

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第4310159号
(P4310159)

(45) 発行日 平成21年8月5日(2009.8.5)

(24) 登録日 平成21年5月15日(2009.5.15)

(51) Int. Cl. F I
G 0 1 B 7/00 (2006.01) G 0 1 B 7/00 1 0 3 M
A 6 1 B 5/11 (2006.01) A 6 1 B 5/10 3 1 0 J

請求項の数 3 (全 28 頁)

(21) 出願番号	特願2003-326034 (P2003-326034)	(73) 特許権者	503360115 独立行政法人科学技術振興機構 埼玉県川口市本町4丁目1番8号
(22) 出願日	平成15年9月18日(2003.9.18)	(74) 代理人	100077665 弁理士 千葉 剛宏
(65) 公開番号	特開2005-91203 (P2005-91203A)	(72) 発明者	荒井 賢一 宮城県塩竈市南町6-14
(43) 公開日	平成17年4月7日(2005.4.7)	(72) 発明者	藪上 信 宮城県仙台市宮城野区五輪1-4-21-505
審査請求日	平成18年9月14日(2006.9.14)	(72) 発明者	金高 弘恭 宮城県仙台市青葉区国見ヶ丘1-39-14
		審査官	中川 康文

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 3次元運動測定装置及びその方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

第1及び第2の物体の相対的な運動を計測するために、2つの磁気マーカを所定距離だけ離れた位置で、磁界発生源である前記各磁気マーカの相対的な磁界発生方向が既知となるように固定する固定部材を備え、且つ、前記第1及び第2の物体に取り付けられる第1及び第2の磁気発生器と、

前記第1の磁気発生器の前記磁気マーカから発生する磁界を、前記第1の物体の6自由度運動計測用として非接触で検出する少なくとも6つの第1の磁界センサと、

前記第2の磁気発生器の前記磁気マーカから発生する磁界を、前記第2の物体の6自由度運動計測用として非接触で検出する少なくとも6つの第2の磁界センサと、

前記第1の磁界センサにより検出した磁界から、前記磁気マーカの位置及び方向に関する第1の6自由度情報をそれぞれ求め、前記第2の磁界センサにより検出した磁界から、前記磁気マーカの位置及び方向に関する第2の6自由度情報をそれぞれ求め、求めた第1及び第2の6自由度情報と前記第1及び第2の物体の形状とに基づいて、前記第1及び第2の物体の相対的な運動を算出する信号処理手段と、

を備え、

前記第1の磁気発生器が取り付けられる前記第1の物体は、被測定者の頭蓋のうち、上顎と一体的に運動する部分であり、

前記第2の磁気発生器が取り付けられる前記第2の物体は、前記頭蓋のうち、下顎と一体的に運動する部分である

ことを特徴とする 3 次元運動測定装置。

【請求項 2】

請求項 1 記載の 3 次元運動測定装置において、

前記上顎と一体的に運動する部分のうち、額に前記第 1 の磁気発生器が取り付けられ、前記下顎と一体的に運動する部分のうち、下顎歯に前記第 2 の磁気発生器が取り付けられる

ことを特徴とする 3 次元運動測定装置。

【請求項 3】

2 つの磁気マーカを所定距離だけ離れた位置で、磁界発生源である前記各磁気マーカの相対的な磁界発生方向が既知となるように固定する固定部材を備える第 1 及び第 2 の磁気発生器を、相対的に運動する第 1 及び第 2 の物体に対してそれぞれ取り付ける取付過程と、

10

前記第 1 の磁気発生器の前記磁気マーカから発生する磁界を、前記第 1 の物体の 6 自由度運動計測用として、少なくとも 6 つの第 1 の磁界センサにより非接触で検出し、且つ、前記第 2 の磁気発生器の前記磁気マーカから発生する磁界を、前記第 2 の物体の 6 自由度運動計測用として、少なくとも 6 つの第 2 の磁界センサにより非接触で検出する検出過程と、

前記第 1 の磁界センサにより検出した磁界から、前記磁気マーカの位置及び方向に関する第 1 の 6 自由度情報をそれぞれ求め、前記第 2 の磁界センサにより検出した磁界から、前記磁気マーカの位置及び方向に関する第 2 の 6 自由度情報をそれぞれ求め、求めた第 1 及び第 2 の 6 自由度情報と前記第 1 及び第 2 の物体の形状とに基づいて、前記第 1 及び第 2 の物体の相対的な運動を算出する信号処理過程と、

20

を有し、

前記相対的に運動する第 1 及び第 2 の物体は、被測定者の頭蓋のうち、上顎と一体的に運動する部分と、下顎と一体的に運動する部分とである

ことを特徴とする 3 次元運動測定方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0002】

本発明は、磁気マーカの位置を磁界センサにより検出することで、物体の 3 次元運動を測定する 3 次元運動測定装置及びその方法に関する。

30

【背景技術】

【0003】

従来から、物体の 3 次元運動を測定しようとする装置が市場に提供されている。例えば、人体の頭部と一体的に構成されている上顎に対する下顎の相対的な 6 自由度運動を測定するために、磁気式の 3 次元運動測定装置が用いられている（特許文献 1 参照）。

【0004】

この測定装置においては、被測定者の上顎に界磁コイルが取り付けられ、下顎に取付部材を介してセンターコイルが取り付けられている。この場合、前記界磁コイルに交流電流を流して交流磁界を発生させた状態で、被測定者が顎運動を行うと、下顎の動きが前記取付部材を介して前記センターコイルに伝えられる。この下顎の動きによって、前記センターコイルに誘導信号が出力される。この測定装置では、この誘導信号を用いて上顎と下顎との相対位置を検出している。

40

【0005】

しかしながら、上述した測定装置では、磁気マーカである界磁コイルに対して、リード線を介して交流電流を流すようにしているため、このリード線の存在によって被測定者の不快感が増大し、自然な状態での顎運動の計測を行うことが困難である。

【0006】

他の 3 次元運動測定装置には、図 1 4 及び図 1 5 に示す 3 次元運動測定装置 1 0 0 がある（引用文献 2 参照）。この 3 次元運動測定装置 1 0 0 は、被測定者 1 4 の上顎 2 2 と一

50

体であると考えられる額32に磁気マーカ16aを取り付けると共に、下顎24の代表点として下顎歯列のうち、切歯に磁気マーカ16bを取り付ける。磁気マーカ16a、16bは、その着磁方向J（磁気ダイポールモーメントの方向）が、それぞれ顔面の正面を向くように取り付けられている。磁気マーカ16a、16bの磁界を検出する複数の磁界センサ20i（磁気マーカの数×5個以上）を各磁気マーカ16a、16bに対向して配置する。顎運動に伴う磁気マーカ16a、16bの磁界の変化を磁界センサ20iにより検出し、固定座標（絶対座標系X0Y0Z0）からの磁気マーカ16a、16bの位置を検出し、顎形状に基づき、顎運動をディスプレイ214上に表示している。

【0007】

【特許文献1】特開2000-193409号公報

10

【特許文献2】特開2002-355264号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0008】

従来の3次元運動測定装置100では、絶対座標系X0Y0Z0のy座標Y0と、上顎座標系XuYuZuのy座標Yuと、下顎座標系XbYbZbのy座標Ybとを、Yu/Yb//Y0と仮定し、磁気マーカ16a、16bの着磁方向Jとx座標X0、Xu、Xbとを、J//X0//Xu//Xbとした場合にのみ、6自由度運動を測定することができる。すなわち、この3次元運動測定装置100は、基本的には、5自由度運動（x、y、z、 θ 、 ϕ の5つの座標で表される運動）の運動測定装置である。

20

【0009】

ところで、上顎22と下顎24との相対的な運動が行われる際に、下顎24は顎関節部において、x座標X0、Xu、Xb（着磁方向J）を中心軸とする θ 方向に対して、回転運動を含む6自由度運動を行う。

【0010】

上述した3次元運動測定装置100は、Yu//Yb//Y0の条件でなければ6自由度運動の測定を行うことができないので、この3次元運動測定装置100は前記 θ 方向の回転運動を測定することはできない。

【0011】

そこで、例えば、磁気マーカ16a、16bの個数を増やして、測定されるパラメータ（自由度）の数を増加することにより、6自由度以上の運動を測定するという事も考えられる。しかしながら、この方法では、パラメータの数が多くなるので、磁界センサ20iで検出した磁界から相対的な運動を信号処理手段で算出する際に、前記信号処理手段における計算時間が増大し、測定精度及び方向精度が低下するおそれがある。

30

【0012】

このように、3次元運動測定装置100では、上述した下顎24の回転運動を含む6自由度運動（ θ 方向の運動も含む運動）を測定することが困難である。

【0013】

また、従来の3次元運動測定装置100においては、額32に取り付けられた磁気マーカ16a及び下顎切歯に取り付けられた磁気マーカ16bの磁界を、磁界センサアレイ18a、18bで検出している。この場合、磁界センサアレイ18a、18bは被測定者14の正面を取り囲むように配置されているので、個々の磁界センサ20iで検出される磁界は、磁気マーカ16a、16bの各磁界が重なり合った磁界である。そのため、前記磁界には、磁気マーカ16a、16bの各磁界の干渉や磁気マーカ16a、16bと磁界センサ20iとの間の距離の相違が誤差となって含まれ、これにより、3次元運動測定装置100の測定精度が低下する。

40

【0015】

本発明は、磁気発生器を運動する物体に取り付けることにより、前記物体の6自由度運動を測定することができる3次元運動測定装置及びその方法を提供することを目的とする。

50

【課題を解決するための手段】

【0016】

本発明に係る磁気発生器は、物体の運動を計測する際に、前記物体に取り付けられる磁気発生器であって、2つの磁気マーカを所定距離だけ離れた位置で、磁界発生源である前記各磁気マーカの相対的な磁界発生方向が既知となるように固定する固定部材を備えていることを特徴としている。

【0017】

また、本発明に係る3次元運動測定装置は、物体の運動を計測する際に、前記物体に取り付けられ、2つの磁気マーカを所定距離だけ離れた位置で、磁界発生源である前記各磁気マーカの相対的な磁界発生方向が既知となるように固定する固定部材を備えている磁気発生器と、前記磁気マーカから発生する磁界を前記物体の6自由度運動計測用として非接触で検出する少なくとも6つの磁界センサと、前記各磁界センサにより検出した磁界から前記磁気マーカの位置及び方向に関する6自由度情報を求め、求めた6自由度情報と前記物体の形状とに基づき、前記物体の運動を算出する信号処理手段と、を備えていることを特徴としている。

【0018】

上述した磁気発生器では、2つの磁気マーカを接着剤等を用いて固定部材に固定することにより、前記各磁気マーカ間の距離及び相対的方向を固定するようにしている。ここで、2つの磁気マーカの磁界の方向が既知であれば、2つの磁気マーカを固定部材で固定することにより、一方の磁気マーカ自体の磁界発生方向に対する、他方の磁気マーカ自体の磁界発生方向（各磁気マーカの相対的な磁界発生方向）も既知となる。

【0019】

2つの磁気マーカの相対的な磁界発生方向とは、磁気発生源である2つの磁気マーカについて、2つの磁気発源自体の磁界発生方向に関する相対的な方向である。具体的には、磁気マーカが磁性体である場合には、2つの磁性体の磁化の方向（着磁方向）に関する相対的な方向をいう。また、磁気マーカがコイルである場合には、2つのコイルの磁界発生方向に関する相対的な方向をいう。

【0020】

このようにして構成された磁気発生器を物体に取り付けた状態で前記物体が6自由度運動を行うと、前記各磁気マーカ間の前記距離は変化しないが、絶対座標（例えば、前記6つの磁界センサの中の1つのセンサを基準とする座標）に対する前記磁気マーカの座標位置は変化するので、周辺の磁界も変化する。

【0021】

その際、前記磁気マーカから発生する磁界を少なくとも6つの磁界センサで検出することにより、前記6つの磁界センサで検出される磁界は前記6つの座標で記述されると共に、前記磁気マーカの座標位置も6つの座標（ x 、 y 、 z 、 θ 、 ϕ ）で記述される。つまり、前記磁気マーカ間の距離及び相対的方向を前記固定部材を用いて固定するだけで、前記物体の6自由度運動を3次元運動測定装置で測定することができる。

【0022】

また、前記固定部材を非磁性体から構成すれば、前記磁界センサで検出される磁界は、前記磁気マーカから発生する磁界のみとなる。これにより、前記磁界センサの測定精度を向上させることができる。

【0023】

また、本発明に係る3次元運動測定装置は、第1及び第2の物体の相対的な運動を計測する際に、2つの磁気マーカを所定距離だけ離れた位置で、磁界発生源である前記各磁気マーカの相対的な磁界発生方向が既知となるように固定する固定部材を備え、且つ、前記第1及び第2の物体に取り付けられる第1及び第2の磁気発生器と、前記第1の磁気発生器の前記磁気マーカから発生する磁界を、前記第1の物体の6自由度運動計測用として非接触で検出する少なくとも6つの第1の磁界センサと、前記第2の磁気発生器の前記磁気マーカから発生する磁界を、前記第2の物体の6自由度運動計測用として非接触で検出す

10

20

30

40

50

る少なくとも6つの第2の磁界センサと、前記第1の磁界センサにより検出した磁界から、前記磁気マーカの位置及び方向に関する第1の6自由度情報をそれぞれ求め、前記第2の磁界センサにより検出した磁界から、前記磁気マーカの位置及び方向に関する第2の6自由度情報をそれぞれ求め、求めた第1及び第2の6自由度情報と前記第1及び第2の物体の形状とに基づき、前記第1及び第2の物体の相対的な運動を算出する信号処理手段と、を備えていることを特徴としている。

【0024】

この3次元運動測定装置は、相対的な運動を行う第1及び第2の物体の6自由度運動を測定する装置である。この場合、前記第1の磁気発生器に第1の磁界センサを対向して配置し、前記第2の磁気発生器に前記第2の磁界センサを対向して配置している。

10

【0025】

すなわち、前記第1の磁気発生器の磁気マーカから発生する磁界は前記第1の磁界センサで検出され、前記第2の磁気発生器の磁気マーカから発生する磁界は前記第2の磁界センサで検出される。これにより、前記第1及び第2の磁気発生器から発生する磁界同士の干渉は抑制され、前記第1及び第2の磁界センサで検出される磁界の測定精度が向上する。このように、前記第1及び第2の磁気発生器についても、発生磁界の小さな磁気マーカを使用することによって、前記測定精度を向上させることができる。すなわち、前記第1及び第2の磁気発生器の小型化を図ることができる。

【0026】

また、前記固定部材を非磁性体から構成すれば、前記磁界センサで検出される磁界は、前記磁気マーカから発生する磁界のみとなる。これにより、前記磁界センサの測定精度をさらに向上させることができる。

20

【0027】

また、前記第1及び第2の磁界センサ同士を離して配置しているため、前記磁気マーカに対する前記第1及び第2の磁界センサの配置領域を拡張することができる。

【0028】

さらに、この3次元運動測定装置では、2つの磁気マーカが固定部材に固定された第1及び第2の磁気発生器を第1及び第2の物体にそれぞれ取り付けられた状態で、前記第1及び第2の物体の相対的な運動(6自由度運動)を行わせる。

【0029】

この場合、前記各磁気マーカ間の距離及び相対的方向は変化しないが、絶対座標に対する前記各磁気マーカの座標位置は変化し、周辺の磁界も変化する。また、少なくとも6つの第1及び第2の磁界センサによって、前記磁気マーカから発生する磁界が検出される。これにより、前記第1及び第2の磁界センサで検出される磁界は6つの位置及び方向から構成される6自由度情報で記述されると共に、前記磁気マーカの座標位置も6つの位置及び方向から構成される6自由度情報で記述される。つまり、前記磁気マーカ間の距離及び相対的方向を前記固定部材を固定するだけで、前記第1及び第2の物体の6自由度運動を3次元運動測定装置で測定することができる。

30

【0030】

そして、上述した磁気発生器では、前記固定部材は、前記物体の取付表面に対応する形状とすることが好ましい。これにより、前記磁気マーカと前記物体の表面との距離がより近づくので、前記物体の6自由度運動の測定精度を向上させることができる。この他にも、前記被測定者の違和感が小さいという効果も得られる。

40

【0031】

また、前記磁気マーカ間の距離が短い程、配置の制約は小さいが、位置精度は悪化するおそれがある。また、前記磁気マーカ間の距離が大きい程、位置精度は向上するが、配置の制約は大きくなる。予備実験の結果より、磁界センサと磁気発生器との距離が5~50[mm]程度である場合、磁気マーカ間の距離は5~50[mm]程度が望ましいことが確認されている。50[mm]よりも大きいと、測定精度が低下すると共に、前記磁気発生器が大型化して、被測定者の不快感が増大する。

50

【0032】

そして、前記磁気マーカは、コイルを用いた磁気発生手段又は永久磁石であることが好ましい。前記磁気マーカが永久磁石であれば、前記永久磁石から磁界を発生することができるので、被測定者の口腔内へのリード線等の挿入が不要となり、特に、小児や高齢者に対する負担が軽減される。この場合、2つの永久磁石における相対的な磁界発生方向とは、一方の永久磁石の着磁方向に対する、他方の永久磁石の着磁方向をいう。

【0033】

一方、前記磁気マーカをコイルを用いた磁気発生手段とする場合には、前記磁気発生手段を、回路基板に電源（例えば、ボタン型の電池）と電源供給部と前記コイルとを実装した小型の磁気発生回路とすることにより、被測定者への負担をできる限り軽減することが好ましい。この場合、2つのコイルにおける相対的な磁界発生方向とは、一方のコイルの磁界発生方向に対する、他方のコイルの磁界発生方向をいう。

【0034】

また、前記物体は、被測定者の頭蓋のうち、上顎と一体的に運動する部分、又は、前記頭蓋のうち、下顎と一体的に運動する部分である。あるいは、前記第1の磁気発生器が取り付けられる前記第1の物体は、前記被測定者の頭蓋のうち、上顎と一体的に運動する部分であり、前記第2の磁気発生器が取り付けられる前記第2の物体は、前記頭蓋のうち、下顎と一体的に運動する部分である。また、前記上顎と一体的に運動する部分のうち、額に前記第1の磁気発生器が取り付けられ、前記下顎と一体的に運動する部分のうち、下顎歯に前記第2の磁気発生器が取り付けられる。

【0035】

また、前記磁界センサを、個々の磁界センサが一体的にされた磁界センサアレイとして構成してもよい。

【0036】

また、本発明に係る3次元運動測定方法は、2つの磁気マーカを所定距離だけ離れた位置で、磁界発生源である前記各磁気マーカの相対的な磁界発生方向が既知となるように固定する固定部材を備えた磁気発生器を、運動する物体に対して取り付ける取付過程と、前記磁気マーカの磁界を前記物体の6自由度運動計測用として少なくとも6つの磁界センサにより非接触で検出する検出過程と、前記各磁界センサにより検出した磁界から前記磁気マーカの位置及び方向に関する6自由度情報を求め、求めた6自由度情報と前記物体の形状とに基づき、前記物体の運動を算出する信号処理過程と、を備えることを特徴としている。

【0037】

この測定方法では、前記2つの磁気マーカ間の距離を前記固定部材で固定することで前記磁気発生器を構成し、この磁気発生器を物体に取り付けた状態で前記物体の6自由度運動を行わせる。この場合、前記磁気マーカ間の距離及び相対的方向は前記固定部材により変化しないが、絶対座標に対する前記各磁気マーカの座標位置は変化する。

【0038】

その際、少なくとも6つの磁界センサにより、前記磁気マーカから発生する磁界を検出しているので、前記6つの磁界センサで検出される磁界は、それぞれ6つの位置及び方向（6自由度情報）で記述されると共に、前記磁気マーカの座標位置も6つの位置及び方向（6自由度情報）で記述される。従って、前記磁気マーカ間の距離及び相対的方向を前記固定部材で固定するだけで、前記物体の6自由度運動を容易に測定することができる。

【0039】

なお、この測定方向においても、2つの磁気マーカの磁界の方向が既知であれば、2つの磁気マーカを固定部材で固定することにより、一方の磁気マーカの磁界の方向に対する、他方の磁気マーカの磁界の方向（相対的な磁界発生方向）も既知となる。

【0040】

また、前記固定部材を非磁性体から構成すれば、前記磁界センサで検出される磁界は、前記磁気マーカから発生する磁界のみとなる。これにより、前記磁界センサの測定精度を

10

20

30

40

50

さらに向上させることができる。

【0041】

また、本発明に係る3次元運動測定方法は、2つの磁気マーカを所定距離だけ離れた位置で、磁界発生源である前記各磁気マーカの相対的な磁界発生方向が既知となるように固定する固定部材を備える第1及び第2の磁気発生器を、相対的に運動する第1及び第2の物体に対してそれぞれ取り付ける取付過程と、前記第1の磁気発生器の前記磁気マーカから発生する磁界を、前記第1の物体の6自由度運動計測用として、少なくとも6つの第1の磁界センサにより非接触で検出し、且つ、前記第2の磁気発生器の前記磁気マーカから発生する磁界を、前記第2の物体の6自由度運動計測用として、少なくとも6つの第2の磁界センサにより非接触で検出する検出過程と、前記第1の磁界センサにより検出した磁界から、前記磁気マーカの位置及び方向に関する第1の6自由度情報をそれぞれ求め、前記第2の磁界センサにより検出した磁界から、前記磁気マーカの位置及び方向に関する第2の6自由度情報をそれぞれ求め、求めた第1及び第2の6自由度情報と前記第1及び第2の物体の形状とに基づき、前記第1及び第2の物体の相対的な運動を算出する信号処理過程と、を有することを特徴としている。

10

【0042】

この3次元運動測定方法は、相対的な運動を行う第1及び第2の物体の6自由度運動の測定方法である。この場合、前記第1の磁気発生器に第1の磁界センサを対向して配置し、前記第2の磁気発生器に前記第2の磁界センサを対向して配置した状態で、前記磁気マーカから発生する磁界を測定するようにしている。すなわち、前記第1の磁気発生器の磁気マーカから発生する磁界は前記第1の磁界センサで検出され、前記第2の磁気発生器の磁気マーカから発生する磁界は前記第2の磁界センサで検出される。これにより、前記第1及び第2の磁気発生器から発生する磁界同士の干渉は抑制され、前記第1及び第2の磁界センサで検出される磁界の測定精度が向上する。このように、前記第1及び第2の磁気発生器についても、発生磁界の小さな磁気マーカを使用することによって、前記測定精度を向上させることができる。すなわち、前記第1及び第2の磁場発生器の小型化を図ることができる。

20

【0043】

また、前記第1及び第2の磁界センサ同士を離して配置しているので、前記磁気マーカに対する前記第1及び第2の磁界センサの配置領域を拡張することができる。

30

【0044】

また、前記固定部材を非磁性体から構成すれば、前記第1及び第2の磁界センサで検出される磁界は、前記磁気マーカから発生する磁界のみとなる。これにより、前記第1及び第2の磁界センサの測定精度をさらに向上させることができる。

【0045】

また、この測定方法においても、前記磁気マーカの距離及び相対的方向は前記固定部材により変化しないが、絶対座標に対する前記各磁気マーカの座標位置は変化する。この場合、前記磁気マーカから発生する磁界を少なくとも6つの第1及び第2の磁界センサで検出するようにしているので、前記6つの磁界センサで検出される磁界は6つの位置及び方向(6自由度情報)で記述されると共に、前記磁気マーカの座標位置も6つの位置及び方向(6自由度情報)で記述される。これにより、前記磁気マーカの距離及び相対的方向を前記固定部材で固定するだけで、前記第1及び第2の物体の相対的な運動(6自由度運動)を容易に測定することができる。

40

【0046】

なお、この測定方向においても、2つの磁気マーカの磁界の方向が既知であれば、2つの磁気マーカを固定部材で固定することにより、一方の磁気マーカの磁界の方向に対する、他方の磁気マーカの磁界の方向(相対的な磁界発生方向)も既知となる。

【0047】

そして、上記の各測定方法において、前記(第1及び第2の)物体は、被測定者の頭蓋のうち、上顎と一体的に運動する部分、又は、前記頭蓋のうち、下顎と一体的に運動する

50

部分である。また、前記相対的に運動する少なくとも2つの物体は、前記被測定者の頭蓋のうち、上顎と一体的に運動する部分と、下顎と一体的に運動する部分とである。

【発明の効果】

【0048】

本発明に係る3次元運動測定装置及びその方法では、2つの磁気マーカを固定部材に固定して磁気発生器を構成し、前記磁気発生器を運動する物体に取り付けるので、前記物体の6自由度運動を容易に測定することができる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0049】

以下、この発明の一実施の形態について図1～図13の図面を参照しながら説明する。なお、図面が煩雑となるのを回避するため、図面中、被測定者14の外観、顎形状、歯形状等をデフォルメして描いている。また、図14及び図15で示した従来の3次元運動測定装置100の構成要素と同じ構成要素については、同じ参照符号を付けて説明する。

10

【0050】

図1は、この発明の一実施の形態が適用された3次元顎運動測定装置及び3次元位置検出装置を含む3次元顎運動測定システム10の全体構成を示している。

【0051】

図2は、図1の3次元顎運動測定システム10の一部が、被測定者14に対して近づけられた状態での拡大構成を模式的に示している。

20

【0052】

図3は、図1の3次元顎運動測定システム10の電気回路ブロック図を示している。

【0053】

図4は、3次元顎運動測定システム10に用いられる磁気発生器15の拡大構成を示している。

【0054】

図1～図3に示すように、3次元顎運動測定システム10は、基本的には、永久磁石等の磁気マーカ16a～16dを固定部材13に固定して、この固定部材13を被測定者14の所定位置に接着剤等で取り付けた磁気発生器15(15a、15b)(図4参照)と、各磁気マーカ16a～16dの磁界をそれぞれ6自由度運動測定用として非接触で検出する磁界センサである磁界センサアレイ(単に、磁界センサともいう。)18a(a=1～4)、18b(b=1～6)と、磁界センサアレイ18(18a、18b)を構成する各磁界センサ20i(図2及び図3に示すように、この実施の形態では、磁界センサ20i(i=1～62)、磁界センサ20₁～20₂₀と磁界センサ20₂₁～20₆₂との合計62個の磁界センサ)で検出した磁界から、各磁気マーカ16a～16dの位置及び方向を求め、求めた各磁気マーカ16a～16dの位置及び方向と、剛体である上顎22及び下顎(下顎骨)24の形状に基づき、前記上顎22及び下顎24の6自由度運動をリアルタイムに算出する信号処理手段としてのパーソナルコンピュータ(PC)26とを有する。

30

【0055】

なお、磁界センサアレイ18a、18bは、個々の磁界センサ20iが一体化された磁界センサ組立体として構成されているので、個々の磁界センサ20i間の相対位置は、既知の位置としてパーソナルコンピュータ26に記憶しておくことができる。また、図1及び図2に示すように、4つの磁界センサアレイ18aは、それぞれ5つの磁界センサ20iを収容し、6つの磁界センサアレイ18bは、それぞれ7つの磁界センサ20iを収容している。

40

【0056】

図1及び図3に示すように、パーソナルコンピュータ26は、図示しないCPU、ROM、RAM、ハードディスク等を有する信号処理手段としての本体部50と、この本体部50に接続されるCRTディスプレイ等のモニタディスプレイ52と、本体部50に接続される入力手段等として機能するキーボード54とマウス56とを有し、キャスター45により固定・移動自由なラック46の上段の棚上に収容されている。

50

【 0 0 5 7 】

ラック 4 6 には、パーソナルコンピュータ 2 6 以外にプリンタ 6 0、A D 変換器 6 2、及び電源部 6 4 が収容されている。

【 0 0 5 8 】

このパーソナルコンピュータ 2 6 等が配されているラック 4 6 は、被測定者 1 4 に取り付けられている磁気発生器 1 5 の磁気マーカ 1 6 a ~ 1 6 d と、磁界センサアレイ 1 8 及び後述する外部磁界検出センサ 4 4 が配されている測定用スタンド 3 8 とに対して、磁気的な相互作用を及ぼさない程度に離れた位置となるよう配線 6 6 を介して配置されている。配線 6 6 は、電磁シールド被覆がなされた多心電線を用いている。

【 0 0 5 9 】

図 3 に示すように、電源部 6 4 は、電源コード 8 0 を介して、図示していない A C 1 0 0 V 等の交流電源に接続されており、電源部 6 4 により生成された直流電源が A D 変換器 6 2 に供給されると共に、配線 6 6 b を介して磁界センサアレイ 1 8 a、1 8 b 及び外部磁界検出センサ 4 4 に供給される。

【 0 0 6 0 】

図 1 に示すように、ラック 4 6 の下側棚板上には、ポインタホルダ 7 4 が固定され、このポインタホルダ 7 4 には、測定者（不図示）等が手に持って任意に移動させることの自由な、内部に磁気マーカ 7 2 を有するポインタ 7 0 が、抜き差し自由な状態で挿入されている。

【 0 0 6 1 】

このポインタ 7 0 は、図 2、図 3 に示すように、磁石である磁気マーカ 7 2 が内蔵されると共に、略円錐状の尖った先端部 7 6 を有する鉛筆状の棒体である。ポインタ 7 0 に内蔵される磁気マーカ 7 2 以外の部分の材質は、樹脂等の非磁性体とされている。この場合、ポインタ 7 0 の略円錐状の先端部 7 6 の位置と磁気マーカ 7 2（の中心）間の距離は既知であり、本体部 5 0 のハードディスク内に記憶され格納されている。また、磁気マーカ 7 2 の磁化方向が、ポインタ 7 0 の軸心方向に一致するように磁気マーカ 7 2 が取り付けられている。測定誤差を最小限とするため、内蔵される磁気マーカ 7 2 は、なるべく先端部 7 6 に近い位置に配置固定することが好ましい。もちろん先端部 7 6 に配置することもできる。

【 0 0 6 2 】

図 4 A において、磁気発生器 1 5 は、剛体である固定部材 1 3 の上面に接着剤等で 2 つの磁気マーカ 1 6 を貼り付けることによって構成される。これにより、2 つの磁気マーカ 1 6 間の距離 d は、固定部材 1 3 によって固定された既知の距離となる。

【 0 0 6 3 】

また、2 つの磁気マーカ 1 6 の磁界の方向が予め既知であれば、2 つの磁気マーカ 1 6 を固定部材 1 3 で固定することにより、一方の磁気マーカ 1 6 の磁界の方向に対する、他方の磁気マーカ 1 6 の磁界の方向（以下、相対的な磁界発生方向という）も既知となる。

【 0 0 6 4 】

なお、2 つの磁気マーカ 1 6 の相対的な磁界発生方向とは、磁気発生源である 2 つの磁気マーカ 1 6 について、2 つの磁気発生源自体の磁界発生方向に関する相対的な方向である。具体的には、磁気マーカ 1 6 が磁性体である場合には、2 つの磁性体の磁化の方向（着磁方向） J に関する相対的な方向をいう。また、磁気マーカ 1 6 がコイルである場合には、2 つのコイルの磁界発生方向に関する相対的な方向をいう。

【 0 0 6 5 】

ここで、固定部材 1 3 は、非磁性体、例えばアクリル樹脂から形成されていることが好ましい。また、2 つの磁気マーカ 1 6 の距離 d については、短い程、配置の制約は小さいが、位置精度は悪化するおそれがある。また、距離 d が大きい程、位置精度は向上するが、配置の制約は大きくなる。予備実験の結果より、磁界センサ 2 0 i と磁気発生器 1 5 a、1 5 b との距離が 5 ~ 5 0 [mm] 程度である場合、 $d = 5 ~ 5 0$ [mm] 程度とすることが望ましいことが確認されている。距離 d が 5 [mm] よりも小さいと磁気マーカ 1

10

20

30

40

50

6 a ~ 1 6 d 同士で磁界の干渉が発生する。一方、距離 d が 5 0 [m m] よりも大きいと、磁界センサ 2 0 i の測定精度が低下すると共に、磁気発生器 1 5 が大型化して、被測定者 1 4 の不快感が増大する。

【 0 0 6 6 】

また、固定部材 1 3 を非磁性体から構成すれば、磁界センサ 2 0 i で検出される磁界は、磁気マーカ 1 6 a ~ 1 6 d から発生する磁界のみとなる。これにより、磁界センサ 2 0 i の測定精度をさらに向上させることができる。

【 0 0 6 7 】

また、図 1 ~ 図 4 において、磁気発生器 1 5 は、椅子 3 0 に腰掛けている被測定者 1 4 の額 3 2 と下顎歯（下顎歯列）3 4 のうち、下顎切歯の歯冠部に、容易に取り外し可能な接着剤等を介してそれぞれ取り付けられる。

10

【 0 0 6 8 】

その際、図 4 B に示すように、固定部材 1 3 の形状を、物体（被測定者 1 4 ）の取付表面である額 3 2 及び前記歯冠部に沿った（対応する）形状としてもよい。これにより、磁気マーカ 1 6 a ~ 1 6 d と額 3 2 及び前記歯冠部との距離がより近づくので、上顎 2 2 及び下顎 2 4 の 6 自由度運動の測定精度を向上させることができる。この他にも、例えば、被測定者 1 4 の前記歯冠部に磁気発生器 1 5 b を取り付けると、被測定者 1 4 の違和感が小さいという効果も得られる。この場合、距離 d は、磁気マーカ 1 6 a（1 6 c）の中心部分と磁気マーカ 1 6 b（1 6 d）の中心部分とを結ぶ直線距離とすればよい。

【 0 0 6 9 】

20

この実施の形態において、磁気マーカ 1 6 及び磁気マーカ 7 2 は、大きさが、1 [m m] × 1 [m m] × 0 . 5 [m m]（厚み）程度、飽和磁束密度が 1 [T（テスラ）] 程度の最大エネルギー積の大きい N d F e B（ネオジウム鉄ボロン）材質の焼結磁石の永久磁石を用いている。このような磁気マーカ 1 6、7 2 を用いることで、磁界センサ 2 0 i では、0 . 1 [m G（ミリガウス）] ~ 1 0 0 [m G] 程度の磁界を検出することができる。また、図 3 では、磁気マーカ 1 6 の磁化の方向（着磁方向）J は、被測定者 1 4 から外向きの方向に向けられ、磁界センサ 2 0 i の磁界検出方向が、この磁化方向 J に一致するように設定されている。この場合、2 つの磁気マーカ 1 6 間の相対的な磁界発生方向は、一方の磁気マーカ 1 6 の着磁方向 J に対する、他方の磁気マーカの着磁方向 J である。

【 0 0 7 0 】

30

なお、磁気マーカ 1 6 及び磁気マーカ 7 2 は、コイルを含む磁気発生手段で構成してもよい。この場合には、被測定者 1 4 への負担をできる限り軽減するために、電源（例えば、ボタン型の電池）と、前記電源から前記コイルに電力を供給する電源供給部と、前記コイルとを回路基板に実装して構成された小型の磁気発生回路とすることが望ましい。この場合、2 つのコイル間の相対的な磁界発生方向は、一方のコイルの磁界発生方向に対する、他方のコイルの磁界発生方向である。

【 0 0 7 1 】

また、後述するように、この 3 次元顎運動測定システム 1 0 では、磁気マーカ 1 6 の磁化方向 J と磁界センサ 2 0 i の磁界検出方向とを一致させなくても、3 次元顎運動を測定することができる。また、磁気マーカ 1 6 a ~ 1 6 d の着磁方向 J はお互いに一致していなくてもよい。

40

【 0 0 7 2 】

磁界センサ 2 0 i 及び外部磁界検出センサ 4 4 としては、ホール素子を利用したもの、磁気抵抗効果素子を利用したもの、高周波キャリア型薄膜磁界センサ（M a g n e t o I m p e d a n c e S e n s o r）を利用したもの、あるいは高周波励磁コイルを有するフラックスゲートセンサ等の 1 軸、2 軸あるいは 3 軸の周知の磁界センサを用いることができる。

【 0 0 7 3 】

特に、高周波キャリア型薄膜磁界センサを用いた場合には、ヘッドの寸法が、1 [m m] 以下となり、この 1 [m m] 以下の高周波キャリア薄膜磁界センサの検出感度は、ヘッ

50

ドの寸法が10 [mm]程度のフラックスゲートセンサと略同等以上の感度を有する。

【0074】

顎運動の測定に関し、高周波キャリア型薄膜磁界センサを用いる場合には、ヘッド寸法を点として考えることが可能であり、フラックスゲートセンサを用いる場合には、必要に応じて、ヘッド寸法を有限と考えて処理を行う。

【0075】

すなわち、磁界センサ20iは、できるだけヘッド寸法の小さいものを採用することが好ましい。ヘッド寸法が小さいほど磁気マーカ16の周辺の磁界を正確に測定でき、複数の磁気マーカ16の検出位置精度が向上するからである。

【0076】

図1に示すように、被測定者14が腰掛ける椅子30の背もたれ部には、被測定者14の頭部を支えるヘッドレスト29が取り付けられている。ヘッドレスト29は、個々の被測定者14の顎部に磁界センサ20iの位置をできるだけ近づけるためと被測定者14の頭部の位置に対応するように、上下、左右、前後方向に移動させることが可能な構成になっている。

【0077】

図2に示すように、磁界センサ20iを被測定者14に近接させ対向配置した測定時において、磁界センサ20iは、各磁気マーカ16a~16dを顔面の正面から取り囲むようにそれぞれ配置され、磁界センサ20iから構成される磁界センサ組立体としての磁界センサアレイ18a、18bは、センサホルダ36に取り付けられている。磁界センサアレイ18aは、顎32を取り囲むように上下方向で90°以上の円弧状に形成され、磁界センサアレイ18bは、下顎24を取り囲むように横方向で略円弧状に形成されている。

【0078】

この磁界センサアレイ18a、18bが取り付けられたセンサホルダ36が、図1に示すように、固定用ねじ41により上下方向（垂直方向）の自由な位置に調節可能な測定用スタンド38の支柱40間に取り付けられている。各支柱40は、被測定者14の脚部を避けるために略U字状のベース42の両端に垂直方向に取り付けられ、このような構成の測定用スタンド38は、ベース42の床側に取り付けられている4個のキャスト43により被測定者14の方向に対して移動及び固定自由である。

【0079】

支柱40間には、さらに、地磁気等の外部磁界（外部不要磁界）を検出する3次元磁界センサである外部磁界検出センサ44が取付孔39（39a、39b、39c、39d）及びコ字状の枠37を介して配置固定されている。外部磁界検出センサ44は、ねじ35により、取付部39a、39b、39c、39dのいずれかの位置に配置固定することが可能である。

【0080】

この外部磁界検出センサ44の最適な配置位置は、磁気マーカ16から作用する磁界が無視できるほど小さくなる位置（基本的には、磁気マーカ16から比較的離れた位置）であって、且つ各磁界センサ20iに作用する磁気マーカ16以外の地磁気を含む外部磁界と同等の磁界を3軸成分で検出できる位置とされる。

【0081】

外部磁界検出センサ44は、各磁界センサ20iの同相成分を相殺するために配置される。地磁気を含む外部磁界成分（直流磁界成分+変動磁界成分）中の変動（ふらつき）磁界成分をも相殺するために、磁気マーカ16からの磁界が磁界センサ20iのノイズレベル（この場合は0.1 [mG : ミリガウス] ）以下となる位置が好ましい。

【0082】

なお、この実施の形態においては、図1に示すように、外部磁界検出センサ44を、枠37を介して磁界センサ20iを有する磁界センサアレイ18と一体的に形成されているセンサホルダ36のパイプ部に一体的に固定するようにしている。このため、磁界センサアレイ18の位置が個々の被測定者14に対応するように支柱40を上下させてセンサホ

10

20

30

40

50

ルダ36を上下させても、磁界センサ20iと外部磁界検出センサ44との空間上の位置関係が変化しない。この構成のため、各取付部39a~39dにおいて、一旦、各磁界センサ20iの出力と、外部磁界検出センサ44の出力との相殺関係を調整して決定し、パーソナルコンピュータ26のハードディスク等に記憶格納しておけば、この相殺関係の再調整が不要となるという利点を有する。

【0083】

図1に示す測定用スタンド38全体の材質は、磁気マーカ16からの磁界あるいは外部磁界を乱さないように、例えばプラスチック樹脂、木、アルミニウムあるいはステンレス等の非磁性体を用いることが好ましい。センサホルダ36及び枠37、ねじ35の材質も同様に非磁性体を用いることが好ましい。

10

【0084】

図1及び図3に示すように、各磁界センサ20i及び外部磁界検出センサ44で検出された磁界は、アナログ信号として、配線66を介してAD変換器(アナログデジタル変換器)62に供給され、該AD変換器62によりデジタルデータとしての磁界強度の値に変換され、パーソナルコンピュータ26を構成する本体部50中のRAM及びハードディスクの所定領域に記憶される。

【0085】

パーソナルコンピュータ26の本体部50は、上述したように、信号処理手段として機能し、この信号処理手段は、予め記録されているアプリケーションプログラムに基づき、後述するように、最尤度法等の繰り返し計算を利用し、AD変換器62を介して供給された磁界強度のデジタルデータから磁気マーカ16a~16dの位置をリアルタイムに算出すると共に、外部磁界検出センサ44の出力に基づき外部磁界の大きさと方向を算出し、さらには、必要なときに、内部に磁気マーカ72を有する移動自由なポインタ70の先端の接触部位の位置を算出する。また、信号処理手段は、ポインタ70の先端の接触部位の位置を、磁気マーカ16を基準とする相対位置として記憶し登録し、必要なときに読み出す処理を行う。

20

【0086】

このようにして、磁気マーカ16a~16d等の3次元位置が測定される。本体部50は、測定した磁気マーカ16a~16d等の位置をRAM及びハードディスクに記憶すると共に、これらの位置に基づき、モニタディスプレイ52上に、被測定者14に対応する人物の顎運動画像を動画としてリアルタイムに表示する。

30

【0087】

この実施の形態に係る3次元顎運動測定システム10は、基本的には以上のように構成され、且つ動作するものであり、次に、図5に示す動作フローチャートを参照しながらその動作をさらに詳細に説明する。

【0088】

まず、ステップS1では、各磁界センサ20iの出力値を、外部磁界検出センサ44の出力値で校正、いわゆるキャリブレーションしておく。この校正は、当該3次元顎運動測定システム10の製造業者(メーカー)の工場内の磁気シールドされた特定設備内等で行われる。

40

【0089】

すなわち、平等磁界(地磁気程度の磁界)を外部磁界検出センサ44と各磁界センサ20iに、同時に、例えば、直交3軸であるX軸、Y軸、Z軸の順に順次作用させてゆき、各軸毎に、外部磁界検出センサ44と各磁界センサ20iの出力値との関係(例えば、外部磁界検出センサ44と各磁界センサ20iの出力の差)を、各磁界センサ20iの出力値が、0値あるいは無視できるほど小さい値となるような補正係数を決めておき、ルックアップテーブル(外部不要磁界相殺(校正)用ルックアップテーブル(表)という。)等を作成しておく。このルックアップテーブルは、パーソナルコンピュータ26の本体部50中の記憶媒体であるハードディスクに記憶しておく。なお、ルックアップテーブルに代替して計算式(外部不要磁界相殺(校正)用計算式)として、格納しておくこともできる

50

【 0 0 9 0 】

すなわち、ルックアップテーブル（校正表あるいはキャリブレーションテーブル）又は計算式（校正用計算式）は、各平等磁界の外部磁界検出センサ 4 4 による検出磁界（ベクトル）を B_{re} とし、各平等磁界の各磁界センサ 2 0 i （ i は i 番目の意味）による検出磁界（ベクトル）を B_{mei} とするとき、次の（ 1 ）式の値が 0 値あるいは最小となる値となるような補正係数 k を、検出磁界 B_{re} を変数とする関数として決定しておく。

$$B_{mei} - k B_{re} \quad \dots (1)$$

【 0 0 9 1 】

このメーカ等でのキャリブレーションの後、3次元顎運動測定システム 1 0 は、例えば病院や診療所あるいは健康センター等の測定場所に納入される。

10

【 0 0 9 2 】

次に、ステップ S 2 では、図 1 に示すような測定場所において、3次元顎運動測定システム 1 0 に電源が投入されると、該測定場所で磁界センサ 2 0 の出力が、外部磁界検出センサ 4 4 の出力で自動的に校正される。すなわち、測定場所において、外部磁界検出センサ 4 4 で検出される地磁気等外部磁界の減算割合である上記の補正係数 k が、その測定場所での外部磁界（ベクトル） B_r に基づいて、上記の校正表あるいは校正用計算式から自動的に算出される。

【 0 0 9 3 】

このように、実際の測定場所で磁界センサ 2 0 の出力を外部磁界検出センサ 4 4 の出力により補正するのは、地磁気等の外部磁界が時間の経過あるいは場所によって一定ではなく変化するからである。

20

【 0 0 9 4 】

従って、外部磁界検出センサ 4 4 を有する 3次元顎運動測定システム 1 0 によれば、測定中に、たとえ、地磁気等の外部磁界が変化しても、そのような変動性のノイズ成分が自動的に除去される。

【 0 0 9 5 】

なお、測定場所において、電源が投入された時点では、磁気発生器 1 5 a、1 5 b は、被測定者 1 4 に取り付けられていない。また、磁気発生器 1 5 a、1 5 b は、磁界センサアレイ 1 8 及び外部磁界検出センサ 4 4 に影響を及ぼさないような十分離れた位置あるいは磁気シールド箱（不図示）内に置いてある。

30

【 0 0 9 6 】

次に、ステップ S 3 では、椅子 3 0 に腰掛けている被測定者 1 4 に対して測定用スタンド 3 8 を対向配置することで磁界センサ 2 0 i を配置する。

【 0 0 9 7 】

この場合、測定用スタンド 3 8 を、図 1 の位置から被測定者 1 4 に向けて近づけ、磁界センサアレイ 1 8 のセンサホルダ 3 6 が所定位置、例えば、図 6 に示すように、横から見て、センサホルダ 3 6 の被測定者 1 4 側の先端が、被測定者 1 4 の顔の前面と略一致する位置として、測定用スタンド 3 8 のキャスト 4 3 を固定する。

【 0 0 9 8 】

このステップ S 3 では、さらに、被測定者 1 4 に対して磁界センサアレイ 1 8 を所定高さに配置調整する。具体的には、例えば、被測定者 1 4 の下顎（下顎骨）2 4 中の下顎歯のうち、2 本の中切歯 T_i の位置（後に磁気発生器 1 5 b を取り付ける位置）と下側の磁界センサアレイ 1 8 b の高さが一致するようにセンサホルダ 3 6 を上下させ、一致した状態で固定用ねじ 4 1 によりセンサホルダ 3 6 を支柱 4 0 に固定する。

40

【 0 0 9 9 】

図 7 は、被測定者 1 4 に対して測定用スタンド 3 8、換言すれば磁界センサ 2 0 i が配置された状態を示している。測定用スタンド 3 8 の幅 L_2 （図 1 参照）は、被測定者 1 4 の最大幅である両上腕間の間隔を超える間隔に設定している椅子 3 0 の横幅 L_3 よりも広くしてあるので、磁界センサ 2 0 i を有するセンサホルダ 3 6 を被測定者 1 4 に対し所望

50

の位置に配置することができる。

【0100】

この場合、外部磁界検出センサ44の高さ方向の位置は、被測定者14の太股に載せた腕の上側となるように設定しているため、被測定者14に接触することがない。

【0101】

さらに、被測定者14の後頭部には、ヘッドレスト29を配置しているため、被測定者14は、自己の頭部をこのヘッドレスト29により圧迫なく自然に支えることができると共に、ヘッドレスト29が上下、左右、前後方向に移動できるようになっているため、磁気マーカ16の取付位置をできるだけ磁界センサアレイ18に近づけることができる。

【0102】

このように、測定中において、被測定者14は、後述するように、きわめて小さい磁気発生器15だけが取り付けられた状態、換言すれば、身体的に直接圧迫のないきわめて自由な状態で、顎運動測定あるいは診査を受けることが可能である。図6及び図7に示すように、この測定中には、被測定者14の視界も測定装置によりほとんど制限されることがない。

【0103】

従って、この実施の形態による3次元顎運動測定システム10を用いることで、ベルト固定磁界センサ組立体あるいは光源装置等により被測定者の頭部を固定するという不自由さが一掃される。そのため、従来装置では困難であった小児や高齢者に対しても適用が可能になる。

【0104】

次に、ステップS4においては、図7に示すように被測定者14の顔面に対し、磁界センサアレイ18が対向配置された状態において、ねじ35を取り外して外部磁界検出センサ44が取り付けられた枠37を上下することで、上記(1)式の値が最小値となるように、当該測定位置における外部磁界検出センサ44の最適な高さを決定し、決定した高さ位置に最も近い位置にある取付孔39に、ねじ35により枠37、すなわち外部磁界検出センサ44を取付固定する。

【0105】

3次元顎運動測定システム10による測定中に、外部磁界検出センサ44に関連してパーソナルコンピュータ26の本体部50で行われる演算は、各磁界センサ20_i(*i*は*i*番目の意味)の校正前の出力値(測定磁界:ベクトル)をB_{m_i0}、外部磁界検出センサ44による検出磁界(ベクトル)をB_rとし、上記補正表あるいは補正式に基づく定数を*k*とし、補正後の各磁界センサ20_iの測定磁界をB_{m_i}とすれば、測定磁界(ベクトル)B_{m_i}は、次の(2)式で表すことができる。

$$B_{m_i} = B_{m_{i0}} - k B_r \quad \dots (2)$$

【0106】

この(2)式により、外部磁界の時間変動性のノイズを除くことができることが分かる。

【0107】

この測定中には、被測定者14に取り付けられる磁気発生器15a、15bの1個に対して、少なくとも6個の成分(6軸成分)を有する磁界センサ20_iが配置されるようにする。すなわち、磁気発生器15aを構成する磁気マーカ16a、16bに対しては、磁界センサアレイ18a内に磁界センサ20₁~20₆を配置し、磁気発生器15bを構成する磁気マーカ16c、16dに対しては、磁界センサアレイ18bに磁界センサ20₂₁~20₂₇を配置する。このようにすれば、6自由度(x, y, z, , ,)の顎運動を観察することができる。

【0108】

ただし、角度 θ と角度 ϕ とは、図8に示すように、原点Oからの座標(x, y, z)で定まるベクトルPのz軸からの傾き(方向角) θ 、及びベクトルPをxy平面へ射影したときのx軸からの傾き(方向角) ϕ を表す。また、角度 α とは、図9に示すように、磁気

10

20

30

40

50

マーカ 16 a ~ 16 d の着磁方向 J を中心軸とする回転角 を示す。

【 0 1 0 9 】

次に、ステップ S 5 では、磁気発生器 15 a、15 b の配置と上下顎の特徴点のマーキング処理を行う。なお、図 1 に示す測定場所において、ステップ S 2 ~ S 4 の処理過程では、実際には、磁気発生器 15 a、15 b は、被測定者 14 に取り付けられていない状態にある。

【 0 1 1 0 】

ここで、上下顎の特徴点のマーキング処理とは、上顎 22 あるいは下顎 24 の表面上の任意点、例えば下顎 24 でいえば下顎左右第一大臼歯中心窩の点や左右下顎頭近傍の点等の特徴点を、磁気発生器 15 b に対する相対座標として設定する処理である。

10

【 0 1 1 1 】

さらに詳しく説明すると、上下顎の特徴点のマーキング処理とは、被測定者 14 の顎に取り付けられる磁気発生器 15 a、15 b における磁気マーカ 16 a ~ 16 d の位置に対する、上下顎上の任意点の相対位置（相対的 3 次元位置）を認識させ、登録（記憶）する処理である。

【 0 1 1 2 】

そのため、まず、ステップ S 5 a では、下顎 24 の正面の 1 箇所、この場合、図 6 に示すように、被測定者 14 の下顎（下顎骨）24 中の下顎歯のうち、2 本の中切歯 T i に跨って、それらの歯冠の中央に、上述した磁気シールド箱等から取り出した磁気発生器 15 b を取り付ける。歯に取り付けるのは、歯は硬組織であり、下顎骨と略一体であると考えられるので、下唇等の軟組織に付けた場合に比較して、歯に取り付けることで下顎 24 の運動を正確に再現することができるからである。

20

【 0 1 1 3 】

次に、ステップ S 5 b では、下顎の任意点（所望点、特徴点、あるいは代表点）を設定するために、測定者等は、ラック 46 のポインタホルダ 74 からポインタ 70 を取り外し、ポインタ 70 の先端部 76 を、下顎歯列中の所定位置、例えば第 2 大臼歯 T m（図 6 参照）の咬合面中心窩に接触させ、取り付けられた磁気発生器 15 b の位置を基準とした第 2 大臼歯 T m の咬合面中心窩に対する 3 次元座標位置を、磁界センサレイ 18 b の磁界センサ 20 i の出力により後述する最尤度法等により求める。

【 0 1 1 4 】

實際上、ポインタ 70 の先端部 76 を、被測定者 14 の第 2 大臼歯 T m の咬合面中心窩に接触させているとき、入力装置であるマウス 56 により、モニタディスプレイ 52 上の表示に従い、所定の箇所、例えば、画面中の「磁気マーカ付きポインタの接触中」と表示されている箇所をクリックすることで、そのときの磁界センサ 20 i の磁界からポインタ内部の磁気マーカ 72 の位置を求め、ポインタ 70 の先端部 76 の位置を求める。先端部 76 の位置が、第 2 大臼歯 T m の咬合面中心窩の位置である。

30

【 0 1 1 5 】

このようにして、中切歯 T i に跨って取り付けられた磁気発生器 15 b に対する下顎歯列中、左右の両第 2 大臼歯 T m の咬合面中心窩の相対位置を求め、パーソナルコンピュータ 26 の本体部 50 内のハードディスクに記憶して登録しておく。同様な手順で、下顎 24 のその他の特徴点、例えば下顎左右第一大臼歯中心窩の点や左右下顎頭近傍の点等の数点をマーキングし、磁気発生器 15 b の位置に対する相対位置を記憶して登録しておくことにより、磁気発生器 15 b の運動と同時にマーキングした数点の運動も測定することができる。

40

【 0 1 1 6 】

なお、被測定者 14 が、下顎 24 の任意点（特徴点、例えば下顎左右第一大臼歯中心窩の点や左右下顎頭近傍の点）のマーキング中に、頭部や顎部を動かさなければ、磁気マーカ 16 c、16 d は必要とせず、ポインタ 70 のみで下顎 24 の任意点のマーキングを行うことができるが、磁気発生器 15 b が取り付けられている場合には、ポインタ 70 の先端部 76 を被測定者 14 に接触させたときに頭部や顎部が動いてしまった場合において

50

も、取り付けられている磁気発生器 15 b の磁気マーカ 16 c、16 d に対する相対的位置として記憶できるため、下顎 24 の任意点に対して正確にマーキングを行うことが可能である。

【0117】

また、ポインタ 70 による下顎任意点のマーキング（相対位置把握）では、ポインタ 70 の先端部 76 を所望点に接触させることによりその任意点を所望点として座標位置を記憶して登録するため、被測定者 14 の表面に出ている点のみしか座標位置を登録することができない。

【0118】

しかし、実際には、被測定者 14 の内部の点の運動を計測する必要もあり、そのような場合には、その位置をパーソナルコンピュータ 26 により算出した上で登録することも可能である。例えば、左右下顎頭の近傍の点（耳珠のやや前方）を皮膚の上からポインタ 70 で指し示し、ポインタ 70 で指示し記憶した左右の点を結んだ直線に対し、内側へそれぞれ、例えば 20 [mm] 動かした点をパーソナルコンピュータ 26 により算出することで、その点（左右顎頭点に対応する。）を登録することが可能である。

【0119】

ステップ S5 b における下顎形状の特徴点の相対位置（磁気発生器 15 b の位置を基準とする位置）の登録処理が終了したとき、ステップ S5 c では、ポインタ 70 をポインタホルダ 74 に返却しておく。

【0120】

次に、ステップ S5 d では、図 2、図 6 等に示しているように、上顎 22 の側に磁気発生器 15 a を接着剤で取り付ける。

【0121】

磁気発生器 15 a は、例えば、顔の中心線上で、且つ図 6 に示すように、額 32 中、磁界センサアレイ 18 a に取り囲まれるような高さの水平線に取り付ける。なお、後述するように、上顎 22 の側に磁気発生器 15 a を取り付ける理由は、測定中に上顎 22 が動いてしまった場合においても、下顎 24 の運動から上顎 22 の運動を差し引きすることにより、下顎 24 のみの純粋な運動を検出して測定することを可能とするためである。

【0122】

このようにして、額 32 側の磁気発生器 15 a の正面に磁界センサアレイ 18 a が対向配置され、下顎 24 側の磁気発生器 15 b の正面に磁界センサアレイ 18 b が対向配置されることになる。

【0123】

なお、磁気発生器 15 a の取付箇所として、硬組織である上顎歯等を選定しないで、額 32 を選定したのは、前記額 32 が、上顎と一体的に形成されている前頭骨の前頭鱗上の軟組織（皮膚組織）であり厳密には剛体とはいえないが、下顎歯列に取り付けた磁気発生器 15 b との距離が、例えば上顎 22 を構成する上顎歯に取り付けられた場合に比較して、5 倍以上の距離となり、磁気マーカ 16 a ~ 16 d 同士の磁界の相互作用が軽減され、磁界センサアレイ 18 a、18 b で磁気マーカ 16 a ~ 16 d 個々の磁界をより正確に検出できるからである。なお、磁気マーカ 16 a ~ 16 d の磁化の方向（着磁方向 J）は、図 3、図 6 に示すように、被測定者 14 の正面を向くようにしているが、後述するように、正面を向かなくてもよい。また、磁気マーカ 16 a ~ 16 d のそれぞれの着磁方向 J は、異なる方向に向いていても構わない。ここで、図 6 中、磁化の方向 J 及びこの磁界の方向 J を示す矢印を囲む長方形は、模式的なものであり、実際に存在するものではない。

【0124】

次に、ステップ S5 e では、上顎 22 の任意点（所望点、特徴点、あるいは代表点）を設定するために、測定者等は、ラック 46 のポインタホルダ 74 からポインタ 70 を再度取り外し、ポインタ 70 の先端部 76 を、上顎歯列中の所定位置、例えば第 1 大臼歯近心頬側咬頭頂に接触させ、取り付けられた磁気発生器 15 a の位置を基準とした 3 次元座標位置を、磁界センサアレイ 18 a の磁界センサ 20 i の出力により後述する最尤度法等に

10

20

30

40

50

より求める。

【0125】

ここで、ポインタ70の先端部76を、被測定者14の上顎22の任意位置に接触させているとき、入力装置であるマウス56により、モニタディスプレイ52上の表示に従い、所定の箇所、例えば、画面中の「磁気マーカ付きポインタの接触中」と表示されている箇所をクリックすることで、そのときの磁界センサ20iの磁界からポインタ内部の磁気マーカ72の位置を求め、ポインタ70の先端部76の位置を求める。

【0126】

このようにして、顎32に取り付けられた磁気発生器15aに対する上顎左右第1大臼歯近心頬側咬頭頂の相対位置を求め、パーソナルコンピュータ26の本体部50内のハードディスクに記憶して登録しておく。同様な手順で、上顎22のその他の特徴点、例えば上顎左右犬歯尖頭や上顎左右中切歯の midpoint 等をマーキングし、磁気発生器15aの位置に対する相対位置を記憶して登録しておくことにより、磁気発生器15aの運動と同時にマーキングした数点の運動も測定することができる。

10

【0127】

なお、被測定者14が、上顎22の任意点（特徴点、例えば上顎左右犬歯尖頭や上顎左右中切歯の midpoint）のマーキング中に、頭部を動かさなければ、磁気マーカ16a、16bは必要とせず、ポインタ70のみで上顎22の任意点のマーキングを行うことができるが、磁気発生器15aが取り付けられている場合には、ポインタ70の先端部76を被測定者14に接触させたときに頭部が動いてしまった場合においても、取り付けられている磁気発生器15aの磁気マーカ16a、16bに対する相対的位置として記憶できるため、上顎22の任意点に対して正確にマーキングを行うことが可能である。

20

【0128】

次いで、ステップS5eにおける上顎形状の特徴点の相対位置（磁気発生器15aの位置を基準とする位置）の登録処理が終了したとき、ステップS5fでは、ポインタ70をポインタホルダ74に再び返却しておく。

【0129】

次に、ステップS6では、磁界センサアレイ18a内の磁界センサ20iの出力により、2個の双極子磁場（磁気マーカ16a、16bによるダイポール磁界）の分布から上顎に取り付けられた磁気マーカ16a、16bの位置・方向を求めると共に、磁界センサアレイ18b内の磁界センサ20iの出力により、2個の双極子磁場（磁気マーカ16c、16dによるダイポール磁界）の分布から上顎に取り付けられた磁気マーカ16c、16dの位置・方向を求める。ここでは、磁気マーカ16c、16dの位置・方向を求める方法について説明するが、磁気マーカ16a、16bの位置・方向についても、以下で説明する記号の添字を変更するだけで求めることができる。

30

【0130】

まず、図9に示すように、固定点である絶対座標系 $X_0 Y_0 Z_0$ の原点位置から、磁気マーカ16cの位置を示す下顎座標系 $X_b Y_b Z_b$ の原点位置までの位置ベクトル p_1 と磁気マーカ16dの位置ベクトル p_2 を求める。

【0131】

この場合、下顎座標系 $X_b Y_b Z_b$ の原点は、上顎22あるいは下顎24中のどの位置でもよいが、ここでは、簡単のために、磁気マーカ16cの中心位置に一致しているものとする。また、絶対座標系 $X_0 Y_0 Z_0$ の原点位置は、例えば、磁界センサアレイ18bを構成する左右の磁界センサ20₂₁と20₂₇を結んだ midpoint とする。

40

【0132】

この仮定のもとで磁気マーカ16aの原点座標、換言すれば、下顎座標系 $X_b Y_b Z_b$ の原点座標を、位置及び方向角（姿勢角、回転角）のパラメータ（6自由度情報）で表して、 $P(x, y, z, \quad, \quad)$ とする。

【0133】

この場合、磁界センサアレイ18bの各磁界センサ20iで検出される測定磁界 B_{mi}

50

と、それぞれ磁気モーメントが既知である各磁気マーカ 16 c、16 d の各双極子磁界（ダイポールフィールド）の各磁界センサ 20 i の位置での計算値である計算磁界を B_{ci} とするとき、測定磁界 B_{mi} と計算磁界 B_{ci} とから、次の（3）式により最尤度法等により、前記ベクトル $P(x, y, z, \dots)$ の各パラメータを求める。図 2 の磁界センサ 20 i の配置例の場合、（3）式中、 θ の範囲は、 $i = 21 \sim 62$ である。

$$(B_{mi} - B_{ci})^2 = 0 \text{ 又は極小値} \quad \dots (3)$$

【0134】

この場合、マーカ数及び磁気モーメントが既知であるので、最尤度法のパラメータが減少し、且つ収束性及び精度を向上させることができる。

【0135】

この（3）式の最小自乗法による最尤度法で、複数のダイポールの位置及び方向を求める計算を詳しく説明する。

【0136】

まず、上記（3）式を、以下の（3-1）式の評価関数 $S(p)$ と置く。

$$S(p) = S(p_1, p_2) = (B_{mi} - B_{ci})^2 = 0$$

$$\text{又は最小値} \quad \dots (3-1)$$

【0137】

ただし、（3-1）式において、各値は以下の通りである。

$$B_{ci} = (1/4 \mu) \times$$

$$[\{ (-M_1/p_1^3) + (3(M_1 \cdot p_1)p_1/p_1^5) \} + \{ (-M_2/p_2^3) + (3(M_2 \cdot p_2)p_2/p_2^5) \}] \quad \dots (3-2)$$

$(M_1 \cdot r_1)$ と $(M_2 \cdot r_2)$ における「 \cdot 」はベクトルの内積

$$\text{ベクトル } p_1 = (x_i - x, y_i - y, z_i - z)$$

$$\text{ベクトル } p_2 = (x_i - x, y_i - y, z_i - z) - d(-\sin \cos, \cos \cos \cos - \sin \sin, \sin \cos \cos + \cos \sin)$$

)

ベクトル p_1 : 磁気マーカ 16 c の位置ベクトル、方向

ベクトル p_2 : 磁気マーカ 16 d の位置ベクトル、方向

(x_i, y_i, z_i) : i 番目の磁界センサ 20 i の位置ベクトル

n : 磁界センサ 20 i の成分数

ベクトル M_1, M_2 : それぞれ磁気マーカ 16 c、16 d の磁気モーメント（既知）

【0138】

上記のように定義される（3）式において、評価関数 $S(p)$ が、ベクトル $p = q$ において極小値をとれば、m を後述するパラメータの数として下記（3-3）式が成立する。

【0139】

$$(S(p)/p_j)|_{p=q} = 0 \quad (j = 1, 2 \dots m) \quad \dots (3-3)$$

上記（3-1）式を、この（3-3）式に代入して展開すれば、 θ の範囲を $k = 1 \sim m$ として、次の（3-4）式が得られる。

【0140】

$$(\partial^2 S / \partial p_j \partial p_k) \quad p_k = -(\partial^2 S / \partial p_j^2), \quad (j = 1, 2, \dots m) \quad \dots (3-4)$$

この（3-4）式は、m 行 m 列の行列式による連立方程式であり、これを解いてベクトル p_k を求め、ベクトル $p^{(i+1)} = \text{ベクトル } p^i + \text{ベクトル } p_k$ から最適解であるベクトル q を求めることができる。

【0141】

なお、磁界 B_{mi} 、 B_{ci} の距離による一階微分値を求め、この一階微分値と測定磁界 B_{mi} のみに対して最尤度法を適用することで、磁界が距離の 3 乗に比例することを考慮すると、精度を向上させることができる。

【0142】

全ての磁界センサ 20 i の測定磁界 B_{mi} を用いることで、精度を向上させることがで

10

20

30

40

50

きる。なお、所定以上の磁界強度の得られる磁界センサ 20 i の測定磁界 B_{mi} を用いることで、精度の悪化を小さく保持しながら、計測時間を大幅に短縮することができる。

【0143】

上記の(3)式のように、磁気モーメントを用いて計算する場合に、磁気マーカ 16 c、16 d の相互作用が小さい場合には、そのまま用いてよいが、相互作用が無視できない場合には、実効的な磁気モーメントを算出する必要がある。

【0144】

さらに、磁界を検出するサンプリング間隔を、顎の動きが 10 ~ 20 [mm] 以内となる時間に設定することで、収束性が向上し、顎の動きを円滑に追跡することができる。

【0145】

このようにしても、(3)式の演算が収束しなかった場合、あるいは収束した場合においても、パラメータの解が前後の軌跡から不自然な場合には、その点における解を除いて、その前の時刻の解を初期値として演算を繰り返せばよい。

【0146】

上述したステップ S6 において、磁気マーカ 16 c、16 d の着磁方向 J が、図 10 に示すように、異なる着磁方向 J_c (磁気マーカ 16 c の着磁方向)、 J_d (磁気マーカ 16 d の着磁方向) である場合の収束計算について説明する。この場合、着磁方向 J_c に対して、着磁方向 J_d が角度 d 、角度 d だけ傾いている。すなわち、着磁方向 J_c に対する着磁方向 J_d の相対的な磁界発生方向は、角度 d 、角度 d で示される方向である。

【0147】

このような相対的な磁界発生方向が存在する場合には、(3-2)式に示す θ を ($\theta + d$) に置き換え、 θ を ($\theta + d$) を置き換えた上で収束計算を行う。これにより、磁気マーカ 16 c、16 d の着磁方向 J_c 、 J_d が被測定者 14 の正面を向いていなくても、磁気マーカ 16 c、16 d の位置・方向を求めることができる。

【0148】

また、上述したステップ S6 の説明は、磁気マーカ 16 c、16 d の位置・方向を求める方法であったが、磁気マーカ 16 a、16 b の位置・方向を求める場合には、座標系 $X_b Y_b Z_b$ を図 11 に示す上顎座標系 $X_u Y_u Z_u$ に置き換え、さらに、磁界センサ 20 i (図 2、図 3 等参照) の i を、 $i = 1 \sim 20$ に設定することにより、磁気マーカ 16 a、16 b の位置・方向を求めることができる。

【0149】

なお、この計算は、顎関節を介する顎運動で説明しているが、顎運動に限らず、磁気マーカ 16 a ~ 16 d が取り付けられる運動する物体として、人体中、手指、上肢、下肢等、各関節を介して運動する物体に対しても同様に適用することができる。

【0150】

次に、ステップ S7 では、磁気マーカ 16 a ~ 16 d の位置・方向から上顎 22 及び下顎 24 の物体のパラメータ (6 つの位置及び相対的方向から構成される 6 自由度情報) を求める。具体的には、ステップ S5 のマーキング処理によってパーソナルコンピュータに記憶された上顎 22 及び下顎 24 の特徴点間の相対的な位置関係と、ステップ S6 から得られた磁気マーカ 16 a ~ 16 d の位置・方向を用いて、上顎 22 及び下顎 24 の相対的運動を算出する。

【0151】

この相対的運動を、ステップ S8 では、下顎 24 の動きとしてモニタディスプレイ 52 上の画像に変換して表示させることができる。すなわち、顎 32 の磁気発生器 15 a 及び磁気マーカ 16 a、16 b に移動が発生していても、それが画面上では固定点となるように処理し、且つ顎運動に伴う磁気マーカ 16 c、16 d の位置の移動と共に、ステップ S5 b で登録してある複数の特徴点の位置を読み出して同時に移動させて表示させることができる。

【0152】

10

20

30

40

50

この下顎 2 4 の動きは、ハードディスクあるいはデジタルビデオディスク等に記録することが可能であるので、何回でも再生することが可能となり、また、スロー再生、スチル再生、高速再生も可能となることから、さまざまな視点から顎運動を診断することが可能となる。

【 0 1 5 3 】

また、本実施の形態に係る 3 次元顎運動測定システム 1 0 は、上述した上顎 2 2 に対する下顎 2 4 の相対的な運動の計測に加え、絶対座標系 $X 0 Y 0 Z 0$ (図 9 参照) に対する上顎 2 2 の運動及び下顎 2 4 の運動をそれぞれ算出して、これらの運動をモニタディスプレイ 5 2 上の画像に変換し、一括して表示させることも可能である。

【 0 1 5 4 】

この場合には、ステップ S 7、S 8 の代わりに、ステップ S 6 の後のステップ 9 において、磁気マーカ 1 6 a、1 6 b の位置・方向から上顎 2 2 の物体のパラメータ (6 自由度情報) を求め、磁気マーカ 1 6 c、1 6 d の位置・方向から下顎 2 4 の物体のパラメータを求める。

【 0 1 5 5 】

具体的には、ステップ S 5 のマーキング処理によってパーソナルコンピュータに記憶された上顎 2 2 及び下顎 2 4 の特徴点間の相対的な位置関係と、ステップ S 6 から得られた磁気マーカ 1 6 a ~ 1 6 d の位置及び方向とを用いて、上顎 2 2 及び下顎 2 4 の特徴点 (代表点) の位置座標をそれぞれ求める。この場合、ステップ S 5 において、磁気発生器 1 5 a、1 5 b の配置と上下顎の特徴点とが、それぞれマーキング処理されているので、前記代表点の位置座標を容易に求めることができる。これにより、上顎 2 2 の運動と下顎 2 4 の運動とをそれぞれ算出することができる。

【 0 1 5 6 】

次いで、ステップ S 1 0 において、算出された上顎 2 2 及び下顎 2 4 のそれぞれの運動を、絶対座標系 $X 0 Y 0 Z 0$ の原点 O を基準とする上顎 2 2 及び下顎 2 4 の動きとしてモニタディスプレイ 5 2 上の画像に変換して一括して表示させる。この場合も、上顎 2 2 の運動及び下顎 2 4 の運動に伴う磁気マーカ 1 6 a ~ 1 6 d の位置の移動と共に、ステップ S 5 で登録してある複数の特徴点の位置を読み出して同時に移動させて表示させることができる。

【 0 1 5 7 】

なお、上述した絶対座標系 $X 0 Y 0 Z 0$ の原点位置は、図 9 に示すように、例えば、磁界センサアレイ 1 8 b を構成する左右の磁界センサ $2 0_{21}$ と $2 0_{27}$ を結んだ中点としてもよいし、あるいは、磁界センサアレイ 1 8 a を構成する上下の磁界センサ $2 0_1$ と $2 0_5$ を結んだ中点としてもよい。本実施の形態に係る 3 次元顎運動測定システム 1 0 は、いずれの中点を選択して、上顎 2 2 及び下顎 2 4 のそれぞれの運動を計測しても、絶対座標系 $X 0 Y 0 Z 0$ に対する上顎 2 2 の運動及び下顎 2 4 の運動を一括してモニタディスプレイ 5 2 上に表示させることができる。

【 0 1 5 8 】

上顎 2 2 及び下顎 2 4 のそれぞれの動きは、ハードディスクあるいはデジタルビデオディスク等に記録することが可能であるので、何回でも再生することが可能となり、また、スロー再生、スチル再生、高速再生も可能となることから、さまざまな視点から顎運動を診断することが可能となる。

【 0 1 5 9 】

ここで、1 つの実験結果を図 1 2 に示す。この実験結果は、3 次元顎運動測定システム 1 0 を用いて、上顎 2 2 に対する下顎 2 4 の相対的運動を測定した結果である。なお、図 1 2 では、絶対座標 $x y z$ の原点 O を、図 1 3 に示すように、右下顎頭の近傍の点 (耳珠のやや前方) に設定しているが、この絶対座標 $x y z$ の原点 O は、前記右下顎頭の近傍の点に限定されることはなく、下顎 2 4 の左右中切歯 (磁気発生器 1 5 b の貼付位置) のような硬組織上に設定することもできる。

【 0 1 6 0 】

この場合、 $y = 0$ [mm]において $z = -2$ [mm]程度であり、 y の増加に伴って z は減少し、 $y = 55$ [mm]（被測定者14の正面の中央部分）において $z = -40$ [mm]となる。つまり、図12において座標 z の変化は、被測定者14の口腔（図13参照）が開いていることを示している。

【0161】

図12に示すように、 $y = 0 \sim 55$ [mm]の変化に対して、座標 x は $x = 10 \sim 15$ [mm]の範囲で変化する。

【0162】

一方、 $y = 0 \sim 55$ [mm]の範囲で変化すると、角度 θ は 5° 程度変化し、角度 ϕ は 40° 程度変化し、角度 ψ は 5° 程度変化している。これらの結果より、3次元顎運動測定システム10を用いれば、上顎22に対して下顎24が6自由度の相対的運動を行っていることを容易に理解することができる。なお、角度 θ の変化は下顎24の顎関節部での運動によって発生する。

10

【0163】

このように上述した実施の形態によれば、運動する2つの物体である上顎22と下顎24に対して、それぞれ少なくとも2つの磁気マーカ16a～16dを有する磁気発生器15a、15bを取り付けて、各磁気マーカ16a～16dから発生する磁界を、これらに対向して配置した磁界センサレイ18a、18bを構成する磁界センサ20iにより非接触で検出している。

【0164】

そして、磁界センサ20iにより検出した磁界から、各磁気マーカ16a～16dの位置及び方向を求め、求めた各磁気マーカ16a～16dの位置及び方向と、上顎22及び下顎24の位置情報とに基づき、上顎22に対する下顎24の相対的運動が行われているときの、上顎22及び下顎24の任意の位置及び方向の6自由度情報を算出するようにしている。

20

【0165】

この場合、非磁性体からなる固定部材13の上面に2つの磁気マーカ16a～16dを接着剤等で固定されることにより磁気発生器15a、15bが構成される。そして、磁気発生器15a、15bの側面を接着剤等で上顎22と下顎24とに取り付けるようにしている。これにより、2つの磁気マーカ16a、16b間及び2つの磁気マーカ16c、16d間の相対距離である距離 d が固定部材13によって固定されることになる。

30

【0166】

下顎24が上顎22に対して相対的な運動を行った場合に、磁気マーカ16a～16dにより発生した磁界には、磁気マーカ16a～16dの着磁方向 J を軸とする角度 θ の成分が含まれてくる。そのため、磁界センサ20iで前記磁界を検出し、前記磁界の検出結果から磁気マーカ16a～16dの位置及び方向を求めると、前記位置及び方向には前記角度 θ が含まれてくる。すなわち、磁気マーカ16a～16dの位置及び方向は、角度 θ を含む6つの位置及び方向（6自由度情報）（ x 、 y 、 z 、 θ 、 ϕ 、 ψ ）で記述される。従って、上顎22に対する下顎24のような相対的な運動（6自由度運動）の測定を容易に行うことができる。

40

【0167】

また、磁気マーカ16a～16dの磁界の方向が予め既知であれば、2つの磁気マーカ16a、16bを固定部材13で固定して磁気発生器15aを構成し、2つの磁気マーカ16c、16dを別の固定部材13で固定して磁気発生器15bを構成することにより、一方の磁気マーカ16a、16cの磁界の方向に対する、他方の磁気マーカ16b、16dの磁界の方向（相対的な磁界発生方向）も既知となる。これにより、例えば、磁気マーカ16c、16dが異なる着磁方向 J_c 、 J_d を有し、磁気マーカ16c、16d間に相対的な磁界発生方向が存在する場合であっても、角度 θ_c 、 θ_d を考慮することにより、被測定者14の上顎22及び下顎24に関する6自由度運動の計測を容易に行うことができる。

50

【0168】

また、上顎22に取り付けられた磁気発生器15aの磁気マーカ16a、16bで発生する磁界を、磁界センサレイ18aの磁界センサ20iで検出し、下顎24に取り付けられた磁気発生器15bの磁気マーカ16c、16dで発生する磁界を、磁界センサレイ18bの磁界センサ20iで検出している。すなわち、磁気マーカ16a、16bの磁界と、磁気マーカ16c、16dの磁界とを、異なる磁界センサ20iで独立して検出することができる。

【0169】

そのため、従来の3次元運動測定装置100のように、発生する磁界が干渉し合っ、磁界センサ20iの測定精度が低下するという問題を回避することができる。これにより、磁界センサ20iの測定精度が向上し、小さな磁界しか発生できないような小型の磁気マーカ16a~16dを磁気発生器15a、15bに用いることができる。従って、磁気発生器15a、15b及び3次元顎運動測定システム10の小型化を図ることができる。

【0170】

また、磁気マーカ16a、16bの磁界と、磁気マーカ16c、16dの磁界とを、異なる磁界センサ20iで独立して検出しているため、上顎22の運動と下顎24の運動とを別々に調べることも可能である。このように、3次元顎運動測定システム10は、上顎22及び下顎24の相対的運動の測定に限定されることはなく、それぞれの物体の運動を測定することも可能である。

【0171】

また、固定部材13を上顎22及び下顎24に沿った形状に形成してから、磁気発生器15a、15bを被測定者14に対して取り付ければ、磁界センサ20iで検出される磁界の検出精度がさらに向上して、3次元顎運動測定システム10の測定精度をより一層向上させることができる。また、被測定者14の負担を軽減することも可能である。

【0172】

また、磁気発生器15a、15b、特に磁気マーカ16a~16dは、比較的小さく軽く、且つ配線の必要がなく、さらには口腔内など遮蔽された空間でも使用が可能のため、被測定者14、特に小児や高齢者に対しては、ほとんど不自由なく、より自然な状態での運動を測定することが可能である。

【0173】

また、磁界センサ20iは、CCDカメラに比較して廉価であるので、大幅に廉価な3次元運動測定装置を提供することができる。さらに、図2に示すように、被測定者14の視界をできるだけ妨げないように設計されているため、被測定者14に圧迫感を感じさせず、その点においても被測定者14に優しい測定装置であるといえることができる。

【0174】

また、上述した実施の形態によれば、顎運動を測定中において、磁界センサ20iによる測定領域(磁界検出領域)内の磁気マーカ16の数は2個としている。一般に、磁界検出領域内の磁界の数が少ないほど位置検出精度が高まるので、2個のみの磁気マーカ16a、16b(16c、16d)を測定するようにした上述の実施の形態によれば、きわめて高精度に磁気マーカ16a、16b(16c、16d)の位置を検出することができる。なお、顎32に取り付けられている磁気発生器15aの磁気マーカ16a、16bは、上顎22に対する下顎24(磁気マーカ16c、16d)の相対的運動を測定するために(下顎24の純粋な運動を抽出するために)用いている。従って、顎運動中に、上顎22が少々移動しても、その移動を除去することができる。

【0175】

なお、本発明に係る3次元運動測定装置及びその方法は、上述の実施の形態に限らず、本発明の要旨を逸脱することなく、種々の構成を採り得ることはもちろんである。

【図面の簡単な説明】

【0176】

【図1】この発明の一実施の形態が適用された3次元運動測定システムの模式的な構成図

10

20

30

40

50

である。

【図 2】額及び下顎中切歯に配された磁気マーカと磁界センサとの位置関係の斜視説明図である。

【図 3】図 1 の 3 次元運動測定システムの電気回路ブロック図である。

【図 4】図 4 A 及び図 4 B は図 1 の 3 次元運動測定システムにおける磁気発生器の斜視図である。

【図 5】図 1 例の 3 次元運動測定システムの動作説明に供されるフローチャートである。

【図 6】額及び下顎中切歯に配された磁気マーカと磁界センサとの位置関係の側面視説明図である。

【図 7】被測定者に対して測定用スタンドを配置した状態を示す斜視説明図である。

10

【図 8】磁気マーカの位置と方向角の関係説明図である。

【図 9】磁気発生器の位置と方向角の関係説明図である。

【図 10】磁気発生器の各磁気マーカの着磁方向を示す関係説明図である。

【図 11】絶対座標と上下顎座標の関係説明図である。

【図 12】6 自由度運動の測定結果を示す図である。

【図 13】図 1 2 の絶対座標の説明図である。

【図 14】従来の 3 次元運動測定システムの模式的な構成図である。

【図 15】図 1 4 の 3 次元運動測定システムにおける絶対座標と上下顎座標の関係説明図である。

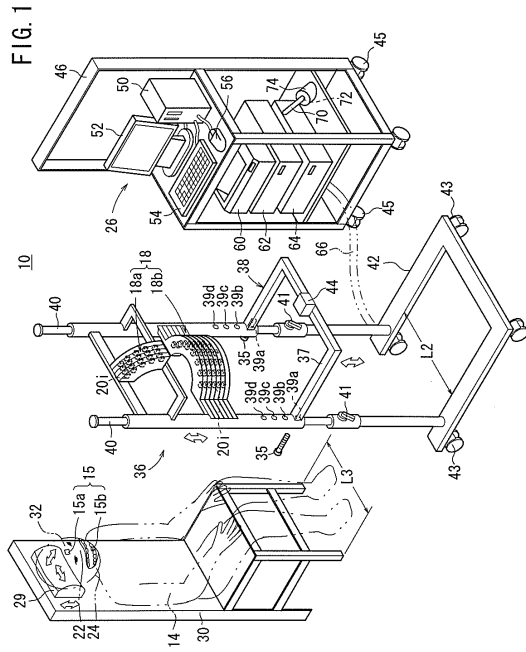
【符号の説明】

20

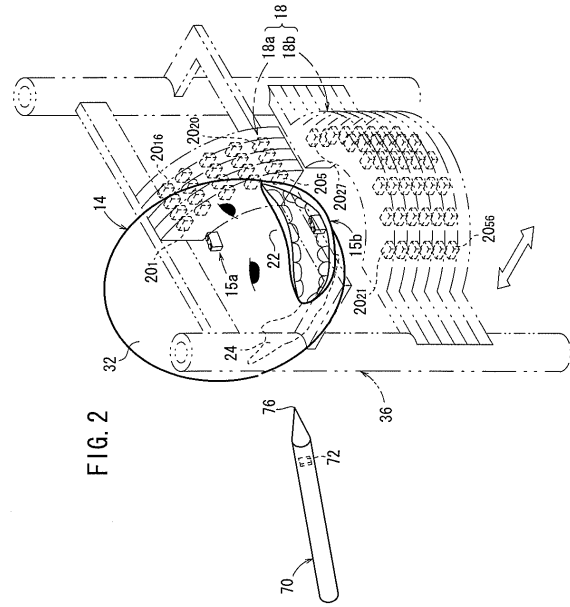
【 0 1 7 7 】

1 0 ... 3 次元顎運動測定システム	1 3 ... 固定部材
1 4 ... 被測定者	1 5、1 5 a、1 5 b ... 磁気発生器
1 6、1 6 a ~ 1 6 d ... 磁気マーカ	1 8、1 8 a、1 8 b ... 磁界センサアレイ
2 0、2 0 ₁ ~ 2 0 ₆₂ 、2 0 i ... 磁界センサ	
2 2 ... 上顎	2 4 ... 下顎
2 6 ... パーソナルコンピュータ	

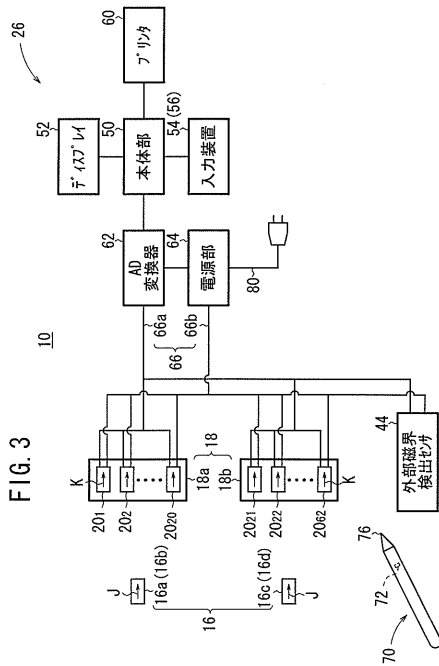
【 図 1 】



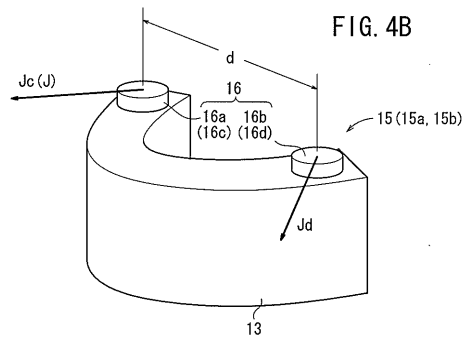
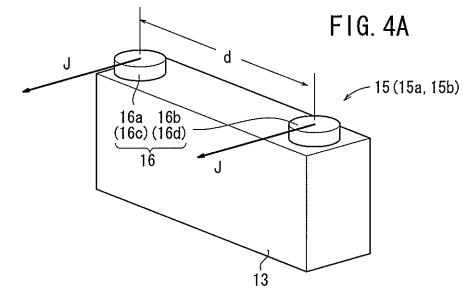
【 図 2 】



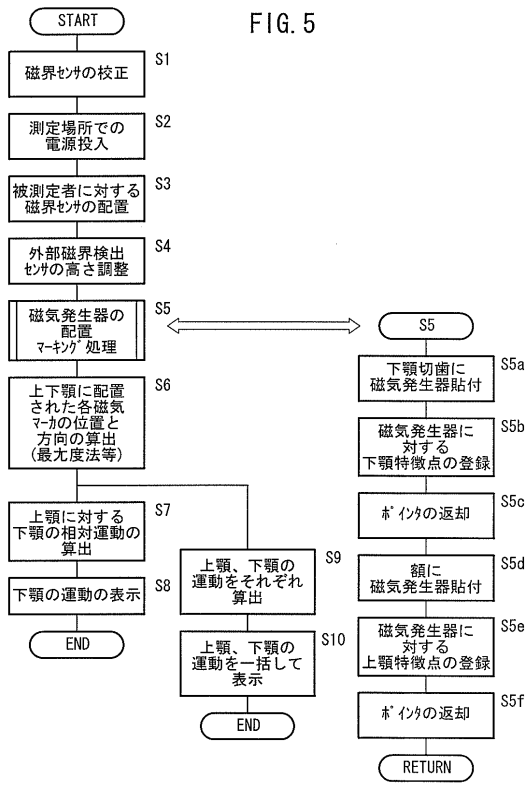
【 図 3 】



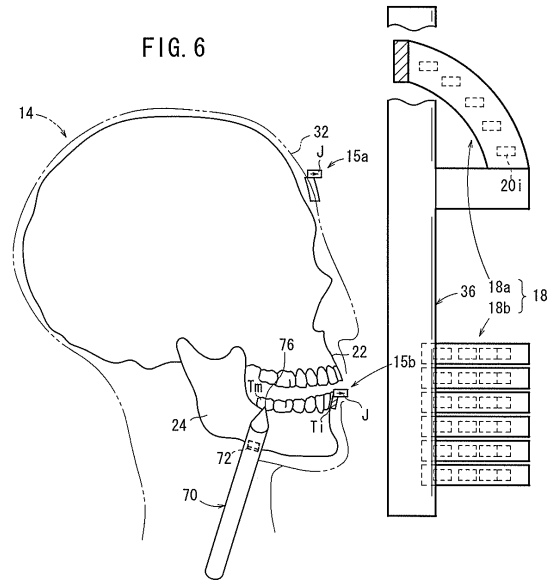
【 図 4 】



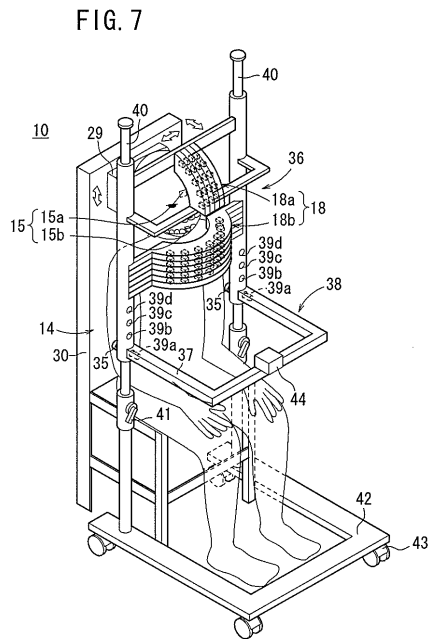
【 図 5 】



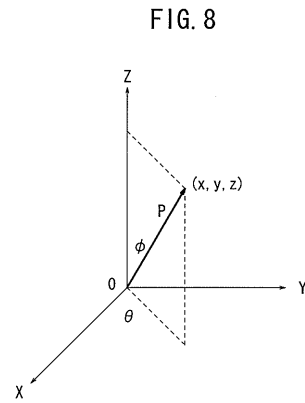
【 図 6 】



【 図 7 】

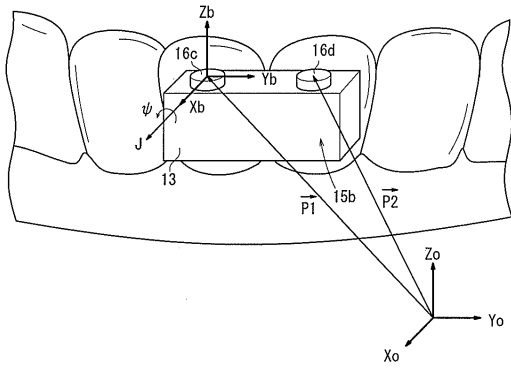


【 図 8 】



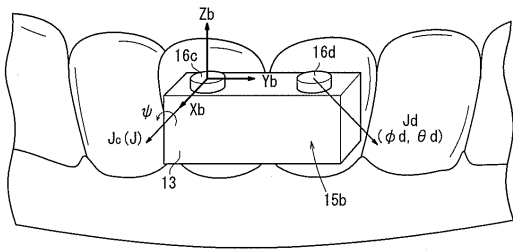
【 図 9 】

FIG. 9

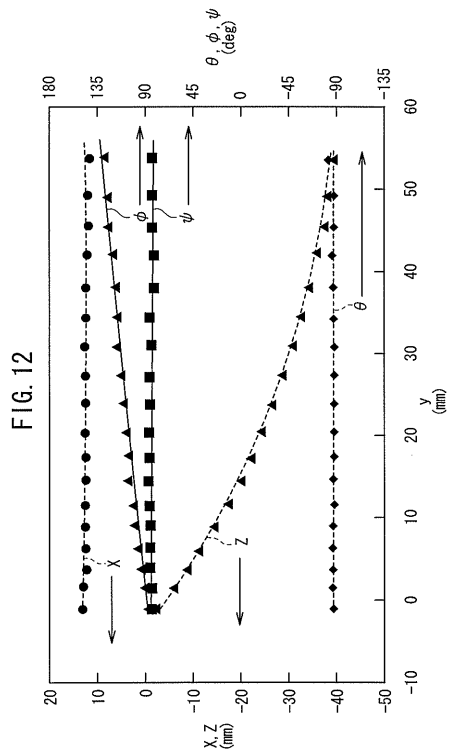


【 図 10 】

FIG. 10

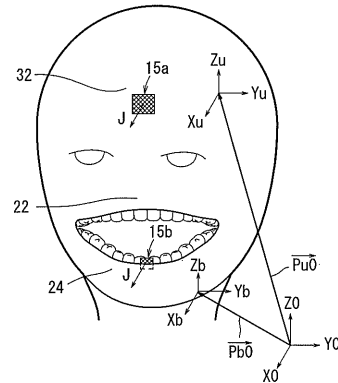


【 図 12 】



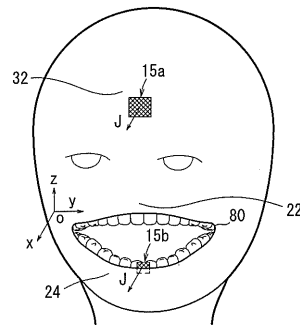
【 図 11 】

FIG. 11



【 図 13 】

FIG. 13



フロントページの続き

- (56)参考文献 特開2002-355264(JP,A)
実開昭62-153503(JP,U)
特開昭53-123958(JP,A)
特開昭55-085205(JP,A)
特開昭61-137003(JP,A)
実開平06-086717(JP,U)
特表平09-503410(JP,A)
特開平10-108853(JP,A)
特表2002-529133(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

A61B 5/06~5/22
A61C 1/00~5/06; 5/14~7/00;
19/00~19/10
G01B 7/00~7/34
G01B 21/00~21/32
G01N 27/72~27/90
G01R 33/00~33/26