

(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2017-227591  
(P2017-227591A)

(43) 公開日 平成29年12月28日(2017.12.28)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
<b>GO1C 21/16 (2006.01)</b>	GO1C 21/16	2F105
<b>GO1C 19/00 (2013.01)</b>	GO1C 19/00	Z 2F129

審査請求 未請求 請求項の数 12 O L (全 31 頁)

(21) 出願番号 特願2016-125419 (P2016-125419)  
(22) 出願日 平成28年6月24日 (2016.6.24)

(71) 出願人 000002369  
セイコーエプソン株式会社  
東京都新宿区新宿四丁目1番6号  
(74) 代理人 100090387  
弁理士 布施 行夫  
(74) 代理人 100090398  
弁理士 大淵 美千栄  
(72) 発明者 須藤 泰宏  
長野県諏訪市大和3丁目3番5号 セイコーエプソン株式会社内  
(72) 発明者 中島 克仁  
長野県諏訪市大和3丁目3番5号 セイコーエプソン株式会社内

最終頁に続く

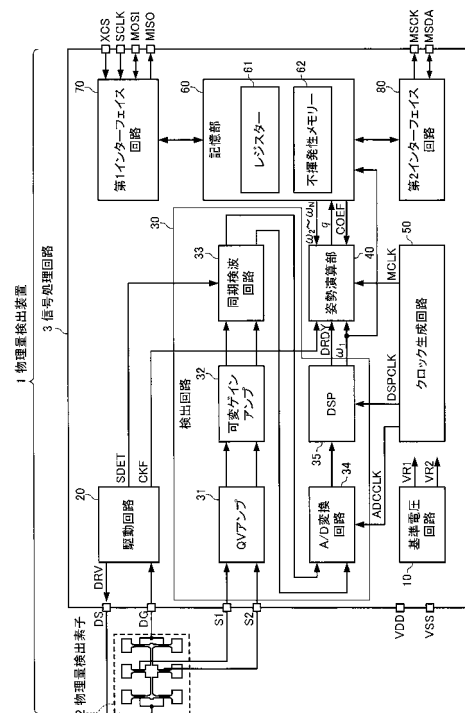
(54) 【発明の名称】 信号処理回路、物理量検出装置、姿勢演算装置、電子機器及び移動体

(57) 【要約】

【課題】従来よりも姿勢演算の精度を向上させることが可能な信号処理回路を提供すること。

【解決手段】物理量検出素子の出力信号に基づいて第1の物理量信号を生成する検出回路と、前記第1の物理量信号を出力可能な第1の端子と、第2～第N(N≧2)の物理量信号を入力可能な第2の端子と、前記第1～第Nの物理量信号に基づいて姿勢演算を実行可能な姿勢演算部と、を含む、信号処理回路。

【選択図】 図1



## 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

物理量検出素子の出力信号に基づいて第 1 の物理量信号を生成する検出回路と、  
前記第 1 の物理量信号を出力可能な第 1 の端子と、  
第 2 ~ 第 N ( N > 2 ) の物理量信号を入力可能な第 2 の端子と、  
前記第 1 ~ 第 N の物理量信号に基づいて姿勢演算を実行可能な姿勢演算部と、を含む、  
信号処理回路。

## 【請求項 2】

前記姿勢演算部は、クォータニオンを用いて前記姿勢演算を行う、請求項 1 に記載の信号処理回路。

10

## 【請求項 3】

前記姿勢演算部は、前記姿勢演算として、前記第 1 ~ 第 N の物理量信号の各々を積分して第 1 ~ 第 N の角度を算出する、請求項 1 に記載の信号処理回路。

## 【請求項 4】

前記姿勢演算部は、回転行列を用いて前記姿勢演算を行う、請求項 1 に記載の信号処理回路。

## 【請求項 5】

前記物理量検出素子を駆動するための駆動信号を生成する駆動回路を含み、  
前記姿勢演算部は、前記駆動信号に基づくクロック信号を用いて前記姿勢演算を行う、  
請求項 1 乃至 4 のいずれか 1 項に記載の信号処理回路。

20

## 【請求項 6】

前記第 1 ~ 第 N の物理量信号と第 1 ~ 第 N の検出軸との対応関係の設定情報を記憶する記憶部を含み、

前記姿勢演算部は、前記設定情報を用いて前記姿勢演算を行う、請求項 1 乃至 5 のいずれか 1 項に記載の信号処理回路。

## 【請求項 7】

前記第 1 ~ 第 N の物理量信号の各々は角速度信号である、請求項 1 乃至 6 のいずれか 1 項に記載の信号処理回路。

## 【請求項 8】

加速度検出素子及び地磁気検出素子の少なくとも一方の出力信号に基づいて、前記姿勢演算部による前記姿勢演算を補正する補正処理部を含む、請求項 6 又は 7 に記載の信号処理回路。

30

## 【請求項 9】

請求項 1 乃至 8 のいずれか 1 項に記載の信号処理回路と、前記物理量検出素子と、を備えている物理量検出装置。

## 【請求項 10】

請求項 9 に記載の物理量検出装置を N 個備え、  
第 1 の前記物理量検出装置が備えている前記信号処理回路の前記第 2 の端子と、第 2 ~ 第 N の前記物理量検出装置の各々が備えている前記信号処理回路の前記第 1 の端子とが電氣的に接続され、

40

前記第 1 の前記物理量検出装置が備えている前記信号処理回路の前記姿勢演算部が前記姿勢演算を行う、姿勢演算装置。

## 【請求項 11】

請求項 10 に記載の姿勢演算装置を備えている、電子機器。

## 【請求項 12】

請求項 10 に記載の姿勢演算装置を備えている、移動体。

## 【発明の詳細な説明】

## 【技術分野】

## 【0001】

本発明は、信号処理回路、物理量検出装置、姿勢演算装置、電子機器及び移動体に関する

50

る。

【背景技術】

【0002】

ロボットや車両等の移動体の姿勢に応じて各種の制御を行うシステムでは、移動体に取り付けられた角速度センサー等の各種のセンサーが検出するデータを用いて移動体の姿勢を演算する姿勢演算装置が用いられる。例えば、特許文献1には、3軸上の角速度、加速度及び地磁気をそれぞれ計測する角速度センサー、加速度センサー及び磁気センサーと、これらのセンサーの計測値を基にクォータニオンの推定値を算出する演算処理部とを備えた小型姿勢センサーが開示されている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0003】

【特許文献1】特開2013-200162号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

しかしながら、従来の姿勢演算装置では、姿勢演算を行う処理部(CPU(Central Processing Unit)等)が、移動体に取り付けられた各種のセンサーと通信して3軸分のデータを取得し、取得した3軸分のデータを用いて姿勢演算を行うため、姿勢演算のレートを3軸分のデータの受信レートよりも高くすることができない。すなわち、従来の姿勢演算装置では、処理部とセンサーとの間の通信レートに依存して姿勢演算の周期が長くなり、姿勢演算の精度を向上させることが難しいという問題がある。

【0005】

本発明は、以上のような問題点に鑑みてなされたものであり、本発明のいくつかの態様によれば、従来よりも姿勢演算の精度を向上させることが可能な信号処理回路、物理量検出装置及び姿勢演算装置を提供することができる。また、本発明のいくつかの態様によれば、当該姿勢演算装置を用いた電子機器及び移動体を提供することができる。

【課題を解決するための手段】

【0006】

本発明は前述の課題の少なくとも一部を解決するためになされたものであり、以下の態様または適用例として実現することが可能である。

【0007】

[適用例1]

本適用例に係る信号処理回路は、物理量検出素子の出力信号に基づいて第1の物理量信号を生成する検出回路と、前記第1の物理量信号を出力可能な第1の端子と、第2～第N(N $\geq$ 2)の物理量信号を入力可能な第2の端子と、前記第1～第Nの物理量信号に基づいて姿勢演算を実行可能な姿勢演算部と、を含む。

【0008】

従来の姿勢演算装置が外部装置と通信して第1～第Nの物理量信号を取得して姿勢演算を実行するのに対して、本適用例に係る信号処理回路は、検出回路が生成した第1の物理量信号及び第2の端子を介して外部から取得した第2～第Nの物理量信号に基づいて姿勢演算を実行する。すなわち、本適用例に係る信号処理回路は、外部装置と通信して第1の物理量信号を取得する必要がなく、また、外部から第2～第Nの物理量信号を取得すると並行して、検出回路が第1の物理量信号を生成することができるので、第1～第Nの物理量信号を取得する時間を短くすることができる。その結果、本適用例に係る信号処理回路によれば、従来よりも姿勢演算の周期が短くなり、姿勢演算の精度を向上させることができる。

【0009】

また、本適用例に係る信号処理回路は、第1の端子から第1の物理量信号を出力可能であるとともに、第2の端子から第2～第Nの物理量信号を入力可能であるので、第2の端

10

20

30

40

50

子から入力される物理量信号を用いて姿勢演算を実行する回路（マスター）として機能することも、姿勢演算に用いられる物理量信号を出力する回路（スレーブ）として機能することもできる。従って、例えば、第1の信号処理回路の第2の端子と第2～第Nの信号処理回路の各々の第1の端子とを電氣的に接続することにより、第1の信号処理回路が第1の物理量信号を生成し、かつ、第2～第Nの信号処理回路から第2～第Nの物理量信号を取得して、姿勢演算を実行する姿勢演算装置を構成することができる。このような姿勢演算装置は、同じ構成のN個の信号処理回路を用いて実現することができるので、開発コストを削減することができる。

【0010】

[適用例2]

上記適用例に係る信号処理回路において、前記姿勢演算部は、クォータニオンを用いて前記姿勢演算を行ってもよい。

10

【0011】

[適用例3]

上記適用例に係る信号処理回路において、前記姿勢演算部は、前記姿勢演算として、前記第1～第Nの物理量信号の各々を積分して第1～第Nの角度を算出してもよい。

【0012】

[適用例4]

上記適用例に係る信号処理回路において、前記姿勢演算部は、回転行列を用いて前記姿勢演算を行ってもよい。

20

【0013】

[適用例5]

上記適用例に係る信号処理回路は、前記物理量検出素子を駆動するための駆動信号を生成する駆動回路を含み、前記姿勢演算部は、前記駆動信号に基づくクロック信号を用いて前記姿勢演算を行ってもよい。

【0014】

本適用例に係る信号処理回路によれば、物理量検出素子を駆動するための駆動信号は、CR発振回路やリングオシレーターなどを用いて発生させたクロック信号よりも周波数偏差が小さいので、駆動信号に基づくクロック信号を用いることにより、姿勢演算の精度を向上させることができる。例えば、相対的に周波数偏差が大きいクロック信号に基づいてサンプリングされた物理量信号を用いた姿勢演算において、相対的に周波数偏差が小さい駆動信号に基づくクロック信号を用いてサンプリング周期（時間積分の周期）を補正することにより、姿勢演算の精度を向上させることができる。

30

【0015】

[適用例6]

上記適用例に係る信号処理回路は、前記第1～第Nの物理量信号と第1～第Nの検出軸との対応関係の設定情報を記憶する記憶部を含み、前記姿勢演算部は、前記設定情報を用いて前記姿勢演算を行ってもよい。

【0016】

本適用例に係る信号処理回路によれば、設定情報を変更することにより、第1～第Nの物理量信号と第1～第Nの検出軸との対応関係を変更することができるので、汎用性の高い信号処理回路を実現することができる。

40

【0017】

[適用例7]

上記適用例に係る信号処理回路において、前記第1～第Nの物理量信号の各々は角速度信号であってもよい。

【0018】

[適用例8]

上記適用例に係る信号処理回路は、加速度検出素子及び地磁気検出素子の少なくとも一方の出力信号に基づいて、前記姿勢演算部による前記姿勢演算を補正する補正処理部を含

50

んでもよい。

【 0 0 1 9 】

本適用例に係る信号処理回路によれば、姿勢演算の誤差（例えば、積分誤差）を加速度検出素子及び地磁気検出素子の少なくとも一方の出力信号を用いて補正することができるので、姿勢演算の精度を向上させることができる。

【 0 0 2 0 】

[ 適用例 9 ]

本適用例に係る物理量検出装置は、上記のいずれかの信号処理回路と、物理量検出素子と、を備えている。

【 0 0 2 1 】

従来の姿勢演算装置が外部装置と通信して第 1 ~ 第 N の物理量信号を取得して姿勢演算を実行するのに対して、本適用例に係る物理量検出装置では、信号処理回路が、検出回路が生成した第 1 の物理量信号及び第 2 の端子を介して外部から取得した第 2 ~ 第 N の物理量信号に基づいて姿勢演算を実行する。すなわち、本適用例に係る物理量検出装置は、外部装置と通信して第 1 の物理量信号を取得する必要がなく、また、外部から第 2 ~ 第 N の物理量信号を取得すると並行して、検出回路が第 1 の物理量信号を生成することができるので、第 1 ~ 第 N の物理量信号を取得する時間を短くすることができる。その結果、本適用例に係る物理量検出装置によれば、従来よりも姿勢演算の周期が短くなり、姿勢演算の精度を向上させることができる。

【 0 0 2 2 】

[ 適用例 1 0 ]

本適用例に係る姿勢演算装置は、上記の物理量検出装置を N 個備え、第 1 の前記物理量検出装置が備えている前記信号処理回路の前記第 2 の端子と、第 2 ~ 第 N の前記物理量検出装置の各々が備えている前記信号処理回路の前記第 1 の端子とが電氣的に接続され、前記第 1 の前記物理量検出装置が備えている前記信号処理回路の前記姿勢演算部が前記姿勢演算を行う。

【 0 0 2 3 】

本適用例によれば、第 1 の物理量検出装置が備える第 1 の信号処理回路が第 1 の物理量信号を生成し、かつ、第 2 の端子を介して、第 2 ~ 第 N の物理量検出装置がそれぞれ備える第 2 ~ 第 N の信号処理回路の第 1 の端子から出力される第 2 ~ 第 N の物理量信号を取得して、姿勢演算を実行する姿勢演算装置を構成することができる。

【 0 0 2 4 】

そして、本適用例に係る姿勢演算装置では、第 1 の物理量検出装置が備える信号処理回路は、外部装置と通信して第 1 の物理量信号を取得する必要がなく、また、第 2 ~ 第 N の物理量検出装置から第 2 ~ 第 N の物理量信号を取得すると並行して、検出回路が第 1 の物理量信号を生成することができるので、第 1 ~ 第 N の物理量信号を取得する時間を短くすることができる。その結果、本適用例に係る姿勢演算装置によれば、従来よりも姿勢演算の周期が短くなり、姿勢演算の精度を向上させることができる。

【 0 0 2 5 】

また、本適用例に係る姿勢演算装置は、同じ構成の N 個の物理量検出装置を用いて実現することができるので、開発コストを削減することができる。

【 0 0 2 6 】

[ 適用例 1 1 ]

本適用例に係る電子機器は、上記の姿勢演算装置を備えている。

【 0 0 2 7 】

[ 適用例 1 2 ]

本適用例に係る移動体は、上記の姿勢演算装置を備えている。

【 0 0 2 8 】

これらの適用例によれば、従来よりも姿勢演算の精度を向上させることが可能な姿勢演算装置を備えているので、例えば、信頼性の高い電子機器及び移動体を実現することも可

10

20

30

40

50

能である。

【図面の簡単な説明】

【0029】

【図1】本実施形態の物理量検出装置の機能ブロック図。

【図2】物理量検出素子の振動片の平面図。

【図3】物理量検出素子の動作について説明するための図。

【図4】物理量検出素子の動作について説明するための図。

【図5】駆動回路の構成例を示す図。

【図6】姿勢演算部の構成例を示す図。

【図7】第1インターフェース回路を介した通信フォーマットの一例を示す図。

10

【図8】第1インターフェース回路を介した通信フォーマットの一例を示す図。

【図9】第1インターフェース回路を介した通信フォーマットの一例を示す図。

【図10】第2インターフェース回路を介した通信フォーマットの一例を示す図。

【図11】第2インターフェース回路を介した通信フォーマットの一例を示す図。

【図12】レジスタのアドレスマップの一例を示す図。

【図13】図12に示した書き込み可能な各アドレスのデータ構成を示す図。

【図14】不揮発性メモリのアドレスマップの一例を示す図。

【図15】図14に示した各アドレスのデータ構成を示す図。

【図16】変形例の物理量検出装置の機能ブロック図。

【図17】本実施形態の姿勢演算装置の構成例を示す図。

20

【図18】姿勢演算のタイムチャートの一例を示す図。

【図19】本実施形態の電子機器の構成の一例を示す機能ブロック図。

【図20】電子機器の一例であるデジタルカメラを模式的に示す斜視図。

【図21】本実施形態の移動体の一例を示す図。

【発明を実施するための形態】

【0030】

以下、本発明の好適な実施形態について図面を用いて詳細に説明する。なお、以下に説明する実施の形態は、特許請求の範囲に記載された本発明の内容を不当に限定するものではない。また以下で説明される構成の全てが本発明の必須構成要件であるとは限らない。

【0031】

30

以下では、物理量として角速度を検出する物理量検出装置（角速度検出装置）を例にとり説明する。

【0032】

1. 物理量検出装置

1-1. 本実施形態

図1は、本実施形態の物理量検出装置の機能ブロック図である。本実施形態の物理量検出装置1は、物理量に関わるアナログ信号を出力する物理量検出素子（センサー素子）2と信号処理回路3を含んで構成されている。

【0033】

物理量検出素子2は、駆動電極と検出電極が配置された振動片を有し、一般的に、振動片のインピーダンスをできるだけ小さくして発振効率を高めるために、振動片は気密性が確保されたパッケージに封止されている。本実施形態では、物理量検出素子2は、T型の2つの駆動振動腕を有するいわゆるダブルT型の振動片を有する。

40

【0034】

図2は、本実施形態の物理量検出素子2の振動片の平面図である。物理量検出素子2は、例えば、Zカットの水晶基板により形成されたダブルT型の振動片を有する。水晶を材料とする振動片は、温度変化に対する共振周波数の変動が極めて小さいので、角速度の検出精度を高めることができるという利点がある。なお、図2におけるX軸、Y軸、Z軸は水晶の軸を示す。

【0035】

50

図2に示すように、物理量検出素子2の振動片は、2つの駆動用基部104a、104bからそれぞれ駆動振動腕101a、101bが+Y軸方向及び-Y軸方向に延出している。駆動振動腕101aの側面及び上面にはそれぞれ駆動電極112及び113が形成されており、駆動振動腕101bの側面及び上面にはそれぞれ駆動電極113及び112が形成されている。駆動電極112、113は、それぞれ、図1に示した信号処理回路3のDS端子、DG端子を介して駆動回路20に接続される。

【0036】

駆動用基部104a、104bは、それぞれ-X軸方向と+X軸方向に延びる連結腕105a、105bを介して矩形状の検出用基部107に接続されている。

【0037】

検出振動腕102は、検出用基部107から+Y軸方向及び-Y軸方向に延出している。検出振動腕102の上面には検出電極114及び115が形成されており、検出振動腕102の側面には共通電極116が形成されている。検出電極114、115は、それぞれ、図1に示した信号処理回路3のS1端子、S2端子を介して検出回路30に接続される。また、共通電極116は接地される。

【0038】

駆動振動腕101a、101bの駆動電極112と駆動電極113との間に駆動信号として交流電圧が与えられると、図3に示すように、駆動振動腕101a、101bは逆圧電効果によって矢印Bのように、2本の駆動振動腕101a、101bの先端が互いに接近と離間を繰り返す屈曲振動(励振振動)をする。

【0039】

この状態で、物理量検出素子2の振動片にZ軸を回転軸とした角速度が加わると、駆動振動腕101a、101bは、矢印Bの屈曲振動の方向とZ軸の両方に垂直な方向にコリオリの力を得る。その結果、図4に示すように、連結腕105a、105bは矢印Cで示すような振動をする。そして、検出振動腕102は、連結腕105a、105bの振動(矢印C)に連動して矢印Dのように屈曲振動をする。このコリオリ力に伴う検出振動腕102の屈曲振動と駆動振動腕101a、101bの屈曲振動(励振振動)とは位相が90°ずれている。

【0040】

ところで、駆動振動腕101a、101bが屈曲振動(励振振動)をするときの振動エネルギーの大きさ又は振動の振幅の大きさが2本の駆動振動腕101a、101bで等しければ、駆動振動腕101a、101bの振動エネルギーのバランスがとれており、物理量検出素子2に角速度がかかっている状態では検出振動腕102は屈曲振動しない。ところが、2つの駆動振動腕101a、101bの振動エネルギーのバランスがくずれると、物理量検出素子2に角速度がかかっている状態でも検出振動腕102に屈曲振動が発生する。この屈曲振動は漏れ振動と呼ばれ、コリオリ力に基づく振動と同様に矢印Dの屈曲振動であるが、駆動信号とは同位相である。

【0041】

そして、圧電効果によってこれらの屈曲振動に基づいた交流電荷が、検出振動腕102の検出電極114、115に発生する。ここで、コリオリ力に基づいて発生する交流電荷は、コリオリ力の大きさ(言い換えれば、物理量検出素子2に加わる角速度の大きさ)に応じて変化する。一方、漏れ振動に基づいて発生する交流電荷は、物理量検出素子2に加わる角速度の大きさに関係せず一定である。

【0042】

なお、駆動振動腕101a、101bの先端には、駆動振動腕101a、101bよりも幅の広い矩形状の錘部103が形成されている。駆動振動腕101a、101bの先端に錘部103を形成することにより、コリオリ力を大きくするとともに、所望の共振周波数を比較的短い振動腕で得ることができる。同様に、検出振動腕102の先端には、検出振動腕102よりも幅の広い錘部106が形成されている。検出振動腕102の先端に錘部106を形成することにより、検出電極114、115に発生する交流電荷を大きくす

10

20

30

40

50

ることができる。

【0043】

以上のようにして、物理量検出素子2は、Z軸を検出軸としてコリオリ力に基づく交流電荷（角速度成分）と、励振振動の漏れ振動に基づく交流電荷（振動漏れ成分）とを検出電極114、115を介して出力する。この物理量検出素子2は、角速度を検出する角速度センサーとして機能する。

【0044】

図1に戻り、本実施形態の信号処理回路3は、基準電圧回路10、駆動回路20、検出回路30、姿勢演算部40、クロック生成回路50、記憶部60、第1インターフェース回路70及び第2インターフェース回路80を含んで構成されており、例えば、1チップの集積回路（IC：Integrated Circuit）であってもよい。なお、本実施形態の信号処理回路3は、これらの要素の一部を省略又は変更し、あるいは他の要素を追加した構成としてもよい。

10

【0045】

基準電圧回路10は、信号処理回路3のVDD端子より供給される電源電圧から基準電圧VR1、VR2などの定電圧や定電流を生成し、駆動回路20や検出回路30に供給する。

【0046】

駆動回路20は、物理量検出素子2を駆動する（励振振動させる）ための駆動信号DRVを生成し、DS端子を介して物理量検出素子2の駆動電極112に供給する。また、駆動回路20は、物理量検出素子2の励振振動により駆動電極113に発生する発振電流がDG端子を介して入力され、この発振電流の振幅が一定に保持されるように駆動信号DRVの振幅レベルをフィードバック制御する。また、駆動回路20は、駆動信号DRVと位相が同じ検波信号SDETを生成し、検出回路30に出力する。

20

【0047】

図5は、駆動回路20の構成例を示す図である。図5に示すように、駆動回路20は、I/V変換回路21、ローパスフィルター22、ハイパスフィルター23、コンパレータ24、全波整流回路25、積分器26、コンパレータ27及びコンパレータ28を含んで構成されている。なお、本実施形態の駆動回路20は、これらの要素の一部を省略又は変更し、あるいは他の要素を追加した構成としてもよい。

30

【0048】

I/V変換回路21、ローパスフィルター22、ハイパスフィルター23、コンパレータ24、全波整流回路25、コンパレータ27及びコンパレータ28は、基準電圧回路10から供給される基準電圧VR1を基準に動作する。基準電圧VR1は、アナロググランド電圧であり、例えば、VDD端子から供給される電源電圧の1/2の電圧である。また、積分器26は、基準電圧回路10から供給される基準電圧VR2を基準に動作する。

【0049】

I/V変換回路21は、物理量検出素子2の励振振動により発生し、DG端子を介して入力された発振電流を交流電圧信号に変換する。

40

【0050】

ローパスフィルター22は、I/V変換回路21の出力信号の高周波成分を除去し、ハイパスフィルター23は、ローパスフィルター22の出力信号の低周波成分（オフセットなど）を除去する。ローパスフィルター22とハイパスフィルター23によってバンドパスフィルターが構成され、物理量検出素子2の励振振動により生じる信号を通過させる。

【0051】

コンパレータ24は、ハイパスフィルター23の出力信号の電圧を基準電圧VR1と比較して2値化信号を生成する。この2値化信号は、ハイレベルの電圧が積分器26の出力電圧であり、ローレベルの電圧がグラウンド電圧（0V）である。そして、コンパレータ24の出力信号は、駆動信号DRVとして、DS端子を介して物理量検出素子2に供

50

給される。駆動信号DRVの周波数（駆動周波数）を物理量検出素子2の共振周波数と一致させることで、物理量検出素子2を安定共振させることができる。

【0052】

全波整流回路25は、I/V変換回路21の出力信号を整流（全波整流）して直流化された信号を出力する。

【0053】

積分器26は、基準電圧VR2を基準に、全波整流回路25の出力電圧を積分して出力する。この積分器26の出力電圧は、全波整流回路25の出力電圧が高いほど（I/V変換回路21の出力信号の振幅が大きいほど）低くなる。従って、共振振幅が大きいほど、コンパレータ24の出力信号（駆動信号DRV）のハイレベルの電圧が低くなり、共振振幅が小さいほど、コンパレータ24の出力信号（駆動信号DRV）のハイレベルの電圧が高くなるので、共振振幅が一定に保持されるように自動利得制御（AGC：Auto Gain Control）がかかる。

10

【0054】

コンパレータ27は、ハイパスフィルタ23の出力信号の電圧を増幅して2値化信号（方形波電圧信号）を生成し、検波信号SDETとして出力する。この検波信号SDETは、ハイレベルの電圧が電源電圧であり、ローレベルの電圧がグラウンド電圧（0V）である。

【0055】

コンパレータ28は、ハイパスフィルタ23の出力信号の電圧を増幅して2値化信号（方形波電圧信号）を生成し、クロック信号CKFとして出力する。このクロック信号CKFは、ハイレベルの電圧が電源電圧であり、ローレベルの電圧がグラウンド電圧（0V）である。

20

【0056】

図1に戻り、検出回路30は、QVアンプ31、可変ゲインアンプ（PGA：Programmable Gain Amplifier）32、同期検波回路33、A/D（Analog to Digital）変換回路34及びDSP（Digital Signal Processor）35を含んで構成されている。なお、本実施形態の検出回路30は、これらの要素の一部を省略又は変更し、あるいは他の要素を追加した構成としてもよい。

【0057】

QVアンプ31は、S1端子を介して、物理量検出素子2の検出電極114から、角速度成分と振動漏れ成分を含む交流電荷（検出電流）が入力され、当該交流電荷に応じた電圧の信号を発生させる。また、QVアンプ31は、S2端子を介して、物理量検出素子2の検出電極115から、角速度成分と振動漏れ成分を含む交流電荷（検出電流）が入力され、当該交流電荷に応じた電圧の信号を発生させる。検出電極114からQVアンプ31に入力される交流電荷と検出電極114からQVアンプ31に入力される交流電荷は互いに逆位相（位相差が180°）であり、QVアンプ31から出力される2つの信号も互いに逆位相である。

30

【0058】

可変ゲインアンプ32は、QVアンプ31から出力される2つの信号をそれぞれ増幅又は減衰させて、所望の電圧レベルの2つの信号を出力する。可変ゲインアンプ32から出力される2つの信号は、互いに逆位相である。

40

【0059】

同期検波回路33は、駆動回路20が出力する検波信号SDETを用いて、可変ゲインアンプ32から出力される2つの信号（被検波信号）のそれぞれに含まれる角速度成分を同期検波する。同期検波回路33は、例えば、検波信号SDETがハイレベルの時は可変ゲインアンプ32から出力される2つの信号をそのまま出力し、検波信号SDETがローレベルの時は可変ゲインアンプ32から出力される2つの信号をそれぞれ基準電圧VR1に対して反転した2つの信号を出力する回路として構成することができる。

【0060】

50

A/D変換回路34は、クロック生成回路50が生成するクロック信号ADCLKに同期して動作し、同期検波回路33が出力する2つの信号の差信号の電圧値をデジタルデータ(角速度データ)に変換して出力する。このA/D変換回路34から出力されるデジタルデータは、所定のレート(例えば、1.5kHz)で順次更新される。A/D変換回路34は、例えば、デルタシグマ型や逐次比較型のA/D変換回路であってもよい。

【0061】

DSP35は、クロック生成回路50が生成するクロック信号DSPCLKに同期して動作し、A/D変換回路34から出力されるデジタルデータ(角速度データ)をフィルタリングする処理等を行う。DSP35による高速なデジタルフィルタリング処理等を実現するため、クロック信号DSPCLKの周波数は、A/D変換回路34の出力レート(例えば、1.5kHz)よりも十分高く、例えば、400kHz程度である。このDSP35から出力されるデジタルデータの値は、物理量検出素子2が検出した角速度 $\omega_1$ を表し、所定のレート(例えば、1.5kHz)で順次更新される。また、DSP35は、当該デジタルデータの値 $\omega_1$ が更新されたことを示すフラグ信号DRDYを出力する。

10

【0062】

そして、DSP35から出力されるデジタルデータが検出回路30の出力データとなる。このように、検出回路30は、物理量検出素子2の出力信号に基づいて第1の物理量信号としてのデジタルデータ(角速度データ)を生成して出力する回路である。

【0063】

姿勢演算部40は、第1~第N(N $\geq$ 2)の物理量信号に基づいて姿勢演算を実行可能である。本実施形態では、第1~第Nの物理量信号は角速度信号であり、姿勢演算部40は、検出回路30(DSP35)から第1の物理量信号としてのデジタルデータ(角速度 $\omega_1$ )を取得し、記憶部60(レジスタ61)から第2~第Nの物理量信号としてのN-1個のデジタルデータ(角速度 $\omega_2 \sim \omega_N$ )を取得する。そして、姿勢演算部40は、記憶部60(不揮発性メモリ62)に記憶されている、第1~第Nの物理量信号と第1~第Nの検出軸との対応関係の設定情報を用いて、取得した第1~第Nの物理量信号(角速度 $\omega_2 \sim \omega_N$ )の各々の検出軸を認識し、姿勢演算を行う。

20

【0064】

本実施形態では、姿勢演算部40は、クォータニオンを用いて姿勢演算を行う。あるいは、姿勢演算部40は、姿勢演算として、第1~第Nの物理量信号の各々を積分して第1~第Nの角度を算出する。姿勢演算部40が、クォータニオンを用いて姿勢演算を行うか、姿勢演算として第1~第Nの角度を算出するかは、記憶部60(不揮発性メモリ62)に記憶されている設定情報により決定される。また、本実施形態では、姿勢演算部40による姿勢演算を許可又は禁止に設定することが可能であり、姿勢演算部40は、許可に設定された場合に、クロック生成回路50が生成するクロック信号MCLKに同期して姿勢演算を行い、禁止に設定された場合は姿勢演算を行わない。

30

【0065】

例えば、姿勢演算部40は、第1~第3(N=3のケース)の物理量信号に基づいて3次元の姿勢演算を行うのであれば、検出回路30から、第1の物理量信号として角速度 $\omega_1$ を表すデジタルデータ(角速度データ)を所定の周期 $t$ (例えば、1/1.5kHz=0.67ms)で順次取得する。また、姿勢演算部40は、記憶部60から、第2の物理量信号として角速度 $\omega_2$ を表すデジタルデータ(角速度データ)を所定の周期 $t$ (例えば、0.67ms)で順次取得する。さらに、姿勢演算部40は、記憶部60から、第3の物理量信号として角速度 $\omega_3$ を表すデジタルデータ(角速度データ)を周期 $t$ (例えば、0.67ms)で順次取得する。また、姿勢演算部40は、記憶部60(不揮発性メモリ62)に記憶されている、第1~第3の物理量信号と、第1~第3の検出軸として互いに直交するx軸、y軸、z軸との対応関係の設定情報を用いて、例えば、第1の物理量信号としてのデジタルデータ(角速度 $\omega_1$ )をx軸回りの角速度データ(角速度 $\omega_x$ )と認識し、第2の物理量信号としてのデジタルデータ(角速度 $\omega_2$ )をy軸回りの角速度データ(角速度 $\omega_y$ )と認識し、第3の物理量信号としてのデジタルデータ(角速度

40

50

3) を z 軸回りの角速度データ (角速度  $\omega_z$ ) と認識する。そして、姿勢演算部 40 は、x 軸回りの角速度  $\omega_x$  (=  $\omega_1$ )、y 軸回りの角速度  $\omega_y$  (=  $\omega_2$ ) 及び z 軸回りの角速度  $\omega_z$  (=  $\omega_3$ ) に基づき、クォータニオンを用いて姿勢演算を行うことができる。例えば、姿勢演算部 40 は、3 軸分の角速度  $\omega_x$ 、 $\omega_y$ 、 $\omega_z$  を取得する毎に、式 (1) に従ってクォータニオン q を更新し、更新したクォータニオン q を式 (2) に従って正規化することにより、姿勢演算を行う。

【0066】

【数 1】

$$\tilde{q} = \begin{pmatrix} \tilde{q}_w \\ \tilde{q}_x \\ \tilde{q}_y \\ \tilde{q}_z \end{pmatrix} = \frac{1}{2} \begin{pmatrix} -q_x & -q_y & -q_z \\ q_w & -q_z & q_y \\ q_z & q_w & -q_x \\ -q_y & q_x & q_w \end{pmatrix} \begin{pmatrix} w_x \\ w_y \\ w_z \end{pmatrix} \Delta t + \begin{pmatrix} q_w \\ q_x \\ q_y \\ q_z \end{pmatrix} \dots (1)$$

【0067】

【数 2】

$$q = \begin{pmatrix} q_w \\ q_x \\ q_y \\ q_z \end{pmatrix} = \frac{\tilde{q}}{\sqrt{\tilde{q}_w^2 + \tilde{q}_x^2 + \tilde{q}_y^2 + \tilde{q}_z^2}} \dots (2)$$

【0068】

あるいは、姿勢演算部 40 は、姿勢演算として、x 軸回りの角速度  $\omega_x$  (=  $\omega_1$ ) を積分して x 軸の角度を算出し、y 軸回りの角速度  $\omega_y$  (=  $\omega_2$ ) を積分して y 軸の角度を算出し、z 軸回りの角速度  $\omega_z$  (=  $\omega_3$ ) を積分して z 軸の角度を算出することもできる。

【0069】

ところで、本実施形態では、クロック信号 ADCCLK、クロック信号 DSPCLK 及びクロック信号 MCLK は、クロック生成回路 50 において、CR 発振器やリングオシレータ等の発振回路 (不図示) の出力信号に基づいて生成されるため、プロセス変動や環境変動により、物理量検出装置 1 の動作保証温度範囲 (例えば、-40 ~ +85) において、例えば  $\pm 1\%$  程度の周波数偏差を有する。そのため、クロック信号 ADCCLK 及びクロック信号 DSPCLK に同期して動作する検出回路 30 から出力されるデジタルデータの更新周期、すなわち、式 (1) の  $t$  が  $\pm 1\%$  程度の誤差を有するため、姿勢演算の結果も  $\pm 1\%$  程度の誤差を有することになる。一方、物理量検出素子 2 は、良好な周波数温度特性を有する水晶等を材料として構成されるため、励振振動の周波数、すなわち、駆動信号 DRV の周波数の偏差は極めて小さく、例えば  $\pm 0.01\%$  程度である。そこで、本実施形態では、姿勢演算部 40 は、駆動信号 DRV に基づくクロック信号 CKF を用いて姿勢演算を行う。

【0070】

図 6 は、クォータニオンを用いて姿勢演算を行う姿勢演算部 40 の構成例を示す図である。図 6 に示すように、姿勢演算部 40 は、D フリップフロップ 41A、41B、NOT 回路 42、NOR 回路 43、カウンタ 44、乗算器 45A、45B、変換部 46、行列演算部 47、加算器 48 及び正規化部 49 を含んで構成されている。なお、図 6 では、姿勢演算の許可/禁止を制御するための構成は省略されている。

【0071】

D フリップフロップ 41A は、入力端子 (D) にクロック信号 CKF が入力され、クロック端子にクロック信号 MCLK が入力される。D フリップフロップ 41B は、入力端子

(D)にDフリップフロップ41Aの出力端子(Q)から出力される信号が入力され、クロック端子にクロック信号MCLKが入力される。クロック信号CKFは、クロック信号MCLKと非同期であるため、Dフリップフロップ41A、41Bによってクロック信号MCLKに同期化される。Dフリップフロップ41Cは、入力端子(D)にDフリップフロップ41Bの出力端子(Q)から出力される信号(クロック信号MCLKに同期化されたクロック信号CKF)が入力され、クロック端子にクロック信号MCLKが入力される。Dフリップフロップ41Cの出力端子(Q)からは、フリップフロップ41Bの出力信号をクロック信号MCLKの1周期分遅らせた信号が出力される。

【0072】

NOT回路42は、Dフリップフロップ41Bの出力信号の電圧レベル(ローレベル/ハイレベル)を論理反転した信号を出力する。NOR回路43は、Dフリップフロップ41Cの出力信号とNOT回路42の出力信号の一方又は両方がハイレベルのときはローレベルとなり、Dフリップフロップ41Cの出力信号とNOT回路42の出力信号がともにローレベルのときにハイレベルとなる信号を出力する。すなわち、NOR回路43の出力信号には、クロック信号CKFがローレベルからハイレベルに変化する(立ち上がる)毎に、クロック信号MCLKの1周期分だけハイレベルとなる複数のパルスが含まれる。

10

【0073】

カウンタ44は、フラグ信号DRDYがローレベルのときに、NOR回路43の出力信号のパルス数をカウントしてカウント値を出力し、フラグ信号DRDYがハイレベルになるとカウント値を0にリセットする。このカウント値は、クロック信号CKFとフラグ信号DRDYとの周波数比を表している。

20

【0074】

乗算器45Aは、カウンタ44が出力するカウント値と係数値COEFとの積を計算して出力する。係数値COEFは、記憶部60(不揮発性メモリ62)に記憶されており、式(3)で計算される定数値である。

【0075】

【数3】

$$COEF = \frac{\pi}{GS \times 180 \times FREQ \times 2} \dots (3)$$

30

【0076】

式(3)において、GSは、検出回路30(GSは物理量検出素子2)の検出感度(単位: °/s/LSB)である。また、FREQは、クロック信号CKFの周波数(単位はHz)である。

【0077】

変換部46は、記憶部60(不揮発性メモリ62)に記憶されている、第1~第3の物理量信号とx軸、y軸、z軸との対応関係の設定情報に基づいて、3軸の角速度データ(角速度 $\omega_1$ ,  $\omega_2$ ,  $\omega_3$ )をx軸回りの角速度 $\omega_x$ 、y軸回りの角速度 $\omega_y$ 及びz軸回りの角速度 $\omega_z$ に変換して出力する。

40

【0078】

行列演算部47は、クロック信号MCLKに同期して、x軸回りの角速度 $\omega_x$ 、y軸回りの角速度及びz軸回りの角速度 $\omega_z$ (いずれも単位はLSB)と最新のクォータニオンq(各要素 $q_w$ ,  $q_x$ ,  $q_y$ ,  $q_z$ の単位はラジアン)とを用いて、式(1)の右辺第1項中の行列積の部分を計算して出力する。

【0079】

乗算器45Bは、行列演算部47の出力値と乗算器45Aの出力値との積を計算して出力する。この乗算器45Bの出力値は、式(1)の右辺第1項の計算値に相当する。

【0080】

加算器48は、乗算器45Bの出力値と最新のクォータニオンqとの和を計算して出力

50

する。この加算器 48 の出力値は、式 (1) の計算値に相当する。

【0081】

正規化部 49 は、クロック信号 MCLK に同期して、加算器 48 の出力値を、その大きさが 1 になるように正規化して出力する。この正規化部 49 の出力値は、式 (2) の計算値に相当し、最新のクォータニオン  $q$  となる。

【0082】

このように構成された姿勢演算部 40 は、クロック信号 CKF (例えば、周波数偏差が  $\pm 0.01\%$ ) とフラグ信号 DRDY (例えば、周波数偏差が  $\pm 1\%$ ) との周波数比を求め、当該周波数比を用いて  $t$  を補正し、式 (1) 及び式 (2) に従ってクォータニオン  $q$  を計算するので、姿勢演算の精度が向上する。

10

【0083】

図 1 に戻り、記憶部 60 は、レジスタ 61 及び不揮発性メモリ 62 を有している。レジスタ 61 には、第 1 インターフェース回路 70 及び第 2 インターフェース回路 80 を介した外部装置 (第 1 の外部装置) との通信において使用されるアドレスやデータの情報が設定される。また、レジスタ 61 には、第 1 インターフェース回路 70 及び第 2 インターフェース回路 80 を介した外部装置 (第 2 ~ 第 N の外部装置) との通信によって取得したデータ (例えば、第 2 ~ 第 N の物理量信号としてのデジタルデータ) や姿勢演算部 40 による姿勢演算の結果 (例えば、クォータニオン  $q$ ) 等が記憶される。

【0084】

不揮発性メモリ 62 には、駆動回路 20 や検出回路 30 に対する各種のトリミングデータ (調整データや補正データ) や第 1 インターフェース回路 70 及び第 2 インターフェース回路 80 を介した外部との通信を成立させるための各種の情報が記憶されている。不揮発性メモリ 62 は、例えば、MONOS (Metal Oxide Nitride Oxide Silicon) 型メモリや EEPROM (Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory) として構成することができる。

20

【0085】

また、信号処理回路 3 の電源投入時 (VDD 端子の電圧が 0V から所望の電圧まで立ち上がる時) に、不揮発性メモリ 62 に記憶されている各種のトリミングデータがレジスタ 61 に転送されて保持され、レジスタ 61 に保持された各種のトリミングデータが駆動回路 20 や検出回路 30 に供給される。

30

【0086】

また、前述の通り、本実施形態では、記憶部 60 (不揮発性メモリ 62) には、第 1 ~ 第 N の物理量信号と第 1 ~ 第 N の検出軸との対応関係の設定情報が記憶されており、姿勢演算部 40 は、当該設定情報を用いて姿勢演算を行う。

【0087】

第 1 インターフェース回路 70 は、XCS 端子、SCLK 端子、MOSI 端子及び MISO 端子と電氣的に接続されており、これらの端子を介して第 1 の外部装置と通信するための回路である。第 1 インターフェース回路 70 を介した通信では、第 1 の外部装置がマスターとして機能し、物理量検出装置 1 (信号処理回路 3) がスレーブとして機能する。そして、第 1 の外部装置は、第 1 インターフェース回路 70 を介して、レジスタ 61 の所定のアドレスにデータを書き込むことや、レジスタ 61 の所定のアドレスからデータを読み出すことや、各種のコマンドを送信して信号処理回路 3 の動作を制御することができる。

40

【0088】

本実施形態では、第 1 インターフェース回路 70 は、SPI (Serial Peripheral Interface) インターフェース回路と I<sup>2</sup>C (Inter-Integrated Circuit) インターフェース回路のいずれか一方として機能する。例えば、第 1 インターフェース回路 70 は、XCS 端子がローレベルのときは、SPI インターフェース回路として機能し、SCLK 端子を介してクロック信号が入力され、MOSI 端子を介してデータ信号が入力され、MISO 端子を介してデータ信号が出力される。また、第 1 インターフェース回路 70 は、XCS

50

端子がハイレベルのときは、 $I^2C$ インターフェース回路として機能し、SCLK端子を介してクロック信号が入力され、MOSI端子を介してデータ信号が入出力される。図7～図9に、第1インターフェース回路70がSPIインターフェース回路として機能するときの、第1インターフェース回路70を介した通信フォーマット(XCS端子、SCLK端子、MOSI端子及びMISO端子の信号波形)の一例を示す。図7は、第1の外部装置が、レジスタ61の所定のアドレスにデータを書き込むときの通信フォーマットである。また、図8は、第1の外部装置が、レジスタ61の所定のアドレスからデータを読み出すときの通信フォーマットである。また、図9は、第1の外部装置が所定のコマンドを送信するときの通信フォーマットである。図7～図9において、Rは読み出しビット、Wは書き込みビット、A6～A0は7ビットアドレス、D7～D0は8ビットデータである。

10

#### 【0089】

第2インターフェース回路80は、MSCK端子及びMSDA端子と電気的に接続されており、これらの端子を介して第2～第Nの外部装置と通信するための回路である。第2インターフェース回路80を介した通信では、物理量検出装置1(信号処理回路3)がマスターとして機能し、第2～第Nの外部装置がスレーブとして機能する。そして、物理量検出装置1(信号処理回路3)は、第2インターフェース回路80を介して、第2～第Nの外部装置が有する記憶部(レジスタ)の所定のアドレスにデータを書き込むことや、第2～第Nの外部装置が有する記憶部(レジスタ)の所定のアドレスからデータを読み出すことができる。

20

#### 【0090】

本実施形態では、第2インターフェース回路80は、 $I^2C$ インターフェース回路として機能し、MSCK端子を介してクロック信号が出力され、MSDA端子を介してデータ信号が入出力される。図10及び図11に、第2インターフェース回路80を介した通信フォーマット(MSCK端子及びMSDA端子の信号波形)の一例を示す。図10は、物理量検出装置1(信号処理回路3)が、第2～第Nの外部装置が有する記憶部(レジスタ)の所定のアドレスにデータを書き込むときの信号波形である。また、図11は、物理量検出装置1(信号処理回路3)が、第2～第Nの外部装置が有する記憶部(レジスタ)の所定のアドレスからデータを読み出すときの信号波形である。図10及び図11において、Startはスタートコンディション、Stopはストップコンディション、Restartはリスタートコンディション、ACKはアクノリッジビット、NACKはノンアクノリッジビット、Rは読み出しビット、Wは書き込みビット、A7～A0は8ビットのレジスタアドレス(MI2CRAD[7:0])、A6～A0は7ビットのスレーブアドレス(MI2CSAD[6:0])、D7～D0は7ビットの書き込みデータ又は読み出しデータである。

30

#### 【0091】

第1インターフェース回路70を介した第1の外部装置との間の通信は、レジスタ61に記憶される各種の情報に基づいて行われる。また、第2インターフェース回路80を介した第2～第Nの外部装置との間の通信は、レジスタ61及び不揮発性メモリ62に記憶される各種の情報に基づいて行われる。

40

#### 【0092】

図12は、レジスタ61のアドレスマップの一例を示す図である。図12では、アドレスマップの一部のみが示されており、「R/W」の欄において、「R」は読み出しのみ可能であり、「R/W」は読み出し及び書き込みが可能であり、「W(C)」はコマンドであることを表している。また、図13は、図12に示した書き込み可能な各アドレスのデータ構成を示す図である。

#### 【0093】

第1の外部装置は、例えば、図8に示した通信フォーマットに従い、第1インターフェース回路70を介して、レジスタ61のアドレス0x0A(レジスタRDGR)から第1の物理量信号としてのデジタルデータ(角速度データ)を読み出すことができる。こ

50

のように、物理量検出装置 1 ( 信号処理回路 3 ) は、第 1 の外部装置からの読み出し要求に応じて、M I S O 端子 ( 「第 1 の端子」の一例 ) から第 1 の物理量信号としてのデジタルデータ ( 角速度データ ) を出力可能に構成されている。なお、第 1 インターフェース回路 7 0 が I<sup>2</sup>C インターフェース回路として機能する場合は、第 1 の外部装置からの読み出し要求に応じて、M O S I 端子 ( 「第 1 の端子」の他の一例 ) から第 1 の物理量信号としてのデジタルデータ ( 角速度データ ) が出力される。

**【 0 0 9 4 】**

また、第 1 の外部装置は、例えば、図 7 に示した通信フォーマットに従い、第 1 インターフェース回路 7 0 を介して、レジスター 6 1 のアドレス 0 x 1 1 ( レジスター M C T L ) に姿勢演算部 4 0 や第 2 インターフェース回路 8 0 の設定情報を書き込むことができる。図 1 3 に示すように、アドレス 0 x 1 1 ( レジスター M C T L ) において、ビット 2 は、第 2 インターフェース回路 8 0 のマニュアル動作を書き込み又は読み出しに設定するためのビットであり、ビット 1 は、第 2 インターフェース回路 8 0 のマニュアル動作の許可又は禁止を設定するためのビットであり、ビット 0 は、姿勢演算部 4 0 による姿勢演算の許可又は禁止を設定するためのビットである。さらに、第 1 の外部装置は、例えば、図 8 に示した通信フォーマットに従い、第 1 インターフェース回路 7 0 を介して、レジスター 6 1 のアドレス 0 x 1 1 ( レジスター M C T L ) から当該設定情報を読み出すこともできる。

10

**【 0 0 9 5 】**

また、第 1 の外部装置は、例えば、図 8 に示した通信フォーマットに従い、第 1 インターフェース回路 7 0 を介して、レジスター 6 1 のアドレス 0 x 1 2 ( レジスター R D A G ) から姿勢演算部 4 0 の演算結果情報 ( 3 軸角度データ又は姿勢データ ( 例えば、クォータニオン q ) ) を読み出すことができる。

20

**【 0 0 9 6 】**

また、第 1 の外部装置は、例えば、図 9 に示した通信フォーマットに従い、第 1 インターフェース回路 7 0 に、レジスター 6 1 のアドレス 0 x 1 3 ( レジスター A G R S ) を指定して、姿勢演算部 4 0 の演算結果情報 ( 3 軸角度データ又は姿勢データ ) をリセットするためのコマンドを送信することができる。第 1 インターフェース回路 7 0 は、当該コマンドを受信すると、姿勢演算部 4 0 の演算結果情報及び姿勢演算部 4 0 の動作を初期化する。

30

**【 0 0 9 7 】**

また、第 1 の外部装置は、例えば、図 9 に示した通信フォーマットに従い、第 1 インターフェース回路 7 0 に、レジスター 6 1 のアドレス 0 x 1 4 ( レジスター M I 2 C S T ) を指定して、第 2 インターフェース回路 8 0 のマニュアル動作を開始させるためのコマンドを送信することができる。

**【 0 0 9 8 】**

また、第 1 の外部装置は、例えば、図 7 に示した通信フォーマットに従い、第 1 インターフェース回路 7 0 を介して、レジスター 6 1 のアドレス 0 x 1 5 ( レジスター M I 2 C S A D ) に、第 2 インターフェース回路 8 0 のマニュアル動作による通信で用いられるスレーブアドレス ( 図 1 0 及び図 1 1 のスレーブアドレス M I 2 C S A D [ 6 : 0 ] ) を書き込むことができる。図 1 3 に示すように、アドレス 0 x 1 5 ( レジスター M I 2 C S A D ) において、ビット 6 ~ 0 は、7 ビットのスレーブアドレスを設定するためのビットである。さらに、第 1 の外部装置は、例えば、図 8 に示した通信フォーマットに従い、第 1 インターフェース回路 7 0 を介して、レジスター 6 1 のアドレス 0 x 1 5 ( レジスター M I 2 C S A D ) から当該スレーブアドレスを読み出すこともできる。

40

**【 0 0 9 9 】**

また、第 1 の外部装置は、例えば、図 7 に示した通信フォーマットに従い、第 1 インターフェース回路 7 0 を介して、レジスター 6 1 のアドレス 0 x 1 6 ( レジスター M I 2 C R A D ) に、第 2 インターフェース回路 8 0 のマニュアル動作による通信で用いられるレジスターアドレス ( 図 1 0 及び図 1 1 のレジスターアドレス M I 2 C R A D [ 7 : 0 ] )

50

を書き込むことができる。図 13 に示すように、アドレス  $0 \times 16$  (レジスタ-MI2CRAD) において、ビット 7 ~ 0 は、8 ビットのレジスタアドレスを設定するためのビットである。さらに、第 1 の外部装置は、例えば、図 8 に示した通信フォーマットに従い、第 1 インターフェース回路 70 を介して、レジスタ 61 のアドレス  $0 \times 16$  (レジスタ-MI2CRAD) から当該レジスタアドレスを読み出すこともできる。

#### 【0100】

また、第 1 の外部装置は、例えば、図 7 に示した通信フォーマットに従い、第 1 インターフェース回路 70 を介して、レジスタ 61 のアドレス  $0 \times 17$  (レジスタ-MI2CDAD) に、第 2 インターフェース回路 80 のマニュアル動作による通信で用いられる書き込みデータ (図 10 の書き込みデータ MI2CDAD [7 : 0]) を書き込むことができる。図 13 に示すように、アドレス  $0 \times 17$  (レジスタ-MI2CDAD) において、ビット 7 ~ 0 は、8 ビットの書き込みデータを設定するためのビットである。さらに、第 1 の外部装置は、例えば、図 8 に示した通信フォーマットに従い、第 1 インターフェース回路 70 を介して、レジスタ 61 のアドレス  $0 \times 17$  (レジスタ-MI2CDAD) から当該書き込みデータを読み出すこともできる。

10

#### 【0101】

また、第 1 の外部装置は、例えば、図 8 に示した通信フォーマットに従い、第 1 インターフェース回路 70 を介して、レジスタ 61 のアドレス  $0 \times 18$  (レジスタ-MI2CRD) から、第 2 インターフェース回路 80 のマニュアル動作による通信で第 2 ~ 第 N の外部装置から取得した読み出しデータを読み出すことができる。

20

#### 【0102】

図 14 は、不揮発性メモリ 62 のアドレスマップの一例を示す図である。図 14 では、アドレスマップの一部のみが示されている。また、図 15 は、図 14 に示した各アドレスのデータ構成を示す図である。なお、図 14 及び図 15 は、信号処理回路 3 が、第 2 インターフェース回路 80 を介して、第 2 の外部装置及び第 3 の外部装置と通信する場合 (N = 3 のケース) の例である。

#### 【0103】

図 14 及び図 15 に示すように、不揮発性メモリ 62 において、アドレス  $0 \times 01$  (メモリ-MI2CSA1) のビット 6 ~ 0 には、第 2 の外部装置のスレーブアドレスが記憶され、アドレス  $0 \times 02$  (メモリ-MI2CSA2) のビット 6 ~ 0 には、第 3 の外部装置のスレーブアドレスが記憶されている。また、不揮発性メモリ 62 において、アドレス  $0 \times 03$  (メモリ-MI2CRA1) のビット 7 ~ 0 には、第 2 の外部装置のレジスタにおいて、第 2 の物理量信号としてのデジタルデータ (角速度  $\omega_2$ ) が記憶されるレジスタアドレスが記憶され、アドレス  $0 \times 04$  (メモリ-MI2CRA2) のビット 7 ~ 0 には、第 3 の外部装置のレジスタにおいて、第 3 の物理量信号としてのデジタルデータ (角速度  $\omega_3$ ) が記憶されるレジスタアドレスが記憶されている。

30

#### 【0104】

物理量検出装置 1 (信号処理回路 3) は、レジスタ 61 のアドレス  $0 \times 11$  のビット 0 (MCTL [0]) が 1 (姿勢演算部 40 による姿勢演算の許可) に設定されている場合、図 11 に示した通信フォーマットに従い、スレーブアドレス MI2CSAD [6 : 0] としてアドレス  $0 \times 01$  に記憶されているスレーブアドレスを用い、レジスタアドレス MI2CRAD [7 : 0] としてアドレス  $0 \times 03$  に記憶されているレジスタアドレスを用いることにより、第 2 インターフェース回路 80 を介して、第 2 の外部装置から、読み出しデータ MI2CRD [6 : 0] として第 2 の物理量信号としてのデジタルデータ (角速度  $\omega_2$ ) を読み出す。また、物理量検出装置 1 (信号処理回路 3) は、図 11 に示した通信フォーマットに従い、スレーブアドレス MI2CSAD [6 : 0] としてアドレス  $0 \times 02$  に記憶されているスレーブアドレスを用い、レジスタアドレス MI2CRAD [7 : 0] としてアドレス  $0 \times 04$  に記憶されているレジスタアドレスを用いることにより、第 2 インターフェース回路 80 を介して、第 3 の外部装置から、読み出しデータ MI2CRD [6 : 0] として第 3 の物理量信号としてのデジタルデータ (角速度  $\omega_3$ )

40

50

を読み出す。このように、物理量検出装置 1 ( 信号処理回路 3 ) は、MSDA 端子 ( 「第 2 の端子」の一例 ) から第 2 ~ 第 N の物理量信号としてのデジタルデータ ( 角速度データ ) に構成されている。

【 0 1 0 5 】

また、不揮発性メモリー 6 2 において、アドレス  $0 \times 0 4$  ( メモリー AXISCTL ) のビット 2 は、姿勢演算部 4 0 による姿勢演算として角度演算とクォータニオン演算のいずれか一方を設定するためのビットである。姿勢演算部 4 0 は、アドレス  $0 \times 0 4$  のビット 2 が 0 であれば角度演算を行い、アドレス  $0 \times 0 4$  のビット 2 が 1 であればクォータニオン演算を行う。

【 0 1 0 6 】

また、不揮発性メモリー 6 2 において、アドレス  $0 \times 0 4$  ( メモリー AXISCTL ) のビット 1 ~ 0 は、第 1 の物理量信号としてのデジタルデータ ( 角速度  $\omega_1$  ) の検出軸 ( 物理量検出素子 2 の検出軸 ) を設定するためのビットである。姿勢演算部 4 0 は、アドレス  $0 \times 0 4$  のビット 1 ~ 0 が 0 であれば、第 1 の物理量信号としてのデジタルデータ ( 角速度  $\omega_1$  ) を x 軸回りの角速度データ ( 角速度  $\omega_x$  ) と認識する。この場合、姿勢演算部 4 0 は、第 2 の物理量信号としてのデジタルデータ ( 角速度  $\omega_2$  ) を y 軸回りの角速度データ ( 角速度  $\omega_y$  ) と認識し、第 3 の物理量信号としてのデジタルデータ ( 角速度  $\omega_3$  ) を z 軸回りの角速度データ ( 角速度  $\omega_z$  ) と認識する。また、姿勢演算部 4 0 は、アドレス  $0 \times 0 4$  のビット 1 ~ 0 が 1 であれば、第 1 の物理量信号としてのデジタルデータ ( 角速度  $\omega_1$  ) を y 軸回りの角速度データ ( 角速度  $\omega_y$  ) と認識する。この場合、姿勢演算部 4 0 は、第 2 の物理量信号としてのデジタルデータ ( 角速度  $\omega_2$  ) を x 軸回りの角速度データ ( 角速度  $\omega_x$  ) と認識し、第 3 の物理量信号としてのデジタルデータ ( 角速度  $\omega_3$  ) を z 軸回りの角速度データ ( 角速度  $\omega_z$  ) と認識する。また、姿勢演算部 4 0 は、アドレス  $0 \times 0 4$  のビット 1 ~ 0 が 2 であれば、第 1 の物理量信号としてのデジタルデータ ( 角速度  $\omega_1$  ) を z 軸回りの角速度データ ( 角速度  $\omega_z$  ) と認識する。この場合、姿勢演算部 4 0 は、第 2 の物理量信号としてのデジタルデータ ( 角速度  $\omega_2$  ) を x 軸回りの角速度データ ( 角速度  $\omega_x$  ) と認識し、第 3 の物理量信号としてのデジタルデータ ( 角速度  $\omega_3$  ) を y 軸回りの角速度データ ( 角速度  $\omega_y$  ) と認識する。このように、不揮発性メモリー 6 2 において、アドレス  $0 \times 0 4$  のビット 1 ~ 0 は、第 1 ~ 第 3 の物理量信号と x 軸、y 軸、z 軸との対応関係の設定情報である。

【 0 1 0 7 】

以上に説明したように、従来の姿勢演算装置が外部装置と通信して第 1 ~ 第 N の物理量信号を取得して姿勢演算を実行するのに対して、本実施形態の物理量検出装置 1 ( 信号処理回路 3 ) は、検出回路 3 0 が出力する第 1 の物理量信号及び MSDA 端子を介して外部装置から取得した第 2 ~ 第 N の物理量信号に基づいて姿勢演算を実行する。すなわち、本実施形態の物理量検出装置 1 ( 信号処理回路 3 ) では、検出回路 3 0 が第 1 の物理量信号を出力するので、外部装置と通信して第 1 の物理量信号を取得する必要がなく、また、外部装置から第 2 ~ 第 N の物理量信号を取得すると並行して、検出回路 3 0 が第 1 の物理量信号を生成することができるので、第 1 ~ 第 N の物理量信号を取得する時間を短くすることができる。その結果、本実施形態の物理量検出装置 1 ( 信号処理回路 3 ) によれば、従来よりも姿勢演算の周期が短くなり、姿勢演算の精度を向上させることができる。

【 0 1 0 8 】

また、本実施形態の物理量検出装置 1 では、信号処理回路 3 は、MISO 端子あるいは MOSI 端子から第 1 の物理量信号を出力可能であるとともに、MSDA 端子から第 2 ~ 第 N の物理量信号を入力可能であるので、MSDA 端子から入力される物理量信号を用いて姿勢演算を実行する回路 ( マスター ) として機能することも、姿勢演算に用いられる物理量信号を出力する回路 ( スレーブ ) として機能することもできる。従って、例えば、第 1 の信号処理回路 3 の MSDA 端子と第 2 ~ 第 N の信号処理回路 3 の各々の MOSI 端子とを電氣的に接続することにより、第 1 の信号処理回路 3 が第 1 の物理量信号を生成し、かつ、第 2 ~ 第 N の信号処理回路 3 から第 2 ~ 第 N の物理量信号を取得して、姿勢演算を

10

20

30

40

50

実行する姿勢演算装置を構成することができる。このような姿勢演算装置は、同じ構成の N 個の信号処理回路 3 を用いて実現することができるので、開発コストを削減することができる。

【0109】

また、本実施形態の物理量検出装置 1 (信号処理回路 3) によれば、物理量検出素子 2 を駆動するための駆動信号 DRV は、クロック生成回路 50 が発生させるクロック信号 ADCCLK, DSPCLK よりも周波数偏差が小さいので、駆動信号 DRV に基づくクロック信号 CKF を用いることにより、姿勢演算の精度を向上させることができる。すなわち、本実施形態の物理量検出装置 1 (信号処理回路 3) によれば、相対的に周波数偏差が大きいクロック信号 ADCCLK に基づいてサンプリングされた物理量信号を用いた姿勢演算において、相対的に周波数偏差が小さい駆動信号 DRV に基づくクロック信号 CKF を用いてサンプリング周期 (時間積分の周期)  $t$  を補正することにより、姿勢演算の精度を向上させることができる。

10

【0110】

本実施形態によれば、記憶部 60 (例えば、図 14 及び図 15 において、不揮発性メモリ 62 のアドレス  $0 \times 04$ ) に記憶される設定情報を変更することにより、第 1 ~ 第 N の物理量信号と第 1 ~ 第 N の検出軸との対応関係を変更することができるので、汎用性の高い物理量検出装置 1 (信号処理回路 3) を実現することができる。

【0111】

1 - 2 . 変形例

上記の物理量検出装置 1 (信号処理回路 3) では、姿勢演算部 40 は、第 1 ~ 第 N の物理量信号に基づいてクォータニオンを用いて姿勢演算を行い、あるいは、姿勢演算として、第 1 ~ 第 N の物理量信号の各々を積分して第 1 ~ 第 N の角度を算出するが、姿勢演算部 40 は、姿勢演算として、第 1 ~ 第 N の物理量信号に基づいて回転行列を用いて姿勢演算を行ってもよい。この変形例の物理量検出装置 1 (信号処理回路 3) では、例えば、姿勢演算部 40 は、3 軸の角速度データ (角速度  $\omega_1, \omega_2, \omega_3$ ) を取得する毎に、記憶部 60 (不揮発性メモリ 62) に記憶されている、第 1 ~ 第 3 の物理量信号と x 軸、y 軸、z 軸との対応関係の設定情報に基づいて、 $t$  ごとに、角速度  $\omega_1, \omega_2, \omega_3$  を x 軸回りの角速度  $\omega_x$ 、y 軸回りの角速度  $\omega_y$  及び z 軸回りの角速度  $\omega_z$  に変換して式 (4) で表される回転行列を計算し、当該回転行列と現在の姿勢ベクトルとの積を計算することにより姿勢ベクトルを更新する。

20

30

【0112】

【数 4】

$$R_x(\omega_1 \Delta t) R_y(\omega_2 \Delta t) R_z(\omega_3 \Delta t) = \begin{pmatrix} 1 & -\omega_z \Delta t & \omega_y \Delta t \\ \omega_z \Delta t & 1 & -\omega_x \Delta t \\ -\omega_y \Delta t & \omega_x \Delta t & 1 \end{pmatrix} \cdots (4)$$

【0113】

また、上記の物理量検出装置 1 (信号処理回路 3) において、姿勢演算部 40 による姿勢演算を補正するようにしてもよい。図 16 は、この変形例の物理量検出装置 1 の機能ブロック図である。図 16 において、本実施形態の物理量検出装置 1 (図 1) と同様の構成要素には同じ符号を付しており、その説明を省略する。図 16 に示す変形例の物理量検出装置 1 は、本実施形態の物理量検出装置 1 (図 1) に対して、補正処理部 90 が付加された構成である。

40

【0114】

補正処理部 90 は、加速度検出素子及び地磁気検出素子の少なくとも一方の出力信号に基づいて、姿勢演算部 40 による姿勢演算を補正する。例えば、加速度検出素子が信号処理回路 3 の不図示の端子と電氣的に接続され、補正処理部 90 は、当該不図示の端子を介

50

して、加速度検出素子の出力信号を受け取り、当該加速度検出素子の出力信号に基づいて姿勢演算部 40 による姿勢演算を補正してもよい。また、例えば、補正処理部 90 は、第 1 インターフェース回路 70 あるいは第 2 インターフェース回路 80 を介して外部装置から加速度検出素子の出力信号を受け取り、当該加速度検出素子の出力信号に基づいて姿勢演算部 40 による姿勢演算を補正してもよい。同様に、例えば、地磁気検出素子が信号処理回路 3 の不図示の端子と電氣的に接続され、補正処理部 90 は、当該不図示の端子を介して、地磁気検出素子の出力信号を受け取り、当該地磁気検出素子の出力信号に基づいて姿勢演算部 40 による姿勢演算を補正してもよい。また、例えば、補正処理部 90 は、第 1 インターフェース回路 70 あるいは第 2 インターフェース回路 80 を介して外部装置から地磁気検出素子の出力信号を受け取り、当該地磁気検出素子の出力信号に基づいて姿勢演算部 40 による姿勢演算を補正してもよい。

10

#### 【0115】

例えば、補正処理部 90 は、姿勢演算部 40 による姿勢演算の結果から重力加速度ベクトルを推定し、加速度検出素子の出力信号から重力加速度ベクトルを算出し、拡張カルマンフィルターを用いて、推定した重力加速度ベクトルと算出した重力加速度ベクトルとの差に基づいて、第 1 ~ 第 N の物理量信号の誤差（バイアス）を推定してもよい。また、例えば、補正処理部 90 は、姿勢演算部 40 による姿勢演算の結果から地磁気ベクトルを推定し、地磁気検出素子の出力信号から地磁気ベクトルを算出し、拡張カルマンフィルターを用いて、推定した地磁気ベクトルと算出した地磁気ベクトルとの差に基づいて、第 1 ~ 第 N の物理量信号の誤差（バイアス）を推定してもよい。そして、姿勢演算部 40 が、補正処理部 90 によって推定された誤差（バイアス）が差し引かれた第 1 ~ 第 N の物理量信号に基づいて姿勢演算を行うことにより、積分誤差が補正され、姿勢演算の精度が向上する。

20

#### 【0116】

##### 2. 姿勢演算装置

図 17 は、本実施形態の姿勢演算装置の構成例を示す図である。図 17 に示すように、本実施形態の姿勢演算装置 4 は、N 個の物理量検出装置 1 - 1 ~ 1 - N を備えている。物理量検出装置 1 - 1 ~ 1 - N は、すべて、上述した本実施形態又は変形例の物理量検出装置 1 であり、各物理量検出装置 1 - k (k = 1 ~ N) は、物理量検出素子 2 - k 及び信号処理回路 3 - k を備えている。

30

#### 【0117】

物理量検出装置 1 - 1 (「第 1 の物理量検出装置」の一例) が備えている信号処理回路 3 - 1 の M S C K 端子と物理量検出装置 1 - 2 ~ 1 - N (「第 2 ~ 第 N の物理量検出装置」の一例) の各々が備えている信号処理回路 3 - 2 ~ 3 - N の S C L K 端子とが電氣的に接続されている。また、物理量検出装置 1 - 1 が備えている信号処理回路 3 - 1 の M S D A 端子 (「第 2 の端子」の一例) と物理量検出装置 1 - 2 ~ 1 - N の各々が備えている信号処理回路 3 - 2 ~ 3 - N の M O S I 端子 (「第 1 の端子」の一例) とが電氣的に接続されている。そして、物理量検出装置 1 - 1 (信号処理回路 3 - 1 の姿勢演算部 40 (図 1 参照)) が姿勢演算を行う。

40

#### 【0118】

物理量検出装置 1 - 1 (信号処理回路 3 - 1) は、第 1 インターフェース回路 70 (図 1 参照) を介して、ホストである制御装置 5 と通信する。信号処理回路 3 - 1 の第 1 インターフェース回路 70 は、S P I インターフェース回路として機能し、マスターである制御装置 5 は、例えば、図 7 ~ 図 9 に示した通信フォーマットに従い、スレーブである物理量検出装置 1 - 1 (信号処理回路 3 - 1) に対して、データの書き込みやデータの読み出しを行い、あるいは、コマンドを送信する。

#### 【0119】

また、物理量検出装置 1 - 1 (信号処理回路 3 - 1) は、I<sup>2</sup>C インターフェース回路である第 2 インターフェース回路 80 (図 1 参照) を介して、物理量検出装置 1 - 2 ~ 1 - N とそれぞれ通信する。物理量検出装置 1 - 2 ~ 1 - N の各々は、第 1 インターフェー

50

ス回路 70 (図 1 参照) を介して、物理量検出装置 1 - 1 と通信する。信号処理回路 3 - 2 ~ 3 - N の各々において、XCS 端子が電源にプルアップされており、第 1 インターフェース回路 70 は、I<sup>2</sup>C インターフェース回路として機能する。マスターである物理量検出装置 1 - 1 (信号処理回路 3 - 1) は、例えば、図 10 及び図 11 に示した通信フォーマットに従い、スレーブである物理量検出装置 1 - 2 ~ 1 - N (信号処理回路 3 - 2 ~ 3 - N) に対して、データの書き込みやデータの読み出しを行う。

【0120】

なお、物理量検出装置 1 - 1 から見たとき、制御装置 5 は、前述の「第 1 の外部装置」に相当し、物理量検出装置 1 - 2 ~ 1 - N は、前述の「第 2 の外部装置」~ 「第 N の外部装置」に相当する。

10

【0121】

制御装置 5 は、姿勢演算装置 4 から、第 1 ~ 第 N の物理量信号の値 (角速度  $\omega_1 \sim \omega_N$ ) や姿勢の情報 (クォータニオンあるいは第 1 ~ 第 N の角度等) を取得することができる。

【0122】

例えば、N = 3 のケースにおいて、物理量検出装置 1 - 1 の信号処理回路 3 - 1 の記憶部 60 (レジスター 61 及び不揮発性メモリ 62) が図 12 ~ 図 15 に示したアドレスマップのように構成されている場合、制御装置 5 が姿勢演算装置 4 から第 1 ~ 第 3 の物理量信号の値 (角速度  $\omega_1, \omega_2, \omega_3$ ) を所定の周期  $t$  で取得するための手順は以下のようになる。

20

【0123】

まず、制御装置 5 は、図 7 に示した通信フォーマットに従い、信号処理回路 3 - 1 のレジスター 61 のアドレス 0x11 のビット 2 (MCTL[2]) とビット 1 (MCTL[1]) にともに 1 を書き込み、第 2 インターフェース回路 80 のマニュアル動作を「読み出し」と「許可」に設定する。

【0124】

また、制御装置 5 は、図 7 に示した通信フォーマットに従い、信号処理回路 3 - 1 のレジスター 61 のアドレス 0x16 のビット 7 ~ 0 (レジスター MI2CRAD[7:0]) に 0x0A を書き込み、信号処理回路 3 - 1 の第 2 インターフェース回路 80 のマニュアル動作による通信で用いられるレジスターアドレス (図 10 及び図 11 のレジスターアドレス MI2CRAD[7:0]) を 0x0A に設定する。

30

【0125】

次に、制御装置 5 は、周期  $t$  で、図 8 に示した通信フォーマットに従い、信号処理回路 3 - 1 のレジスター 61 のアドレス 0x0A (レジスター RDGR) から第 1 の物理量信号 (角速度  $\omega_1$ ) を読み出して取得する。

【0126】

また、制御装置 5 は、周期  $t$  で、図 7 に示した通信フォーマットに従い、信号処理回路 3 - 1 のレジスター 61 のアドレス 0x15 のビット 6 ~ 0 (レジスター MI2CSD[6:0]) に物理量検出装置 1 - 2 のスレーブアドレスを書き込んだ後、図 9 に示した通信フォーマットに従い、当該レジスター 61 のアドレス 0x14 (レジスター MI2CST) を指定して、信号処理回路 3 - 1 の第 2 インターフェース回路 80 のマニュアル動作を開始させるためのコマンドを送信する。これにより、物理量検出装置 1 - 1 (信号処理回路 3 - 1) は、周期  $t$  で、図 11 に示した通信フォーマットに従い、物理量検出装置 1 - 2 (信号処理回路 3 - 2) のレジスター 61 のアドレス 0x0A から第 2 の物理量信号 (角速度  $\omega_2$ ) を読み出して自身のレジスター 61 のアドレス 0x18 (レジスター MI2CRD) に記憶する。

40

【0127】

そして、制御装置 5 は、周期  $t$  で、図 8 に示した通信フォーマットに従い、信号処理回路 3 - 1 のレジスター 61 のアドレス 0x18 (レジスター RDGR) から第 2 の物理量信号 (角速度  $\omega_2$ ) を読み出して取得する。

50

## 【0128】

また、制御装置5は、周期  $t$  で、図7に示した通信フォーマットに従い、信号処理回路3-1のレジスタ61のアドレス  $0 \times 15$  のビット6~0 (レジスタMI2CSAD[6:0])に物理量検出装置1-3のスレーブアドレスを書き込んだ後、図9に示した通信フォーマットに従い、当該レジスタ61のアドレス  $0 \times 14$  (レジスタMI2CST)を指定して、信号処理回路3-1の第2インターフェース回路80のマニュアル動作を開始させるためのコマンドを送信する。これにより、物理量検出装置1-1 (信号処理回路3-1)は、周期  $t$  で、図11に示した通信フォーマットに従い、物理量検出装置1-3 (信号処理回路3-3)のレジスタ61のアドレス  $0 \times 0A$  から第3の物理量信号 (角速度  $\omega_3$ ) を読み出して自身のレジスタ61のアドレス  $0 \times 18$  (レジスタMI2CRD)に記憶する。

10

## 【0129】

そして、制御装置5は、周期  $t$  で、図8に示した通信フォーマットに従い、信号処理回路3-1のレジスタ61のアドレス  $0 \times 18$  (レジスタRDGR)から第3の物理量信号 (角速度  $\omega_3$ ) を読み出して取得する。

## 【0130】

また、例えば、 $N = 3$  のケースにおいて、物理量検出装置1-1の信号処理回路3-1の記憶部60 (レジスタ61及び不揮発性メモリー62)が図12~図15に示したアドレスマップのように構成されている場合、制御装置5が姿勢演算装置4から姿勢の情報を所定の周期  $t$  で取得するための手順は以下のようになる。

20

## 【0131】

まず、制御装置5は、図7に示した通信フォーマットに従い、信号処理回路3-1のレジスタ61のアドレス  $0 \times 11$  のビット0 (MCTL[0])に1を書き込み、姿勢演算部40による姿勢演算を許可する。

## 【0132】

これにより、物理量検出装置1-1 (信号処理回路3-1)は、周期  $t$  で、図11に示した通信フォーマットに従い、物理量検出装置1-2 (信号処理回路3-2)のレジスタ61のアドレス  $0 \times 0A$  から第2の物理量信号 (角速度  $\omega_2$ ) を読み出して自身の記憶部60 (レジスタ61)に記憶する。なお、あらかじめ、信号処理回路3-1の不揮発性メモリー62において、アドレス  $0 \times 00$  (メモリーMI2CSA1)には物理量検出装置1-2のスレーブアドレスが記憶され、アドレス  $0 \times 02$  (メモリーMI2CRA1)には  $0 \times 0A$  が記憶されており、信号処理回路3-1は、これらの情報を用いて、第2の物理量信号 (角速度  $\omega_2$ ) を読み出す。

30

## 【0133】

また、物理量検出装置1-1 (信号処理回路3-1)は、周期  $t$  で、図11に示した通信フォーマットに従い、物理量検出装置1-3 (信号処理回路3-3)のレジスタ61のアドレス  $0 \times 0A$  から第3の物理量信号 (角速度  $\omega_3$ ) を読み出して自身の記憶部60 (レジスタ61)に記憶する。なお、あらかじめ、信号処理回路3-1の不揮発性メモリー62において、アドレス  $0 \times 01$  (メモリーMI2CSA2)には物理量検出装置1-3のスレーブアドレスが記憶され、アドレス  $0 \times 03$  (メモリーMI2CRA2)には  $0 \times 0A$  が記憶されており、信号処理回路3-1は、これらの情報を用いて、第3の物理量信号 (角速度  $\omega_3$ ) を読み出す。

40

## 【0134】

そして、信号処理回路3-1の姿勢演算部40は、周期  $t$  で、検出回路30から第1の物理量信号 (角速度  $\omega_1$ ) を取得し、また、それぞれ周期  $t$  で、記憶部60 (レジスタ61)から第2の物理量信号 (角速度  $\omega_2$ ) 及び第3の物理量信号 (角速度  $\omega_3$ ) を取得し、姿勢演算を行い、姿勢演算の結果の情報をレジスタ61のアドレス  $0 \times 12$  (レジスタRDAR)に記憶する。なお、信号処理回路3-1の姿勢演算部40は、不揮発性メモリー62のアドレス  $0 \times 04$  のビット1~0 (AXISCTL[1:0])に応じて、第1~第3の物理量信号 (角速度  $\omega_1, \omega_2, \omega_3$ ) を3軸角速度  $\omega_x, \omega_y, \omega_z$  とする。

50

z に変換し、不揮発性メモリー 62 のアドレス  $0 \times 04$  のビット 2 (AXISCTL[2]) の設定に応じて、姿勢演算として角度演算又はクォータニオン演算を行う。

#### 【0135】

次に、制御装置 5 は、周期  $t$  で、図 8 に示した通信フォーマットに従い、信号処理回路 3-1 のレジスタ 61 のアドレス  $0 \times 12$  (レジスタ RDDR) から姿勢演算の結果を読み出して取得する。

#### 【0136】

図 18 に、物理量検出装置 1-1 (信号処理回路 3-1) における姿勢演算のタイムチャートの一例を示す。図 18 に示すように、物理量検出装置 1-1 (信号処理回路 3-1) において、姿勢演算部 40 は、第 1 の物理量信号 (角速度  $\omega_1$ ) を検出回路 30 から取得するため、第 2 インターフェース回路 80 を介して第 1 の物理量信号 (角速度  $\omega_1$ ) を取得する必要がない。そのため、本実施形態の姿勢演算装置 4 では、姿勢演算の周期  $t$  は、物理量検出装置 1-1 (信号処理回路 3-1) が、第 2 インターフェース回路 80 を介して、物理量検出装置 1-2 (信号処理回路 3-2) 及び物理量検出装置 1-3 (信号処理回路 3-3) からそれぞれ第 2 の物理量信号 (角速度  $\omega_2$ ) 及び第 3 の物理量信号 (角速度  $\omega_3$ ) を取得するのに要する通信時間によって決まる。これに対して、従来の姿勢演算システムでは、ホストである制御装置 5 が、物理量検出装置 1-1 ~ 1-3 からそれぞれ第 1 ~ 第 3 の物理量信号 (角速度  $\omega_1, \omega_2, \omega_3$ ) を取得して姿勢演算を行うため、姿勢演算の周期  $t$  は、制御装置 5 が、物理量検出装置 1-1 ~ 1-3 (信号処理回路 3-2) 及び物理量検出装置 1-3 (信号処理回路 3-3) から第 1 ~ 第 3 の物理量信号 (角速度  $\omega_1, \omega_2, \omega_3$ ) を取得するのに要する通信時間よりも短くすることができない。すなわち、本実施形態の姿勢演算装置 4 は、従来の姿勢演算システムよりも短い周期 (高いレート) で姿勢演算を行うことができる。

#### 【0137】

以上に説明したように、本実施形態によれば、物理量検出装置 1-1 が備える信号処理回路 3-1 が第 1 の物理量信号を生成し、かつ、MSDA 端子を介して、物理量検出装置 1-2 ~ 1-N がそれぞれ備える信号処理回路 3-1 ~ 3-N の MOSI 端子から出力される第 2 ~ 第 N の物理量信号を取得して、姿勢演算を実行する姿勢演算装置 4 を構成することができる。

#### 【0138】

そして、本実施形態の姿勢演算装置 4 では、物理量検出装置 1-1 が備える信号処理回路 3-1 は、外部装置と通信して第 1 の物理量信号を取得する必要がなく、また、物理量検出装置 1-2 ~ 1-N がそれぞれ備える信号処理回路 3-2 ~ 3-N から第 2 ~ 第 N の物理量信号を取得すると並行して、検出回路 30 が第 1 の物理量信号を生成することができるので、第 1 ~ 第 N の物理量信号を取得する時間を短くすることができる。その結果、本実施形態の姿勢演算装置 4 によれば、従来よりも姿勢演算の周期  $t$  が短くなり、姿勢演算の精度を向上させることができる。

#### 【0139】

また、本実施形態の姿勢演算装置 4 は、同じ構成の N 個の物理量検出装置を用いて実現することができるので、開発コストを削減することができる。

#### 【0140】

### 3. 電子機器

図 19 は、本実施形態の電子機器の構成の一例を示す機能ブロック図である。図 19 に示すように、本実施形態の電子機器 300 は、姿勢演算装置 310、制御装置 (MCU) 320、操作部 330、ROM (Read Only Memory) 340、RAM (Random Access Memory) 350、通信部 360、表示部 370 を含んで構成されている。なお、本実施形態の電子機器は、図 19 の構成要素 (各部) の一部を省略又は変更し、あるいは、他の構成要素を付加した構成としてもよい。

#### 【0141】

姿勢演算装置 310 は、第 1 ~ 第 N の物理量信号に基づいて姿勢演算を行い、姿勢演算

の結果を制御装置（MCU）320に出力する。姿勢演算装置310として、例えば、上述した本実施形態の姿勢演算装置4を適用することができる。

【0142】

制御装置（MCU）320は、ROM340等に記憶されているプログラムに従い、姿勢演算装置310に通信信号を発信し、姿勢演算装置310の出力信号を用いて各種の計算処理や制御処理を行う。その他、制御装置（MCU）320は、操作部330からの操作信号に応じた各種の処理、外部装置とデータ通信を行うために通信部360を制御する処理、表示部370に各種の情報を表示させるための表示信号を送信する処理等を行う。

【0143】

操作部330は、操作キーやボタンスイッチ等により構成される入力装置であり、ユーザーによる操作に応じた操作信号を制御装置（MCU）320に出力する。

10

【0144】

ROM340は、制御装置（MCU）320が各種の計算処理や制御処理を行うためのプログラムやデータ等を記憶している。

【0145】

RAM350は、制御装置（MCU）320の作業領域として用いられ、ROM340から読み出されたプログラムやデータ、操作部330から入力されたデータ、制御装置（MCU）320が各種プログラムに従って実行した演算結果等を一時的に記憶する。

【0146】

通信部360は、制御装置（MCU）320と外部装置との間のデータ通信を成立させるための各種制御を行う。

20

【0147】

表示部370は、LCD（Liquid Crystal Display）等により構成される表示装置であり、CPU320から入力される表示信号に基づいて各種の情報を表示する。表示部370には操作部330として機能するタッチパネルが設けられていてもよい。

【0148】

姿勢演算装置310として、例えば上述した本実施形態の姿勢演算装置4を適用することにより、姿勢演算の精度を向上させることができるので、信頼性の高い電子機器を実現することができる。

【0149】

このような電子機器300としては種々の電子機器が考えられ、例えば、パーソナルコンピュータ（例えば、モバイル型パーソナルコンピュータ、ラップトップ型パーソナルコンピュータ、タブレット型パーソナルコンピュータ）、スマートフォンや携帯電話機などの移動体端末、デジタルカメラ、インクジェット式吐出装置（例えば、インクジェットプリンター）、ルーターやスイッチなどのストレージエリアネットワーク機器、ローカルエリアネットワーク機器、移動体端末基地局用機器、テレビ、ビデオカメラ、ビデオレコーダー、カーナビゲーション装置、リアルタイムクロック装置、ページャー、電子手帳（通信機能付も含む）、電子辞書、電卓、電子ゲーム機器、ゲーム用コントローラー、ワードプロセッサ、ワークステーション、テレビ電話、防犯用テレビモニター、電子双眼鏡、POS端末、医療機器（例えば電子体温計、血圧計、血糖計、心電図計測装置、超音波診断装置、電子内視鏡）、魚群探知機、各種測定機器、計器類（例えば、車両、航空機、船舶の計器類）、フライトシミュレーター、ヘッドマウントディスプレイ、モーショントラッキング、モーションコントローラー、PDR（歩行者位置方位計測）等が挙げられる。

30

40

【0150】

図20は、本実施形態の電子機器300の一例であるデジタルカメラ1300を模式的に示す斜視図である。なお、図20には、外部機器との接続についても簡易的に示している。ここで、通常のカメラは、被写体の光像により銀塩写真フィルムを感光するのに対し、デジタルカメラ1300は、被写体の光像をCCD（Charge Coupled Device）などの撮像素子により光電変換して撮像信号（画像信号）を生成する。

50

## 【0151】

デジタルカメラ1300におけるケース(ボディ)1302の背面には、表示部1310が設けられ、CCDによる撮像信号に基づいて表示を行う構成になっており、表示部1310は、被写体を電子画像として表示するファインダーとして機能する。また、ケース1302の正面側(図中裏面側)には、光学レンズ(撮像光学系)やCCDなどを含む受光ユニット1304が設けられている。撮影者が表示部1310に表示された被写体像を確認し、シャッターボタン1306を押下すると、その時点におけるCCDの撮像信号が、メモリー1308に転送・格納される。また、このデジタルカメラ1300においては、ケース1302の側面に、ビデオ信号出力端子1312と、データ通信用の入出力端子1314とが設けられている。そして、ビデオ信号出力端子1312には、テレビモニター1430が、データ通信用の入出力端子1314には、パーソナルコンピューター1440が、それぞれ必要に応じて接続される。さらに、所定の操作により、メモリー1308に格納された撮像信号が、テレビモニター1430や、パーソナルコンピューター1440に出力される構成になっている。デジタルカメラ1300は、姿勢演算装置310を有し、姿勢演算装置310の出力信号を用いて、例えば手振れ補正等の処理を行う。

10

## 【0152】

## 4. 移動体

図21は、本実施形態の移動体の一例を示す図(上面図)である。図21に示す移動体400は、姿勢演算装置410、コントローラ440, 450, 460、バッテリー470、ナビゲーション装置480を含んで構成されている。なお、本実施形態の移動体は、図21の構成要素(各部)の一部を省略し、あるいは、他の構成要素を付加した構成としてもよい。

20

## 【0153】

姿勢演算装置410、コントローラ440, 450, 460、ナビゲーション装置480は、バッテリー470から供給される電源電圧で動作する。

## 【0154】

姿勢演算装置410は、第1~第Nの物理量信号に基づいて姿勢演算を行い、姿勢演算の結果をコントローラ440, 450, 460に出力する。

## 【0155】

コントローラ440, 450, 460は、それぞれ、姿勢演算装置410の出力信号を用いて、姿勢制御システム、横転防止システム、ブレーキシステム等の各種の制御を行う制御装置である。

30

## 【0156】

ナビゲーション装置480は、内蔵のGPS受信機(不図示)の出力情報に基づき、移動体400の位置や時刻その他の各種の情報をディスプレイに表示する。また、ナビゲーション装置480は、GPSの電波が届かない時でも姿勢演算装置410の出力信号に基づいて移動体400の位置や向きを特定し、必要な情報の表示を継続する。

## 【0157】

例えば、姿勢演算装置410として、上述した各実施形態の姿勢演算装置4を適用することにより、姿勢演算の精度を向上させることができるので、信頼性の高い移動体を実現することができる。

40

## 【0158】

このような移動体400としては種々の移動体が考えられ、例えば、自動車(電気自動車も含む)、ジェット機やヘリコプター等の航空機、船舶、ロケット、人工衛星等が挙げられる。

## 【0159】

本発明は本実施形態に限定されず、本発明の要旨の範囲内で種々の変形実施が可能である。

## 【0160】

例えば、上述した実施形態では、角速度を検出する物理量検出素子を含む物理量検出装

50

置（角速度検出装置）並びに当該物理量検出装置（角速度検出装置）を備えた姿勢演算装置、電子機器及び移動体を例に挙げて説明したが、本発明は、種々の物理量を検出する物理量検出素子を含む物理量検出装置並びに当該物理量検出装置を備えた姿勢演算装置、電子機器及び移動体にも適用することができる。物理量検出素子が検出する物理量は、角速度に限らず、角加速度、加速度、地磁気、傾斜などであってもよい。また、物理量検出素子の振動片は、ダブルT型でなくてもよく、例えば、音叉型やくし歯型であってもよいし、三角柱、四角柱、円柱状等の形状の音片型であってもよい。また、物理量検出素子の振動片の材料としては、水晶（ $\text{SiO}_2$ ）の代わりに、例えば、タンタル酸リチウム（ $\text{LiTaO}_3$ ）、ニオブ酸リチウム（ $\text{LiNbO}_3$ ）等の圧電単結晶やジルコン酸チタン酸鉛（ $\text{PZT}$ ）等の圧電セラミックスなどの圧電性材料を用いてもよいし、シリコン半導体を用いてもよい。また、例えば、シリコン半導体の表面の一部に、駆動電極に挟まれた酸化亜鉛（ $\text{ZnO}$ ）、窒化アルミニウム（ $\text{AlN}$ ）等の圧電薄膜を配置した構造であってもよい。また、物理量検出素子は、圧電型の素子に限らず、動電型、静電容量型、渦電流型、光学型、ひずみゲージ型等の振動式の素子であってもよい。あるいは、物理量検出素子の方式は、振動式に限らず、例えば、光学式、回転式、流体式であってもよい。

10

## 【0161】

上述した実施形態および変形例は一例であって、これらに限定されるわけではない。例えば、各実施形態および各変形例を適宜組み合わせることも可能である。

## 【0162】

本発明は、実施の形態で説明した構成と実質的に同一の構成（例えば、機能、方法及び結果が同一の構成、あるいは目的及び効果が同一の構成）を含む。また、本発明は、実施の形態で説明した構成の本質的でない部分を置き換えた構成を含む。また、本発明は、実施の形態で説明した構成と同一の作用効果を奏する構成又は同一の目的を達成することができる構成を含む。また、本発明は、実施の形態で説明した構成に公知技術を付加した構成を含む。

20

## 【符号の説明】

## 【0163】

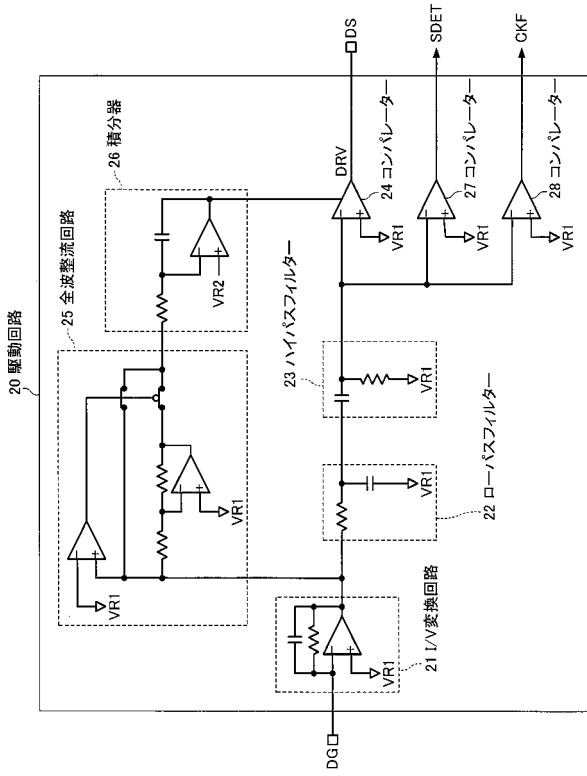
1 ... 物理量検出装置、2 ... 物理量検出素子、3 ... 信号処理回路、4 ... 姿勢演算装置、5 ... 制御装置、10 ... 基準電圧回路、20 ... 駆動回路、21 ... I/V変換回路、22 ... ローパスフィルター、23 ... ハイパスフィルター、24 ... コンパレーター、25 ... 全波整流回路、26 ... 積分器、27 ... コンパレーター、28 ... コンパレーター、30 ... 検出回路、31 ... QVアンプ、32 ... 可変ゲインアンプ、33 ... 同期検波回路、34 ... A/D変換回路、35 ... DSP、40 ... 姿勢演算部、41A, 41B, 41C ... Dフリップフロップ、42 ... NOT回路、43 ... NOR回路、44 ... カウンター、45A, 45B ... 乗算器、46 ... 変換部、47 ... 行列演算部、48 ... 加算器、49 ... 正規化部、50 ... クロック生成回路、60 ... 記憶部、61 ... レジスター、62 ... 不揮発性メモリー、70 ... 第1インターフェース回路、80 ... 第2インターフェース回路、90 ... 補正処理部、101a, 101b ... 駆動振動腕、102 ... 検出振動腕、103 ... 錘部、104a, 104b ... 駆動用基部、105a, 105b ... 連結腕、106 ... 錘部、107 ... 検出用基部、112, 113 ... 駆動電極、114, 115 ... 検出電極、116 ... 共通電極、300 ... 電子機器、310 ... 姿勢演算装置、312 ... 駆動回路、320 ... 制御装置（MCU）、330 ... 操作部、340 ... ROM、350 ... RAM、360 ... 通信部、370 ... 表示部、400 ... 移動体、410 ... 姿勢演算装置、440, 450, 460 ... コントローラー、470 ... バッテリー、480 ... ナビゲーション装置、1300 ... デジタルカメラ、1302 ... ケース、1304 ... 受光ユニット、1306 ... シャッターボタン、1308 ... メモリー、1310 ... 表示部、1312 ... ビデオ信号出力端子、1314 ... 入出力端子、1430 ... テレビモニター、1440 ... パーソナルコンピューター

30

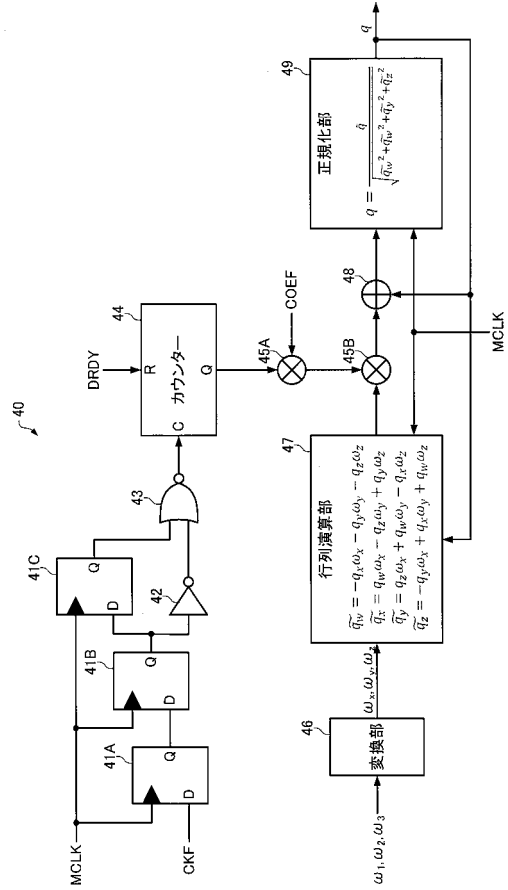
40



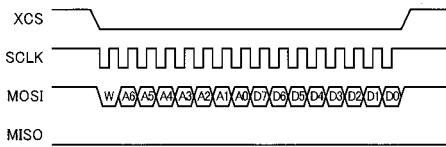
【図 5】



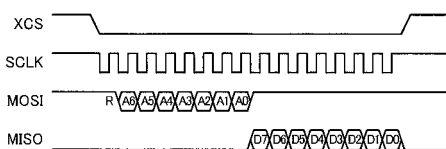
【図 6】



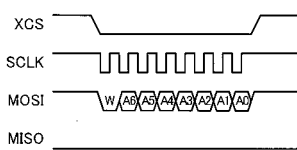
【図 7】



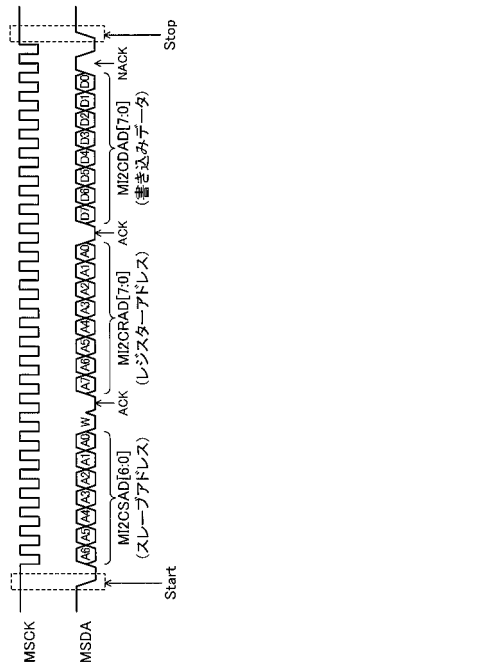
【図 8】



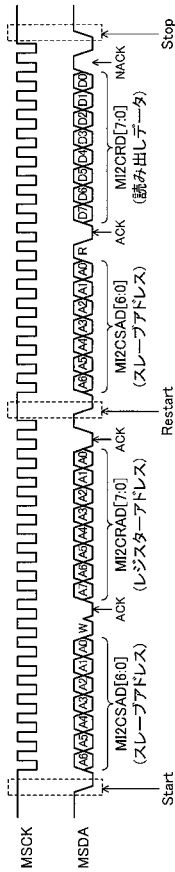
【図 9】



【図 10】



【 図 1 1 】



【 図 1 2 】

アドレス	レジスター名	R/W	機能
0x0A	RDGR	R	角速度データ
0x11	MCTL	R/W	姿勢演算部、第2インターフェース回路の設定
0x12	RDAR	R	演算結果情報
0x13	AGRS	W(C)	演算結果情報のリセット
0x14	MI2CST	W(C)	第2インターフェース回路のマニュアル動作開始
0x15	MI2CSAD	R/W	マニュアル動作のスレーブアドレス
0x16	MI2CRAD	R/W	マニュアル動作のレジスターアドレス
0x17	MI2CDAD	R/W	マニュアル動作の書き込みデータ
0x18	MI2CRD	R	マニュアル動作の読み出しデータ

【 図 1 3 】

アドレス	ビット	レジスター名	機能
0x11	7~3	-	-
	2	MCTL[2]	第2インターフェース回路マニュアル動作の設定 0:書き込み 1:読み出し
	1	MCTL[1]	第2インターフェース回路マニュアル動作の許可 0:禁止 1:許可
	0	MCTL[0]	姿勢演算部による姿勢演算の許可 0:禁止 1:許可
0x15	7	-	-
	6~0	MI2CSAD[6:0]	スレーブアドレス[6:0]
0x16	7~0	MI2CRAD[7:0]	レジスターアドレス[7:0]
0x17	7~0	MI2CDAD[7:0]	書き込みデータ[7:0]

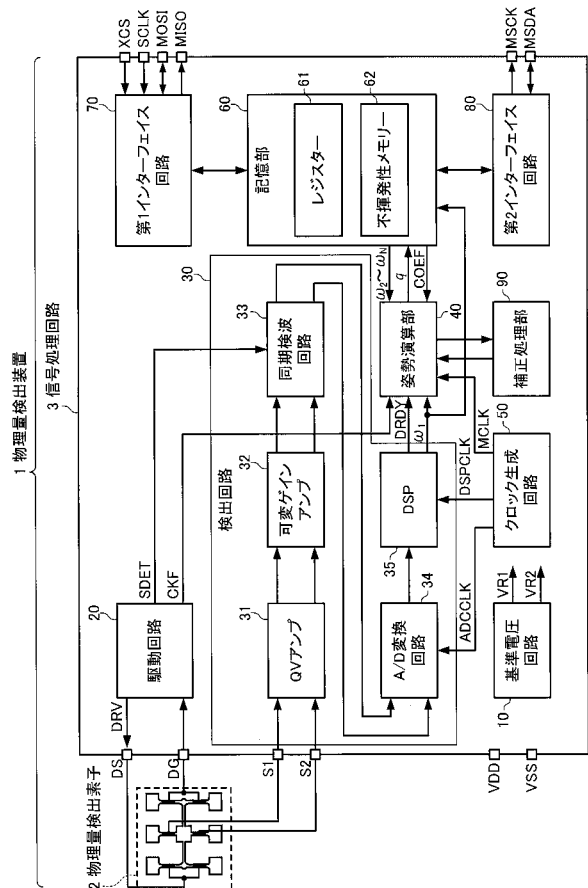
【 図 1 4 】

アドレス	メモリー名	機能
0x00	MI2CSA1	スレーブアドレス設定1
0x01	MI2CSA2	スレーブアドレス設定2
0x02	MI2CRA1	レジスターアドレス設定1
0x03	MI2CRA2	レジスターアドレス設定2
0x04	AXISCTL	軸、姿勢演算方式設定

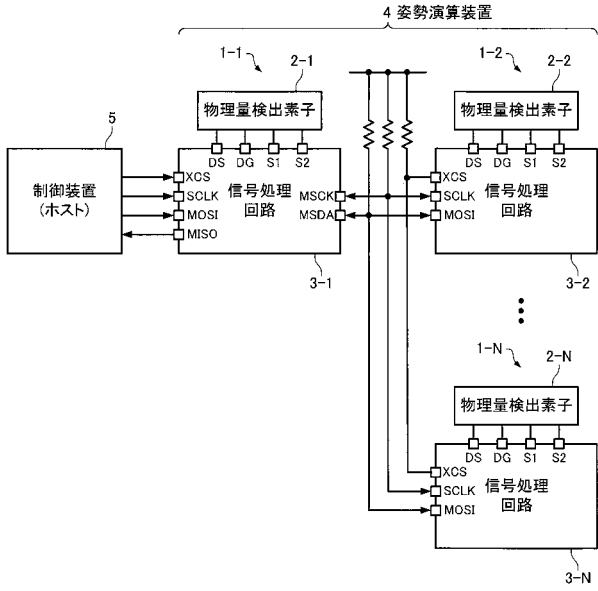
【 図 1 5 】

アドレス	ビット	レジスター名	機能
0x00	7	-	-
	6~0	MI2CSA1[6:0]	自動計測時のスレーブアドレス1[6:0]
0x01	7	-	-
	6~0	MI2CSA2[6:0]	自動計測時のスレーブアドレス2[6:0]
0x02	7~0	MI2CRA1[7:0]	自動計測時の読み出しレジスターアドレス1[7:0]
0x03	7~0	MI2CRA2[7:0]	自動計測時の読み出しレジスターアドレス2[7:0]
0x04	7~3	-	-
	2	AXISCTL[2]	演算設定 0:角度演算 1:クォータニオン演算
	1~0	AXISCTL[1:0]	軸設定 0:x軸 1:y軸 2:z軸 3:設定禁止

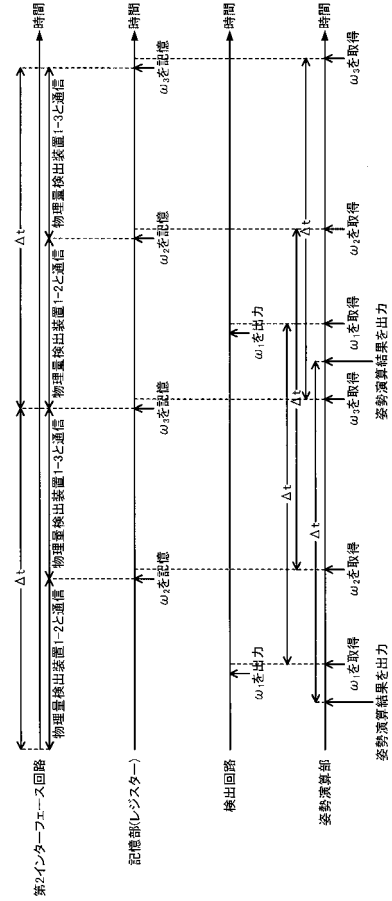
【 図 1 6 】



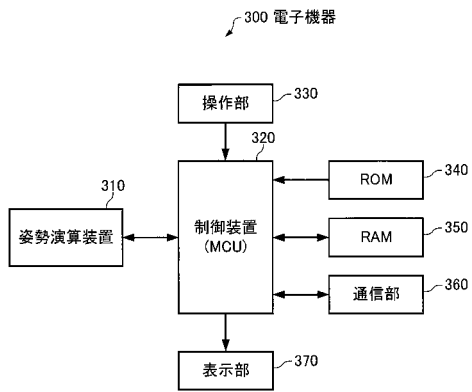
【図 17】



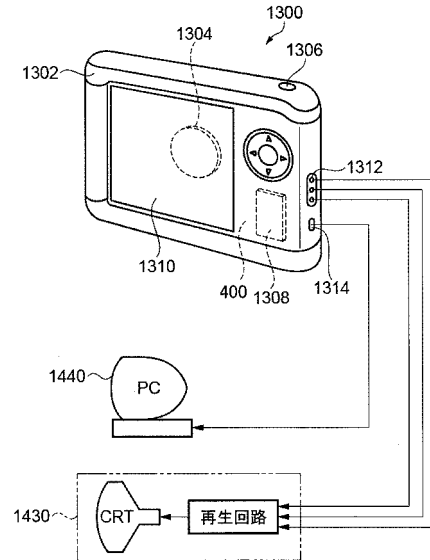
【図 18】



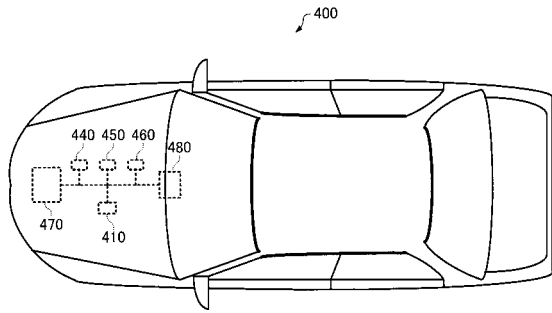
【図 19】



【図 20】



【 図 2 1 】



---

フロントページの続き

(72)発明者 羽田 秀生

長野県諏訪市大和3丁目3番5号 セイコーエプソン株式会社内

Fターム(参考) 2F105 AA01 AA02 AA03 AA05 AA08 BB02 BB08 BB17 BB20 CC01

CD02 CD06 CD11

2F129 AA03 BB22 BB37 BB39 HH04 HH12