

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7616366号
(P7616366)

(45)発行日 令和7年1月17日(2025.1.17)

(24)登録日 令和7年1月8日(2025.1.8)

(51)国際特許分類 F I
A 6 1 B 5/22 (2006.01) A 6 1 B 5/22

請求項の数 5 (全11頁)

(21)出願番号	特願2023-523734(P2023-523734)	(73)特許権者	000004226 日本電信電話株式会社 東京都千代田区大手町一丁目5番1号
(86)(22)出願日	令和3年5月24日(2021.5.24)	(74)代理人	110004381 弁理士法人 I T O H
(86)国際出願番号	PCT/JP2021/019658	(74)代理人	100107766 弁理士 伊東 忠重
(87)国際公開番号	WO2022/249253	(74)代理人	100070150 弁理士 伊東 忠彦
(87)国際公開日	令和4年12月1日(2022.12.1)	(74)代理人	100124844 弁理士 石原 隆治
審査請求日	令和5年8月21日(2023.8.21)	(72)発明者	新島 有信 東京都千代田区大手町一丁目5番1号 日本電信電話株式会社内
		審査官	鴨志田 健太

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 力推定装置、力推定方法およびプログラム

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

推定対象の筋肉に関する力を推定するための力推定装置であって、
音波を送信する音波送信部と、
前記音波を受信する音波受信部と、
受信した前記音波を解析して前記推定対象の力の推定値を算出する力推定部と、
設定されたオフセット補正值を前記推定値から減算した値を補正後の推定値として算出するオフセット補正部と、を備える、力推定装置であり、
前記推定対象が脱力状態であったか否かを判定する脱力判定部と、
前記脱力状態と判定された時間的な区間における力の推定値に基づいて、前記オフセット補正值を設定するオフセット補正值設定部と、をさらに備え、
前記音波受信部は、受信した音波から可聴域の音波を抽出し、
前記脱力判定部は、抽出された前記可聴域の音波の振幅の絶対値を算出し、算出された絶対値を一定窓幅で積分した値が、あらかじめ定められた閾値以下である場合に、前記一定窓幅の区間を脱力状態の区間であったと判定する、
力推定装置。

10

【請求項2】

前記力推定部は、前記脱力状態と判定された区間における前記推定対象の力の推定値を算出し、
前記オフセット補正值設定部は、前記区間における力の推定値の平均値を算出し、算出

20

された前記平均値を前記オフセット補正值として設定する、
請求項 1 に記載の力推定装置。

【請求項 3】

前記力推定部は、受信された前記音波を一定サンプル数ごとに高速フーリエ変換をかけてパワースペクトラムを算出し、算出された前記パワースペクトラムを、周波数特徴量を示すベクトルとして回帰モデルに入力して、前記力の推定値を得る、

請求項 1 又は 2 に記載の力推定装置。

【請求項 4】

コンピュータが実行する力推定方法であって、
音波を送信する音波送信ステップと、
前記音波を受信する音波受信ステップと、
受信した前記音波を解析して推定対象の力の推定値を算出する力推定ステップと、
設定されたオフセット補正值を前記推定値から減算した値を補正後の推定値として算出するオフセット補正ステップと、を備える、力推定方法であり、

前記推定対象が脱力状態であったか否かを判定する脱力判定ステップと、
前記脱力状態と判定された時間的な区間における力の推定値に基づいて、前記オフセット補正值を設定するオフセット補正值設定ステップと、をさらに備え、
前記音波受信ステップにおいて、受信した音波から可聴域の音波を抽出し、
前記脱力判定ステップにおいて、抽出された前記可聴域の音波の振幅の絶対値を算出し、
算出された絶対値を一定窓幅で積分した値が、あらかじめ定められた閾値以下である場合に、前記一定窓幅の区間を脱力状態の区間であったと判定する、

力推定方法。

【請求項 5】

コンピュータを請求項 1 から 3 のいずれか 1 項に記載の力推定装置における各部として機能させるためのプログラム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、力推定装置、力推定方法およびプログラムに関する。

【背景技術】

【0002】

音波を利用して筋肉の力を推定する技術が知られている。例えば、非特許文献 1 には、ユーザの手の甲に 2 つのピエゾ素子を装着し、一方をスピーカ、他方をマイクとし、超音波を送受信して、周波数解析による特徴量抽出とそれに基づく機械学習アルゴリズムを適用することで、ユーザの力を推定する装置が開示されている。

【先行技術文献】

【非特許文献】

【0003】

【文献】 Kubo, Yuki, et al. "AudioTouch: Minimally Invasive Sensing of Micro-Gestures via Active Bio-Acoustic Sensing." Proceedings of the 21st International Conference on Human-Computer Interaction with Mobile Devices and Services. 2019.

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

従来、装置を長時間利用し、発熱や体温などの影響でピエゾ素子の温度が変化することによって、音響特性が変化し、力の推定値にドリフト（基線動揺）誤差が生じるという問題がある。

【0005】

開示の技術は、力の推定値の精度を向上させることを目的とする。

【課題を解決するための手段】**【0006】**

開示の技術は、推定対象の筋肉に関する力を推定するための力推定装置であって、音波を送信する音波送信部と、前記音波を受信する音波受信部と、受信した前記音波を解析して前記推定対象の力の推定値を算出する力推定部と、設定されたオフセット補正値を前記推定値から減算した値を補正後の推定値として算出するオフセット補正部と、を備える、力推定装置であり、前記推定対象が脱力状態であったか否かを判定する脱力判定部と、前記脱力状態と判定された時間的な区間における力の推定値に基づいて、前記オフセット補正値を設定するオフセット補正値設定部と、をさらに備え、前記音波受信部は、受信した音波から可聴域の音波を抽出し、前記脱力判定部は、抽出された前記可聴域の音波の振幅の絶対値を算出し、算出された絶対値を一定窓幅で積分した値が、あらかじめ定められた閾値以下である場合に、前記一定窓幅の区間を脱力状態の区間であったと判定する、力推定装置である。

10

【発明の効果】**【0007】**

力の推定値の精度を向上させることができる。

【図面の簡単な説明】**【0008】**

【図1】力推定装置の機能構成図である。

【図2】力推定処理の流れの一例を示すフローチャートである。

【図3】補正値設定処理の流れの一例を示すフローチャートである。

【図4】力推定装置のハードウェア構成例を示す図である。

【図5】音波の測定結果の一例を示す図である。

【図6】力推定の実験結果の一例を示す図である。

【図7】コンピュータのハードウェア構成例を示す図である。

【発明を実施するための形態】**【0009】**

以下、図面を参照して本発明の実施の形態（本実施の形態）について説明する。以下で説明する実施の形態は一例に過ぎず、本発明が適用される実施の形態は、以下の実施の形態に限られるわけではない。

30

【0010】

本実施の形態に係る力推定装置は、音波を用いて、握力、脚筋力、背筋力、瞬発力等のような推定対象の筋力に関する力を推定する装置である。推定対象は、ユーザまたはユーザ以外のヒトを想定するが、筋肉を有するものであればヒトでなくても良く、犬、猿等のようなヒト科以外の動物であっても良い。以下、推定対象がヒトである前提で説明する。

【0011】

（力推定装置の機能構成）

図1は、力推定装置の機能構成図である。力推定装置10は、音波送信部11と、音波受信部12と、力推定部13と、脱力判定部14と、オフセット補正値設定部15と、オフセット補正部16と、を備える。

40

【0012】

音波送信部11は、音波を送信する。送信される音波は、超音波と可聴域の音波とを含み、推定対象の皮膚の表面に近い位置から送信される。

【0013】

音波受信部12は、音波を受信する。具体的には、音波受信部12は、超音波と可聴域の音波とを受信し、受信した音波から超音波または可聴域の音波を抽出する。

【0014】

力推定部13は、推定対象の力を推定する。具体的には、力推定部13は、受信した音波から周波数特徴量を算出し、算出した周波数特徴量を回帰モデルに入力させることによって、力の推定値を得る。

50

【 0 0 1 5 】

脱力判定部 1 4 は、音波受信部 1 2 が受信した音波に基づいて、推定対象が脱力状態であるか否かを判定する。具体的には、脱力判定部 1 4 は、音波受信部 1 2 によって抽出された可聴域の音波の振幅の絶対値を算出し、算出された絶対値を一定窓幅で積分した値（積分筋音）を算出する。ここで、脱力判定部 1 4 は、積分筋音の S N 比を上げるために、カットオフ周波数が 1 0 0 H z 程度のローパスフィルタを適用してから積分筋音を計算しても良い。脱力判定部 1 4 は、積分筋音があらかじめ定められた閾値以下の場合、算出された一定窓幅に相当する区間を、推定対象が脱力状態の区間（脱力区間）と判定する。

【 0 0 1 6 】

オフセット補正值設定部 1 5 は、脱力区間における力の推定値に基づいて、オフセット補正值を設定する。具体的には、オフセット補正值設定部 1 5 は、脱力区間における力の推定値の平均値を算出し、算出された平均値をオフセット補正值として設定する。

10

【 0 0 1 7 】

オフセット補正部 1 6 は、力推定部 1 3 が算出した力の推定値と、オフセット設定値と、に基づいて、オフセット補正を実行する。具体的には、オフセット補正部 1 6 は、力の推定値からオフセット設定値を減算した値を、補正後の推定値とする。

【 0 0 1 8 】

（力推定装置の動作）

次に、力推定装置 1 0 の動作について、図面を参照して説明する。力推定装置 1 0 は、ユーザの操作等を受けて、力推定処理を開始する。なお、力推定処理の開始時には、後述するオフセット補正值設定処理によって、または実験等の結果に基づいてオフセット補正值が設定されていることを前提とする。

20

【 0 0 1 9 】

図 2 は、力推定処理の流れの一例を示すフローチャートである。音波送信部 1 1 は、音波を送信する（ステップ S 1 1）。ここで送信される音波は、超音波を含む。例えば、音波送信部 1 1 は、 piezo 素子を使って超音波帯域（例えば 2 0 - 4 0 k H z）のスイープ波を一定間隔（例えば 2 0 m s 間隔）で送信する。

【 0 0 2 0 】

次に、音波受信部 1 2 は、音波を受信する（ステップ S 1 2）。例えば、音波受信部 1 2 は、送信に使用された piezo 素子とは異なる piezo 素子を使って超音波を受信する。

30

【 0 0 2 1 】

次に、力推定部 1 3 は、音波の周波数特徴量に基づいて、回帰モデルを用いて力を推定する（ステップ S 1 3）。具体的には、力推定部 1 3 は、ステップ S 1 2 において受信された音波を一定サンプル数（例えば 4 , 0 9 6 サンプル）ごとに高速フーリエ変換（FFT ; fast Fourier transform）をかけてパワースペクトラムを算出し、算出されたパワースペクトラムを、周波数特徴量を示すベクトル（特徴量ベクトル）とする。

【 0 0 2 2 】

そして、力推定部 1 3 は、特徴量ベクトルを回帰モデルに入力して、力の推定値を得る。回帰モデルは、例えば Support Vector Regression などの機械学習による学習済みモデルである。これは、超音波が皮膚を伝搬する際、測定対象による力の入れ具合に応じた皮膚の変形などがあると、音響特性が変化することを利用している。

40

【 0 0 2 3 】

続いて、オフセット補正部 1 6 は、力の推定値からオフセット補正值を減算した値を、補正後の推定値として出力する（ステップ S 1 4）。

【 0 0 2 4 】

次に、オフセット補正值を設定するための補正值設定処理について説明する。補正值設定処理は、力推定処理の開始前に実行される。

【 0 0 2 5 】

図 3 は、補正值設定処理の流れの一例を示すフローチャートである。音波送信部 1 1 は、音波を送信する（ステップ S 2 1）。ここで送信される音波は、超音波と可聴域の音波

50

とを含む。次に、音波受信部 1 2 は、音波を受信し、受信した音波から可聴域の音波を抽出する（ステップ S 2 2）。

【 0 0 2 6 】

続いて、力推定部 1 3 は、抽出された可聴域の音波の振幅の絶対値を算出し、算出された絶対値を一定窓幅で積分した値（積分筋音）を算出する（ステップ S 2 3）。一定窓幅とは、あらかじめ設定された時間（例えば 1 秒間等）の時間的な区間である。

【 0 0 2 7 】

次に、脱力判定部 1 4 は、積分筋音が閾値以下であるか否かを判定する（ステップ S 2 4）。閾値は実験等の結果に応じてあらかじめ設定されている。脱力判定部 1 4 が、積分筋音が閾値以下でないと判定すると（ステップ S 2 4 : No）、力推定装置 1 0 は、ステップ S 2 1 の処理に戻り、次の区間について処理を実行する。

【 0 0 2 8 】

脱力判定部 1 4 が、積分筋音が閾値以下であると判定すると（ステップ S 2 4 : Yes）、力推定部 1 3 は、当該区間（脱力区間）の音波の周波数特徴量に基づいて、回帰モデルを用いて力を推定する（ステップ S 2 5）。このステップ S 2 5 の処理は、図 2 に示した力推定処理のステップ S 1 3 と同様である。

【 0 0 2 9 】

なお、力推定部 1 3 は、脱力判定部 1 4 による判定の前にあらかじめこのステップ S 2 4 の処理を実行し、実行結果を記憶しておいても良い。

【 0 0 3 0 】

次に、オフセット補正值設定部 1 5 は、力の推定値の当該区間（脱力区間）の平均値を、オフセット補正值として設定する（ステップ S 2 6）。

【 0 0 3 1 】

（力推定装置のハードウェア構成）

図 4 は、力推定装置のハードウェア構成例を示す図である。力推定装置 1 0 は、コンピュータ 1 0 1 と、スピーカ 1 0 2 と、マイク 1 0 3 と、を備える。

【 0 0 3 2 】

コンピュータ 1 0 1 は、P C (Personal Computer)、スマートフォン、サーバ装置等である。スピーカ 1 0 2 は、音波を送信する装置である。音波送信部 1 1 は、コンピュータ 1 0 1 がスピーカ 1 0 2 を制御することによって実現される。

【 0 0 3 3 】

マイク 1 0 3 は、音波を受信する装置である。音波受信部 1 2 は、コンピュータ 1 0 1 がマイク 1 0 3 を制御することによって実現される。

【 0 0 3 4 】

例えば、力推定装置 1 0 は、非特許文献 1 と同様に、手の甲にスピーカ 1 0 2 とマイク 1 0 3 の役割を担う piezo 素子を装着することによって、握力を推定する。例えば、マイク 1 0 3 に相当する piezo 素子の周波数特性が 1 0 0 H z 以下の低周波数帯域でも 2 0 - 4 0 k H z の高周波数帯域でも十分なゲインがある場合は、一つの piezo 素子で兼用することができる。また、piezo 素子がどちらか片側の周波数帯域で大きく減衰するような周波数特性の場合は、それを補完するような異なる周波数特性の音響受信装置を別途装着し、piezo 素子と音響受信装置とを併せてマイク 1 0 3 として機能させれば良い。

【 0 0 3 5 】

（音波の測定結果）

図 5 は、音波の測定結果の一例を示す図である。図 5 は、手の甲に装着したマイクで手の甲の筋音を測定した例を示す。図 5 の「脱力状態」とは力を込めなかった状態であって、「握力あり」の区間が力を込めた状態である。力を込めなかった場合は、音波の振幅が小さいが、力を込めた場合は、筋音の影響で音波の振幅が大きくなっている。

【 0 0 3 6 】

この測定結果から、音波の振幅の大きさによって脱力状態であるか否かを判定する方法が有効であると言える。

10

20

30

40

50

【 0 0 3 7 】

(力推定の実験結果)

図 6 は、力推定の実験結果の一例を示す図である。実験では、オフセット補正処理の前後の握力の推定値を算出した。破線 9 0 1 は、補正前の推定値を示す。実線 9 0 2 は、正解値を示す。点線 9 0 3 は、補正後の推定値を示す。

【 0 0 3 8 】

正解値は、フォースセンサで測定した握力の値である。補正前の推定値は、正解値では 0 N となっている区間の握力を約 5 N と推定し、正解値では 5 N となっている区間の握力を約 1 0 N と推定した。

【 0 0 3 9 】

これに対して、オフセット補正後の推定値は、力の推定値からオフセット補正值の 5 N を減算し、正解値に近い値を推定した。なお、力推定装置 1 0 は、オフセット補正值設定処理の結果、正解値では 0 N となっている区間を脱力区間と判定し、オフセット補正值を 5 N と設定した。

【 0 0 4 0 】

本実験の結果、補正後の推定値が、補正前の推定値よりも正解値に近い結果となった。

【 0 0 4 1 】

(コンピュータのハードウェア構成例)

上述した力推定装置 1 0 の各機能部は、コンピュータ 1 0 1 に、本実施の形態で説明する処理内容を記述したプログラムを実行させることにより実現可能である。なお、この「コンピュータ」は、物理マシンであってもよいし、クラウド上の仮想マシンであってもよい。仮想マシンを使用する場合、ここで説明する「ハードウェア」は仮想的なハードウェアである。

【 0 0 4 2 】

上記プログラムは、コンピュータが読み取り可能な記録媒体 (可搬メモリ等) に記録して、保存したり、配布したりすることが可能である。また、上記プログラムをインターネットや電子メール等、ネットワークを通して提供することも可能である。

【 0 0 4 3 】

図 7 は、上記コンピュータのハードウェア構成例を示す図である。図 7 のコンピュータは、それぞれバス B で相互に接続されているドライブ装置 1 0 0 0、補助記憶装置 1 0 0 2、メモリ装置 1 0 0 3、CPU 1 0 0 4、インタフェース装置 1 0 0 5、表示装置 1 0 0 6、入力装置 1 0 0 7、出力装置 1 0 0 8 等を有する。

【 0 0 4 4 】

当該コンピュータでの処理を実現するプログラムは、例えば、CD-ROM 又はメモリカード等の記録媒体 1 0 0 1 によって提供される。プログラムを記憶した記録媒体 1 0 0 1 がドライブ装置 1 0 0 0 にセットされると、プログラムが記録媒体 1 0 0 1 からドライブ装置 1 0 0 0 を介して補助記憶装置 1 0 0 2 にインストールされる。但し、プログラムのインストールは必ずしも記録媒体 1 0 0 1 より行う必要はなく、ネットワークを介して他のコンピュータよりダウンロードするようにしてもよい。補助記憶装置 1 0 0 2 は、インストールされたプログラムを格納すると共に、必要なファイルやデータ等を格納する。

【 0 0 4 5 】

メモリ装置 1 0 0 3 は、プログラムの起動指示があった場合に、補助記憶装置 1 0 0 2 からプログラムを読み出して格納する。CPU 1 0 0 4 は、メモリ装置 1 0 0 3 に格納されたプログラムに従って、当該装置に係る機能を実現する。インタフェース装置 1 0 0 5 は、ネットワークに接続するためのインタフェースとして用いられる。表示装置 1 0 0 6 はプログラムによる GUI (Graphical User Interface) 等を表示する。入力装置 1 0 0 7 はキーボード及びマウス、ボタン、又はタッチパネル等で構成され、様々な操作指示を入力させるために用いられる。出力装置 1 0 0 8 は演算結果を出力する。なお、上記コンピュータは、CPU 1 0 0 4 の代わりに GPU (Graphics Processing Unit) または TPU (Tensor processing unit) を備えていても良く、CPU 1 0 0 4 に加えて、G

10

20

30

40

50

P UまたはT P Uを備えていても良い。その場合、例えば特殊な演算が必要な処理をG P UまたはT P Uが実行し、その他の処理をC P U 1 0 0 4が実行する、というように処理を分担して実行しても良い。

【 0 0 4 6 】

(本実施の形態の効果)

本実施の形態に係る力推定装置 1 0 によれば、力の推定値からオフセット補正値を減算し、補正後の推定値とする。これによって、力の推定値の精度を向上させることができる。

【 0 0 4 7 】

また、力推定装置 1 0 は、推定対象が脱力状態であったか否かを判定し、脱力状態と判定された時間的な区間における力の推定値に基づいて、オフセット補正値を設定する。これによって、力の推定値に生じている誤差をオフセット補正値として設定し、力の推定値をさらに向上させることができる。

10

【 0 0 4 8 】

(実施の形態のまとめ)

本明細書には、少なくとも下記の各項に記載した力推定装置、力推定方法およびプログラムが記載されている。

(第 1 項)

推定対象の筋肉に関する力を推定するための力推定装置であって、
音波を送信する音波送信部と、
前記音波を受信する音波受信部と、
受信した前記音波を解析して前記推定対象の力の推定値を算出する力推定部と、
設定されたオフセット補正値を前記推定値から減算した値を補正後の推定値として算出するオフセット補正部と、を備える、
力推定装置。

20

(第 2 項)

前記推定対象が脱力状態であったか否かを判定する脱力判定部と、
前記脱力状態と判定された時間的な区間における力の推定値に基づいて、前記オフセット補正値を設定するオフセット補正値設定部と、をさらに備える、
第 1 項に記載の力推定装置。

(第 3 項)

前記音波受信部は、受信した音波から可聴域の音波を抽出し、
前記脱力判定部は、抽出された前記可聴域の音波の振幅の絶対値を算出し、算出された絶対値を一定窓幅で積分した値が、あらかじめ定められた閾値以下である場合に、前記一定窓幅の区間を脱力状態の区間であったと判定する、
第 2 項に記載の力推定装置。

30

(第 4 項)

前記力推定部は、前記脱力状態と判定された区間における前記推定対象の力の推定値を算出し、
前記オフセット補正値設定部は、前記区間における力の推定値の平均値を算出し、算出された前記平均値を前記オフセット補正値として設定する、
第 2 項または第 3 項に記載の力推定装置。

40

(第 5 項)

前記力推定部は、受信された前記音波を一定サンプル数ごとに高速フーリエ変換をかけてパワースペクトラムを算出し、算出された前記パワースペクトラムを、周波数特徴量を示すベクトルとして回帰モデルに入力して、前記力の推定値を得る、
第 1 項から第 4 項のいずれか 1 項に記載の力推定装置。

(第 6 項)

コンピュータが実行する力推定方法であって、
音波を送信するステップと、
前記音波を受信するステップと、

50

受信した前記音波を解析して推定対象の力の推定値を算出するステップと、
 設定されたオフセット補正値を前記推定値から減算した値を補正後の推定値として算出
 するステップと、を備える、
 力推定方法。

(第7項)

コンピュータを第1項から第5項のいずれか1項に記載の力推定装置における各部とし
 て機能させるためのプログラム。

【0049】

以上、本実施の形態について説明したが、本発明はかかる特定の実施形態に限定される
 ものではなく、請求の範囲に記載された本発明の要旨の範囲内において、種々の変形・変
 更が可能である。

10

【符号の説明】

【0050】

- 10 力推定装置
- 11 音波送信部
- 12 音波受信部
- 13 力推定部
- 14 脱力判定部
- 15 オフセット補正値設定部
- 16 オフセット補正部
- 101 コンピュータ
- 102 スピーカ
- 103 マイク
- 1000 ドライブ装置
- 1001 記録媒体
- 1002 補助記憶装置
- 1003 メモリ装置
- 1004 CPU
- 1005 インタフェース装置
- 1006 表示装置
- 1007 入力装置
- 1008 出力装置

20

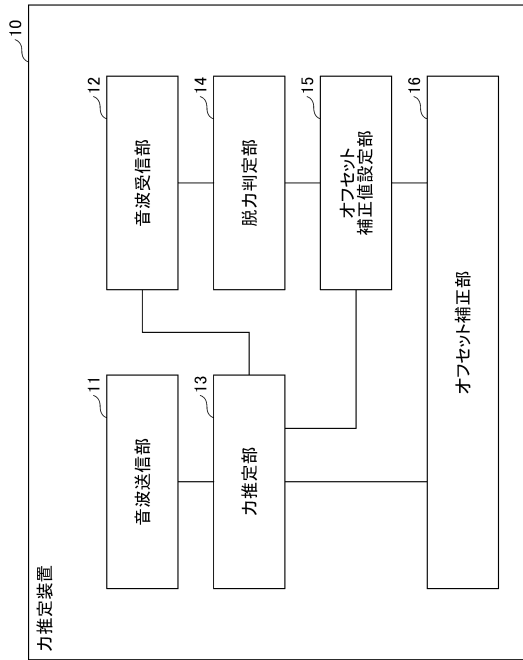
30

40

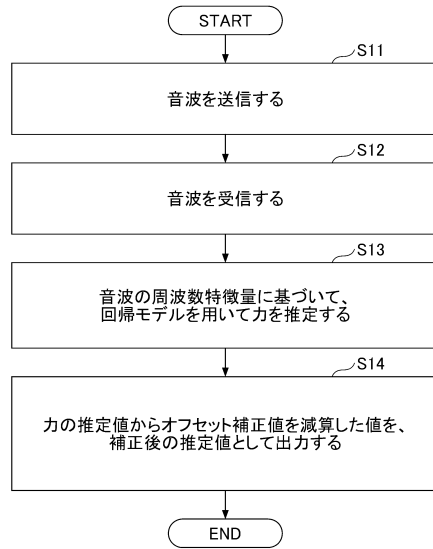
50

【図面】

【図 1】



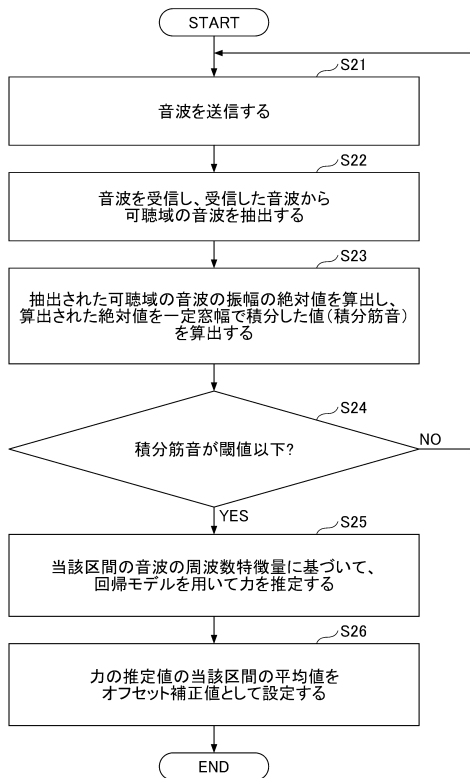
【図 2】



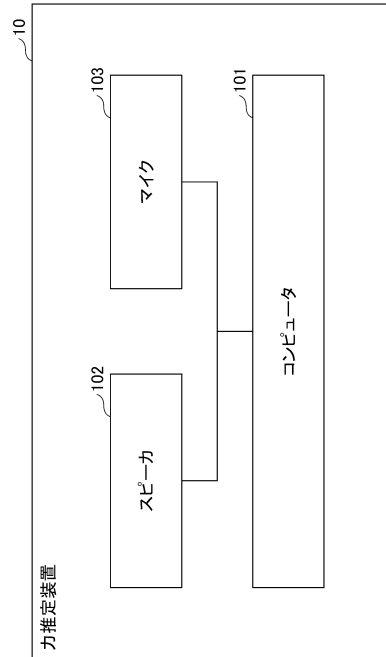
10

20

【図 3】



【図 4】

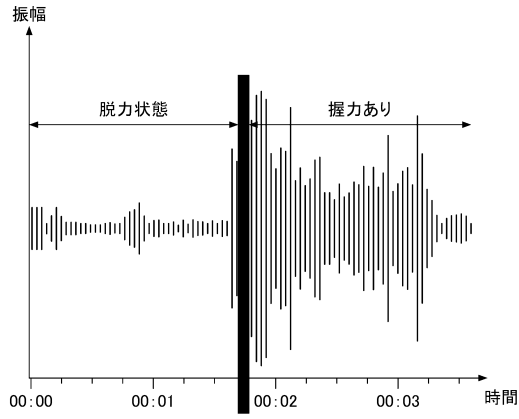


30

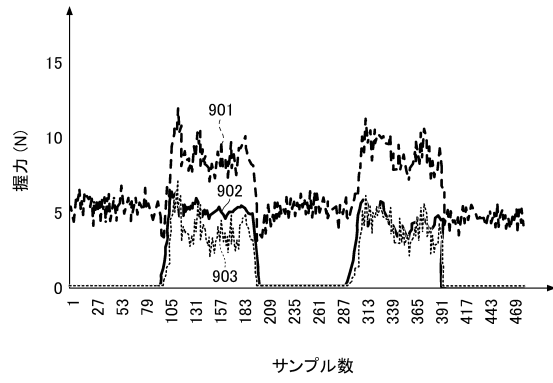
40

50

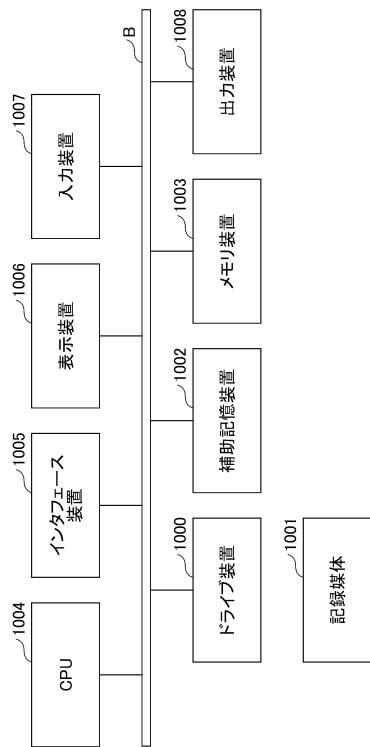
【図5】



【図6】



【図7】



10

20

30

40

50

フロントページの続き

- (56)参考文献 中国特許第 1 0 6 2 6 4 5 7 3 (C N , B)
特開昭 6 0 - 0 9 6 2 2 7 (J P , A)
特開 2 0 1 8 - 1 1 0 6 5 8 (J P , A)
特開 2 0 1 1 - 1 8 2 8 2 4 (J P , A)
- (58)調査した分野 (Int.Cl. , D B 名)
A 6 1 B 5 / 2 2