

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関  
国際事務局

(43) 国際公開日  
2019年10月31日(31.10.2019)

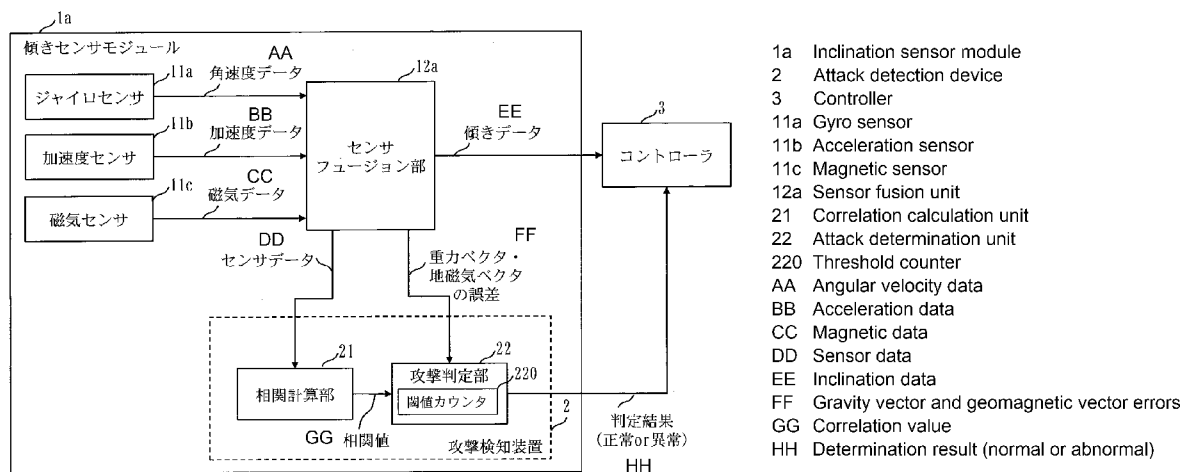


(10) 国際公開番号  
**WO 2019/207652 A1**

- (51) 国際特許分類:  
G01D 21/00 (2006.01) G01P 21/00 (2006.01)  
G01C 19/00 (2013.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2018/016647
- (22) 国際出願日: 2018年4月24日(24.04.2018)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (71) 出願人:三菱電機株式会社(MITSUBISHI ELECTRIC CORPORATION) [JP/JP]; 〒1008310 東京都千代田区丸の内二丁目7番3号 Tokyo (JP).
- (72) 発明者: 梨本 翔永 (NASHIMOTO, Shoei); 〒1008310 東京都千代田区丸の内二丁目7番3号 三菱電機株式会社内 Tokyo (JP).  
鈴木 大輔 (SUZUKI, Daisuke); 〒1008310 東京都千代田区丸の内二丁目7番3号 三菱電機株式会社内 Tokyo (JP).
- (74) 代理人: 溝井 国際特許業務法人(MIZOI INTERNATIONAL PATENT FIRM); 〒2470056 神奈川県鎌倉市大船二丁目17番10号3階 Kanagawa (JP).
- (81) 指定国(表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.
- (84) 指定国(表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM,

(54) Title: ATTACK DETECTION DEVICE, ATTACK DETECTION PROGRAM, AND ATTACK DETECTION METHOD

(54) 発明の名称: 攻撃検知装置、攻撃検知プログラム及び攻撃検知方法



(57) Abstract: In the present invention, a correlation calculation unit (21) receives sensor data consisting of magnetic data and acceleration data from a sensor fusion unit (12a) and calculates a correlation value. An attack determination unit (22) acquires the correlation value from the correlation calculation unit (21) and acquires a gravity vector error and geomagnetic vector error calculated in the process of sensor fusion from the sensor fusion unit (12) as error data. The attack determination unit (22) determines whether there has been an attack on an inclination sensor module (1a) by comparing the correlation value with a threshold corresponding to the correlation value and comparing the error data with thresholds corresponding to the error data.

WO 2019/207652 A1

ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類：

- 一 国際調査報告（条約第21条(3)）

---

(57) 要約：相関計算部（21）は、センサフュージョン部（12a）からセンサデータである磁気データ及び加速度データを受信し、相関値を計算する。攻撃判定部（22）は、相関計算部（21）から相関値を取得し、センサフュージョン部（12）から、センサフュージョンの過程で算出された重力ベクタの誤差と地磁気ベクタの誤差を誤差データとして取得する。攻撃判定部（22）は、相関値と相関値に対応する閾値とを比較し、誤差データと誤差データに対応する閾値とを比較することで、傾きセンサモジュール（1a）への攻撃の有無を判定する。

## 明 細 書

発明の名称：

攻撃検知装置、攻撃検知プログラム及び攻撃検知方法

技術分野

[0001] 本発明は、攻撃検知装置、攻撃検知プログラム及び攻撃検知方法に関する。

背景技術

[0002] 傾きセンサは、航空機及び重機の姿勢計測または姿勢制御のためによく用いられる。特に、A H R S ( A t t i t u d e H e a d i n g R e f e r e n c e S y s t e m ) と呼ばれる傾きセンサは、慣性計測装置と呼ばれる。A H R S は、加速度センサ、ジャイロセンサ、磁気センサ（コンパス）、プロセッサにより構成される。プロセッサでは、各種センサデータを信号処理し、傾きデータを出力する。こうした、センサとその信号処理を行うモジュールを、センサモジュールと呼ぶ。

[0003] A H R S を構成する各種センサは、コスト及び小型化の面で有利なMEMS ( M i c r o E l e c t r o M e c h a n i c a l S y s t e m ) センサが用いられることが多い。MEMSセンサは、機械的な部品と電子回路とを一つに集積した構成である。

[0004] A H R S では、加速度センサから得た加速度データ、ジャイロセンサから得た角速度データ、磁気センサから得た磁気データをもとに、信号処理により傾きを計算する。このように、異なるセンサデータを融合して異なる物理情報を計測するための信号処理を、センサフュージョンと呼ぶ。

非特許文献1、2では、カルマンフィルタを用いたA H R S のためのセンサフュージョンアルゴリズムを開示している。非特許文献1、2に基づくセンサフュージョンアルゴリズムでは、2種類のセンサから同じ物理量を計測し、その誤差をカルマンフィルタにより補正することで、正しい計測値を導く。具体的には、加速度センサとジャイロセンサからは重力方向が分かる。

一方、磁気センサとジャイロセンサからは、地磁気分かる。したがって、両者を組み合わせることで、世界座標での傾きが算出される。

[0005] センサを用いた計測及び制御においては、センサデータの信頼性がシステムの信頼性に直結する。そのため、センサへの攻撃は脅威となる。マルウェアを用いて、センサデータをソフトウェア的に騙す攻撃は、従来の情報セキュリティ技術で対処可能である。

[0006] 一方で、物理的な信号をセンサに照射し、物理的にセンサの状態を変動させるハードウェア的に騙す攻撃は、従来の情報セキュリティ技術だけでは対処できない。非特許文献3、4では、超音波によりMEMSジャイロセンサとMEMS加速度センサとをそれぞれ騙す攻撃方法を開示している。超音波攻撃では、MEMSセンサがばねとおもりで構成されることに着目し、センサを強制的に共振させることで異常なセンサ出力を得る。

[0007] 非特許文献3では、ハードウェアでの対策として、物理的にセンサを遮蔽すること及びセンサの共振周波数を変更することを対策方式として開示している。

非特許文献4では、ハードウェアでの対策として、センサを構成する部品を超音波攻撃の影響を受けにくい部品に変更することを対策方式として開示している。さらに、非特許文献4は、ソフトウェアでの対策として、センサのサンプリング間隔を変更することを対策方式として開示している。

## 先行技術文献

### 非特許文献

[0008] 非特許文献1: Daniel Roetenberg, Henk J Luinge, Chris TM Baten, and Peter H Veltink. 2005. Compensation of magnetic disturbances improves inertial and magnetic sensing of human body segment orientation. IEEE Transactions on neural systems and reh

abilitation engineering 13, 3 (2005), 395-405.

非特許文献2: NXP Semiconductors. 2016 AN5023 - Sensor Fusion Kalman Filters .

非特許文献3: Son, Yunmok, et al. "Rocking drones with intentional sound noise on gyroscopic sensors." 24th USENIX Security Symposium (USENIX Security 15). 2015.

非特許文献4: Timothy Trippel, Ofir Weisse, Wenyuan Xu, Peter Honeyman, and Kevin Fu. 2017. WALNUT: Waging doubt on the integrity of mems accelerometers with acoustic injection attacks. In Security and Privacy (EuroS&P), 2017 IEEE European Symposium on. IEEE, 3-18.

## 発明の概要

### 発明が解決しようとする課題

[0009] 非特許文献3、4で開示されるハードウェアでの対策方式は、センサ自体を加工する必要があり、コストが高くなる。また、センサを覆う方法は、他のセンサに影響を及ぼす可能性があり、計測性能に悪影響を及ぼすおそれがある。

[0010] 非特許文献4で開示されるソフトウェアでの対策方式は、限られたセンサにしか適用できないという汎用性の課題がある。これは、対策方式の適用には、センサの利用者がセンサのサンプリング間隔を設定できることが前提となるためである。

[0011] 本発明は、センサ自体の加工を要さず、他のセンサに悪影響を及ぼさず、多くのセンサで利用可能な、センサへの攻撃検知を検知する攻撃装置の提供を目的とする。

### 課題を解決するための手段

[0012] 本発明の攻撃検知装置は、

種類の異なる複数のセンサによって観測される複数の物理量を組み合わせて出力を計算するアルゴリズムであり、前記複数の物理量のそれぞれの中間値を計算し、それぞれの前記中間値を用いて出力を変化させるアルゴリズムであるセンサフュージョンアルゴリズムの実行中に、それぞれの前記中間値を取得する中間値取得部と、

それぞれの前記中間値と閾値である中間値閾値とを比較することにより、前記複数のセンサのうち少なくとも一つのセンサへの攻撃があるかどうかを判定する判定部と

を備える。

### 発明の効果

[0013] 本発明によれば、センサ自体の加工を要さず、他のセンサに悪影響を及ぼさず、多くのセンサで利用可能な、センサへの攻撃検知を検知する攻撃装置を提供できる。

### 図面の簡単な説明

[0014] [図1]実施の形態1の図で、攻撃検知システムの構成図。

[図2]実施の形態1の図で、傾きセンサモジュールの構成を示す図。

[図3]実施の形態1の図で、攻撃検知装置のハードウェア構成図。

[図4]実施の形態1の図で、傾きセンサモジュールのハードウェア構成図。

[図5]実施の形態1の図で、正常時のセンサデータを示す図。

[図6]実施の形態1の図で、正常時の相関値を示す図。

[図7]実施の形態1の図で、異常時のセンサデータを示す図。

[図8]実施の形態1の図で、異常時の相関値を示す図。

[図9]実施の形態1の図で、センサフュージョンアルゴリズムの流れを示す図

。

[図10]実施の形態1の図で、正常時のセンサフュージョン中間値を示す図。

[図11]実施の形態1の図で、異常時のセンサフュージョン中間値を示す図。

[図12]実施の形態1の図で、攻撃検知システムの動作を示すシーケンス図。

[図13]実施の形態1の図で、相関計算部の動作を示すフローチャート。

[図14]実施の形態1の図で、攻撃判定部の動作を示すフローチャート。

[図15]実施の形態1の図で、攻撃検知装置の電子回路による実現を示す図。

### 発明を実施するための形態

[0015] 実施の形態1.

#### \*\*\*構成の説明\*\*\*

図1は、実施の形態1の攻撃検知システム30の構成を示す。攻撃検知システム30は、センサモジュール1とコントローラ3を備える。センサモジュール1は、複数のセンサデータ入力部11、信号処理部12及び攻撃検知装置2を備える。

[0016] 攻撃検知装置2は、相関計算部21と攻撃判定部22を備える。攻撃判定部22は閾値カウンタ220を備えている。相関計算部21は、類似度計算部である。攻撃判定部22は、中間値取得部である。また攻撃判定部22は判定部である。

[0017] 図2は、攻撃検知システム30におけるAHRISの具体例として傾きセンサモジュール1aを示す。図2は、センサモジュール1を具体化した傾きセンサモジュール1aである。傾きセンサモジュール1aでは、複数のセンサデータ入力部11は、ジャイロセンサ11a、加速度センサ11b、磁気センサ11cである。信号処理部12は、センサフュージョン部12aである。傾きセンサモジュール1aには攻撃検知装置2が組み込まれている。

[0018] 図3は、攻撃検知装置2のハードウェア構成を示す。攻撃検知装置2は、ハードウェアとして、プロセッサ23、メモリ24、センサデータ入力インタフェース25、信号処理中間値入力インタフェース26、攻撃判定結果出力インタフェース27を備える。また、プロセッサ23は、機能構成として

、相関計算部 2 1 と攻撃判定部 2 2 を持つ。攻撃判定部 2 2 は閾値カウンタ 2 2 0 を備える。相関計算部 2 1、攻撃判定部 2 2 の機能は、攻撃検知プログラムとして実現される。メモリ 2 4 には、相関計算部 2 1、攻撃判定部 2 2 の機能を実現する攻撃検知プログラムが記憶されている。そして、プロセッサ 2 3 が、相関計算部 2 1、攻撃判定部 2 2 の機能を実現する攻撃検知プログラムを実行する。なお、攻撃検知プログラムは、コンピュータ読取可能な記録媒体に格納されて提供されてもよいし、プログラムプロダクトとして提供されてもよい。

[0019] 図 4 は、攻撃検知装置 2 を、傾きセンサモジュール 1 a で信号処理を行うプロセッサ内で実現する構成である。すなわち、図 4 は攻撃検知機能を有する傾きセンサモジュール 1 a のハードウェア構成である。傾きセンサモジュール 1 a は、ハードウェアとして、ジャイロセンサ 1 1 a、加速度センサ 1 1 b、磁気センサ 1 1 c、プロセッサ 1 3、メモリ 1 4、攻撃判定結果出力インタフェース 1 5、傾き出力インタフェース 1 6 を備える。

また、プロセッサ 1 3 は、機能構成として、センサフュージョン部 1 2 a、相関計算部 2 1、攻撃判定部 2 2 を備える。センサフュージョン部 1 2 a、相関計算部 2 1、攻撃判定部 2 2 の機能は、攻撃検知プログラムとして実現される。メモリ 1 4 には、センサフュージョン部 1 2 a、相関計算部 2 1、攻撃判定部 2 2 の機能を実現する攻撃検知プログラムが記憶されている。そして、プロセッサ 1 3 が、センサフュージョン部 1 2 a、相関計算部 2 1、攻撃判定部 2 2 の機能を実現する攻撃検知プログラムを実行する。上記のように、攻撃検知プログラムは、コンピュータ読取可能な記録媒体に格納されて提供されてもよいし、プログラムプロダクトとして提供されてもよい。

[0020] \*\*\*動作の説明\*\*\*

攻撃検知装置 2 の動作を説明する。攻撃検知装置 2 の動作は、攻撃検知装置 2 が攻撃検知プログラムを実行することによる動作である。攻撃検知装置 2 の動作は、攻撃検知方法である。

攻撃検知装置 2 の動作は、図 2 で示す、傾きセンサモジュール 1 a を想定

して説明する。攻撃検知装置 2 ではセンサデータ間の不整合により攻撃を検知するという特徴のもと、攻撃検知装置 2 は、大きく 2 種類の方法を用いる。

[0021] <第 1 の方法>

センサデータ間の不整合を検知する第 1 の方法は、センサデータどうしの相関を見る。

第 1 の方法は、A H R S の正常な動作中は、各種センサが観測する物理状態は一致しているため、センサデータ間に高い相関が現れることを利用する。特に、加速度センサ 1 1 b と磁気センサ 1 1 c は、それぞれ重力と地磁気という、ある地点において一定の方向を指すという共通性がある。したがって、両者の相関は高い。

[0022] <第 2 の方法 2 >

センサデータ間の不整合を検知する第 2 の方法は、センサフュージョンの中間値を見る方法である。ここで単にセンサフュージョンというときは、センサフュージョンアルゴリズムを実行することを意味する。

第 2 の方法では、センサデータ間の誤差を計測し、その誤差に基づいて計測値を修正することで、傾きを算出するセンサフュージョンアルゴリズムを想定する。したがって、攻撃検知装置 2 は、センサフュージョンの誤差を見ることで、センサが観測する物理状態の不整合を見つける。

例えば、

(1) ジャイロセンサ 1 1 a と加速度センサ 1 1 b は、ともに重力を観測することができる。

(2) ジャイロセンサ 1 1 a と磁気センサ 1 1 c は、ともに地磁気を観測することができる。

したがって、傾きが計算される過程でセンサフュージョンアルゴリズムによって算出される重力誤差及び地磁気誤差を見ることで、これらの 2 種類のセンサの組み合わせの不整合を検出できる。

[0023] 第 1 の方法と第 2 の方法を組み合わせることで、

(1) ジャイロセンサ11aと加速度センサ11b、  
(2) ジャイロセンサ11aと磁気センサ11c、  
(3) 加速度センサ11bと磁気センサ11c、  
という3種類すべての組み合わせについて、不整合を検知できる。なお、以下では、実際の傾きセンサモジュール1aを対象として、本手法の有効性及び実現性を示す。対象とする傾きセンサモジュール1aを構成する3種類のセンサは全て、X、Y、Z軸の3軸を有する。

[0024] まず、センサデータ間の不整合を相関により検出する第1の方法を説明する。第1の方法では、加速度センサ11bと磁気センサ11cとの整合性を検査する。具体的に、正常動作時と、攻撃を受けた異常動作時のセンサデータの相関を比べることにより、この第1の方法の有効性を示す。

[0025] まず、正常動作時の相関を求める。

図5は、正常動作時のセンサデータを示す。図5は、傾きセンサモジュール1aを手で持って動かした時のセンサデータである。左から、加速度センサ11b、磁気センサ11c、ジャイロセンサ11aのセンサデータを示す。図5の下に向かって、X軸、Y軸、Z軸のセンサデータである。各センサデータの横軸は時間であり、縦軸はセンサの計測値である。正常時では、見た目にも、加速度センサ11bと磁気センサ11cは時間変化の状況が似ている。

[0026] 図6は、加速度センサ11bと磁気センサ11cのX軸、Y軸、Z軸について、それぞれ相関係数を計算した結果である。図6では、1サンプルずつずらしながら、ある時間窓で区切り相関を計算した。その結果、相関係数は概ね0.6を上回り、高い相関があることが分かる。7~12秒については、傾きセンサモジュール1aを強く動かしたため、相関は低くなっている。なお、図6では、二つの系列 $x_i$ 、 $y_i$  ( $i=1, 2, \dots, n$ ) について、ピアソンの相関係数は次の相関式で求めることができる。

[数1]

$$\text{correlation} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{(\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2)(\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2)}}$$

[数2]

$$\bar{x}, \bar{y}$$

は、それぞれ  $x_i$ ,  $y_i$  の相加平均である。

[0027] 次に、異常動作時の相関を求める。

図7は、静止した傾きセンサモジュール1aに対して、後述する参考文献1で示される方法で攻撃を行った時のセンサデータである。図7の左から、加速度センサ11b、磁気センサ11c、ジャイロセンサ11aのセンサデータである。横軸及び縦軸の値、X軸、Y軸、Z軸のセンサデータの並びは図5と同じである。図7では、それぞれのセンサが攻撃の影響を受けている。加速度センサ11bの各軸のセンサデータは正弦波状に変化し、磁気センサ11c、ジャイロセンサ11aのセンサデータは、バイアス状に固定される。

[0028] 図8は、加速度センサ11bと磁気センサ11cのX軸、Y軸、Z軸について、それぞれ相関係数を計算した結果である。図8では、図6と同様に、1サンプルずつずらしながら、ある時間窓で区切り相関を計算した。その結果、時間全体を通して概ね相関係数が-0.5から0.5に収まり、相関がないことが分かる。図6に示す正常時の相関と、図8に示す攻撃時の相関とを比べると分かるように、相関値が一定の閾値を超えた場合に攻撃であると判断することで、攻撃の有無を判断できることが分かる。この場合、閾値に対して閾値よりも相関値が小さくなった場合に攻撃と判定できる。また、正常動作時でも、傾きセンサモジュール1aを強く動かしたときには相関が低くなることを述べたが、これに関しては、相関が一定時間低くなることをもって攻撃と判断することで、誤差と攻撃とを区別できる。つまり、攻撃の場合は、誤差の場合に比べ相関値の低い状態が長い時間継続する。

[0029] このようなAHR Sへの攻撃は、次の参考文献1で説明されている。

参考文献1：梨本，鈴木等、「センサフュージョンの攻撃耐性に関するセキュリティ評価」、SCIS2018 2018 Symposium on Cryptography and Information Security Niigata, Japan, Jan. 23-26, 2018, The Institute of Electronics, Information and Communication Engineers.

[0030] 次に、センサフュージョンの中間値を用いて不整合を検出する第2の方法を説明する。そのために、まず、非特許文献2に基づき、センサフュージョンの技術を説明する。

[0031] 図9は、センサフュージョンの流れを示す。図9はセンサフュージョン部12aの動作を示す。以下の説明は図2の傾きセンサモジュール1aを想定する。入力は、ジャイロセンサ11a、加速度センサ11b、磁気センサ11c、のセンサデータであり、出力は傾きである。センサデータは、それぞれX、Y、Zの3軸あり、加速度センサ11b、磁気センサ11c、ジャイロセンサ11aの順番にベクトルで $\langle G_k \rangle$ 、 $\langle B_k \rangle$ 、 $\langle Y_k \rangle$ と表す。なお $\langle * \rangle$ の表記は、便宜的に\*がベクトルであることを示す。なお、kは、センサフュージョンの繰り返し処理のk番目であることを示す。傾きは、ロール、ピッチ、ヨーというオイラー角で与えられ、それぞれ $\phi_k$ 、 $\theta_k$ 、 $\psi_k$ と表す。センサフュージョンの内部処理において、傾きは、3次元の回転行列 $[R_k]$ またはクォータニオンqで表され、両者は相互に変換可能である。なお $[*]$ の表記は、便宜的に\*が行列であることを示す。 $\langle q \rangle$ はクォータニオンqのベクトル部のみを取り出した表現である。

[0032] AHR Sのセンサフュージョンでは、地磁気ベクタと重力ベクタが重要な役割を持つ。地磁気ベクタ $\langle m \rangle$ は、地球の磁場と並行な単位ベクトルであり、重力ベクタ $\langle g \rangle$ は、地球の中心を指す単位ベクトルである。 $\langle m \rangle$ と $\langle g \rangle$ が与えられると、傾きは一意に求まることが重要である。また、逆に

、傾きから $\langle m \rangle$ と $\langle g \rangle$ を計算することもできる。

[0033] 以下では、以降に必要な基本的な定義を述べる。なお、記法は非特許文献2に従う。前提として、世界座標での傾き（ $[R_k]$ ）は、3次元の回転行列として次の式（1）で与えられる。

[数3]

$$R_k = \begin{pmatrix} R_{xx,k} & R_{xy,k} & R_{xz,k} \\ R_{yx,k} & R_{yy,k} & R_{yz,k} \\ R_{zx,k} & R_{zy,k} & R_{zz,k} \end{pmatrix} \quad (1)$$

[0034] また、センサデータと回転行列の関係は次の式（2）のように定義される。

。

[数4]

$$R_k = \left( \begin{pmatrix} R_{xy,k} \\ R_{yy,k} \\ R_{zy,k} \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} R_{xz,k} \\ R_{yz,k} \\ R_{zz,k} \end{pmatrix}, \left( \frac{\mathbf{G}_k \times \mathbf{B}_k}{|\mathbf{G}_k \times \mathbf{B}_k|} \right), \frac{\mathbf{G}_k}{|\mathbf{G}_k|} \right) \quad (2)$$

[0035] この式（2）は、以下のように説明できる。本アルゴリズムでは、特に、NED（North, East, Down）座標が採用されている。したがって、 $[R_k]$ のZ軸は重力方向を示すことから、加速度センサ11bのみから算出される。磁気センサ11cは、北向きを下側に向かって示すため、 $\langle \mathbf{G}_k \rangle$ と $\langle \mathbf{B}_k \rangle$ の外積は、Y軸に沿ってEast方向を示す。残るX軸は、両者の外積として計算できる。

[0036] 以上の基本式をもとに、図9のセンサフュージョン部の流れを説明する。図9のステップS301では、6自由度（six degree of freedom：6DOF）のセンサデータから地磁気ベクタ $\langle m_k^{6DOF} \rangle$ 、重力ベクタ $\langle g_k^{6DOF} \rangle$ 、および観測誤差 $\langle Q_k \rangle$ を計算する。地磁気ベクタは、地球が持つ磁場を3次元空間（X, Y, Z座標）で表す。地磁気ベクタは、以下の式（3）である。

同様に、重力ベクタは、重力場を表す。重力ベクタは、以下の式（4）である。

すなわち、

[数5]

$$\mathbf{m}_k^{6DOF} = \frac{\mathbf{B}_k}{|\mathbf{B}_k|} \quad (3)$$

$$\mathbf{g}_k^{6DOF} = \frac{\mathbf{G}_k}{|\mathbf{G}_k|} \quad (4)$$

である。

[0037] また、観測誤差 $\langle Q_{v,k} \rangle$ は外乱とセンサノイズが主成分となる。

外乱は加速 $\langle Q_{a,k} \rangle$ と磁気外乱 $\langle Q_{d,k} \rangle$ がある。

センサノイズは加速度センサでは $\langle Q_{vB,k} \rangle$ があり、コンパスでは $\langle Q_{vG,k} \rangle$ がある。

したがって、観測誤差が無いことは、次の式(5)、式(6)で表すことができる。

[数6]

$$Q_{vB,k} + Q_{d,k} \approx 3(|\mathbf{B}_k| - B)^2 = 0 \quad (5)$$

$$Q_{vG,k} + Q_{a,k} \approx 3(|\mathbf{G}_k| - g)^2 = 0 \quad (6)$$

ここで、 $\langle g \rangle$ は重力加速度、 $\langle B \rangle$ は周辺地磁気量を表す。

[0038] 図9のステップS302では、ジャイロ $\langle Y_k \rangle$ から傾きを求める。そのためには、直前の傾きの推定値 $q_{k-1}^+$ に対し、ジャイロで計測した角速度を積算すればよい。まず、ジャイロはドリフトをオフセット $\langle b_{-k} \rangle$ で補償され、次の式(7)で表される。

[数7]

$$\boldsymbol{\omega}_{k-} = \mathbf{Y}_k - \mathbf{b}_{k-} \quad (7)$$

[0039] 次に、傾きの事前推定値は次の式(8)のようになる。

[数8]

$$q_k^- = q_{k-1}^+ \Delta q(\boldsymbol{\omega}_{k-} \delta t) \quad (8)$$

ここで、 $\delta t$ はカルマンフィルタの更新間隔である。

[0040]  $\Delta q$  は、角度  $|\omega_k| \delta t$  を回転に変換するクォータニオンで、次の式 (9) のように表される。

[数9]

$$\begin{aligned} \Delta q(\omega_k \delta t) &= \{q_0, \mathbf{q}\} = \{q_0, q_1, q_2, q_3\} \\ &= \left\{ \sqrt{1 - q_1^2 - q_2^2 - q_3^2}, \frac{\omega_k}{|\omega_k|} \sin\left(\frac{|\omega_k| \delta t}{2}\right) \right\} \quad (9) \end{aligned}$$

[0041] ジャイロを用いて求めた傾き  $q_k^-$  を用いれば、式 (2) より、重力と地磁気の向きを求めることができる。それらを、重力ベクタ  $\langle g_k^- \rangle$  と地磁気ベクタ  $\langle m_k^- \rangle$  と呼ぶ。

[0042] ここまでで、2通りの方法で求めた重力ベクタと地磁気ベクタの組  $\{\langle g_k^{6DOF} \rangle, \langle m_k^{6DOF} \rangle, \}$  及び  $\{\langle g_k^- \rangle, \langle m_k^- \rangle\}$  が得られた。

図9のステップS303では、 $\{\langle g_k^{6DOF} \rangle, \langle m_k^{6DOF} \rangle, \}$  と  $\{\langle g_k^- \rangle, \langle m_k^- \rangle\}$  を比較して、重力ベクタ、地磁気ベクタごとの誤差の事前推定を計算する。

$\langle g_k^{6DOF} \rangle$  と  $\langle g_k^- \rangle$  の誤差とは、一方をもう一方に一致させるような回転クォータニオン  $q_{z_{g\epsilon}, k}$  であり、 $\langle g_k^{6DOF} \rangle$  と  $\langle g_k^- \rangle$  から求めることができる。

[0043] 同様にして、 $\langle m_k^{6DOF} \rangle$  と  $\langle m_k^- \rangle$  の誤差  $q_{z_{m\epsilon}, k}$  を求める。

一般的にベクトル  $\langle r \rangle$  をもう一つのベクトル  $\langle s \rangle$  に一致させるための回転クォータニオンは、次の式 (9-1) のように求めることができる。

[数10]

$$q = \frac{|\mathbf{r}||\mathbf{s}| + \mathbf{r} \cdot \mathbf{s} - \mathbf{r} \times \mathbf{s}}{\sqrt{2|\mathbf{r}||\mathbf{s}|(|\mathbf{r}||\mathbf{s}| + \mathbf{r} \cdot \mathbf{s})}} \quad (9-1)$$

ここで、 $\cdot$  と  $\times$  とは、それぞれ、ベクトルの内積と外積とを表す。

式9-1を使って、誤差を表す2種類の回転クォータニオンを計算できる。

。

[0044] 図9のステップS304では、カルマンフィルタを用いて誤差の事後推定を求める。まず、カルマンゲインは、カルマンフィルタモデルの誤差 $\langle Q_{w,k} \rangle$ と観測誤差 $\langle Q_{v,k} \rangle$ を用いて、次の式(10)のように表される。

[数11]

$$K_k = Q_{w,k} C_k^T (C_k Q_{w,k} C_k^T + Q_{v,k})^{-1} \quad (10)$$

[0045] ここで、 $[C_k]$ はカルマンフィルタにおいて、観測行列と呼ばれるものである。

観測誤差の事後推定 $x_{\epsilon,k}^+$ は、次の式(11)で与えられる。

[数12]

$$x_{\epsilon,k}^+ = \begin{pmatrix} q_{g\epsilon,k}^+ \\ q_{m\epsilon,k}^+ \\ b_{\epsilon,k}^+ \end{pmatrix} = K_k \begin{pmatrix} q_{zg\epsilon,k} \\ q_{zm\epsilon,k} \end{pmatrix} \quad (11)$$

[0046] 図9のステップS305では、誤差の事後推定を使って、ジャイロ由来の地磁気ベクタ、重力ベクタの事前推定を補正し、傾きの事後推定を得る。地磁気ベクタ $\langle m_k^- \rangle$ 及び重力ベクタ $\langle g_k^- \rangle$ の事後推定は、事前推定を誤差量だけ回転させて次の式(12)、式(13)で与えられる。

[数13]

$$m_k^+ = q_{m\epsilon,k}^+ m_k^- (q_{m\epsilon,k}^+)^* \quad (12)$$

$$g_k^+ = q_{g\epsilon,k}^+ g_k^- (q_{g\epsilon,k}^+)^* \quad (13)$$

[0047] 式12、式13において\*は共役を表す。

さらに、式(2)に式(12)、(13)を代入し、傾きの事後推定 $[R_k^+]$ を得る。最後に、傾き、すなわちロール $\phi_k$ 、ピッチ $\theta_k$ 、ヨー角 $\psi_k$ は次の式(14)のように表される。

[数14]

$$(\phi_k, \theta_k, \psi_k) = \left( \tan^{-1} \left( \frac{R_{yz}^+}{R_{zz}^+} \right), -\sin^{-1}(R_{xz}^+), \tan^{-1} \left( \frac{R_{xy}^+}{R_{xx}^+} \right) \right) \quad (14)$$

[0048] 以上の処理を繰り返すことで、逐次傾きを計算する。

[0049] 攻撃検知装置 2 による攻撃検知では、図 9 のステップ S 3 0 3 の誤差により計算される重力ベクタの誤差  $q_{z g \varepsilon, k}$ 、地磁気ベクタの誤差  $q_{z m \varepsilon, k}$  を見て、攻撃の有無を判断する。すなわち、攻撃検知装置 2 は回転クォータニオンのベクトル成分にのみ着目する。

[0050] 図 5、図 7 でそれぞれ示した正常時と異常時のセンサデータを用いて、具体的に説明する。

図 1 0 は、正常時の地磁気ベクタの誤差、重力ベクタの誤差を示す。図 1 0 の 6 つのグラフの横軸は時間であり、縦軸は誤差である。

図 1 1 は、攻撃時の地磁気ベクタの誤差、重力ベクタの誤差を示す。図 1 1 の 6 つのグラフは図 1 0 の 6 つのグラフに対応する。図 1 0 と図 1 1 を比べると、攻撃時の方が誤差は大きい。特に重力ベクタに関して、その差は顕著である。誤差を見てセンサ間の不整合を検知する方法も、誤差が一定の閾値を超えた場合に攻撃と判断することで、攻撃の有無を判定できる。

[0051] 以上の二つの不整合検出の方法を攻撃検知装置 2 に適用する。

図 1 2 は、攻撃検知装置 2 を含む、攻撃検知システム 3 0 の動作を示すシーケンスである。図 1 2 を用いて、攻撃検知装置 2 の動作を説明する。

ステップ S 1 1 において、ジャイロセンサ 1 1 a は、センサフュージョン部 1 2 a へ角速度データを送信する。

ステップ S 1 2 において、加速度センサ 1 1 b は、センサフュージョン部 1 2 a へ加速度データを送信する。

ステップ S 1 3 において、磁気センサ 1 1 c は、センサフュージョン部 1 2 a へ磁気データを送信する。

ステップ S 1 4 において、センサフュージョン部 1 2 a は、加速度データ、磁気データを相関計算部 2 1 に送信する。

[0052] その後、センサフュージョン部 1 2 a は、角速度データ、加速度データ、磁気データを用いて、図 9 の説明で述べたように、センサフュージョンを行う。これにより、センサフュージョン部 1 2 a によって、傾きが計算される。また、センサフュージョン部 1 2 a による傾きの計算の過程で、各センサ

が計測した物理量の誤差であるセンサフュージョン部誤差データが求まる。ステップS 15において、センサフュージョン部12aは、信号処理中間値であるセンサフュージョン誤差データを、攻撃判定部22に送信する。

[0053] 相関計算部21は、加速度データと磁気データとの相関を計算する。ステップS 16において、相関計算部21は、計算した相関値を攻撃判定部22へ送信する。ステップS 17において、攻撃判定部22は、センサフュージョン誤差データと相関値とから、攻撃の有無を判定し、判定結果をコントローラ3に送信する。

[0054] 図13は、相関計算部21の動作を示すフローチャートである。図13を参照して相関計算部21の動作を説明する。

ステップS 101において、相関計算部21は、センサフュージョン部12aから、加速度データと、磁気データを受信する。

ステップS 102において、相関計算部21は、加速度データと磁気データとの相関係数を計算する。

ステップS 103において、相関計算部21は、相関値を攻撃判定部22に送信する。

[0055] このように、類似度計算部である相関計算部21は、複数のセンサのうち2つのセンサである加速度センサ11b及び磁気センサ11cのセンサデータを取得し、2つのセンサデータの相関値を類似度として計算する。後述のように、攻撃判定部22は、類似度閾値と類似度である相関値とを比較することにより、複数のセンサのうち少なくとも一つのセンサへの攻撃があるかどうかを判定する。

なお、類似度が計算される2つのセンサは、観測可能な物理量が異なる。具体的には、加速度センサ11bの観測可能な物理量は重力であり、磁気センサ11cの観測可能な物理量は地磁気である。

[0056] 図14は、攻撃判定部22の動作を示すフローチャートである。図14を参照して攻撃判定部22の動作を説明する。攻撃判定部22は、相関値と、センサフュージョン誤差データとを用いて、それぞれが閾値を超えたかどうか

かをカウントし、そのカウントが閾値を超えた場合に、攻撃があったと判定する。以下、具体的に説明する。

[0057] ステップS201において、攻撃判定部22は、閾値カウンタ220を初期化する。

ステップS202において、攻撃判定部22は相関計算部21から相関値を受信する。

[0058] ステップS203において、攻撃判定部22は、各軸について、相関値があらかじめ設定した軸毎の相関値閾値を超えたかどうかを判定する。超えている場合、ステップS204において、攻撃判定部22は、閾値カウンタ220をカウントアップする。3軸分あるため、相関値に関するカウンタの上限は3である。

閾値はX軸の閾値、Y軸の閾値、Z軸の閾値の3つある。これらをそれぞれ閾値1、閾値2、閾値3とする。閾値1、閾値2及び閾値3を類似度閾値と呼ぶ。閾値1はX軸、閾値2はY軸、閾値3はZ軸の閾値である。

[0059] ステップS205において、攻撃判定部22は、信号処理中間値であるセンサフュージョン誤差データをセンサフュージョン部12aから受信する。

[0060] ステップS206において、攻撃判定部22は、重力ベクタと地磁気ベクタの2種類の物理量に関して、各軸の誤差が閾値を超えたかどうかを判定する。2種類の誤差についてそれぞれ3軸分判定を行うため、誤差に関するカウンタの上限は6である。重力ベクタについて3軸、地磁気ベクタについて3軸、計6軸あるが、各軸に閾値がある。

重力ベクタのX軸、Y軸、Z軸の閾値を閾値4、閾値5、閾値6とする。地磁気ベクタのX軸、Y軸、Z軸の閾値を閾値7、閾値8、閾値9とする。閾値4から閾値9を中間値閾値と呼ぶ。

攻撃判定部22は、各誤差が対応する閾値を超えていれば閾値カウンタをカウントアップし、誤差が誤差閾値を超えていなければ閾値カウンタをカウントアップしない（ステップS207）。

閾値は閾値1から閾値9までであるので、ステップS203及びステップS

206により、閾値カウンタ220は最大で9、最小で0である。

[0061] ステップS208において、攻撃判定部22は、閾値カウンタ220が、あらかじめ規定した閾値を超えたかどうかを判定する。この閾値は閾値1から閾値9とは異なる、閾値カウンタ220のための閾値である。この閾値をカウンタ閾値と呼ぶ。閾値カウンタ220がカウンタ閾値を超えている場合には、攻撃判定部22は攻撃ありと判断し、異常の通知をコントローラ3に送信する（ステップS209）。閾値カウンタ220がカウンタ閾値を超えていない場合には、攻撃判定部22は、攻撃なしと判断し、正常の通知をコントローラ3に送信する（ステップS210）。

[0062] 例えば、カウンタ閾値を1とすれば、閾値1から閾値9と比較される値の一つでも閾値を超えた場合、攻撃判定部22は、攻撃ありと判定する。また、カウンタ閾値を5とすれば、閾値1から閾値9と比較される9つの値のうち6つ以上が閾値を超えた場合に、攻撃判定部22は攻撃ありと判定する。

[0063] 以上のように、攻撃判定部22は、センサフュージョンアルゴリズムの実行中に、それぞれの中間値を取得する。センサフュージョン部12aの実行するセンサフュージョンアルゴリズムは、種類の異なる複数のセンサであるジャイロセンサ11a、加速度センサ11b及び磁気センサ11cによって観測される複数の物理量を組み合わせて出力を計算するアルゴリズムである。ここで複数の物理量とは重力と地磁気である。センサフュージョンアルゴリズムは、複数の物理量のそれぞれの中間値である重力ベクタの誤差 $q_{z g \varepsilon, k}$ 及び地磁気ベクタの誤差 $q_{z m \varepsilon, k}$ を計算し、それぞれの中間値を用いて出力を変化させるアルゴリズムである。

このように、それぞれの中間値は、種類の異なる複数のセンサによって観測される複数の物理量のそれぞれの誤差データである。

攻撃判定部22は、それぞれの中間値である重力ベクタの誤差 $q_{z g \varepsilon, k}$ 及び地磁気ベクタの誤差 $q_{z m \varepsilon, k}$ と、中間値閾値である閾値4から閾値9とを比較することにより、複数のセンサのうち少なくとも一つのセンサへの攻撃があるかどうかを判定する。

[0064] なお、相関計算部 21 は、ピアソンの相関係数の代わりに、次に示す方法で類似度を計算しても良い。

(1) 相関計算部 21 は、相互相関、相互情報量、または尤度を計算する。

(2) 相関計算部 21 は、幾何学的距離（ユークリッド距離、マハラノビス距離、マンハッタン距離、チェビシェフ距離、ミンコフスキー距離など）を計算すること。

[0065] 攻撃判定部 22 は、中間値の種類に応じて中間値閾値に重み付けを行い、2つのセンサデータの種類に応じて類似度閾値に重み付けを行うことができる。中間値閾値の重み付けは、中間値閾値を変更してもよいし、中間値を変更してもよい。同様に類似度閾値の重み付けは、類似度閾値を変更してもよいし、類似度を変更してもよい。

[0066] 具体的には、攻撃判定部 22 は、閾値カウンタ 220 を次のような方法で実現できる。

(1) 相関値と誤差とで、それぞれ閾値を超えた場合にカウントする値に重み付けを行う、あるいは、閾値自体を変化させることで重み付けを行う。例えば、センサデータ間に相関が現れにくいセンサデータの組み合わせがある場合、その組み合わせから計算された相関値と比較を行う閾値の値を高く設定することで、重要度を下げる。

(2) 閾値との比較を行う軸に応じて、閾値を超えた場合にカウントする値に重み付けを行う、あるいは、閾値自体を変化させることで重み付けを行う。例えば、加速度センサを有する移動ロボットで、水平方向にしか進まないことが分かっている場合、重力方向を表す軸（例えば Z 軸）に関する重力ベクタ誤差と比較を行う閾値の値を高く設定することで、重要度を下げる。

(3) 相関値及び誤差と、相関値及び誤差のそれぞれ対応する閾値との差とを、閾値カウンタに格納する。

(4) 上記 (3) で格納する値に、相関値または誤差、あるいは軸の種類に応じて重み付けを行う。

[0067] 信号処理部 12 は、実施の形態 1 で述べたカルマンフィルタによるセンサ

フュージョンアルゴリズムの他に、次のように状態推定を行うアルゴリズムにより実現しても良い。

(1) パーティクルフィルタを用いたセンサフュージョンアルゴリズム。

(2) ベイジアンフィルタを用いたセンサフュージョンアルゴリズム。

[0068] \*\*\*実施の形態1の効果の説明\*\*\*

実施の形態1の攻撃検知装置2は、攻撃によりセンサ間が異なる物理状態を観測した場合、相関値が低く出ること、またセンサフュージョンの誤差が大きくなることを用いて、センサデータ間の不整合からセンサへの攻撃を検知できる。

また、内部構造の分からないブラックボックスのセンサであっても、センサデータと信号処理の中間値を取り出し、攻撃検知装置を別途接続することで、攻撃検知の仕組みを導入できる。よって、センサへの加工なしに攻撃を検知できる。

また、攻撃検知装置2は、センサによる計測とは独立して攻撃検知を行うため、センサによる計測に悪影響を及ぼすことは無い。

[0069] 実施の形態1では、センサとしてジャイロセンサ11a、加速度センサ11b、磁気センサ11cを使用する傾きセンサモジュールを説明した。これに限らず、傾きセンサモジュールは、加速度センサ、ジャイロセンサ、磁気センサ、チルトセンサのうち二種以上を備えてもよい。

また、傾きセンサに限らず、加速度センサ、ジャイロセンサ、磁気センサ、超音波センサ、光センサ、カメラ、GPSセンサのうち二種以上のセンサを備える位置センサでもよい。

また、傾きセンサに限らず、レーダー、超音波センサ、光センサ、カメラのうち二種以上のセンサを備える測距センサでもよい。

また、傾きセンサに限らず、温度センサ、湿度センサ、放射線センサ、pHセンサ、カメラのうち二種以上のセンサを備える土壌センサでもよい。

[0070] \*\*\*ハードウェア構成の説明\*\*\*

最後に、攻撃検知装置2のハードウェア構成の補足説明を行う。なお、以

下の説明は、傾きセンサモジュール1 aにもあてはまる。

プロセッサ23は、CPU (Central Processing Unit)、DSP (Digital Signal Processor) 等である。

メモリ24は、RAM (Random Access Memory)、ROM (Read Only Memory)、フラッシュメモリ、HDD (Hard Disk Drive)、SSD (Solid State Drive) 等である。

センサデータ入力インタフェース25、信号処理中間値入力インタフェース26、攻撃判定結果出力インタフェース204は、I2C (Inter-Integrated Circuit) インタフェース、SPI (Serial Peripheral Interface) 及びEthernet (登録商標) インタフェース等である。

[0071] また、信号処理部12、相関計算部21、攻撃判定部22の「部」を、「回路」又は「工程」又は「手順」又は「処理」に読み替えてもよい。

また、攻撃検知装置2は、ロジックIC (Integrated Circuit)、GA (Gate Array)、ASIC (Application Specific Integrated Circuit)、FPGA (Field-Programmable Gate Array) といった電子回路により実現されてもよい。

なお、プロセッサ及び上記の電子回路を総称してプロセッシングサーキットリーともいう。

[0072] 図15は、攻撃検知装置2が電子回路99で実現される図である。電子回路99によって、プロセッサ23として示す「部」の機能、メモリ24の機能、センサデータ入力インタフェース25の機能、信号処理中間値入力インタフェース26及び攻撃判定結果出力インタフェース27の機能が実現される。

電子回路99は信号線99aに接続している。電子回路99は、具体的に

は、単一回路、複合回路、プログラム化したプロセッサ、並列プログラム化したプロセッサ、ロジックIC、GA (Gate Array)、ASIC (Application Specific Integrated Circuit)、又は、FPGA (Field-Programmable Gate Array) である。

### 符号の説明

[0073] 1 センサモジュール、1 a 傾きセンサモジュール、2 攻撃検知装置、3 コントローラ、11 センサデータ入力部、11 a ジャイロセンサ、11 b 加速度センサ、11 c 磁気センサ、12 信号処理部、12 a センサフュージョン部、13 プロセッサ、14 メモリ、15 撃判定結果出力インタフェース、16 傾き出力インタフェース、21 相関計算部、22 攻撃判定部、23 プロセッサ、24 メモリ、25 センサデータ入力インタフェース、26 信号処理中間値入力インタフェース、27 攻撃判定結果出力インタフェース、30 攻撃検知システム、99 電子回路、99 a 信号線、220 閾値カウンタ。

## 請求の範囲

- [請求項1] 種類の異なる複数のセンサによって観測される複数の物理量を組み合わせ出力を計算するアルゴリズムであり、前記複数の物理量のそれぞれの中間値を計算し、それぞれの前記中間値を用いて出力を変化させるアルゴリズムであるセンサフュージョンアルゴリズムの実行中に、それぞれの前記中間値を取得する中間値取得部と、
- それぞれの前記中間値と閾値である中間値閾値とを比較することにより、前記複数のセンサのうち少なくとも一つのセンサへの攻撃があるかどうかを判定する判定部と
- を備える攻撃検知装置。
- [請求項2] それぞれの前記中間値は、
- 種類の異なる複数のセンサによって観測される複数の物理量のそれぞれの誤差データである請求項1に記載の攻撃検知装置。
- [請求項3] 前記攻撃検知装置は、さらに、
- 前記複数のセンサのうち2つのセンサのセンサデータを取得し、2つのセンサデータの類似度を計算する類似度計算部を備え、
- 前記判定部は、
- 閾値である類似度閾値と前記類似度とを比較することにより、前記複数のセンサのうち少なくとも一つのセンサへの攻撃があるかどうかを判定する請求項1または請求項2に記載の攻撃検知装置。
- [請求項4] 前記2つのセンサは
- 観測可能な物理量が異なる請求項3に記載の攻撃検知装置。
- [請求項5] 前記類似度計算部は、
- 前記類似度として、相関値を計算する請求項3または請求項4に記載の攻撃検知装置。
- [請求項6] 前記判定部は、
- 前記中間値の種類に応じて前記中間値閾値に重み付けを行い、2つのセンサデータの種類に応じて前記類似度閾値に重み付けを行う請求

項3に記載の攻撃検知装置。

[請求項7]

コンピュータに、

種類の異なる複数のセンサによって観測される複数の物理量を組み合わせる出力を計算するアルゴリズムであり、前記複数の物理量のそれぞれの中間値を計算し、それぞれの前記中間値を用いて出力を変化させるアルゴリズムであるセンサフュージョンアルゴリズムの実行中に、それぞれの前記中間値を取得する処理と、

それぞれの前記中間値と閾値である中間値閾値とを比較することにより、前記複数のセンサのうち少なくとも一つのセンサへの攻撃があるかどうかを判定する処理と

を実行させる攻撃検知プログラム。

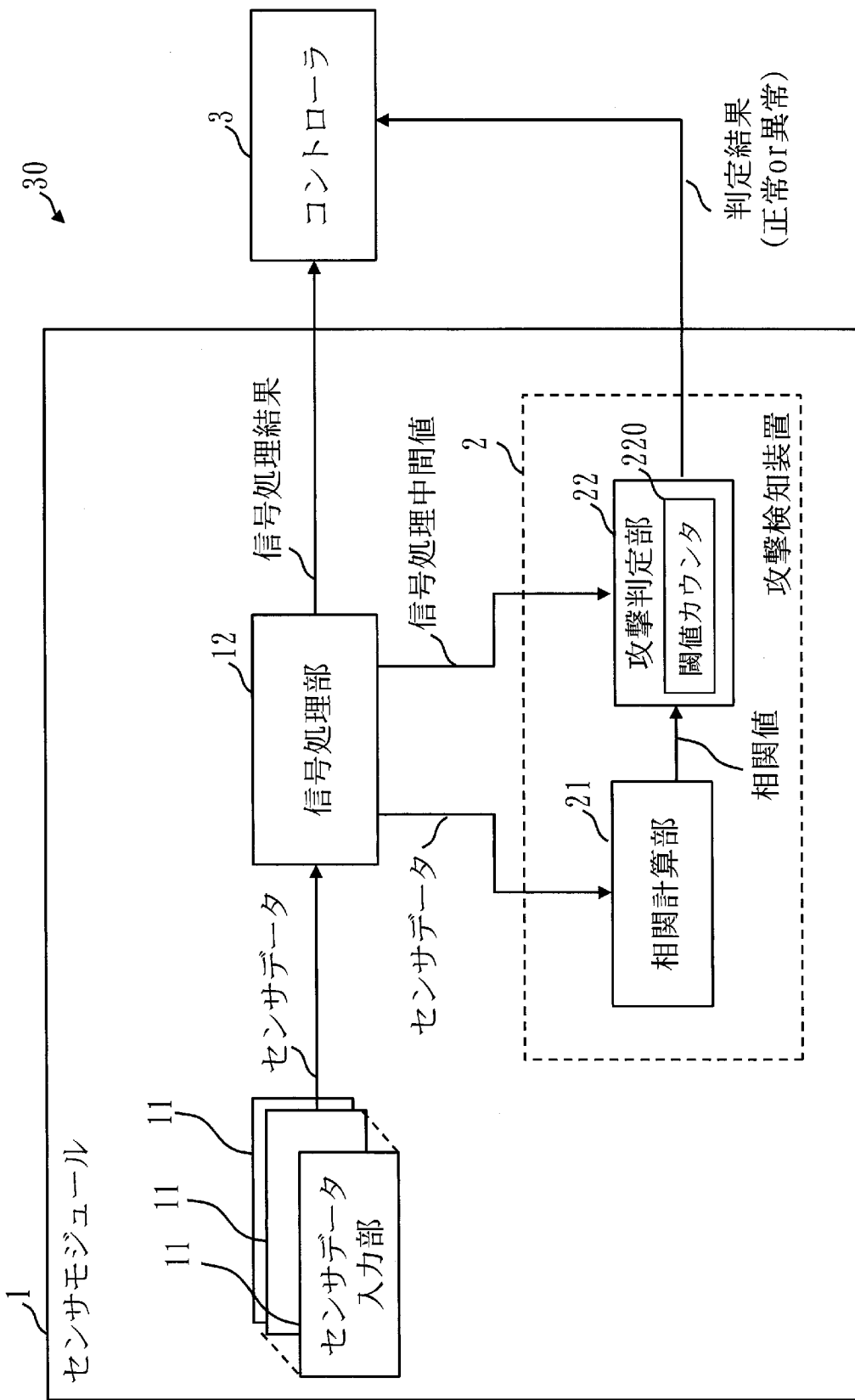
[請求項8]

コンピュータが、

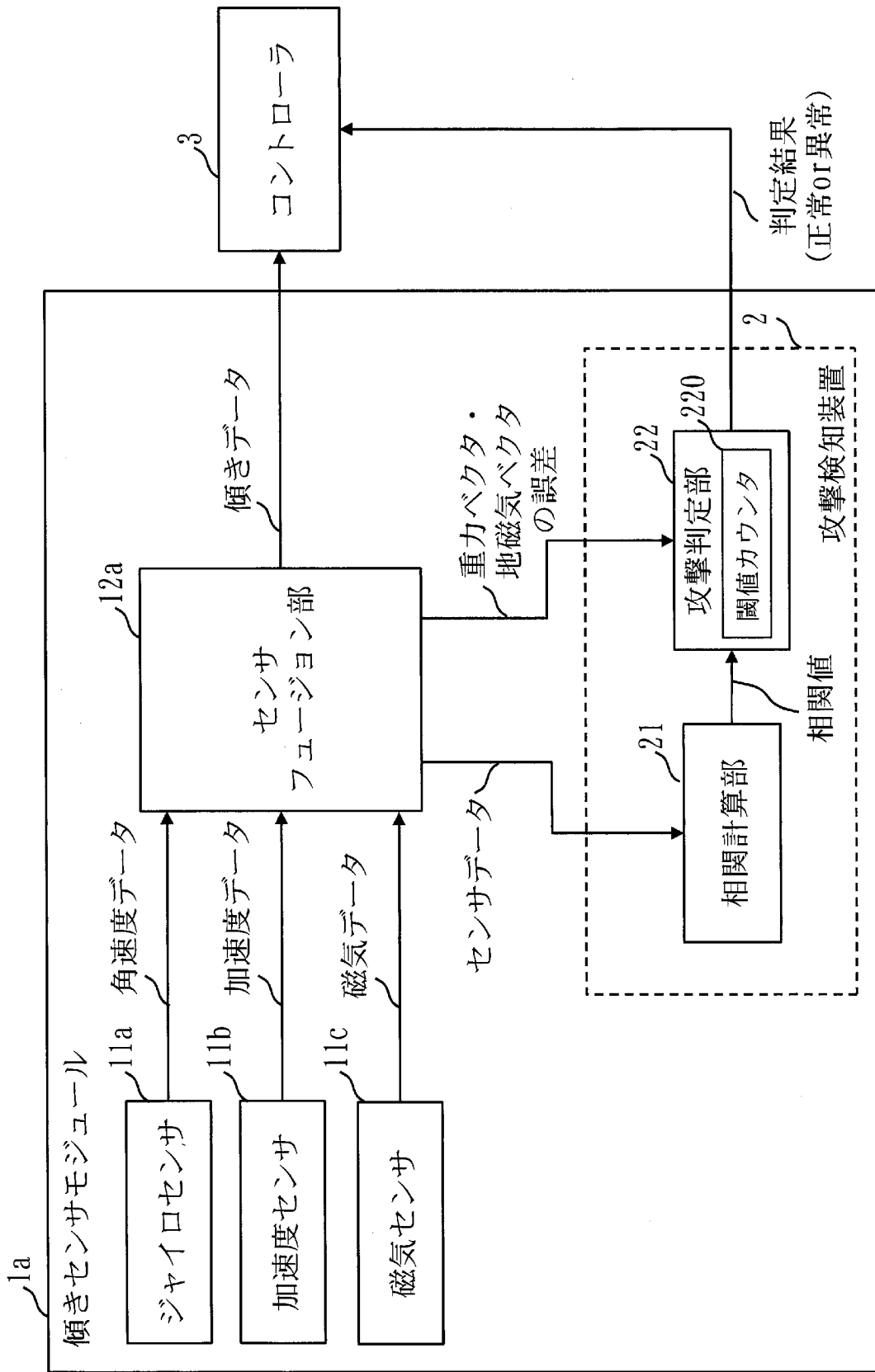
種類の異なる複数のセンサによって観測される複数の物理量を組み合わせる出力を計算するアルゴリズムであり、前記複数の物理量のそれぞれの中間値を計算し、それぞれの前記中間値を用いて出力を変化させるアルゴリズムであるセンサフュージョンアルゴリズムの実行中に、それぞれの前記中間値を取得し、

それぞれの前記中間値と閾値である中間値閾値とを比較することにより、前記複数のセンサのうち少なくとも一つのセンサへの攻撃があるかどうかを判定する攻撃検知方法。

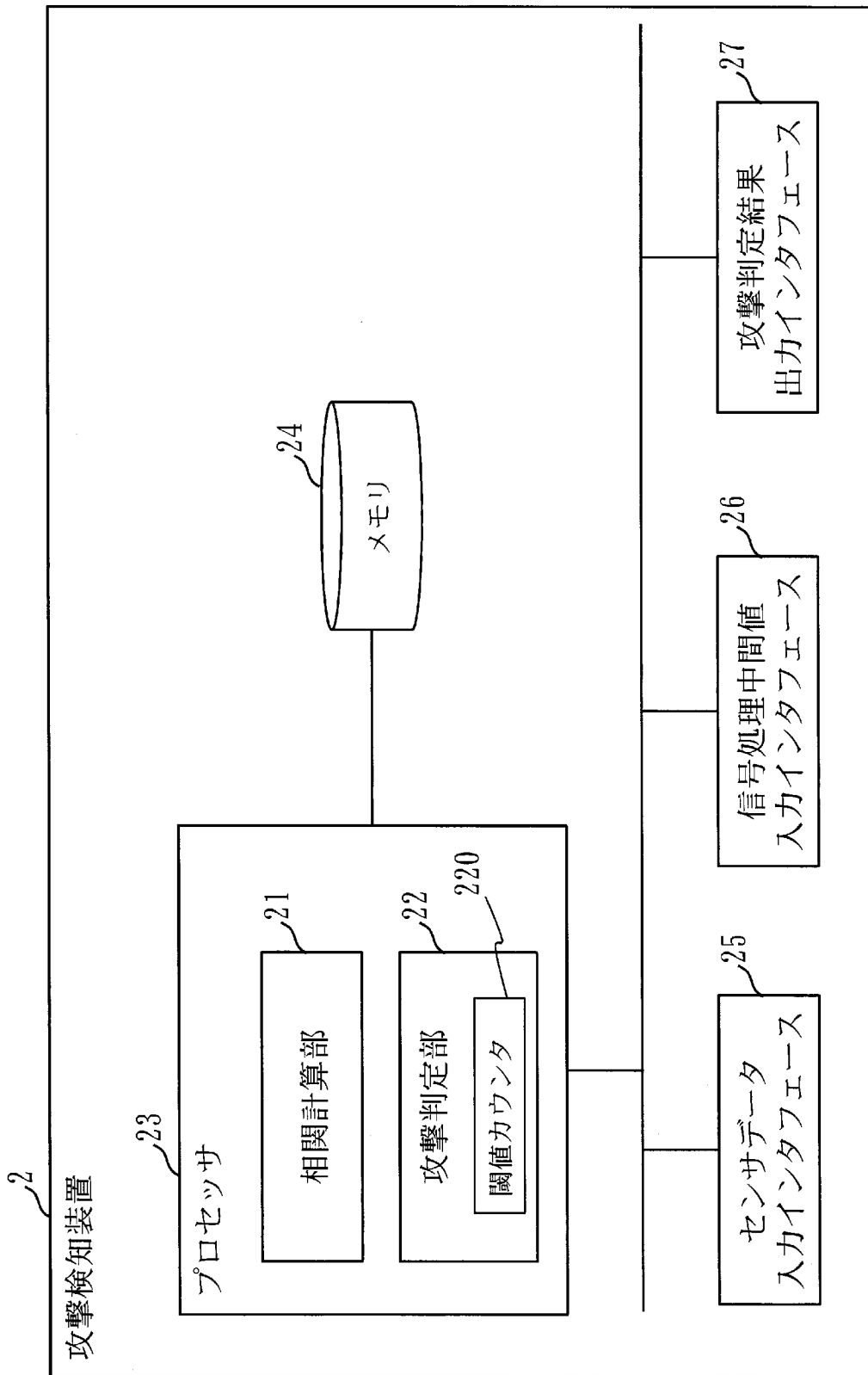
[図1]



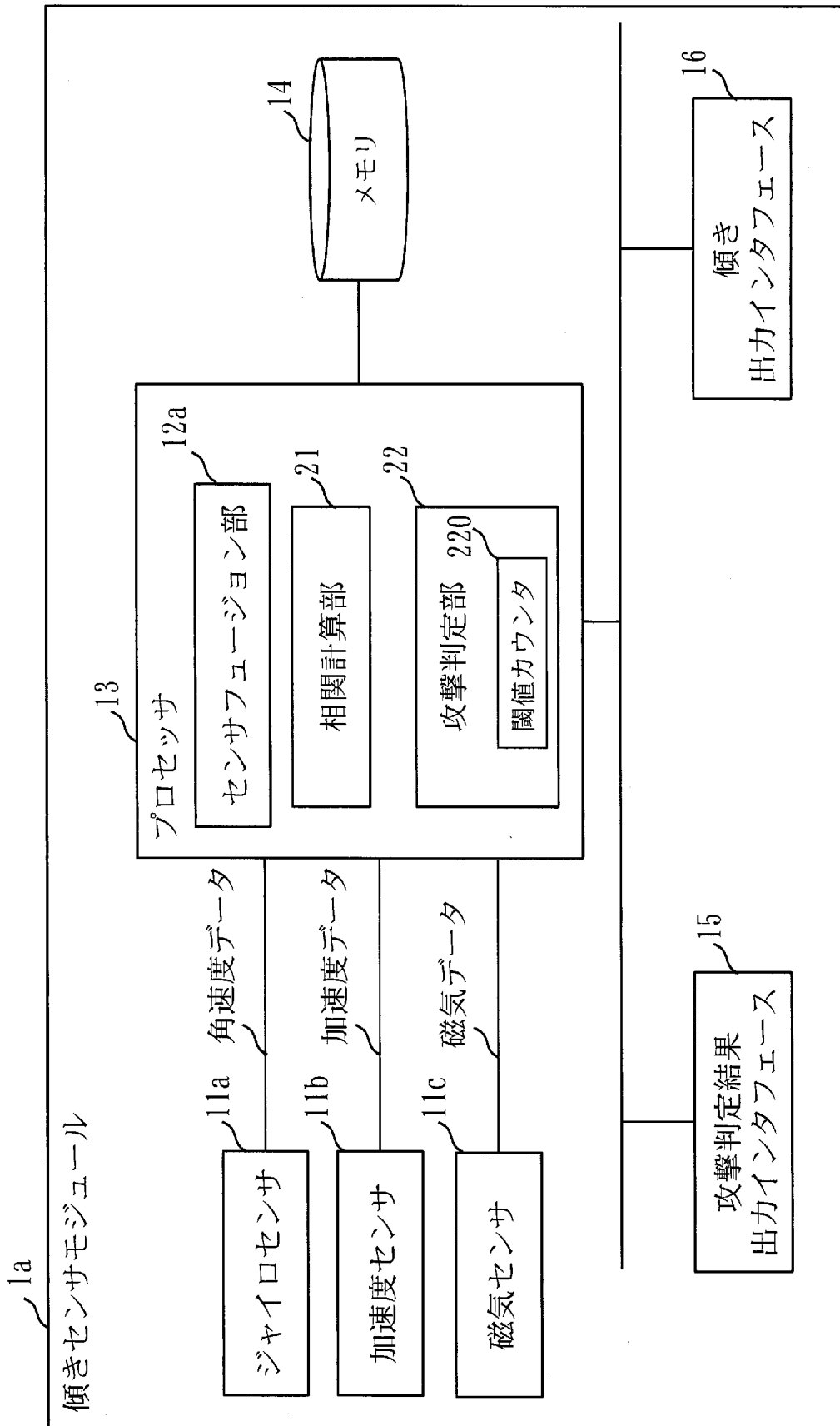
[図2]



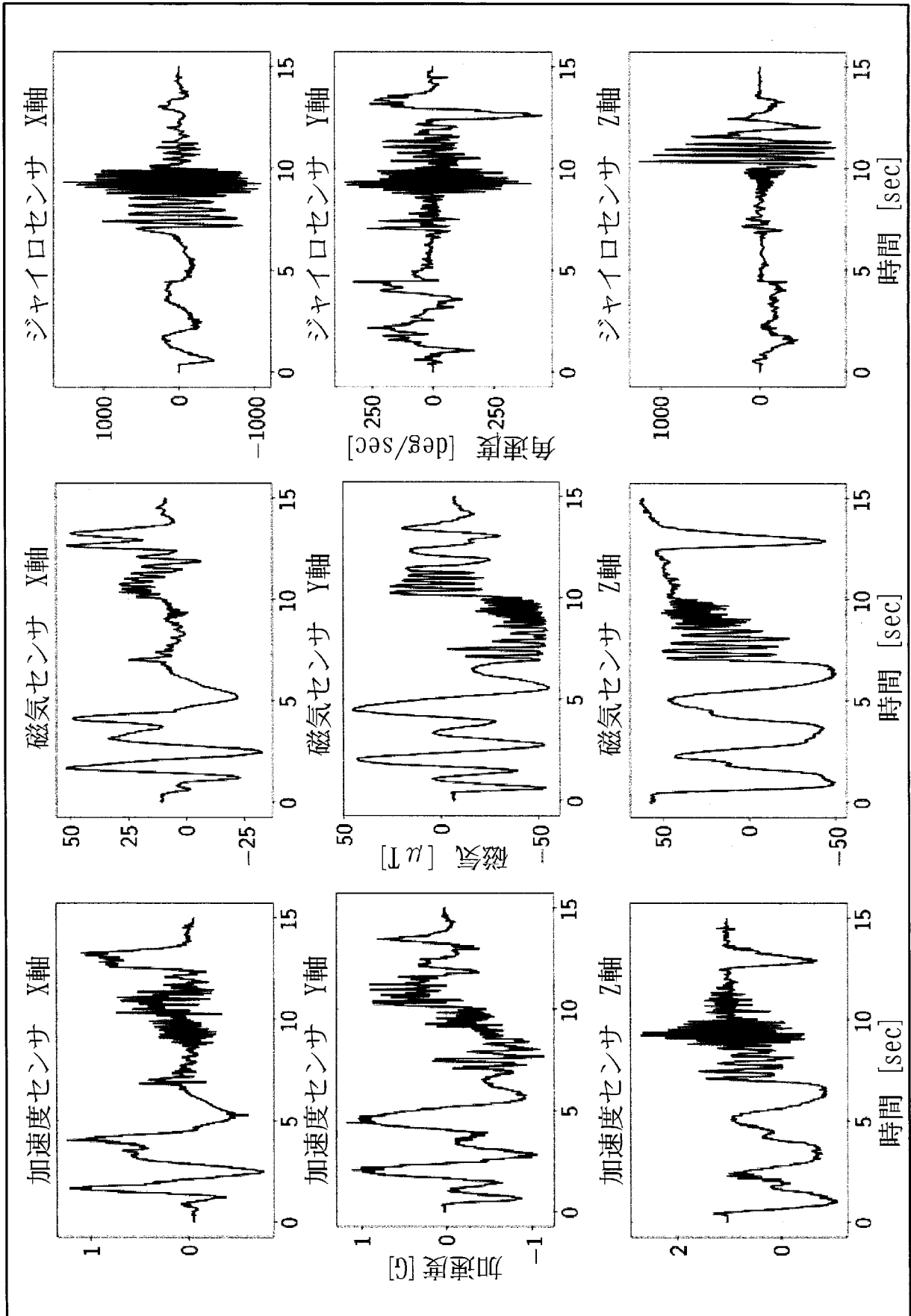
[図3]



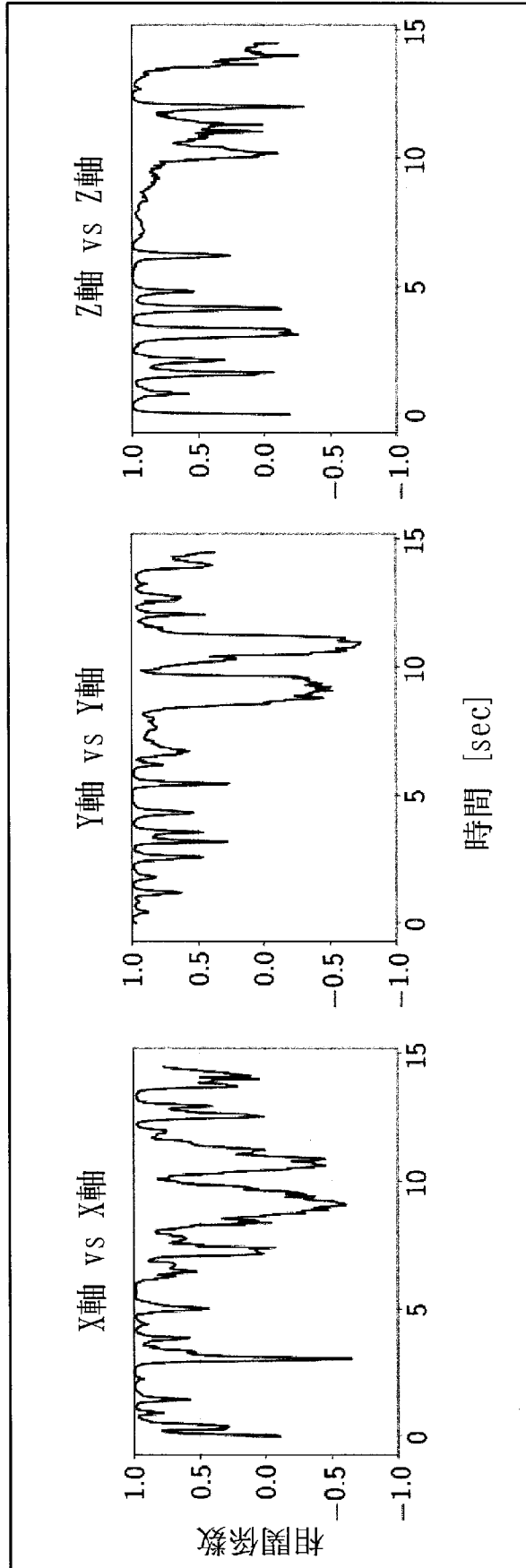
[図4]



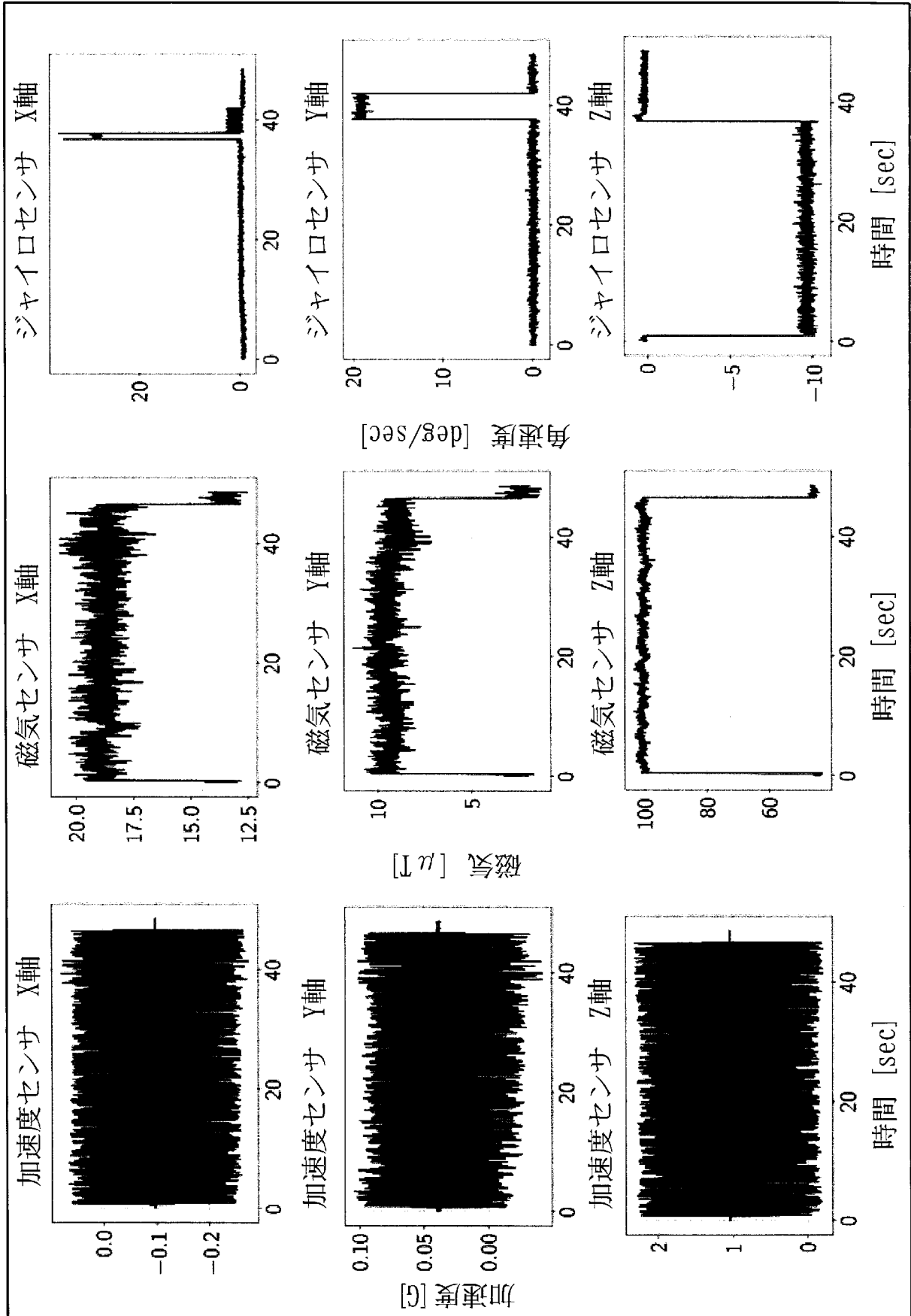
[図5]



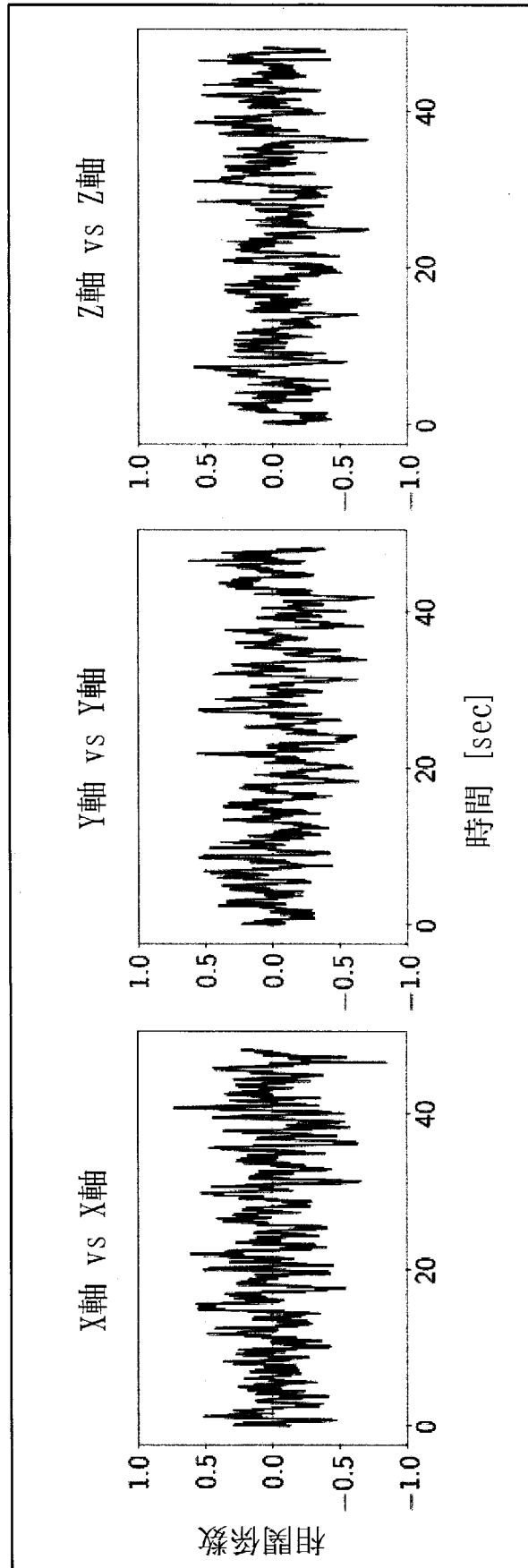
[図6]



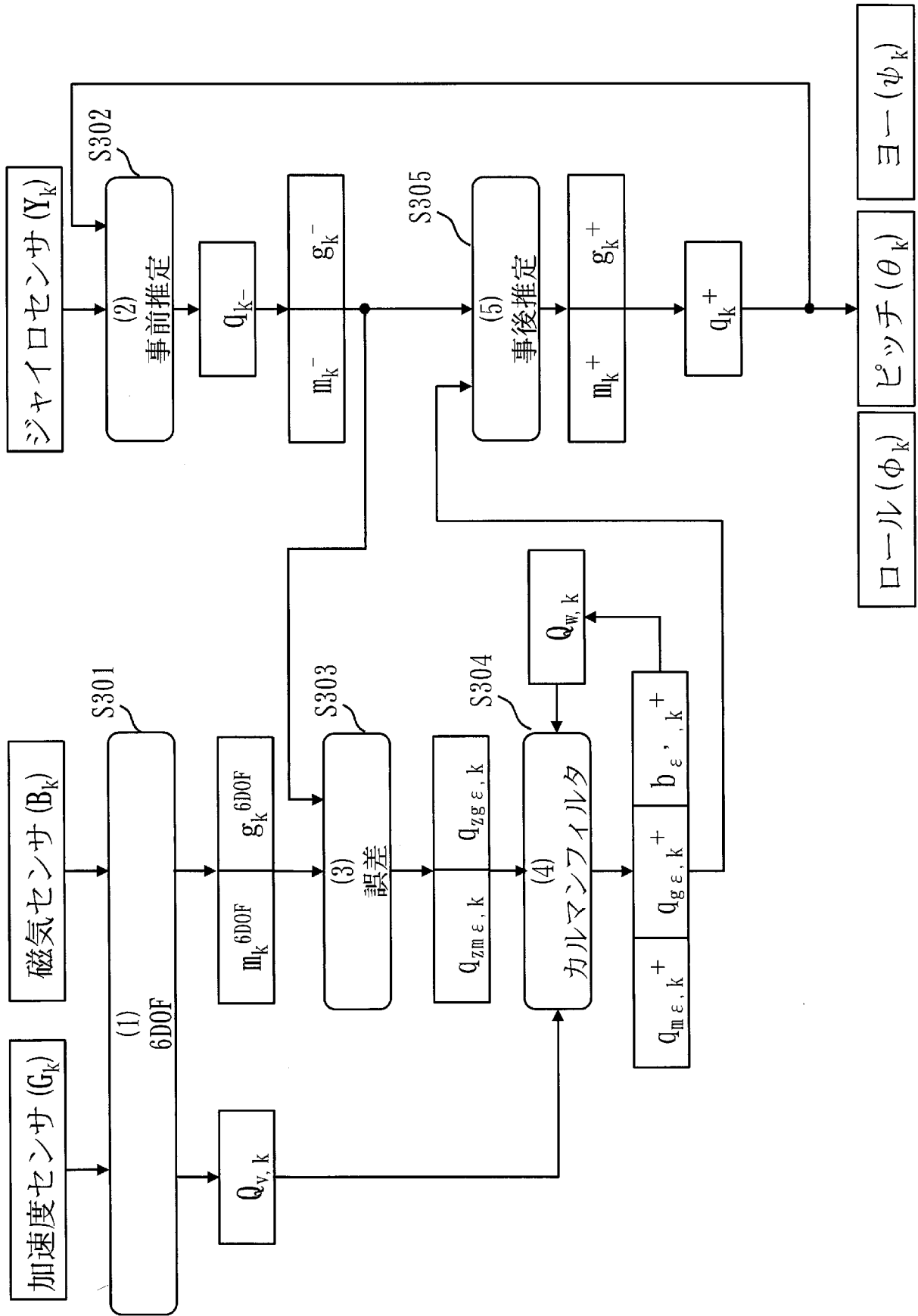
[図7]



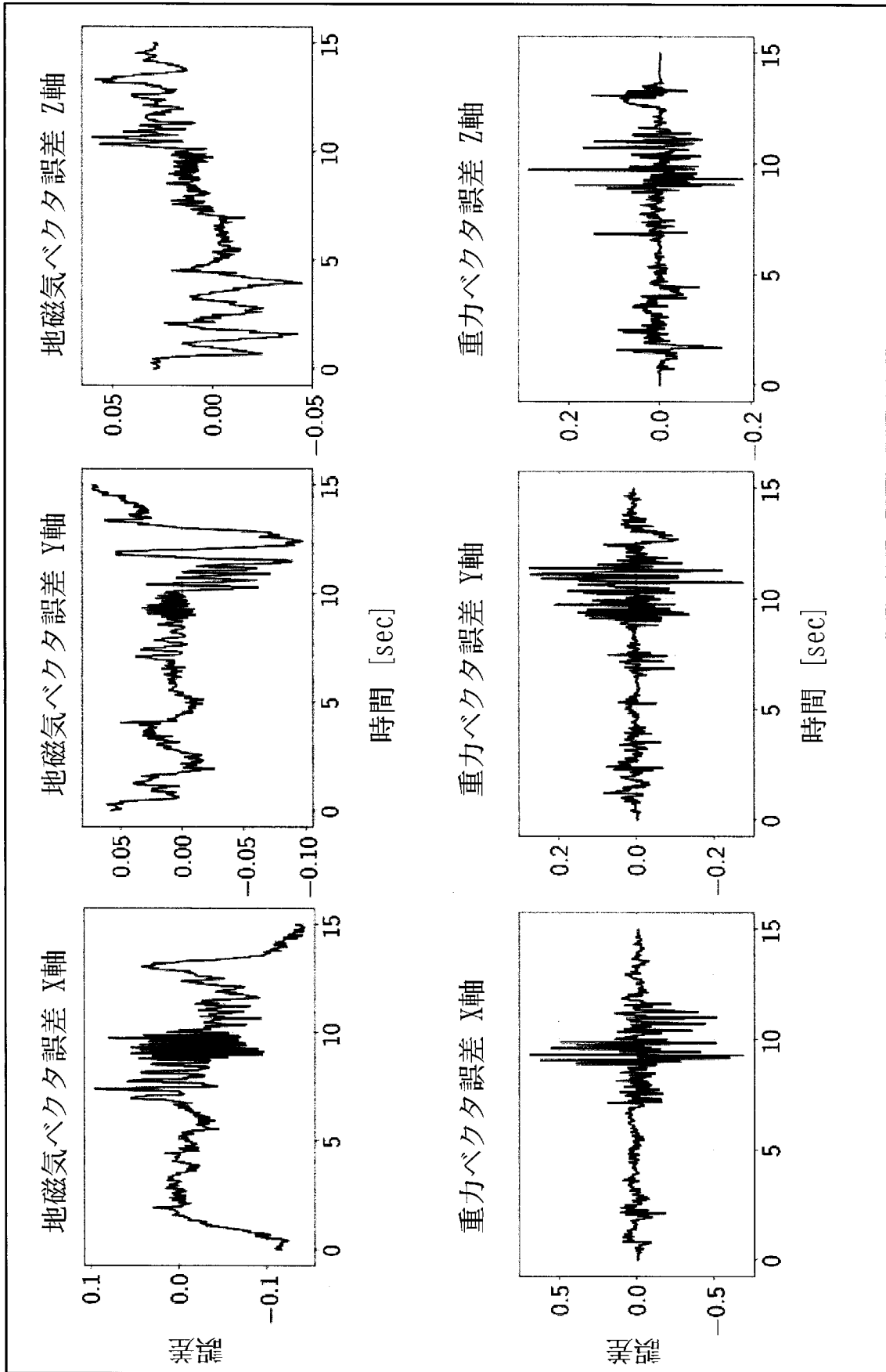
[図8]



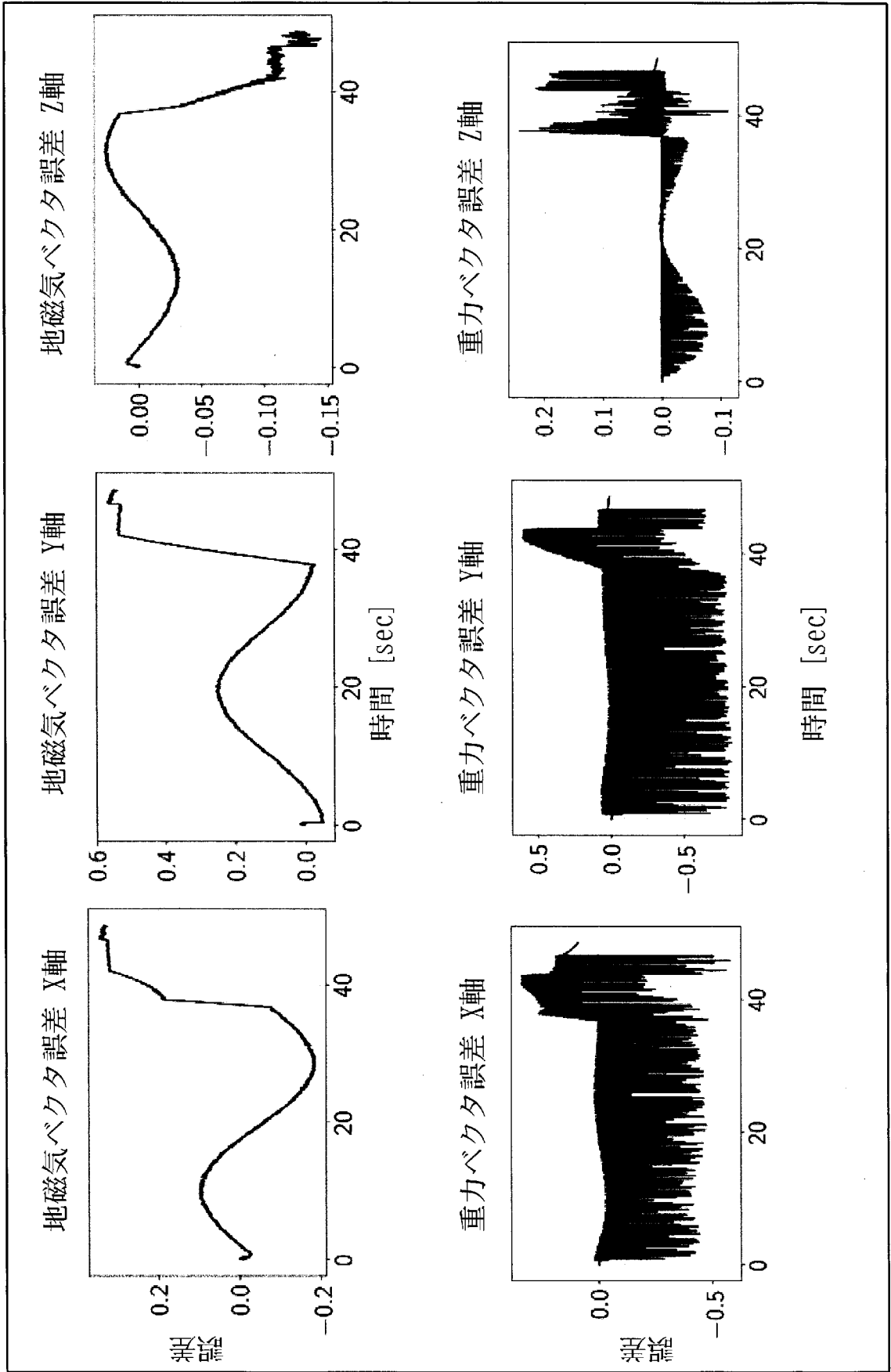
[図9]



[図10]

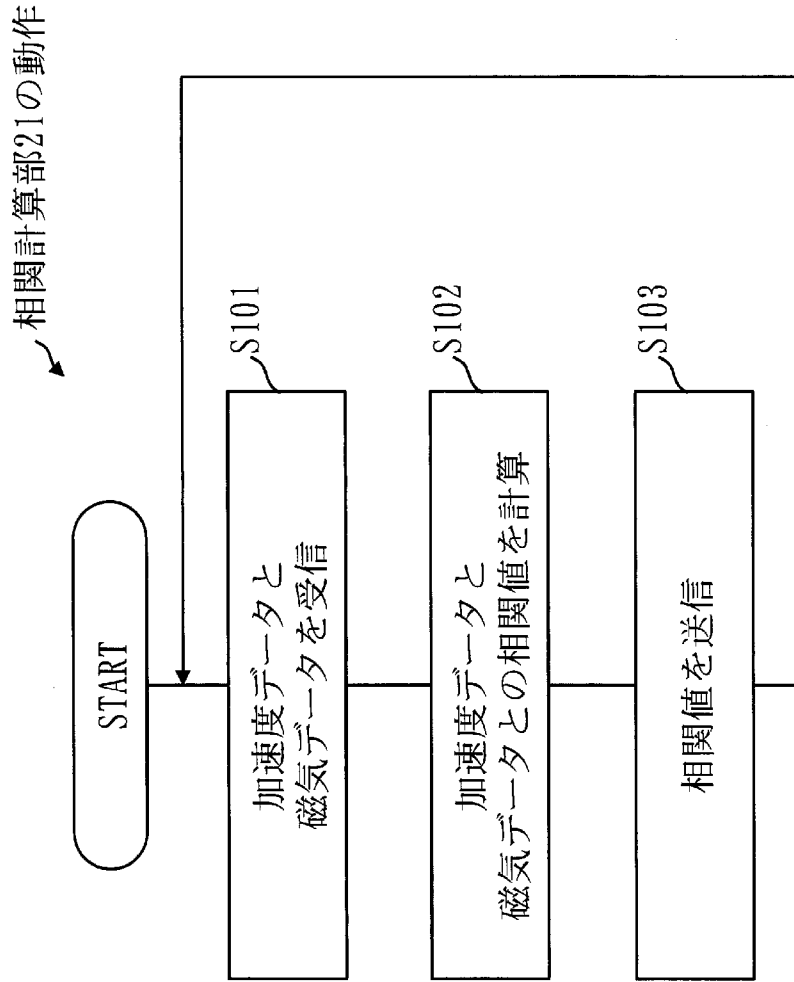


[図11]

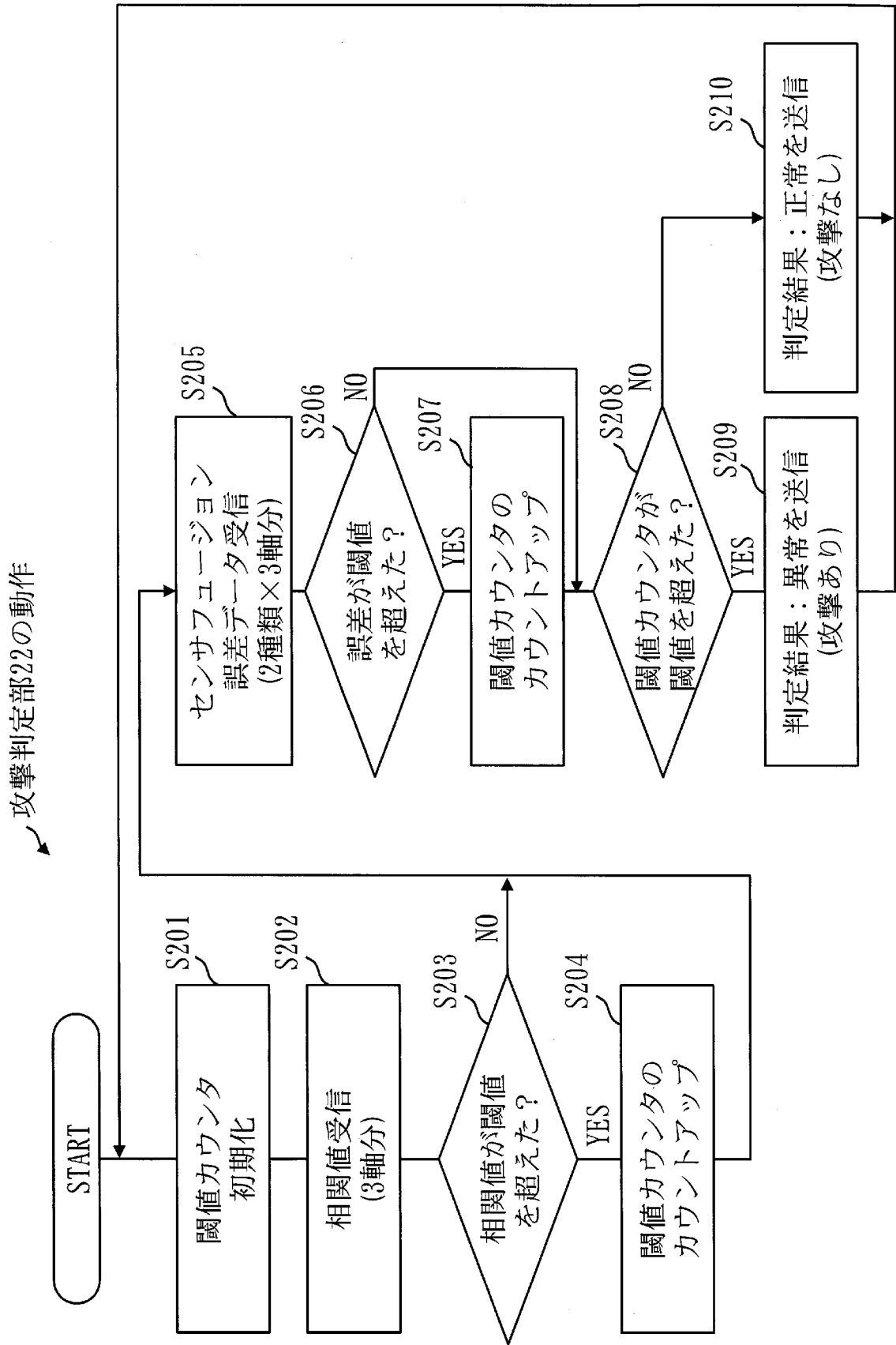




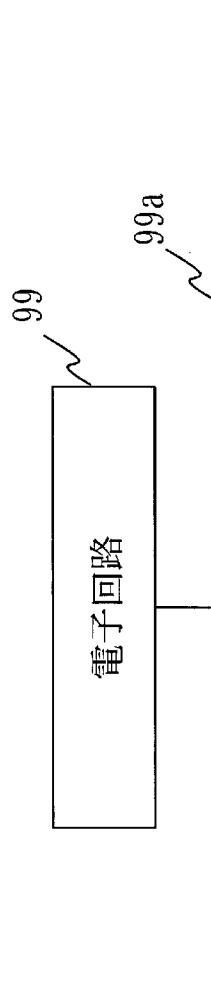
[図13]



[図14]



[図15]



**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**

International application No.

PCT/JP2018/016647

**A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER**

Int.Cl. G01D21/00 (2006.01) i, G01C19/00 (2013.01) i, G01P21/00 (2006.01) i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

**B. FIELDS SEARCHED**

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

Int.Cl. G01D21/00, G01C19/00, G01P21/00

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Published examined utility model applications of Japan	1922-1996
Published unexamined utility model applications of Japan	1971-2018
Registered utility model specifications of Japan	1996-2018
Published registered utility model applications of Japan	1994-2018

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

**C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT**

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2015-169582 A (RICOH ELEMEX CORPORATION) 28 September 2015, paragraphs [0046]-[0085], fig. 6 (Family: none)	1-8
A	JP 2012-42285 A (ONO SOKKI CO., LTD.) 01 March 2012, paragraphs [0018]-[0026], fig. 1 (Family: none)	1-8
A	JP 2006-350707 A (HITACHI, LTD.) 28 December 2006, paragraphs [0056]-[0073], fig. 7 & US 2006/0287806 A1, paragraphs [0076]-[0093], fig. 7 & EP 1734342 A1	1-8

Further documents are listed in the continuation of Box C.       See patent family annex.

* Special categories of cited documents:	"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date	"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)	"&" document member of the same patent family
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means	
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed	

Date of the actual completion of the international search 13.07.2018	Date of mailing of the international search report 24.07.2018
---	--

Name and mailing address of the ISA/ Japan Patent Office 3-4-3, Kasumigaseki, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8915, Japan	Authorized officer  Telephone No.
--	---

**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**

International application No.

PCT/JP2018/016647

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	WO 2017/141469 A1 (HITACHI, LTD.) 24 August 2017, paragraph [0020] (Family: none)	1-8
A	WO 2018/055748 A1 (MITSUBISHI ELECTRIC CORPORATION) 29 March 2018, paragraphs [0004]-[0007] (Family: none)	1-8

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))  
 Int.Cl. G01D21/00(2006.01)i, G01C19/00(2013.01)i, G01P21/00(2006.01)i

B. 調査を行った分野  
 調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))  
 Int.Cl. G01D21/00, G01C19/00, G01P21/00

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの  
 日本国実用新案公報 1922-1996年  
 日本国公開実用新案公報 1971-2018年  
 日本国実用新案登録公報 1996-2018年  
 日本国登録実用新案公報 1994-2018年

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
A	JP 2015-169582 A (リコーエレメックス株式会社) 2015.09.28, 段落 0046-0085, 図 6 (ファミリーなし)	1-8
A	JP 2012-42285 A (株式会社小野測器) 2012.03.01, 段落 0018-0026, 図 1 (ファミリーなし)	1-8
A	JP 2006-350707 A (株式会社日立製作所) 2006.12.28, 段落 0056-0073, 図 7 & US 2006/0287806 A1, [0076]-[0093], FIG. 7 & EP 1734342 A1	1-8

☑ C 欄の続きにも文献が列挙されている。 ☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー	の日の後に公表された文献
「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの	「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの	「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの
「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)	「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の 1 以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの
「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献	「&」同一パテントファミリー文献
「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願	

国際調査を完了した日 13.07.2018	国際調査報告の発送日 24.07.2018
国際調査機関の名称及びあて先 日本国特許庁 (ISA/J P) 郵便番号 100-8915 東京都千代田区霞が関三丁目 4 番 3 号	特許庁審査官 (権限のある職員) 菅藤 政明 電話番号 03-3581-1101 内線 3216
	2 F 9305

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
A	WO 2017/141469 A1 (株式会社日立製作所) 2017. 08. 24, 段落 0020 (ファミリーなし)	1-8
A	WO 2018/055748 A1 (三菱電機株式会社) 2018. 03. 29, 段落 0004-0007 (ファミリーなし)	1-8