

(19) 日本国特許庁(JP)

再公表特許(A1)

(11) 国際公開番号

W02019/054442

発行日 令和2年10月15日 (2020.10.15)

(43) 国際公開日 平成31年3月21日 (2019.3.21)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
A 6 1 C 8/00 (2006.01)	A 6 1 C 8/00	Z 4 C 0 9 7
A 6 1 F 2/30 (2006.01)	A 6 1 F 2/30	4 C 1 5 9
A 6 1 F 2/28 (2006.01)	A 6 1 F 2/28	

審査請求 未請求 予備審査請求 未請求 (全 34 頁)

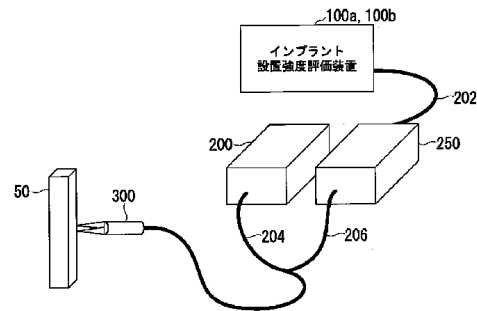
出願番号 特願2019-542284 (P2019-542284)	(71) 出願人 899000079 学校法人慶應義塾 東京都港区三田2丁目15番45号
(21) 国際出願番号 PCT/JP2018/033978	
(22) 国際出願日 平成30年9月13日 (2018.9.13)	
(31) 優先権主張番号 特願2017-177109 (P2017-177109)	(71) 出願人 301032942 国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構 千葉県千葉市稲毛区穴川四丁目9番1号
(32) 優先日 平成29年9月14日 (2017.9.14)	
(33) 優先権主張国・地域又は機関 日本国 (JP)	(71) 出願人 591114803 公益財団法人レーザー技術総合研究所 大阪府大阪市西区靱本町1丁目8番4号
	(74) 代理人 100106909 弁理士 棚井 澄雄
	(74) 代理人 100188558 弁理士 飯田 雅人

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 インプラント設置強度評価方法、インプラント設置強度評価装置、およびプログラム

(57) 【要約】

インプラント設置強度評価方法は、インプラントを振動させるステップと、振動させるステップで振動させたインプラントの振動数および振動強度の時系列データを測定するステップと、インプラントの振動数および振動強度の時系列データに基づいて、インプラントの設置強度の指標を示す情報を導出するステップとを有する。



100a, 100b Implant installation strength evaluation device

【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

インプラントを振動させるステップと、
前記振動させるステップで振動させた前記インプラントの振動数および振動強度の時系列データを測定するステップと、
前記インプラントの前記振動数および前記振動強度の時系列データに基づいて、前記インプラントの設置強度の指標を示す情報を導出するステップと
を有するインプラント設置強度評価方法。

【請求項 2】

前記設置強度の指標を示す情報に基づいて、前記インプラントの設置強度の評価結果を取得するステップ
を有する、請求項 1 に記載のインプラント設置強度評価方法。

10

【請求項 3】

前記導出するステップでは、前記インプラントの前記振動数および前記振動強度の時系列データに基づいて、周波数と振動数および振動強度との関係を求め、求めた周波数と振動数および振動強度との関係から、所定の振動数および振動強度に対応する周波数を求め、求めた前記周波数に関連付けられるインプラントの設置強度の指標を示す情報を、周波数とインプラントの設置強度の指標を表す情報との関連付けから求める、請求項 1 又は請求項 2 に記載のインプラント設置強度評価方法。

【請求項 4】

少なくとも一つのステップがコンピューターによって制御、実行される請求項 1 から請求項 3 のいずれか一項に記載のインプラント設置強度評価方法。

20

【請求項 5】

前記インプラントの設置強度の指標を示す情報は、前記インプラントを骨に埋入したときのその骨に生じる抵抗を表す埋入トルクである、請求項 3 又は請求項 4 に記載のインプラント設置強度評価方法。

【請求項 6】

前記インプラントの設置強度の指標を示す情報は、骨に取り付けられた、人工関節カップに設置棒を取り付け、前記設置棒を引っ張った場合に骨から人工関節カップが外れるときに働く力である引き倒し力である、請求項 3 又は請求項 4 に記載のインプラント設置強度評価方法。

30

【請求項 7】

前記振動させるステップが、前記インプラントへレーザービームを照射することによって、前記インプラントを振動させる、請求項 1 から請求項 6 のいずれか一項に記載のインプラント設置強度評価方法。

【請求項 8】

前記振動させるステップでは、前記インプラントへ水流を加えることによって、前記インプラントを振動させる、請求項 1 から請求項 6 のいずれか一項に記載のインプラント設置強度評価方法。

【請求項 9】

前記振動させるステップでは、前記インプラントに力を加えることによって、前記インプラントを振動させる、請求項 1 から請求項 6 のいずれか一項に記載のインプラント設置強度評価方法。

40

【請求項 10】

前記測定するステップは、前記振動させるステップで振動させた前記インプラントの振動数および振動強度の時系列データを、加速度センサーで測定する請求項 1 から請求項 6 のいずれか一項に記載のインプラント設置強度評価方法。

【請求項 11】

前記測定するステップは、前記振動させるステップで振動させた前記インプラントの振動数および振動強度の前記時系列データを、生じる音に基づいて測定する、請求項 1 から

50

請求項 6 のいずれか一項に記載のインプラント設置強度評価方法。

【請求項 1 2】

前記振動させるステップでは、前記インプラントへ第一のレーザービームを照射することによって、前記インプラントを振動させ、

前記測定するステップでは、前記インプラントへ第二のレーザービームを照射し、前記インプラントが反射した前記第二のレーザービームに基づいて、前記インプラントの振動数および振動強度の時系列データを測定する、請求項 1 から請求項 6 のいずれか一項に記載のインプラント設置強度評価方法。

【請求項 1 3】

前記振動させるステップでは、前記インプラントへ水流を加えることによって、前記インプラントを振動させ、

前記測定するステップでは、前記インプラントへ水流を加えることによって生じる音に基づいて、前記インプラントの振動強度の時系列データを測定する、請求項 1 から請求項 6 のいずれか一項に記載のインプラント設置強度評価方法。

【請求項 1 4】

インプラントを振動させるステップと、

前記振動させるステップで振動させた前記インプラントの振動数および振動強度の時系列データを測定するステップと、

前記インプラントの前記振動数および振動強度の時系列データに基づいて、前記インプラントの設置強度の指標を示す情報を導出するステップとを有し、

前記振動させるステップおよび前記測定するステップの双方もしくはどちらか一方は、レーザービームを利用し、非接触に実行する、インプラント設置強度評価装置が実行する請求項 1 から請求項 6 のいずれか一項に記載インプラント設置強度評価方法。

【請求項 1 5】

インプラントを振動させる振動誘起部と、

前記振動誘起部が振動させた前記インプラントの振動数および振動強度の時系列データを測定する測定部と、

前記測定部が測定した前記インプラントの前記振動数および前記振動強度の時系列データに基づいて、前記インプラントの設置強度の指標を示す情報を導出する導出部と

を備える請求項 1 から請求項 1 4 のいずれか一項に記載のインプラント設置強度評価方法によってデータを取得するインプラント設置強度評価装置。

【請求項 1 6】

インプラントを振動させる振動誘起部と、

前記振動誘起部が振動させた前記インプラントの振動数および振動強度の時系列データを測定する測定部と、

前記測定部が測定した前記インプラントの前記振動数および前記振動強度の時系列データに基づいて、前記インプラントの設置強度の指標を示す情報を導出する導出部とを備え、

前記振動誘起部および前記測定部の双方もしくはどちらか一方は、レーザービームを利用し、非接触に実行する、請求項 1 から請求項 1 2、及び請求項 1 4 のいずれか一項に記載のインプラント設置強度評価方法によってデータを取得するインプラント設置強度評価装置。

【請求項 1 7】

コンピューターに、

インプラントを振動させるステップと、

前記振動させるステップで振動させた前記インプラントの振動数および振動強度の時系列データを測定するステップと、

前記インプラントの前記振動数および前記振動強度の時系列データに基づいて、前記インプラントの設置強度の指標を示す情報を導出するステップと

を実行させ、

10

20

30

40

50

前記振動させるステップおよび前記測定するステップの双方もしくはどちらか一方は、レーザービームを利用し、非接触に実行する、請求項 1 から請求項 1 2、及び請求項 1 4 のいずれか一項に記載のインプラント設置強度評価方法によってデータ取得のためのプログラム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明の実施形態は、インプラント設置強度評価方法、インプラント設置強度評価装置、およびプログラムに関する。

本願は、2017年9月14日に、日本に出願された特願2017-177109号に
10
基づき優先権を主張し、その内容をここに援用する。

【背景技術】

【0002】

人工関節などのインプラントを人骨に設置するインプラント治療施術において、インプラントの設置強度は、施術医の感覚で判断する部分が多い。インプラントの設置強度が十分でない場合、将来的にインプラントの緩みや逸脱につながる。

インプラントの設置強度は、研究段階において、施術外で、埋込トルクや引き抜き力による破壊検査によって、評価されることが多い。

【0003】

他方、歯科インプラント治療施術中に適応可能な評価技術として、磁気を用いた共鳴周波数を計測する技術が知られている（例えば、特許文献1参照）。
20

また、レントゲンなどの画像診断もインプラント施術中および施術後に併用されている。画像診断は、インプラント設置位置の確認に主に使用される。画像診断とコンピューター解析技術とを組み合わせたインプラントの固定強度を評価する技術が知られている（例えば、特許文献2参照）。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0004】

【特許文献1】特表2006-527627号公報

【特許文献2】特開2014-135974号公報
30

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

磁石を用いた磁気共鳴周波数計測は、インプラントへの磁石の着脱が容易な口腔内を対象とする歯科領域に適応可能な手法である。このため、磁石を用いた磁気共鳴周波数計測は、体内深部での外科施術が必要となる整形外科領域への適応が難しい。

本発明は、上記問題を解決すべくなされたもので、インプラントの設置強度を評価することができるインプラント設置強度評価方法、インプラント設置強度評価装置、及びプログラム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】
40

【0006】

(1) 本発明の一態様は、インプラントを振動させるステップと、前記振動させるステップで振動させた前記インプラントの振動数および振動強度の時系列データを測定するステップと、前記インプラントの前記振動数および前記振動強度の時系列データに基づいて、前記インプラントの設置強度の指標を示す情報を導出するステップとを有する、インプラント設置強度評価方法である。

(2) 本発明の一態様は、上記(1)に記載のインプラント設置強度評価方法において、前記設置強度の指標を示す情報に基づいて、前記インプラントの設置強度の評価結果を取得するステップを有する、インプラント設置強度評価方法である。

(3) 本発明の一態様は、上記(1)又は上記(2)に記載のインプラント設置強度評価
50

方法において、前記導出するステップでは、前記インプラントの前記振動数および前記振動強度の時系列データに基づいて、周波数と振動数および振動強度との関係を求め、求めた周波数と振動数および振動強度との関係から、所定の振動数および振動強度に対応する周波数を求め、求めた前記周波数に関連付けられるインプラントの設置強度の指標を示す情報を、周波数とインプラントの設置強度の指標を表す情報との関連付けから求める、インプラント設置強度評価方法である。

(4) 本発明の一態様は、上記(1)から上記(3)のいずれか一項に記載のインプラント設置強度評価方法において、少なくとも一つの前記ステップがコンピューターによって制御、実行される、インプラント設置強度評価方法である。

(5) 本発明の一態様は、上記(3)又は上記(4)に記載のインプラント設置強度評価方法において、前記インプラントの設置強度の指標を示す情報は、前記インプラントを骨に埋入したときのその骨に生じる抵抗を表す埋入トルクである、インプラント設置強度評価方法である。

(6) 本発明の一態様は、上記(3)又は上記(4)に記載のインプラント設置強度評価方法において、前記インプラントの設置強度の指標を示す情報は、骨に取り付けられた、人工関節カップに設置棒を取り付け、前記設置棒を引っ張った場合に骨から人工関節カップが外れるときに働く力である引き倒し力である、インプラント設置強度評価方法である。

(7) 本発明の一態様は、上記(1)から上記(6)のいずれか一項に記載のインプラント設置強度評価方法において、前記振動させるステップが、前記インプラントヘレーザービームを照射することによって、前記インプラントを振動させる、インプラント設置強度評価方法である。

(8) 本発明の一態様は、上記(1)から上記(6)のいずれか一項に記載のインプラント設置強度評価方法において、前記振動させるステップでは、前記インプラントヘ水流を加えることによって、前記インプラントを振動させる、インプラント設置強度評価方法である。

(9) 本発明の一態様は、上記(1)から上記(6)のいずれか一項に記載のインプラント設置強度評価方法において、前記振動させるステップでは、前記インプラントに力を加えることによって、前記インプラントを振動させる、インプラント設置強度評価方法である。

(10) 本発明の一態様は、上記(1)から上記(6)のいずれか一項に記載のインプラント設置強度評価方法において、前記測定するステップは、前記振動させるステップで振動させた前記インプラントの振動数および振動強度の前記時系列データを、加速度センサーで測定する、インプラント設置強度評価方法である。

(11) 本発明の一態様は、上記(1)から上記(6)のいずれか一項に記載のインプラント設置強度評価方法において、前記測定するステップは、前記振動させるステップで振動させた前記インプラントの振動数および振動強度の前記時系列データを、生じる音に基づいて測定する、インプラント設置強度評価方法である。

(12) 本発明の一態様は、上記(1)から上記(6)のいずれか一項に記載のインプラント設置強度評価方法において、前記振動させるステップでは、前記インプラントヘ第一のレーザービームを照射することによって、前記インプラントを振動させ、前記測定するステップでは、前記インプラントヘ第二のレーザービームを照射し、前記インプラントが反射した前記第二のレーザービームに基づいて、前記インプラントの振動数および強度の時系列データを測定する、インプラント設置強度評価方法である。

(13) 本発明の一態様は、上記(1)から上記(6)のいずれか一項に記載のインプラント設置強度評価方法において、前記振動させるステップでは、前記インプラントヘ水流を加えることによって、前記インプラントを振動させ、前記測定するステップでは、前記インプラントヘ水流を加えることによって生じる音に基づいて、前記インプラントの振動数および強度の時系列データを測定する、インプラント設置強度評価方法である。

(14) 本発明の一態様は、インプラントを振動させるステップと、前記振動させるステ

10

20

30

40

50

ップで振動させた前記インプラントの振動数および振動強度の時系列データを測定するステップと、前記インプラントの前記振動数および振動強度の時系列データに基づいて、前記インプラントの設置強度の指標を示す情報を導出するステップとを有し、前記振動させるステップおよび前記測定するステップの双方もしくはどちらか一方は、レーザービームを利用し、非接触に実行する、インプラント設置強度評価装置が実行する上記(1)から上記(6)のいずれか一項に記載インプラント設置強度評価方法である。

(15)本発明の一態様は、インプラントを振動させる振動誘起部と、前記振動誘起部が振動させた前記インプラントの振動数および振動強度の時系列データを測定する測定部と、前記測定部が測定した前記インプラントの前記振動数および前記振動強度の時系列データに基づいて、前記インプラントの設置強度の指標を示す情報を導出する導出部とを備える、上記(1)から上記(14)のいずれか一項に記載のインプラント設置強度評価方法によってデータを取得するインプラント設置強度評価装置である。

(16)本発明の一態様は、インプラントを振動させる振動誘起部と、前記振動誘起部が振動させた前記インプラントの振動数および振動強度の時系列データを測定する測定部と、前記測定部が測定した前記インプラントの前記振動数および前記振動強度の時系列データに基づいて、前記インプラントの設置強度の指標を示す情報を導出する導出部とを備え、前記振動誘起部および前記測定部の双方もしくはどちらか一方は、レーザービームを利用し、非接触に実行する、請求項1から請求項12、及び請求項14のいずれか一項に記載のインプラント設置強度評価方法によってデータを取得するインプラント設置強度評価装置である。

(17)本発明の一態様は、コンピューターに、インプラントを振動させるステップと、前記振動させるステップで振動させた前記インプラントの振動数および振動強度の時系列データを測定するステップと、前記インプラントの前記振動数および前記振動強度の時系列データに基づいて、前記インプラントの設置強度の指標を示す情報を導出するステップとを実行させ、前記振動させるステップおよび前記測定するステップの双方もしくはどちらか一方は、レーザービームを利用し、非接触に実行する、上記(1)から上記(12)、及び上記(14)のいずれか一項に記載のインプラント設置強度評価方法によってデータを取得するためのプログラムである。

【発明の効果】

【0007】

本発明の実施形態によれば、インプラントの設置強度を評価することができるインプラント設置強度評価方法、インプラント設置強度評価装置、及びプログラムを提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【0008】

【図1】第1の実施形態のインプラント設置強度評価システムの一例を示す図である。

【図2】第1の実施形態の被評価体の一例を示す図である。

【図3】第1の実施形態のインプラント設置強度評価装置の一例を示すブロック図である。

【図4】導出テーブルの一例を示す図である。

【図5】第1の実施形態のインプラント設置強度評価装置の動作の一例を示す図である。

【図6】振動評価システムの一例(例1)を示す図である。

【図7A】振動評価結果の一例(例1)を示す図である。

【図7B】振動評価結果の一例(例1)を示す図である。

【図8】ピーク周波数と埋入トルクとの関連付けの一例を示す図である。

【図9】ピーク周波数と磁気RFAによる測定値との関連付けの一例を示す図である。

【図10】振動評価システムの一例(例2)を示す図である。

【図11】ピーク周波数と埋入トルクとの関連付けの一例を示す図である。

【図12A】振動評価システムの一例(例3-1)を示す図である。

【図12B】振動評価システムの一例(例3-1)の部分拡大図である。

- 【図 1 2 C】振動評価システムの一例（例 3 - 2）を示す図である。
 【図 1 2 D】振動評価システムの一例（例 3 - 2）の部分拡大図である。
 【図 1 3】振動評価結果の一例（例 3）を示す図である。
 【図 1 4】第 2 の実施形態の被評価体の一例を示す図である。
 【図 1 5】第 2 の実施形態のインプラント設置強度評価装置の一例を示す図である。
 【図 1 6】導出テーブルの一例を示す図である。
 【図 1 7】第 2 の実施形態のインプラント設置強度評価装置の動作の一例を示す図である。

- 【図 1 8】振動評価システムの一例（例 4）を示す図である。
 【図 1 9】振動評価結果の一例（例 4）を示す図である。
 【図 2 0】ピーク周波数と引き倒し力との関連付けの一例を示す図である。
 【図 2 1】重心周波数と引き倒し力との関連付けの一例を示す図である。
 【図 2 2】変形例のインプラント設置強度評価システムの一例（例 5）を示す図である。
 【図 2 3】変形例のインプラント設置強度評価システムの一例（例 6）を示す図である。
 【発明を実施するための形態】

【0009】

次に、本実施形態のインプラント設置強度評価方法、インプラント設置強度評価装置、及びプログラムを、図面を参照しつつ説明する。以下で説明する実施形態は一例に過ぎず、本発明が適用される実施形態は、以下の実施形態に限られない。

なお、実施形態を説明するための全図において、同一の機能を有するものは同一符号を用い、繰り返しの説明は省略する。

また、本願でいう「XXに基づく」とは、「少なくともXXに基づく」ことを意味し、XXに加えて別の要素に基づく場合も含む。また、「XXに基づく」とは、XXを直接に用いる場合に限定されず、XXに対して演算や加工が行われたものに基づく場合も含む。「XX」は、任意の要素（例えば、任意の情報）である。

また、本願でいう「インプラント」とは、骨などの硬組織に固定して用いる部材を指し、その形状および材質により限定されない。例えば、ボルト状、プレート状、カップ状、球状等の形状のものを包含し、チタン、ステンレス、セラミックス等の従来公知の材質を適宜選択することができる。

実施形態のインプラント設置強度評価システムには、例えばパルスレーザーを適用可能である。当該パルスレーザーに用いるレーザー媒質は特に限定されず、従来公知の固体レーザー媒質、液体レーザー媒質、気体レーザー媒質等を適宜採用すればよい。また、実施形態のインプラント設置強度評価システムには、例えば、Nd:YAGのような固体レーザー媒質、炭酸ガスのような気体レーザー媒質、色素レーザーのような液体レーザー媒質を採用可能であり、レーザーとしてNd:YAGレーザー、炭酸ガスレーザー、色素レーザー等が適用可能である。

【0010】

（第 1 の実施形態）

（インプラント設置強度評価システム）

図 1 は、第 1 の実施形態のインプラント設置強度評価システムの一例を示す図である。インプラント設置強度評価システムは、レーザービームを、インプラントなどの被評価体 50 に照射することによって、振動させる。第 1 の実施形態では、被評価体 50 の一例として、人工骨を想定する。

インプラント設置強度評価システムは、振動させた被評価体 50 の各振動周波数に対する振動数および振動強度の時系列データを取得し、取得した各振動周波数に対する振動数および振動強度の時系列データに基づいて、振動数および振動強度の周波数スペクトルを導出する。インプラント設置強度評価システムは、導出した周波数スペクトルを解析することによって、被評価体 50 の設置強度の指標を示す情報を取得する。

第 1 の実施形態では、被評価体 50 の設置強度の指標を示す情報の一例として、埋入トルクを適用した場合について説明を続ける。インプラント設置強度評価システムは、取得

10

20

30

40

50

した被評価体 50 の埋入トルクに基づいて、被評価体 50 の設置強度が適切か否かを示す評価結果を取得する。

【0011】

インプラント設置強度評価システムは、インプラント設置強度評価装置 100 a と、第 1 のレーザーシステム 200 と、第 2 のレーザーシステム 250 と、照射ヘッド 300 とを備える。インプラント設置強度評価装置 100 a と第 2 のレーザーシステム 250 との間は、有線 202 によって接続される。第 1 のレーザーシステム 200 と、照射ヘッド 300 との間は、光ファイバー 204 によって接続される。第 2 のレーザーシステム 250 と、照射ヘッド 300 との間は、光ファイバー 206 によって接続される。

【0012】

第 1 のレーザーシステム 200 は、被評価体 50 に振動を誘起するためのレーザービーム A を生成し、生成したレーザービーム A を、光ファイバー 204 へ出力する。具体的には、第 1 のレーザーシステム 200 の一例は、Nd : YAG レーザーである。第 1 のレーザーシステム 200 が生成するレーザービーム A の照射エネルギーは例えば 1 mJ - 50 mJ の範囲内で適宜設定すればよく、典型的には 10 mJ - 30 mJ とすればよい。

【0013】

照射ヘッド 300 は、被評価体 50 へ、第 1 のレーザーシステム 200 が出力したレーザービーム A を照射する。これによって、被評価体 50 は振動する。また、照射ヘッド 300 は、被評価体 50 が振動している状態で、被評価体 50 へ、第 2 のレーザーシステム 250 が出力したレーザービーム B1 を照射する。被評価体 50 は、照射ヘッド 300 が照射したレーザービーム B1 を反射し、反射したレーザービーム B2 は、照射ヘッド 300 から、光ファイバー 206 を伝送し、第 2 のレーザーシステム 250 へ出力される。

【0014】

第 2 のレーザーシステム 250 は、被評価体 50 に生じた振動を検出する。第 2 のレーザーシステム 250 は、被評価体 50 に誘起された振動を検出するためのレーザービーム B1 を生成し、生成したレーザービーム B1 を、光ファイバー 206 へ出力する。第 2 のレーザーシステム 250 は、被評価体 50 が反射したレーザービーム B2 を、光ファイバー 206 から取得し、取得したレーザービーム B2 を、振動数および振動強度へ変換する。第 2 のレーザーシステム 250 は、レーザービーム B2 を変換することによって得られた振動数および振動強度を示す情報を、インプラント設置強度評価装置 100 a へ出力する。具体的には、第 2 のレーザーシステム 250 の一例は、レーザードップラー振動計である。

【0015】

インプラント設置強度評価装置 100 a は、第 2 のレーザーシステム 250 が出力した振動数および振動強度を示す情報を取得する。インプラント設置強度評価装置 100 a は、取得した振動数および振動強度を示す情報に基づいて、振動数および振動強度の時系列データをフーリエ変換することによって、周波数スペクトルを取得する。インプラント設置強度評価装置 100 a は、取得した周波数スペクトルから、振動数および振動強度がピークとなる周波数（以下「ピーク周波数」という。）を取得する。インプラント設置強度評価装置 100 a は、取得したピーク周波数に基づいて、埋入トルクを取得する。

ここで、埋入トルクとは、インプラントを骨に埋入したときのその骨に生じる抵抗を表す。埋入トルクが低すぎると初期固定が弱くなり、埋入トルクが高すぎるとインプラントの周囲に無血管性骨壊死を引き起こすおそれがある。このため、埋入トルクをモニタすることによって、インプラントの設置強度が適切であるか否かを評価することができる。

【0016】

（被評価体）

被評価体 50 の一例について説明する。

図 2 は、第 1 の実施形態の被評価体の一例を示す図である。ここでは、被評価体 50 の一例として、整形外科用のインプラント 20 を示す。インプラント 20 は、インプラント材料で形成され、被評価体 50 として用いられる本体 21 を備えている。

10

20

30

40

50

本体 2 1 の外形は、一般的な本体と同様であり、埋入の対象となる骨 2 4 の内部に埋め込まれるネジ部 2 2 と、ネジ部 2 2 に接続された頭部 2 3 とを備えている。頭部 2 3 には、脊椎固定のためのロッドが挿通される横穴 2 3 a が形成されている。

【 0 0 1 7 】

インプラント 2 0 を用いて上述の評価方法を実行する場合は、タップでネジ溝を形成した埋め込み用の穴を測定穴とし、この埋め込み用穴にインプラント 2 0 を仮設置する。仮設置は、想定している埋め込み深さまでネジ部 2 2 を埋め込んで行ってもよいし、想定している埋め込み深さより浅い位置までの埋め込みとしてもよい。

【 0 0 1 8 】

第 1 のレーザーシステム 2 0 0 が生成したレーザービーム A は、照射ヘッド 3 0 0 から、インプラント 2 0 の根元 2 3 b または頭部 2 3 へ照射される。さらに、第 2 のレーザーシステム 2 5 0 が生成したレーザービーム B 1 は、照射ヘッド 3 0 0 から、インプラント 2 0 の根元 2 3 b または頭部 2 3 へ照射される。

特に限定するものではないが、ここではレーザービーム A とレーザービーム B 1 とをインプラント B 1 の根元 2 3 b に照射する場合を例に説明する。なお、レーザービーム A が照射されるインプラント 2 0 の領域（例えば根元 2 3 b の領域）と、レーザービーム B 1 が照射されるインプラント 2 0 の領域（例えば根元 2 3 b の領域）とは、一致してもよいし、一致しなくてもよい。

【 0 0 1 9 】

（インプラント設置強度評価装置）

図 3 は、第 1 の実施形態のインプラント設置強度評価装置の一例を示すブロック図である。

インプラント設置強度評価装置 1 0 0 a は、通信 I / F 1 0 5 と、記憶部 1 1 0 と、操作部 1 2 0 と、情報処理部 1 3 0 a と、表示部 1 4 0 と、前記各構成要素を図 3 に示されているように電氣的に接続するためのアドレスバスやデータバスなどのバスライン 1 5 0 とを備える。

通信 I / F 1 0 5 は、第 2 のレーザーシステム 2 5 0 との間の I / F である。通信 I / F 1 0 5 には、第 2 のレーザーシステム 2 5 0 が出力した振動数および振動強度を示す情報が入力される。通信 I / F 1 0 5 は、振動数および振動強度を示す情報を取得し、取得した振動数および振動強度を示す情報を、情報処理部 1 3 0 a へ出力する。

記憶部 1 1 0 は、例えば、R A M (Random Access Memory)、R O M (Read Only Memory)、H D D (Hard Disk Drive)、フラッシュメモリ、またはこれらのうち複数組み合わされたハイブリッド型記憶装置などにより実現される。記憶部 1 1 0 には、情報処理部 1 3 0 a により実行されるプログラム 1 1 2 と、導出テーブル 1 1 4 a とが記憶される。

【 0 0 2 0 】

（導出テーブル）

図 4 は、導出テーブルの一例を示す図である。導出テーブル 1 1 4 a は、ピーク周波数と、埋入トルクとを関連付けたテーブルである。ピーク周波数は、レーザービーム A によって被評価体 5 0 を振動させた場合に、その被評価体 5 0 の振動数および振動強度の周波数スペクトルから取得されるピーク周波数である。埋入トルクは、振動させた被評価体 5 0 のピーク周波数に関連付けられる埋入トルクである。被評価体 5 0 のピーク周波数と、埋入トルクとの関連付けについては、後述する。図 4 に示される例では、ピーク周波数「a 1」と埋入トルク「b 1」とが関連付けて記憶されている。

【 0 0 2 1 】

図 3 に戻り、説明を続ける。操作部 1 2 0 は、例えば、タッチパネルなどによって構成され、表示部 1 4 0 に表示される画面に対するタッチ操作を検出し、タッチ操作の検出結果を、情報処理部 1 3 0 a へ出力する。タッチ操作には、インプラントの評価を開始する操作などが含まれる。操作部 1 2 0 は、インプラントの評価を開始する操作を検出した場合、インプラントの評価を開始することを示す情報を、情報処理部 1 3 0 a へ出力する。

【 0 0 2 2 】

情報処理部 1 3 0 a の全部または一部は、例えば、C P U (Central Processing Unit) などのプロセッサが記憶部 1 1 0 に格納されたプログラム 1 1 2 を実行することにより実現される機能部 (以下、ソフトウェア機能部と称する) である。なお、情報処理部 1 3 0 a の全部または一部は、L S I (Large Scale Integration)、A S I C (Application Specific Integrated Circuit)、または F P G A (Field-Programmable Gate Array) などのハードウェアにより実現されてもよく、ソフトウェア機能部とハードウェアとの組み合わせによって実現されてもよい。

【 0 0 2 3 】

情報処理部 1 3 0 a は、例えば、取得部 1 3 2 と、導出部 1 3 4 a と、評価部 1 3 6 a とを備える。

取得部 1 3 2 は、操作部 1 2 0 が出力するインプラントの評価を開始することを示す情報を取得する。取得部 1 3 2 は、通信 I / F 1 0 5 が出力する被評価体 5 0 の振動数および振動強度を示す情報を取得する。取得部 1 3 2 は、取得した被評価体 5 0 の振動数および振動強度を示す情報を、導出部 1 3 4 a へ出力する。

導出部 1 3 4 a は、取得部 1 3 2 が出力した被評価体 5 0 の振動数および振動強度を示す情報に基づいて、被評価体 5 0 の各振動周波数に対する振動強度の周波数スペクトルを導出する。導出部 1 3 4 a は、導出した周波数スペクトルにおいて、振動強度がピークとなるピーク周波数を取得する。具体的には、導出部 1 3 4 a は、2 k H z - 1 0 k H z の範囲で、振動強度がピークとなるピーク周波数を取得する。又は、導出部 1 3 4 a は、 x を周波数として、周波数スペクトルを表す関数を $f(x)$ とする。導出部 1 3 4 a は、 $x = 1 \text{ k H z} - 2 0 \text{ k H z}$ 、より好ましくは、高周波数の振動強度の成分は不変であるため $x = 2 \text{ k H z} - 1 0 \text{ k H z}$ の周波数の範囲を指定する。

導出部 1 3 4 a は、関数 $f(x)$ を x で微分した $df(x)/dx = 0$ と、関数 $f(x)$ を x で二回微分した $d^2f(x)/dx^2 < 0$ とを満たす x とを求める。導出部 1 3 4 a は、 x を値の小さい方から順に、 $f(n)$ ($n = 0, 1, 2, \dots$) とする。導出部 1 3 4 a は、 $f(n) > \max f(x) \times C$ ($\max f(x)$ は、 $f(x)$ の最大値を示し、 C は閾値を決定するための任意の定数を示す) を満たす最小の $f(n)$ を取得する。

【 0 0 2 4 】

導出部 1 3 4 a は、取得したピーク周波数に関連付けられる埋入トルクを、記憶部 1 1 0 に記憶された導出テーブル 1 1 4 a に含まれるピーク周波数と埋入トルクとの関連付けから取得する。導出部 1 3 4 a、取得した埋入トルクを示す情報を、評価部 1 3 6 a へ出力する。

評価部 1 3 6 a は、導出部 1 3 4 a が出力した埋入トルクを示す情報を取得する。評価部 1 3 6 a は、取得した埋入トルクが、予め設定される範囲であるか否かを判定する。評価部 1 3 6 a は、取得した埋入トルクが、予め設定される範囲に含まれる場合には、埋入トルクが適切であるとする評価結果を取得する。評価部 1 3 6 a は、取得した埋入トルクが、予め設定される範囲に含まれない場合には、埋入トルクが不適切であるとする評価結果を取得する。評価部 1 3 6 a は、埋入トルクの評価結果を、表示部 1 4 0 へ出力する。

表示部 1 4 0 は、評価部 1 3 6 a が出力した埋入トルクの評価結果を取得する。表示部 1 4 0 は、取得した埋入トルクの評価結果を表示する。

【 0 0 2 5 】

(インプラント設置強度評価装置の動作)

図 5 は、第 1 の実施形態のインプラント設置強度評価装置の動作の一例を示す図である。

(ステップ S 1 0 1) 第 1 のレーザーシステム 2 0 0 は、被評価体 5 0 を振動させる。具体的には、第 1 のレーザーシステム 2 0 0 は、レーザービーム A を生成し、生成したレーザービーム A を、光ファイバー 2 0 4 へ出力する。ユーザは、照射ヘッド 3 0 0 から照射されるレーザービーム A が被評価体 5 0 へ照射されるように、照射ヘッド 3 0 0 を、固定する。照射ヘッド 3 0 0 は、第 1 のレーザーシステム 2 0 0 が出力したレーザービー

10

20

30

40

50

ム A を、被評価体 50 へ照射する。これによって、被評価体 50 は、レーザービーム A によって振動が誘起され、振動する。

【0026】

(ステップ S102) 第2のレーザーシステム250は、被評価体50に生じた振動を測定する。具体的には、第2のレーザーシステム250は、被評価体50に誘起された振動を検出するためのレーザービームB1を生成し、生成したレーザービームB1を、光ファイバー206へ出力する。ユーザは、照射ヘッド300から照射されるレーザービームBが被評価体50へ照射されるように、照射ヘッド300を、固定する。

照射ヘッド300は、第2のレーザーシステム250が出力したレーザービームB1を、被評価体50へ照射する。第2のレーザーシステム250は、被評価体50がレーザービームB1を反射したレーザービームB2を、光ファイバー206から取得し、取得したレーザービームB2に基づいて、振動数および振動強度を取得する。第2のレーザーシステム250は、振動数および振動強度を示す情報を、インプラント設置強度評価装置100aへ出力する。

【0027】

(ステップ S103) インプラント設置強度評価装置100aの取得部132は、第2のレーザーシステム250が出力した振動数および振動強度を示す情報を取得する。取得部132は、取得した振動数および振動強度を示す情報を、導出部134aへ出力する。

導出部134aは、取得部132が出力した振動数および振動強度を示す情報に基づいて、振動数および振動強度の周波数スペクトルを求める。導出部134aは、周波数スペクトルから、振動強度がピークとなるピーク周波数を取得する。

(ステップ S104a) インプラント設置強度評価装置100aの導出部134aは、取得したピーク周波数に関連付けられる埋入トルクを、記憶部110に記憶された導出テーブル114aに含まれるピーク周波数と埋入トルクとの関連付けから取得する。導出部134aは、取得した埋入トルクを示す情報を、評価部136aへ出力する。

【0028】

(ステップ S105a) インプラント設置強度評価装置100aの評価部136aは、導出部134aが出力した埋入トルクを示す情報を取得する。評価部136aは、取得した埋入トルクを示す情報に基づいて、埋入トルクが、予め設定される範囲に含まれる場合には、埋入トルクが適切とする判定結果を取得する。この場合、被評価体50の設置強度が適切と評価される。評価部136aは、取得した埋入トルクが、予め設定される範囲に含まれない場合には、埋入トルクが不適切とする判定結果を取得する。この場合、被評価体50の設置強度が不適切と評価される。評価部136aは、被評価体50の設置強度の評価結果を、表示部140へ出力する。

(ステップ S106) インプラント設置強度評価装置100aの表示部140は、評価部136aが出力した被評価体50の設置強度の評価結果を取得する。表示部140は、取得した被評価体50の設置強度の評価結果を表示する。

【0029】

図5に示されるインプラント設置強度評価装置の動作によれば、インプラント設置強度評価装置100aは、振動させた被評価体50の振動数および振動強度の周波数スペクトルから、ピーク周波数を取得する。インプラント設置強度評価装置100aは、取得したピーク周波数に関連付けられる埋入トルクを、ピーク周波数と埋入トルクとの関連付けから、取得する。インプラント設置強度評価装置100aは、取得した埋入トルクから、被評価体50の設置強度が適切か否かを示す評価結果を取得する。

【0030】

(ピーク周波数と、埋入トルクとの関連付けの導出例)

ここで、ピーク周波数と、埋入トルクとの関連付けの導出例について説明する。

図6は、振動評価システムの一例(例1)を示す図である。インプラント設置強度評価装置100aが、被評価体50の設置強度が適切か否かを評価する処理に先立って、ピー

10

20

30

40

50

ク周波数と、埋入トルクとが関連付けられる。そして、ピーク周波数と、埋入トルクとの関連付けが、導出テーブル 1 1 4 a に記憶される。

図 6 に示される振動評価システムでは、異なる埋入トルクで人工骨に固定された複数のインプラントの各々にレーザービームを照射することによって、インプラントを振動させる。そして、振動評価システムは、振動させたインプラントの周波数スペクトルを求め、求めた周波数スペクトルからピーク周波数を取得する。そして、振動評価システムは、取得したピーク周波数と、埋入トルクとを関連付ける。

【 0 0 3 1 】

振動評価システムは、第 1 のレーザーシステム 4 7 0 と、第 2 のレーザーシステム 4 1 0 と、第 1 の反射体 4 2 0 と、加速度センサー 4 4 0 と、インプラント 4 5 0 と、人工骨 4 6 0 とを備える。

人工骨 4 6 0 にインプラント 4 5 0 が、埋め込まれている。

第 1 のレーザーシステム 4 7 0 は、インプラント 4 5 0 に振動を誘起するためのレーザービームを生成し、生成したレーザービームを、インプラント 4 5 0 の根元へ照射する。レーザービームを、インプラント 4 5 0 の根元へ照射することによって、インプラント 4 5 0 は振動する。具体的には、第 1 のレーザーシステム 4 7 0 の一例は、Nd : YAG レーザーである。第 1 のレーザーシステム 4 7 0 が生成するレーザービームの照射エネルギーは例えば 1 0 m J - 3 0 m J の範囲内で適宜設定すればよく、典型的には 1 5 m J - 2 5 m J とすればよい。また、レーザー繰り返し周波数は、5 H z - 1 5 H z である。スペクトル平均回数は、1 0 0 回 - 1 5 0 回である。

【 0 0 3 2 】

第 2 のレーザーシステム 4 1 0 は、インプラント 4 5 0 に誘起された振動を検出するためのレーザービームを生成し、生成したレーザービームを出力する。第 2 のレーザーシステム 4 1 0 が出力したレーザービームは、第 1 の反射体 4 2 0 で反射し、第 1 の反射体 4 2 0 で反射したレーザービームは、インプラント 4 5 0 の根元へ照射される。第 1 の反射体 4 2 0 は、第 2 のレーザーシステム 4 1 0 が出力したレーザービームが、インプラント 4 5 0 の根元へ照射されるように、その向きが調整されている。なお、第 1 の反射体 4 2 0 と、インプラントの根元との距離は、1 m 程度である。

インプラント 4 5 0 は、第 2 のレーザーシステム 4 1 0 が照射したレーザービームを反射する。インプラント 4 5 0 が反射したレーザービームは、第 1 の反射体 4 2 0 で反射し、第 1 の反射体 4 2 0 で反射したレーザービームは、第 2 のレーザーシステム 4 1 0 へ入力される。図 6 に示される振動評価システムでは、主に、インプラント 4 5 0 が、人工骨 4 6 0 へ埋め込まれる方向に対して、90 度の方向の振動が検出される。第 2 のレーザーシステム 4 1 0 の一例は、レーザードップラー振動計であり、出力が 0 . 5 m W - 1 . 5 m W である。

加速度センサー 4 4 0 は、インプラント 4 5 0 の頭部に取り付けられ、インプラント 4 5 0 に誘起された振動を検出する。

【 0 0 3 3 】

図 7 A と図 7 B とは、振動評価結果の一例 (例 1) を示す図である。図 7 A は、加速度センサー 4 4 0 によって、インプラント 4 5 0 に誘起された振動を測定した結果を示す。図 7 A において、横軸は周波数 (H z) であり、縦軸は強度 (V) である。

図 7 B は、第 2 のレーザーシステム 4 1 0 によって、インプラント 4 5 0 に誘起された振動を測定した結果を示す。図 7 B において、横軸は周波数 (H z) であり、縦軸は強度 (a r b . u n i t) である。

図 7 A と、図 7 B とによれば、加速度センサー 4 4 0 で測定した振動数および振動強度の周波数スペクトルと、第 2 のレーザーシステム 4 1 0 で測定した振動数および振動強度の周波数スペクトルとは類似する。したがって、インプラント 4 5 0 の振動数および振動強度を求めるのに、第 2 のレーザーシステム 4 1 0 を使用できることが分かる。

【 0 0 3 4 】

図 8 は、埋入トルクとピーク周波数との関連付けの一例を示す図である。図 8 において

、横軸は埋入トルク (Nm) であり、縦軸はピーク周波数 (Hz) である。図 8 には、被評価体 50 の例として、人工骨 460 にインプラント 450 を設置して計測した場合と、未凍結生鮮屍体骨 (以下「献体骨」という) にインプラント 450 を設置して計測した場合とについて示す。図 8 によれば、最も生体に近い献体骨を使用した場合でも、人工骨 460 を使用した場合と同様に、埋入トルクとピーク周波数とは相関関係を有することが分かる。したがって、ピーク周波数から、インプラント 450 の埋入トルクを推定できる。

図 9 は、磁気 RFA による測定値 (ISQ (Implant Stability Quotient)) とピーク周波数との関連付けの一例を示す図である。図 9 において、横軸は磁気共振周波数計測 (Resonance Frequency Analysis: RFA) で測定した磁気 RFA による測定値 (ISQ) であり、縦軸はピーク周波数 (Hz) である。ここで、磁気 RFA は体内の深部に設置する整形外科インプラントでは適応が難しいが、歯科インプラントでは既に臨床導入されている手法である。単位 ISQ は、磁気 RFA を歯科領域で臨床導入する際に使用されている値の一例であり、この値が高いものほどインプラントの設置強度が高いことを意味する。図 9 には、被評価体 50 の例として、人工骨 460 にインプラント 450 を設置して計測した場合と、献体骨にインプラント 450 を設置して計測した場合とについて示す。図 9 によれば、磁気 RFA による測定値とピーク周波数とは相関関係を有することが分かる。したがって、ピーク周波数から、インプラント 450 の磁気 RFA による測定値を推定できる。

10

【0035】

図 10 は、振動評価システムの一例 (例 2) を示す図である。

20

振動評価システムは、第 1 のレーザーシステム 470 と、第 2 のレーザーシステム 410 と、第 1 の反射体 420 と、加速度センサー 440 と、インプラント 450 と、人工骨 460 と、第 2 の反射体 480 とを備える。第 2 の反射体 480 を備える点が、図 6 に示した振動評価システムと異なる。

図 6 と同様に、振動評価システムは、異なる埋入トルクで人工骨に固定された複数のインプラントの各々にレーザービーム A を照射することによって、インプラントを振動させる。そして、振動評価システムは、振動させたインプラントの振動数および振動強度の周波数スペクトルを求め、求めた周波数スペクトルからピーク周波数を取得する。そして、振動評価システムは、取得したピーク周波数と、埋入トルクとを関連付ける。

人工骨 460 にインプラント 450 が、埋め込まれている。第 1 のレーザーシステム 470 は、インプラント 450 に振動を誘起するためのレーザービーム A を生成し、生成したレーザービーム A を、インプラント 450 の根元へ照射する。レーザービーム A を、インプラント 450 の根元へ照射することによって、インプラント 450 は振動する。具体的には、第 1 のレーザーシステム 470 の一例は、Nd:YAG レーザーである。第 1 のレーザーシステム 470 が生成するレーザービーム A の照射エネルギーは 10 mJ - 30 mJ の範囲内で適宜設定すればよく、典型的には 15 mJ - 25 mJ とすればよい。また、レーザー繰り返し周波数は、5 Hz - 15 Hz である。スペクトル平均回数は、100 回 - 150 回である。

30

【0036】

第 2 のレーザーシステム 410 は、インプラント 450 に誘起された振動を検出するためのレーザービーム B1 を生成し、生成したレーザービーム B1 を出力する。第 2 のレーザーシステム 410 が出力したレーザービーム B1 は、第 1 の反射体 420 で反射し、第 1 の反射体 420 で反射したレーザービーム B1 は、第 2 の反射体 480 で反射し、第 2 の反射体 480 で反射したレーザービーム B1 は、インプラント 450 の頭部へ照射される。

40

第 1 の反射体 420 は、第 2 のレーザーシステム 410 が出力したレーザービーム B1 が、第 2 の反射体 480 へ反射されるように、その向きが調整されている。第 2 の反射体 480 は、第 1 の反射体 420 が反射したレーザービーム B1 が、インプラント 450 の頭部へ反射されるように、その向きが調整されている。なお、第 1 の反射体 420 と、第 2 の反射体 480 との距離は、1 m 程度である。

50

インプラント 450 は、第 2 の反射体 480 が照射したレーザービーム B1 を反射する。インプラント 450 が反射したレーザービーム B2 は、第 2 の反射体 480 で反射し、第 2 の反射体 480 で反射したレーザービーム B2 は、第 1 の反射体 420 で反射し、第 1 の反射体 420 で反射したレーザービーム B2 は、第 2 のレーザーシステム 410 へ入力される。図 10 に示される振動評価システムでは、主に、インプラント 450 が、人工骨 460 へ埋め込まれる方向の振動が検出される。第 2 のレーザーシステム 410 の一例は、レーザードップラー振動計であり、出力が 0.5 mW - 1.5 mW である。

【0037】

加速度センサー 440 は、インプラント 450 の頭部に取り付けられ、インプラント 450 に誘起された振動を検出する。

この場合においても、図 7A と図 7B と同様に、加速度センサー 440 で測定した振動の周波数スペクトルと、第 2 のレーザーシステム 410 で測定した振動の周波数スペクトルとは類似する。したがって、インプラント 450 の振動数および振動強度を求めるのに、第 2 のレーザーシステム 410 を使用できることが分かる。

振動評価システムは、振動の周波数スペクトルに基づいて、振動強度がピークとなるピーク周波数を取得し、取得したピーク周波数と、埋入トルクとを関連付ける。

【0038】

図 11 は、埋入トルクとピーク周波数との関連付けの一例を示す図である。図 11 において、横軸は埋入トルク (Nm) であり、縦軸はピーク周波数 (Hz) である。図 11 には、加速度センサー 440 で測定した振動の周波数スペクトルから取得したピーク周波数と、第 2 のレーザーシステム 410 (レーザー振動計) で測定した振動の周波数スペクトルから取得したピーク周波数に加え、磁気共振周波数計測で測定した磁気 RFA による測定値 (ISQ) が示される。図 11 によれば、測定手法によらず、埋入トルクと、ピーク周波数とは、相関関係を有することが分かる。したがって、ピーク周波数から、インプラント 450 の埋入トルクを推定できる。

【0039】

図 12A は、振動評価システムの一例 (例 3-1) を示す図である。

図 12B は、振動評価システムの一例 (例 3-1) の部分拡大図である。

図 12C は、振動評価システムの一例 (例 3-2) を示す図である。

図 12D は、振動評価システムの一例 (例 3-2) の部分拡大図である。

振動評価システムは、第 1 のレーザーシステム 470 と、加速度センサー 440 と、インプラント 450 と、人工骨 460 と、プローブ 510 とを備える。加速度センサー 440 を設置したプローブ 510 を、インプラント 450 に接触させて、インプラント 450 の振動を計測する点が、図 10 に示した振動評価システムと異なる。

図 12A では、プローブ 510 の一端が、インプラント 450 の根元部分に接触する。

図 12C では、プローブ 510 の一端が、インプラント 450 の頭部に接触する。

プローブ 510 の一例は、ステンレス棒であり、その一端が、インプラント 450 に接触している。また、プローブ 510 には、その一端が、インプラント 450 に接触しないように、プローブ 510 よりも、その長さが短いことによって、僅かに先端が奥まった光ファイバー 208 が備わっている。

光ファイバー 208 は、第 1 のレーザーシステム 470 が出力する光を伝送する。光ファイバー 208 からレーザー光を、インプラント 450 に照射することによって、インプラント 450 を振動させる。光ファイバー 208 から出力されるレーザー光によって誘起されたインプラント 450 の振動は、プローブ 510 を伝達し、加速度センサー 440 で、検出される。

光ファイバー 208 から出力されるレーザー光は、出力直後より回折広がりが生じることで急速にエネルギー密度が低下することから、インプラント 450 により近いことが望まれる。一例として、プローブ 510 の先端より 0.1 mm 以上 2 mm 以下ほど奥まった距離をとることが望ましく、図 12B と図 12D に示される拡大図は、プローブ 510 の先端と、光ファイバー 208 の先端との距離 a として、約 1 mm の距離をとった場合の実

10

20

30

40

50

施例である。しかしながら、光ファイバー 208 の先端にマイクロレンズなどの集光光学素子が装着される場合はこの限りではなく、集光光学素子の焦点距離が最適な奥まった距離（例えば、10 mm 以上 50 mm 以下など）となる。

図 13 は、振動評価結果の一例（例 3）を示す図である。図 13 において、横軸は時間（s）であり、縦軸は電圧（V）である。

図 13 によれば、加速度センサー 440 で検出されたインプラント 450 の振動は、電圧の変化で表される。加速度センサー 440 で検出された信号をフーリエ変換することによって、振動スペクトルが得られる。

図 12 に示した振動評価システムの一部においては、プローブ 510 がステンレス棒である場合について説明したが、この例に限られない。例えば、プローブ 510 の材質は、金属材料、樹脂材料などいずれの材料でもよい。また、プローブ 510 の断面は、円形に限らず、矩形であってもよい。また、プローブ 510 の形状は、直線に限らず、曲げられた曲線であってもよい。また、加速度センサー 440 の設置位置は、プローブ 510 の側面に限らず、端部であってもよい。

【0040】

また、インプラント 450 の振動を検出する方法は、加速度センサー 440 による検出に限られない。例えば、インプラント 450 に誘起された振動を検出するためのレーザービームを生成する第 2 のレーザーシステム 410 が用意され、用意された第 2 のレーザーシステム 410 が出力したレーザービームが、プローブ 510 に照射される。プローブ 510 に照射されたレーザービームは、プローブ 510 で反射し、プローブ 510 で反射したレーザービームは、第 2 のレーザーシステム 410 へ入力される。第 2 のレーザーシステム 410 の一例は、レーザードップラー振動計である。

また、プローブ 510 が伝達するインプラント 450 の振動は、レーザービームが照射されることによって誘起される振動に限定されない。

【0041】

前述した第 1 の実施形態では、インプラント設置強度評価装置 100 a と第 2 のレーザーシステム 250 との間が、有線 202 によって接続される場合について説明したが、この限りでない。例えば、インプラント設置強度評価装置 100 a と第 2 のレーザーシステム 250 との間が、無線によって接続されてもよい。

前述した第 1 の実施形態では、インプラント設置強度評価装置 100 a と、第 1 のレーザーシステム 200 と、第 2 のレーザーシステム 250 とが異なる装置である場合について、説明したが、この例に限られない。例えば、第 1 のレーザーシステム 200 と、第 2 のレーザーシステム 250 とが、インプラント設置強度評価装置 100 a に含まれてもよい。

前述した第 1 の実施形態では、被評価体 50 の設置強度の指標を示す情報の一例として、埋入トルクを適用した場合について説明をしたが、この限りでない。例えば、被評価体 50 の設置強度の指標を示す情報として、埋入トルク以外の情報が使用されてもよいし、埋入トルクと埋入トルク以外の情報とを組み合わせた情報が使用されてもよい。

【0042】

前述した第 1 の実施形態では、周波数スペクトルから、振動強度がピークとなるピーク周波数を取得する場合について説明したが、この限りでない。例えば、周波数スペクトルから、所定の振動強度に対応する周波数を取得してもよい。

前述した第 1 の実施形態では、インプラント設置強度評価装置 100 a が、埋入トルクが、予め設定される範囲に含まれるか否かを判定し、含まれる場合には埋入トルクが適切とし、含まれない場合には埋入トルクが不適切とする場合について説明したが、この例に限られない。例えば、埋入トルクの値によって、三以上に分類され、分類された埋入トルクについて、その状態が示されてもよい。

前述した第 1 の実施形態では、整形外科用のインプラントを人骨に設置した場合に、そのインプラントの設置強度を評価する場合について説明したが、この例に限られない。例えば、歯科領域において、人工歯根を顎骨に埋め込んだ場合に、その人工歯根の設置強度

10

20

30

40

50

を評価する場合にも適用できる。

【 0 0 4 3 】

少なくとも第 1 の実施形態のインプラント設置強度評価システムによれば、インプラント設置強度評価システムは、レーザービーム A を、被評価体に照射することによって、その被評価体を振動させる。このように構成することによって、非接触で、被評価体を振動させることができる。仮に、R F A で、磁力を用いて、インプラントを振動させることで、共振周波数を取得する場合には、インプラントに磁石を有する治具を設置する必要がある。このため、体内の深部に設置されることがある整形外科インプラントへの応用は難しい。

インプラント設置強度評価システムは、振動している被評価体へ、レーザービーム B 1 を照射し、そのレーザービーム B 1 が被評価体で反射したレーザービーム B 2 に基づいて、被評価体の振動の周波数スペクトルを導出する。このように構成することによって、加速度センサーなどの装置を、被評価体に取り付けることなく非接触で、被評価体の振動の周波数スペクトルを導出できる。

インプラント設置強度評価システムは、導出した周波数スペクトルから、ピーク周波数を取得し、取得したピーク周波数に関連付けられる埋入トルクを取得する。このように構成することによって、被評価体と、その被評価体を固定している土台（骨）との間の隙間や、その土台の強度とを反映した埋入トルクを取得できる。そして、埋入トルクに基づいて、被評価体 5 0 の設置強度が適切か否かを示す評価結果を取得できる。

【 0 0 4 4 】

近年、骨粗しょう症患者が増加し、四肢脊椎骨折に対するインプラント手術が急増しているが、四肢や、脊椎では、インプラントの設置強度が低下する。その結果、インプラントの弛みを生じることで手術の目的を果たせず、再手術を要する事態となることが問題となっている。

しかし、インプラントの設置強度の評価項目は、近年においても、未だ引き抜き力や埋入トルクなどの古典的な手法にとどまり、これらの手法は、実際に体内でインプラントにかかる力を反映しているとは言えず、計測結果と、弛みの発生率とは相関しない。また、これらの手法は、侵襲的であり、一度しか実行できず、検者内、検者間のばらつきが大きい。

第 1 の実施形態のインプラント設置強度評価システムは、無侵襲的であり、繰り返し可能であり、検者内、検者間のばらつきを小さくできる。第 1 の実施形態のインプラント設置強度評価システムは、インプラントに磁石を有する治具を設置する必要がないため、手術中に、インプラントの設置強度を評価できる。いままで、インプラントの選択や、設置強度は、手術者の判断に頼るしかなかったが、そのインプラントの選択や、設置強度に客観性をもたらすことができる。このため、手術者の技量によらず、手術の成功率を向上させることができる。

【 0 0 4 5 】

（第 2 の実施形態）

（インプラント設置強度評価システム）

第 2 の実施形態のインプラント設置強度評価システムの一例は、図 1 を適用できる。

インプラント設置強度評価システムは、レーザービームを、インプラントなどの被評価体 5 0 に照射することによって、振動させる。第 2 の実施形態では、被評価体 5 0 の一例として、人工関節を想定する。

インプラント設置強度評価システムは、振動させた被評価体 5 0 の各振動周波数に対する振動の時系列データを取得し、取得した各振動周波数に対する振動の時系列データに基づいて、振動の周波数スペクトルを導出する。インプラント設置強度評価システムは、導出した周波数スペクトルを解析することによって、被評価体 5 0 の設置強度の指標を示す情報を取得する。第 2 の実施形態では、被評価体 5 0 の設置強度の指標を示す情報の一例として、引き倒し力を適用した場合について説明を続ける。インプラント設置強度評価システムは、導出した被評価体 5 0 の引き倒し力に基づいて、被評価体 5 0 の設置強度が適

10

20

30

40

50

切か否かを示す評価結果を取得する。

【 0 0 4 6 】

インプラント設置強度評価システムは、インプラント設置強度評価装置 1 0 0 b と、第 1 のレーザーシステム 2 0 0 と、第 2 のレーザーシステム 2 5 0 と、照射ヘッド 3 0 0 とを備える。第 1 の実施形態のインプラント設置強度評価システムと、インプラント設置強度評価装置 1 0 0 a の代わりに、インプラント設置強度評価装置 1 0 0 b と備える点で異なる。

インプラント設置強度評価装置 1 0 0 b は、第 2 のレーザーシステム 2 5 0 が出力した振動数および振動強度を示す情報を取得する。インプラント設置強度評価装置 1 0 0 a は、取得した振動数および振動強度を示す情報に基づいて、振動数および振動強度の時系列データをフーリエ変換することによって、周波数と、振動強度とを関連付けた周波数スペクトルを取得する。

インプラント設置強度評価装置 1 0 0 b は、取得した周波数スペクトルから、振動数がピークとなるピーク周波数を取得する。インプラント設置強度評価装置 1 0 0 b は、取得したピーク周波数に基づいて、引き倒し力を取得する。ここで、引き倒し力とは、骨（人工骨および人骨）に取り付けられた、人工関節カップに設置棒を取り付け、その設置棒を引っ張った場合に骨から人工関節カップが外れるときに働く力である。ここでは、引き倒し力は、骨と人工関節カップとの隙間や、その土台の強度とを反映したものである。引き倒し力が低すぎると初期固定が弱くなり、引き倒し力が高すぎると人工関節カップの周囲に無血管性骨壊死を引き起こすおそれがある。このため、引き倒し力をモニタすることによって、インプラントの設置強度が適切であるか否かを評価することができる。

【 0 0 4 7 】

（被評価体）

被評価体 5 0 の一例について説明する。

図 1 4 は、第 2 の実施形態の被評価体の一例を示す図である。ここでは、被評価体 5 0 の一例として、人工関節カップ 5 0 0 を示す。人工関節カップ 5 0 0 は、チタンまたはチタン合金などの金属または金属合金を含んでもよい。人工関節カップ 5 0 0 は、外側表面 5 0 2 を有する。外側表面 5 0 2 は、適切に収納された時に手術部位の形状に近似し得るように凸状となっている。外側表面 5 0 2 は、手術部位への人工関節カップ 5 0 0 の結合を向上させる多孔質材料でコーティングされる。多孔質材料コーティングは、チタンまたはチタン合金を含んでもよい。

人工関節カップ 5 0 0 はまた、適切な手術用または骨セメントを使用して、手術部位に固められてもよい。人工関節カップ 5 0 0 の内側表面 5 0 4 は、凹状であり、外側表面 5 0 2 と同じ材料で作製されてもよい。

【 0 0 4 8 】

人工関節カップ 5 0 0 は、さらに、ねじなどの一つ以上の設置棒が人工関節カップ 5 0 0 を通して骨盤骨内に前進することができる穴 5 0 6 を備える。骨盤骨内で足場を得ることにより、各設置棒は、骨盤内の所望の位置において人工関節カップ 5 0 0 の固定を補助することができる。

第 1 のレーザーシステム 2 0 0 が生成したレーザービーム A は、照射ヘッド 3 0 0 から、人工関節カップ 5 0 0 の内側表面 5 0 4 の所定の位置へ照射される。さらに、第 2 のレーザーシステム 2 5 0 が生成したレーザービーム B 1 は、照射ヘッド 3 0 0 から、人工関節カップ 5 0 0 の内側表面 5 0 4 の所定の位置へ照射される。

【 0 0 4 9 】

（インプラント設置強度評価装置）

図 1 5 は、第 2 の実施形態のインプラント設置強度評価装置 1 0 0 b の一例を示す図である。

インプラント設置強度評価装置 1 0 0 b は、通信 I / F 1 0 5 と、記憶部 1 1 0 と、操作部 1 2 0 と、情報処理部 1 3 0 b と、表示部 1 4 0 と、前記各構成要素を図 1 1 に示されているように電氣的に接続するためのアドレスバスやデータバスなどのバスライン 1 5

0 とを備える。

記憶部 110 は、例えば、RAM、ROM、HDD、フラッシュメモリ、またはこれらのうち複数が組み合わされたハイブリッド型記憶装置などにより実現される。記憶部 110 には、情報処理部 130b により実行されるプログラム 112 と、導出テーブル 114b とが記憶される。

【0050】

(導出テーブル)

図 16 は、導出テーブルの一例を示す図である。導出テーブル 114b は、ピーク周波数と、引き倒し力とを関連付けたテーブルである。ピーク周波数は、レーザービームによって被評価体 50 を振動させた場合に、その被評価体 50 の振動の周波数スペクトルから取得されるピーク周波数である。引き倒し力は、振動させた被評価体 50 のピーク周波数に関連付けられる引き倒し力である。被評価体 50 のピーク周波数と、引き倒し力との関連付けについては、後述する。図 16 に示される例では、ピーク周波数「a1」と引き倒し力「c1」とが関連付けて記憶されている。

10

【0051】

図 15 に戻り、説明を続ける。情報処理部 130b の全部または一部は、例えば、CPU などのプロセッサが記憶部 110 に格納されたプログラム 112 を実行することにより実現されるソフトウェア機能部である。なお、情報処理部 130b の全部または一部は、LSI、ASIC、または FPGA などのハードウェアにより実現されてもよく、ソフトウェア機能部とハードウェアとの組み合わせによって実現されてもよい。

20

情報処理部 130b は、例えば、取得部 132 と、導出部 134b と、評価部 136b とを備える。

【0052】

導出部 134b は、取得部 132 が出力した被評価体 50 の振動数および振動強度を示す情報に基づいて、被評価体 50 の各振動周波数に対する振動の周波数スペクトルを導出する。導出部 134b は、導出した周波数スペクトルにおいて、振動強度がピークとなるピーク周波数を取得する。具体的には、導出部 134b は、 x を周波数として、周波数スペクトルを表す関数を $f(x)$ とする。導出部 134b は、 $x = 1 \text{ kHz} - 20 \text{ kHz}$ 、より好ましくは、高周波数の振動数の成分は不変であるため $x = 2 \text{ kHz} - 10 \text{ kHz}$ の周波数の範囲を指定する。

30

導出部 134b は、関数 $f(x)$ を x で微分した $df(x)/dx = 0$ と、関数 $f(x)$ を x で二回微分した $d^2f(x)/dx^2 < 0$ とを満たす x とを求める。導出部 134b は、 x を値の小さい方から順に、 $f(n)$ ($n = 0, 1, 2, \dots$) とする。導出部 134b は、 $f(n) > \max f(x) \times C$ ($\max f(x)$ は、 $f(x)$ の最大値を示し、 C は閾値を決定するための任意の定数を示す) を満たす最小の $f(n)$ を取得する。

導出部 134b は、取得したピーク周波数に関連付けられる引き倒し力を、記憶部 110 に記憶された導出テーブル 114b に含まれるピーク周波数と引き倒し力との関連付けから取得する。導出部 134b、取得した引き倒し力を示す情報を、評価部 136b へ出力する。

40

【0053】

評価部 136b は、導出部 134b が出力した引き倒し力を示す情報を取得する。評価部 136b は、取得した引き倒し力が、予め設定される範囲であるか否かを判定する。評価部 136b は、取得した引き倒し力が、予め設定される範囲に含まれる場合には、引き倒し力が適切であるとする評価結果を取得する。評価部 136b は、取得した引き倒し力が、予め設定される範囲に含まれない場合には、引き倒し力が不適切であるとする評価結果を取得する。評価部 136b は、引き倒し力の評価結果を、表示部 140 へ出力する。

表示部 140 は、評価部 136b が出力した引き倒し力の評価結果を取得する。表示部 140 は、取得した引き倒し力の評価結果を表示する。

【0054】

(インプラント設置強度評価装置の動作)

50

図17は、第2の実施形態のインプラント設置強度評価装置の動作の一例を示す図である。ステップS101 - S103と、ステップS106は、図5を参照して、説明したので、ここでの説明は省略する。

(ステップS104b) インプラント設置強度評価装置100bの導出部134bは、取得したピーク周波数に関連付けられる引き倒し力を、記憶部110に記憶された導出テーブル114bから取得する。導出部134bは、取得した引き倒し力を示す情報を、評価部136bへ出力する。

【0055】

(ステップS105b) インプラント設置強度評価装置100bの評価部136bは、導出部134bが出力した引き倒し力を示す情報を取得する。評価部136bは、取得した引き倒し力を示す情報に基づいて、引き倒し力が、予め設定される範囲に含まれる場合には、引き倒し力が適切とする判定結果を取得する。この場合、被評価体50の設置強度が適切と評価される。評価部136bは、取得した引き倒し力が、予め設定される範囲に含まれない場合には、引き倒し力が不適切とする判定結果を取得する。この場合、被評価体50の設置強度が不適切と評価される。評価部136bは、被評価体50の設置強度の評価結果を、表示部140へ出力する。

10

【0056】

図17に示されるインプラント設置強度評価装置の動作によれば、インプラント設置強度評価装置100bは、振動させた被評価体50の振動の周波数スペクトルから、ピーク周波数を取得する。インプラント設置強度評価装置100aは、取得したピーク周波数に関連付けられる引き倒し力を、ピーク周波数と引き倒し力との関連付けから、取得する。インプラント設置強度評価装置100bは、取得した引き倒し力から、被評価体50の設置強度が適切か否かを示す評価結果を取得する。

20

【0057】

(ピーク周波数と、引き倒し力との関連付けの導出例)

ここで、ピーク周波数と、引き倒し力との関連付けの導出例について説明する。

図18は、振動評価システムの一部(例4)を示す図である。インプラント設置強度評価装置100bが、被評価体50の設置強度が適切か否かを評価する処理に先立って、ピーク周波数と、引き倒し力とが関連付けられる。そして、ピーク周波数と、引き倒し力との関連付けが、導出テーブル114bに記憶される。

30

図18に示される振動評価システムでは、異なる力で設置棒が固定された人工関節カップ500の各々にレーザービームを照射することによって、人工関節カップを振動させる。そして、振動評価システムは、振動させた人工関節カップの振動の周波数スペクトルを求め、求めた周波数スペクトルからピーク周波数を取得する。そして、振動評価システムは、取得したピーク周波数と、引き倒し力とを関連付ける。

振動評価システムは、第1のレーザーシステム470と、第2のレーザーシステム410と、第1の反射体420と、第2の反射体480と、第3の反射体495と、人工関節カップ500とを備える。

【0058】

人工関節カップ500の底のボルト穴に設置棒が取り付けられている。

40

第1のレーザーシステム470は、人工関節カップ500に振動を誘起するためのレーザービームAを生成し、生成したレーザービームAを出力する。第1のレーザーシステム470が出力したレーザービームAは、第3の反射体495で反射し、第3の反射体495で反射したレーザービームAは、人工関節カップ500へ照射される。レーザービームAを、人工関節カップ500へ照射することによって、人工関節カップ500は振動する。

第3の反射体495は、第1のレーザーシステム470が出力したレーザービームAが、人工関節カップ500の内側表面504の所定の位置へ照射されるように、その向きが調整されている。具体的には、第1のレーザーシステム470の一例は、Nd:YAGレーザーである。第1のレーザーシステム470が生成するレーザービームの照射エネルギー

50

ーは例えば20mJ - 80mJの範囲内で適宜設定すればよく、典型的には40mJ - 60mJとすればよい。また、レーザー繰り返し周波数は、5Hz - 15Hzである。

【0059】

第2のレーザーシステム410は、人工関節カップ500に誘起された振動を検出するためのレーザービームB1を生成し、生成したレーザービームB1を出力する。第2のレーザーシステム410が出力したレーザービームB1は、第1の反射体420で反射し、第1の反射体420で反射したレーザービームB1は、第2の反射体480で反射し、第2の反射体480で反射したレーザービームは、人工関節カップ500の内側表面504の所定の位置へ照射される。

第1の反射体420は、第2のレーザーシステム410が出力したレーザービームB1が、第2の反射体480へ照射されるように、その向きが調整されている。また、第2の反射体480は、第1の反射体420が反射したレーザービームB1が、人工関節カップ500の内側表面504の所定の位置へ照射されるように、その向きが調整されている。なお、第1の反射体420と、第2の反射体480との距離は、1m程度である。

人工関節カップ500は、第2の反射体480が反射したレーザービームB1を反射する。人工関節カップ500が反射したレーザービームB2は、第2の反射体480で反射され、第2の反射体480で反射したレーザービームB2は、第1の反射体420で反射され、第1の反射体420で反射されたレーザービームB2は、第2のレーザーシステム410へ入力される。

【0060】

図19は、振動評価結果の一例(例4)を示す図である。

図19において、横軸は周波数(Hz)であり、縦軸は振幅(arb. unit)である。図19は、引き倒し力が、1.97Nm、2.25Nm、2.58Nm、3.37Nm、4.80Nm、4.92Nm、5.86Nm、6.47Nm、7.20Nm、および8.78Nmの各々について、周波数と振幅との関係を示す。引き倒し力に限らず、類似する波形が得られている。また、図19において、「」はピークを示す。

【0061】

図20は、引き倒し力とピーク周波数との関連付けの一例を示す図である。図20において、横軸は引き倒し力(Nm)であり、縦軸はピーク周波数(Hz)である。図20には、第2のレーザーシステム410(レーザー振動計)で測定した振動の周波数スペクトルから取得したピーク周波数が示される。図20によれば、引き倒し力と、振動周波数がピークとなるピーク周波数とは、相関関係を有することが分かる。したがって、ピーク周波数を取得することによって、人工関節カップのボルト穴に取り付けられた設置棒の引き倒し力を取得できる。

【0062】

図21は、引き倒し力と重心周波数との関連付けの一例を示す図である。図21において、横軸は引き倒し力(kg)であり、縦軸は重心周波数(Hz)である。図21には、骨(人工骨および人骨)に取り付けられた人工関節カップに設置棒を取り付け、その設置棒を引っ張った場合に人工骨から人工関節カップが外れるときに働く引き倒し力と重心周波数との関係と、献体骨に取り付けられた人工関節カップに設置棒を取り付け、その設置棒を引っ張った場合に献体骨から人工関節カップが外れるときに働く引き倒し力と重心周波数との関係とについて示す。図21によれば、最も生体に近い献体骨を使用した場合でも、人工骨を使用した場合と同様に、引き倒し力と重心周波数とは相関関係を有することが分かる。したがって、重心周波数から、人工関節カップの引き倒し力を推定できる。

人工関節カップに限らず、インプラント450についても、周波数ピークではなく重心周波数を用いて、引き倒し力や埋入トルク、磁気RFAによる測定値(ISQ)の推定が実施されてもよい。

【0063】

前述した第2の実施形態では、インプラント設置強度評価装置100bと第2のレーザーシステム250との間が、有線202によって接続される場合について説明したが、こ

の限りでない。例えば、インプラント設置強度評価装置 100b と第 2 のレーザーシステム 250 との間が、無線によって接続されてもよい。

前述した第 2 の実施形態では、インプラント設置強度評価装置 100b と、第 1 のレーザーシステム 200 と、第 2 のレーザーシステム 250 とが異なる装置である場合について、説明したが、この例に限られない。例えば、第 1 のレーザーシステム 200 と、第 2 のレーザーシステム 250 とが、インプラント設置強度評価装置 100b に含まれてもよい。

前述した第 2 の実施形態では、被評価体 50 の設置強度の指標を示す情報の一例として、引き倒し力を適用した場合について説明をしたが、この限りでない。例えば、被評価体 50 の設置強度の指標を示す情報として、引き倒し力以外の情報が使用されてもよいし、

10

引き倒し力と引き倒し力以外の情報とを組み合わせた情報が使用されてもよい。

前述した第 2 の実施形態では、周波数スペクトルから、振動数がピークとなるピーク周波数を取得する場合について説明したが、この限りでない。例えば、周波数スペクトルから、所定の振動に対応する周波数を取得してもよい。

前述した第 2 の実施形態では、インプラント設置強度評価装置 100b が、引き倒し力が、予め設定される範囲に含まれるか否かを判定し、含まれる場合には引き倒し力が適切とし、含まれない場合には引き倒し力が不適切とする場合について説明したが、この例に限られない。例えば、引き倒し力の値によって、三以上に分類され、分類された引き倒し力について、その状態が示されてもよい。

【0064】

20

少なくとも第 2 の実施形態のインプラント設置強度評価システムによれば、インプラント設置強度評価システムは、レーザービーム A を、被評価体に照射することによって、その被評価体を振動させる。このように構成することによって、非接触で、被評価体を振動させることができる。仮に、RFA で、磁力を用いて、インプラントを振動させることで、共振周波数を取得する場合には、インプラントに磁石を有する治具を設置する必要がある。このため、体内の深部に設置されることがある整形外科インプラントへの応用は難しい。

インプラント設置強度評価システムは、振動している被評価体へ、レーザービーム B 1 を照射し、そのレーザービーム B 1 が被評価体で反射したレーザービーム B 2 に基づいて、被評価体の振動の周波数スペクトルを導出する。このように構成することによって、加

30

速度センサーなどの装置を、被評価体に取り付けることなく非接触で、被評価体の振動の周波数スペクトルを導出できる。

インプラント設置強度評価システムは、導出した周波数スペクトルから、ピーク周波数を取得し、取得したピーク周波数に関連付けられる引き倒し力を取得する。このように構成することによって、被評価体と、その被評価体に取り付けられている設置棒との間の隙間や、その土台の強度とを反映した引き倒し力を取得できる。そして、引き倒し力に基づいて、被評価体 50 の設置強度が適切か否かを示す評価結果を取得できる。

インプラント設置強度評価システムは、無侵襲的であり、繰り返し可能であり、検者内、検者間のばらつきを小さくできる。インプラント設置強度評価システムは、インプラントに磁石を有する治具を設置する必要がないため、手術中に、インプラントの設置強度を

40

【0065】

(変形例 1)

前述した第 1 の実施形態と、第 2 の実施形態では、振動している被評価体へ、レーザービーム B 1 を照射し、そのレーザービーム B 1 が被評価体 50 で反射したレーザービーム B 2 に基づいて、被評価体 50 の振動の周波数スペクトルを導出する場合について説明した。変形例のインプラント設置強度評価システムでは、被評価体 50 の振動を、加速度センサーによって検出するようにしたものである。

50

【 0 0 6 6 】

図 2 2 は、変形例のインプラント設置強度評価システムの一例（例 5）を示す図である。

変形例のインプラント設置強度評価システムは、第 1 のレーザーシステム 4 7 0 と、レンズ 4 3 0 と、加速度センサー 4 4 0 と、インプラント 4 5 0 と、人工骨 4 6 0 とを備える。

人工骨 4 6 0 にインプラント 4 5 0 が、埋め込まれている。

第 1 のレーザーシステム 4 7 0 は、インプラント 4 5 0 に振動を誘起するためのレーザービームを生成し、生成したレーザービームを照射する。レンズ 4 3 0 は、第 1 のレーザーシステム 4 7 0 が照射したレーザービームを集光する。レンズ 4 3 0 が集光したレーザービームは、インプラント 4 5 0 の根元へ照射される。レーザービームを、インプラント 4 5 0 の根元へ照射することによって、インプラント 4 5 0 は振動する。具体的には、第 1 のレーザーシステム 4 7 0 の一例は、Nd : YAG レーザーであり、レーザーエネルギーは、例えば 1 0 m J - 3 0 m J の範囲内で適宜設定すればよく、典型的には 1 5 m J - 2 5 m J である。また、レーザー繰り返し周波数は、5 H z - 1 5 H z である。スペクトル平均回数は、1 0 0 回 - 1 5 0 回である。

【 0 0 6 7 】

加速度センサー 4 4 0 は、インプラント 4 5 0 の頭部に取り付けられ、インプラント 4 5 0 に生じる加速度を検出する。加速度センサー 4 4 0 は、検出した加速度を示す情報を、インプラント設置強度評価装置の通信 I / F へ出力する。

インプラント設置強度評価装置は、インプラント設置強度評価装置 1 0 0 a を適用できる。ただし、取得部 1 3 2 は、通信 I / F 1 0 5 が出力する被評価体 5 0 に生じた加速度を示す情報を取得する。取得部 1 3 2 は、取得した被評価体 5 0 に生じた加速度を示す情報を、導出部 1 3 4 a へ出力する。導出部 1 3 4 a は、取得部 1 3 2 が出力した被評価体 5 0 に生じた加速度を示す情報に基づいて、被評価体 5 0 の各振動周波数に対する振動数および振動強度の周波数スペクトルを導出する。

図 2 2 に示されるインプラント設置強度評価装置の動作によれば、インプラント設置強度評価装置 1 0 0 a は、振動させた被評価体 5 0 の振動数および振動強度の周波数スペクトルから、ピーク周波数を取得する。インプラント設置強度評価装置 1 0 0 a は、取得したピーク周波数に関連付けられる埋入トルクを、ピーク周波数と埋入トルクとの関連付けから、取得する。インプラント設置強度評価装置 1 0 0 a は、取得した埋入トルクから、被評価体 5 0 の設置強度が適切か否かを示す評価結果を取得する。このように構成することによって、前述した第 1 の実施形態と、第 2 の実施形態と同様に、非接触で、インプラントの設置強度の評価結果を取得できる。

【 0 0 6 8 】

（変形例 2）

前述した第 1 の実施形態と、第 2 の実施形態では、振動している被評価体へ、レーザービーム B 1 を照射し、そのレーザービーム B 1 が被評価体 5 0 で反射したレーザービーム B 2 に基づいて、被評価体 5 0 の振動数および振動強度の周波数スペクトルを導出する場合について説明した。変形例のインプラント設置強度評価システムでは、振動している被評価体 5 0 によって、生じる音を検出することによって、被評価体の振動の周波数スペクトルを導出するようにしたものである。被評価体 5 0 が振動することによって、空気が振動し、空気が振動することによって、音が生じる。インプラント設置強度評価システムは、この音を検出する。

【 0 0 6 9 】

図 2 3 は、変形例のインプラント設置強度評価システムの一例（例 6）を示す図である。

変形例のインプラント設置強度評価システムは、第 1 のレーザーシステム 4 7 0 と、レンズ 4 3 0 と、インプラント 4 5 0 と、人工骨 4 6 0 と、マイクロフォン 4 9 0 とを備える。

人工骨 460 にインプラント 450 が、埋め込まれている。

第 1 のレーザーシステム 470 は、インプラント 450 に振動を誘起するためのレーザービームを生成し、生成したレーザービームを照射する。レンズ 430 は、第 1 のレーザーシステム 470 が照射したレーザービームを集光する。レンズ 430 が集光したレーザービームは、インプラント 450 の根元へ照射される。レーザービームを、インプラント 450 の根元へ照射することによって、インプラント 450 は振動する。具体的には、第 1 のレーザーシステム 470 の一例は、Nd : YAG レーザーであり、レーザーエネルギーは、例えば 10 mJ - 30 mJ の範囲内で適宜設定すればよく、典型的には、15 mJ - 25 mJ である。また、レーザー繰り返し周波数は、5 Hz - 15 Hz である。スペクトル平均回数は、100 回 - 150 回である。

10

【0070】

マイクロフォン 490 は、被評価体 50 が振動することによって生じる音を検出する。マイクロフォン 490 は、検出した音を示す情報を、インプラント設置強度評価装置の通信 I / F へ出力する。

インプラント設置強度評価装置は、インプラント設置強度評価装置 100 a を適用できる。ただし、取得部 132 は、通信 I / F 105 が出力する被評価体 50 が振動することによって、生じた音を示す情報を取得する。取得部 132 は、取得した被評価体 50 が振動することによって生じた音を示す情報を、導出部 134 a へ出力する。導出部 134 a は、取得部 132 が出力した被評価体 50 が振動することによって生じた音を示す情報に基づいて、被評価体 50 の各振動周波数に対する振動数および振動強度の周波数スペクトルを導出する。

20

【0071】

図 23 に示されるインプラント設置強度評価装置の動作によれば、インプラント設置強度評価装置 100 a は、振動させた被評価体 50 の振動の周波数スペクトルから、ピーク周波数を取得する。インプラント設置強度評価装置 100 a は、取得したピーク周波数に関連付けられる埋入トルクを、ピーク周波数と埋入トルクとの関連付けから、取得する。インプラント設置強度評価装置 100 a は、取得した埋入トルクから、被評価体 50 の設置強度が適切か否かを示す評価結果を取得する。このように構成することによって、前述した第 1 の実施形態と、第 2 の実施形態と同様に、非接触で、インプラントの設置強度の評価結果を取得できる。

30

【0072】

前述した第 1 の実施形態と、第 2 の実施形態では、被評価体 50 へ、レーザービーム A を照射することによって、その被評価体を振動させる場合について説明したが、この例に限られない。例えば、ウォータージェットなどを適用することによって、被評価体 50 へ、水流を加えることによって、その被評価体に力を加えて、振動させるようにしてもよい。また、例えば、ハンマー、振り子などによって、物理的な打撃を、被評価体 50 へ、加えることによって、その被評価体に力を加えて、振動させるようにしてもよい。これらの場合、振動している被評価体 50 へ、レーザービーム B1 を照射し、そのレーザービーム B1 が被評価体 50 で反射したレーザービーム B2 に基づいて、被評価体 50 の振動の周波数スペクトルを導出するようにしてもよいし、マイクロフォンによって、振動している被評価体 50 によって空気が振動することによって生じる音を検出してもよいし、加速度センサーによって、被評価体 50 の振動の周波数スペクトルを導出するようにしてもよい。

40

【0073】

以上、本発明の実施形態を説明したが、これらの実施形態は、例として提示したものであり、発明の範囲を限定することは意図していない。これら実施形態は、その他の様々な形態で実施されることが可能であり、発明の要旨を逸脱しない範囲で、種々の省略、置き換え、変更、組み合わせを行うことができる。これら実施形態及びその変形例は、発明の範囲や要旨に含まれると同時に、特許請求の範囲に記載された発明とその均等の範囲に含まれるものである。

50

なお、前述のインプラント設置強度評価装置 100 a、及びインプラント設置強度評価装置 100 b は内部にコンピューターを有している。そして、前述した各装置の各処理の過程は、プログラムの形式でコンピューター読み取り可能な記録媒体に記憶されており、このプログラムをコンピューターが読み出して実行することによって、上記処理が行われる。ここでコンピューター読み取り可能な記録媒体とは、磁気ディスク、光磁気ディスク、CD-ROM、DVD-ROM、半導体メモリなどをいう。また、このコンピュータープログラムを通信回線によってコンピューターに配信し、この配信を受けたコンピューターが当該プログラムを実行するようにしてもよい。

また、上記プログラムは、前述した機能の一部を実現するためのものであってもよい。さらに、前述した機能をコンピューターシステムにすでに記録されているプログラムとの組み合わせで実現できるもの、いわゆる差分ファイル（差分プログラム）であってもよい。

10

前述した実施形態において、第1のレーザーシステムは振動誘起部の一例であり、第2のレーザーシステムは測定部の一例であり、レーザービーム A は第一のレーザービームの一例であり、レーザービーム B は第二のレーザービームの一例である。

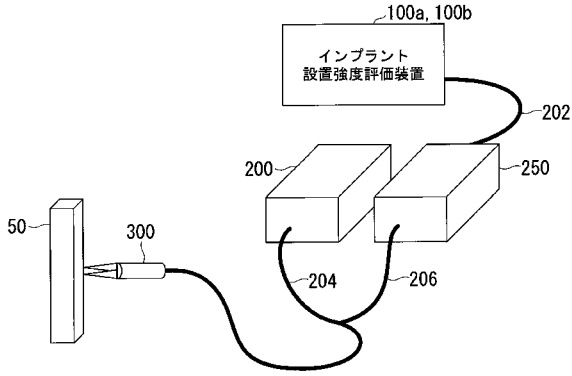
【符号の説明】

【0074】

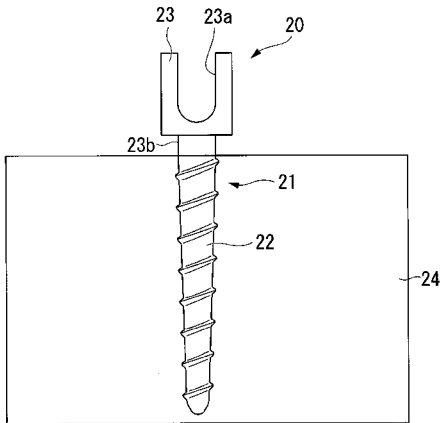
20、450 ... インプラント、 21 ... 本体、 22 ... ネジ部、 23 ... 頭部、 23 a ... 横穴、 23 b ... 根元、 24 ... 骨、 50 ... 被評価体、 100 a、100 b ... インプラント設置強度評価装置、 105 ... 通信 I/F、 110 ... 記憶部、 112 ... プログラム、 114 a、114 b ... 導出テーブル、 120 ... 操作部、 130 a、130 b ... 情報処理部、 132 ... 取得部、 134 a、134 b ... 導出部、 136 a、136 b ... 評価部、 140 ... 表示部、 150 ... バスライン、 200、470 ... 第1のレーザーシステム、 202 ... 有線、 204、206、208 ... 光ファイバー、 250、410 ... 第2のレーザーシステム、 300 ... 照射ヘッド、 420 ... 第1の反射体、 430 ... レンズ、 440 ... 加速度センサー、 460 ... 人工骨、 480 ... 第2の反射体、 490 ... マイクロフォン、 495 ... 第3の反射体、 500 ... 人工関節カップ、 502 ... 外側表面、 504 ... 内側表面、 506 ... 穴、 510 ... プローブ

20

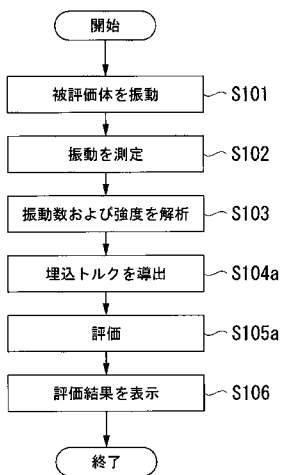
【 図 1 】



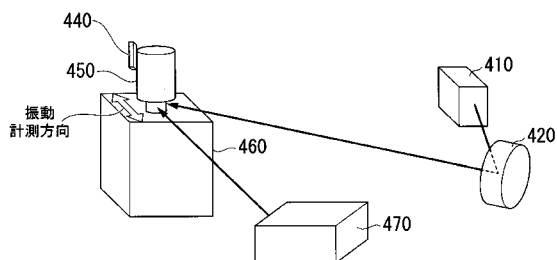
【 図 2 】



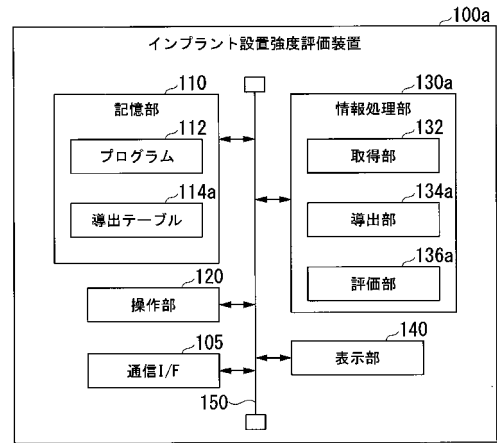
【 図 5 】



【 図 6 】



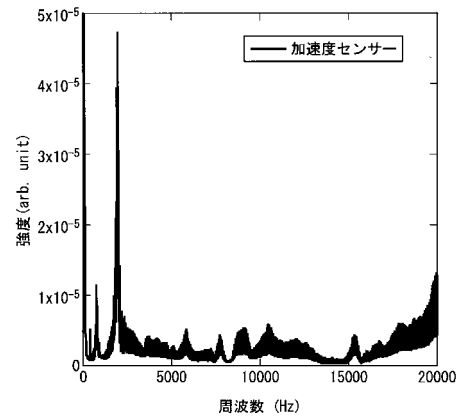
【 図 3 】



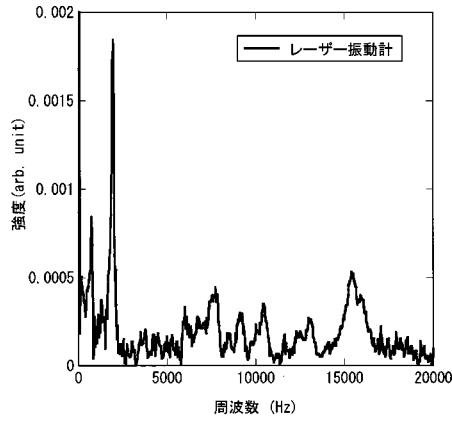
【 図 4 】

ピーク周波数	埋込トルク
a1	b1
a2	b2
a3	b3
...	...

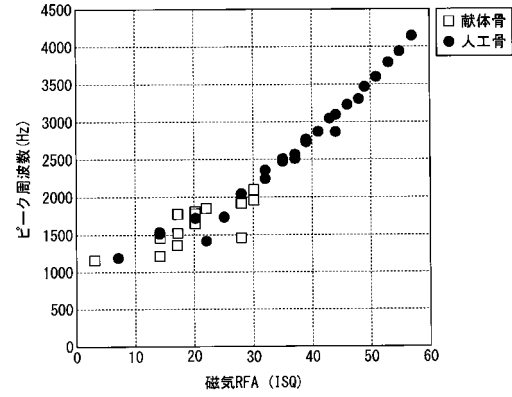
【 図 7 A 】



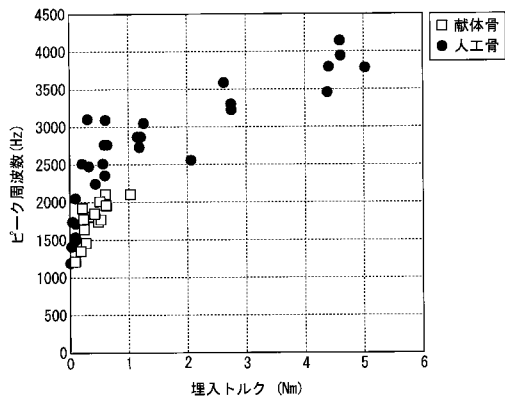
【 図 7 B 】



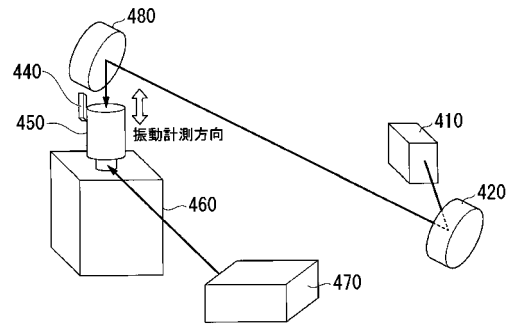
【 図 9 】



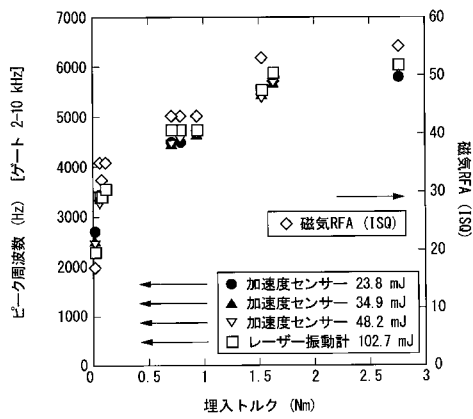
【 図 8 】



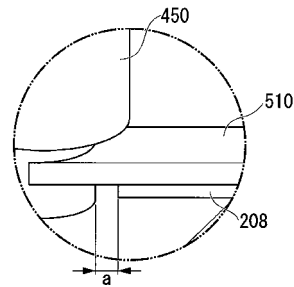
【 図 10 】



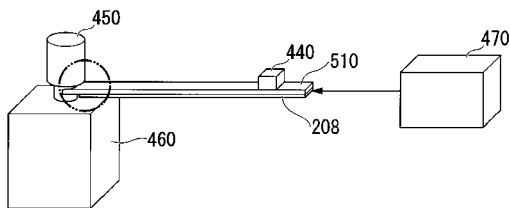
【 図 11 】



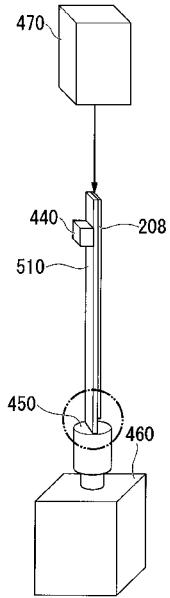
【 図 12 B 】



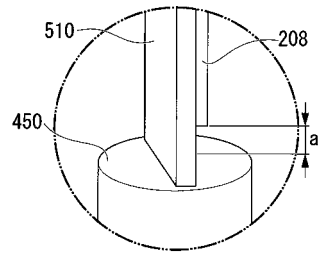
【 図 12 A 】



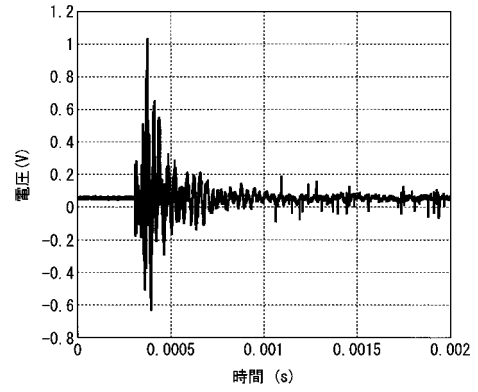
【図12C】



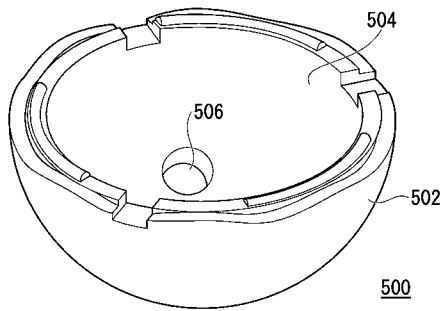
【図12D】



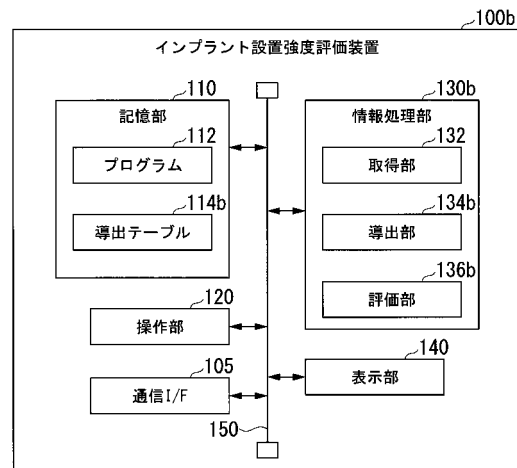
【図13】



【図14】



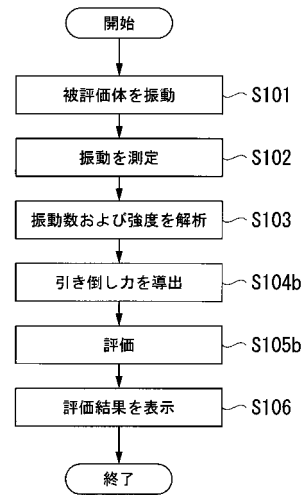
【図15】



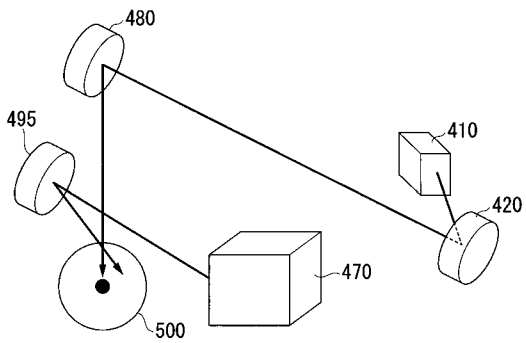
【 図 1 6 】

ピーク周波数	引き倒し力
a1	c1
a2	c2
a3	c3
...	...

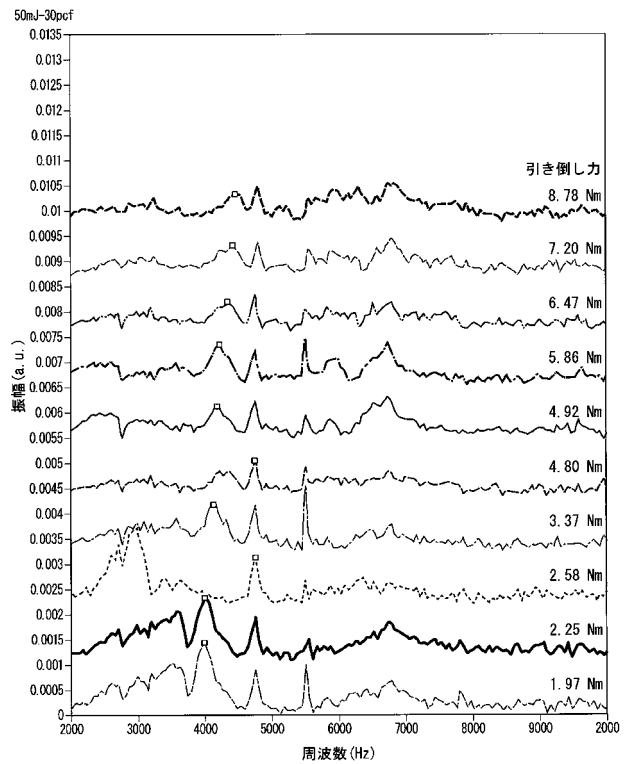
【 図 1 7 】



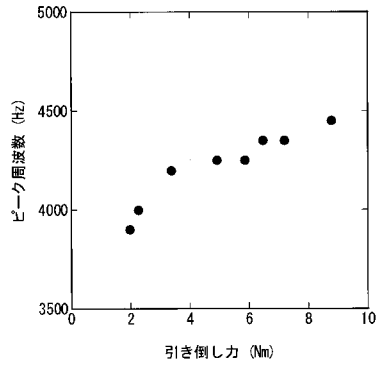
【 図 1 8 】



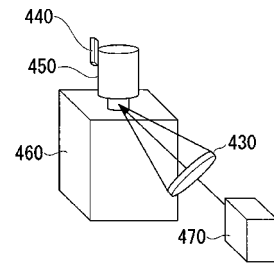
【 図 1 9 】



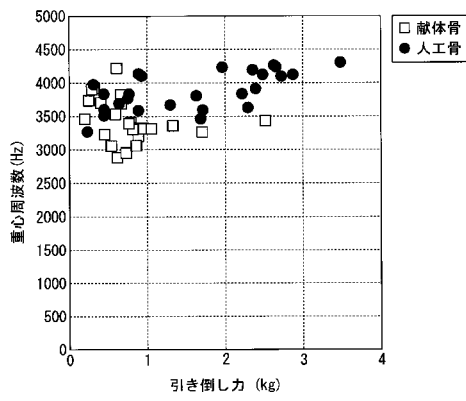
【 図 2 0 】



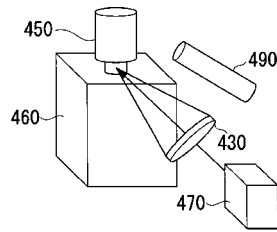
【 図 2 2 】



【 図 2 1 】



【 図 2 3 】



【国際調査報告】

INTERNATIONAL SEARCH REPORT		International application No. PCT/JP2018/033978
A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER Int.Cl. A61C8/00(2006.01)i, A61F2/28(2006.01)i, A61F2/30(2006.01)i		
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
B. FIELDS SEARCHED		
Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) Int.Cl. A61C8/00, A61F2/28, A61F2/30, A61F2/02, G01H13/00		
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched		
Published examined utility model applications of Japan		1922-1996
Published unexamined utility model applications of Japan		1971-2018
Registered utility model specifications of Japan		1996-2018
Published registered utility model applications of Japan		1994-2018
Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X Y	JP 2017-144061 A (KEIO GIJUKU) 24 August 2017, paragraphs [0019]-[0028], [0041], [0055], [0057], fig. 3 (Family: none)	1-6, 8-9, 15 7, 10-14, 16-17
Y	JP 2009-156700 A (CANON INC.) 16 July 2009, claim 1 (Family: none)	7, 12, 14, 16-17
Y	WO 2015/59956 A1 (NEC CORP.) 30 April 2015, paragraphs [0020]-[0021] (Family: none)	10, 12, 14, 16-17
<input checked="" type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input type="checkbox"/> See patent family annex.		
* Special categories of cited documents: "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance "E" earlier application or patent but published on or after the international filing date "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed "T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art "&" document member of the same patent family		
Date of the actual completion of the international search 05 December 2018 (05.12.2018)		Date of mailing of the international search report 18 December 2018 (18.12.2018)
Name and mailing address of the ISA/ Japan Patent Office 3-4-3, Kasumigaseki, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8915, Japan		Authorized officer Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2018/033978

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 2013-72688 A (MITSUBISHI HEAVY INDUSTRIES, LTD.) 22 April 2013, claim 1, paragraph [0025], fig. 2 (Family: none)	11, 13
A	JP 2006-527627 A (INTEGRATION DIAGNOSTICS LTD.) 07 December 2006, entire text, all drawings & US 2011/0200965 A1 & WO 2004/110272 A1 & EP 1641394 A1 & KR 10-2006-0067926 A	1-17

国際調査報告		国際出願番号 PCT/J P 2 0 1 8 / 0 3 3 9 7 8	
A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC)) Int.Cl. A61C8/00(2006.01)i, A61F2/28(2006.01)i, A61F2/30(2006.01)i			
B. 調査を行った分野 調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC)) Int.Cl. A61C8/00, A61F2/28, A61F2/30, A61F2/02, G01H13/00			
最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの 日本国実用新案公報 1922-1996年 日本国公開実用新案公報 1971-2018年 日本国実用新案登録公報 1996-2018年 日本国登録実用新案公報 1994-2018年			
国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)			
C. 関連すると認められる文献			
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号	
X Y	JP 2017-144061 A (学校法人慶應義塾) 2017.08.24, [0019]-[0028], [0041], [0055], [0057], 図3 (ファミリーなし)	1-6, 8-9, 15 7, 10-14, 16-17	
Y	JP 2009-156700 A (キヤノン株式会社) 2009.07.16, 請求項1 (ファミリーなし)	7, 12, 14, 16-17	
Y	WO 2015/59956 A1 (日本電気株式会社) 2015.04.30, [0020]-[0021] (ファミリーなし)	10, 12, 14, 16-17	
☑ C欄の続きにも文献が列挙されている。		☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。	
* 引用文献のカテゴリー 「A」 特に関連のある文献ではなく、一般的な技術水準を示すもの 「E」 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの 「L」 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す) 「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献 「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願		の日の後に公表された文献 「T」 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの 「X」 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの 「Y」 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの 「&」 同一パテントファミリー文献	
国際調査を完了した日 05.12.2018		国際調査報告の発送日 18.12.2018	
国際調査機関の名称及びあて先 日本国特許庁 (ISA/J P) 郵便番号100-8915 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号		特許庁審査官 (権限のある職員) 細川 翔多 電話番号 03-3581-1101 内線 3386	31 5271

国際調査報告		国際出願番号 PCT/JP2018/033978
C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
Y	JP 2013-72688 A (三菱重工業株式会社) 2013.04.22, 請求項 1, [0025], 図 2 (ファミリーなし)	11, 13
A	JP 2006-527627 A (インテグレイション・ダイアグノステイツクス・ リミテッド) 2006.12.07, 全文、全図 & US 2011/0200965 A1 & WO 2004/110272 A1 & EP 1641394 A1 & KR 10-2006-0067926 A	1-17

フロントページの続き

(81) 指定国・地域 AP(BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), EA(AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), EP(AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OA(BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG), AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT

(74) 代理人 100181722

弁理士 春田 洋孝

(74) 代理人 100188592

弁理士 山口 洋

(72) 発明者 中島 大輔

東京都新宿区信濃町 3 5 番地 慶應義塾大学 医学部内

(72) 発明者 名倉 武雄

東京都新宿区信濃町 3 5 番地 慶應義塾大学 医学部内

(72) 発明者 錦野 将元

京都府木津川市梅美台八丁目 1 番地 7 国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構 関西光科学研究所内

(72) 発明者 長谷川 登

京都府木津川市梅美台八丁目 1 番地 7 国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構 関西光科学研究所内

(72) 発明者 三上 勝大

京都府木津川市梅美台八丁目 1 番地 7 国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構 関西光科学研究所内

(72) 発明者 北村 俊幸

京都府木津川市梅美台八丁目 1 番地 7 国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構 関西光科学研究所内

(72) 発明者 近藤 修司

京都府木津川市梅美台八丁目 1 番地 7 国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構 関西光科学研究所内

(72) 発明者 岡田 大

京都府木津川市梅美台八丁目 1 番地 7 国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構 関西光科学研究所内

(72) 発明者 島田 義則

大阪府大阪市西区靱本町一丁目 8 番 4 号 公益財団法人レーザー技術総合研究所内

F ターム(参考) 4C097 AA01 BB10

4C159 AA01 AA51

(注) この公表は、国際事務局(WIPO)により国際公開された公報を基に作成したものである。なおこの公表に係る日本語特許出願(日本語実用新案登録出願)の国際公開の効果は、特許法第184条の10第1項(実用新案法第48条の13第2項)により生ずるものであり、本掲載とは関係ありません。