

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第4499270号  
(P4499270)

(45) 発行日 平成22年7月7日(2010.7.7)

(24) 登録日 平成22年4月23日(2010.4.23)

(51) Int. Cl. F I  
**GO 1 N 21/17 (2006.01)** GO 1 N 21/17 6 2 5  
**A 6 1 B 10/00 (2006.01)** A 6 1 B 10/00 E

請求項の数 7 (全 14 頁)

(21) 出願番号	特願2000-331247 (P2000-331247)	(73) 特許権者	000236436
(22) 出願日	平成12年10月30日 (2000.10.30)		浜松ホトニクス株式会社
(65) 公開番号	特開2002-139420 (P2002-139420A)		静岡県浜松市東区市野町1126番地の1
(43) 公開日	平成14年5月17日 (2002.5.17)	(74) 代理人	100088155
審査請求日	平成19年5月29日 (2007.5.29)		弁理士 長谷川 芳樹
		(74) 代理人	100089978
			弁理士 塩田 辰也
		(74) 代理人	100092657
			弁理士 寺崎 史朗
		(72) 発明者	山下 豊
			静岡県浜松市市野町1126番地の1 浜
			松ホトニクス株式会社内
		(72) 発明者	三輪 光春
			静岡県浜松市市野町1126番地の1 浜
			松ホトニクス株式会社内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 散乱吸収体計測装置の校正方法、及びそれを用いた散乱吸収体計測装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

所定波長のパルス光を散乱吸収体に対して光入射位置から入射する光入射手段と、  
 前記散乱吸収体の内部を伝播した前記所定波長のパルス光を光検出位置で検出して光検出信号を取得する光検出手段と、

前記光検出信号に基づいて、光強度の時間変化を示す計測波形を取得する信号処理手段と、

を備える散乱吸収体計測装置に対して用いられる校正方法であって、

校正用の散乱吸収体に対して、前記光入射手段から前記所定波長のパルス光を入射し、前記校正用の散乱吸収体の内部を伝播した前記所定波長のパルス光を前記光検出手段で検出して、前記信号処理手段で前記計測波形を取得する校正用計測を行うとともに、

前記校正用計測で取得された前記計測波形と、前記校正用の散乱吸収体の既知の光学パラメータから予測してあらかじめ用意された理論波形とに対して比較演算を行って、前記計測波形に重畳されている装置関数を分離して、時間波形として前記装置関数を算出することを特徴とする散乱吸収体計測装置の校正方法。

【請求項2】

前記光入射手段または前記光検出手段の少なくとも一方が複数であるとともに、

前記光入射手段と前記光検出手段との複数の組み合わせのそれぞれに対して、前記装置関数を別個に算出することを特徴とする請求項1記載の散乱吸収体計測装置の校正方法。

【請求項3】

前記装置関数の算出において、初期値となる装置関数の時間波形を仮定し、その装置関数及び前記理論波形をコンボリューションした時間波形と、前記校正用計測で得られた前記計測波形との差が小さくなるように、装置関数を変形していくことによって、前記装置関数を算出することを特徴とする請求項 1 または 2 記載の散乱吸収体計測装置の校正方法

。

【請求項 4】

所定波長のパルス光を散乱吸収体に対して光入射位置から入射する光入射手段と、  
前記散乱吸収体の内部を伝播した前記所定波長のパルス光を光検出位置で検出して光検出信号を取得する光検出手段と、

前記光検出信号に基づいて、光強度の時間変化を示す計測波形を取得する信号処理手段と、

前記計測波形に対して解析演算を行って、前記散乱吸収体の内部情報を算出する演算処理手段と、

を備えるとともに、

前記演算処理手段は、

前記計測波形に重畳される装置関数を算出するために、校正用の散乱吸収体に対して行われる校正用計測に対して、前記校正用計測で取得された前記計測波形と、前記校正用の散乱吸収体の既知の光学パラメータから予測してあらかじめ用意された理論波形とに対して比較演算を行って、前記計測波形に重畳されている前記装置関数を分離して、時間波形として前記装置関数を算出する装置関数算出手段を有することを特徴とする散乱吸収体計測装置。

【請求項 5】

前記光入射手段または前記光検出手段の少なくとも一方を複数備えるとともに、

前記装置関数算出手段は、前記光入射手段と前記光検出手段との複数の組み合わせのそれぞれに対して、前記装置関数を別個に算出することを特徴とする請求項 4 記載の散乱吸収体計測装置。

【請求項 6】

前記光入射手段及び前記光検出手段を同数備えるとともに、

複数の前記光入射手段及び前記光検出手段のそれぞれが、前記光入射手段及び前記光検出手段をそれぞれ組として、組ごとに略同一の位置に設置されていることを特徴とする請求項 5 記載の散乱吸収体計測装置。

【請求項 7】

前記装置関数算出手段は、前記装置関数の算出において、初期値となる装置関数の時間波形を仮定し、その装置関数及び前記理論波形をコンボリューションした時間波形と、前記校正用計測で得られた前記計測波形との差が小さくなるように、装置関数を変形していくことによって、前記装置関数を算出することを特徴とする請求項 4 ~ 6 のいずれか一項記載の散乱吸収体計測装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、生体などの散乱吸収体の内部情報を計測するための散乱吸収体計測装置の校正方法、及びそれを用いた散乱吸収体計測装置に関するものである。

【0002】

【従来の技術】

生体などの散乱吸収体の内部情報を計測する方法として、散乱吸収体の内部を伝播したパルス光を用いる計測方法及び装置が提案されている。このような計測方法及び装置においては、計測対象となる散乱吸収体に対して、所定の光入射位置からパルス光を入射する。そして、散乱吸収体の内部を散乱されつつ伝播されたパルス光を光検出位置で検出し、その検出された光強度の時間変化を示す計測波形から、散乱吸収体の内部情報を取得する（例えば、特開平 10 - 26585 号公報参照）。

10

20

30

40

50

## 【0003】

近年、近赤外光を用いた生体計測などの散乱吸収体の内部情報計測は、光拡散方程式などを用いた解析演算の導入により、従来の定性的な計測から、散乱吸収体に含まれる各成分の濃度などを決定する定量的な計測へと移行しつつある。このような定量的な計測は、例えば、検出光の時間分解波形を利用する時間分解計測法（TRS法：Time Resolved Spectroscopy）、あるいは、変調光を利用する位相変調計測法（PMS法：Phase Modulation Spectroscopy）などによる解析演算を適用することによって行われる。

## 【0004】

## 【発明が解決しようとする課題】

上記したTRS法またはPMS法などによる解析演算を実行して、散乱吸収体の内部情報を定量的に計測する場合、内部情報を正確に定量するためには、検出された光の計測波形に対する装置関数の影響を考慮する必要がある。

10

## 【0005】

すなわち、上記した散乱吸収体計測では、散乱吸収体での光の伝播によって生じる時間遅れ  $T$  や時間分散、あるいはさらに位相遅れなどの時間応答を含む計測波形から、解析演算によってその内部情報を取得する。一方、散乱吸収体にパルス光を入射するための光入射系、及び散乱吸収体からのパルス光を検出して計測波形を取得するための光検出系などの計測装置各部に用いられている各装置や回路は、装置自体の時間応答である装置関数として、それぞれに時間遅れ  $t$  や時間分散などを生じる。

## 【0006】

このとき、散乱吸収体計測で実際に得られる計測波形は、散乱吸収体での時間応答によって生成される理想的な計測波形（理想波形）に対して、上記した各装置や回路の時間応答に起因する装置関数が重畳されたものとなる。したがって、計測波形に対してそのまま解析演算を実行すると、装置関数の影響によって、内部情報を正確に定量することができない。

20

## 【0007】

このような装置関数の影響を除去する方法として、散乱吸収体を用いない状態であらかじめ校正用計測を行って、装置関数を取得しておく方法がある。具体的には、例えば、散乱吸収体への光の入射及び検出に用いられる光入射用ファイバ及び光検出用ファイバを、通常設置されている位置（光入射位置及び光検出位置）から取り外し、その先端同士を直接またはNDフィルタや拡散板を介して突き合わせて、校正用計測を行う方法がある。

30

## 【0008】

このような校正用計測では、得られる計測波形はほぼ装置の時間応答のみを示すので、これによって装置関数を事前に算出しておけば、散乱吸収体計測から装置関数の影響を除去することが可能となる。しかしながら、上記した校正方法では、校正用計測を行うときに、光入射用ファイバ及び光検出用ファイバを組み合わせごとに設置し直して校正用計測を行わなければならない。したがって、計測装置の校正に付加的な作業が必要となり、校正作業の効率が低下するという問題があった。

## 【0009】

特に、散乱吸収体の断層図面を取得する光CT装置などにおいては、散乱吸収体に対して多数の光入射用ファイバ及び光検出用ファイバが設置される。このとき、上記した校正用計測の方法では、装置関数の校正が必要な光入射用ファイバ及び光検出用ファイバの組み合わせが膨大となるため、上記した校正用計測を実行するために過大な作業が必要となる。

40

## 【0010】

本発明は、以上の問題点に鑑みてなされたものであり、校正用計測及び装置関数の算出を容易に実行可能な散乱吸収体計測装置の校正方法、及びそれを用いた散乱吸収体計測装置を提供することを目的とする。

## 【0011】

## 【課題を解決するための手段】

50

このような目的を達成するために、本発明による散乱吸収体計測装置の校正方法は、所定波長のパルス光を散乱吸収体に対して光入射位置から入射する光入射手段と、散乱吸収体の内部を伝播した所定波長のパルス光を光検出位置で検出して光検出信号を取得する光検出手段と、光検出信号に基づいて、光強度の時間変化を示す計測波形を取得する信号処理手段と、を備える散乱吸収体計測装置に対して用いられる校正方法であって、校正用の散乱吸収体に対して、光入射手段から所定波長のパルス光を入射し、校正用の散乱吸収体の内部を伝播した所定波長のパルス光を光検出手段で検出して、信号処理手段で計測波形を取得する校正用計測を行うとともに、校正用計測で取得された計測波形と、校正用の散乱吸収体の既知の光学パラメータから予測してあらかじめ用意された理論波形とに対して比較演算を行って、計測波形に重畳されている装置関数を分離して、時間波形として装置関数を算出することを特徴とする。

10

## 【0012】

また、本発明による散乱吸収体計測装置は、所定波長のパルス光を散乱吸収体に対して光入射位置から入射する光入射手段と、散乱吸収体の内部を伝播した所定波長のパルス光を光検出位置で検出して光検出信号を取得する光検出手段と、光検出信号に基づいて、光強度の時間変化を示す計測波形を取得する信号処理手段と、計測波形に対して解析演算を行って、散乱吸収体の内部情報を算出する演算処理手段と、を備えるとともに、演算処理手段は、計測波形に重畳される装置関数を算出するために、校正用の散乱吸収体に対して行われる校正用計測に対して、校正用計測で取得された計測波形と、校正用の散乱吸収体の既知の光学パラメータから予測してあらかじめ用意された理論波形とに対して比較演算を行って、計測波形に重畳されている装置関数を分離して、時間波形として装置関数を算出する装置関数算出手段を有することを特徴とする。

20

## 【0013】

上記した散乱吸収体計測装置の校正方法、及びそれを用いた散乱吸収体計測装置においては、光入射手段及び光検出手段を、校正用の散乱吸収体に対してパルス光の入射及び検出を行うことが可能な光入射位置及び光検出位置となる設置位置を保持したまま校正用計測を行っている。これによって、計測装置の校正を行う際に、光入射手段及び光検出手段を組み合わせごとに設置し直すなどの付加的な作業が不要となるので、校正作業の効率向上される。

## 【0014】

ここで、校正用の散乱吸収体を用いて計測装置の校正を行った場合、装置関数による時間波形を直接に計測することはできなくなる。これに対して、上記の校正方法では、光学パラメータが既知の散乱吸収体である校正用の散乱吸収体を用いるとともに、それらの既知の光学パラメータから予測した理論波形をあらかじめ用意することとしている。これによって、校正用計測で得られた計測波形と理論波形との比較演算から、装置関数を分離算出することが可能となる。以上より、校正用計測及び装置関数の算出を容易に実行可能な散乱吸収体計測装置の校正方法、及びそれを用いた散乱吸収体計測装置が実現される。

30

## 【0015】

また、散乱吸収体計測装置の校正方法は、光入射手段または光検出手段の少なくとも一方が複数であるとともに、光入射手段と光検出手段との複数の組み合わせのそれぞれに対して、装置関数を別個に算出することを特徴とする。

40

## 【0016】

同様に、散乱吸収体計測装置は、光入射手段または光検出手段の少なくとも一方を複数備えるとともに、装置関数算出手段は、光入射手段と光検出手段との複数の組み合わせのそれぞれに対して、装置関数を別個に算出することを特徴とする。

## 【0017】

光CT装置など、多数の光入射手段及び光検出手段を備える散乱吸収体計測装置においては、上記のように、それぞれの光入射手段及び光検出手段の組み合わせごとに、別個に装置関数を算出することが必要である。このような場合においても、上記した校正方法及び計測装置によれば、すべての組み合わせに対して、付加的な作業を必要とせずに容易に校

50

正用計測及び装置関数の算出を実行することが可能となる。

【0018】

また、散乱吸収体計測装置は、光入射手段及び光検出手段を同数備えるとともに、複数の光入射手段及び光検出手段のそれぞれが、光入射手段及び光検出手段をそれぞれ組として、組ごとに略同一の位置に設置されていることを特徴としても良い。

【0019】

このような構成は、光CT装置などにおいて多く用いられているが、この場合、光入射手段及び光検出手段ともに多数となるため、その組み合わせが膨大となる。これに対して、上記した校正方法及び計測装置を適用することによって、その校正作業を大幅に効率化することが可能となる。また、これ以外にも、様々な構成の散乱吸収体計測装置に対して、

10

【0020】

【発明の実施の形態】

以下、図面とともに本発明による散乱吸収体計測装置の校正方法、及びそれを用いた散乱吸収体計測装置の好適な実施形態について詳細に説明する。なお、図面の説明においては同一要素には同一符号を付し、重複する説明を省略する。また、図面の寸法比率は、説明のものとは必ずしも一致していない。

【0021】

図1は、計測対象である散乱吸収体SM (Scattering Medium) の散乱係数、吸収係数、含まれている各成分の濃度などの内部情報を取得するために用いられる散乱吸収体計測装置の一実施形態の構成を概略的に示すブロック図である。この散乱吸収体計測装置は、後述する本発明による散乱吸収体計測装置の校正方法を適用可能に構成されている。

20

【0022】

この計測装置は、内部情報の計測に用いるパルス光を散乱吸収体SMに対して入射するための光入射用光ガイド40aを備えている。光ガイド40aは、その出力端が、散乱吸収体SMの表面上の光入射位置Aとなるように設置されている。また、光ガイド40aの入力端には、波長選択器21を介して光源20が光学的に接続されており、これらの光ガイド40a、光源20、及び波長選択器21によって、本計測装置における光入射手段が構成されている。光源20から供給されたパルス光は、波長選択器21において所定波長に波長選択され、光ガイド40aを介して光入射位置Aから散乱吸収体SMへと入射される。

30

【0023】

光源20から供給されるパルス光としては、散乱吸収体SMの内部情報が導出できる程度に短い時間幅のパルス光が用いられ、通常は1ns以下の範囲の時間幅が選択される。また、パルス光の波長は、計測対象である散乱吸収体SMに応じて適宜に選択されるが、一般に例えば生体では、生体の透過率と定量すべき吸収成分の分光吸収係数との関係などから、700~900nm程度の近赤外線域の波長が用いられる。

【0024】

光源20としては、発光ダイオード、レーザーダイオード、各種のパルスレーザーなど、様々なものを使用することができる。また、複数の成分についての内部情報を取得する場合など、必要があれば、これらの光源20及び波長選択器21は、複数の波長成分のパルス光を計測光として供給可能に構成される。また、波長選択器21については、設置を省略しても良い。

40

【0025】

また、この計測装置は、散乱吸収体SMの内部を伝播したパルス光を検出するための光検出用光ガイド40bを備えている。光ガイド40bは、その入力端が、散乱吸収体SMの表面上の光検出位置Bとなるように設置されている。また、光ガイド40bの出力端には、光検出器30が光学的に接続されており、これらの光ガイド40b、及び光検出器30によって、本計測装置における光検出手段が構成されている。散乱吸収体SMの内部を散乱されつつ伝播したパルス光は、光ガイド40bを介して光検出器30に入射して検出さ

50

れ、検出した光強度等を示す光検出信号が生成される。

【 0 0 2 6 】

光検出器 3 0 としては、光電子増倍管、フォトダイオード、アバランシェフォトダイオード、PINフォトダイオードなど、様々なものを使用することができる。光検出器 3 0 の選択については、散乱吸収体計測に使用されるパルス光の波長の光が十分に検出できる分光感度特性を有していれば良い。また、光信号が微弱であるときは、高感度あるいは高利得の光検出器を使用することが好ましい。

【 0 0 2 7 】

光入射手段の光源 2 0、及び光検出手段の光検出器 3 0 には、信号処理部 5 0 が電氣的に接続されている。この信号処理部 5 0 において、光検出器 3 0 からの光検出信号や光源 2 0 からのパルス光射出のトリガー信号などに基づいて、検出されたパルス光強度の時間変化を示す計測波形が取得される。

10

【 0 0 2 8 】

さらに、信号処理部 5 0 には、演算処理部 6 0 が電氣的に接続されている。この演算処理部 6 0 においては、散乱吸収体 S M の内部情報を取得するために行われる通常の散乱吸収体計測では、信号処理部 5 0 で得られた計測波形に対して、散乱吸収体 S M の内部情報を定量するための解析演算が行われる。また、校正用計測に対しては、後述するように、装置関数を算出するための校正演算が行われる。なお、図 1 においては、この演算処理部 6 0 について、上記した校正演算を実行するための構成を図示しており、通常の解析演算を実行するための構成については図示を省略している。

20

【 0 0 2 9 】

本実施形態における演算処理部 6 0 は、装置関数算出部 6 1、計測波形格納部 6 2、及び理論波形格納部 6 3 を有して構成されている。信号処理部 5 0 で取得された計測波形のデータは、演算処理部 6 0 に入力されて計測波形格納部 6 2 に格納される。一方、理論波形格納部 6 3 には、あらかじめ用意された理論波形のデータが格納されている。校正用計測に対する演算処理では、装置関数算出部 6 1 は、計測波形格納部 6 2 にある計測波形のデータと、理論波形格納部 6 3 にある理論波形のデータとに対して校正演算である比較演算を行って、散乱吸収体計測で計測波形に重畳される装置関数を分離して算出する。

【 0 0 3 0 】

計測波形と、散乱吸収体に対する理論波形と、計測装置自体による装置関数との関係、及び装置関数算出部 6 1 において装置関数の算出に用いられる比較演算について説明する。図 2 は、計測波形  $O(t)$ 、理論波形  $M(t)$ 、及び装置関数  $h(t)$  の関係の一例を模式的に示すグラフである。このグラフにおいて、横軸は、理論波形  $M(t)$  に対する時間 0 に対応する時刻を原点 ( $t = 0$ ) とした経過時間  $t$  を示し、縦軸は、各時刻における光強度を示している。この光強度の経過時間  $t$  に依存した時間変化が、図示したそれぞれの時間波形となっている。

30

【 0 0 3 1 】

散乱吸収体の内部を伝播したパルス光を用いて内部情報を取得する散乱吸収体計測装置では、伝播後に検出されたパルス光の計測波形  $O(t)$  に対して、TRS法またはPMS法などによる解析演算を行う。そして、散乱吸収体での時間遅れ  $T$  や時間分散  $\sigma$  などの時間応答から、その内部情報を定量する。

40

【 0 0 3 2 】

一方、このような計測装置を用いた散乱吸収体計測では、計測対象である散乱吸収体による時間応答とは別に、散乱吸収体計測装置の各部、各回路に起因する装置関数として、時間遅れ  $t$  や時間分散  $\sigma$  などの装置自体の時間応答を生じる。例えば、図 1 に示した散乱吸収体計測装置では、光源 2 0、波長選択器 2 1、光検出器 3 0、光ガイド 4 0 a、4 0 b、信号処理部 5 0、及びそれらの間の回路配線等において、それぞれ時間応答を生じる。したがって、信号処理部 5 0 で取得されて演算処理部 6 0 へと入力される計測波形  $O(t)$  は、これらの時間応答が総合された計測装置自体による装置関数  $h(t)$  が、散乱吸収体による理想的な計測波形（理想波形）に重畳（コンボリューション）されたものと

50

なる。

【0033】

これに対して、上記した実施形態の散乱吸収体計測装置においては、通常の計測とは別に行われる校正用計測に対して、あらかじめ用意された理論波形  $M(t)$  を用いて、校正用計測で得られる計測波形  $O(t)$  から装置関数  $h(t)$  を分離（デコンボリューション）して算出することとしている。

【0034】

まず、校正用計測においては、計測対象となる散乱吸収体  $SM$  として、測定対象と屈折率がほぼ等しく、吸光係数  $\mu_a$  や散乱係数  $\mu_s'$  などの必要な光学パラメータが既知である散乱吸収体を、校正用の散乱吸収体として設置する。このような校正用の散乱吸収体では、既知の光学パラメータによって、パルス光に対する時間応答が理論的に予測可能である。そして、散乱吸収体自体の予測可能な時間応答による理想波形を、理論計算等によって、理論波形  $M(t)$  としてあらかじめ算出しておく。

10

【0035】

上記のように、あらかじめ用意された理論波形  $M(t)$  に対して、校正用計測で得られる計測波形  $O(t)$  と、計測装置の時間応答による装置関数  $h(t)$  とは、次式

$$O(t) = M(t) * h(t)$$

によって表される関係を有する。ここで、演算子「 $*$ 」は、時間波形のコンボリューションを表している。すなわち、得られる計測波形  $O(t)$  は、図2のグラフにその例を示すように、散乱吸収体  $SM$  による理想波形である理論波形  $M(t)$  と、散乱吸収体計測装置による装置関数  $h(t)$  とがコンボリューションされた時間波形となる。

20

【0036】

本実施形態においては、校正用計測に対して、演算処理部60の装置関数算出部61において、校正用計測で取得されて計測波形格納部62に格納されている計測波形  $O(t)$  のデータと、理論波形格納部63にあらかじめ用意されている理論波形  $M(t)$  のデータとに対して比較演算を行う。そして、この比較演算によって計測波形  $O(t)$  から、理論波形  $M(t)$  及び装置関数  $h(t)$  をデコンボリューションして、未知であった装置関数  $h(t)$  を分離し算出することとしている。

【0037】

上記した実施形態による散乱吸収体計測装置及びその校正方法では、計測装置自体の時間応答による装置関数を算出する校正用計測において、光入射用及び光検出用の光ガイド40a、40bを通常の設置位置から取り外して、その先端同士を直接またはNDフィルタや拡散板を介して突き合わせた校正用計測によって装置関数を計測するのではなく、光ガイド40a及び40bの設置位置は、通常の光入射位置A及び光検出位置Bのままとする。そして、散乱吸収体  $SM$  として校正用の散乱吸収体を設置し、この校正用の散乱吸収体へのパルス光の入射、検出によって校正用計測を行っている。これによって、計測装置の校正を行う際に、光ガイド40a、40bの取り外しや再設置などの付加的な作業が不要となるので、校正作業の効率が向上される。

30

【0038】

また、校正用の散乱吸収体を用いて計測波形を得ることに対して、その散乱吸収体の既知の光学パラメータから理論波形を算出しておき、その理論波形と校正用計測で得られた計測波形との比較演算によって、装置関数を分離して算出している。このような方法を用いることによって、散乱吸収体がない状態で装置関数を直接計測することなく、校正用計測で得られた計測波形から装置関数を得ることが可能となる。

40

【0039】

以上より、校正用計測及び装置関数の算出を容易に実行可能な散乱吸収体計測装置の校正方法、及びそれを用いた散乱吸収体計測装置が実現される。

【0040】

ここで、計測波形  $O(t)$  と理論波形  $M(t)$  とに対して比較演算を行って、装置関数  $h(t)$  を分離算出する具体的な演算方法としては、計測波形  $O(t)$  を理論波形  $M(t)$

50

でデコンボリューションする方法がある。あるいは、初期値として適当な装置関数  $h(t)$  を仮定し、その装置関数  $h(t)$  及び理論波形  $M(t)$  をコンボリューションした時間波形と、校正用計測で得られた計測波形  $O(t)$  との差が十分に小さくなるように、装置関数  $h(t)$  を変形していく方法がある。

【0041】

具体的な演算例としては、例えば、Bayesian Methodを用いて以下の漸化式

$$h(t)^{(k+1)} = h(t)^{(k)} \left[ \frac{O(t)}{h(t)^{(k)}} * M(t) \right] \cdot M(t)$$

から装置関数  $h(t)$  を算出する方法がある。ここで、演算子「 $\cdot$ 」は、相関演算を表している。また、これ以外の比較演算方法によって装置関数  $h(t)$  の算出を行っても良い。

10

【0042】

また、理論波形  $M(t)$  の算出方法としては、校正用の散乱吸収体での既知の光学パラメータから理論解析または数値解析として求めることができる。また、この理論波形  $M(t)$  の算出については、あらかじめ外部装置で算出して、演算処理部60の理論波形格納部63にデータとして与えても良く、あるいは、演算処理部60内に、理論波形を算出する理論波形算出部を備える構成としても良い。

【0043】

図3に、光検出器30、信号処理部50及び演算処理部60に用いられるハードウェア構成の一例を示す。図3に示す構成は、いわゆる時間相関光電子計数法と呼ばれる方法を用いて高速時間波形計測法を実施するための構成である。本構成例においては、光検出器30として光電子増倍管(PMT)を用いており、また、信号処理部50がコンスタント・フラクション・ディスクリミネータ(CFD)51、時間-振幅変換器(TAC)52及びADコンバータ(A/D)53で構成されている。

20

【0044】

そして、PMT30の出力信号は、CFD51を介してTAC52に導かれて時間に対応したアナログ電圧に変換され、さらにADコンバータ53でデジタル信号に変換される。このデジタル信号は、検出光強度の時間変化を示す計測波形のデータに対応するものである。

【0045】

また、図3に示す演算処理部60においては、光源20及び信号処理部50にCPU70が電氣的に接続されている。これによって、光入射に同期した光検出のタイミング等がCPU70によって制御されるとともに、信号処理部50から出力された計測波形のデータは、CPU70に導かれて所定の演算処理が行われる。また、入射パルス光の波長など計測光の入射条件についても、このCPU70によって制御あるいは選択される。

30

【0046】

図3に示す演算処理部60は、さらに、オペレーティングシステム(OS)71a及び所定の演算処理を行うための演算プログラム71bが記憶されたプログラムメモリ71と、各種データファイルが記憶されるデータファイルメモリ72と、得られた散乱吸収体の内部情報を示すデータを記憶するデータメモリ73と、作業用データを一時的に記憶する作業用メモリ74とを備えている。

40

【0047】

プログラムメモリ71の演算プログラム71bには、上記した通常の計測での解析演算や、校正用計測での比較演算(校正演算)をそれぞれ実行するためのプログラムなどが含まれている。また、データファイルメモリ72は、計測波形を記憶する計測波形格納部62、及びあらかじめ用意された理論波形を記憶する理論波形格納部63が含まれている。また、必要な物理量などの諸データや、あらかじめ入力された計測条件や既知値等のデータ等も記憶される。

【0048】

また、演算処理部60は、データの入力を受け付けるキーボード75a及びマウス75bを備える入力装置75と、得られたデータを出力するディスプレイ76a及びプリンタ7

50



6 bを備える出力装置7 6とを備えている。これらの演算処理部6 0の各部の動作は、いずれもCPU7 0によって制御される。なお、上記の各メモリについては、コンピュータの内部に設置されているハードディスクなどであっても良く、あるいは、フレキシブルディスクなどを用いても良い。また、計測装置の具体的なハードウェア構成については図3に示すものに限られるものではなく、必要に応じて変形または拡張を行っても良い。

【0049】

図4は、散乱吸収体計測装置の他の実施形態の構成を概略的に示すブロック図である。本散乱吸収体計測装置の構成は、図1に示した構成とほぼ同様であるが、散乱吸収体SMに対して、複数の光入射用及び光検出用光ガイドが設置されており、散乱吸収体SMの断層図面を取得することが可能な光CT装置として構成されている。

10

【0050】

具体的には、図4に示した散乱吸収体計測装置は、12個の光ファイバホルダ1~12を備えている。これらの光ファイバホルダ1~12は、それぞれ散乱吸収体SMの一断面の周りに等間隔(図4においては、散乱吸収体SMの中心から30度間隔で放射線状に伸びる各線上)に配置されており、時計周りに1~12の番号が割り当てられている。

【0051】

光ファイバホルダ1~12には、それぞれ、光入射用ファイバ1a~12aと光検出用ファイバ1b~12bとが設置されている。図4においては、これらの光入射用ファイバ1a~12a及び光検出用ファイバ1b~12bは、対応する光入射用ファイバ及び光検出用ファイバをそれぞれ組として、組ごとに略同一の位置に設置されている。

20

【0052】

具体的には、図4の例では、組となる光入射用ファイバ及び光検出用ファイバが、それぞれ対応する光ファイバホルダにおいて並列に束ねられた状態で、散乱吸収体SMに対して設置されている。

【0053】

なお、このように各光入射用ファイバ及び光検出用ファイバを組として設置する場合の具体的な構成については、例えば、図5に光ファイバホルダ1について例示するように、光入射用ファイバ1aの回りを複数の光検出用ファイバ1b(バンドルファイバ)が包むように束ねられた同軸構造などを用いることも可能である。このような同軸構造を採用すると、散乱吸収体SMの周囲に当たるファイバ端面は1つになる。このため、両ファイバを上下2段あるいは左右2列に並列に束ねた場合よりも、光入射用ファイバ端と光検出用ファイバ端との位置ずれをなくすことができ、誤差を低減できる傾向がある。

30

【0054】

本計測装置においては、散乱吸収体SMの内部情報についての断層図面を取得するため、図示のように、光ファイバホルダ1~12に対応する位置をそれぞれ光入射位置及び光検出位置として、複数の光入射用ファイバ1a~12a及び光検出用ファイバ1b~12bが組として設置されている。断層図面を得るための散乱吸収体計測は、図6に、その計測方法の一例を示すように、これらの各位置を光入射位置及び光検出位置としてパルス光を順次入射及び検出することによって行われる。

【0055】

図6に示した例では、まず、光ファイバホルダ1の設置位置を光入射位置とし、光ファイバホルダ1~12の設置位置をそれぞれ光検出位置として、散乱吸収体SMについての計測が行われる。

40

【0056】

この計測では、光入射位置にある1個の光入射用ファイバ1aから、散乱吸収体SMに対してパルス光が入射される。そして、散乱吸収体SMの内部を散乱されつつ伝播したパルス光は、光検出位置にある12個の光検出用ファイバ1b~12bでそれぞれ検出されて、それぞれについて計測波形が取得される。このとき、光入射用ファイバ1aに対する光検出用ファイバの組み合わせは、図6に実線で示した12通りとなる。

【0057】

50

続いて、光入射位置を他の光ファイバホルダ 2 ~ 12 のそれぞれの設置位置に順次移動して、同様の計測を行っていく。図 6 においては、それらの各計測の例として、光ファイバホルダ 4 の設置位置を光入射位置とし、光ファイバホルダ 1 ~ 12 の設置位置をそれぞれ光検出位置とした計測について、点線によって図示している。

【 0 0 5 8 】

この計測では、光入射位置にある 1 個の光入射用ファイバ 4 a から、散乱吸収体 S M に対してパルス光が入射される。そして、散乱吸収体 S M の内部を散乱されつつ伝播したパルス光は、光検出位置にある 12 個の光検出用ファイバ 1 b ~ 12 b でそれぞれ検出されて、それぞれについて計測波形が取得される。このとき、光入射用ファイバ 4 a に対する光検出用ファイバの組み合わせは、図 6 に点線で示した 12 通りとなる。

10

【 0 0 5 9 】

同様にして、各光入射用ファイバからパルス光を入射して計測が行われて、散乱吸収体 S M の断層図面が取得される。このとき、光入射用ファイバ及び光検出用ファイバの組み合わせは、全部で  $12 \times 12 = 144$  通りとなる。

【 0 0 6 0 】

計測波形に対する装置関数  $h(t)$  は、通常これらの各組み合わせごとに異なる。したがって、この計測装置に対して、装置関数を決定するための校正用計測を行う場合、光入射用ファイバ及び光検出用ファイバを突き合わせて装置関数を直接計測しようとする、144 通りの組み合わせのすべてについて、ファイバの取り外し、計測、再設置を行うことが必要となってしまう。

20

【 0 0 6 1 】

また、光 C T 装置においては、さらに多数の光入射用ファイバ及び光検出用ファイバが設置される場合がある。このとき、各光入射用ファイバ及び光検出用ファイバを順次取り外し、その先端同士を直接または N D フィルターや拡散板を介して突き合わせて校正用計測を行う方法を用いたのでは、校正用計測を実行するために過大な作業が必要となり、または、必要なすべての組み合わせに対して校正用計測を実行することができない。

【 0 0 6 2 】

これに対して、光入射用ファイバ及び光検出用ファイバをそのままにして校正用の散乱吸収体で校正用計測を行い、計測波形と理論波形との比較演算によって装置関数を算出する上記した校正方法によれば、すべての組み合わせに対して、付加的な作業を必要とせず

30

【 0 0 6 3 】

具体的には、図 6 の例では、例えば、図示のように光入射用ファイバ 1 a からパルス光を入射させる 12 通りの組み合わせについて、1 回で校正用計測を行うことができ、上記した校正用計測の作業の簡単化と同時に、その回数も低減される。そして、光入射用ファイバ  $i$  及び光検出用ファイバ  $j$  の各組み合わせに対して順次校正用計測を実行し、それぞれ計測波形  $O_{ij}(t)$  及び理論波形  $M_{ij}(t)$  から装置関数  $h_{ij}(t)$  を分離算出することによって、全組み合わせに対する装置関数を効率的に決定することができる。

【 0 0 6 4 】

なお、図 4 においては、演算処理部 60 に、校正用計測以外の通常の計測に対して用いられる内部情報演算部 65 を示している。上記したように、校正用計測では、装置関数  $h(t)$  を未知のものとして、装置関数算出部 61 での校正演算による算出対象とし、既知の理論波形  $M(t)$ 、及び計測で得られた計測波形  $O(t)$  から装置関数  $h(t)$  を算出する。

40

【 0 0 6 5 】

これに対して、通常の計測では、校正用計測での理論波形  $M(t)$  に相当し、散乱吸収体 S M の時間応答を表す理想波形を未知のものとして内部情報演算部 65 での解析演算による算出対象とし、あらかじめ実行された校正用計測によって既知となっている装置関数  $h(t)$ 、及び計測で得られた計測波形  $O(t)$  から理想波形を算出することができる。また、この理想波形から、散乱吸収体 S M での時間遅れ  $T$  や時間分散 などの時間応答

50

、あるいはさらに、それらの時間応答から求められる散乱吸収体 S M の内部情報の算出などの演算処理が実行される。

【 0 0 6 6 】

なお、米国特許第 5 4 9 2 1 1 8 号公報に、複数の光入射位置（光源）を有する生体計測装置が記載されている。この装置では、光源からの光を振幅変調し、検出点で検出される光の振幅の位相遅れや強度などを検出することによって、内部情報を取得している。したがって、このような装置では、校正用計測を行う場合でも、これらの位相遅れなどを用いることとなる。

【 0 0 6 7 】

これに対して、上記した散乱吸収体計測装置では、生体などの散乱吸収体を伝播させる光としてパルス光を用いるとともに、伝播後のパルス光の時間遅れのみでなく、その時間波形である計測波形自体から時間応答及び内部情報を得ることとしている。そして、本発明による校正方法は、このような計測波形に重畳される装置関数について、理論波形との比較演算によって、その分離算出を可能とするものである。

【 0 0 6 8 】

本発明による散乱吸収体計測装置の校正方法、及びそれを用いた散乱吸収体計測装置は、上記した各実施形態に限られるものではなく、様々な変形が可能である。例えば、散乱吸収体計測装置自体の具体的な構成については、図 1 及び図 4 に示したものに限らず、様々な構成の計測装置に対して、上記した校正方法及び計測装置の構成を適用することが可能である。

【 0 0 6 9 】

また、図 1 及び図 4 に示した装置では、上述したように、計測対象となる散乱吸収体 S M として校正用の散乱吸収体を設置して校正用計測を行っている。これに対して、通常の測定対象の形状が個々で異なるような場合には、測定対象とは別に設けられた校正用の散乱吸収体に対して、その光入射位置及び光検出位置に光入射手段及び光検出手段を設置して校正用計測を行うこととなる。この場合にも、光入射手段及び光検出手段を組み合わせごとに設置し直すことなく、校正用の散乱吸収体に対する設置位置を保持したまま校正用計測を行うことができる。

【 0 0 7 0 】

また、図 2 に示した例においては、装置関数  $h(t)$  を計測波形  $O(t)$  等と同様に時間波形として算出しているが、必要に応じて、他の形で装置関数を算出することとしても良い。例えば、光入射位置から光検出位置への平均光路長を求めようとする場合には、装置関数としては、装置関数の波形の重心位置のみが必要となる。したがって、この場合には、装置関数としては、計測波形及び理論波形の比較演算から重心位置のみを算出することとしても良い。

【 0 0 7 1 】

なお、パルス光として複数の波長の光を用いる場合には、使用する波長ごとに装置関数を求めることが必要である。また、計測装置の状態変化などの影響を低減するため、計測装置の電源を ON にしたときなど、必要なタイミングで校正用計測及び装置関数の算出を実行することが好ましい。

【 0 0 7 2 】

【 発明の効果 】

本発明による散乱吸収体計測装置の校正方法、及びそれを用いた散乱吸収体計測装置は、以上詳細に説明したように、次のような効果を得る。すなわち、計測対象となる生体などの散乱吸収体に対して、光入射手段からパルス光を入射し、散乱吸収体の内部を散乱しつつ伝播されたパルス光を光検出手段で検出して、その計測波形から内部情報を取得する散乱吸収体計測装置において、校正用の散乱吸収体を用いて校正用計測を行う。そして、得られた計測波形と理論波形とに対して比較演算を行って、装置関数を取得する。

【 0 0 7 3 】

これによって、計測装置の校正を行う際に、光入射手段及び光検出手段の取り外しや、再

10

20

30

40

50

設置などの付加的な作業が不要となるので、校正作業の効率が向上され、校正用計測及び装置関数の算出を容易に実行可能な散乱吸収体計測装置の校正方法、及びそれを用いた散乱吸収体計測装置が実現される。

【0074】

光CT装置においては、散乱吸収体の断層図面を取得する場合など、より詳細な内部情報を取得するために、非常に多数の光入射手段及び光検出手段を設置している。したがって、上記した校正方法は、このような光CT装置の実用化に際して、計測装置の長期の安定動作を保持していく上で非常に重要となるものと考えられる。

【図面の簡単な説明】

【図1】散乱吸収体計測装置の一実施形態の構成を示すブロック図である。

10

【図2】計測波形、理論波形、及び装置関数の一例を模式的に示すグラフである。

【図3】図1に示した散乱吸収体計測装置のハードウェア構成の一例を示すブロック図である。

【図4】散乱吸収体計測装置の他の実施形態の構成を示すブロック図である。

【図5】光入射用ファイバ及び光検出用ファイバの構成の一例を示す斜視図である。

【図6】光入射用ファイバ及び光検出用ファイバの組み合わせについて模式的に示す図である。

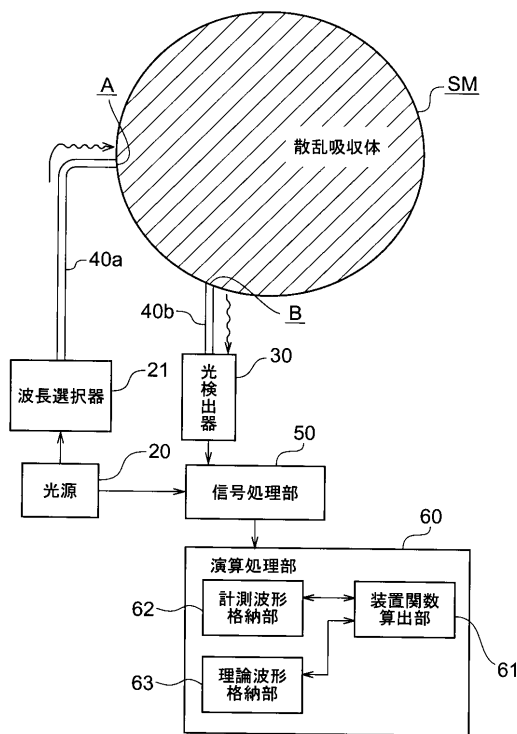
【符号の説明】

1 ~ 12 ... 光ファイバホルダ、 1 a ~ 1 2 a ... 光入射用ファイバ、 1 b ~ 1 2 b ... 光検出用ファイバ、

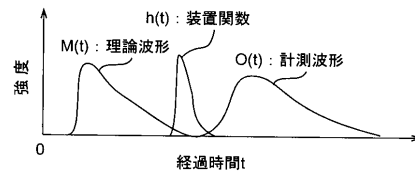
20

20 ... 光源、 2 1 ... 波長選択器、 3 0 ... 光検出器、 4 0 a ... 光入射用光ガイド、 4 0 b ... 光検出用光ガイド、 5 0 ... 信号処理部、 6 0 ... 演算処理部、 6 1 ... 装置関数算出部、 6 2 ... 計測波形格納部、 6 3 ... 理論波形格納部、 6 5 ... 内部情報演算部。

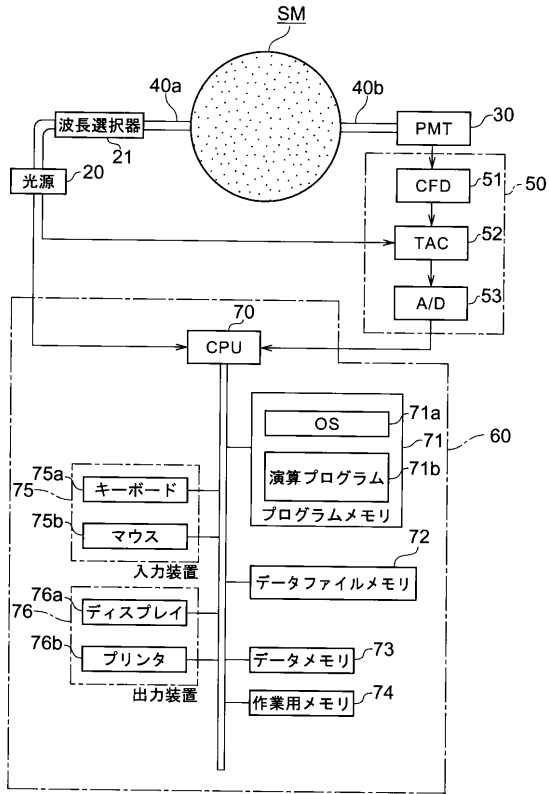
【図1】



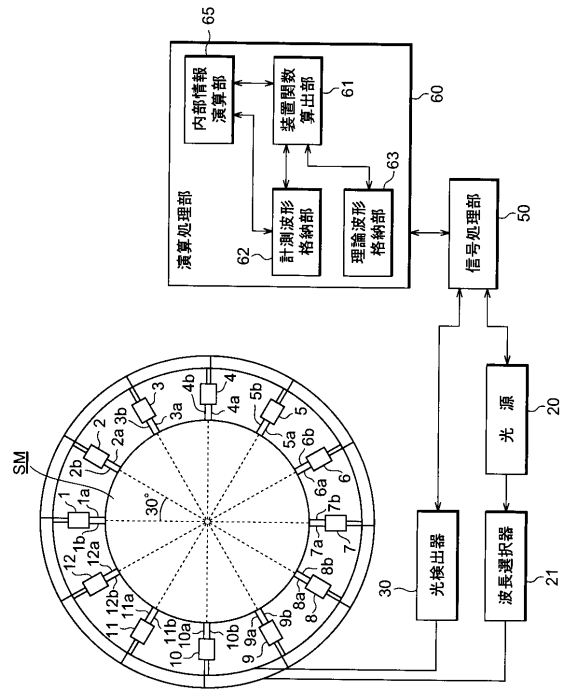
【図2】



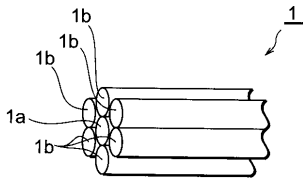
【図3】



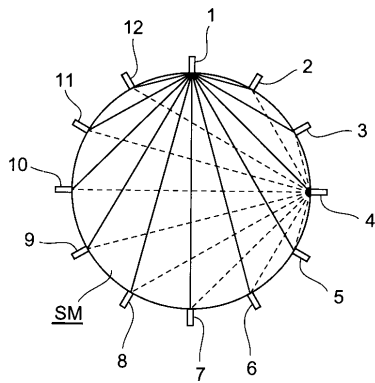
【図4】



【図5】



【図6】



---

フロントページの続き

(72)発明者 浦上 恒幸

静岡県浜松市市野町1126番地の1 浜松ホトニクス株式会社内

審査官 横尾 雅一

(56)参考文献 特開平09-072845(JP,A)  
特開昭64-010130(JP,A)  
国際公開第99/040841(WO,A1)  
特開平11-311569(JP,A)  
特表2002-502653(JP,A)  
特開2000-146828(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G01N 21/00-21/74

G01J 1/00-1/60

G01J 3/00-3/52

A61B 10/00