

(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2010-85387
(P2010-85387A)

(43) 公開日 平成22年4月15日(2010.4.15)

(51) Int.Cl. F I テーマコード(参考)
G01D 7/00 (2006.01) G O 1 D 7/00 P 2 C 0 3 2
G09B 23/08 (2006.01) G O 9 B 23/08

審査請求 未請求 請求項の数 6 O L (全 13 頁)

(21) 出願番号 特願2009-49896 (P2009-49896)
 (22) 出願日 平成21年3月3日(2009.3.3)
 (31) 優先権主張番号 特願2008-229348 (P2008-229348)
 (32) 優先日 平成20年9月8日(2008.9.8)
 (33) 優先権主張国 日本国(JP)

(71) 出願人 304036743
 国立大学法人宇都宮大学
 栃木県宇都宮市峰町350番地
 (74) 代理人 100100077
 弁理士 大場 充
 (74) 代理人 100136010
 弁理士 堀川 美夕紀
 (72) 発明者 伊東 明彦
 栃木県宇都宮市峰町350番地 国立大学
 法人宇都宮大学内
 (72) 発明者 渡辺 一博
 栃木県宇都宮市峰町350番地 国立大学
 法人宇都宮大学内
 Fターム(参考) 2C032 BB03 BB06

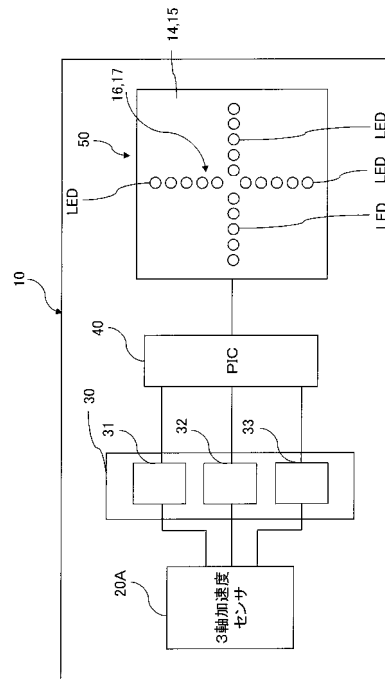
(54) 【発明の名称】 視覚的力表示装置並びに視覚的力理科教材及び科学玩具

(57) 【要約】 (修正有)

【課題】 力の大きさと向きを視覚的に認識できる理科教材として視覚的力表示装置を提供する。

【解決手段】 3軸加速度センサ20Aと、加速度センサ20Aで検出された3軸方向の加速度情報にノイズ除去処理を施すフィルタ・アンプ回路30と、加速度情報に基づいて表示情報を生成するコントローラ40と、表示情報に基づいて3軸方向に作用する力の向きと大きさを表示するx、y及びz軸表示器とを有する表示部50を備える視覚的力表示装置10であって、フィルタ・アンプ回路30は、z軸加速度情報に適用するカットオフ周波数fzを、x軸およびy軸加速度情報に適用するカットオフ周波数fx、fy(fx=fy)よりも小さくする。さらに、視覚的力表示装置10がy軸の周りにのみ傾くことを許し、重力をx軸およびz軸成分に分解して表示する。

【選択図】 図2



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

x 軸方向の加速度と、前記 x 軸方向と直交する z 軸方向の加速度とを検出する加速度センサと、

前記加速度センサで検出された前記 x 軸方向の加速度情報 a_x 及び前記 z 軸方向の加速度情報 a_z にノイズ除去処理を施すフィルタと、

前記フィルタでノイズ除去処理された前記加速度情報 a_x に基づいて表示情報 d_x を生成し、前記フィルタでノイズ除去処理された前記加速度情報 a_z に基づいて表示情報 d_z を生成するコントローラと、

前記表示情報 d_x に基づいて前記 x 軸方向に作用する力の向きと大きさを表示する x 軸表示器と、前記表示情報 d_z に基づいて前記 z 軸方向に作用する力の向きと大きさを表示する z 軸表示器とを有する表示手段と、を備え、

10

前記フィルタは、

前記加速度情報 a_z に適用するカットオフ周波数 f_z が、前記加速度情報 a_x に適用するカットオフ周波数 f_x よりも小さいことを特徴とする視覚的力表示装置。

【請求項 2】

鉛直を指す z 軸方向の加速度と、前記 z 軸方向と直交する x 軸および y 軸方向の加速度とを検出する 3 次元加速度センサと、

前記加速度センサで検出された前記 x 軸方向の加速度情報 a_x 、前記 y 軸方向の加速度情報 a_y 及び前記 z 軸方向の加速度情報 a_z にノイズ除去処理を施すフィルタと、

20

前記フィルタでノイズ除去処理された前記加速度情報 a_x に基づいて表示情報 d_x を生成し、前記フィルタでノイズ除去処理された前記加速度情報 a_y に基づいて表示情報 d_y を生成し、前記フィルタでノイズ除去処理された前記加速度情報 a_z に基づいて表示情報 d_z を生成するコントローラと、

前記表示情報 d_x に基づいて前記 x 軸方向に作用する力の向きと大きさを表示する x 軸表示器と、前記表示情報 d_y に基づいて前記 y 軸方向に作用する力の向きと大きさを表示する y 軸表示器と、前記表示情報 d_z に基づいて前記 z 軸方向に作用する力の向きと大きさを表示する z 軸表示器とを備え、

前記フィルタは、

前記加速度情報 a_z に適用するカットオフ周波数 f_z が、前記加速度情報 a_x および a_y に適用するカットオフ周波数 f_x および f_y よりも小さいことを特徴とする視覚的力表示装置。

30

【請求項 3】

前記コントローラは、

前記表示情報 d_z と大きさが同じで向きが逆の表示情報 d_z' を生成し、

前記 z 軸表示器は、

前記表示情報 d_z 及び前記表示情報 d_z' の両者を表示することを特徴とする請求項 1 又は 2 に記載の視覚的力表示装置。

【請求項 4】

前記コントローラは、

40

重力の x 軸方向の成分 c_x を、重力の z 軸方向の成分 a_z に基づいて定めることを特徴とする請求項 1 ~ 3 のいずれかに記載の視覚的力表示装置。

【請求項 5】

請求項 1 ~ 請求項 4 のいずれかに記載の視覚的力表示装置からなる視覚的理科教材。

【請求項 6】

請求項 1 ~ 請求項 4 のいずれかに記載の視覚的力表示装置からなる視覚的科学的玩具。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、物体に作用している力の大きさと向きを視覚的に認識できる装置に関するも

50

のである。

【背景技術】

【0002】

学校教育の現場において、理科離れが叫ばれている。その理由の一つとして、理科で扱われる事柄の中には、視覚的に認識できないものがあることが掲げられる。一例として、力の概念がある。つまり、力は目に見えないために、大きさ、向きを視覚的に捉えることができず、中高生にとって難解なものの一つとなっている。したがって、教育現場において、物体に作用している力の大きさ及び向きを視覚化できる教材が求められている。

【0003】

直交する2軸（又は3軸）の加速度を加速度センサにより検出し、基準方向と重力加速度とのなす角度、つまり傾斜角を求める傾斜センサは種々提案されている（特許文献1、特許文献2）。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0004】

【特許文献1】特許第3114571号公報

【特許文献2】特開2008-96355号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

加速度センサを用いて傾斜角を求めることは、力の向きを認識することに対して示唆を与えるものであるが、力の大きさと向きの両者を視覚化した装置の提案がなされたとの報告は見出せない。

本発明は、このような課題に基づいてなされたもので、力の大きさと向きの両者を視覚的に認識できる視覚的力表示装置を提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0006】

本発明者等は、加速度センサを用いて目的とする視覚的力表示装置を得ることを前提に検討を行ったところ、いくつかの課題が抽出された。

< 重力の表示 >

課題の一つは、重力を表示させることである。

物体に作用する力の一つとして、重力がある。したがって、目的とする視覚的力表示装置は、物体、つまり視覚的力表示装置に重力が常に作用していることを表示する必要がある。

ここで、加速度センサは、原理的には加速度運動をした際の慣性力を測定している。例えば、x軸方向（水平方向）に加速度運動すると、加速度センサは逆方向の慣性力を受けこれを電圧信号として出力する。このことは、視覚的力表示装置に実際に作用した力の向きを表示するには、電圧出力の逆向きに表示すればよいことを示している。

【0007】

しかし、z軸方向には常に重力が働いているため、視覚的力表示装置が静止状態であっても、加速度センサは重力と逆方向の加速度を出力する。これは力として解釈すれば、視覚的力表示装置が置かれている面から受ける垂直抗力に対応する。一方、加速度センサが自由落下しているとき（又は投げ上げられているとき）は、慣性力と重力とが打ち消しz軸方向の加速度センサの出力は0（ゼロ）となる。すなわち、加速度センサの出力をそのまま表示したのでは、いかなる場合も視覚的力表示装置に作用する重力を表示することができない。これでは、学習教材として不備がある。

【0008】

重力を表示させることの課題に対して、本発明者等は、視覚的力表示装置に人為的に重力を表示させることにした。具体的には、垂直抗力に対応する加速度センサの出力と同じ大きさで逆向きの力を、視覚的力表示装置に作用する重力とみなして、視覚的力表示装置

10

20

30

40

50

に表示させることとした。

【0009】

< 斜面の運動への対応 >

中学校の理科では斜面における台車の加速度運動を扱う。これに対応するため、視覚的力表示装置は、自己の傾きを検出する必要がある。しかし、傾きと横方向への加速度運動は等価であり区別できないため、傾きを求めるには何らかの制約条件を設定する必要がある。そこで本発明では、理科教材であることから、「z方向へは加速度運動しない」ということを前提として、加速度センサからのz軸方向の出力から傾きを求めることにした。具体的には、 $\cos = a_z / g$ で傾きを求めることにした。ただし、 a_z は重力のz軸方向の成分、つまりz軸方向の加速度(情報)、 g は重力加速度を表す。

10

さらに、本発明による視覚的力表示装置を傾ける方向は、y軸の周りに限定することにした。これによって、重力の斜面に沿った成分、すなわち重力のx軸方向の成分 c_x は $c_x = (g^2 - a_z^2)^{1/2}$ から求めることができる。z軸方向の加速度 a_z が重力加速度 g より小さい場合には、z軸方向の重力とともにx軸方向の重力も上式に基づいて表示することとした。

【0010】

< ノイズ除去 >

加速度センサは、本来1kHz程度までの帯域を持っているため、音も雑音として拾ってしまう。本発明による視覚的力表示装置では、加速度センサからの信号をLow-Passフィルタを通した後にアナログ-デジタル変換(AD変換)することでノイズ除去を実現した。ここで、z軸のカットオフ周波数をx、y軸のカットオフ周波数よりも小さくすることにより、z軸方向の加速度運動を検出しにくくし、上記の重力の表示、斜面の運動への対応を実現させた。本発明の具体的なLow-Passフィルタのカットオフ周波数は、試行錯誤の結果、x、y軸については10Hz、z軸については0.25Hzとした。

20

以上は加速度センサがアナログ情報を出力する場合であるが、デジタル加速度センサを用いた場合も同様に考えることができる。この場合には、Low-Passフィルタもコントローラ内部のデジタル信号処理によって実現される。

【0011】

以上の検討結果に基づく本発明の視覚的力表示装置(以下、単に力表示装置という)は、x軸方向の加速度と、x軸方向と直交するz軸方向の加速度とを検出する加速度センサと、加速度センサで検出されたx軸方向の加速度情報 a_x 及びz軸方向の加速度情報 a_z にノイズ除去処理を施すフィルタと、フィルタでノイズ除去処理された加速度情報 a_x に基づいて表示情報 d_x を生成し、フィルタでノイズ除去処理された加速度情報 a_z に基づいて表示情報 d_z を生成するコントローラと、表示情報 d_x に基づいてx軸方向に作用する力の向きと大きさを表示するx軸表示器と、表示情報 d_z に基づいてz軸方向に作用する力の向きと大きさを表示するz軸表示器とを有する表示手段と、を備え、フィルタは、加速度情報 a_z に適用するカットオフ周波数 f_z を、加速度情報 a_x に適用するカットオフ周波数 f_x よりも小さくすることを特徴とする。

30

【0012】

以上は、力表示をする最小限の要素として2次元の場合について示したが、本発明は3次元についても適用できることは言うまでもない。つまり本発明は、x、y及びz軸方向の加速度を検出する加速度センサと、加速度センサで検出された3軸の加速度情報 a_x 、 a_y 及び a_z にノイズ除去処理を施すフィルタと、フィルタでノイズ除去処理された加速度情報 a_x 、 a_y 及び a_z に基づいて表示情報 d_x 、 d_y 及び d_z を生成するコントローラと、表示情報 d_x 、 d_y 及び d_z のそれぞれに基づいてx、yおよびz軸方向に作用する力の向きと大きさをそれぞれ表示するx軸、y軸及びz軸表示器を備え、フィルタは、加速度情報 a_z に適用するカットオフ周波数 f_z を、加速度情報 a_x および a_y に適用するカットオフ周波数 f_x 、 f_y よりも小さくすることを特徴とする。なお、 f_x と f_y は等しいものとする。なお、 f_x と f_y は

40

50

【 0 0 1 3 】

本発明の力表示装置において、コントローラは、表示情報 d_z と大きさが同じで向きが逆の表示情報 d_z' を生成し、 z 軸表示器は、表示情報 d_z 及び表示情報 d_z' の両者を表示することにより、重力の表示の課題に対応する。

また、本発明の力表示装置において、コントローラは、重力の x 軸方向の成分 c_x を、 z 軸方向の加速度 a_z に基づいて定めることで、斜面の運動に関する課題に対応する。

本発明の力表示装置において、コントローラは、 y 軸方向に関しては、 y 軸方向の加速度 a_y に基づいてそのまま表示する。

以上の本発明による力表示装置は、教育現場における理科教材に、さらには科学玩具に用いることができる。

【 発明の効果 】

【 0 0 1 4 】

本発明の力表示装置は、物体に作用する力の大きさと向きを、視覚的に認識できるので、難解な力の概念を中高生に理解させる教材、あるいは科学玩具として好適である。

【 図面の簡単な説明 】

【 0 0 1 5 】

【 図 1 】 本実施の形態における力表示装置の外観を示す斜視図である。

【 図 2 】 本実施の形態における力表示装置の構成を示すブロック図である。

【 図 3 】 本実施の形態の力表示装置におけるコントローラにおける処理の手順を示すフローチャートである。

【 図 4 】 本実施の形態の力表示装置におけるコントローラにおける生データの処理手順を示すフローチャートである。

【 図 5 】 本実施の形態の力表示装置における傾きの求め方を示す図である。

【 図 6 】 重力の x 軸方向の成分 c_x に応じて点灯される LED の数を定めるテーブルの一例を示す。

【 図 7 】 (a) 水平面に静止したときの力表示装置の LED の点灯を示し、(b) は水平落下する力表示装置の LED の点灯を示す図である。

【 図 8 】 (a) 外力を受けて水平面上を直線加速度運動するときの力表示装置の LED の点灯を示し、(b) 外力を受けずに水平面上を等速直線運動する力表示装置の LED の点灯を示す図である。

【 図 9 】 (a) 傾斜面に静止する力表示装置の LED の点灯を示し、(b) 傾斜面を自由滑走する力表示装置の LED の点灯を示す図である。

【 図 10 】 (a) 軸 S の周りに自由に回転する円盤の端に力表示装置 10 を置いて回転させている状態を示し、(b) その際の力表示装置 10 の LED の点灯状況を示す図である。

【 図 11 】 本実施の形態における力表示装置の構成を示すブロック図であり、デジタル出力する加速度センサを用いた場合を示す。

【 発明を実施するための形態 】

【 0 0 1 6 】

以下、添付図面に示す実施の形態に基づいてこの発明を詳細に説明する。

図 1 は、本実施の形態における力表示装置 10 の外観を示す斜視図、図 2 は力表示装置 10 の機能ブロック図である。

力表示装置 10 は、3 軸加速度センサ 20 A (以下単に加速度センサ 20 A)、加速度センサ 20 A で得られた直流の電圧信号からなる加速度情報を受けて、フィルタリング及び増幅するフィルタ・アンプ回路 30 と、フィルタ・アンプ回路 30 で処理された情報を受け、かつ処理して制御情報を生成するコントローラ 40 と、コントローラ 40 で生成された制御情報に基づいて発光ダイオード LED が点灯される表示部 50 とから構成される。

なお、図 2 では、加速度センサ 20 A はアナログ出力をすることを前提として描かれているが、デジタル出力を有する加速度センサ 20 D を用いることができる。ただし、その

10

20

30

40

50

場合には、図 1 1 に示すように、フィルタ・アンプ回路 3 0 は不要となり、フィルタ処理はコントローラ 4 0 内部でソフト的に実行されることになる。

【 0 0 1 7 】

力表示装置 1 0 は、隣接する 2 つの面を、 $x - z$ 表示面 1 2、 $x - y$ 表示面 1 3 とする直方体状のケース 1 1 を備えている。ケース 1 1 は、例えば透明なアクリル樹脂板を組み立てて構成される。

【 0 0 1 8 】

< 表示部 5 0 >

ケース 1 1 の $x - z$ 表示面 1 2 の内側には $x - z$ 表示基板 1 4 が設けられ、また、 $x - y$ 表示面 1 3 の内側には $x - y$ 表示基板 1 5 が設けられている。 $x - z$ 表示基板 1 4、 $x - y$ 表示基板 1 5 には、各々発光ダイオード LED からなる複数の表示灯が十字状に並べられて $x - z$ 表示器 1 6、 $x - y$ 表示器 1 7 をなしている。この 2 つの表示器 1 6、1 7 により、表示部 5 0 が構成される。なお、 x 軸、 y 軸及び z 軸は、図 1 に矢印で示す通りである。 $x - z$ 表示器 1 6 及び $x - y$ 表示器 1 7 を構成する発光ダイオード LED は、コントローラ 4 0 が生成する表示情報に基づいて必要な個数だけ点灯され、作用する力の向きと大きさを表示する。

$x - z$ 表示器 1 6 は、 x 方向に 1 0 個の LED を、また z 方向に 1 0 個の LED を、直線上に並べて、十字を構成している。また、 $x - y$ 表示器 1 7 もまた、 x 方向に 1 0 個の LED を、また y 方向に 1 0 個の LED を、直線上に並べて、十字を構成している。 $x - z$ 表示器 1 6 及び $x - y$ 表示器 1 7 において、十字の交差部（原点）を中心に、正（+）・負（-）が図示のように定められている。例えば、 $x - z$ 表示器 1 6 において、 z 軸の負に対応する LED が点灯すると、力表示装置 1 0 が重力を受けていることを示す。なお、力表示装置 1 0 は 1 つの LED が点灯すれば、 $0.25 g$ （ g ：重力加速度）が作用していることを示す。

【 0 0 1 9 】

< 加速度センサ 2 0 A >

力表示装置 1 0 は、ケース 1 1 内に加速度センサ 2 0 A を設けている。加速度センサ 2 0 A は、その 3 軸（ x 、 y 、 z ）の各々が、図 1 に示した力表示装置 1 0 の x 軸、 y 軸、 z 軸に沿うようにケース 1 1 内に配置される。

加速度センサ 2 0 A は、力表示装置 1 0 が加速度運動すると、加速度運動と逆向きの慣性力を受けて、 x 軸、 y 軸、 z 軸の各々の方向について、加速度を電圧信号として出力する。なお、運動方程式 $F = m \times a$ より、加速度を表示することで、力の大きさと向きを認識できる。

【 0 0 2 0 】

< フィルタ・アンプ回路 3 0 >

力表示装置 1 0 は、ケース 1 1 内にフィルタ・アンプ回路 3 0 を備えている。

フィルタ・アンプ回路 3 0 は、加速度センサ 2 0 A から送られる電圧信号をフィルタリングして不必要なノイズを取り除く。ここで、フィルタ・アンプ回路 3 0 は、 x 軸フィルタ 3 1、 y 軸フィルタ 3 2、 z 軸フィルタ 3 3 と 3 つのフィルタ要素（ロー・パス・フィルタ）を備えている。加速度センサ 2 0 A の x 軸方向の電圧信号を x 軸フィルタ 3 1 がフィルタリング処理し、同様に、加速度センサ 2 0 A の y 軸方向の電圧信号を y 軸フィルタ 3 2 がフィルタリング処理し、加速度センサ 2 0 A の z 軸方向の電圧信号を z 軸フィルタ 3 3 がフィルタリング処理する。

【 0 0 2 1 】

フィルタ・アンプ回路 3 0 は、 z 軸フィルタ 3 3 のカットオフ周波数を、 x 軸フィルタ 3 1 及び y 軸フィルタ 3 2 よりも小さく設定している。具体的には、 x 軸フィルタ 3 1 及び y 軸フィルタ 3 2 のカットオフ周波数は 10 Hz 、 z 軸フィルタ 3 3 のカットオフ周波数は 0.25 Hz と設定されている。このように z 軸方向のカットオフ周波数を小さく（周期を大きく）することで z 方向の振動の影響を極力抑えている。これは、本装置が z 軸方向には加速度運動をしないことを前提として作られており、 z 軸方向の出力が振動によ

10

20

30

40

50

って変化すると、後述する z 軸方向の垂直抗力に基づいて重力を特定する処理、重力の x 軸方向の成分を特定する処理を円滑に実行できないためである。

フィルタ・アンプ回路 30 において、所定のフィルタリング処理が施された後に、加速度信号は増幅されてから、コントローラ 40 に向けて出力される。

なお、フィルタ・アンプ回路 30 は、加速度センサ 20 A がアナログ出力を有するものである場合のみ必要となる。デジタル出力を有する加速度センサ 20 D の場合は、省略したフィルタ・アンプ回路 30 に代わって、フィルタリング処理はコントローラ 40 内部でソフト的に実行されることになる。

【0022】

<コントローラ 40 >

コントローラ 40 は、フィルタ・アンプ回路 30 でフィルタリングされた x 軸、y 軸及び z 軸に関するアナログの加速度情報信号をアナログ-デジタル変換 (A/D 変換) し、デジタル信号とした後所定の演算処理を行う。

コントローラ 40 は、例えば P I C (Peripheral Interface Controller : 周辺機器接続制御用 I C) により構成することができる。P I C は、演算処理部、メモリ、入出力部等が一つの I C に組込まれたワンチップ・マイクロコンピュータであり、ソフトウェアで制御される。

【0023】

図 3、図 4 は、コントローラ 40 における A/D 変換及び演算処理の手順を示す。

コントローラ 40 は、図 3 に示すように、フィルタ・アンプ回路 30 から受けた x 軸、y 軸及び z 軸に関する加速度情報信号 (生データ) を処理して、表示部 50 の発光ダイオード L E D を点灯、表示させる (図 3 S 101, S 103, S 105)。生データの処理は、図 4 に示すように、コントローラ 40 がアナログ電圧信号 (生データ) を取得すると、A/D 変換を行って表示情報を生成し (図 4 S 201, S 203)、表示する発光ダイオード L E D を決定し (図 4 S 205) 次いで L E D を点灯させる (図 4 S 207)。前述したように、1 つの L E D が 0.25 g に相当するので、表示情報 d が、 $0.125 \text{ g} < d < 0.375 \text{ g}$ の場合には L E D を 1 つ点灯させ、同様に $0.375 \text{ g} < d < 0.625 \text{ g}$ の場合には 2 つ、 $0.625 \text{ g} < d < 0.875 \text{ g}$ の場合には 3 つというように点灯させればよい。 d が 0.125 g より小さい場合は L E D は 1 つも点灯しない。

【0024】

コントローラ 40 は、x 軸、y 軸及び z 軸の生データを A/D 変換して発光ダイオード L E D を点灯させる処理の他に、力表示装置 10 に作用する z 軸方向の重力を表示部 50 に表示させるための処理を行う (図 3 S 107)。前述したように、加速度センサ 20 A の出力をそのまま表示したのでは、力表示装置 10 に作用する重力を表示することができない。そこで、コントローラ 40 は、A/D 変換された z 軸方向の生データ、つまり垂直抗力と同じ大きさで逆向きの力を示す表示情報を生成し、これを z 軸方向に作用する重力として、発光ダイオード L E D を点灯させる。

【0025】

また、コントローラ 40 は、x 軸、y 軸及び z 軸に関する生データを A/D 変換して表示情報を生成させる処理の他に、力表示装置 10 に作用する x 軸方向の重力を表示部 50 に表示させるための処理を行う (図 3 S 109)。

前述したように、力表示装置 10 は、自己の傾きを検出する必要があるが、傾きと横方向への加速度運動は等価であるため、傾きを求めるには何らかの条件を設定する必要がある。そこで、コントローラ 40 は、力表示装置 10 が、z 軸方向には加速度運動しないという前提の下、z 軸方向の生データから傾きを求めることにした。すなわち、図 5 に示すように、力表示装置 10 が x 軸の正 (+) 側を下向きに傾斜した面 (傾き =) に載っているとす。このとき、 g 及び a_z (z 軸方向の生データ) は既知であるから、傾き は、式 (1) により求めることができる。

$$\cos \theta = a_z / g \dots (1)$$

【0026】

10

20

30

40

50

よって、重力の x 軸方向の成分 c_x は、式 (2) により求めることができる。

$$c_x = (g^2 - a_z^2)^{1/2} \dots (2)$$

ただし、式 (2) において、 c_x の符号 (正負) は x 軸方向の加速度計の出力信号 (加速度情報) a_x によって判断する。そして、z 軸方向の加速度 a_z が重力加速度 g より小さい場合には、z 軸方向の重力とともに x 軸方向の重力も上式を使って表示する。

【0027】

コントローラ 40 が PIC から構成されている場合、PIC では式 (2) 中の平方根の演算を行うことができない。また、表示器 16 (17) の分解能が 4 ビットである。したがって、コントローラ 40 は、式 (2) に対応するテーブルをメモリ中に保持し、z 軸方向の加速度 a_z が求められたなら、このテーブルを参照して、点灯すべき x 軸方向の LED の数を決定することができる。このテーブルは、例えば、図 6 に示すように、z 軸方向の加速度 a_z と点灯すべき LED の数が対応付けられている。

10

【0028】

さて、以上の力表示装置 10 を用いて実際に力を視覚化して表示させる例を、以下の順で説明する。なお、ここでは主に x - z 表示器 16 について説明するが、(VII) として説明するように x - y 表示器 17 についても同様に点灯、表示させることができるのは言うまでもない。

(I) 水平面に静止... 図 7 (a)

(II) 自由落下 (又は投げ上げ) ... 図 7 (b)

(III) 水平面を直線加速度運動 (外力あり) ... 図 8 (a)

20

(IV) 水平面を等速直線運動 (外力なし) ... 図 8 (b)

(V) 傾斜面に静止... 図 9 (a)

(VI) 傾斜面を自由滑走... 静止解除... 図 9 (b)

(VII) 回転運動... 図 10

【0029】

(I) 水平面に静止

力表示装置 10 を水平面に静置すると (図 7 (a))、力表示装置 10 には、重力及び水平面からの垂直抗力が作用する。重力は z 軸方向の下向きに作用し、垂直抗力は z 軸方向の上向きに作用する。しかし前述したように、重力を力表示装置 10 の加速度センサ 20 A で測定できない。そこで、力表示装置 10 は、前述したように、加速度センサ 20 A で測定された水平面からの垂直抗力と大きさが同じで向きが反対の力を重力とみなす。

30

力表示装置 10 を水平面に静置すると、重力と垂直抗力とは釣り合い、x - z 表示器 16 は、z 軸方向の正 (+) 側の 4 つの LED が、また、z 軸方向の負 (-) 側の 4 つの LED が点灯される。

正 (+) 側の 4 つの LED が垂直抗力を表し、負 (-) 側の 4 つの LED が重力を表しており、これを見た者は、物体 (力表示装置 10) に、重力と垂直抗力が作用していることを視覚的に認識できる。

【0030】

(II) 自由落下 (又は投げ上げ)

x + 軸を下向きにして力表示装置 10 を自由落下させると、水平面に静置していた時に作用していた垂直抗力は作用しない。しかし、力表示装置 10 には、重力は作用する。したがって、図 7 (b) に示すように、x - z 表示器 16 の x 軸方向の正 (+) 側の 4 つの LED のみが点灯される。

40

下向き (+ 側) の 4 つの LED は重力を表しており、これを見た者は、自由落下時には、物体 (力表示装置 10) に重力のみが作用していることを視覚的に認識できる。

なお、力表示装置 10 を投げ上げた場合も、同様に、x - z 表示器 16 の x 軸方向の正 (+) 側の 4 つの LED のみが点灯される。

留意すべき点は、自由落下あるいは投げ上げの実験は、必ず x 軸方向の正 (+) 側を下向きに行わなければならないということである。前述したように、力表示装置 10 は z 軸方向には加速度運動をしないという前提でプログラムされているからである。

50

上記の説明では自由落下の方向を x 軸正 (+) 方向としたが、x 軸負 (-) 方向でも同様の表示がなされる。ただし、y 軸方向には自由落下させてはならない。なぜならば、力表示器 10 は、傾ける場合には y 軸の周りの回転のみを許しているからである。

【0031】

(III) 水平面を直線加速度運動 (外力あり)

力表示装置 10 が、例えば手で押されながら水平面上を直線加速度運動する場合、力表示装置 10 には、x 軸方向の図中左向きの外力 F が作用する。したがって、図 8 (a) に示すように、x - z 表示器 16 の x 軸方向の正 (+) 側の例えば 3 つの LED が点灯される。この場合、点灯されている 3 つの LED は、外力 F に対応する加速度の大きさが g (重力加速度) の 3 / 4 程度であることを示している。

10

また、力表示装置 10 が、外力 F を受けながら水平面上を加速度運動する場合、力表示装置 10 には、重力及び水平面からの垂直抗力が作用する。したがって、x - z 表示器 16 は、z 軸方向の正 (+) 側の 4 つの LED が、また、z 軸方向の負 (-) 側の 4 つの LED が点灯される。

以上の通りであり、x - z 表示器 16 の x 軸方向の正 (+) 側の 3 つの LED が外力 F を表し、正 (+) 側の 4 つの LED が垂直抗力を表し、負 (-) 側の 4 つの LED が重力を表しており、これを見た者は、物体 (力表示装置 10) に、右向き水平方向の外力 F、重力及び垂直抗力が力表示装置 10 に作用していることを視覚的に認識できる。

【0032】

(IV) 水平面を等速直線運動 (外力なし)

20

力表示装置 10 が、水平面上を等速直線運動する場合には、図 8 (b) に示すように、力表示装置 10 には、重力及び水平面からの垂直抗力のみが作用する。

したがって、x - z 表示器 16 は、z 軸方向の正 (+) 側の 4 つの LED が、また、z 軸方向の負 (-) 側の 4 つの LED が点灯される。正 (+) 側の 4 つの LED が垂直抗力を表し、負 (-) 側の 4 つの LED が重力を表しており、これを見た者は、物体 (力表示装置 10) に、重力及び垂直抗力が力表示装置 10 に作用していることを視覚的に認識できる。

【0033】

(V) 傾斜面に静置

30

図 5 に示したように、力表示装置 10 が傾斜面に支持体 60 によって保持され静置されている場合には、力表示装置 10 には、x 軸と z 軸方向それぞれに、重力成分と傾斜面や支持体 60 から受ける垂直抗力が作用する。ただし、ここでは、傾斜面と力表示装置 10 の間には摩擦は働かないものとする。この場合、x 軸及び z 軸それぞれにおいて力はつりあっているはずである。傾斜角を θ とすると、図 5 に示したように、重力の x 軸方向の成分 c_x は、式 (2) により、 $c_x = (g^2 - a_z^2)^{1/2}$ である。力表示装置 10 は、支持体 60 から傾斜面と水平方向に抗力 D を受ける。この抗力 D は、重力の x 軸方向の成分 c_x と、大きさが等しく、向きが逆である。

【0034】

したがって、x - z 表示器 16 は、z 軸方向の正 (+) 側の例えば 3 つの LED と、z 軸方向の負 (-) 側の例えば 3 つの LED が点灯される。また、x - z 表示器 16 は、x 軸方向の正 (+) 側の 2 つの LED と、x 軸方向の負 (-) 側の 2 つの LED が点灯される。これを見た者は、物体 (力表示装置 10) に、重力及び垂直抗力が x 軸方向及び z 軸方向に作用していること、また、x 軸方向および z 軸方向それぞれにおいて力はつりあっていることを視覚的に認識できる。

40

【0035】

(VI) 傾斜面を自由滑走

力表示装置 10 が摩擦のない傾斜面を自由滑走する場合には、力表示装置 10 には、重力及び傾斜面からの垂直抗力が作用する。傾斜角を θ とすると、図 5 に示したように、重力の x 軸方向の成分 c_x は、式 (2) により、 $c_x = (g^2 - a_z^2)^{1/2}$ である。傾斜面から受ける垂直抗力は、重力の z 軸方向の成分、つまり z 軸方向の加速度情報 a_z と

50

大きさが同じで向きが逆である。

力表示装置 10 は、傾斜面を自由滑走するから、受ける力は、重力の x 軸方向の成分 c_x と、重力の z 軸方向の成分 a_z と、傾斜面から受ける垂直抗力の 3 つである。

【0036】

したがって、 $x - z$ 表示器 16 は、 z 軸方向の正 (+) 側の 3 つの LED と、 z 軸方向の負 (-) 側の 3 つの LED が点灯される。また、 $x - z$ 表示器 16 は、 x 軸方向の正 (+) 側の 2 つの LED が点灯される。これを見た者は、物体 (力表示装置 10) に、重力及び垂直抗力が x 軸方向及び z 軸方向に作用していること、また、力表示装置 10 が重力の x 軸方向の成分 c_x によって加速されることを視覚的に認識できる。

【0037】

10

(VII) 回転運動

力表示器 10 を図 10 (a) のように、軸 S の周りに自由に回転できる円盤 70 の端に置き、円盤 70 を回転させると、力表示装置 10 には向心力が働き図 10 (b) のように LED が点灯する。一般に、回転する物体には遠心力が働くと考えられており、実際回転座標系では遠心力が働く。ところが、図 10 (a) のようにおかれた力表示装置 10 が円盤と共に円運動をするためには向心力が必要なのである。この関係を生徒が理解することは通常極めて困難である。本発明を用いることで、回転物体には確かに向心力が働いていることを明確に示すことができる。

【0038】

以上の力表示装置 10 は、力の大きさ、向きを視覚的に表示するので、教育現場に用いると、学生が力の概念を理解するのに役立つ。また、力表示装置 10 を静置させあるいは動かすことで、LED の点灯状態が変わるので、力表示装置 10 は、学童、幼児の興味を引く玩具となる。

20

以上、本発明を力表示装置 10 に基づいて説明したが、本発明がこの実施形態に限定されないことは言うまでもない。例えば、力表示装置 10 は、LED を十字状に並べているが、マトリックス状に配置してもよい。

【符号の説明】

【0039】

10 ... 力表示装置、

11 ... ケース、

12 ... $x - z$ 表示面、13 ... $x - y$ 表示面、

14 ... $x - z$ 表示基板、15 ... $x - y$ 表示基板、

16 ... $x - z$ 表示器、17 ... $x - y$ 表示器

20A, 20D ... 3 軸加速度センサ

30 ... フィルタ・アンプ回路、

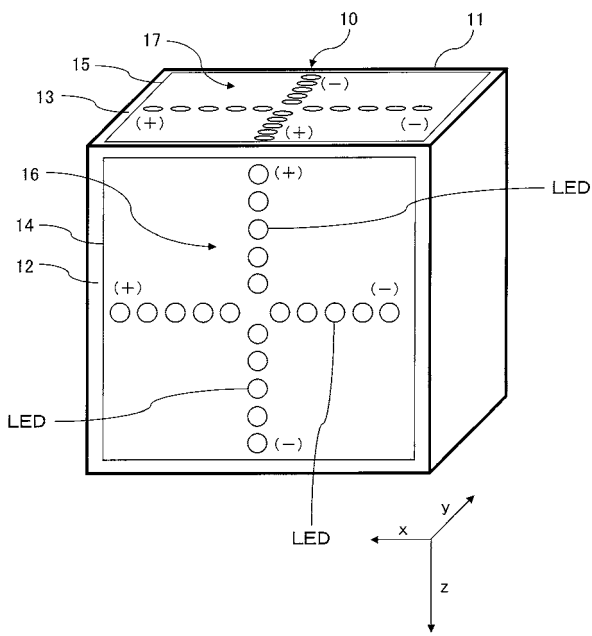
31 ... x 軸フィルタ、32 ... y 軸フィルタ、33 ... z 軸フィルタ

40 ... コントローラ

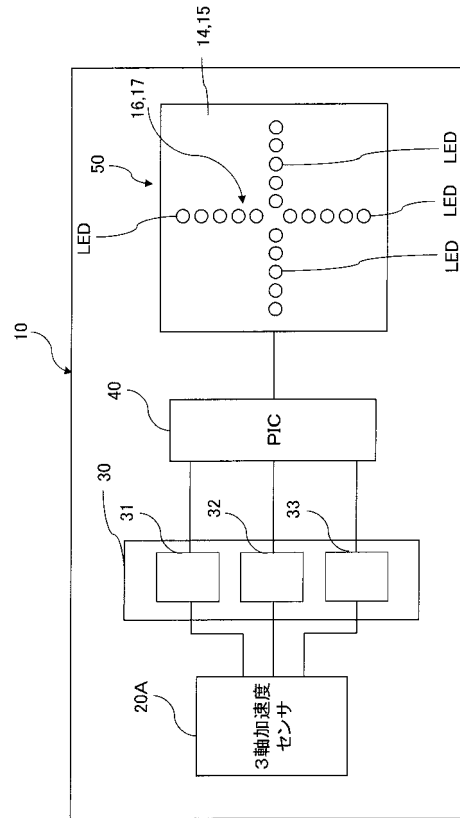
50 ... 表示部

30

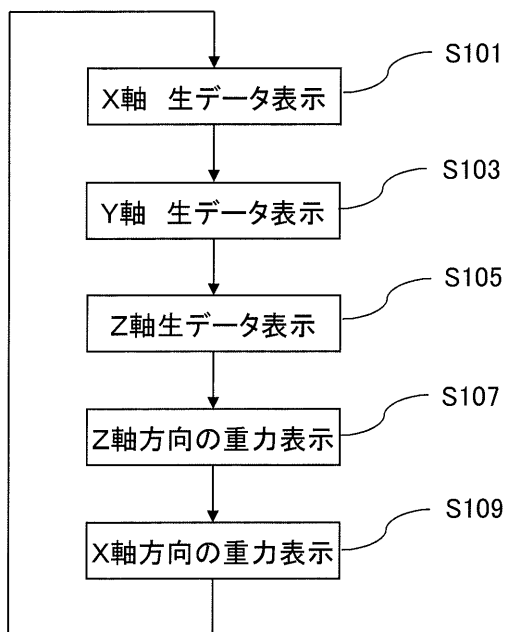
【 図 1 】



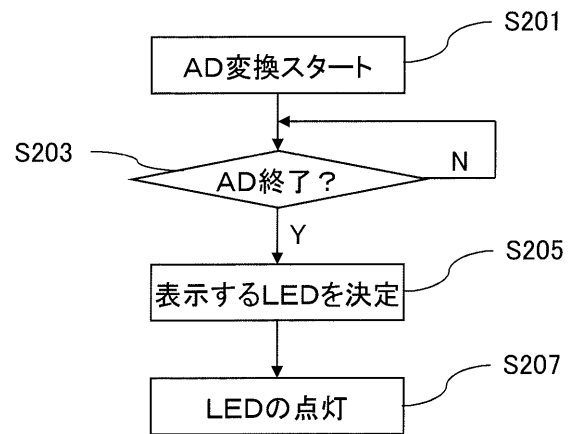
【 図 2 】



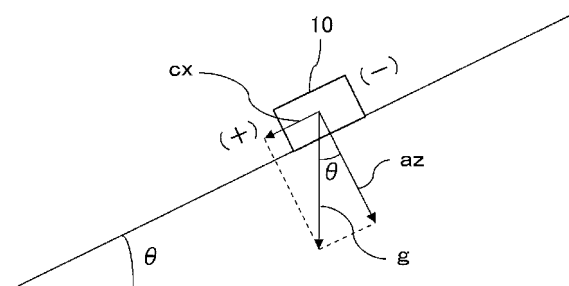
【 図 3 】



【 図 4 】



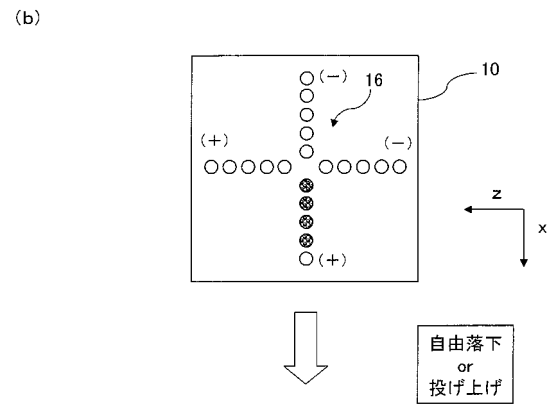
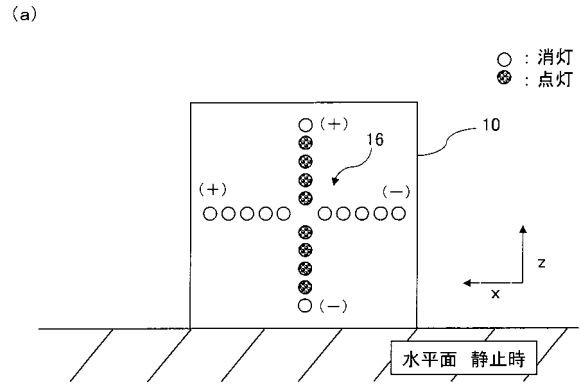
【 図 5 】



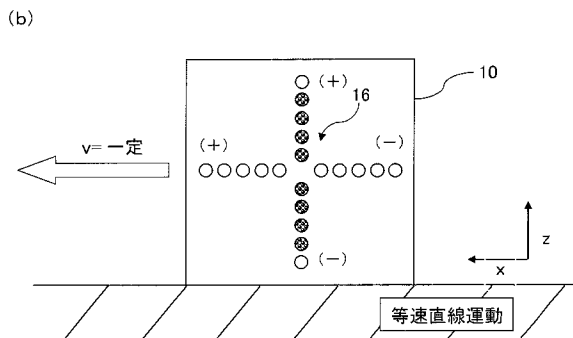
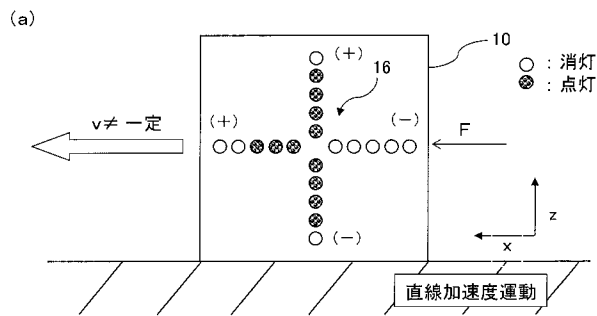
【図6】

azの値	点灯するLEDの数
$z_0 \geq z > z_1$	0
$z_1 \geq z > z_2$	1
$z_2 \geq z > z_3$	2
$z_3 \geq z > z_4$	3
$z_4 \geq z > z_5$	4

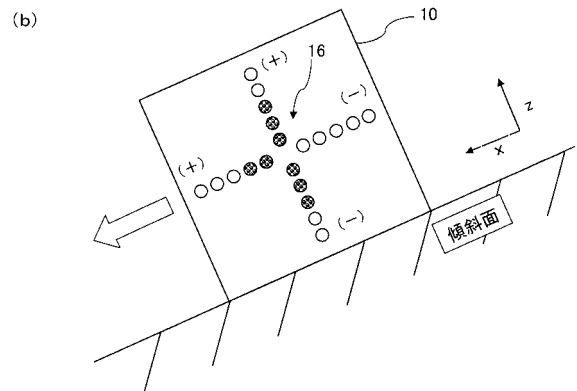
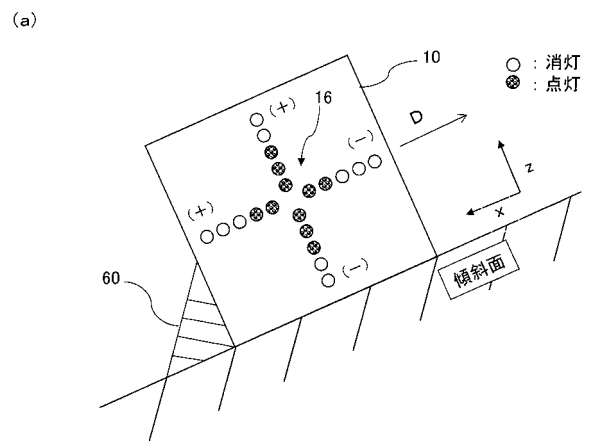
【図7】



【図8】

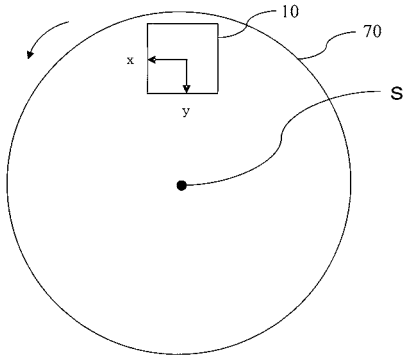


【図9】

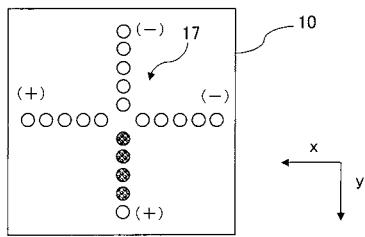


【図 10】

(a)



(b)



【図 11】

