

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第5704592号
(P5704592)

(45) 発行日 平成27年4月22日(2015.4.22)

(24) 登録日 平成27年3月6日(2015.3.6)

(51) Int.Cl.		F I			
GO 1 P	15/00	(2006.01)	GO 1 P	15/00	E
GO 1 L	5/16	(2006.01)	GO 1 L	5/16	
GO 1 P	15/18	(2013.01)	GO 1 P	15/18	
GO 9 B	19/00	(2006.01)	GO 9 B	19/00	Z
A 6 3 H	33/00	(2006.01)	A 6 3 H	33/00	3 0 2 Z

請求項の数 6 (全 24 頁)

(21) 出願番号 特願2010-101671 (P2010-101671)
 (22) 出願日 平成22年4月27日(2010.4.27)
 (65) 公開番号 特開2011-232121 (P2011-232121A)
 (43) 公開日 平成23年11月17日(2011.11.17)
 審査請求日 平成25年2月14日(2013.2.14)

(73) 特許権者 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

審査官 續山 浩二

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 視覚的力表示器並びに視覚的力理科教材及び科学玩具

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

互いに直交するx軸方向と、y軸方向と、z軸方向の各々の軸方向について加速度を検出する3軸加速度センサと、

前記3軸加速度センサから取得する前記x軸方向、前記y軸方向及び前記z軸方向の前記加速度に基づいて、前記軸方向の各々について、前記3軸加速度センサに作用する重力以外の力に対応する加速度情報S(Sx、Sy及びSz)及び前記3軸加速度センサに作用する重力に対応する加速度情報L(Lx、Ly及びLz)を求め、

算出された前記加速度情報S(Sx、Sy及びSz)及び前記加速度情報L(Lx、Ly及びLz)に基づいて、前記軸方向の各々について表示情報を生成するコントローラと

10

、
 前記表示情報に基づいて前記軸方向に作用する力の向きと大きさを表示する表示体と、
 を備える視覚的力表示器であって、

前記コントローラは、

起動後に特定した基準重力G0と、

前記基準重力G0を特定した後に算出される前記加速度情報S(Sx、Sy及びSz)から算出される加速度の絶対値G1(ただし、加速度の絶対値 $G1 = (Sx^2 + Sy^2 + Sz^2)^{1/2}$)と、を比較することで、前記視覚的力表示器が加速度運動又は非加速度運動のいずれの状態にあるのかを判断することを特徴とする視覚的力表示器。

【請求項2】

20

前記コントローラは、
 前記視覚的力表示器が非加速度運動の状態にあるものと判断すると、
 前記加速度情報 L (L_x 、 L_y 及び L_z) と向きが逆で大きさの等しい加速度値 G ($G_x = -L_x$ 、 $G_y = -L_y$ 及び $G_z = -L_z$) を、前記 3 軸加速度センサに作用する重力に対応する前記表示情報として扱い、
 前記視覚的力表示器が加速度運動の状態にあるものと判断すると、
 当該加速度運動を開始する前の前記加速度情報 L (L_x 、 L_y 及び L_z) と向きが逆で大きさの等しい加速度値 G ($G_x = -L_x$ 、 $G_y = -L_y$ 及び $G_z = -L_z$) を、前記 3 軸加速度センサに作用する重力に対応する前記表示情報として扱う、
 請求項 1 に記載の視覚的力表示器。

10

【請求項 3】

前記コントローラは、
 前記力の向きと大きさの表示について第 1 のモードと第 2 のモードを備え、
 前記第 1 のモードは、
 前記重力 G ($G_x = -L_x$ 、 $G_y = -L_y$ 及び $G_z = -L_z$) と前記加速度情報 S (S_x 、 S_y 及び S_z) の向きが逆の場合には、前記重力 G と前記加速度情報 S を各々独立した前記表示情報として扱い、
 前記重力 G ($G_x = -L_x$ 、 $G_y = -L_y$ 及び $G_z = -L_z$) と前記加速度情報 S (S_x 、 S_y 及び S_z) の向きが同じ場合には、前記重力 G と前記加速度情報 S とを加えて前記表示情報として扱い、
 前記第 2 のモードは、
 前記重力 G ($G_x = -L_x$ 、 $G_y = -L_y$ 及び $G_z = -L_z$) と前記加速度情報 S (S_x 、 S_y 及び S_z) の向きに係らず、前記重力 G と前記加速度情報 S とを加えて前記表示情報として扱う、
 請求項 2 に記載の視覚的力表示器。

20

【請求項 4】

前記コントローラは、
 前記基準重力 G_0 を特定する以前から、前記加速度情報 L (L_x 、 L_y 及び L_z) を算出し、
 前記基準重力 G_0 を特定した際に与えられる前記各軸方向の前記加速度情報 L_0 (L_{x0} 、 L_{y0} 及び L_{z0}) により初期重力値 $G_{x0} = -L_{x0}$ 、 $G_y = -L_y$ 及び $G_z = -L_z$) として記憶する、
 請求項 1 ~ 3 のいずれかに記載の視覚的力表示器。

30

【請求項 5】

請求項 1 ~ 請求項 4 のいずれか一項に記載の視覚的力表示器からなる視覚的理科教材。

【請求項 6】

請求項 1 ~ 請求項 4 のいずれか一項に記載の視覚的力表示器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向きと大きさを視覚的に認識できる表示器に関するものである。

40

【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、その向きと大きさ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向きと大きさを視覚化できる教材が求められている。

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

50

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）。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、特許文献 1、特許文献 2 等は力の向きと大きさの両者を視覚化して表示できる機器を開示するものではなかった。

以上に対して本発明者らは、非特許文献 1 において力の向きと大きさの両者を視覚化して表示できる機器を提案している。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0003】

【特許文献 1】特許第 3 1 1 4 5 7 1 号公報

10

【特許文献 2】特開 2 0 0 8 - 9 6 3 5 5 号公報

【非特許文献】

【0004】

【非特許文献 1】伊東明彦・渡辺一博、力の学習を支援する力表示器「F i - C u b e」の製作と授業実践、宇都宮大学教育学部紀要、59 - 2、13 - 26、2009

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

非特許文献 1 に記載される力表示器（以下、従来の力表示器）は、物体に作用している力の向きと大きさを視覚化できる教材として独創的なものであった。ところが、従来の力表示器は、3 軸加速度センサの z 軸方向で取得される加速度の出力を、重力を表示するのに用いるとともに、力表示器の傾きを算出するのに用いる。そのために従来の力表示器は、z 軸方向について、重力は測定できるものの、作用する力に対応する短時間の動きには反応しないように設定されていた。一方、x 軸方向（又は y 軸方向）については、z 軸方向とは逆に、力に対応する短時間の動きにのみ反応するように設定されていた。したがって、従来の力表示器は、z 軸方向を鉛直方向に揃えて自由落下（又は投げ上げ）させても、z 軸方向に力（加速度）を表示させることができず、自由落下させる場合には x 軸方向（又は y 軸方向）を鉛直方向に揃える制約があった。

20

本発明は、このように使用する際の向きの制約を受けることなく、作用している力の向きと大きさを視覚的に表示できる力表示器を提供することを目的とする。

30

【課題を解決するための手段】

【0006】

力は運動方程式 $F = m \cdot a$ によって定義される。つまり、ある物体に働く力 F は質量 m を比例定数として加速度 a で表される。したがって、物体の加速度を可視化することは、力を可視化したことと等価になる。本発明の視覚的力表示器（以下、単に力表示器）はこの考えに従ったものであり、内部に装備された 3 軸加速度センサにより物体の加速度を測定し、これに基づいて力を視覚的に表示する。

力表示器として持つべき要件について述べる。水平な支持面上に置かれた物体には、地球の重力と支持面から受ける垂直抗力の 2 つの力が働いている。したがって、この場合には、z 軸方向（鉛直方向）の下向きと上向きに同じ量の表示を行うことが必要である。しかしながら、地球上の物体には常に重力が働いているため、静止している加速度センサは上向きの加速度、つまりは上向きの力を常に出力していることになる。この上向きの力は支持面から受ける垂直抗力に対応する。ところが、重力に対応する加速度の出力を得ることができない。

40

【0007】

この課題に対して上述した従来の力表示器は、z 軸方向で取得される加速度の出力を、重力を表示するのに用いていたが、力表示器の傾きを算出するのにも用いていたため、自由落下（又は投げ上げ）させる場合には、x 軸方向を鉛直方向に揃える制約があった。これに対して本発明は、3 軸加速度センサの各軸（x 軸、y 軸及び z 軸）の各々について、重力に対応する加速度に関する情報と、重力以外の力に対応する加速度に関する情報の両

50

者を求めることで、使用する向きの制約を排除することを可能とした。

本発明の力表示器は、3軸加速度センサと、コントローラと、表示体とを備える。

3軸加速度センサは、互いに直交するx軸方向と、y軸方向と、z軸方向の各々の軸方向について加速度を検出する。

コントローラは、3軸加速度センサから取得するx軸方向、y軸方向及びz軸方向の加速度に基づいて、軸方向の各々について、3軸加速度センサに作用する重力以外の力に対応する加速度情報 S (S_x 、 S_y 及び S_z)及び3軸加速度センサに作用する重力に対応する加速度情報 L (L_x 、 L_y 及び L_z)を算出する。コントローラは、また、算出された加速度情報 S (S_x 、 S_y 及び S_z)及び加速度情報 L (L_x 、 L_y 及び L_z)に基づいて、軸方向の各々について表示情報を生成する。

10

表示体は、コントローラで生成された表示情報に基づいて軸方向に作用する力の向きと大きさを表示する。

【0008】

本発明の力表示器において、コントローラは、力表示器が加速度運動又は非加速度運動のいずれの状態にあるのかを判断する。この判断を行うことで、加速度運動又は非加速度運動に対応した適切な表示を実現することが可能になる。この判断は、起動後に特定した基準重力 G_0 と、加速度の絶対値 G_1 とを比較することで行われる。ただし、加速度の絶対値 G_1 は、基準重力 G_0 を特定した後に算出される加速度情報 S (S_x 、 S_y 及び S_z)から、 $G_1 = (S_x^2 + S_y^2 + S_z^2)^{1/2}$ により与えられる。

【0009】

20

また本発明の力表示器において、コントローラは、表示器が非加速度運動の状態にあるものと判断すると、加速度情報 L (L_x 、 L_y 及び L_z)と向きが逆で大きさの等しい加速度値 G ($G_x = -L_x$ 、 $G_y = -L_y$ 及び $G_z = -L_z$)を、3軸加速度センサに作用する重力に対応する表示情報として扱うことができる。また、視覚的力表示器が加速度運動の状態にあるものと判断すると、加速度運動を開始する前の加速度情報 L (L_x 、 L_y 及び L_z)と向きが逆で大きさの等しい加速度値 G ($G_x = -L_x$ 、 $G_y = -L_y$ 及び $G_z = -L_z$)を、3軸加速度センサに作用する重力に対応する表示情報として扱うことができる。

【0010】

本発明の力表示器において、コントローラは、力の向きと大きさの表示について第1のモードと第2のモードを備えることができる。

30

第1のモードは、重力 G ($G_x = -L_x$ 、 $G_y = -L_y$ 及び $G_z = -L_z$)と加速度情報 S (S_x 、 S_y 及び S_z)の向きが逆の場合には、重力 G と加速度情報 S を各々独立した表示情報として扱う。また、第1のモードにおいては、重力 G ($G_x = -L_x$ 、 $G_y = -L_y$ 及び $G_z = -L_z$)と加速度情報 S (S_x 、 S_y 及び S_z)の向きが同じ場合には、重力 G と加速度情報 S とを加えたものを表示情報として扱う。

第2のモードは、重力 G ($G_x = -L_x$ 、 $G_y = -L_y$ 及び $G_z = -L_z$)と加速度情報 S (S_x 、 S_y 及び S_z)の向きに係らず、常に、重力 G と加速度情報 S とを加えたものを表示情報として扱う。

【0011】

40

本発明の力表示器において、コントローラは、基準重力 G_0 を特定する以前から、加速度情報 L (L_x 、 L_y 及び L_z)を算出し、基準重力 G_0 を特定した際に与えられる各軸方向の加速度情報 L_0 (L_{x0} 、 L_{y0} 及び L_{z0})により初期重力値 $G_{x0} = -L_{x0}$ 、 $G_{y0} = -L_{y0}$ 及び $G_{z0} = -L_{z0}$ として記憶することができる。

【0012】

以上の本発明による視覚的力表示器は、理科教材、科学玩具として使用される。

【発明の効果】

【0013】

本発明によれば、3軸加速度センサの各軸(x軸、y軸及びz軸)の各々について、重力に対応する加速度に関する情報と、重力以外の力に対応する加速度に関する情報の両者

50

を求めることで、使用する向きを制約を排除することを可能とした。

【図面の簡単な説明】

【0014】

【図1】本実施の形態における力表示器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器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器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器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り、図3に示す処理以降の処理を示す。

【図5】重力のz軸方向の成分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。

10

【図6】水平面に静止する通常モードの力表示器のLEDの点灯状態を示し、(a)はx-z表示面、(b)はx-y表示面を示している。

【図7】図6と向きを変えた力表示器の点灯状態を示し、(a)はx-z表示面、(b)はx-y表示面を示している。

【図8】自由落下する通常モードの力表示器のLEDの点灯状態を示し、(a)はx-z表示面、(b)はx-y表示面を示している。

【図9】外力を受けて水平面上を直線加速度運動する通常モードの力表示器のLEDの点灯状態を示し、(a)はx-z表示面、(b)はx-y表示面を示している。

【図10】外力を受けずに水平面上を等速直線運動する通常モードの力表示器のLEDの点灯状態を示し、(a)はx-z表示面、(b)はx-y表示面を示している。

20

【図11】傾斜面に静止する通常モードの力表示器のLEDの点灯状態を示し、(a)はx-z表示面、(b)はx-y表示面を示している。

【図12】傾斜面を自由滑走する通常モードの力表示器のLEDの点灯状態を示し、(a)はx-z表示面、(b)はx-y表示面を示している。

【図13】(a)は軸Sの周りに自由に回転する円盤上に置かれている通常モードの力表示器を示し、(b)はx-y表示面のLEDの点灯状態を示している。

【図14】正立された通常モード(第1のモード)の力表示器を時計回りに90度回転させる過程におけるx-z表示面のLEDの点灯状態の変遷を示す図である。

【図15】水平面に支持された実作用モード(第2のモード)の力表示器を自由落下させる過程におけるx-z表示面のLEDの点灯状態の変遷を示す図である。

30

【図16】水平に静止された通常モード(第1のモード)の力表示器を人為的に上下に振動させたときのx-z表示面のLEDの点灯状態の変遷を示す図である。

【発明を実施するための形態】

【0015】

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器10の外観を示す斜視図、図2は力表示器10の機能ブロック図である。

力表示器10は、3軸加速度センサ20(以下単に加速度センサ20)、加速度センサ20から出力される電気信号からなる加速度情報を受け、かつ処理して表示情報を生成するコントローラ40と、コントローラ40で生成された表示情報に基づいて発光ダイオードLED(以下、単にLED)が点灯される表示部60とから構成される。なお、以下では図1の向きを力表示器10の正立とする。

40

【0016】

<ケース11>

力表示器10は、隣接する2つの面を、x-z表示面12、x-y表示面13とする直方体状のケース11を備えている。ケース11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が、これに限定されるものではない。ケース11には、力表示器10の起動(オン)/停止(オフ)を行うスイッチが設けられているが、ここでは記載を省略している。

50

【 0 0 1 7 】

< 表示部 6 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 LED からなる複数の表示灯が十字状に並べられて x - z 表示体 1 6、x - y 表示体 1 7 をなしている。この 2 つの表示体 1 6、1 7 により、表示部 6 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 表示体 1 6 及び x - y 表示体 1 7 を構成する 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 表示体 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 表示体 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 表示体 1 6 及び x - y 表示体 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 表示体 1 6 において、z 軸の負に対応する LED が点灯すると、力表示器 1 0 が重力を受けていることを示す。なお、力表示器 1 0 は 1 つの LED が点灯すれば、0 . 2 5 g（g：重力加速度）が作用していることを示す。例えば、図 5 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テーブルを設けておき、このテーブルを参照することにより点灯させる LED の数を決めることができる。

【 0 0 1 8 】

< 加速度センサ 2 0 >

力表示器 1 0 は、ケース 1 1 内に加速度センサ 2 0 を設けている。加速度センサ 2 0 は、x 軸方向の加速度成分を検出する x 軸センサ部、y 軸方向の加速度成分を検出する y 軸センサ部及び z 軸方向の加速度成分を検出する z 軸センサ部を備え、x 軸センサ部、y 軸センサ部、z 軸センサ部が図 1 に示した力表示器 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 は、力表示器 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、加速度を電気信号として出力する。この電気信号（加速度値）を、 A_x 、 A_y 及び A_z とする。なお、運動方程式 $F = m \times a$ より、加速度を表示することで、力の向きと大きさを認識できることは前述の通りである。また、加速度センサ 2 0 の検出原理によって、 piezo 素子の結晶の歪により生ずる電気抵抗の変化を利用する piezo 抵抗型、静電容量の変化を利用した静電容量型、圧電素子の結晶の歪により生ずる電圧を利用した圧電型等のいくつかのタイプがあるが、本発明はいずれのタイプの加速度センサを用いることができる。

なお、本実施形態では、加速度センサ 2 0 はデジタル出力を行うことを前提としているが、アナログ出力を行う 3 軸加速度センサを用いることもできる。この場合、ロー・パス・フィルタを備えるフィルタ・アンプ回路を、加速度センサ 2 0 とコントローラ 4 0 との間に介在させる等の要素を加える必要があるが、それ自体は公知であるので、ここでの説明は省略する。

【 0 0 1 9 】

< コントローラ 4 0 >

力表示器 1 0 は、ケース 1 1 内にコントローラ 4 0 を備えている。

コントローラ 4 0 は、前述したスイッチをオンしたのを受けて、加速度センサ 2 0 から送られる x 軸、y 軸、z 軸の各々の加速度値を以下のように処理する。なお、コントローラ 4 0 は、例えば P I C（Peripheral Interface Controller：周辺機器接続制御用 IC）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 IC に組込まれたワンチップ・マイクロコンピュータであり、メモリに記憶されるソフトウェアで制御される。

【 0 0 2 0 】

[初期化 - 加速度値 A_x 、 A_y 及び A_z のサンプリング]

コントローラ 40 は、力表示器 10 の起動後に、初期化の処理を行う。ここでは、力表示器 10 は正立されているものとする。

コントローラ 40 は、初期化を行うために、加速度センサ 20 から加速度値 A_x 、 A_y 及び A_z を継続して取得（サンプリング）するとともに、メモリに記憶する。サンプリングを例えば 40 Hz （ $= 40\text{ 回/秒}$ ）の周期で行うことで、加速度の 0.025 秒 の時間変化に追従することができる。ただし、 40 Hz というサンプリング周期はあくまで例示であり、他のサンプリング周波数を採用できることは言うまでもない。なお、 A_x は加速度センサ 20 の x 軸方向の加速度値、 A_y は加速度センサ 20 の y 軸方向の加速度値、 A_z は加速度センサ 20 の z 軸方向の加速度値である。

【0021】

コントローラ 40 は、加速度値 A_x 、 A_y 及び A_z の各々から短周期加速度値（加速度情報 S ） S_x 、 S_y 及び S_z を算出する。また、コントローラ 40 は、加速度値 A_x 、 A_y 及び A_z の各々から長周期加速度値（加速度情報 L ） L_x 、 L_y 及び L_z を算出する。なお、短周期加速度値 S_x 、 S_y 及び S_z 、並びに、長周期加速度値 L_x 、 L_y 及び L_z の具体的な内容は後述する。

【0022】

コントローラ 40 は、所定のサンプリング回数の中に短周期加速度値 S_x 、 S_y 及び S_z のいずれも変化せずに、かつ S_x 及び S_y が 0 の場合には、力表示器 10 は Z 軸を鉛直にして静置されているものと判断して、初期化を完了する。所定のサンプリング回数の中に短周期加速度値 S_x 、 S_y 及び S_z のいずれかが変化すると、コントローラ 40 は初期化を再度試みる。

【0023】

[基準重力 G_0 ($G_0 = L_z_0$) の記憶]

コントローラ 40 は、初期化がなされた時点の z 軸方向の長時間加速度値 L_z_0 を、加速度センサ 20（力表示器 10）が受ける重力の大きさを基準重力 G_0 ($G_0 = L_z_0$) としてメモリに記憶する。基準重力 G_0 は、後に力表示器 10 が加速度運動しているか否かの判断を行う際に用いる。

力表示器 10 が起動時の姿勢に保持されているのでここで得られる基準重力 G_0 は $1g$ (g : 重力加速度) である。

【0024】

基準重力 G_0 を記憶すると同時に、その時点での短周期加速度値 S_x_0 、 S_y_0 及び S_z_0 、並びに、長周期加速度値 L_x_0 、 L_y_0 及び L_z_0 も、初期化された値としてメモリに記憶される。さらに、長周期加速度値 L_x_0 、 L_y_0 及び L_z_0 が重力の大きさ、向きとして記憶される。各軸の重力 G_x_0 、 G_y_0 、 G_z_0 は、 $G_x_0 = -L_x_0$ 、 $G_y_0 = -L_y_0$ 及び $G_z_0 = -L_z_0$ で表される。ただし、初期化時点では、常に $G_x_0 = 0$ 、 $G_y_0 = 0$ 、 $G_z_0 = G_0$ である。

【0025】

[短周期加速度値 S_x 、 S_y 及び S_z の算出]

コントローラ 40 は、サンプリング間隔 t 秒毎に得られる加速度値 A_x 、 A_y 及び A_z から短周期加速度値 S_x 、 S_y 及び S_z を算出する。短周期加速度値 S_x 、 S_y 及び S_z は、例えば $T_S = 0.1\text{ sec}$ の間（短周期間）にサンプリングされた加速度値 A_x 、 A_y 及び A_z の平均値で与えられる。 T_S 秒間には、 $T_S = N S_x t$ で表わされる $N S$ 回の計測が行われる。よって、 S_x 、 S_y 及び S_z は以下により特定される。なお、以下では、加速度値 A_x 、 A_y 及び A_z を総称する場合には加速度 A と総称し、短周期加速度値を総称する場合には短周期加速度値 S と表記することがある。

$$S_x = (A_{x1} + A_{x2} + A_{x3} + \dots + A_{xNS}) / NS$$

$$S_y = (A_{y1} + A_{y2} + A_{y3} + \dots + A_{yNS}) / NS$$

$$S_z = (A_{z1} + A_{z2} + A_{z3} + \dots + A_{zNS}) / NS$$

ここで、各短周期加速度値 S を算出するためには最低 $N S$ 回の加速度値 A の計測が必要なことは上式からも明らかである。こうして算出された最初の短周期加速度値 S である S

10

20

30

40

50

1 は以下により算出される。

$$S_1 = (S_1 + S_2 + S_3 \dots S_{NS}) / NS$$

しかし、一旦 S_1 が算出されれば、その次の S_2 は次の計測値 S_{NS+1} とそれまでの計測値 (A_1 は除く) を使って以下により算出できる。

$$S_2 = (A_2 + A_3 + \dots + A_{NS} + A_{NS+1}) / NS$$

つまり、加速度値 A の移動平均をとっていくことで短周期加速度値 S を順次算出することになる。これは、後述する長周期加速度値 L_x 、 L_y 及び L_z についても同様である。したがって、最初の NS 回以降は、毎回のサンプリング毎に短周期加速度値 S 及び長周期加速度値 L が算出される。

【0026】

短周期加速度値 (S_x 、 S_y 及び S_z) は、例えば、短周期間 TS を 0.1 sec. とし、加速度値 A のサンプリング周波数を 40 Hz ($t = 0.025 \text{ sec.}$) とすると、4 回分のサンプリングされた加速度値 A の平均値である。したがって、短周期加速度値を算出することにより、短い周期で動いている力表示器 10 (加速度センサ 20) に作用される力 (重力は含まず) を検知することができる。しかも、短周期加速度値を x 軸、 y 軸及び z 軸の 3 軸全てについて算出することで、力表示器 10 を使用する向きを制約を排除することができる。

なお、ここでは短周期間 TS を 0.1 sec. として説明したが、あくまで一例である。傾向として、短周期間 TS が短いと音、振動などのノイズを拾うおそれがあり、逆に、短周期間 TS が長いと $x-z$ 表示体 16 及び $x-y$ 表示体 17 への表示 (発光ダイオード LE の点灯) が力表示器 10 の動きに追従せずに遅れる。したがって短周期間 TS は、 $0.01 \sim 0.3 \text{ sec.}$ 以下の範囲から選択することが好ましく、 $0.05 \sim 0.15 \text{ sec.}$ の範囲から選択するのがより好ましい。

【0027】

[長周期加速度値 L_x 、 L_y 及び L_z の算出]

コントローラ 40 は、サンプリング間隔 t 秒毎に得られる加速度値 A_x 、 A_y 及び A_z から長周期加速度値 L_x 、 L_y 及び L_z を算出する。長周期加速度値 L_x 、 L_y 及び L_z は、例えば $TL = 1.0 \text{ sec.}$ の間 (長周期間) にサンプリングされた加速度値 A_x 、 A_y 及び A_z の平均値で与えられる。 TL 秒間には、 $TL = NL \times t$ で表わされる NL 回の計測が行われる。よって、 L_x 、 L_y 及び L_z は以下により特定される。

$$L_x = (A_{x1} + A_{x2} + A_{x3} + \dots + A_{xNL}) / NL$$

$$L_y = (A_{y1} + A_{y2} + A_{y3} + \dots + A_{yNL}) / NL$$

$$L_z = (A_{z1} + A_{z2} + A_{z3} + \dots + A_{zNL}) / NL$$

【0028】

長周期加速度値 (L_x 、 L_y 及び L_z) は、例えば、長周期間 TL を 1.0 sec. とし、加速度値 A のサンプリング周波数を 40 Hz とすると、40 回分のサンプリングされた加速度値 A の平均値である。長周期加速度値を算出するのは、力表示器 10 に作用する重力を検出するためである。つまり、重力は力表示器 10 に常に作用しており短周期間 TS のように短い時間では変わらないことを前提にして、短周期間 TS に比べて十分に時間の長い長周期間 TL に基づいて長周期加速度値を算出することで、力表示器 10 に作用する重力 (大きさ、向き) を検出する。しかも、長周期加速度値を x 軸、 y 軸及び z 軸の 3 軸全てについて算出することで、力表示器 10 を使用する向きを制約を排除することができる。

なお、ここでは長周期間 TL を 1.0 sec. として説明したが、あくまで一例である。傾向として、長周期間 TL が短すぎると短周期に対応する力との区別ができなくなるおそれがあり、逆に、長周期間 TL が長いと短周期間 TS と同様に表示が力表示器 10 の動きに追従せずに遅れる。したがって長周期間 TL は、 $0.5 \sim 10 \text{ sec.}$ 以下の範囲から選択することが好ましく、 $0.8 \sim 5.0 \text{ sec.}$ の範囲から選択するのが好ましい。

以下、長周期加速度値を総称する場合には、長周期加速度値 L と表記することがある。

【0029】

10

20

30

40

50

[加速度の絶対値 G の算出]

コントローラ 40 は、算出された短周期加速度値 (S_x 、 S_y 及び S_z) を用いて、加速度の絶対値 G_1 を算出する。なお、絶対値 G_1 は $G_1 = (S_x^2 + S_y^2 + S_z^2)^{1/2}$ により求められる。

コントローラ 40 は、算出された絶対値 G_1 と先に記憶された基準重力 G_0 とを比較する。この比較により、力表示器 10 が加速度運動をしているのか否かの判断を行うことができる。つまり、力表示器 10 が加速度運動をしていなければ G_1 は G_0 のままで一致 ($G_1 = G_0$) し、力表示器 10 が加速度運動をしていれば G_1 は G_0 と相違する ($G_1 > G_0$)。以下、 $G_1 = G_0$ (非加速度運動) の場合を *Case-A* といい、 $G_1 > G_0$ (加速度運動) を *Case-B* という。なお、*Case-A* に該当するのは、静止、等速運動のいずれかである。

10

【 0030 】

Case-A (非加速度運動) の場合、長周期加速度値 L_x 、 L_y 及び L_z は重力と逆の向きを示しており、コントローラ 40 は $G_x = -L_x$ 、 $G_y = -L_y$ 及び $G_z = -L_z$ をメモリに記憶する。

ここで、地球上の物体には常に重力が働いているため、静止している加速度センサ 20 は上向きの加速度、つまりは上向きの力を常に出力する。この場合、加速度センサ 20 の出力から求められる力は物体の支持面から受ける垂直抗力に対応する。しかし、重力に対応する下向きの出力は存在しない。そこで、 $G_x = -L_x$ 、 $G_y = -L_y$ 及び $G_z = -L_z$ と解釈することで重力を表示できるようにしている。

20

一方、*Case-B* (加速度運動) の場合、重力の向きは分からないので、コントローラ 40 は、格別な処理を行わない。したがって、メモリには前回サンプリングまでの加速度値 (A_x 、 A_y 及び A_z)、短周期加速度値 (S_x 、 S_y 及び S_z)、長周期加速度値 (L_x 、 L_y 及び L_z) が記憶されている。

なお、 $G_x = -L_x$ 、 $G_y = -L_y$ 及び $G_z = -L_z$ を総称する場合には、重力 G と表記することがある。

【 0031 】

[表示情報の特定]

< 通常モードと実作用モード >

以上の結果に基づいて、コントローラ 40 は、表示部 60 の LED を点灯、表示させる内容を特定する。この表示内容は、通常モード (第 1 モード) と実作用モード (第 2 モード) によって区分される。

30

通常モードの場合には、物体が静止していても重力と垂直抗力が同じ大きさで逆向きに作用していることを表示されるようする。つまり、通常モードは重力を特別に扱っている。これは、重力と垂直抗力が釣りあっていることを学ぶ理科の学習内容に、力表示器 10 の表示を合わせるためである。しかしながら、静止状態においては実際には重力と垂直抗力は釣りあっているのであって、トータルとしてみると力表示器 10 には力が負荷されていない。そこで、実作用モードは純粋に力表示器 10 に負荷される力のみを表示するために実作用モードを設けている。つまり、実作用モードでは、重力と垂直抗力が釣りあう状態を表示させないようにする。

40

【 0032 】

モードの選択は、力表示器 10 に通常モードと実作用モードのいずれかを選択できるスイッチを設けてもよいし、起動する際の力表示器 10 の向きに応じて通常モードと実作用モードのいずれかが自動的に選択されるようにしてもよい。後者として、例えば、力表示器 10 を正立 (図 1 の状態) させた状態で起動スイッチをオンすると通常モードが選択され、力表示器 10 を倒立 (z 軸の向きが図 1 とは逆さ) させた状態で起動スイッチをオンすると実作用モードが選択されるように、コントローラ 40 が処理するようにプログラムしておけばよい。

【 0033 】

< 通常モード >

50

通常モードでは、重力Gが常に表示される。しかし、短周期加速度値Sは、重力Gの向きによって表示が以下のように異なる。

短周期加速度値Sが重力Gと向きが逆（異符号）の場合は、短周期加速度値Sと重力Gを独立して両方とも表示させる。例えば、短周期加速度値Sxが正（+）方向にLEDが3つ分の大きさを有し、重力Gxが負（-）方向にLEDが1つ分の大きさを有しているとする、x-z表示体16のx（+）側のLEDが3つ点灯し、x-z表示体16のx（-）側のLEDが1つ点灯する。

短周期加速度値Sが重力Gと向きが同じ（同符号）場合は、重力Gに短周期加速度値Sを加えて（S+G）表示させる。例えば、短周期加速度値Sxが正（+）方向にLEDが3つ分の大きさを有し、重力Gxが正（+）方向にLEDが1つ分の大きさを有している

10

【0034】

<実作用モード>

実作用モードでは、短周期加速度値Sの向き（符号）に係わらず、常に重力Gに短周期加速度値Sを加えて（S+G）表示させる。例えば、重力Gと垂直抗力（短周期加速度値S）は異符号であるから、S+Gは0（ゼロ）になる。よって、力表示器10が静止しているときは何も表示されない。しかし、力表示器10を自由落下させると、垂直抗力（短周期加速度値S）は0（ゼロ）になるのでx-z表示体16のx（-）側に重力Gだけが表示されることになる。

以上の通常モード、実作用モードのいずれにおいても、重力Gに基づく表示は、力表示器10が傾かない限り変わらないか、変わる場合もゆっくり変わる。これに対して、短周期加速度値Sに基づく表示は、手で力表示器10を持って動かすと、その動きに追従して素早く変化する。

20

【0035】

[表示]

コントローラ40は、以上のようにして特定された表示内容に基づいて、表示部60のLEDを点灯、表示させる。本実施形態では、前述したよう、1つのLEDが0.25g（g=重力加速度）に相当するので、表示情報が、 $0.125g < d < 0.375g$ の場合にはLEDを1つ点灯させ、同様に $0.375g < d < 0.625g$ の場合には2つ、 $0.625g < d < 0.875g$ の場合には3つというように点灯させればよい。表示情報

30

【0036】

[処理手順]

以上説明したコントローラ40による力表示器10の処理手順を図3、図4に示すフローチャートに基づいて説明する。

<初期化処理>

起動スイッチが入ると、コントローラ40は力表示器10の初期化の処理を行う。この初期化処理は、力表示器10の一連の処理を行うために必要な情報を得るために行うものであり、図3のS101～S109の各ステップを実行することで遂行される。

コントローラ40は、起動スイッチが入ると、加速度センサ20から加速度値Ax、Ay及びAzをサンプリングし（ステップS101）、短周期加速度値Sx、Sy及びSz、並びに、長周期加速度値Lx、Ly及びLzを算出する（ステップS103、S105）。ステップS101～S105は繰り返して行われる。ステップS101～S105が所定のサンプリング回数（n回）に達すると、コントローラ40は、各回数の短周期加速度値Sx、Sy及びSzの各々が一致していて、かつ、SxおよびSyが0であるという初期化の条件を満たすか否か、つまり力表示器10がz軸を鉛直方向に向けて静置されているか否かの判断を行う（ステップS107）。例えば、力表示器10を手を持って動かしていると短周期加速度値Sx、Sy及びSzのいずれかが変動しているので初期化が失敗したと判断され（ステップS107 No）、再度、ステップS101からステップS105までの処理を所定のサンプリング回数（n回）に達するまで行い、ステップS10

40

50

7の判断が行われる。

【0037】

ステップS107において、初期化の条件を満たすと判断される(ステップS107 Yes)と、コントローラ40は、n回目にサンプリングしたz軸方向の加速度値Lz0を前述した基準重力G0($G0 = Lz0$)としてメモリに記憶する(ステップS109)。以上で、初期化処理は完了する(図3 ステップS111)。なお、初期化が完了した時点の短周期加速度値(Sx、Sy及びSz)、長周期加速度値(Lx、Ly及びLz)は、メモリに記憶されることなく、そのまま保持される。長周期加速度値(Lx、Ly及びLz)は、後述するステップS121において非加速度運動(Yes)と判断されると新たに算出される。また、後述するステップS121において加速度運動(No)と破断

10

【0038】

<表示のためのサンプリング、算出>

初期化が完了すると、加速度センサ20から加速度値Ax、Ay及びAzをサンプリングし(ステップS113)、短周期加速度値Sx、Sy及びSz、並びに、長周期加速度値Lx、Ly及びLzを算出する(ステップS115、S117)。

コントローラ40は、算出された短周期加速度値Sx、Sy及びSzから、加速度の絶対値G1($G1 = (Sx^2 + Sy^2 + Sz^2)^{1/2}$)を算出し(ステップS119)、次いで、算出された加速度の絶対値G1と初期化に伴って記憶した基準重力G1とを比較する(ステップS121)。力表示器10が加速度運動をしていなければG1はG0のままであるからG1はG0に一致し($G1 = G0$, ステップS121 Yes)、力表示器10が加速度運動をしていればG1はG0と相違する($G1 \neq G0$, ステップS121 No)。ただし、測定の誤差もあるために、ある閾値を設け、 $|G0 - G1| <$ ならば非加速度運動をしていると判断することが現実的な処理である。また、 $(Sx^2 + Sy^2 + Sz^2)^{1/2}$ の計算を省略するために、 $G0^2$ と $G1^2$ を比較してもよいことは言うまでもない。

20

【0039】

前述したように、Case-A(非加速度運動)の場合には、コントローラ40は $Gx = -Lx$ 、 $Gy = -Ly$ 及び $Gz = -Lz$ をメモリに記憶し(ステップS123)、Case-B(加速度運動)の場合、格別な処理を行わずに先行する長周期加速度値(Lx、Ly及びLz)を保持する(ステップS121~S125)。

30

【0040】

次に、コントローラ40は、力表示器10が通常モードと実作用モードのいずれが選択されているかの判断を行う(ステップS125)。

通常モードが選択されている場合には、図4の(A)に続く処理がなされる。通常モードの場合には、短周期加速度値Sと重力Gの向きの異同が判断される(ステップS201)。当該向きが逆であれば(ステップS201 Yes)、短周期加速度値Sと重力Gを独立して表示情報とする(ステップS203)。当該向きが同じ又は少なくとも一方の値が0であれば(ステップS201 No)、重力Gに短周期加速度値Sを加えて(S+G)表示情報とする。

40

一方、実作用モードが選択されている場合には、図4の(B)に続く処理がなされる。この場合、短周期加速度値Sの向き(符号)に係わらず、常に重力Gに短周期加速度値Sを加えて(S+G)表示情報とする(ステップS207)。

コントローラ40は、各表示情報に基づいて、表示部60のLEDを点灯、表示させる(ステップS209)。

【0041】

コントローラ40は、ステップS209までの処理を終えると、図3のステップS111(図3、4の(C))に戻り、ステップS111からステップS209までの処理を繰り返すことで、力表示器10の状態の変化に応じた表示を表示部60に行わせる。繰り返しの周期は任意であるが、例えば1秒間に30~50回程度の回数でステップS111か

50

らステップ S 2 0 9 までの処理を繰り返すことができる。

【 0 0 4 2 】

[表示例]

さて、以上の力表示器 1 0 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。

- (I) 水平面に静止 (通常モード) ... 図 6 、 図 7 、 図 1 4
- (II) 自由落下 (又は投げ上げ , 通常モード) ... 図 8
- (III) 水平面を直線加速度運動 (外力あり , 通常モード) ... 図 9
- (IV) 水平面を等速直線運動 (外力なし , 通常モード) ... 図 1 0
- (V) 傾斜面に静止 (通常モード) ... 図 1 1
- (VI) 傾斜面を自由滑走 (通常モード) ... 静止解除 ... 図 1 2
- (VII) 回転運動 (通常モード) ... 図 1 3
- (VIII) 静止 自由落下運動 (実作用モード) ... 図 1 5
- (IX) 静止 人為的に上下に振動 (通常モード) ... 図 1 6

10

【 0 0 4 3 】

- (I) 水平面に静止 ... 図 6 , 7 , 1 4

通常モードの力表示器 1 0 が水平面に静止していると、力表示器 1 0 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、重力を力表示器 1 0 の加速度センサ 2 0 で測定できない。そこで、力表示器 1 0 は、加速度センサ 2 0 で測定された加速度の長周期加速度値 L_z を用いてその逆の向きの力を重力とみなして表示させる。

20

力表示器 1 0 を水平面に静止させると、重力と垂直抗力とは釣り合い、x - z 表示体 1 6 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 (図 6 (a))。

正 (+) 側の 4 つの点灯された LED が垂直抗力を表し、負 (-) 側の 4 つの点灯された LED が重力を表しており、これを見た者は、物体 (力表示器 1 0) 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。

【 0 0 4 4 】

以上のように表示される際の短周期加速度値 S (以下、短周期加速度値を省略することがある)、長周期加速度値 L (以下、長周期加速度値を省略することがある) を対比して以下の表 1 に示す。なお、表 1 において、初期化の列に記載されているのは初期化が完了した時点の情報である。また、表 1 において、初期化が完了した時点で、NS 回及び NL 回の加速度値 A の計測が行われているものとする。

30

この例では、初期化のときから同じ水平面上に静止されており、初期化の際の L_z が g (重力加速度) であることから、 $G_z 0$ は - g として記憶される。

初期化が完了した後も力表示器 1 0 は静止し続けるが、その間、図 3 の S 1 2 1 の非加速度運動又は加速度運動の判断が常に Yes なので、 S_x と L_x 、 S_z と L_z は常に同じ値になる。つまり、 S_z 及び L_z はともに g のままである。この場合、力表示器 1 0 は非加速度運動の状態にあるものと判断され、 $G_z 0 = - L_z 0 = - g$ が表示情報として扱われる。したがって、 $S_z = g$ (正)、 $G_z 0 = - g$ (負) は各々独立して加速度情報となる結果として、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。なお、水平面に静止された力表示器 1 0 は、x - y 方向には力が作用していないので、x - y 表示体 1 7 の LED は一つも点灯されない (図 6 (b))。

40

【 0 0 4 5 】

【表 1】

サンプリング	初期化	水平面に静止									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Sx	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sz	g	g	g	g	g	g	g	g	g	g	g
図3 S121の判断	(Y)	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y
Lx	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Lz	g	g	g	g	g	g	g	g	g	g	g
Gx	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Gz	-g	-g	-g	-g	-g	-g	-g	-g	-g	-g	-g
z軸の表示情報	g,-g	g,-g	g,-g	g,-g	g,-g	g,-g	g,-g	g,-g	g,-g	g,-g	g,-g

SzとGzは向きが逆⇔SzとGzは独立

10

【 0 0 4 6 】

力表示器 10 は、図 7 に示すように、その向きを変えて静止させても重力と垂直抗力とが釣り合っていることを表示できる。例えば、図 1 4 に示すように、力表示器 10 を時計回りに回転させて、x 軸を鉛直方向にしても、重力と垂直抗力を示すことができる。これは、力表示器 10 が、3 軸の各々について算出した短周期加速度値 S、長周期加速度値 L に基づいて表示情報を生成していることによる。つまり、力表示器 10 は、x 軸、y 軸及び z 軸の向きに制限を受けることなく使用できる等方的な性質を備えている。以下の (11) 自由落下 (又は投げ上げ) の以降の場合も同様である。

【 0 0 4 7 】

(11) 自由落下 (又は投げ上げ) ... 図 8

20

正立状態にある通常モードの力表示器 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、力表示器 10 には、重力は作用する。したがって、図 8 (a) に示すように、x - z 表示体 16 の z 軸方向の負 (-) 側の 4 つの LED のみが点灯されなければならない。

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

【 0 0 4 8 】

以上のように表示される際の短周期加速度値 S、長周期加速度値 L を対比して以下の表 2 に示す。なお、初期化がなされるまでは力表示器 10 は水平面上に静止されており、初期化の際に $Gz = 0$ は $Gz = -g$ として記憶される。

30

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あうことで鉛直方向の加速度センサの出力は 0 (ゼロ) になる。つまり、 $G0 = G1$ を満たす。したがって、コントローラ 40 は、力表示器 10 が加速度運動しているものと判断する (図 3 S121 の判断が No) ので、Lx、Lz (Gx、Gz) は先行する、つまり初期化完了時点の Lx、Lz (Gx、Gz) が保持される (表 2 の)。なお、表 3 以降も先行する長周期加速度値 L が保持されることを矢印 () で示す。一方、先に記憶されている $Gz = -g$ と $Sz = 0$ から、z 軸方向の表示情報は $Sz + Gz = -g + 0 = -g$ となり、x - z 表示体 16 の z 軸方向の負 (-) 側の 4 つの LED のみが

40

【 0 0 4 9 】

【表 2】

サンプリング	初期化	自由落下									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Sx	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sz	g	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
図3 S121の判断	(Y)	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N
Lx	0	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→
Lz	g	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→
Gx	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Gz	-g	-g	-g	-g	-g	-g	-g	-g	-g	-g	-g
z軸の表示情報	g,-g	-g	-g	-g	-g	-g	-g	-g	-g	-g	-g

SzとGzの一方が0⇔Sz+Gz

10

【 0 0 5 0 】

(III) 水平面を直線加速度運動（外力あり）... 図 9

通常モードの力表示器 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、力表示器 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 9 (a) に示すように、x - z 表示体 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。

また、力表示器 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、力表示器 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 表示体 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。

20

以上の通りであり、x - z 表示体 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（力表示器 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器 10 に作用していることを視覚的に認識できる。

【 0 0 5 1 】

以上のように表示される際の短周期加速度値 S、長周期加速度値 L を対比して以下の表 3 に示す。なお、初期化までは上述と同じである。

静止状態（非加速度運動）から直線加速度運動に移ると、力表示器 10 には水平方向の外力 F が加わることで、x 軸方向に加速度が生じる。もちろん、G0 G1 を満たす。したがって、コントローラ 40 は、力表示器 10 が加速度運動しているものと判断する（図 3 S121 の判断が No）ので、Lx、Lz (Gx、Gz) は先行する、つまり初期化完了時点の Lx、Lz (Gx、Gz) が保持される（表 3 の）。一方、先に記憶されている Gz = -g と Sz = g は向きが逆であるから、Sz (g) と Gz (-g) が各々独立して z 軸方向の表示情報となり、x - z 表示体 16 の z 軸方向の正 (+) 側と負 (-) 側の 4 つの LED が点灯される。また、Sx = 0.75g と保持されている Lx = 0 とから、x 軸方向の表示情報は Sx + Lx = 0.75g + 0 = 0.75g となり、x 軸方向の正 (+) 側の 3 つの LED が点灯される。

30

【 0 0 5 2 】

【表 3】

サンプリング	初期化	直線加速度運動									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Sx	0	0.75g	0.75g	0.75g	0.75g	0.75g	0.75g	0.75g	0.75g	0.75g	0.75g
Sz	g	g	g	g	g	g	g	g	g	g	g
図3 S121の判断	(Y)	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N
Lx	0	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→
Lz	g	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→
Gx	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Gz	-g	-g	-g	-g	-g	-g	-g	-g	-g	-g	-g
x軸の表示情報	0	0.75g	0.75g	0.75g	0.75g	0.75g	0.75g	0.75g	0.75g	0.75g	0.75g
		SxとGxの一方が0⇔Sx+Gx									
z軸の表示情報	g,-g	g,-g	g,-g	g,-g	g,-g	g,-g	g,-g	g,-g	g,-g	g,-g	g,-g
		SzとGzは向きが逆⇔SzとGzは独立									

10

【 0 0 5 3 】

(IV) 水平面を等速直線運動 (外力なし) ... 図 1 0

通常モードの力表示器 1 0 が、水平面上を等速直線運動する場合には、図 1 0 に示すように、力表示器 1 0 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 表示体 1 6 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 (力表示器 1 0) に、重力及び垂直抗力が力表示器 1 0 に作用していることを視覚的に認識できる。

20

以上のように表示される際の短周期加速度値 S、長周期加速度値 L は、水平面に静止している場合 (I) と同じである。

【 0 0 5 4 】

(V) 傾斜面に静止 ... 図 1 1

図 1 1 に示すように、通常モードの力表示器 1 0 が傾斜面に支持体 7 0 によって保持され静止されている場合には、力表示器 1 0 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 7 0 から受ける垂直抗力が作用する。ただし、ここでは、傾斜面と力表示器 1 0 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 軸のそれぞれで力は釣り合う。力表示器 1 0 は、支持体 7 0 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 軸方向の成分と、大きさが等しく、向きが逆である。

30

【 0 0 5 5 】

したがって、x - z 表示体 1 6 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 表示体 1 6 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 (力表示器 1 0) 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。

【 0 0 5 6 】

この例では、初期化の際に正立している力表示器 1 0 を初期化後に傾けるものとする。また、正立している力表示器 1 0 を傾ける動作 (表 4 の傾斜過程) は例えば 5 秒程度の時間をかける非加速度運動で行うものとする。初期化から傾斜面に支持されるまでの短周期加速度値 S、長周期加速度値 L を対比して以下の表 4 に示す。

40

傾斜過程では、力表示器 1 0 が非加速度運動をしている (図 3 S 1 2 1 の判断が Yes) ので、Sx、Sz、Lx、Lz は傾きに応じて逐次変化する。具体的には、Sx、Lx は初期化時点から増加し、Sz、Lz は初期化時点から逐次減少する。この傾斜過程では、Sx と Gx は向きが逆であるので、Sx と Gx は独立して表示情報となる。図 1 1 の記載は省略しているが、例えば、Sx = 0.1g、Gx = -0.1g の場合には x 軸方向の LED の点灯数は 0 であり、Sx = 0.2g、Gx = -0.2g 及び Sx = 0.3g、Gx = -0.3g の場合には x 軸方向の LED の点灯数は 1 であり、Sx = 0.4g、Gx = -0.4g の場合には x 軸方向の LED の点灯数は 2 である。また、Sz = 0.99

50

$g \sim 0.92g$ 、 $Gz = -0.99g \sim -0.92g$ の場合には z 軸方向の LED の点灯数は 4 のままである。

所定の角度まで傾斜させたのちに力表示器 10 を一定時間その状態を維持（静止）させると、力表示器 10 は非加速度運動のままである（図 3 S121 の判断が Yes）。そうすると、傾斜の角度に応じて $Sx = 0.5g$ 、 $Sz = 0.87g$ 、 $Lx = 0.5g$ 、 $Lz = 0.87g$ が求められるので、 $Gx0 = -0.5g$ 、 $Gz0 = -0.87g$ が表示情報として扱われる。したがって、 $Sx = 0.5g$ （正）と $Gx = -0.5g$ （負）、また、 $Sz = 0.87g$ （正）と $Gz = -0.87g$ （負）、は各々独立して加速度情報として扱われる結果として、 x 軸方向については正（+）側と負（-）側の 2 つの LED が点灯され、 z 軸方向については、正（+）側と負（-）側の 3 つの LED が点灯される。

10

【0057】
【表4】

サンプリング	初期化	傾斜過程				傾斜面支持					
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Sx	0	0.1g	0.2g	0.3g	0.4g	0.5g	0.5g	0.5g	0.5g	0.5g	0.5g
Sz	g	0.99g	0.98g	0.95g	0.92g	0.87g	0.87g	0.87g	0.87g	0.87g	0.87g
図3 S121の判断	(Y)	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y
Lx	0	0.1g	0.2g	0.3g	0.4g	0.5g	0.5g	0.5g	0.5g	0.5g	0.5g
Lz	g	0.99g	0.98g	0.95g	0.92g	0.87g	0.87g	0.87g	0.87g	0.87g	0.87g
Gx	0	-0.1g	-0.2g	-0.3g	-0.4g	-0.5g	-0.5g	-0.5g	-0.5g	-0.5g	-0.5g
Gz	-g	-0.99g	-0.98g	-0.95g	-0.92g	-0.87g	-0.87g	-0.87g	-0.87g	-0.87g	-0.87g
x軸の表示情報	0	0.1g, -0.1g	0.2g, -0.2g	0.3g, -0.3g	0.4g, -0.4g	0.5g, -0.5g	0.5g, -0.5g	0.5g, -0.5g	0.5g, -0.5g	0.5g, -0.5g	0.5g, -0.5g
SxとGxの向き逆⇔SxとGxは独立											
z軸の表示情報	g,-g	0.99g, -0.99g	0.98g, -0.98g	0.95g, -0.95g	0.92g, -0.92g	0.87g, -0.87g	0.87g, -0.87g	0.87g, -0.87g	0.87g, -0.87g	0.87g, -0.87g	0.87g, -0.87g
SzとGzは向きが逆⇔SzとGzは独立											

20

【0058】

(VI) 傾斜面を自由滑走... 図12

通常モードの力表示器 10 が摩擦のない傾斜面を自由滑走する場合には、力表示器 10 には、重力及び傾斜面からの垂直抗力が作用する。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 Az と大きさが同じで向きが逆である。

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

30

【0059】

したがって、 $x - z$ 表示体 16 は、例えば 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、 $x - z$ 表示体 16 は、例えば 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（力表示器 10）に、 z 軸方向には重力の Z 成分及び垂直抗力が、 x 軸方向には重力の x 成分が作用していること、また、力表示器 10 が重力の x 軸方向の成分によって加速されることを視覚的に認識できる。

【0060】

この例では、はじめ図 12 に示すように力表示器 10 を支持していた支持体 70 を取り除いて自由滑走させるものとする。したがって、支持体 70 を取り除く前の状況は傾斜面支持と同様である。

40

支持体 70 を取り除いた後は、力表示器 10 は支持体 70 からの抗力 D を受けなくなるので、表 5 に示すように、 $Sx = 0$ となる。また、力表示器 10 は加速度運動する（図 3 S121 の判断が No）ので、 Lx 、 Lz （ Gx 、 Gz ）は先行する、つまり初期化完了時点の Lx 、 Lz （ Gx 、 Gz ）が保持され（表 5 の）、 $Gx0 = -0.5g$ 、 $Gz0 = -0.87g$ が表示情報として扱われる。したがって、 $Sz = 0.87g$ （正）と $Gz = -0.87g$ （負）、は各々独立して表示情報として扱われる結果として、 x 軸方向については正（+）側の 2 つの LED が点灯され、 z 軸方向については、正（+）側と負（-）側の 3 つの LED が点灯される。

50

【 0 0 6 1 】

【表 5】

サンプリング	初期化	傾斜面自由滑走									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Sx	0.5g	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sz	0.87g	0.87g	0.87g	0.87g	0.87g	0.87g	0.87g	0.87g	0.87g	0.87g	0.87g
図3 S121の判断	(Y)	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N
Lx	0.5g	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→
Lz	0.87g	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→
Gx	-0.5g	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→
Gz	-0.87g	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→
x軸の表示情報	0.5g, -0.5g	0.5g	0.5g	0.5g	0.5g	0.5g	0.5g	0.5g	0.5g	0.5g	0.5g
		SxとGxの一方が0⇔Sx+Gx									
z軸の表示情報	0.87g, -0.87g	0.87g, -0.87g	0.87g, -0.87g	0.87g, -0.87g	0.87g, -0.87g	0.87g, -0.87g	0.87g, -0.87g	0.87g, -0.87g	0.87g, -0.87g	0.87g, -0.87g	0.87g, -0.87g
		SzとGzは向きが逆⇔SzとGzは独立									

10

【 0 0 6 2 】

(VII) 回転運動... 図 1 3

通常モードの力表示器 1 0 を図 1 3 (a) のように、軸 S の周りに自由に回転できる円盤 7 0 の端に置き、円盤 7 0 を回転させると、力表示器 1 0 には向心力が働き図 1 3 (b) のように L E D 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 1 3 (a) のように置かれた力表示器 1 0 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。

20

【 0 0 6 3 】

(VIII) 静止 自由落下運動 (実作用モード) ... 図 1 5

図 1 5 に示すように、水平に支持されて静止している実作用モードの力表示器 1 0 (図 1 5 の上段) を、支持を解除して自由落下させる (図 1 5 の下段) とする。

支持されている状態では、x - z 表示体 1 6 の L E D は一つも点灯されない。これは実作用モードにより、釣り合っている重力と垂直抗力の表示を回避しているためである。ところが、自由落下し始めると、x - z 表示体 1 6 の z 軸方向の負 (-) 側の 4 つの L E D が点灯され、力表示器 1 0 には重力が作用することが示される。

30

このように、実作用モードを採用することで、静止状態のように釣り合うことで力表示器 1 0 全体としては負荷されていない力 (加速度) を表示するのを回避しながらも、自由落下時には力表示器 1 0 に重力が負荷されていることを示すことができる。通常モードと実作用モードの力表示器 1 0 の表示を比べることで、物体に負荷される力の理解をより深めることができる。

【 0 0 6 4 】

この例では、自由落下するまでは水平面上に支持されており、表 6 に示すように、 $S_z = g$ 、 $G_z = -g$ となる。しかるに、実負荷モード (表示情報は常に $S_z + G_z$) であるため、水平面上に支持されている間の表示情報は、 $S_z + G_z = g + (-g) = 0$ となる。水平面への支持が解除されると、垂直抗力がなくなるので $S_z = 0$ となり、その結果として自由落下の際には $G_z = -g$ に対応して、z 軸方向の負 (-) 側の 4 つの L E D が点灯される。

40

【 0 0 6 5 】

【表 6】

サンプリング	初期化	水平面に静止				自由落下					
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Sx	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sz	g	g	g	g	g	0	0	0	0	0	0
図3 S121の判断	(Y)	Y	Y	Y	Y	N	N	N	N	N	N
Lx	0	0	0	0	0	→	→	→	→	→	→
Lz	g	g	g	g	g	→	→	→	→	→	→
Gx	0	0	0	0	0	→	→	→	→	→	→
Gz	-g	-g	-g	-g	-g	→	→	→	→	→	→
z軸の表示情報	g,-g	0	0	0	0	-g	-g	-g	-g	-g	-g

実負荷モード⇔常にSz+Gz

10

【 0 0 6 6 】

(IX) 静止 人為的に上下に振動(通常モード)... 図 1 6

図 1 6 の (a) に示すように、水平に支持して人が保持(静止)している通常モードの力表示器 1 0 を、図 1 6 (b) の位置まで瞬時に降下させた後に、図 1 6 (c) の位置まで上昇させるものとする。

保持(静止)されている状態では、(I)の水平面に支持されているのと同じであるから、x - z 表示体 1 6 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(図 1 6 (a))。正(+)側の 4 つの点灯された LED が垂直抗力に相当し、負(-)側の 4 つの点灯された LED が重力に相当する。

20

保持状態から瞬間的に下降させると、垂直抗力がなくなるので、z 軸方向の正(+)側の LED は点灯されない。また、下方に向けた外力が加わることで、z 軸方向の負(-)側は 5 つの LED が点灯する(図 1 6 (b))。

さらに、下降から上昇に転じると、上向きの力が加わるので、z 軸方向の正(+)側の LED は上向きの力に相当する 1 つだけ点灯される。また、z 軸方向の負(-)側については、重力に相当する 4 つの LED が点灯する(図 1 6 (c))。

【 0 0 6 7 】

以上のように表示される際の短周期加速度値 S、長周期加速度値 L を対比して以下の表 7 に示す。

この例では、下降・上昇、つまり振動が始まるまでは水平に保持されており、 $S_z = g$ 、 $G_z = -g$ となり、これに対応して、z 軸方向の正(+)側及び負(-)側ともに 4 つの LED が点灯される。

30

瞬間的に下降されている間は、下向きの力を受ける。この下向きの力が $0.25g$ に相当するものとする。瞬間的な下降に対して、短周期加速度値 S は追従するが、長周期加速度値 L は追従しないので、短周期加速度値は $S_z = -0.25g$ となるのに対して、 G_z は $-g$ のままである。表示情報は、 S_z と G_z は向きが同じなので、 $S_z + G_z = -1.25g$ となる。

瞬間的に上昇されている間は、上向きの力を受ける。この上向きの力が $0.25g$ に相当するものとする。そうすると、短周期加速度値は $S_z = 0.25g$ となるのに対して、 G_z は $-g$ のままである。 S_z と G_z は向きが逆なので、 $S_z = 0.25g$ と $G_z = -1$ の各々が表示情報となる。

40

【 0 0 6 8 】

【表 7】

サンプリング	初期化	水平に支持				下降			上昇		
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Sx	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sz	g	g	g	g	g	-0.25g	-0.25g	-0.25g	0.25g	0.25g	0.25g
図3 S121の判断	(Y)	Y	Y	Y	Y	N	N	N	N	N	N
Lx	0	0	0	0	0	→	→	→	→	→	→
Lz	g	g	g	g	g	→	→	→	→	→	→
Gx	0	0	0	0	0	→	→	→	→	→	→
Gz	-g	-g	-g	-g	-g	→	→	→	→	→	→
z軸の表示情報	g,-g	g,-g	g,-g	g,-g	g,-g	-1.25g	-1.25g	-1.25g	-g,0.25g	-g,0.25g	-g,0.25g
		SzとGzは向きが逆⇔SzとGzは独立				SzとGzは向きが同じ⇔Sz+Gz			SzとGzは向きが逆⇔SzとGzは独立		

10

【0069】

以上、本発明の実施形態を説明したが、加速度センサ20はアナログ出力を有する加速度センサを用いることもできる。ただしこの場合、フィルタ・アンプ回路等の他の要素を設ける必要がある。

また、力表示器10は直方体状のケース11を用いたが、本発明はこれに限るものではない。x-z表示面とx-y表示面という二つの表示面を形成できるのであれば、例えば、ケース11を四角形以上の多角形としてもよいし、球状としてもよい。

さらに、x-z表示体16、x-y表示体17についても、異なる大きさのLEDを並べてもよく、3軸(x軸、y軸、z軸)の各々について、正・負を表示できるものであればよく、十字状にLEDを並べることに限定されるものでない。

20

さらにまた、表示情報をそのまま用いるのではなく、例えば表示情報を2倍にして表示させるモードを設けることで、小さな力が作用した場合の視認性を向上させることもできる。

これ以外にも、本発明の主旨を逸脱しない限り、上記実施の形態で挙げた構成を取捨選択したり、他の構成に適宜変更することが可能である。

【符号の説明】

【0070】

10...力表示器

11...ケース

12...x-z表示面、13...x-y表示面

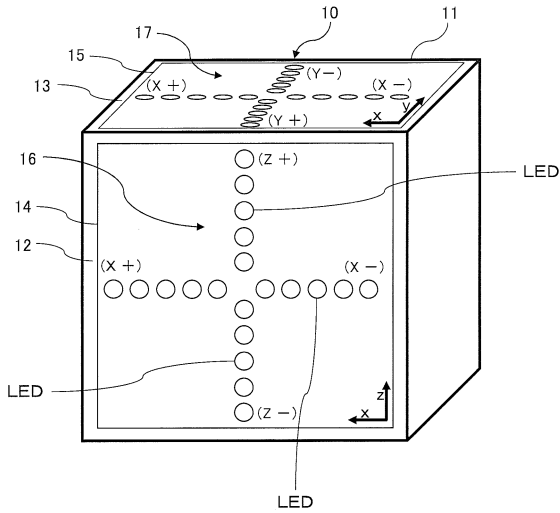
14...x-z表示基板、15...x-y表示基板

16...x-z表示体、17...x-y表示体

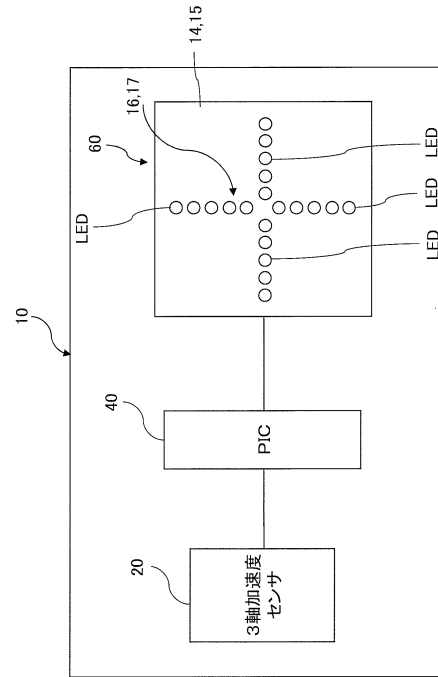
20...3軸加速度センサ、40...コントローラ、60...表示部

30

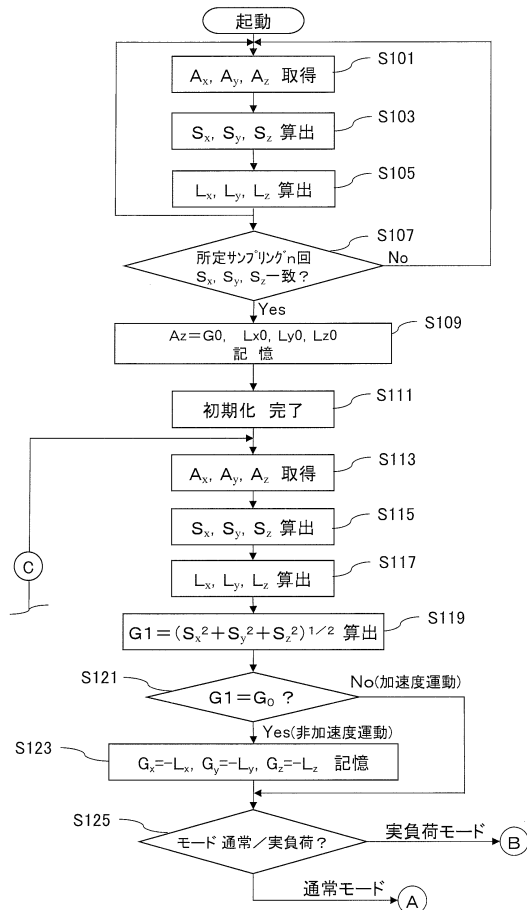
【図1】



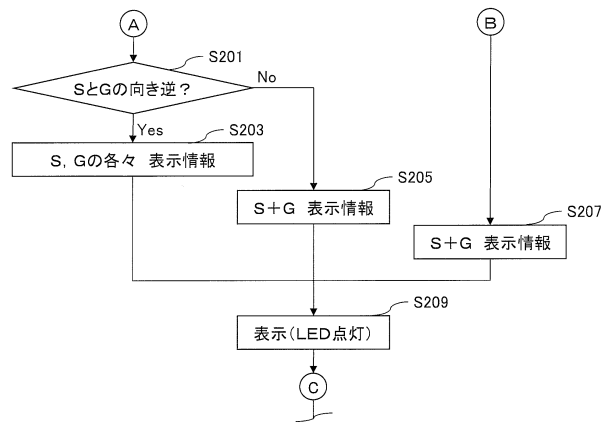
【図2】



【図3】



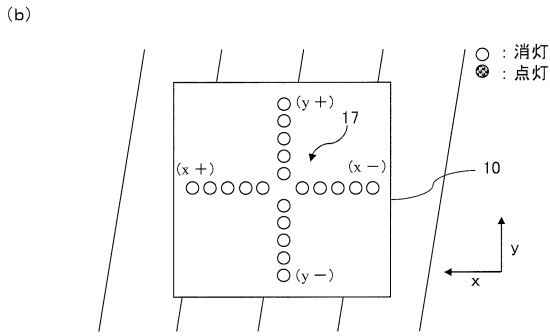
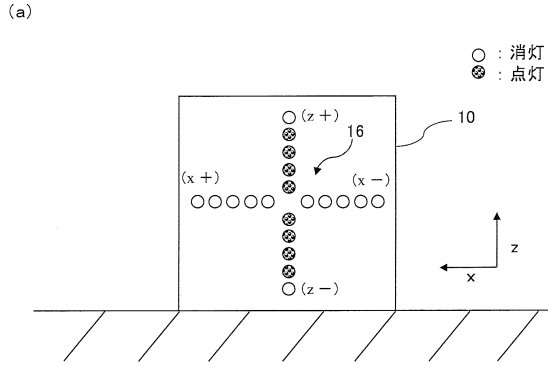
【図4】



【図5】

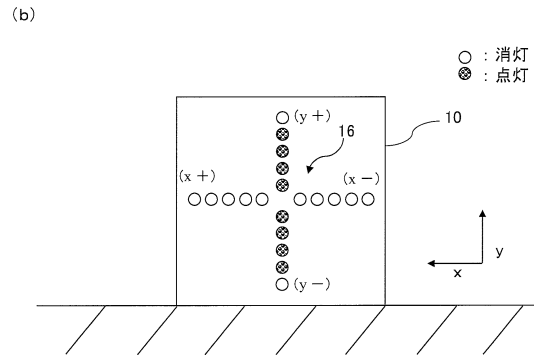
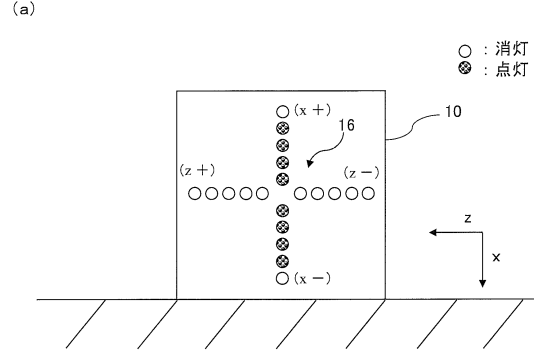
Azの値	点灯するLEDの数
$z0 \geq z > z1$	0
$z1 \geq z > z2$	1
$z2 \geq z > z3$	2
$z3 \geq z > z4$	3
$z4 \geq z > z5$	4

【図6】

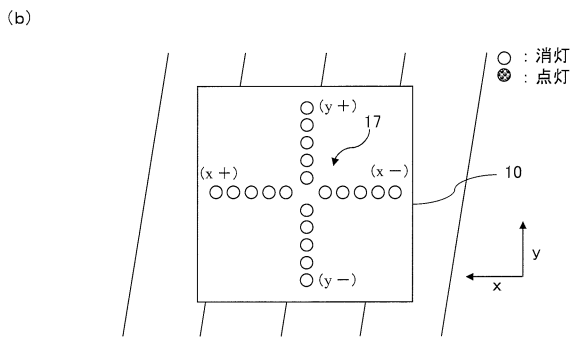
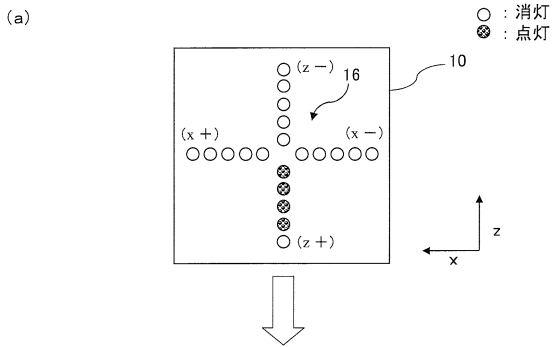


通常モード 水平面 静止時

【図7】

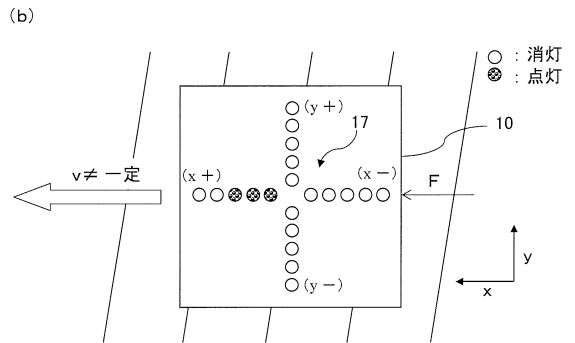
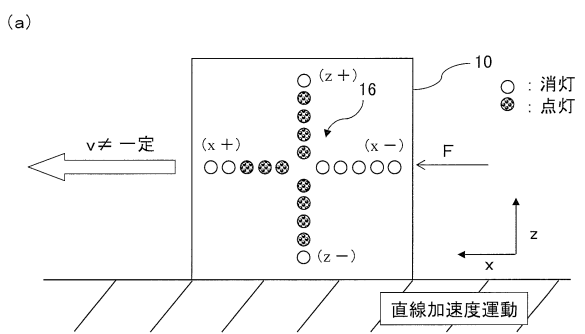


【図8】



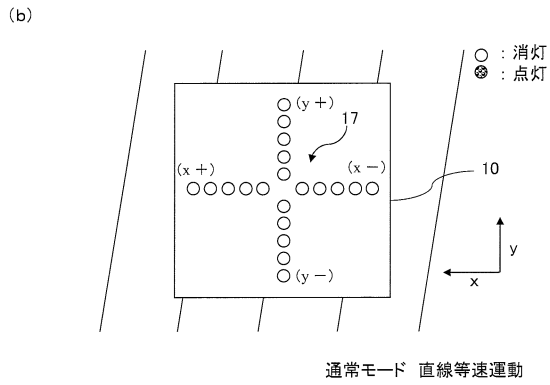
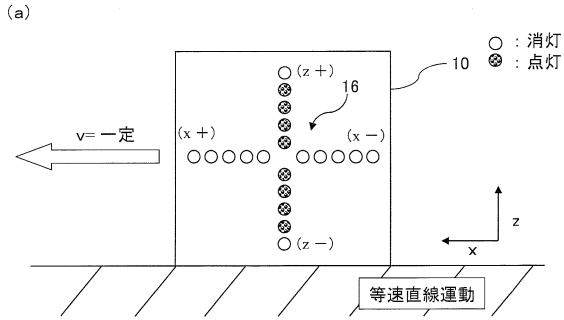
通常モード 自由落下or投げ上げ

【図9】

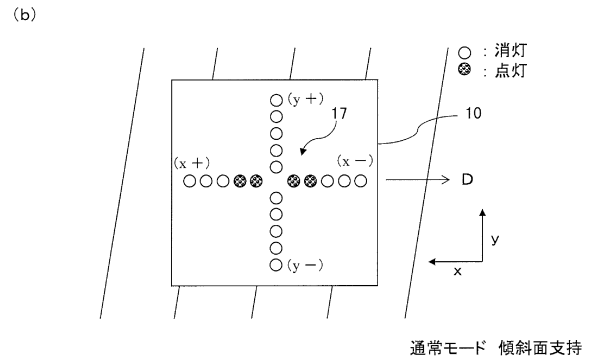
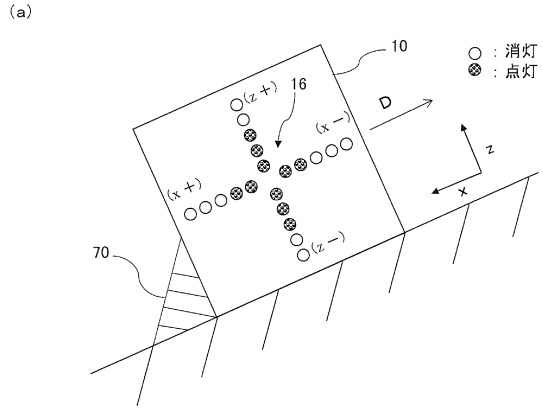


通常モード 直線加速度運動

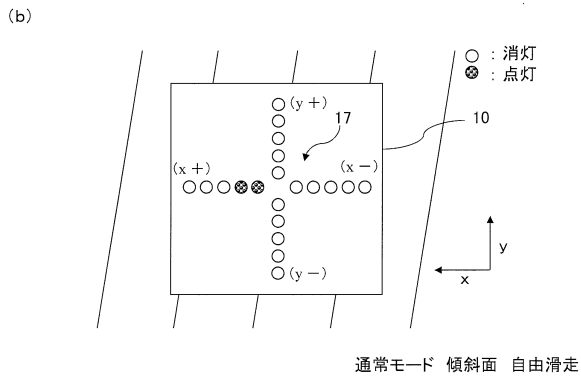
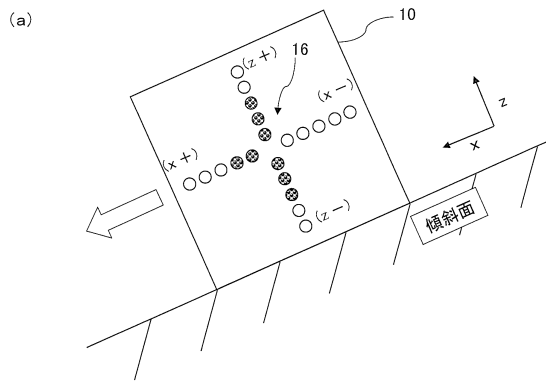
【図 10】



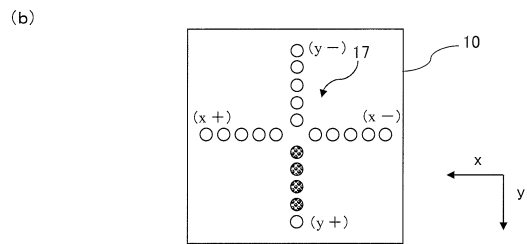
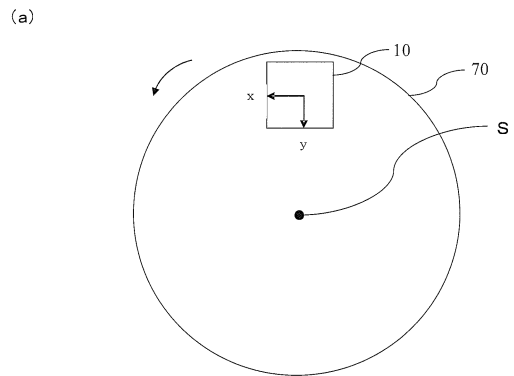
【図 11】



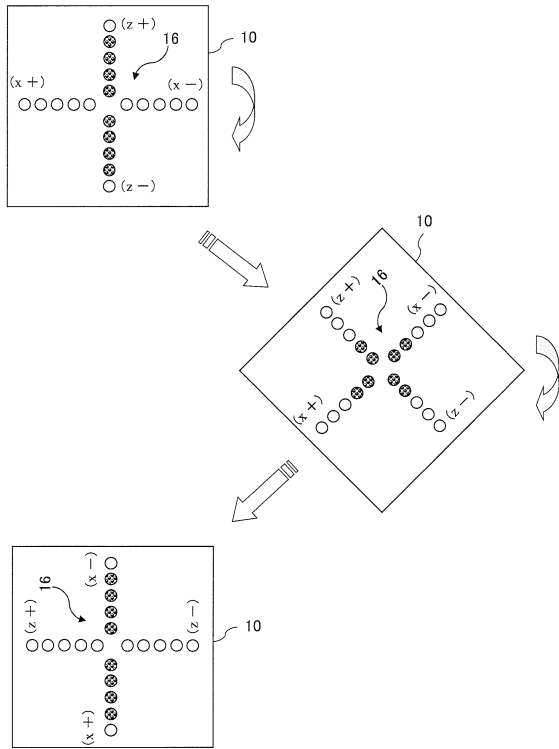
【図 12】



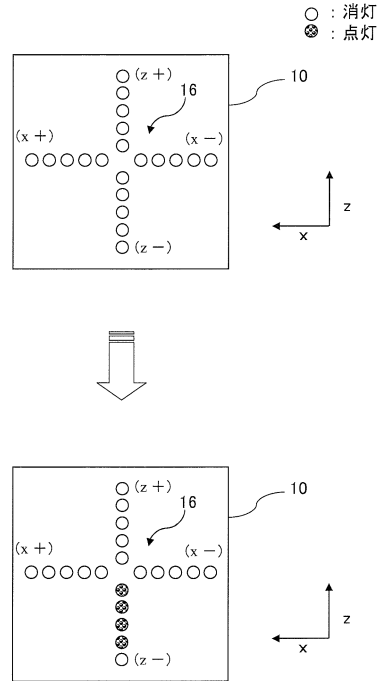
【図 13】



【図14】

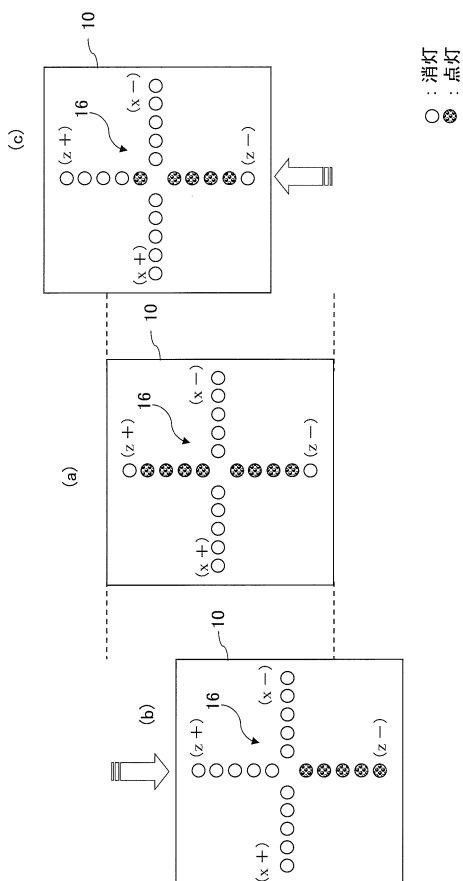


【図15】



実負荷モード 水平面 静止→自由落下

【図16】



フロントページの続き

- (56)参考文献 特開2010-085387(JP,A)
特開平09-043269(JP,A)
特開2010-019787(JP,A)
特開2006-153829(JP,A)
特開2001-347080(JP,A)
特開2011-051724(JP,A)
特開2007-179667(JP,A)
特開2008-018094(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G01P 15/00
A63H 33/00
G01L 5/16
G01P 15/18
G09B 19/00