

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関  
国際事務局

(43) 国際公開日  
2018年11月15日(15.11.2018)



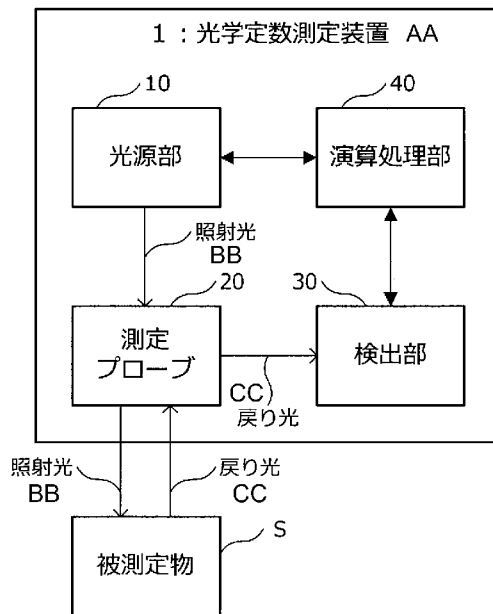
(10) 国際公開番号  
**WO 2018/207488 A1**

- (51) 国際特許分類:  
G01N 21/17 (2006.01) A61B 10/00 (2006.01)  
A61B 5/1455 (2006.01)
- (72) 発明者: 岸井 典之(KISHII, Noriyuki); 〒1080075 東京都港区港南1丁目7番1号 ソニー株式会社内 Tokyo (JP). 岸本 拓哉(KISHIMOTO, Takuya); 〒1080075 東京都港区港南1丁目7番1号 ソニー株式会社内 Tokyo (JP).
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2018/012736
- (22) 国際出願日: 2018年3月28日(28.03.2018)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:  
特願 2017-092919 2017年5月9日(09.05.2017) JP
- (74) 代理人: 亀谷 美明, 外(KAMEYA, Yoshiaki et al.); 〒1600004 東京都新宿区四谷3-1-3 第一富澤ビル はづき国際特許事務所 四谷オフィス Tokyo (JP).
- (71) 出願人: ソニー株式会社 (SONY CORPORATION) [JP/JP]; 〒1080075 東京都港区港南1丁目7番1号 Tokyo (JP).
- (81) 指定国(表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): 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,

(54) Title: OPTICAL CONSTANT MEASUREMENT DEVICE AND OPTICAL CONSTANT MEASUREMENT METHOD

(54) 発明の名称: 光学定数測定装置及び光学定数測定方法

[図1]



- 10... LIGHT SOURCE UNIT
- 20... MEASUREMENT PROBE
- 30... DETECTION UNIT
- 40... CALCULATION PROCESSING UNIT
- S... OBJECT TO BE MEASURED
- AA... 1: OPTICAL CONSTANT MEASUREMENT DEVICE
- BB... IRRADIATION LIGHT
- CC... OPTICAL FEEDBACK

(57) Abstract: [Problem] To more simply measure an optical constant of an object of measurement even if it is difficult to create a uniform sample for the object of measurement. [Solution] An optical constant measurement device according to this disclosure is provided with: a light source unit for emitting irradiation light of a prescribed wavelength that is to be irradiated onto an object of measurement; a measurement probe that has a fiber bundle in which a light-transmission optical fiber for transmitting the irradiation light to the object of measurement and a plurality of light-reception optical



WO 2018/207488 A1

HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, 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, TZ, UA,  
UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

- (84) 指定国(表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (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), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類 :

- 一 国際調査報告 (条約第21条(3))

---

fibers for receiving optical feedback of the irradiation light returning from the object of measurement are bundled such that there are two or more different values for the separation distance between the light-transmission optical fiber and a single light-reception optical fiber and is such that one end of the fiber bundle touches the object of measurement; a detection unit for detecting, for each of the light-reception optical fibers, the intensity of the optical feedback received by the light-reception optical fiber; and a calculation processing unit for calculating an optical constant of the object of measurement using the detected optical feedback intensity values for the various light-reception optical fibers.

(57) 要約 : 【課題】均一な試料を作成することが困難な被測定物であっても、被測定物の光学定数をより簡便に測定すること。【解決手段】本開示に係る光学定数測定装置は、被測定物に対して照射される所定波長の照射光を出射する光源部と、照射光を被測定物へと送光する送光用光ファイバ、及び、被測定物からの照射光の戻り光を受光する複数の受光用光ファイバが、送光用光ファイバと一つの受光用光ファイバとの間の離隔距離として、互いに異なる2以上の値が存在するようにバンドルされたバンドルファイバを有し、バンドルファイバの一方の端部が被測定物に対して当接される測定プローブと、複数の受光用光ファイバで受光された照射光の戻り光の強度を、それぞれの受光用光ファイバごとに検出する検出部と、それぞれの受光用光ファイバでの戻り光の強度の検出値を用いて、被測定物の光学定数を算出する演算処理部と、を備える。

## 明 細 書

発明の名称：光学定数測定装置及び光学定数測定方法

### 技術分野

[0001] 本開示は、光学定数測定装置及び光学定数測定方法に関する。

### 背景技術

[0002] 生体組織を傷つけることなく、内部の構造や代謝を計測する技術は、医学及び生物学にとって重要である。近年、近赤外光が生体を透過しやすいことを利用して、生体組織中の酸素濃度や脳の活動の様子を、非侵襲かつ光学的に計測できるようになってきた。

[0003] ここで、生体組織は、光吸収を伴う散乱体であることが知られており、吸収係数や散乱係数といった光学定数が、生体組織の見え方や、生体組織に対して照射された照射光の挙動を決めている。そのため、各生体組織の光学定数について、様々な検討がなされている（例えば、以下の非特許文献1を参照。）。

### 先行技術文献

#### 非特許文献

[0004] 非特許文献1：Wai-Fung Cheong, Scott A. Prah l and Ashley J. Welch, "A Review of the Optical Propoerties of Biological Tissues", Vo. 26 No. 12 (1990), IEE E Journal of quantum electronics, p p. 2166-2185.

### 発明の概要

#### 発明が解決しようとする課題

[0005] 上記非特許文献1に開示されているような光学定数の測定方法や算出方法においては、厚さを規定した試料に光を照射し、反射した全光量及び透過した全光量から反射率及び透過率を測定し、得られた反射率及び透過率をもと

にモンテカルロ法を用いて、光学定数（特に、吸収係数及び散乱係数）を算出することが一般的である。この際、反射率及び透過率を正確に測定するためには、均一な厚みの試料を準備するとともに、積分球を用いて反射光量及び透過光量を測定しなければならなかった。

[0006] 積分球を用いた反射率の測定では、試料を出来る限り大きく作成したとしても、微妙な光量の差を測定しなければならず、反射率の測定誤差を小さくすることは、困難であった。特に、生体試料の場合、組織の大きさ自体が限られるため、均一な厚みを有する大面積の測定片を作成することは極めて難しく、測定誤差とともに、試料の作成手順も煩雑なものとなっていた。

[0007] また、生体組織は、多層構造を有していることが多い。そのため、均一な試料を作成することは難しく、また、厚さを変えた試料では、厚さ毎に異なる組織が試料中に含まれてしまう。その結果、表皮側から見た外観とは異なる光学定数が算出されることも多く、算出された光学定数は、試料表面からの反射画像を必ずしも再現するものではなかった。

[0008] このように、例えば生体組織のような均一な試料を作成することが困難な被測定物であっても、被測定物の光学定数をより簡便かつ正確に測定することが可能な方法が希求されている状況にある。

[0009] そこで、本開示では、上記事情に鑑みて、均一な試料を作成することが困難な被測定物であっても、被測定物の光学定数をより簡便に測定することが可能な、光学定数測定装置及び光学定数測定方法を提案する。

### 課題を解決するための手段

[0010] 本開示によれば、被測定物に対して照射される所定波長の照射光を出射する光源部と、前記照射光を前記被測定物へと送光する送光用光ファイバ、及び、前記被測定物からの前記照射光の戻り光を受光する複数の受光用光ファイバが、前記送光用光ファイバと一つの前記受光用光ファイバとの間の離隔距離として、互いに異なる2以上の値が存在するようにバンドルされたバンドルファイバを有し、前記バンドルファイバの一方の端部が前記被測定物に対して当接される測定プローブと、前記複数の受光用光ファイバで受光され

た前記照射光の戻り光の強度を、それぞれの前記受光用光ファイバごとに検出する検出部と、前記それぞれの受光用光ファイバでの前記戻り光の強度の検出値を用いて、前記被測定物の光学定数を算出する演算処理部と、を備える、光学定数測定装置が提供される。

[0011] また、本開示によれば、光源部から被測定物に対して、所定波長の照射光を出射することと、前記照射光を前記被測定物へと送光する送光用光ファイバ、及び、前記被測定物からの前記照射光の戻り光を受光する複数の受光用光ファイバが、前記送光用光ファイバと一つの前記受光用光ファイバとの間の離隔距離として、互いに異なる2以上の値が存在するようにバンドルされている測定プローブを用いて、前記測定プローブの一方の端部を前記被測定物に対して当接することと、検出部により、前記複数の受光用光ファイバで受光された前記照射光の戻り光の強度を、それぞれの前記受光用光ファイバごとに検出することと、前記それぞれの受光用光ファイバでの前記戻り光の強度の検出値を用いて、前記被測定物の光学定数を算出することと、を含む、光学定数測定方法が提供される。

[0012] 本開示によれば、光源部は、被測定物に対して所定波長の照射光を出射し、測定プローブは、バンドルファイバの一方の端部が被測定物に対して当接され、検出部は、複数の受光用光ファイバで受光された照射光の戻り光の強度をそれぞれ検出し、演算処理部は、それぞれの受光用光ファイバでの戻り光の強度の検出値を用いて、被測定物の光学定数を算出する。

### 発明の効果

[0013] 以上説明したように本開示によれば、均一な試料を作成することが困難な被測定物であっても、被測定物の光学定数をより簡便に測定することが可能となる。

[0014] なお、上記の効果は必ずしも限定的なものではなく、上記の効果とともに、又は、上記の効果に代えて、本明細書に示されたいずれかの効果、又は、本明細書から把握され得る他の効果が奏されてもよい。

### 図面の簡単な説明

[0015] [図1]本開示の実施形態に係る光学定数測定装置の全体構成を模式的に示したブロック図である。

[図2]同実施形態に係る光学定数測定装置が有する測定プローブについて説明するための説明図である。

[図3A]同実施形態に係る光学定数測定装置が有する測定プローブについて説明するための説明図である。

[図3B]同実施形態に係る光学定数測定装置が有する測定プローブについて説明するための説明図である。

[図3C]同実施形態に係る光学定数測定装置が有する測定プローブについて説明するための説明図である。

[図4]同実施形態に係る光学定数測定装置が有する測定プローブについて説明するための説明図である。

[図5]同実施形態に係る光学定数測定装置が有する測定プローブについて説明するための説明図である。

[図6]同実施形態に係る光学定数測定装置の構成例を模式的に示した説明図である。

[図7]同実施形態に係る光学定数測定装置の構成例を模式的に示した説明図である。

[図8]同実施形態に係る光学定数測定装置の構成例を模式的に示した説明図である。

[図9]同実施形態に係る光学定数測定装置の構成例を模式的に示した説明図である。

[図10]同実施形態に係る光学定数測定装置が有する演算処理部の構成の一例を示したブロック図である。

[図11]同実施形態に係る光学定数測定方法の流れの一例を示した流れ図である。

[図12]同実施形態に係る光学定数測定方法におけるモンテカルロ計算について説明するための説明図である。

[図13]同実施形態に係る光学定数測定方法におけるモンテカルロ計算の流れの一例を示した流れ図である。

[図14]同実施形態に係る演算処理部のハードウェア構成の一例を示したブロック図である。

[図15]実施例1及び実施例2で用いた測定プローブについて説明するための説明図である。

[図16A]実施例1の結果を示したグラフ図である。

[図16B]実施例1の結果を示したグラフ図である。

[図16C]実施例1の結果を示したグラフ図である。

[図17A]実施例1の結果を示したグラフ図である。

[図17B]実施例1の結果を示したグラフ図である。

[図17C]実施例1の結果を示したグラフ図である。

[図18A]実施例2の結果について説明するための説明図である。

[図18B]実施例2の結果について説明するための説明図である。

### 発明を実施するための形態

[0016] 以下に添付図面を参照しながら、本開示の好適な実施の形態について詳細に説明する。なお、本明細書及び図面において、実質的に同一の機能構成を有する構成要素については、同一の符号を付することにより重複説明を省略する。

[0017] なお、説明は以下の順序で行うものとする。

1. 本発明者らによる検討について
2. 実施形態
  2. 1. 光学定数測定装置の構成について
  2. 2. 光学定数測定方法の流れについて
  2. 3. 演算処理部のハードウェア構成について
  2. 4. 実施例

[0018] (本発明者らによる検討について)

先だって言及したように、従来、生体組織の吸収係数及び散乱係数は、厚

さを規定した試料に光を照射して、反射光量及び透過光量の測定結果から反射率及び透過率を特定し、得られた反射率及び透過率に基づきモンテカルロ法を用いて算出されていた。反射率及び透過率を出来るだけ正確に測定するためには、均一な厚みの試料を作成するとともに、積分球を用いる必要があった。

[0019] 積分球を用いた反射率の測定では、試料を出来る限り大きく作成したとしても、積分球の内面積に対して試料面積はごくわずかにすぎず、微妙な光量の差を測定しなければならない。そのため、積分球を用いた場合であっても、反射率の測定誤差を小さくすることは、困難であった。特に、生体試料の場合、組織の大きさ自体が限られるため、均一な厚みを有する大面積の測定片を作成することは極めて難しく、測定誤差とともに、試料の作成手順も煩雑なものとなっていた。

[0020] また、生体組織は、例えば皮膚が表皮、真皮、皮下組織、筋層という4層から構成されているように、多層構造を有していることが多い。そのため、均一な試料を作成することは難しく、また、厚さを変えた試料では、厚さ毎に異なる組織が試料中に含まれてしまう。その結果、表皮側から見た外観とは異なる光学定数が算出されることも多く、算出された光学定数は、試料表面からの反射画像を必ずしも再現するものではなかった。

[0021] 被測定物の光学的特性を表す光学定数の一種である異方性及び屈折率は、生体材料でほぼ一定と仮定することが多い。そのため、被測定物（特に、生体組織）の光学的特性を規定する光学定数のうち散乱係数及び吸収係数を定めるためには、少なくとも2つの異なる条件での測定値を利用することとなる。

[0022] 積分球による測定では、（1）同一試料について、透過率及び反射率を同時に求める、（2）異なる膜厚の透過率を測定する、等のように、少なくとも2つ以上の測定値を求める必要があり、測定に際しての試料作成は困難であって、再現性が得られなかった。

[0023] 一方、これまで、脳の活動状態を血行測定によって判別することに主眼が



置かれてきた近赤外光による組織測定技術では、頭蓋を経た深部の血行状態を再現することに重点が置かれ、微小组織の光学定数の測定・算出を目的としていない。そのため、微小領域で同時に2つ以上の異なる条件で有為なデータを計測する方法については、一切提示されていない。

[0024] 特に、大きく均一な試料の切り出しが難しい生体組織については、試料を切り出す必要がなく、より簡便に光学定数を測定・算出可能な方法が希求されている。また、外見を模した疑似組織を作成する場合には、外部から撮像した際に外観が再現できることが求められており、均一な組織の光学定数だけでなく、外観を再現するための光学定数の算出が求められている。

[0025] 本発明者らは、上記事情に鑑みて鋭意検討を行った結果、以下で詳述するような本開示の実施形態に係る光学定数測定装置及び光学定数測定方法を完成するに至った。以下、本開示の実施形態に係る光学定数測定装置及び光学定数測定方法について、詳細に説明する。

[0026] (実施形態)

#### <光学定数測定装置の構成について>

以下では、まず、本開示の実施形態に係る光学定数測定装置の構成について説明する。

本実施形態に係る光学定数測定装置は、被測定物に対して所定波長の光を照射し、被測定物からの照射光の戻り光の強度を測定することで、被測定物の光学定数を測定する装置である。本実施形態に係る光学定数測定装置は、光学定数として、少なくとも、被測定物Sの散乱係数及び吸収係数を測定する。また、本実施形態に係る光学定数測定装置は、光学定数として、更に、被測定物Sの屈折率及び異方性パラメータの少なくとも何れかを測定することも可能である。

[0027] ここで、本実施形態に係る光学定数測定装置が用いられる被測定物については、特に限定されるものではなく、様々な物質を被測定物とすることが可能であり、非生物体だけでなく、生物体についても被測定物とすることが可能である。特に、本実施形態に係る光学定数測定装置は、ある生物体の生体

部位を構成している生物組織等といった、生体材料を被測定物とすることが可能である。

[0028] [光学定数測定装置の全体構成]

図1は、本実施形態に係る光学定数測定装置の構成の一例を模式的に示したブロック図である。本実施形態に係る光学定数測定装置1は、図1に示したように、光源部10と、測定プローブ20と、検出部30と、演算処理部40と、を主に備える。

[0029] 光源部10は、上記のような被測定物Sに対して照射される、所定波長の照射光を出射する。かかる光源部10は、所定波長の照射光を出射する照射光光源（図示せず。）を主に有しており、更に、各種のレンズやミラーなどといった公知の光学素子を有していても良い。

[0030] 本実施形態に係る光源部10が有する照射光光源は、特に限定されるものではなく、各種のレーザや、発光ダイオードなどといった、公知の各種の光源を利用することが可能である。光源部10から出射される照射光の波長についても、特に限定されるものではなく、紫外光帯域に属する波長から近赤外光帯域に属する波長まで、被測定物Sの種別に応じて、任意の波長を適宜選択することが可能である。また、光源部10から出射される照射光は、連続光であってもよいし、パルス光であってもよい。また、光源部10から出射される照射光に変調をかけてチョップ光としてもよい。

[0031] 光源部10から出射した照射光は、測定プローブ20へと導光される。測定プローブ20は、以下で詳述するように、照射光を被測定物Sへと送光する送光用光ファイバ、及び、被測定物Sからの照射光の戻り光を受光する複数の受光用光ファイバが、送光用光ファイバと一つの受光用光ファイバとの間の離隔距離として、互いに異なる2以上の値が存在するようにバンドルされたバンドルファイバを有している。測定プローブ20が有するバンドルファイバの一方の端部は、被測定物Sに対して当接され、被測定物Sに対して照射光が照射されるとともに、被測定物Sからの照射光の戻り光を、後述する検出部30へと導光する。

- [0032] この測定プローブ20の構成については、以下で改めて詳細に説明する。
- [0033] 測定プローブ20により導光された、被測定物Sからの照射光の戻り光は、検出部30によって検出されて、照射光の戻り光の強度が測定される。かかる検出部30は、光源部10から出射された照射光の波長に対応する各種の検出器（図示せず。）を少なくとも有しており、複数の受光用光ファイバで受光された照射光の戻り光の強度を、それぞれの受光用光ファイバごとに、互いに区別して検出する。また、照射光の戻り光の強度が微弱である場合、かかる検出部30として、微弱信号を検出するための検出機構が更に設けられても良い。このような微弱信号の検出機構については、特に限定されるものではなく、例えばロックインアンプ等のような公知の各種検出機構を適宜利用することが可能である。
- [0034] 検出部30により検出された、それぞれの受光用光ファイバでの戻り光の強度の検出値に関するデータは、演算処理部40へと出力される。演算処理部40は、CPU（Central Processing Unit）、ROM（Read Only Memory）、RAM（Random Access Memory）等により実現される。演算処理部40は、光源部10及び検出部30の稼働状態を制御する制御部として機能する。また、演算処理部40は、検出部30により検出された、それぞれの受光用光ファイバでの戻り光の強度の検出値を用いて、被測定物Sの光学定数を算出する。
- [0035] この演算処理部40の詳細な構成についても、以下で改めて説明する。
- [0036] 以上、本実施形態に係る光学定数測定装置1の全体構成について説明した。
- [0037] [測定プローブ20について]
- 続いて、図2～図5を参照しながら、本実施形態に係る測定プローブ20について、詳細に説明する。図2～図5は、本実施形態に係る光学定数測定装置が有する測定プローブについて説明するための説明図である。
- [0038] 図2は、本実施形態に係る測定プローブ20の端面の様子を模式的に示し

たものである。本実施形態に係る測定プローブ20は、図2に模式的に示したように、複数の光ファイバがバンドルされたバンドルファイバ201を有している。このバンドルファイバ201には、光源部10から出射された照射光を被測定物Sへと送光する送光用光ファイバ203と、被測定物Sからの照射光の戻り光を受光する複数の受光用光ファイバ205A, . . . , 205N（以下、複数の受光用光ファイバをまとめて、受光用光ファイバ205と表記することがある。）と、がバンドルされている。

[0039] ここで、本実施形態に係る測定プローブ20に用いられる光ファイバは、特に限定されるものではなく、照射光として用いられている波長の光を導光可能なものであれば、公知の任意の光ファイバを用いることが可能である。また、光ファイバの種別についても、特に限定されるものではなく、シングルモード光ファイバを用いることも可能であるし、マルチモード光ファイバを用いることも可能である。ただ、被測定物Sに応じて照射光の波長を変更したり、光学定数の測定とあわせて他の測定を同時に実施したりすることが考えられるため、測定プローブ20に用いられる光ファイバは、マルチモード光ファイバであることが好ましい。

[0040] 本実施形態に係る受光用光ファイバ205の本数については、被測定物Sの光学定数として少なくとも散乱係数及び吸収係数の2つを算出するために2つ以上の異なる条件での戻り光の検出値が必要となるため、2本以上とする。また、受光用光ファイバ205の本数をより多くすることで、より精密に光学定数を測定することが可能となるため、好ましい。

[0041] 本実施形態に係る測定プローブ20では、上記のような送光用光ファイバ203と複数の受光用光ファイバ205とが、送光用光ファイバ203とある一つの受光用光ファイバ205との間の離隔距離（例えば、各光ファイバの光軸中心間距離）として互いに異なる2以上の値が存在するように、バンドルされている。図2に示したバンドル例では、図から明らかなように、送光用光ファイバ203と受光用光ファイバ205Aとの間の離隔距離（光軸中心間距離）と、送光用光ファイバ203と受光用光ファイバ205Nとの

間の離隔距離（光軸中心間距離）とは、互いに相違した値となる。

[0042] 送光用光ファイバ203の端部から被測定物Sに対して入射した照射光は、被測定物S内で散乱及び吸収を繰り返しながら被測定物S内へと浸透していき、照射光の戻り光が、複数の受光用光ファイバ205の何れかにより検出される。この際、より深い位置まで到達した照射光の戻り光ほど、送光用光ファイバ203から離れた位置で検出される。従って、本実施形態に係る測定プローブ20では、複数の受光用光ファイバ205が、送光用光ファイバ203と少なくとも2つ以上の異なる位置関係（距離や方向等）となるようにバンドルされることで、異なる深さまで到達した照射光の戻り光を、同時に検出することが可能となる。これにより、従来積分球を用いる測定で実施されていたような、異なる厚みの試料を用いた測定と同様の測定結果を、本実施形態に係る測定プローブ20を用いることで簡便に取得することができる。

[0043] 測定プローブ20における送光用光ファイバ203と複数の受光用光ファイバ205との配置方法については、特に限定されるものではなく、上記のような位置関係に関する条件が満たされるものであれば、任意の配置方法を採用することが可能である。

[0044] 例えば図2及び図3Aに示したように、送光用光ファイバ203と複数の受光用光ファイバ205とを、一列に連なるように配置することが可能である。図3Aに示した配置の場合、送光用光ファイバとある一つの受光用光ファイバとの間の離隔距離として、（1）送光用光ファイバ203－受光用光ファイバ207間の離隔距離d1、（2）送光用光ファイバ203－受光用光ファイバ209間の離隔距離d2、（3）送光用光ファイバ203－受光用光ファイバ211間の離隔距離d3という、3種類の離隔距離が存在する。

[0045] 図3Bに示した例では、送光用光ファイバ203を囲むように、4本の受光用光ファイバ207A～207Dと、4本の受光用光ファイバ209A～209Dという、計8本の受光用光ファイバが配置されている。図3Bに示

した配置の場合、4本の受光用光ファイバ207A~207Dは、送光用光ファイバ203からの離隔距離が互いに等しくなり、かつ、4本の受光用光ファイバ209A~209Dは、送光用光ファイバ203からの離隔距離が互いに等しくなる。また、配置から明らかなように、4本の受光用光ファイバ207A~207Dについての離隔距離と、4本の受光用光ファイバ209A~209Dについての離隔距離とは、互いに相違する。

[0046] 図3Cに示した例においても、送光用光ファイバ203と、8本の受光用光ファイバと、が配置されているが、図3Cに示した配置例では、送光用光ファイバ203を起点として、8本の受光用光ファイバが2次元的に配置されている。図3Cに示した例の場合、2本の受光用光ファイバ207A, 207Bは、送光用光ファイバ203からの離隔距離が互いに等しくなり、2本の受光用光ファイバ211A, 211Bは、送光用光ファイバ203からの離隔距離が互いに等しくなり、2本の受光用光ファイバ213A, 213Bは、送光用光ファイバ203からの離隔距離が互いに等しくなる。また、かかる配置の場合、(1)送光用光ファイバ203-受光用光ファイバ207A, 207B間の離隔距離、(2)送光用光ファイバ203-受光用光ファイバ209間の離隔距離、(3)送光用光ファイバ203-受光用光ファイバ211A, 211B間の離隔距離、(4)送光用光ファイバ203-受光用光ファイバ213A, 213B間の離隔距離、(5)送光用光ファイバ203-受光用光ファイバ215間の離隔距離という、5種類の離隔距離が存在する。

[0047] ここで、本実施形態に係る測定プローブ20において、送光用光ファイバ203とそれぞれの受光用光ファイバ205との間の離隔距離は、0mm超過5mm以下であることが好ましい。換言すれば、送光用光ファイバ203と受光用光ファイバ205との間の離隔距離の最大値は、5mm以下であることが好ましい。かかる離隔距離が5mm以下となることで、例えば、皮膚に存在するホクロを被測定物Sとする場合にホクロの部分のみを測定する等のように、被測定物Sについてのほぼ同一の部位について測定を行うことが

可能となる。

[0048] また、被測定物Sについてのほぼ同一の部位について測定を行うことをより容易なものとするために、図2～図3Cに示したようなバンドルファイバ201は、その口径が0.5cm以上1cm以下であることが好ましい。また、バンドルファイバ201の口径が0.5cm以上1cm以下となることで、測定プローブ20を被測定物Sに対して垂直に当接させることが容易となるとともに、測定プローブ20の把持性が向上し、本実施形態に係る光学定数測定装置1の使用は、より容易に測定プローブ20をハンドリングすることが可能となる。

[0049] 以上説明したような測定プローブ20は、その一方の端部が平面となっており、図4に模式的に示したように、平面状の端部が被測定物Sに当接される。ここで、送光用光ファイバ203と複数の受光用光ファイバ205とをより確実に被測定物Sに接触させるために、バンドルファイバ201は、図4に模式的に示したように、被測定物Sに対してなるべく垂直となるように押しあてられることが好ましい。そのため、送光用光ファイバ203及び各受光用光ファイバ205のファイバ端は、それぞれ平面となっており、かつ、各光ファイバをバンドルしたバンドルファイバ201の端面で規定される平面内に存在することが好ましい。一方で、本実施形態に係る光学定数測定装置1の使用が測定プローブ20（特に、バンドルファイバ201）を把持する際に、使用者が測定プローブ20を把持することに起因するノイズが検出結果に重畳しないことが好ましい。そのためには、送光用光ファイバ203及び受光用光ファイバ205が、バンドルファイバ201の表面からある程度離れた位置（中心軸寄り）に存在していることが好ましい。

[0050] そこで、本実施形態に係る測定プローブ20では、送光用光ファイバ203を光軸方向に対して垂直な方向に切断したときの断面積と、それぞれの受光用光ファイバ205を光軸方向に対して垂直な方向に切断したときの断面積と、の合計断面積が、バンドルファイバ201を光軸方向に対して垂直な方向に切断したときの断面積に対して、どのくらいの割合となるか、検討す

る。ここで、送光用光ファイバ203及び受光用光ファイバ205を、なるべく細密充填配置となるように配置することを考える。1本の送光用光ファイバ203に対して、3本の受光用光ファイバ205を上記離隔距離が3種類の値となるように配置すると仮定し、バンドルファイバの端面の外形が矩形となるように、計4本の光ファイバをバンドルすると、上記割合は、56%となる。同様に、上記仮定のもと、バンドルファイバの端面の外形が円形となるように、計4本の光ファイバをバンドルすると、上記割合は、44%となる。従って、本実施形態に係る測定プローブ20では、送光用光ファイバ203を光軸方向に対して垂直な方向に切断したときの断面積と、それぞれの受光用光ファイバ205を光軸方向に対して垂直な方向に切断したときの断面積と、の合計断面積が、バンドルファイバ201を光軸方向に対して垂直な方向に切断したときの断面積に対して、56%以下となっていることが好ましい。バンドルファイバ201の断面積に対する、送光用光ファイバ203及び受光用光ファイバ205の合計断面積の割合は、より好ましくは、44%以下である。

[0051] また、被測定物Sの屈折率と、バンドルファイバ201の屈折率と、が大きく異なる場合には、被測定物Sとバンドルファイバ201との光学的な接続状態が低下して、照射光が被測定物S内へと入射しづらくなることが考えられる。そこで、図5に模式的に示したように、バンドルファイバ201の先端部に、被測定物Sの屈折率に近い値の屈折率を有する屈折率調整部221を設けてもよい。これにより、被測定物Sとバンドルファイバ201との光学的な接続状態を、より一層向上させることが可能となる。

[0052] 以上、図2～図5を参照しながら、本実施形態に係る測定プローブ20について、詳細に説明した。

[0053] [光学定数測定装置の構成例]

続いて、図6～図9を参照しながら、本実施形態に係る光学定数測定装置1の構成例（より詳細には、光源部10、測定プローブ20及び検出部30の構成例）について、より具体的に説明する。図6～図9は、本実施形態に



係る光学定数測定装置の構成例を模式的に示した説明図である。

- [0054] なお、図6～図9では、測定プローブ20のバンドルファイバ201が、1本の送光用光ファイバ203と、3本の受光用光ファイバ205A、205B、205Cとから構成される場合を図示している。
- [0055] 図6に示した構成例では、演算処理部40の制御下のもとで、光源部10から所定波長の照射光が出射される。光源部10から出射された照射光は、未図示の光学素子により導光されて、送光用光ファイバ203の一方の端部に接続される。照射光は、送光用光ファイバ203中を導光されて、バンドルファイバ201の端部から被測定物内に入射する。被測定物内に入射した照射光の一部は、バンドルファイバ201に設けられた受光用光ファイバ205A、205B、205Cの何れかに、戻り光として到達しうる。各受光用光ファイバ205A、205B、205Cの末端には、検出部30として、各種の検出器301A、301B、301Cが配置されており、受光用光ファイバ205A、205B、205Cの何れかに到達した戻り光の強度が計測される。各検出器301A、301B、301Cでの戻り光の強度の検出値は、演算処理部40へと出力される。
- [0056] なお、図6では、検出部30として、各受光用光ファイバ205A、205B、205Cの末端のそれぞれに検出器301を設ける場合について図示しているが、マルチチャンネルの検出器を用いて、検出器301の個数を削減することも可能である。
- [0057] 図7では、受光用光ファイバに到達した戻り光の強度をロックイン検出する場合の構成例を示している。かかる場合、ロックイン検出のために、照射光を予め変調する必要がある。そこで、図7に示した構成例では、光源部10と送光用光ファイバ203との間に、光源部10から出射された照射光を変調するための光チョッパ101が設けられている。
- [0058] 各検出器301A、301B、301Cの後段には、受光用光ファイバ205A、205B、205Cにそれぞれ到達した戻り光をロックイン検出するために、それぞれロックインアンプ303A、303B、303Cが設け

られている。すなわち、本構成例では、各検出器301A, 301B, 301Cと、ロックインアンプ303A, 303B, 303Cとで、検出部30が構成されている。光チョッパ101において施された変調に関する情報（例えば、変調周波数に関する情報など）は、それぞれのロックインアンプ303A, 303B, 303Cへと出力されており、各検出器301A, 301B, 301Cで検出された戻り光が、各ロックインアンプ303A, 303B, 303Cにおいてロックイン検出される。

[0059] 本実施形態に係る光学定数測定装置1において、送光用光ファイバ203を、被測定物Sからの照射光の戻り光を受光する受光用光ファイバとして使用することも可能である。ただ、この場合には、光源部10から出射された照射光を送光用光ファイバ203へと導光する導光光学系に工夫する必要がある。図8及び図9は、図6及び図7に示した構成例において、送光用光ファイバ203を受光用光ファイバとして使用するための導光光学系を導入した構成例を示したものである。

[0060] 図8では、光源部10と送光用光ファイバ203との間に所定の光学フィルタを有するビームスプリッタBSを設けている。かかるビームスプリッタBSの光学フィルタは、光源部10から照射された照射光は透過する一方で、戻り光は反射するように予め設定されている。また、ビームスプリッタBSにより分岐された戻り光は、後段に設けられた検出器301Dにより検出される。

[0061] 図9では、光チョッパ101と送光用光ファイバ203との間に、図8と同様のビームスプリッタBSが設けている。ビームスプリッタBSにより分岐された戻り光は、後段に設けられた検出器301Dにより検出され、検出器301Dの後段に設けられたロックインアンプ303Dにより、ロックイン検出される。

[0062] 以上、本実施形態に係る光学定数測定装置1の構成例（より詳細には、光源部10、測定プローブ20及び検出部30の構成例）について、説明した。

[0063] [演算処理部40の構成例について]

続いて、図10を参照しながら、本実施形態に係る演算処理部40の構成例について、詳細に説明する。図10は、本実施形態に係る光学定数測定装置1が備える演算処理部40の構成の一例を示したブロック図である。

[0064] 先だって言及したように、本実施形態に係る演算処理部40は、光源部10及び検出部30の駆動制御を行う。また、演算処理部40は、検出部30にて検出された、それぞれの受光用光ファイバ205での戻り光の強度の検出値を用いて、被測定物Sの光学定数を算出する。

[0065] かかる機能を実現する演算処理部40は、図10に示したように、測定制御部401と、測定データ取得部403と、光学定数算出部405と、算出結果出力部407と、表示制御部409と、記憶部411と、を主に備える。

[0066] 測定制御部401は、例えば、CPU、ROM、RAM、通信装置等により実現される。測定制御部401は、本実施形態に係る光学定数測定装置1における測定処理の全般を統括的に制御する処理部である。より詳細には、測定制御部401は、光源部10及び検出部30が所望の機能を実現するように、光源部10及び検出部30の駆動状況を監視するとともに、光源部10及び検出部30に対して所望の機能を実現するための各種の制御信号を送出する。これにより、本実施形態に係る光源部10及び検出部30は、適切に稼働して、照射光の戻り光の強度に関する検出値を適切に取得することが可能となる。

[0067] 測定データ取得部403は、例えば、CPU、ROM、RAM、通信装置等により実現される。測定データ取得部403は、検出部30から出力された各受光用光ファイバ205での戻り光の強度の検出値に関するデータを取得する。測定データ取得部403は、取得した検出値に関するデータを、後段の光学定数算出部405に出力する。また、測定データ取得部403は、取得した検出値に関するデータに対して、当該データを取得した日時等に関する時刻データを関連付けた上で、かかる検出値に関するデータを履歴情報

として記憶部411に記録してもよい。

[0068] 光学定数算出部405は、例えば、CPU、ROM、RAM等により実現される。光学定数算出部405は、測定データ取得部403から出力された、各受光用光ファイバ205での戻り光の強度の検出値に関するデータを用いて、被測定物Sの光学定数を算出する。ここで、光学定数算出部405は、かかる光学定数として、被測定物Sの散乱係数及び吸収係数を少なくとも算出する。また、光学定数算出部405は、かかる光学定数として、更に、被測定物Sの異方性パラメータ及び屈折率の少なくとも何れかを算出することもできる。

[0069] より詳細には、光学定数算出部405は、上記のような光学定数を、モンテカルロ法により算出することが好ましい。すなわち、光学定数算出部405は、被測定物Sについての光学定数を初期設定値から変化させながら、複数の受光用光ファイバ205に到達する戻り光の強度を、モンテカルロ法により算出していく。その上で、光学定数算出部405は、検出部30により検出された戻り光の強度の検出値を与える光学定数の設定値（戻り光の強度の検出値を再現する光学定数の設定値）を、着目している被測定物Sの光学定数とする。

[0070] 光学定数算出部405は、複数の受光用光ファイバ205に到達する戻り光の強度をモンテカルロ法により算出していく際に、光学定数の設定値（特に、散乱係数及び吸収係数の設定値）を用いて、被測定物Sに入射する光子の散乱及び吸収を考慮しながら、光子の軌跡を追跡していく。光学定数算出部405は、追跡の結果、いずれかの受光用光ファイバ205に到達した光子の統計的個数から、複数の受光用光ファイバ205に到達する戻り光の強度を算出する。

[0071] このように、各受光用光ファイバ205に到達する戻り光の強度は、被測定物Sの散乱係数及び吸収係数によって決まり、各受光用光ファイバ205間での戻り光の強度比に基づき、被測定物Sの散乱係数及び吸収係数を算出することができる。

- [0072] 光学定数算出部405により実施される光学定数の算出処理の詳細については、以下で改めて詳細に説明する。
- [0073] 光学定数算出部405は、以上のようにして被測定物Sの光学定数を算出すると、算出した光学定数に関する情報を、算出結果出力部407に出力する。
- [0074] 算出結果出力部407は、例えば、CPU、ROM、RAM、出力装置、通信装置等により実現される。算出結果出力部407は、光学定数算出部405により算出された、被測定物Sの光学定数に関する各種の算出結果等を、光学定数測定装置1の利用者へと出力する。例えば、算出結果出力部407は、光学定数の算出結果に関する情報を、表示制御部409へと出力することが可能である。これにより、光学定数の算出結果に関する情報が、光学定数測定装置1が備える表示部（図示せず。）や、光学定数測定装置1の外部に設けられた表示部（例えば、外部のモニタ等）に出力されることとなる。また、算出結果出力部407は、得られた光学定数の算出結果に関する情報を、印刷物として出力したり、データとして外部の情報処理装置やサーバ等へ出力したりすることが可能である。
- [0075] 表示制御部409は、例えば、CPU、ROM、RAM、出力装置等により実現される。表示制御部409は、算出結果出力部407から出力された光学定数に関する各種の算出結果を、光学定数測定装置1が備えるディスプレイ等の出力装置や光学定数測定装置1の外部に設けられた出力装置等に表示する際の表示制御を行う。これにより、光学定数測定装置1の利用者は、光学定数に関する各種の算出結果を、その場で把握することが可能となる。
- [0076] 記憶部411は、演算処理部40が備える記憶装置の一例であり、RAMやストレージ装置等により実現される。記憶部411には、本実施形態に係る演算処理部40が、何らかの処理を行う際に保存する必要が生じた様々なパラメータや処理の途中経過等、又は、各種のデータベースやプログラム等が、適宜記録される。この記憶部411は、測定制御部401、測定データ取得部403、光学定数算出部405、算出結果出力部407、表示制御部

409等が、自由にリード／ライト処理を実施することが可能である。

[0077] 以上、本実施形態に係る演算処理部40の機能の一例を示した。上記の各構成要素は、汎用的な部材や回路を用いて構成されていてもよいし、各構成要素の機能に特化したハードウェアにより構成されていてもよい。また、各構成要素の機能を、CPU等が全て行ってもよい。従って、本実施形態を実施する時々の技術レベルに応じて、適宜、利用する構成を変更することが可能である。

[0078] なお、上述のような本実施形態に係る演算処理部の各機能を実現するためのコンピュータプログラムを作製し、パーソナルコンピュータ等に実装することが可能である。また、このようなコンピュータプログラムが格納された、コンピュータで読み取り可能な記録媒体も提供することができる。記録媒体は、例えば、磁気ディスク、光ディスク、光磁気ディスク、フラッシュメモリなどである。また、上記のコンピュータプログラムは、記録媒体を用いずに、例えばネットワークを介して配信してもよい。

[0079] <光学定数測定方法の流れについて>

[全体的な流れについて]

次に、図11を参照しながら、本実施形態に係る光学定数測定装置1で実施される光学定数測定方法の全体的な流れの一例を説明する。図11は、本実施形態に係る光学定数測定方法の流れの一例を示した流れ図である。

[0080] 本実施形態に係る光学定数測定方法では、まず、光学定数測定装置1の光源部10、測定プローブ20及び検出部30が、演算処理部40による制御のもとで適切に稼働することにより、被測定物Sからの照明光の戻り光の強度が検出される。光学定数測定装置1の演算処理部40の測定データ取得部403は、得られた戻り光強度の検出値に関するデータを取得して（ステップS101）、光学定数算出部405へと出力する。

[0081] 光学定数算出部405は、まず、光学定数を算出する上での演算条件と、光学定数の初期値と、を設定する（ステップS103）。

[0082] ここで、光学定数を算出する上での演算条件としては、例えば、測定プロ

ープ20における各光ファイバの配置状態、後述するモンテカルロ計算を実施する仮想的な空間の大きさ、モンテカルロ計算における光子数、光子の重み等を挙げることができる。これらの演算条件は、算出する光学定数に求める精度や、演算に供することが可能なコンピュータリソース等に応じて、適宜設定することが可能である。

[0083] また、光学定数の初期値としては、例えば、散乱係数、吸収係数、異方性パラメータ、屈折率等を挙げることができる。これらの初期値のうち、モンテカルロ計算において定数として取り扱うものについては、モンテカルロ計算中に初期値が変化することなく利用され、モンテカルロ計算において変数として取り扱われるもの（例えば、散乱係数、吸収係数等）は、モンテカルロ計算中に随時値が変化していく。なお、初期値としてどのような値が設定されるかについては、特に限定されるものではなく、任意の値を設定可能であるが、予想される光学定数に近い値を設定することで、モンテカルロ計算時間を短縮することが可能となるため、好ましい。

[0084] 光学定数算出部405は、演算条件や光学定数の初期値を設定すると、続いて、モンテカルロ計算を実施して、被測定物S中での光子の移動の様子を追跡する（ステップS105）。かかるモンテカルロ計算により、各受光用光ファイバで検出される戻り光の強度の計算値が算出される。

[0085] 光学定数算出部405は、モンテカルロ計算が終了すると、戻り光強度の検出値と計算値との差分を算出する（ステップS107）。その上で、光学定数算出部405は、算出した差分が所定の閾値以下であるか否かを判断する（ステップS109）。ここで、差分を判定する際の閾値の具体的な値については特に規定されるものではなく、計算に求める精度に応じて適宜決定すればよい。

[0086] 差分が所定の閾値以下ではない場合（ステップS109-NO）、光学定数算出部405は、光学定数の設定値を公知の方法により更新して（ステップS111）、ステップS105から繰り返し処理を実施する。ここで、光学定数の更新方法については、特に限定されるものではなく、共役勾配法、

準ニュートン法等といった、公知のアルゴリズムを適宜利用することが可能である。

[0087] また、差分が所定の閾値以下である場合（ステップS109-YES）、光学定数算出部405は、かかるモンテカルロ計算で設定されている光学定数の設定値を、着目している被測定物Sの光学定数の値として出力する（ステップS113）。

[0088] 以上、図11を参照しながら、本実施形態に係る光学定数算出方法の全体的な流れについて、説明した。

[0089] [モンテカルロ計算の流れについて]

次に、図12及び図13を参照しながら、本実施形態に係る光学定数算出方法におけるモンテカルロ計算の流れについて、詳細に説明する。図12は、本実施形態に係る光学定数測定方法におけるモンテカルロ計算について説明するための説明図であり、図13は、本実施形態に係る光学定数測定方法におけるモンテカルロ計算の流れの一例を示した流れ図である。

[0090] 以下では、図12に示したような配置で各光ファイバが配置された測定プローブ20において、戻り光の強度を算出する場合を例に挙げて、説明を行うものとする。本実施形態に係るモンテカルロ計算では、図12に示したようなバンドルファイバ201のアライメントに対して、設定した吸収係数及び散乱係数により、1光子の散乱方向及び移動距離を乱数で決め、受光用光ファイバ205、207、209の何れかに到達した光子の個数を積算していき、光子が吸収により消失するか又は測定外に離脱するまで、1光子の光路をトレースする。

[0091] ここで、図12に示したような仮想的な演算空間の大きさは、適宜設定すればよい。例えば、仮想的な演算空間の厚みd（仮想的な空間のZ軸方向の長さ）は、照射光の波長に応じて適宜設定すればよく、例えば2mm程度の値とすることができる。また、仮想的な演算空間のX軸方向の長さ、及び、Y軸方向の長さについても、バンドルファイバ201のアライメントや、求める計算精度等に応じて、適宜決定すればよい。



[0092] このような計算を多数の光子（統計的に有意な数の光子、例えば、 $10^7$ 個程度）に対して繰り返し行なうことにより、統計的に送光された光が試料を經由して受光ファイバに到達する割合を、散乱係数及び吸収係数の関数として求める。その上で、統計的に得られた、各受光用光ファイバにおける送光強度に対する相対強度が、得られた検出値に合致するまで（詳細には、検出値との差分が所定の閾値以下となるまで）、散乱係数及び吸収係数を変化させて、繰り返し計算を行なう。

[0093] 具体的には、図13に示したように、光学定数算出部405は、送光用光ファイバ203の位置に対応する送光面から、光子を1つ入射させる（ステップS201）。

[0094] 入射させた1つの光子について、光学定数算出部405は、光子の散乱方向と移動距離を算出する（ステップS203）。

具体的には、光学定数算出部405は、まず、算出に利用する乱数を、公知の方法により発生させる。例えば、光学定数算出部405は、公知の演算ライブラリを用いて、一様分布乱数を発生させるとともに、発生させた一様分布乱数を用いて、例えばボックスミュラー法等の公知の方法により、正規分布乱数を発生させる。

[0095] その上で、光学定数算出部405は、以下の式(101)により、1光子の移動距離 $L$ を算出する。ここで、以下の式(101)において、 $R$ は、発生させた一様分布乱数( $0 < R \leq 1$ )であり、 $\mu_s$ は、設定されている散乱係数 [ $\text{mm}^{-1}$ ] である。

[0096] [数1]

$$L = \frac{-\ln(R)}{\mu_s} \quad \dots \text{式 (101)}$$

[0097] また、光学定数算出部405は、乱数を用いた公知の方法により、光子の移動方向を算出する。例えば、光学定数算出部405は、設定された異方性パラメータ $g$  ( $-1 \leq g \leq 1$ )と、一様分布乱数 $R$ と、を用いた、以下の式(103)で表されるHenyey-Greenstein関数を用いて、

まず、ある平面内における光子の移動方向を算出する。ここで、以下の式（103）において、 $\theta$ は、平面内の散乱方向を示す角度である。また、以下の式（103）における $\cos\theta$ の具体的な値は、以下の式（105）により算出する。

[0098] [数2]

$$p(\cos\theta) = \frac{1}{4\pi} \cdot \frac{1-g^2}{(1+g^2-2g(\cos\theta))^{3/2}} \quad \dots \text{式 (103)}$$

$$\cos\theta = \begin{cases} \frac{1}{2g} \cdot \left[ (1+g^2) - \left( \frac{1-g^2}{1-g+2gR} \right)^2 \right], & g \neq 0 \\ 2R-1, & g = 0 \end{cases} \quad \dots \text{式 (105)}$$

[0099] その上で、光学定数算出部405は、上記式（103）及び式（105）で得られた平面ベクトルを、3次元展開する。具体的には、光学定数算出部405は、以下の式（107）を用いて、光子のもとの進行方向（移動前の進行方向） $\Omega_0 = (u_x, u_y, u_z)$ を一様分布乱数 $\phi$ （ $0 < \phi < 1$ ）で回転させて、得られた平面ベクトルを3次元展開する。このようにして、光学定数算出部405は、着目している光子の散乱方向 $\Omega$ を算出することができる。ただし、 $u_x^2 + u_y^2 = 1 - u_z^2 \neq 0$ とみなすことができる場合は、以下の式（107）に換えて、以下の式（109）を用いることができる。

[0100] [数3]

$$\Omega = \cos\theta \cdot \Omega_0 + \sin\theta \cdot \left[ \cos\phi \begin{pmatrix} u_x u_z / \sqrt{u_x^2 + u_y^2} \\ u_y u_z / \sqrt{u_x^2 + u_y^2} \\ -\sqrt{u_x^2 / u_y^2} \end{pmatrix} + \sin\phi \cdot \begin{pmatrix} -u_y / \sqrt{u_x^2 + u_y^2} \\ u_x / \sqrt{u_x^2 + u_y^2} \\ 0 \end{pmatrix} \right] \quad \dots \text{式 (107)}$$

$$\Omega = \sin(u_z) \cdot \begin{pmatrix} \sin\theta \cos\phi \\ \sin\theta \sin\phi \\ \cos\theta \end{pmatrix} \quad \dots \text{式 (109)}$$

[0101] その後、光学定数算出部405は、上記の算出結果に基づき、光子を移動

させる（ステップS205）。この際、光学定数算出部405は、移動距離Lに基づき、光子の吸収量を算出する（ステップS207）。具体的には、以下の式（111）に示すLambert-beerの法則に基づき、吸収量Absを算出する。ここで、以下の式（111）において、 $W_0$ は、移動前の光子の重み（重み初期値は、例えば1とすることができる。）であり、 $\mu_a$ は、吸収係数[mm<sup>-1</sup>]であり、Lは、移動距離である。

[0102] [数4]

$$Abs = W_0 - 10^{(-\mu_a \cdot L)} \quad \dots \text{式 (111)}$$

[0103] 続いて、光学定数算出部405は、光子が演算対象領域とする仮想的な演算空間の境界に達したか否かの判定を行い、あわせて、受光用光ファイバの何れかに到達したか否かを判断する。その上で、受光用光ファイバの何れかに到達した光子の数である到達光子数、及び、演算対象領域から離脱した光子の数である離脱光子数を更新する（ステップS209）。境界判定に際して、境界面での光子の反射や透過を判断する際には、被測定物Sの屈折率nに基づき、フレネル反射が考慮される。

[0104] 次に、光学定数算出部405は、算出した吸収量に基づき、光子の重みの判定（モンテカルロ計算における、いわゆるロシアン・ルーレット）を実施して、光子が消失したか否かを判断する（ステップS211）。具体的には、光学定数算出部405は、算出した吸収量から、移動後の光子の重みを算出し、得られた光子の重みを所定の閾値と大小比較する。

[0105] 得られた光子の重みが所定の閾値以上であり、かつ、光子が演算対象領域の内部に存在する場合には、光学定数算出部405は、1光子は、消失していないと判断する（ステップS211-NO）。その後、光学定数算出部405は、ステップS203に戻って、新たに発生させた乱数に従い、光子の散乱方向及び散乱距離の算出を繰り返す。

[0106] 一方、得られた光子の重みが所定の閾値未満であった場合には、光学定数算出部405は、1光子が消失したと判断する（ステップS211-YES

）。その後、光学定数算出部405は、予め設定された全ての光子について、計算が終了したか否かを判断する（ステップS213）。

[0107] 全ての光子の計算が終了していない場合（ステップS213-NO）、光学定数算出部405は、ステップS201に戻って、新たな光子を1つ、演算対象領域内に入射させる。また、全ての光子の計算が終了した場合（ステップS213-YES）、光学定数算出部405は、各受光用光ファイバに到達した合計光子数を用いて、各受光用光ファイバ間での戻り光の相対強度を算出する（ステップS215）。

[0108] 以上、本実施形態に係るモンテカルロ計算について、図12及び図13を参照しながら、詳細に説明した。

[0109] なお、バンドルファイバ201のアライメントを固定しておけば、あらかじめ散乱係数及び吸収係数に対する受光量の相対強度を計算したルックアップテーブルを作成し、記憶部411等に格納しておくことにより、モンテカルロ法-差分最小化の繰り返し計算を行わずに、おおよその光学定数を算出することも可能である。

[0110] <演算処理部40のハードウェア構成について>

次に、図14を参照しながら、本実施形態に係る演算処理部40のハードウェア構成について、詳細に説明する。図14は、本開示の実施形態に係る演算処理部40のハードウェア構成を説明するためのブロック図である。

[0111] 演算処理部40は、主に、CPU901と、ROM903と、RAM905と、を備える。また、演算処理部40は、更に、ホストバス907と、ブリッジ909と、外部バス911と、インターフェース913と、入力装置915と、出力装置917と、ストレージ装置919と、ドライブ921と、接続ポート923と、通信装置925とを備える。

[0112] CPU901は、中心的な処理装置及び制御装置として機能し、ROM903、RAM905、ストレージ装置919、又はリムーバブル記録媒体927に記録された各種プログラムに従って、演算処理部40内の動作全般又はその一部を制御する。ROM903は、CPU901が使用するプログラ

ムや演算パラメータ等を記憶する。RAM905は、CPU901が使用するプログラムや、プログラムの実行において適宜変化するパラメータ等を一次記憶する。これらはCPUバス等の内部バスにより構成されるホストバス907により相互に接続されている。

[0113] ホストバス907は、ブリッジ909を介して、PCI (Peripheral Component Interconnect / Interface) バスなどの外部バス911に接続されている。

[0114] 入力装置915は、例えば、マウス、キーボード、タッチパネル、ボタン、スイッチ及びレバーなどユーザが操作する操作手段である。また、入力装置915は、例えば、赤外線やその他の電波を利用したリモートコントロール手段（いわゆる、リモコン）であってもよいし、演算処理部40の操作に対応した携帯電話やPDA等の外部接続機器929であってもよい。さらに、入力装置915は、例えば、上記の操作手段を用いてユーザにより入力された情報に基づいて入力信号を生成し、CPU901に出力する入力制御回路などから構成されている。ユーザは、この入力装置915を操作することにより、演算処理部40に対して各種のデータを入力したり処理動作を指示したりすることができる。

[0115] 出力装置917は、取得した情報をユーザに対して視覚的又は聴覚的に通知することが可能な装置で構成される。このような装置として、CRTディスプレイ装置、液晶ディスプレイ装置、プラズマディスプレイ装置、ELディスプレイ装置及びランプなどの表示装置や、スピーカ及びヘッドホンなどの音声出力装置や、プリンタ装置、携帯電話、ファクシミリなどがある。出力装置917は、例えば、演算処理部40が行った各種処理により得られた結果を出力する。具体的には、表示装置は、演算処理部40が行った各種処理により得られた結果を、テキスト又はイメージで表示する。他方、音声出力装置は、再生された音声データや音響データ等からなるオーディオ信号をアナログ信号に変換して出力する。

[0116] ストレージ装置919は、演算処理部40の記憶部の一例として構成され

たデータ格納用の装置である。ストレージ装置 919 は、例えば、HDD (Hard Disk Drive) 等の磁気記憶デバイス、半導体記憶デバイス、光記憶デバイス、又は光磁気記憶デバイス等により構成される。このストレージ装置 919 は、CPU 901 が実行するプログラムや各種データ、及び外部から取得した各種データなどを格納する。

[0117] ドライブ 921 は、記録媒体用リーダライタであり、演算処理部 40 に内蔵、あるいは外付けされる。ドライブ 921 は、装着されている磁気ディスク、光ディスク、光磁気ディスク、又は半導体メモリ等のリムーバブル記録媒体 927 に記録されている情報を読み出して、RAM 905 に出力する。また、ドライブ 921 は、装着されている磁気ディスク、光ディスク、光磁気ディスク、又は半導体メモリ等のリムーバブル記録媒体 927 に記録を書き込むことも可能である。リムーバブル記録媒体 927 は、例えば、DVD メディア、HD-DVD メディア、Blu-ray (登録商標) メディア等である。また、リムーバブル記録媒体 927 は、コンパクトフラッシュ (登録商標) (Compact Flash: CF)、フラッシュメモリ、又は、SD メモリカード (Secure Digital memory card) 等であってもよい。また、リムーバブル記録媒体 927 は、例えば、非接触型 IC チップを搭載した IC カード (Integrated Circuit card) 又は電子機器等であってもよい。

[0118] 接続ポート 923 は、機器を演算処理部 40 に直接接続するためのポートである。接続ポート 923 の一例として、USB (Universal Serial Bus) ポート、IEEE1394 ポート、SCSI (Small Computer System Interface) ポート等がある。接続ポート 923 の別の例として、RS-232C ポート、光オーディオ端子、HDMI (登録商標) (High-Definition Multimedia Interface) ポート等がある。この接続ポート 923 に外部接続機器 929 を接続することで、演算処理部 40 は、外部接続機器 929 から直接各種データを取得したり、外部接続機器 929 に各種

データを提供したりする。

[0119] 通信装置925は、例えば、通信網931に接続するための通信デバイス等で構成された通信インターフェースである。通信装置925は、例えば、有線又は無線LAN (Local Area Network)、Bluetooth (登録商標)、又はWUSB (Wireless USB) 用の通信カード等である。また、通信装置925は、光通信用のルータ、ADSL (Asymmetric Digital Subscriber Line) 用のルータ、又は、各種通信用のモデム等であってもよい。この通信装置925は、例えば、インターネットや他の通信機器との間で、例えばTCP/IP等の所定のプロトコルに則して信号等を送受信することができる。また、通信装置925に接続される通信網931は、有線又は無線によって接続されたネットワーク等により構成され、例えば、インターネット、家庭内LAN、赤外線通信、ラジオ波通信又は衛星通信等であってもよい。

[0120] 以上、本開示の実施形態に係る演算処理部40の機能を実現可能なハードウェア構成の一例を示した。上記の各構成要素は、汎用的な部材を用いて構成されていてもよいし、各構成要素の機能に特化したハードウェアにより構成されていてもよい。従って、本実施形態を実施する時々の技術レベルに応じて、適宜、利用するハードウェア構成を変更することが可能である。

## 実施例

[0121] 以下では、実施例及び比較例を示しながら、本開示に係る光学定数測定装置及び光学定数測定方法について、具体的に説明する。なお、以下に示す実施例は、本開示に係る光学定数測定装置及び光学定数測定方法のあくまでも一例にすぎず、本開示に係る光学定数測定装置及び光学定数測定方法が下記の例に限定されるものではない。

[0122] (実施例1)

実施例1では、図15に示したようにコア直径0.40mmのマルチモード光ファイバ(屈折率 $n=1.45\sim 1.46$ 。導光させる光の波長によって異なる。)が配置されたバンドルファイバ201を想定し、仮想的な試料

の散乱係数及び吸収係数を変化させながら、 $10^7$ 個の光子を入射させた場合の戻り光の強度を上述のモンテカルロ計算により算出した。ここで、以下の説明では、送光用光ファイバ203の端面を、「スポット1」と称することとし、受光用光ファイバ207, 209, 211の端面を、それぞれ、「スポット2」、「スポット3」、「スポット4」と称することとする。

[0123] スポット0から試料に入射した照射光は、試料内部で散乱され、試料内部で吸収されるとともに、ある部分は透過し、また、ある部分は試料表面へと戻ってくる。

[0124] 図16A~図16Cに、吸収係数 $\mu_a$  [ $\text{mm}^{-1}$ ] をパラメータとし ( $\mu_a = 0.1, 0.01, 0.001$ )、散乱係数 $\mu_s$  [ $\text{mm}^{-1}$ ] を1~30の間で変化させたときの各スポットへの戻り光強度をプロットしたものを示した。図16A~図16Cにおいて、縦軸は、戻り光強度（到達光子数）である。また、図16A~図16Cにおいて、「○」で示したプロットは、スポット0に対応し、「△」で示したプロットは、スポット1に対応し、「□」で示したプロットは、スポット2に対応し、「◇」で示したプロットは、スポット3に対応する。

[0125] 図16A~図16Cから明らかなように、スポット0への戻り光強度が、他のスポットにおける戻り光強度よりも大きく、また、散乱係数が増すにつれて、ほぼリニアに増加していることがわかる。

[0126] また、スポット0から距離のあるスポット1~スポット3について、散乱係数の値が小さいうちは、散乱係数とともにほぼリニアに戻り光強度が増加するが、散乱係数が大きくなると、距離の大きなスポットほど、戻り光の増加量は減少する傾向があることがわかる。

[0127] 図17A~図17Cは、上記のような挙動をより鮮明なものとするために、戻り光相対強度を算出して、得られた算出結果をプロットしたものである。図17A~図17Cにおいて、「○」で示したプロットは、スポット2/スポット1の相対強度に対応し、「△」で示したプロットは、スポット3/スポット1の相対強度に対応し、「□」で示したプロットは、スポット3/



スポット2の相対強度に対応する。

[0128] 図17A～図17Cから明らかなように、受光用光ファイバに対応するスポット間での戻り光相対強度をプロットすることで、送光用のスポット0から離れた位置での戻り光強度の挙動の違いがより明確になる。また、図17A～図17Cから明らかなように、スポット2／スポット1の相対強度と、スポット3／スポット1の相対強度とでは、同じ吸収係数のときに、相対強度のピークを与える散乱係数の値が、互いに相違していることがわかる。

[0129] 以上の結果から、各受光用光ファイバに戻ってくる戻り光の強度は、試料の散乱係数及び吸収係数によって決まり、戻り光の相対強度を利用して試料の散乱係数及び吸収係数が算出可能であることがわかる。

[0130] (実施例2)

実施例2では、図15に示したようにコア直径0.40mmのマルチモード光ファイバ(屈折率 $n=1.45\sim 1.46$ 。導光させる光の波長によって異なる。)が配置されたバンドルファイバ201を測定プローブ20として用いて、豚脳灰白質、豚脳白質、ヒドロキシアパタイトの光学定数(散乱係数及び吸収係数)を、モンテカルロ計算を利用した本開示に係る光学定数測定方法により算出した。

[0131] なお、豚脳灰白質は、豚の脳表面から採取したものを利用し、豚脳白質は、豚の脳表面から灰白質を除去した部分を測定に用いた。また、ヒドロキシアパタイトは、2mm厚×直径1cmに加工した板状試料を測定に用いた。

[0132] ハイドロキシアパタイトの測定では、405nmのレーザ光を照射光として使用し、豚脳の測定では、820nmのレーザ光を照射光として使用した。照射光は、光チョップでチョップした後、図7に示したような構成例の測定プローブ20に導入した。はじめに、送光用光ファイバ203からの照射光の出射強度を測定した後、測定プローブ20を試料におしつけ、受光用光ファイバ207, 209, 211からの戻り光を、ロックインアンプによりロックイン検出した。

[0133] 図18Aに、照射光の出射強度と、各受光用光ファイバでの戻り光強度と

を、ロックインアンプの信号強度 (mV) で示した。なお、図 18 Aにおいて、スポット 1 は、受光用光ファイバ 207 に対応し、スポット 2 は、受光用光ファイバ 209 に対応し、スポット 3 は、受光用光ファイバ 211 に対応している。

[0134] 得られた検出値と、図 15 に示したようなバンドルファイバ端面での光ファイバ配置と、を用いて、先だって説明したようなモンテカルロ計算により、豚脳灰白質、豚脳白質、ヒドロキシアパタイトのそれぞれの測定波長での散乱係数及び吸収係数を算出した。得られた結果を、図 18 A に示した表にあわせて示した。

[0135] (比較例 2)

積分球を用いた従来の測定により、実施例 2 で用いた試料について、散乱係数及び吸収係数の測定を行なった。なお、豚脳白質及び豚脳灰白質は、それぞれ切り出し、厚みを 1 mm 及び 2 mm に規定したガラスセルに挟んで、測定を行った。また、ヒドロキシアパタイトは、実施例 2 で用いたものに加え、厚み 1 mm の試料についても用意した。

[0136] 積分球を用いて測定された透過率及び反射率を、図 18 B に示した。これらの値から、モンテカルロ法により、散乱係数及び吸収係数を算出した。得られた結果を、図 18 B にあわせて示した。

[0137] 図 18 A 及び図 18 B を比較すると明らかなように、比較例で得られた散乱係数及び吸収係数は、実施例 2 での測定で得られた散乱係数及び吸収係数と極めて一致しており、本開示に係る光学定数測定方法により、被測定物 S の光学定数を、従来よりもより簡便に測定可能であることが確認された。

[0138] 以上、添付図面を参照しながら本開示の好適な実施形態について詳細に説明したが、本開示の技術的範囲はかかる例に限定されない。本開示の技術分野における通常の知識を有する者であれば、特許請求の範囲に記載された技術的思想の範疇内において、各種の変更例または修正例に想到し得ることは明らかであり、これらについても、当然に本開示の技術的範囲に属するものと了解される。

[0139] また、本明細書に記載された効果は、あくまで説明的または例示的なものであって限定的ではない。つまり、本開示に係る技術は、上記の効果とともに、又は、上記の効果に代えて、本明細書の記載から当業者には明らかな他の効果を奏しうる。

[0140] なお、以下のような構成も本開示の技術的範囲に属する。

(1)

被測定物に対して照射される所定波長の照射光を出射する光源部と、  
前記照射光を前記被測定物へと送光する送光用光ファイバ、及び、前記被測定物からの前記照射光の戻り光を受光する複数の受光用光ファイバが、前記送光用光ファイバと一つの前記受光用光ファイバとの間の離隔距離として、互いに異なる2以上の値が存在するようにバンドルされたバンドルファイバを有し、前記バンドルファイバの一方の端部が前記被測定物に対して当接される測定プローブと、

前記複数の受光用光ファイバで受光された前記照射光の戻り光の強度を、それぞれの前記受光用光ファイバごとに検出する検出部と、

前記それぞれの受光用光ファイバでの前記戻り光の強度の検出値を用いて、前記被測定物の光学定数を算出する演算処理部と、  
を備える、光学定数測定装置。

(2)

前記送光用光ファイバを光軸方向に対して垂直な方向に切断したときの断面積と、それぞれの前記受光用光ファイバを光軸方向に対して垂直な方向に切断したときの断面積と、の合計断面積は、前記バンドルファイバを光軸方向に対して垂直な方向に切断したときの断面積に対して、56%以下である、(1)に記載の光学定数測定装置。

(3)

前記送光用光ファイバとそれぞれの前記受光用光ファイバとの間の離隔距離は、5mm以下である、(1)又は(2)に記載の光学定数測定装置。

(4)

前記バンドルファイバの口径は、1 cm以下である、(1)～(3)の何れか1つに記載の光学定数測定装置。

(5)

前記送光用光ファイバが、更に、前記被測定物からの前記照射光の戻り光を受光する受光用光ファイバとしても用いられる、(1)～(4)の何れか1つに記載の光学定数測定装置。

(6)

前記演算処理部は、前記光学定数として、少なくとも前記被測定物の吸収係数及び散乱係数を算出する、(1)～(5)の何れか1つに記載の光学定数測定装置。

(7)

前記演算処理部は、前記光学定数として、更に、前記被測定物の屈折率及び異方性パラメータの少なくとも何れかを算出する、(6)に記載の光学定数測定装置。

(8)

前記演算処理部は、前記光学定数をモンテカルロ法により算出する、(1)～(7)の何れか1つに記載の光学定数測定装置。

(9)

前記演算処理部は、前記光学定数を変化させながら、モンテカルロ法により前記複数の受光用光ファイバに到達する前記戻り光の強度を算出し、前記検出部により検出された前記戻り光の強度の検出値を与える前記光学定数の設定値を、前記被測定物の前記光学定数とする、(8)に記載の光学定数測定装置。

(10)

前記被測定物は、生体組織である、(1)～(9)の何れか1つに記載の光学定数測定装置。

(11)

光源部から被測定物に対して、所定波長の照射光を出射することと、

前記照射光を前記被測定物へと送光する送光用光ファイバ、及び、前記被測定物からの前記照射光の戻り光を受光する複数の受光用光ファイバが、前記送光用光ファイバと一つの前記受光用光ファイバとの間の離隔距離として、互いに異なる2以上の値が存在するようにバンドルされている測定プローブを用いて、前記測定プローブの一方の端部を前記被測定物に対して当接することと、

検出部により、前記複数の受光用光ファイバで受光された前記照射光の戻り光の強度を、それぞれの前記受光用光ファイバごとに検出することと、

前記それぞれの受光用光ファイバでの前記戻り光の強度の検出値を用いて、前記被測定物の光学定数を算出することと、

を含む、光学定数測定方法。

### 符号の説明

[0141]	1	光学定数測定装置
	10	光源部
	20	測定プローブ
	30	検出部
	40	演算処理部
	101	光チョッパ
	201	バンドルファイバ
	203	送光用光ファイバ
	205, 207, 209, 211, 213	受光用光ファイバ
	301	検出器
	303	ロックインアンプ
	401	測定制御部
	403	測定データ取得部
	405	光学定数算出部
	407	算出結果出力部
	409	表示制御部

4 1 1 記憶部

## 請求の範囲

- [請求項1] 被測定物に対して照射される所定波長の照射光を出射する光源部と、
- 、
- 前記照射光を前記被測定物へと送光する送光用光ファイバ、及び、前記被測定物からの前記照射光の戻り光を受光する複数の受光用光ファイバが、前記送光用光ファイバと一つの前記受光用光ファイバとの間の離隔距離として、互いに異なる2以上の値が存在するようにバンドルされたバンドルファイバを有し、前記バンドルファイバの一方の端部が前記被測定物に対して当接される測定プローブと、
- 前記複数の受光用光ファイバで受光された前記照射光の戻り光の強度を、それぞれの前記受光用光ファイバごとに検出する検出部と、
- 前記それぞれの受光用光ファイバでの前記戻り光の強度の検出値を用いて、前記被測定物の光学定数を算出する演算処理部と、
- を備える、光学定数測定装置。
- [請求項2] 前記送光用光ファイバを光軸方向に対して垂直な方向に切断したときの断面積と、それぞれの前記受光用光ファイバを光軸方向に対して垂直な方向に切断したときの断面積と、の合計断面積は、前記バンドルファイバを光軸方向に対して垂直な方向に切断したときの断面積に対して、56%以下である、請求項1に記載の光学定数測定装置。
- [請求項3] 前記送光用光ファイバとそれぞれの前記受光用光ファイバとの間の離隔距離は、5mm以下である、請求項1に記載の光学定数測定装置。
- 。
- [請求項4] 前記バンドルファイバの口径は、1cm以下である、請求項1に記載の光学定数測定装置。
- [請求項5] 前記送光用光ファイバが、更に、前記被測定物からの前記照射光の戻り光を受光する受光用光ファイバとしても用いられる、請求項1に記載の光学定数測定装置。
- [請求項6] 前記演算処理部は、前記光学定数として、少なくとも前記被測定物

の吸収係数及び散乱係数を算出する、請求項1に記載の光学定数測定装置。

[請求項7] 前記演算処理部は、前記光学定数として、更に、前記被測定物の屈折率及び異方性パラメータの少なくとも何れかを算出する、請求項6に記載の光学定数測定装置。

[請求項8] 前記演算処理部は、前記光学定数をモンテカルロ法により算出する、請求項1に記載の光学定数測定装置。

[請求項9] 前記演算処理部は、前記光学定数を変化させながら、モンテカルロ法により前記複数の受光用光ファイバに到達する前記戻り光の強度を算出し、前記検出部により検出された前記戻り光の強度の検出値を与える前記光学定数の設定値を、前記被測定物の前記光学定数とする、請求項8に記載の光学定数測定装置。

[請求項10] 前記被測定物は、生体組織である、請求項1に記載の光学定数測定装置。

[請求項11] 光源部から被測定物に対して、所定波長の照射光を出射することと、

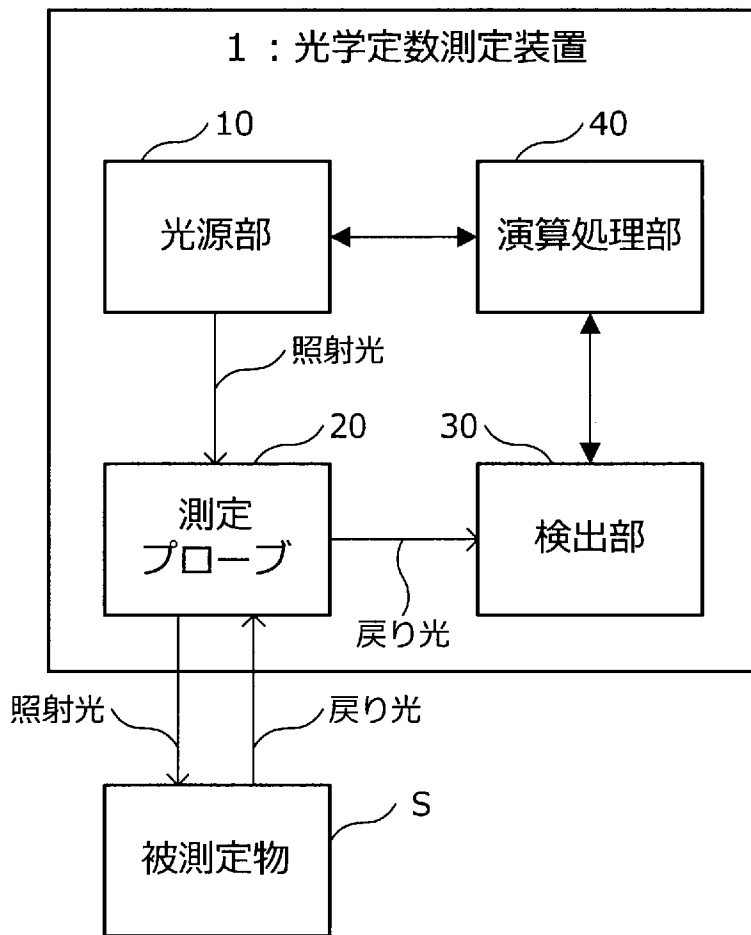
前記照射光を前記被測定物へと送光する送光用光ファイバ、及び、前記被測定物からの前記照射光の戻り光を受光する複数の受光用光ファイバが、前記送光用光ファイバと一つの前記受光用光ファイバとの間の離隔距離として、互いに異なる2以上の値が存在するようにバンドルされている測定プローブを用いて、前記測定プローブの一方の端部を前記被測定物に対して当接することと、

検出部により、前記複数の受光用光ファイバで受光された前記照射光の戻り光の強度を、それぞれの前記受光用光ファイバごとに検出することと、

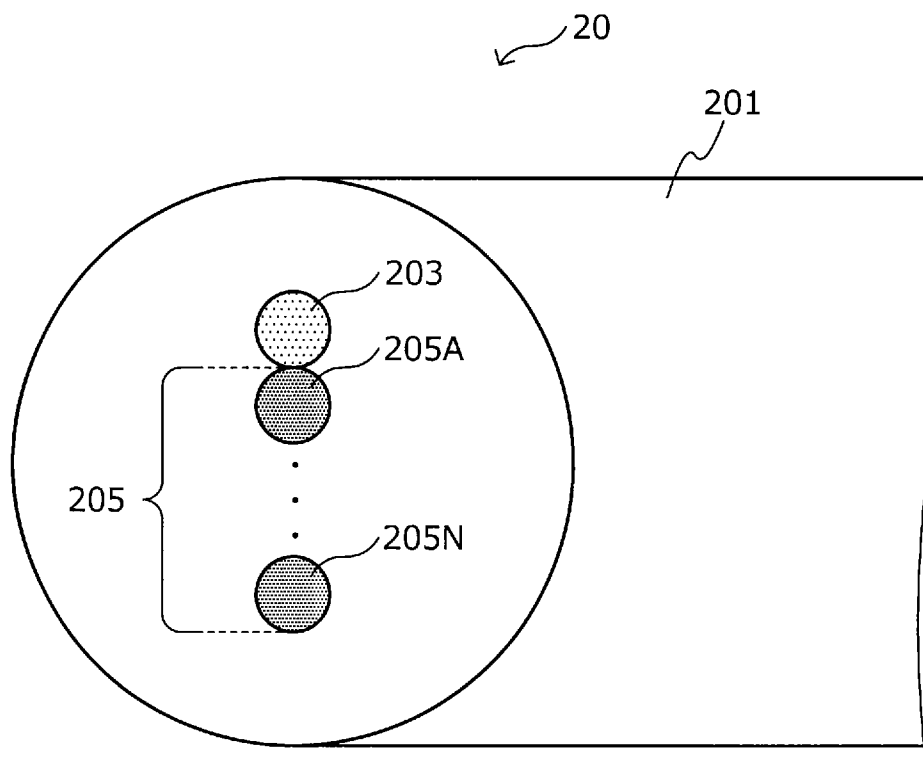
前記それぞれの受光用光ファイバでの前記戻り光の強度の検出値を用いて、前記被測定物の光学定数を算出することと、を含む、光学定数測定方法。



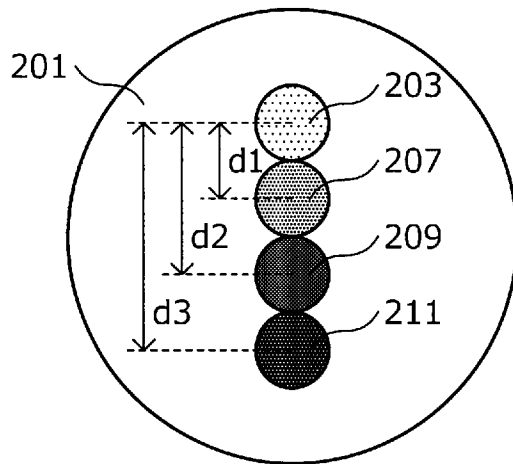
[図1]



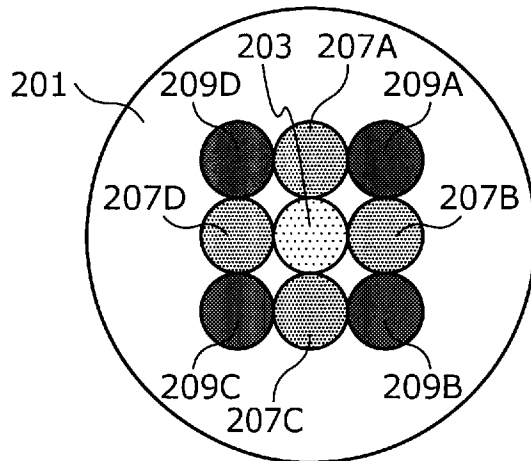
[図2]



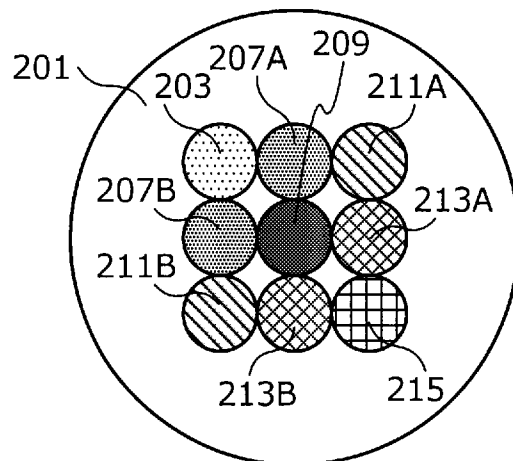
[図3A]



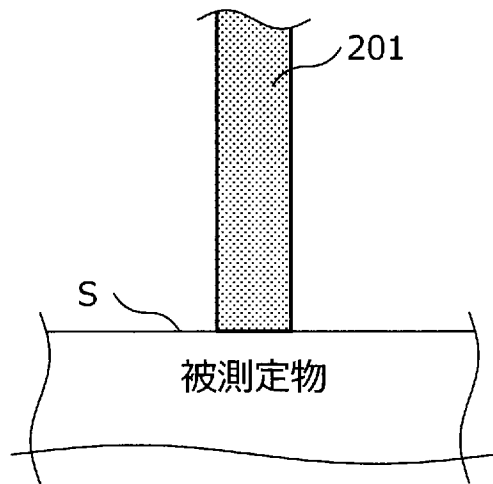
[図3B]



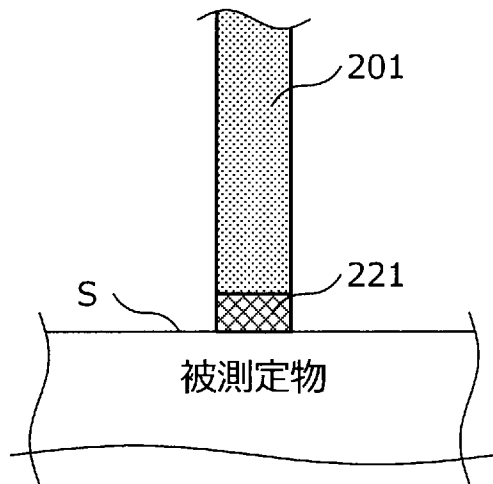
[図3C]



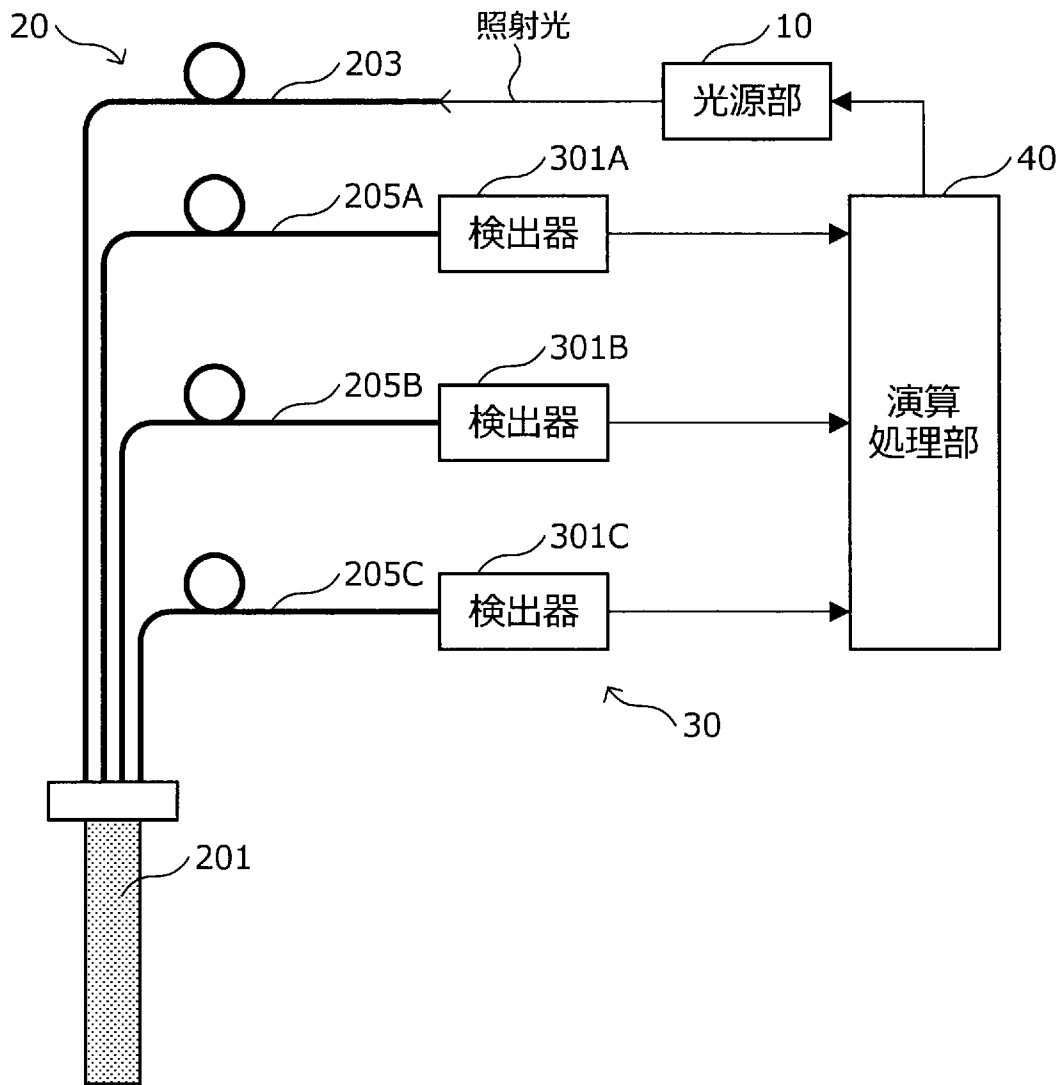
[図4]



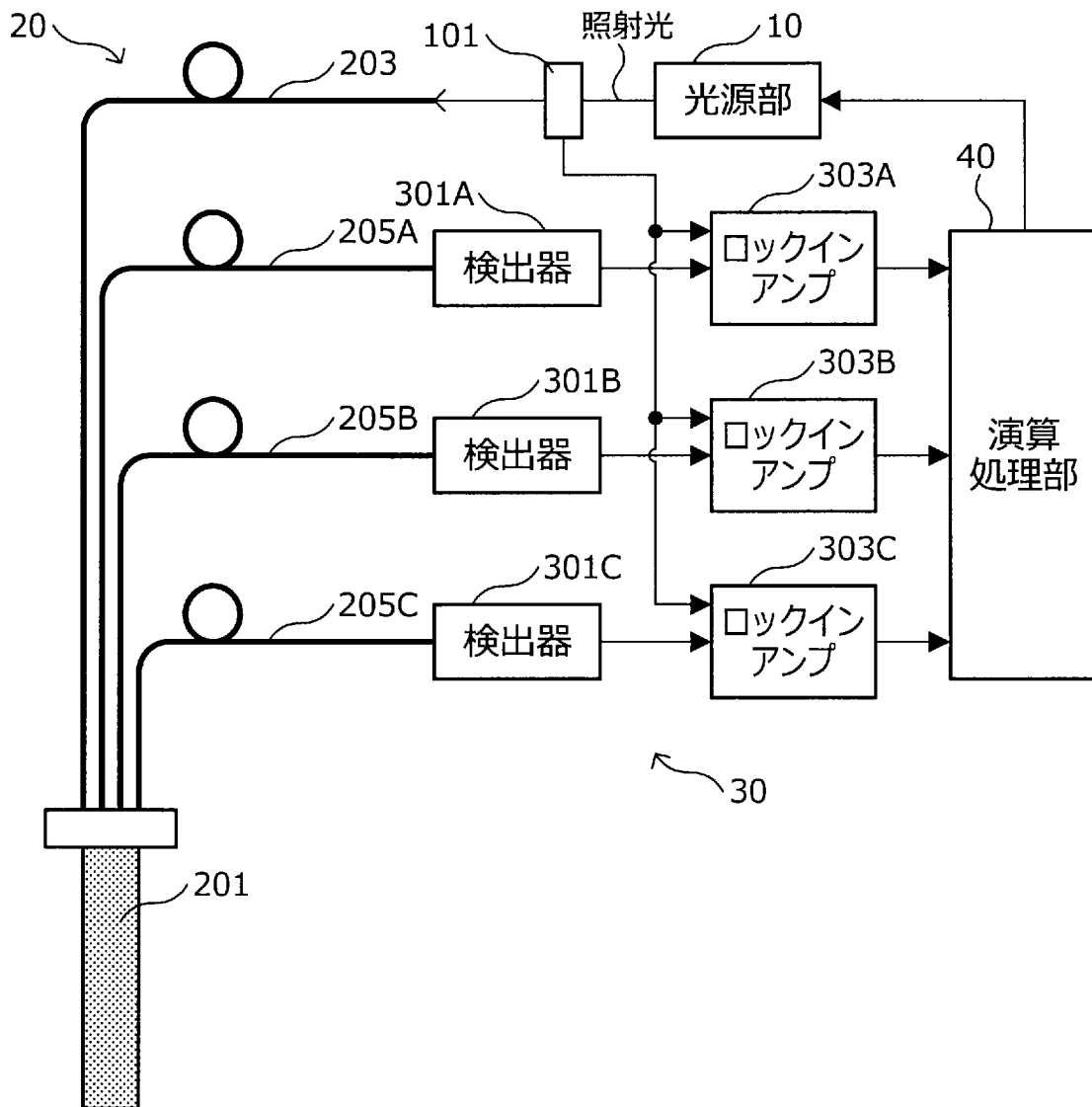
[図5]



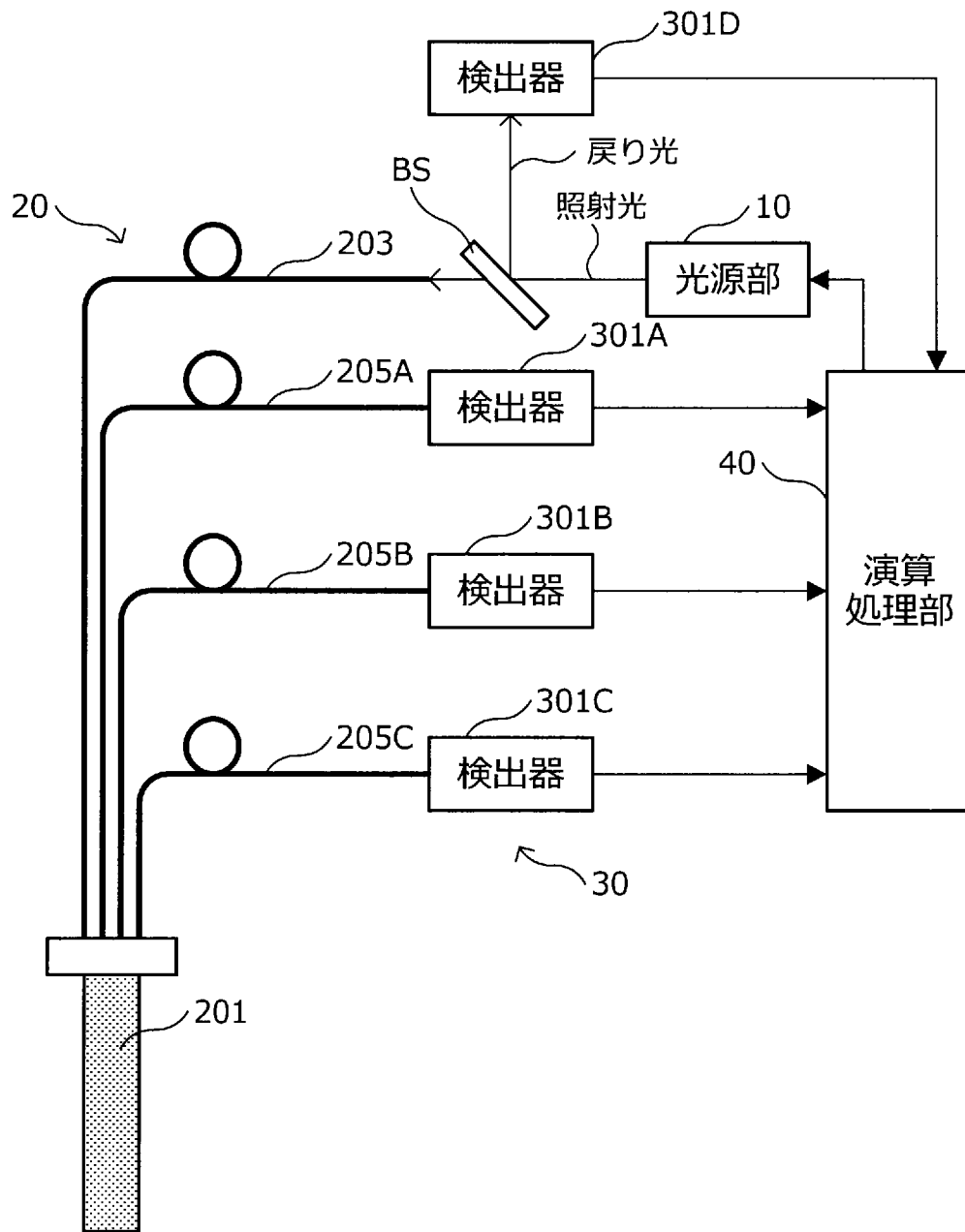
[図6]



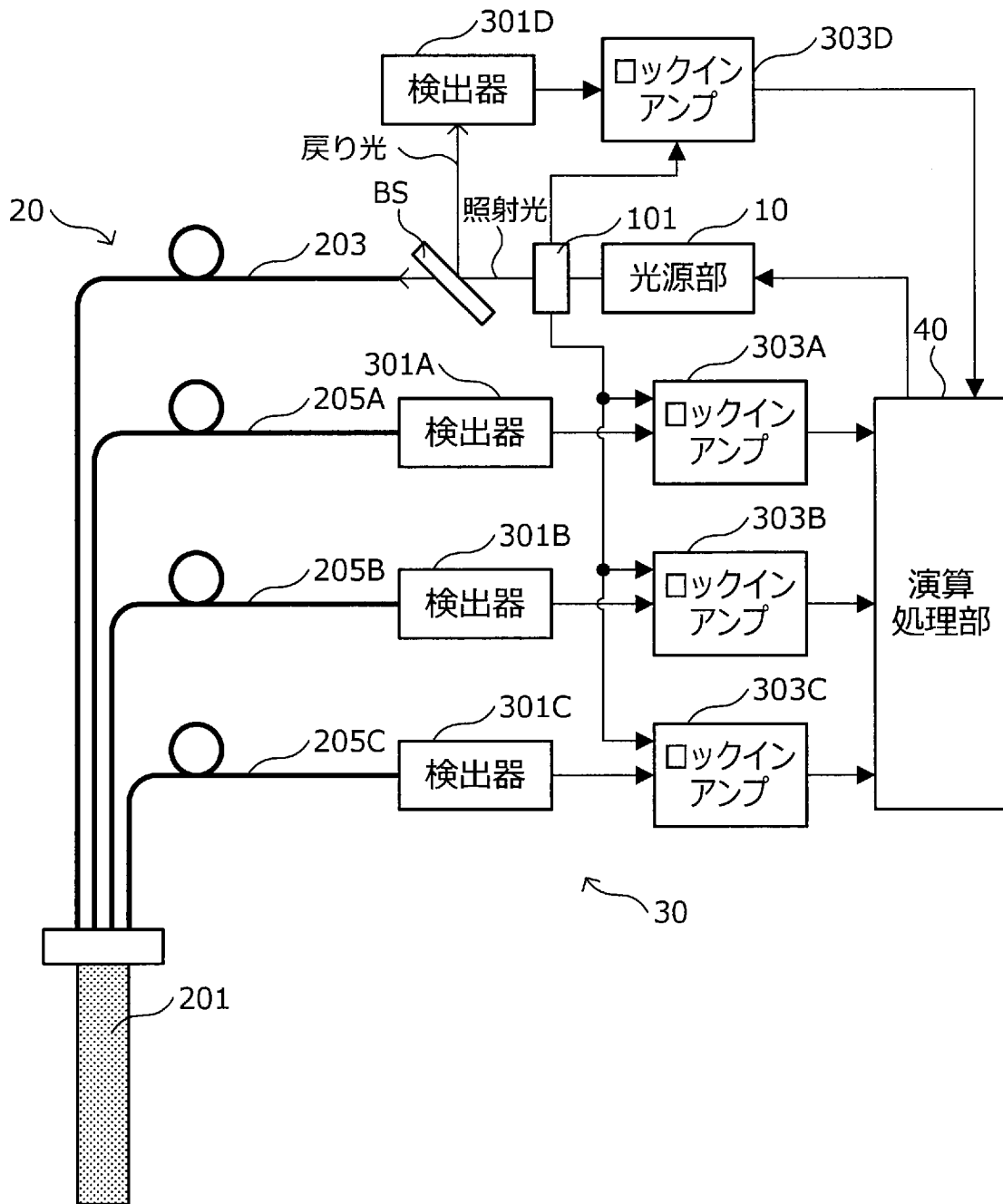
[図7]



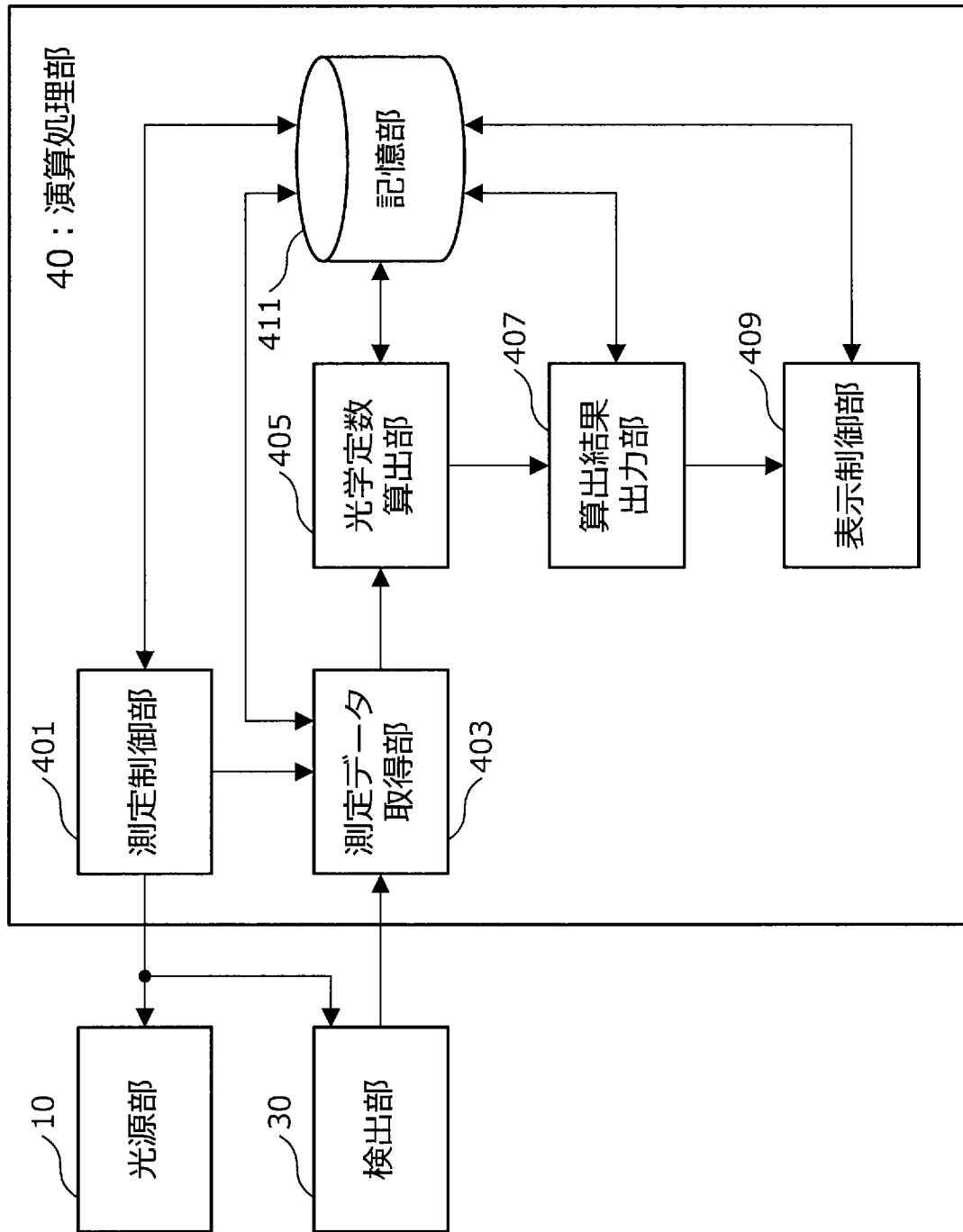
[図8]



[図9]

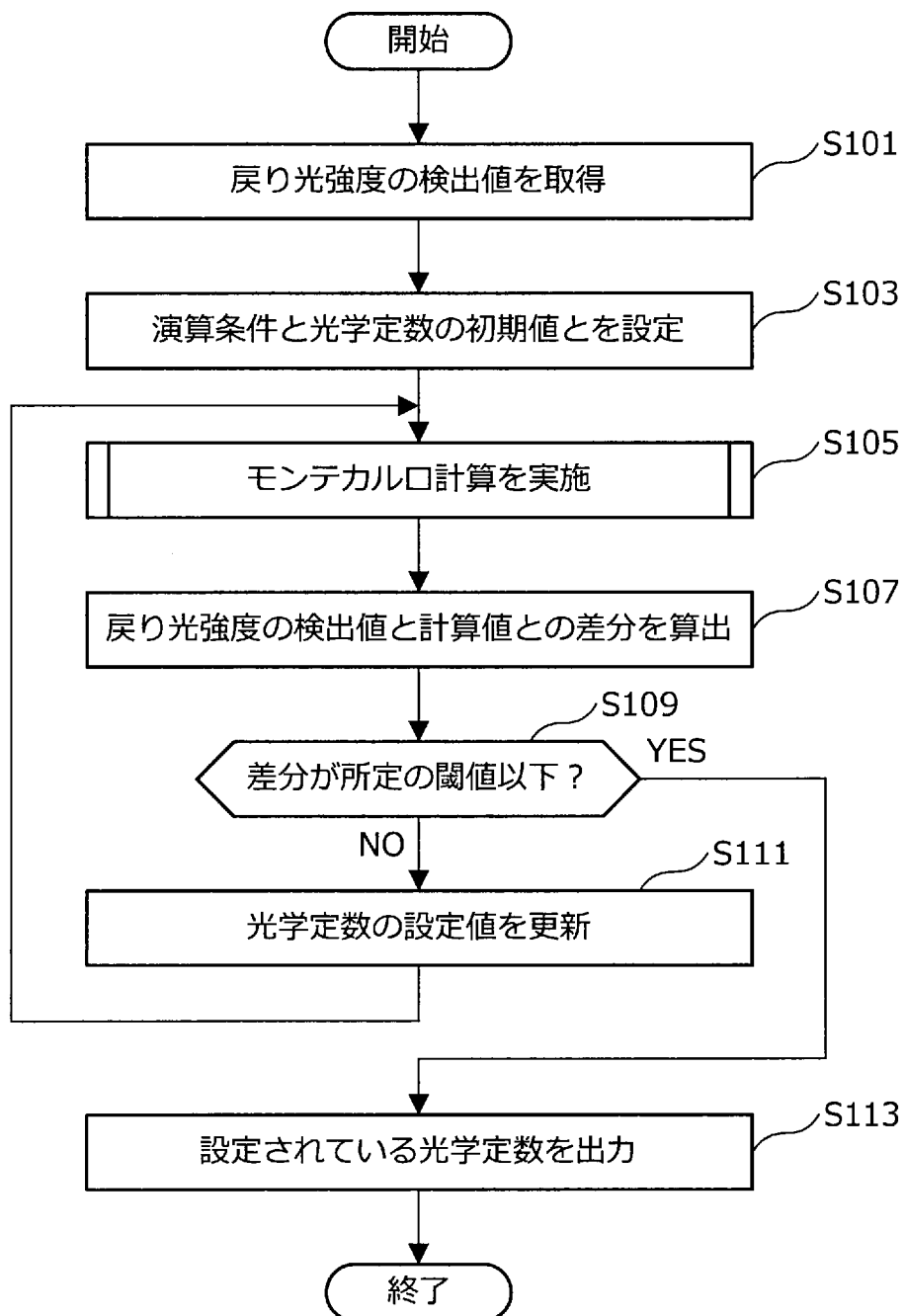


[図10]

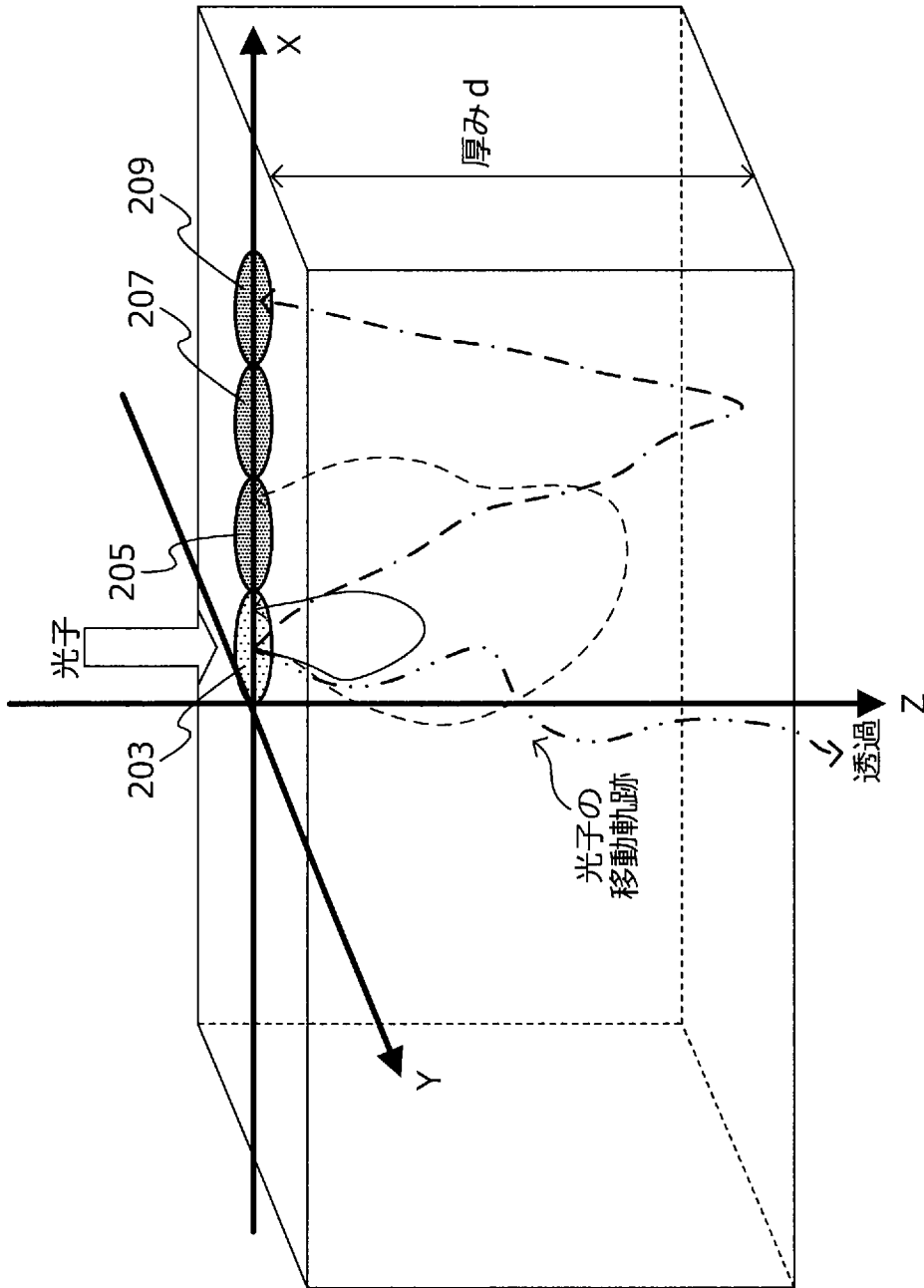




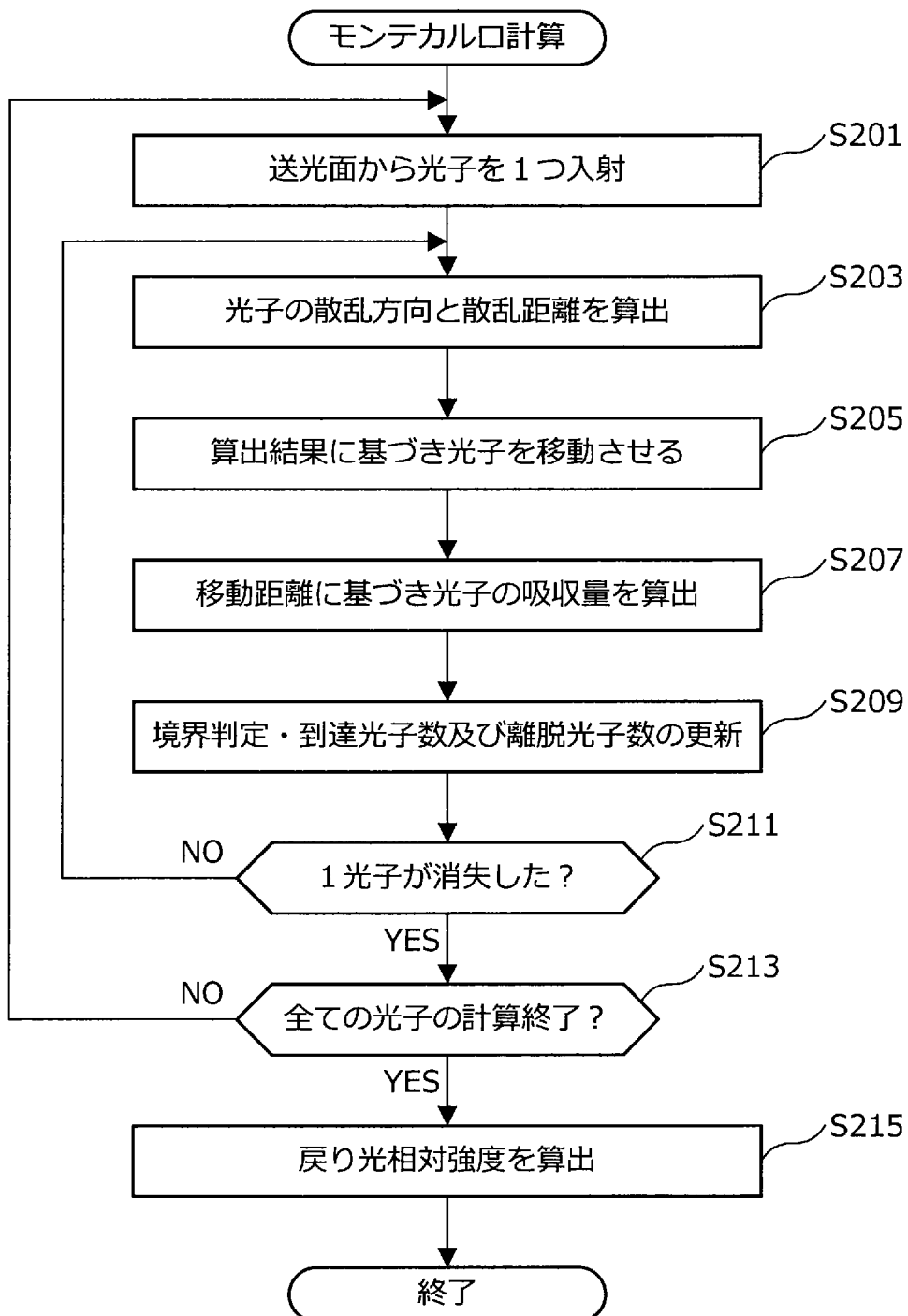
[図11]



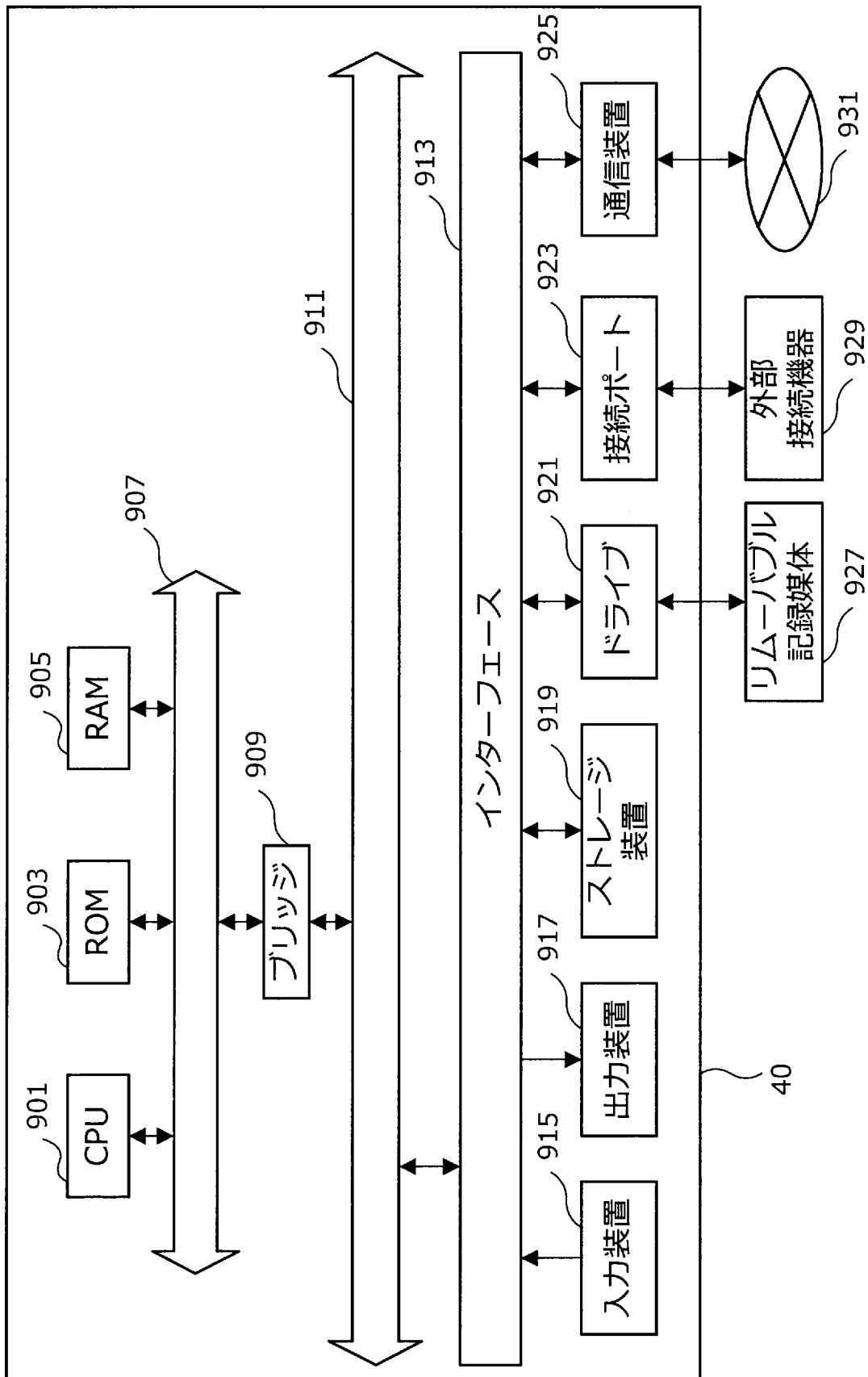
[図12]



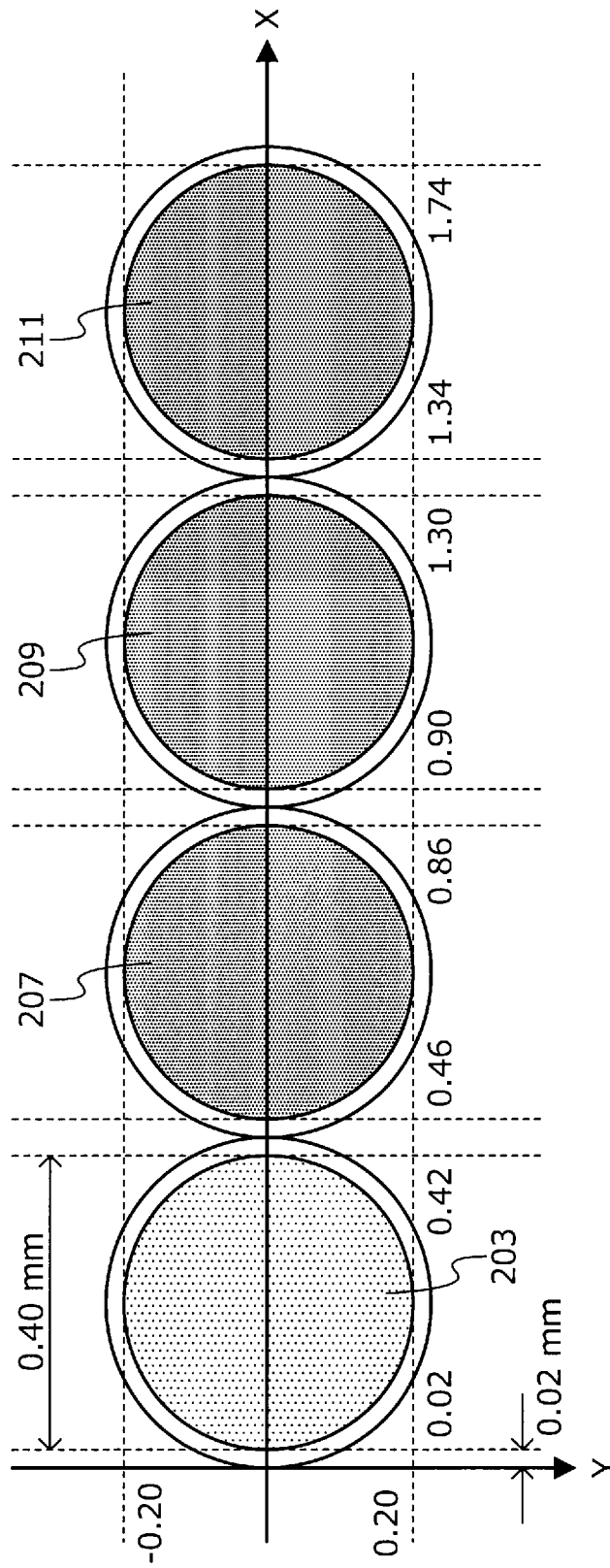
[図13]



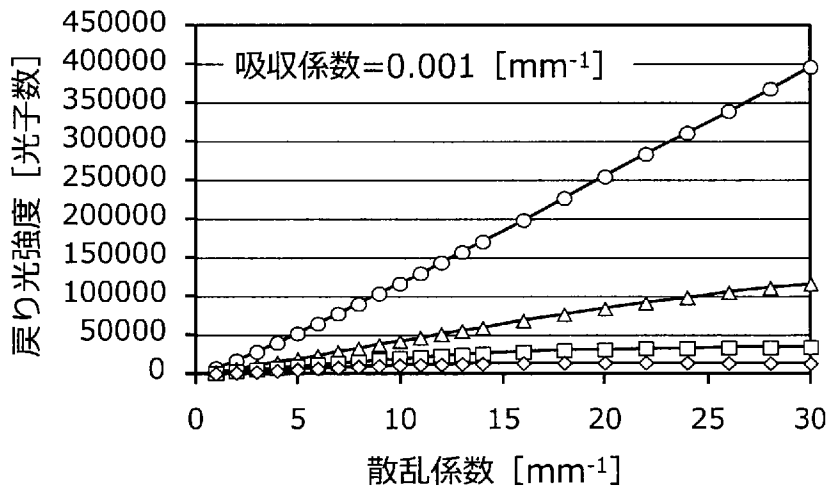
[図14]



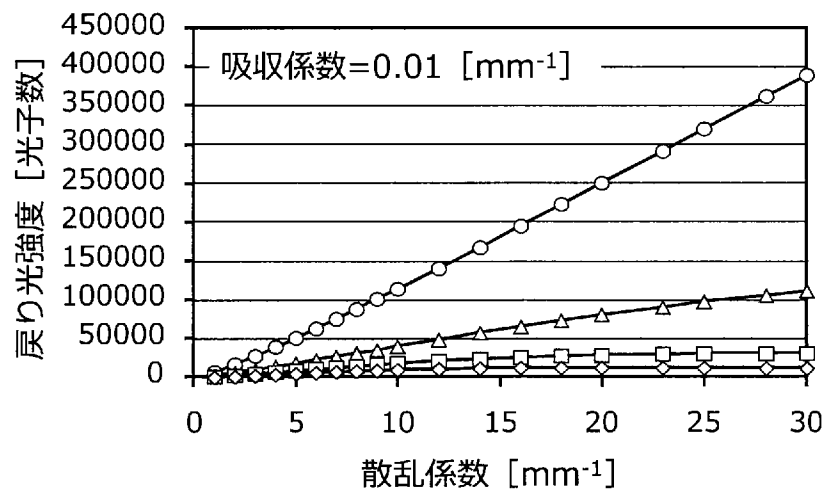
[図15]



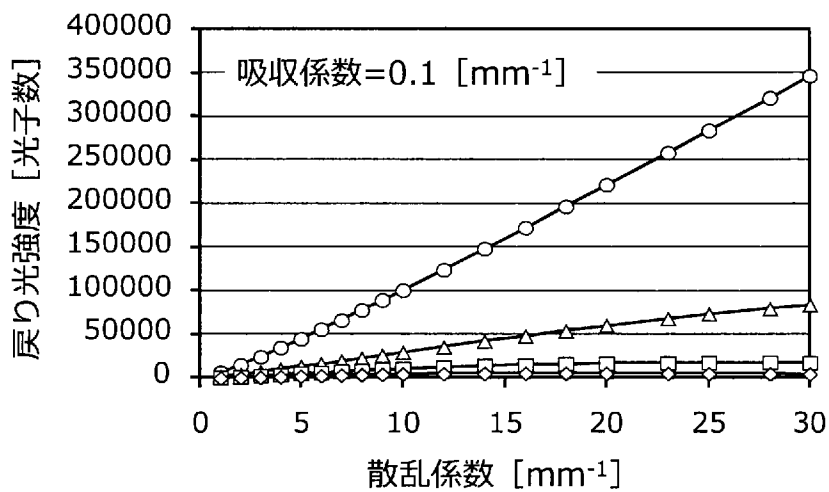
[図16A]



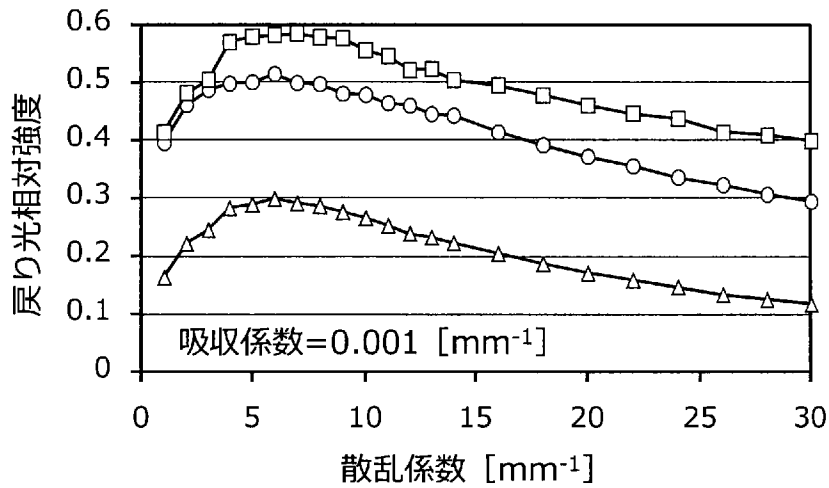
[図16B]



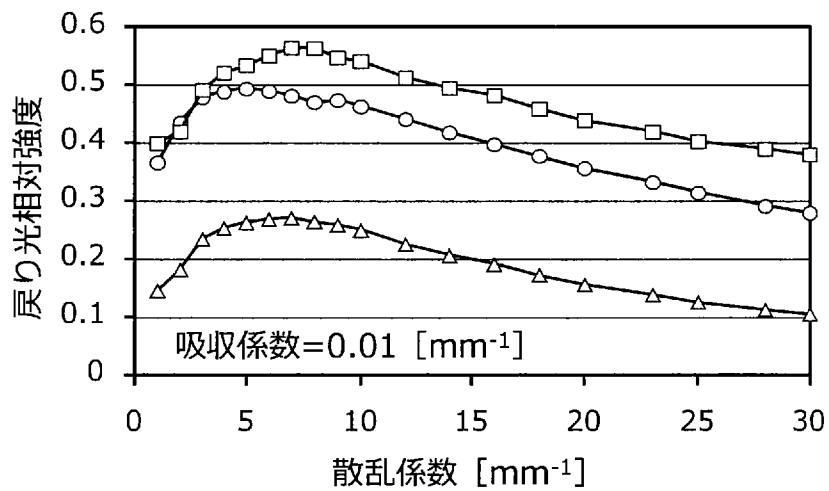
[図16C]



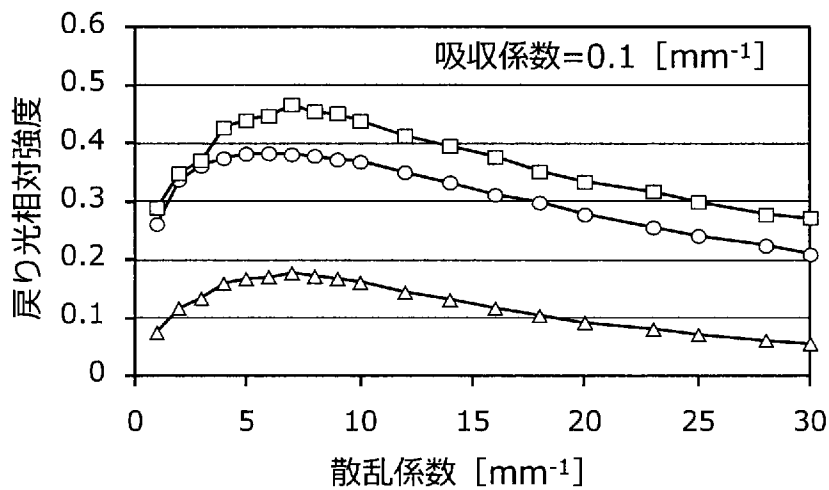
[図17A]



[図17B]



[図17C]



[図18A]

試料	照射光波長 [nm]	照射光強度 [mV]	スポット1 強度 [mV]	スポット2 強度 [mV]	スポット3 強度 [mV]	散乱係数 [mm <sup>-1</sup> ]	吸収係数 [mm <sup>-1</sup> ]
豚 脳白質	820	48.9	1.830	0.397	0.134	46.3	0.0001 以下
豚 脳灰白質	820	48.1	0.767	0.329	0.171	15.9	0.0001 以下
ハイドロキシ アパタイト	405	8.2	0.0310	0.0680	0.0275	30.0	0.0001 以下



[図18B]

試料	照射光波長 [nm]	透過率		反射率		散乱係数 [mm <sup>-1</sup> ]	吸収係数 [mm <sup>-1</sup> ]
		厚み 1 mm	厚み 2 mm	厚み 1 mm	厚み 2 mm		
豚 脳白質	820	0.275	0.163	0.556	0.616	48	0.0005
豚 脳灰白質	820	0.399	0.298	0.358	0.456	15~16	0.0001 以下
ハイドロキシ アパタイト	405	0.249	0.134	0.627	0.691	32	0.0001 以下

**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**

International application No.

PCT/JP2018/012736

**A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER**

Int.Cl. G01N21/17 (2006.01) i, A61B5/1455 (2006.01) i, A61B10/00 (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. G01N21/00-01, G01N21/17-61, A61B5/1455, A61B10/00

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 A	JP 2014-16235 A (SEIKO EPSON CORPORATION) 30 January 2014, claim 1, paragraphs [0031]-[0042], [0058], [0059], fig. 1, 8, 9 & US 2014/0012103 A1, claim 1, paragraphs [0058]-[0069], [0086], [0087], fig. 1, 8, 9	1-5, 8-11 6, 7
X	JP 2003-510556 A (ABBOTT LAB) 18 March 2003, claims 7, 12, 16, paragraphs [0057], [0061], fig. 1A, 1B & US 2002/0084417 A1, claims 7, 12, 16, paragraphs [0120], [0124], fig. 1A, 1B & WO 2000/030530 A1	1-11

Further documents are listed in the continuation of Box C.       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	“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
“E” earlier application or patent but published on or after the international filing date	“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
“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)	“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
“O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means	“&” document member of the same patent family
“P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed	

Date of the actual completion of the international search 13.06.2018	Date of mailing of the international search report 26.06.2018
---	--

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/JP2018/012736

## C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2012-63333 A (OSAKA UNIVERSITY) 29 March 2012 (Family: none)	1-11
A	JP 2012-220381 A (MORITEX CORPORATION) 12 November 2012 & WO 2012/141061 A2 & TW 201250228 A & CN 103477206 A & KR 10-2014-0011346 A	1-11
A	JP 2008-102009 A (SUMITOMO ELECTRIC INDUSTRIES, LTD.) 01 May 2008 & US 2008/0094619 A1 & EP 1913867 A1	1-11
A	JP 2016-10717 A (SEIKO EPSON CORPORATION) 21 January 2016 (Family: none)	1-11
A	WO 2014/087825 A1 (HOKKAIDO UNIVERSITY) 12 June 2014 & US 2015/0313516 A1 & EP 2930495 A1	1-11

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int.Cl. G01N21/17(2006.01)i, A61B5/1455(2006.01)i, A61B10/00(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. G01N21/00-01, G01N21/17-61, A61B5/1455, A61B10/00

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 A	JP 2014-16235 A (セイコーエプソン株式会社) 2014.01.30, [請求項1]、[0031] - [0042] [0058] - [0059]、図1、8、9 & US 2014/0012103 A1, Claim1, [0058]-[0069], [0086]-[0087], FIG.1, FIG.8, FIG.9	1-5, 8-11 6, 7
X	JP 2003-510556 A (アボット・ラボラトリーズ) 2003.03.18, [請求項7] [請求項12] [請求項16]、[0057] [0061]、図1A、図1B & US 2002/0084417 A1, Claim7, Claim12, Claim16, [0120], [0124], FIG.1A, FIG1B & WO 2000/030530 A1	1-11

☑ 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

13.06.2018

国際調査報告の発送日

26.06.2018

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)

立澤 正樹

電話番号 03-3581-1101 内線 3258

2W

9809

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
A	JP 2012-63333 A (国立大学法人大阪大学) 2012. 03. 29, (ファミリーなし)	1-11
A	JP 2012-220381 A (株式会社モリテックス) 2012. 11. 12, & WO 2012/141061 A2 & TW 201250228 A & CN 103477206 A & KR 10-2014-0011346 A	1-11
A	JP 2008-102009 A (住友電気工業株式会社) 2008. 05. 01, & US 2008/0094619 A1 & EP 1913867 A1	1-11
A	JP 2016-10717 A (セイコーエプソン株式会社) 2016. 01. 21, (ファミリーなし)	1-11
A	WO 2014/087825 A1 (国立大学法人北海道大学) 2014. 06. 12, & US 2015/0313516 A1 & EP 2930495 A1	1-11