変形例では、磁気スケール102は、複数の磁石104および基板105に加えて、樹脂またはアルミニウム等の非磁性材料よりなる複数の非磁性体106と、NiFe等の磁性材料よりなるヨーク107とを含んでいる。複数の非磁性体106とヨーク107は、基板105の上面105aの上に配置されている。複数の非磁性体106の各々は、隣接する2つの磁石104の間に配置されている。

【0149】

ヨーク107は、複数の磁石104を磁氣的に接続している。図23に示した例では、ヨーク107は、その中心が中心軸C上に位置する環状の形状を有している。ヨーク107は、複数の磁石104の各々の、中心軸Cに最も近い第1の端面を磁氣的に接続している。ここで、複数の磁石104のうち、回転方向Rに隣接する任意の2つの磁石104に着目する。この2つの磁石104のうち、第1の端面がN極側の端面である磁石104を第1の磁石104と言い、第1の端面がS極側の端面である磁石104を第2の磁石104と言う。ヨーク107は、第1の磁石104の第1の端面より発生された磁束が、第2の磁石104の第1の端面に効率的に流入するように、磁束の流れを制御する機能を有している。

【0150】

本実施の形態におけるその他の構成、作用および効果は、第1の実施の形態と同様である。

【0151】

なお、本発明は、上記各実施の形態に限定されず、種々の変更が可能である。例えば、請求の範囲の要件を満たす限り、第1ないし第4の検出部11, 12, 21, 22の配置は、各実施の形態に示した例に限られず、任意である。

【0152】

また、磁気スケール2または102の複数の磁石の数、形状、およびN極とS極の位置は、各実施の形態に示した例に限られず、任意である。また、第1の実施の形態では、磁気スケール2は、磁石4, 5, 6の代わりに、直線状の多極着磁磁石を含んでもよい。また、第2の実施の形態では、磁気スケール102は、複数の磁石104の代わりに、環状の多極着磁磁石を含んでもよい。

【符号の説明】

10

20

30

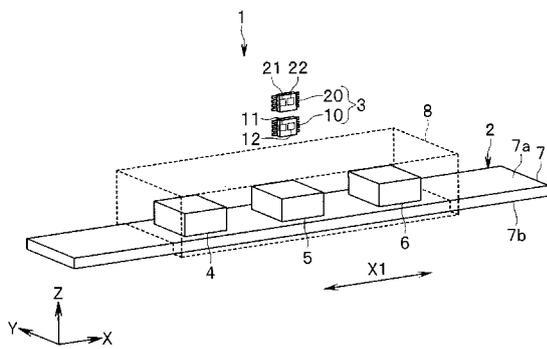
40

50

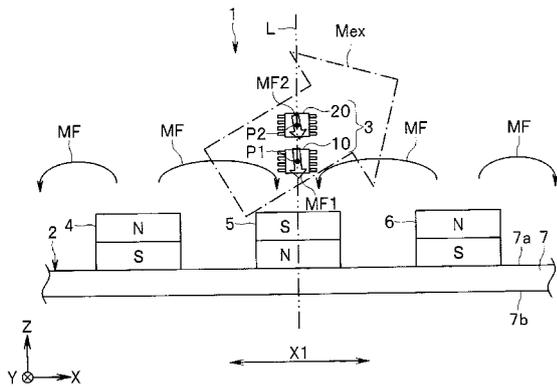
【 0 1 5 3 】

1 ... 位置検出装置、2 ... 磁気スケール、3 ... 磁気センサ、4 ~ 6 ... 磁石、7 ... ヨーク、8 ... 保護部、10, 20 ... 電子部品、11 ... 第1の検出部、12 ... 第2の検出部、21 ... 第3の検出部、22 ... 第4の検出部、31 ~ 34 ... A/D変換器、35 ... 第1の演算回路、36 ... 第2の演算回路、37 ... 第3の演算回路、41 ... 基板、42 ... ヨーク、85, 86 ... 差分検出器、87 ... 角度演算部、H1 ~ H4 ... ホール素子、R11, R12, R21, R22 ... MR素子。

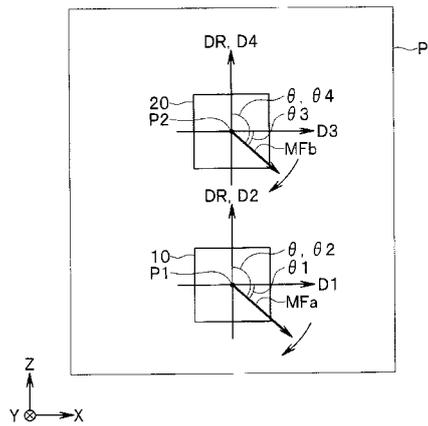
【 図 1 】



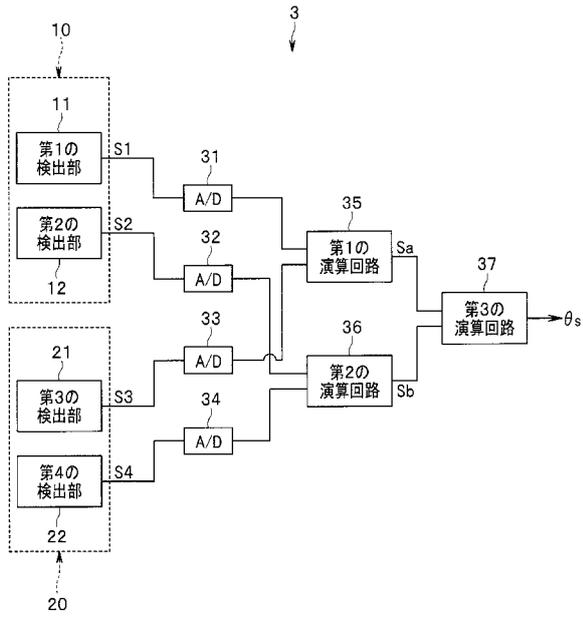
【 図 2 】



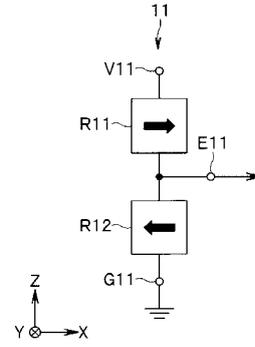
【 図 3 】



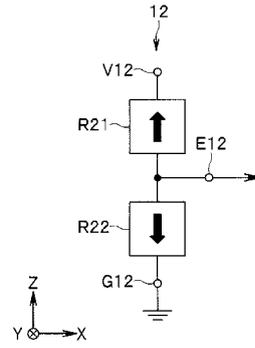
【 図 4 】



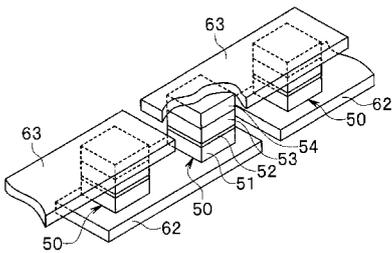
【 図 5 】



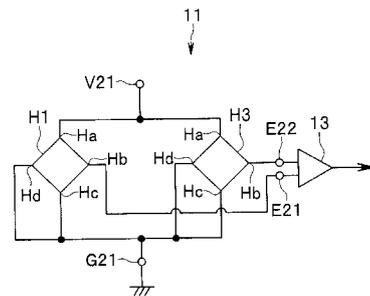
【 図 6 】



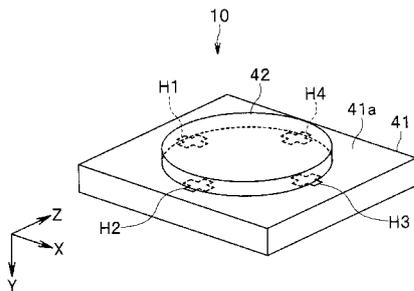
【 図 7 】



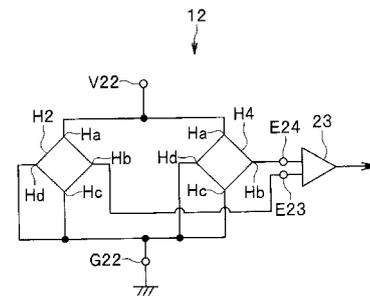
【 図 9 】



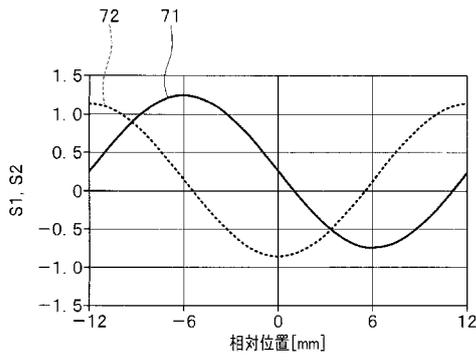
【 図 8 】



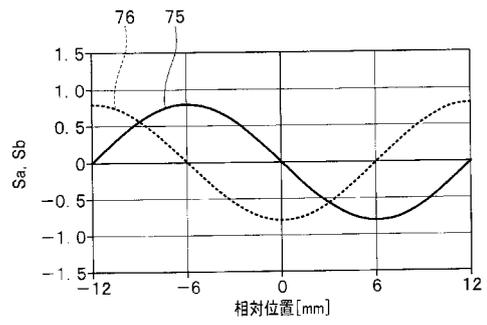
【 図 10 】



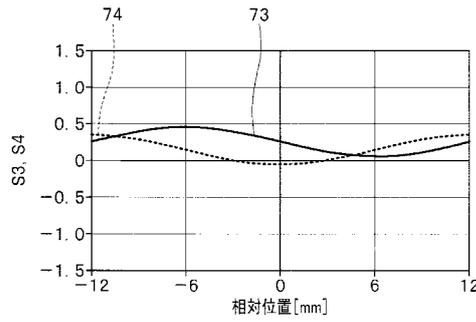
【 図 1 1 】



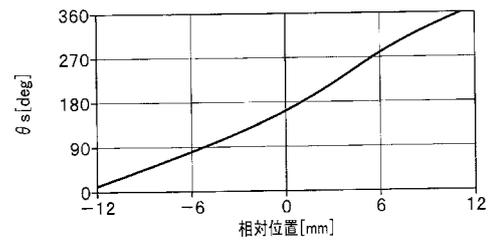
【 図 1 3 】



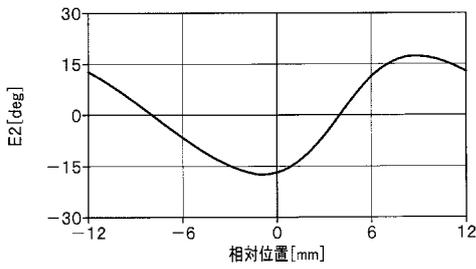
【 図 1 2 】



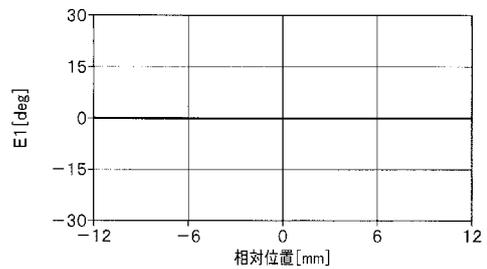
【 図 1 4 】



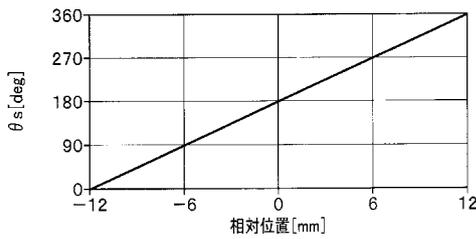
【 図 1 5 】



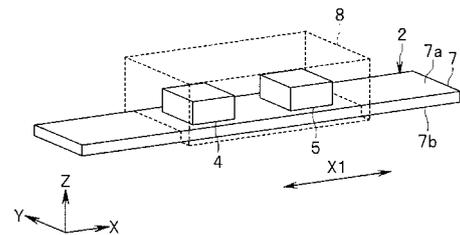
【 図 1 7 】



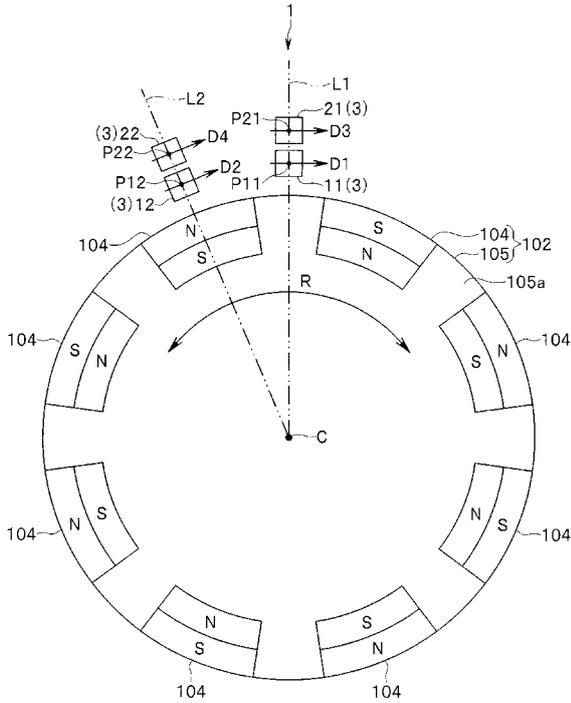
【 図 1 6 】



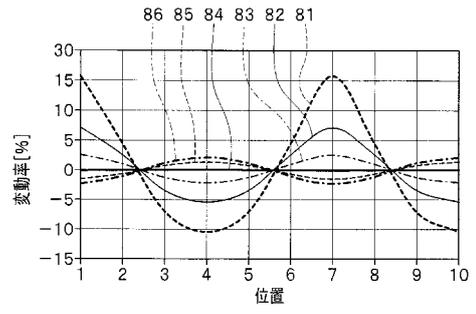
【 図 1 8 】



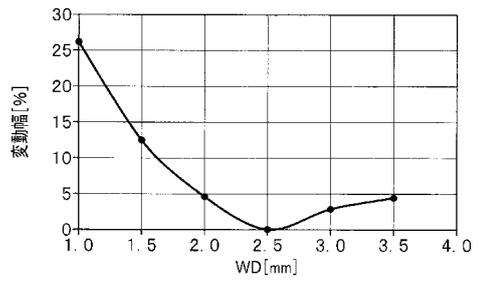
【 図 1 9 】



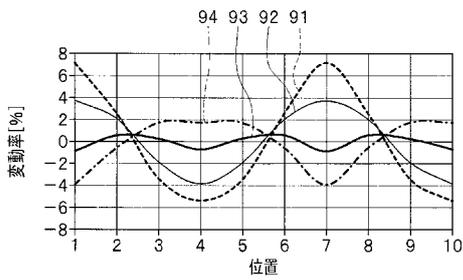
【 図 2 0 】



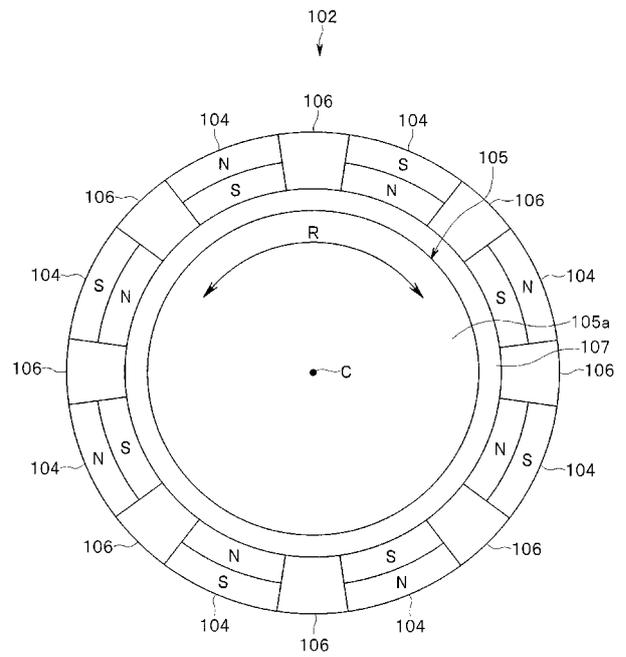
【 図 2 1 】



【 図 2 2 】



【 図 2 3 】



フロントページの続き

Fターム(参考) 2F077 AA21 CC02 NN02 NN05 NN17 PP12 PP14 TT42 UU09 UU10  
UU25