

(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8日(08.11.2018)



(10) 国際公開番号

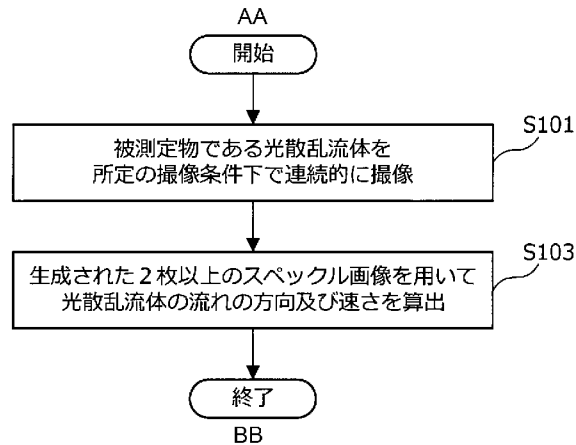
WO 2018/203429 A1

- (51) 国際特許分類:
G01P 5/22 (2006.01) *G01P 13/00* (2006.01) CORPORATION) [JP/JP]; 〒2430014 神奈川県厚木市旭町四丁目14番1号 Kanagawa (JP).
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2018/005452 (72) 発明者: 中尾 勇 (NAKAO, Isamu); 〒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). 桑山 哲朗 (KUWAYAMA, Tetsuro); 〒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). 城 堅誠 (JO, Kensei); 〒2430014 神奈川県厚木市旭町四丁目14番1号 ソニーセミコンダクタソリューションズ株式会社内 Kanagawa (JP).
- (22) 国際出願日: 2018年2月16日(16.02.2018)
- (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 2017-091881 2017年5月2日(02.05.2017) 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). ソニーセミコンダクタソリューションズ株式会社 (SONY SEMICONDUCTOR SOLUTIONS

(54) Title: FLOW VELOCITY MEASUREMENT METHOD, FLOW VELOCITY MEASUREMENT DEVICE, AND PROGRAM

(54) 発明の名称: 流速測定方法、流速測定装置及びプログラム

[図1]



S101 Successively photograph light-scattering fluid which is the object to be measured, under prescribed imaging conditions

S103 Calculate the velocity and direction of the light-scattering fluid using two or more of the generated speckle images

AA Start

BB End

(57) Abstract: [Problem] To measure flow velocity of a light-scattering fluid in a simple and fast manner. [Solution] The flow velocity measurement method according to the present invention comprises: generating two or more speckle images by successively photographing a light-scattering fluid which is the object to be measured, with an exposure time shorter than the spatial correlation disappearance time which is the time that it takes for spatial correlation of speckle patterns generated by the light-scattering fluid to disappear, at a time interval shorter than the spatial correlation disappearance



WO 2018/203429 A1



(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).

(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, 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, 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))

time; and calculating the velocity and direction of the flow of the light-scattering fluid from temporal fluctuation of the speckle patterns between two or more of the speckle images, wherein photographing the speckle images is performed either by using an imaging device having a line sensor mounted therein or by using an imaging device having an area sensor mounted therein but using a portion of pixel groups of the area sensor.

(57) 要約: 【課題】光散乱流体の流速をより簡便かつより高速に測定すること。【解決手段】本開示に係る流速測定方法は、被測定物である光散乱流体を、前記光散乱流体が生成するスペックルパターンの空間相関が消失する時間である空間相関消失時間よりも短い時間を露光時間とし、かつ、前記空間相関消失時間よりも短い時間間隔で連続的に撮像して、2枚以上のスペックル画像を生成することと、前記2枚以上のスペックル画像間における前記スペックルパターンの時間変動から、前記光散乱流体の流れの方向及び速さを算出することと、を含み、前記スペックル画像の撮像は、エリアセンサを実装した撮像装置を用い、かつ、前記エリアセンサの一部の画素群を用いて実施されるか、又は、ラインセンサを実装した撮像装置を用いて実施される。

明 細 書

発明の名称： 流速測定方法、流速測定装置及びプログラム

技術分野

[0001] 本開示は、流速測定方法、流速測定装置及びプログラムに関する。

背景技術

[0002] 医療分野においては、例えば、治療の際に、血液等の流体の流れを検出することが求められる場合がある。このような流体についての知見を得るための装置として、例えば以下の特許文献 1 に開示されているような、レーザスペckルの時間変動を利用した、液体分析装置がある。

先行技術文献

特許文献

[0003] 特許文献 1：特開 2016-5525 号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0004] 上記特許文献 1 に開示されているような、レーザスペckルの時間変動を用いた装置では、流れの大きさを反映する指標として、スペckル画像における光信号強度の標準偏差を光信号強度の平均値で除した時空間でのスペckルコントラストや、スペckル画像の強度変動の相関時間や、エントロピー等といった物理量が用いられている。

[0005] スペckル画像は、通常の画像とは異なり、着目する物体の微細構造に起因するランダムな回折・干渉現象を撮像したものである。そのため、着目する物体が光の波長に比べて十分大きく移動した場合には、物体が作るスペckル画像は移動の前後で全く異なるパターンとなる。一方、光の波長程度の微小距離を物体が形状変化せずに並進運動する場合には、スペckル画像のパターンが保持されるため、スペckル画像から移動距離や移動方向を特定することが可能となる。

[0006] 血液やリンパ液等のような生体中に存在する光散乱流体は、対流、乱流、

及び／又は、ブラウン運動等により、微細形状が常時変化している。このような光散乱流体の微細形状は、拡散係数、温度、粘性等に依存するものではあるが、例えば1ミリ秒以下の時間で高速に変化しており、スペックルパターンも同様な速さで変化している。このため、流速や流れの方向を検出しようとする、物体（流体）の形状が変化する前に、上記のような物理量を算出するための2枚目以降のスペックル画像を撮像することが求められる。

[0007] 例えば、1ミリ秒で形状が変化する物体を、形状変化の前に2回以上撮像するためには、例えば10kfps以上のような高速撮像を実現することが求められる。しかしながら、通常の動画撮像で用いられる撮像素子のフレームレートは、60fpsであり、一般的な方式の撮像素子では、高々1kfps程度のフレームレートが高速撮影の限界となる。かかるフレームレートよりも高速な撮影が可能なカメラも存在するが、撮影時間に限界があったり、高価であったりするため、臨床現場等で容易に用いようとする、制約が大きいのが現状である。

[0008] そこで、本開示では、上記事情に鑑みて、光散乱流体の流速をより簡便かつより高速に測定することが可能な、流速測定方法、流速測定装置及びプログラムを提案する。

課題を解決するための手段

[0009] 本開示によれば、被測定物である光散乱流体を、前記光散乱流体が生成するスペックルパターンの空間相関が消失する時間である空間相関消失時間よりも短い時間を露光時間とし、かつ、前記空間相関消失時間よりも短い時間間隔で連続的に撮像して、2枚以上のスペックル画像を生成することと、前記2枚以上のスペックル画像間における前記スペックルパターンの時間変動から、前記光散乱流体の流れの方向及び速度を算出することと、を含み、前記スペックル画像の撮像は、エリアセンサを実装した撮像装置を用い、かつ、前記エリアセンサの一部の画素群を用いて実施されるか、又は、ラインセンサを実装した撮像装置を用いて実施される、流速測定方法が提供される。

[0010] また、本開示によれば、被測定物である光散乱流体に対して、所定波長の

レーザ光を照射するレーザ光源と、前記光散乱流体を、前記光散乱流体が生成するスペックルパターンの空間相関が消失する時間である空間相関消失時間よりも短い時間を露光時間とし、かつ、前記空間相関消失時間よりも短い時間間隔で連続的に撮像して、2枚以上のスペックル画像を生成する撮像装置と、前記2枚以上のスペックル画像間における前記スペックルパターンの時間変動から、前記光散乱流体の流れの方向及び速さを算出する演算処理ユニットと、を備え、前記スペックル画像の撮像は、前記撮像装置としてエリアセンサを実装した撮像装置を用い、かつ、前記エリアセンサの一部の画素群を用いて実施されるか、又は、前記撮像装置としてラインセンサを実装した撮像装置を用いて実施される流速測定装置が提供される。

[0011] また、本開示によれば、所定波長のレーザ光が照射された被測定物である光散乱流体を、前記光散乱流体が生成するスペックルパターンの空間相関が消失する時間である空間相関消失時間よりも短い時間を露光時間とし、かつ、前記空間相関消失時間よりも短い時間間隔で連続的に撮像することで生成された、2枚以上のスペックル画像を用い、前記2枚以上のスペックル画像間における前記スペックルパターンの時間変動から、前記光散乱流体の流れの方向及び速さを算出する演算処理ユニットを備え、前記演算処理ユニットは、前記2枚以上のスペックル画像として、エリアセンサを実装した撮像装置を用い、かつ、前記エリアセンサの一部の画素群を用いて撮像されたもの、又は、ラインセンサを実装した撮像装置を用いて撮像されたものを用いる、流速測定装置が提供される。

[0012] また、本開示によれば、コンピュータに、所定波長のレーザ光が照射された被測定物である光散乱流体を、前記光散乱流体が生成するスペックルパターンの空間相関が消失する時間である空間相関消失時間よりも短い時間を露光時間とし、かつ、前記空間相関消失時間よりも短い時間間隔で連続的に撮像することで生成された、2枚以上のスペックル画像を用い、前記2枚以上のスペックル画像間における前記スペックルパターンの時間変動から、前記光散乱流体の流れの方向及び速さを算出する演算処理機能を実現させ、前記

演算処理機能は、前記2枚以上のスペックル画像として、エリアセンサを実装した撮像装置を用い、かつ、前記エリアセンサの一部の画素群を用いて撮像されたもの、又は、ラインセンサを実装した撮像装置を用いて撮像されたものを用いる、プログラムが提供される。

[0013] 本開示によれば、被測定物である光散乱流体を、前記光散乱流体が生成するスペックルパターンの空間相関が消失する時間である空間相関消失時間よりも短い時間を露光時間とし、かつ、前記空間相関消失時間よりも短い時間間隔で連続的に撮像して、2枚以上のスペックル画像が生成される。これらスペックル画像の撮像は、エリアセンサを実装した撮像装置を用い、かつ、前記エリアセンサの一部の画素群を用いて実施されるか、又は、ラインセンサを実装した撮像装置を用いて実施される。得られた2枚以上のスペックル画像間におけるスペックルパターンの時間変動から、光散乱流体の流れの方向及び速さが算出される。

発明の効果

[0014] 以上説明したように本開示によれば、光散乱流体の流速をより簡便かつより高速に測定することが可能となる。

[0015] 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

[0016] [図1]本開示の実施形態に係る流速測定方法の流れの一例を示した流れ図である。

[図2]スペックルパターンの時間変動について説明するための説明図である。

[図3]スペックル画像について説明するための説明図である。

[図4]空間相関消失時間について説明するための説明図である。

[図5]同実施形態に係る流速測定方法における撮像条件について説明するための説明図である。

[図6A]同実施形態に係る流速測定方法で用いられる撮像素子について説明す

るための説明図である。

[図6B]同実施形態に係る流速測定方法で用いられる撮像素子について説明するための説明図である。

[図7]同実施形態に係る流速測定方法について説明するための説明図である。

[図8]同実施形態に係る流速測定方法について説明するための説明図である。

[図9]同実施形態に係る流速測定方法について説明するための説明図である。

[図10]同実施形態に係る流速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。

[図11]同実施形態に係る流速測定装置が備えるレーザ光源の構成の一例を模式的に示したブロック図である。

[図12]同実施形態に係る流速測定装置が備える撮像装置の構成の一例を模式的に示したブロック図である。

[図13A]ダブリズムについて説明するための説明図である。

[図13B]ダブリズムについて説明するための説明図である。

[図14]同実施形態に係る流速測定装置について説明するための説明図である。
。

[図15]同実施形態に係る流速測定装置が備える撮像装置の他の構成例を模式的に示したブロック図である。

[図16]同実施形態に係る流速測定装置が備える演算処理ユニットの構成の一例を模式的に示したブロック図である。

[図17]同実施形態に係る流速測定装置が備える演算処理ユニットのハードウェア構成の一例を模式的に示したブロック図である。

[図18]同実施形態に係る流速測定装置の他の構成例を模式的に示したブロック図である。

[図19]実施例で用いた血管ファントムの構造を模式的に示した説明図である。
。

[図20]実施例1について説明するためのグラフ図である。

[図21]実施例1について説明するためのグラフ図である。

[図22]実施例2について説明するための説明図である。

[図23]実施例2について説明するためのグラフ図である。

発明を実施するための形態

[0017] 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。

[0018] なお、説明は以下の順序で行うものとする。

1. 第1の実施形態

1. 1. 流速測定方法について

1. 2. 流速測定装置について

2. 実施例

[0019] (第1の実施形態)

<流速測定方法について>

まず、図1～図9を参照しながら、本開示の第1の実施形態に係る流速測定方法について、詳細に説明する。

図1は、本実施形態に係る流速測定方法の流れの一例を示した流れ図である。図2は、スペックルパターンの時間変動について説明するための説明図であり、図3は、スペックル画像について説明するための説明図であり、図4は、空間相関消失時間について説明するための説明図である。図5は、本実施形態に係る流速測定方法における撮像条件について説明するための説明図である。図6A及び図6Bは、本実施形態に係る流速測定方法で用いられる撮像素子について説明するための説明図である。図7～図9は、本実施形態に係る流速測定方法について説明するための説明図である。

[0020] 先だって言及したように、被測定物である光散乱流体が、光の波長程度の微小距離を形状変化せずに並進運動する場合に、スペックルパターンの保持された状態にある複数のスペックル画像から、移動距離や移動方向を特定することができる。そのためには、光散乱流体の形状変化が生じる前に、複数

のスペックル画像を高速で撮像することが求められるため、高いフレームレートでの撮像を実現することが重要となる。

[0021] 上記のような高いフレームレートでのスペックル画像の撮像をより簡便に実現するための方法について、本発明者が鋭意検討を行った。その結果、被測定物である光散乱流体を所定の撮像条件下で連続的に撮像することで、高いフレームレートでのスペックル画像の撮像をより簡便に実現可能であるとの知見を得て、以下で詳述する流速測定方法を完成するに至った。

[0022] 本実施形態に係る流速測定方法は、その流れを図1に模式的に示したように、被測定物である光散乱流体を、所定の撮像条件下で連続的に撮像する撮像ステップ（S101）と、撮像ステップで生成された2枚以上のスペックル画像を用いて、光散乱流体の流れの方向及び速さを算出する演算処理ステップ（S103）と、を含む。

[0023] ここで、本実施形態における光散乱流体とは、照射された光を散乱しながら所定の流路を流れていく物体のことである。このような光散乱流体は、特に限定されるものではないが、例えば、生体内に存在する血管やリンパ管等の内部を流れる血液やリンパ液等の体液を挙げることができる。以下では、生体内に存在する血管やリンパ管等の内部を流れる血液やリンパ液等の体液を被測定物の一例として取り上げて説明を行うが、本実施形態に係る光散乱流体が、かかる例に限定されるものではない。

[0024] [撮像ステップS101について]

先だって言及したように、スペックル画像は、通常の画像とは異なり、着目する物体の微細構造に起因するランダムな回折・干渉現象を撮像したものである。また、血液やリンパ液等のような生体中に存在する光散乱流体は、対流、乱流、及び／又は、ブラウン運動等により、微細形状が常時変化している。このような光散乱流体の微細形状は、拡散係数、温度、粘性等に依存するものではあるが、例えば1ミリ秒以下（血液の場合、10マイクロ秒～100マイクロ秒程度）の時間で高速に変化しており、スペックルパターンも同様な速さで変化している。従って、例えば図2に模式的に示したように

、ある時刻 t_A において観察されたスペックルパターン A と、光散乱流体に形状変化が生じるような時間が経過した後の時刻 t_B において観察されたスペックルパターン B とは、互いに相違したものとなる。換言すれば、図 2 に示したスペックルパターン A と、スペックルパターン B とは、スペックルパターンの空間相関が互いに消失した状態となっている。

[0025] 以下では、まず、光散乱流体の形状変化が生じてスペックルパターンが保持されなくなるまでの時間（換言すれば、スペックルパターンの空間相関が消失するまでの時間）について、検討する。以下では、この「スペックルパターンの空間相関が消失するまでの時間」のことを、「空間相関消失時間」と称することとする。

[0026] いま、所定のレーザ光源から出射されたレーザ光によりライン状に照明された光散乱流体のスペックルパターンを撮像した画像（以下、「スペックル画像」とも称する。）について、図 3 に模式的に示したように、画像の x 方向及び y 方向のそれぞれが複数の画素から構成されているものとする。また、画像の左上の位置を、画素位置を示す座標系の原点 $(0, 0)$ として、任意の画素の位置を、 (x_i, y_i) と表すこととする。更に、着目した画素 (x_i, y_i) における時刻 t での強度（信号強度）を、 $I(x_i, y_i, t)$ と表すこととする。

[0027] 着目する光散乱流体の位置を固定して考えたとき、ある位置での光散乱流体のスペックルパターンは、時間の経過とともに変化して、ある画素位置 (x_i, y_i) でのスペックルパターンの信号強度 $I(x_i, y_i, t)$ は、図 4 に模式的に示したように、時間の経過とともに減衰していくこととなる。このとき、2つの時刻での2種類のスペックルパターン間の相関（時間相関） G_t は、以下の式（101）で表すことができる。

[0028] [数1]

$$G_t(x, y, \tau) = \int I(x, y, t) I(x, y, t + \tau) dt \quad \cdots \text{式 (101)}$$

[0029] 本実施形態では、上記式（101）により算出される時間相関 $G_t(x, y$

, τ) = 0.5 × $G_t(x, y, 0)$ となる時間（換言すれば、時間相関が初期値の 1 / 2 に減衰するまでに要する時間） τ を、上記の空間相関消失時間とする。

[0030] 光散乱流体の流速（すなわち、流れの方向及び速さ）を測定するためには、2 つ以上の時刻でのスペックルパターンを用いることが求められる。上記より、空間相関消失時間内であればスペックルパターンは時間変動せずに保持されることから、空間相関消失時間 τ 以内に光散乱流体を 2 回以上撮像して、2 枚以上のスペックル画像を生成すればよいこととなる。

[0031] そこで、本実施形態に係る撮像ステップ S 1 0 1 では、図 5 に模式的に示したように、空間相関消失時間 τ よりも短い時間を露光時間（Exposure Time : ET）とし、かつ、空間相関消失時間 τ よりも短い時間間隔 Δt で光散乱流体を連続的に撮像して、N フレーム以上（ $N \geq 2$ 、換言すれば N 枚以上）のスペックル画像を生成する。

[0032] ここで、空間相関消失時間 τ の具体的な長さは、測定対象とする光散乱流体のスペックルパターンの時間変動を実際に観測することで、予め特定しておくことが可能である。また、図 5 に模式的に示した露光時間 ET の具体的な長さは、特に限定されるものではなく、撮像環境下におけるスペックルパターンの明るさや、用いる機材等の性能等に応じて、適宜設定すればよい。同様に、図 5 に模式的に示した撮像間隔 Δt についても、特に限定されるものではなく、用いる機材等の性能等に応じて適宜設定すればよい。

[0033] 図 5 に示したような高速フレームレートでの撮像を実現するために、本実施形態に係る流速測定方法では、図 6 A 又は図 6 B に示したようなセンサが実装された撮像装置を利用する。すなわち、例えば図 6 A に模式的に示したような、複数の画素（ x_i, y_i ）からなるエリアセンサの実装された撮像装置を用いる場合、エリアセンサを構成する全画素で走査を行うと、図 5 に示したような撮像条件で撮像を行うことが困難となると考えられる。そこで、エリアセンサの実装された撮像装置を用いる場合、スペックル画像の撮像は、エリアセンサの一部の画素群を用いて実施される。全ての画素ではなく一

部の画素群のみでスペックルパターンの走査を行うことで、全ての画素を用いた走査を行う場合と比較して、極めて高速に走査を行うことが可能となる。その結果、高速フレームレートでの撮像を実現することが可能となる。例えば図6 Aに示した例では、エリアセンサの中央近傍に設けられた画素群を用いて、スペックル画像の撮像が実施される。

[0034] ここで、スペックルパターンの撮像に用いる画素群は、エリアセンサの走査方向（換言すれば、エリアセンサにおけるデータの読み出し方向）に対して平行な方向に配置された、複数の画素群とすることが好ましい。

[0035] また、スペックル画像の撮像に用いられる画素群のエリアセンサ中での位置については、特に限定されるものではなく、図6 Aに示したようなエリアセンサの中央近傍に位置する画素群であってもよいし、中央以外の場所に位置する画素群であってもよい。

[0036] また、例えば図6 Aに模式的に示したようなエリアセンサではなく、図6 Bに模式的に示したような、ラインセンサの実装された撮像装置を用いることも可能である。

[0037] なお、図6 A及び図6 Bでは、スペックル画像の生成に、1ライン分の画素群を用いる場合について図示しているが、スペックル画像の生成に利用するセンサのライン数は1ラインに限定されるものではなく、図5に示したような撮像条件が実現可能な範囲内で、複数のラインとしてもよい。

[0038] 測定対象である光散乱流体は、例えば血管やリンパ管など、所定方向に延伸している導管の内部を移動しているが、例えば図7に模式的に示したように、撮像に用いるセンサの走査方向を、導管（血管やリンパ管等）の延伸方向に概ね一致させた上で（より詳細には、光散乱流体の流れる導管を、概ね、撮像に用いるセンサ画素群の上方に位置させた上で）、実施されることが好ましい。これにより、スペックル画像の撮像に用いられる画素群のより多くで、光散乱流体を撮像対象とすることが可能となり、光散乱流体の流速をより正確に測定することが可能となる。

[0039] [演算処理ステップS103について]

次に、生成された２枚以上のスペックル画像を用いて行われる演算処理ステップについて説明する。

図５に模式的に示したような撮像条件下で撮像が行われることで、得られる複数のスペックル画像は、それぞれ、互いにほぼ同一のスペックルパターンを撮像したものとなる。そのため、図８に模式的に示したように、空間相関消失時間 τ 内の時刻 t_0 、 t_1 のそれぞれで撮像された２枚のスペックル画像は、同一の画素数から構成されるほぼ類似した画像となる一方で、時刻 t_1 でのスペックル画像は、時刻 t_0 でのスペックル画像から、光散乱流体の流れ方向に ΔL だけシフトする。このシフト方向及びシフト量 ΔL に着目することで、光散乱流体の流れの方向及び速さを算出することができる。

[0040] 本実施形態に係る演算処理ステップでは、このような、光散乱流体の移動に伴うスペックルパターンの時間変動を表す指標として、２枚以上のスペックル画像を用いて算出されるスペックル画像の空間分布の相互相関を用いることが好ましい。その上で、光散乱流体の流れの方向及び速さは、スペックル画像の空間分布の相互相関に基づき算出されることが好ましい。

[0041] 光散乱流体のスペックルは、時間の経過とともに変化しており、同じ画素上でサンプリングを行ったとしても、図８に模式的に示したように、隣り合うフレーム間ではスペックルパターンが微小変化している。このとき、フレーム０とフレーム１との間のスペックル画像の空間分布の相互相関（空間相互相関）は、相関係数を $G(\xi, y, t)$ として、以下の式（１０３）のように表すことができる。

[0042] [数２]

$$G(\xi, y, t) = \int I(x, y, t_0) I(x + \xi, y, t_1) dx \quad \cdots \text{式（１０３）}$$

[0043] 時刻 t_0 のスペックル画像と時刻 t_1 のスペックル画像との空間相互相関係数のプロットは、上記説明のように、時刻 t_0 のスペックル画像の空間自己相関係数のプロットを基準とすると、図９に模式的に示したように、ある方向に所定量 Δx だけシフトするはずである。本実施形態に係る流速測定方法で

は、スペックル画像の空間相互相関係数のピーク値のシフト方向を、光散乱流体の流れの方向と考えることができる。

[0044] また、得られるピーク値のシフト量 Δx と、センサにおける画素サイズと、撮像時間間隔 Δt と、を用いることで、光散乱流体の速さを算出することができる。すなわち、シフト量 Δx に対応する物体空間での大きさは、像面でのシフト量 Δx と、像倍率の積として算出することができる。一方、この物体空間での大きさを光散乱流体が移動するのに要した時間は、着目するスペックル画像の撮像順（何番目と何番目のフレームを用いたのか）と、スペックル画像の撮像間隔 Δt と、を用いて特定することができる。これらの値を用いることで、着目する光散乱流体の速さを算出することができる。

[0045] なお、光散乱流体の流速特定方法は、上記のような空間相互相関に着目した方法に限定されるものではなく、その他の任意の方法を適宜利用することが可能である。

[0046] 以上、本実施形態に係る流速測定方法について、詳細に説明した。

[0047] <流速測定装置について>

次に、図10～図18を参照しながら、以上説明したような流速測定方法を実現することが可能な、本実施形態に係る流速測定装置について、詳細に説明する。

図10は、本実施形態に係る流速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。図11は、本実施形態に係る流速測定装置が備えるレーザ光源の構成の一例を模式的に示したブロック図である。図12は、本実施形態に係る流速測定装置が備える撮像装置の構成の一例を模式的に示したブロック図である。図13A及び図13Bは、ダブリズムについて説明するための説明図である。図14は、本実施形態に係る流速測定装置について説明するための説明図である。図15は、本実施形態に係る流速測定装置が備える撮像装置の他の構成例を模式的に示したブロック図である。図16は、本実施形態に係る流速測定装置が備える演算処理ユニットの構成の一例を模式的に示したブロック図である。図17は、本実施形態に係る流速測定装置

が備える演算処理ユニットのハードウェア構成の一例を模式的に示したブロック図である。図 18 は、本実施形態に係る流速測定装置の他の構成例を模式的に示したブロック図である。

[0048] [流速測定装置 1 の全体構成]

本実施形態に係る流速測定装置 1 は、図 10 に模式的に示したように、撮像ユニット 10 と、演算処理ユニット 20 と、を主に備える。

[0049] 撮像ユニット 10 は、演算処理ユニット 20 による制御のもとで、光散乱流体 S に対して、所定波長のレーザ光を照明光として照射する。また、撮像ユニット 10 は、レーザ光により生じる光散乱流体のレーザスペックルを上記図 5 に示したような撮像条件下で複数撮像して、複数のスペックル画像を生成し、生成した複数のスペックル画像を、演算処理ユニット 20 に出力する。

[0050] かかる撮像ユニット 10 の詳細な構成については、以下で改めて説明する。

[0051] 演算処理ユニット 20 は、撮像ユニット 10 によるスペックル画像の撮像処理を制御する。また、演算処理ユニット 20 は、撮像ユニット 10 により生成された複数のスペックル画像を用いて、着目する光散乱流体の流速（すなわち、流れの方向及び速さ）を算出する。

[0052] かかる演算処理ユニット 20 の詳細な構成については、以下で改めて説明する。

[0053] [撮像ユニット 10 の構成について]

本実施形態に係る撮像ユニット 10 は、図 10 に模式的に示したように、レーザ光源 101 と、撮像装置 103 と、を有している。

[0054] また、本実施形態に係る撮像ユニット 10 は、上記のような構成に加えて、血管やリンパ管等の導管の位置を特定するために用いられる、一般的なスペックルイメージング画像や、明視野画像や、蛍光画像や、NBI（Narrow Band Imaging：狭帯域光観察）画像などの少なくとも何れかを取得するための各種機構を更に有していてもよい。また、上記のような

撮像ユニット 10 の構成が、スペックルイメージング画像や、明視野画像や、蛍光画像や、NBI 画像などの少なくとも何れかを得るための各種機能を更に有していてもよい。これにより、本実施形態に係る流速測定装置 1 の使用者は、流速を測定したい光散乱流体が存在している位置を、より容易に特定することが可能となる。

[0055] 以下、本実施形態に係るレーザ光源 101 及び撮像装置 103 について、詳細に説明する。

[0056] ●レーザ光源 101 について

レーザ光源 101 は、レーザ光を、測定対象である光散乱流体 S に対して照射する。これにより、光散乱流体 S は照射されたレーザ光をランダムに散乱させて、レーザスペックルパターンが生成される。レーザ光源 101 から出射されるレーザ光の波長は、特に限定されるものではなく、任意の波長を選択することが可能である。なお、測定精度をより向上させるためには、レーザ光の波長はより短い波長であることが好ましい。また、レーザ光源 101 から出射されるレーザ光の干渉性は、高ければ高いほど好ましい。更に、レーザ光源 101 から出射されるレーザ光の縦モードは、単一周波数であることが好ましく、横モードは、TEM₀₀モードであることが好ましい。

[0057] なお、光散乱流体 S には、光散乱流体 S のより広範囲を照明するために、ライン状のレーザ光が照射されることが好ましい。ライン状のレーザ光は、レーザ光源 101 の下流側にロッドレンズ、パウエルレンズ（ラインジェネレータ投影レンズ）等の各種光学素子を設け、レーザ光源 101 から出射したレーザ光をこれら光学素子に入射させることで、実現することが可能である。

[0058] 上記のようなレーザ光源 101 の一例として、図 11 に模式的に示したような半導体レーザ光源を挙げることができる。かかるレーザ光源は、図 11 に模式的に示したように、例えば、レーザダイオード 111 と、コリメータ 113 と、アイソレータ 115 と、アナモルフィックプリズムペア 117 と、 $\lambda/2$ 波長板 119 と、結合ポート 121 と、を有している。

[0059] レーザダイオード 111 から出射したレーザ光は、コリメータ 113 を透過することでコリメート光となり、アイソレータ 115 に入射する。アイソレータ 115 を透過したコリメート光は、アナモルフィックプリズムペア 117 を透過することでビーム形状が所定の形状へと成形され、 $\lambda/2$ 波長板 119 により、偏光方向が制御される。ビーム形状及び偏光方向が制御されたレーザ光は、結合ポート 121 を介して光ファイバ OF へと接続されて、光散乱流体の測定部位まで導光される。また、結合ポート 121 からのレーザ光の反射光は、アイソレータ 115 によってレーザダイオード 111 まで到達しないように構成されており、レーザダイオード 111 のレーザ発振効率が低下しないように制御されている。

[0060] 図 11 に示したような半導体レーザ光源をレーザ光源 101 として利用することで、本実施形態に係る撮像ユニット 10 をより小型化することが可能となる。

[0061] ●撮像装置 103 について

撮像装置 103 は、光散乱流体 S で発生しているスペックルパターンを、図 5 に示したような特定の撮像条件下で撮像して、少なくとも 2 枚以上のスペックル画像を生成する。生成された少なくとも 2 枚以上のスペックル画像のデータは、演算処理ユニット 20 へと出力される。

[0062] かかる撮像装置 103 の一例として、エリアセンサの実装された撮像装置を挙げることができる。エリアセンサの実装された撮像装置は、図 12 に模式的に示したように、撮像レンズ 131 と、撮像素子であるエリアセンサ 133 と、を少なくとも有している。また、図 7 に示したように、光散乱流体が流れる導管（例えば、血管やリンパ管等）の延伸方向をエリアセンサ 133 の走査方向と一致させるために、撮像レンズ 131 の上流側には、ダブリズム 135 が設けられることが好ましい。

[0063] ここで、撮像装置 103 に設けられる撮像レンズ 131 は、特に限定されるものではなく、任意のものを使用することが可能である。また、図 12 では、撮像レンズ 131 として 1 枚のレンズのみを図示しているが、撮像レン

ズ 1 3 1 を構成する光学素子の種類や個数については特に限定されるものではなく、撮像レンズ 1 3 1 が複数の光学素子からなるレンズ群で構成されていてもよい。

[0064] また、エリアセンサ 1 3 3 についても、特に限定されるものではなく、C D (C h a r g e d - c o u p l e d d e v i c e s) や C M O S (C o m p l e m e n t a r y m e t a l - o x i d e - s e m i c o n d u c t o r) 等を利用した、任意のエリアセンサを利用することが可能である。

[0065] かかるエリアセンサ 1 3 3 を構成する複数の画素のうち、図 6 A に模式的に示したような一部の画素群を用いることで、高速フレームレートを実現することが可能となり、図 5 に模式的に示したような、高速フレームレートでの撮像を実現することが可能となる。特定の画素群から得られたスペックル信号を解析することで、光散乱流体の流速が特定される。

[0066] 光散乱流体が流れる導管（特に、血管やリンパ管等）は、エリアセンサ 1 3 3 の走査方向（データ読み出し方向）と平行に延伸していることは稀であり、一般的には、導管はエリアセンサ 1 3 3 の走査方向とは関係なく任意の方向に延伸していることが多い。そのため、図 7 に示したように、導管の延伸方向とエリアセンサ 1 3 3 の走査方向とを一致させるために、ダブルプリズム 1 3 5 を用いて、エリアセンサ 1 3 3 に結像される像を所望の方向に回転させる。

[0067] ダブルプリズム 1 3 5 は、図 1 3 A に模式的に示したように、ダブルプリズム 1 3 5 の光軸に沿って伝播した光を、1 8 0 度回転させる機能を有している。また、ダブルプリズム 1 3 5 自体を光軸の周りに θ 度回転させた場合、図 1 3 B に模式的に示したように、ダブルプリズム 1 3 5 を透過した像は、 2θ 度回転した状態となる。このようなダブルプリズム 1 3 5 を用いることで、エリアセンサ 1 3 3 に結像する光散乱流体の流れる導管の延伸方向を、エリアセンサ 1 3 3 の走査方向に一致させることができる。

[0068] なお、かかる延伸方向の調整を実現するため、流速測定装置 1 の使用者が

参照している表示画面に、図 14 に模式的に示したように、エリアセンサ 133 の走査方向を示すガイドを表示させることが好ましい。これにより、流速測定装置 1 の使用者は、ダブリズム 135 の回転をより容易に制御して、エリアセンサ 133 に結像する光散乱流体の流れる導管の延伸方向を、エリアセンサ 133 の走査方向に一致させることができる。

[0069] また、本実施形態に係る撮像装置 103 の他の一例として、ラインセンサの実装された撮像装置を挙げることができる。ラインセンサの実装された撮像装置は、例えば図 15 に模式的に示したように、撮像レンズ 131 と、光学レンズ 141 と、エリアセンサ 143 と、ラインセンサ 145 と、ハーフミラー HM と、ミラー M と、を有している。

[0070] かかる撮像装置では、撮像レンズ 131 の物体に対するフーリエ面に、ハーフミラー HM が配置されており、撮像レンズ 131 に入射した光の光路を、エリアセンサ 143 に向かう光路と、ラインセンサ 145 に向かう光路と、に分岐させる。また、ハーフミラー HM と、各センサとの間には、光学的に同等な光学レンズ 141 が設けられている。

[0071] かかる撮像装置において、エリアセンサ 143 は、血管やリンパ管等の導管の位置を特定するために用いられる、一般的なスペックルイメージング画像や、明視野画像や、蛍光画像や、NB I 画像などの少なくとも何れかを取得するための機構として、設けられている。エリアセンサ 143 に結像した像は、適宜スペックル処理等が施され、流速測定装置 1 の使用者に提供される。流速測定装置 1 の使用者は、かかる画像を参照することで、光散乱流体の流れる導管（例えば、血管やリンパ管等）の位置が特定される。

[0072] また、ラインセンサ 145 は、エリアセンサ 143 の像位置と共役な位置に設けられており、ラインセンサ 145 は、その面内で X, Y, θ 方向に可動な保持機構上に設置される。かかる保持機構により、図 14 と同様にして、流速測定装置 1 の使用者が特定した導管位置と等価な位置に、ラインセンサ 145 を移動させることができる。かかるラインセンサ 145 から得られたスペックル信号を解析することで、光散乱流体の流速が特定される。

[0073] 以上、本実施形態に係る撮像ユニット10について、詳細に説明した。

[0074] [演算処理ユニット20の構成について]

次に、図16を参照しながら、本実施形態に係る演算処理ユニット20の構成の一例について、詳細に説明する。

本実施形態に係る演算処理ユニット20は、図16に模式的に示したように、撮像制御部201と、流速算出部203と、表示制御部205と、記憶部207と、を主に有している。

[0075] 撮像制御部201は、例えば、CPU (Central Processing Unit)、ROM (Read Only Memory)、RAM (Random Access Memory)、通信装置等により実現される。撮像制御部201は、撮像ユニット10によるスペックルパターンの撮像処理を統括的に制御する処理部である。撮像制御部201が撮像ユニット10を制御して、レーザ光の照射タイミングや、撮像装置103の撮像条件（露光時間 $E T$ や撮像間隔 Δt や使用するセンサの画素位置）等を所望の状態に調整することで、図5に示したような高速フレームレートでの撮像を実現することが可能となる。

[0076] また、撮像制御部201は、撮像ユニット10に設定された撮像条件等に関する情報や、撮像ユニット10から得られた各種画像等を、後述する表示制御部205を介して、流速測定装置1の利用者に提供することも可能である。

[0077] 流速算出部203は、例えば、CPU、ROM、RAM等により実現される。流速算出部203は、撮像ユニット10から取得した2枚以上のスペックル画像を用いて、先だって説明したような方法で、着目している光散乱流体の流速（すなわち、流れの方向及び速さ）を算出する。また、本実施形態に係る流速算出部203は、光散乱流体の流速算出処理に先だって、画像の感度補正や画像のダークレベル補正等といった、公知の各種の前処理を実施することが可能である。

[0078] 流速算出部203は、算出した光散乱流体の流速に関する情報を、後述す

る表示制御部205を介して、流速測定装置1の使用者に提供する。また、流速算出部203は、算出した光散乱流体の流速に関する情報を、音声として出力することで、流速測定装置1の使用者に提供してもよい。

[0079] 表示制御部205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205は、撮像制御部201から出力された、撮像ユニット10に関する各種の情報や、流速算出部203から出力された光散乱流体の流速に関する情報を、流速測定装置1が備えるディスプレイ等の出力装置や流速測定装置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、流速測定装置1の使用者は、光散乱流体の流速に関する情報等を、その場で把握することが可能となる。

[0080] 記憶部207は、例えば本実施形態に係る演算処理ユニット20が備えるRAMやストレージ装置等により実現される。記憶部207には、本実施形態に係る演算処理ユニット20が、何らかの処理を行う際に保存する必要がある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207は、撮像制御部201、流速算出部203、表示制御部205等が、自由にデータのリード／ライト処理を行うことが可能である。

[0081] 以上、本実施形態に係る演算処理ユニット20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。

[0082] なお、上述のような本実施形態に係る演算処理ユニット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。

[0083] [演算処理ユニット20のハードウェア構成]

次に、図17を参照しながら、本開示の実施形態に係る演算処理ユニット20のハードウェア構成について、詳細に説明する。図17は、本開示の実施形態に係る演算処理ユニット20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。

[0084] 演算処理ユニット20は、主に、CPU901と、ROM903と、RAM905と、を備える。また、演算処理ユニット20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。

[0085] CPU901は、演算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、演算処理ユニット20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。

[0086] 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。

[0087] 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、演算処理ユニット20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。

更に、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、CPU 901 に出力する入力制御回路などから構成されている。演算処理ユニット 20 のユーザは、この入力装置 915 を操作することにより、演算処理ユニット 20 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。

[0088] 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、演算処理ユニット 20 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、演算処理ユニット 20 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。

[0089] ストレージ装置 919 は、演算処理ユニット 20 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。

[0090] ドライブ 921 は、記録媒体用リーダライタであり、演算処理ユニット 20 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。

[0091] 接続ポート923は、機器を演算処理ユニット20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、演算処理ユニット20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。

[0092] 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。

[0093] 以上、本開示の実施形態に係る演算処理ユニット20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。

[0094] [流速測定装置の変形例]

以上説明したような流速測定装置1は、撮像ユニット10と、演算処理ユニット20と、を有するものであった。本実施形態に係る流速測定装置の変形例として、図5に示したような撮像条件下でスペックル画像を撮像することが可能な撮像ユニット10が別体として存在しており、かかる撮像ユニット10から取得したスペックル画像を利用して流速算出処理を行う演算処理ユニット20から構成される流速測定装置を実現することも可能である。以下、本実施形態に係る流速測定装置の変形例について、簡単に説明する。

[0095] かかる流速測定装置3は、例えば図18に示したように、外部に設けられた撮像ユニット10からスペックル画像を取得して、取得したスペックル画像に基づき流速算出処理を実施する。かかる流速測定装置3は、流速算出部203と、表示制御部205と、記憶部207と、を有する演算処理ユニット20を備える。

[0096] 外部に設けられた撮像ユニット10は、本実施形態に係る撮像制御部201と同様の機能を有する撮像制御部301を備える撮像制御装置30によって、撮像条件等が制御されているものとする。

[0097] 流速測定装置3の流速算出部203は、撮像ユニット10から少なくとも2枚以上のスペックル画像を取得して、上記と同様にして光散乱流体の流速を算出する。得られた光散乱流体の流速に関する情報は、表示制御部205を介して、流速測定装置3の使用者に提供される。

[0098] 以上、図18を参照しながら、本実施形態に係る流速測定装置の変形例に

ついて、簡単に説明した。

実施例

[0099] 続いて、実施例を示しながら、本開示に係る流速測定方法及び流速測定装置について、具体的に説明する。なお、以下に示す実施例は、本開示に係る流速測定方法及び流速測定装置のあくまでも一例にすぎず、本開示に係る流速測定方法及び流速測定装置が下記の例に限定されるものではない。

[0100] (実施例 1)

本実施例は、手術中の患者の血管に着目して血液の流動状態を観察する状況を模擬するために、疑似的な血管と動物血流を用いて、血液の流速測定を実施した例である。

[0101] 流速測定装置 1 において、撮像ユニット 10 のレーザ光源 101 として、図 11 に示したようなレーザ光源を利用した。かかるレーザ光源において、レーザダイオード 111 として、波長 823 nm、出力 150 mW、横モード TEM₀₀、縦マルチモードの半導体レーザを用いた。コリメータ 113 及びアナモルフィックプリズムペア 117 によりビーム成形を行い、結合ポート 121 からシングルモード光ファイバにレーザ光を導入した。光ファイバ出射後のレーザ光を、ラインジェネレーター投影レンズに入射させて、ライン状の照明光とした上で、サンプルに対して照射した。

[0102] 図 19 に示したような血管ファントムを利用して、血管ファントム中に設けられた流路中を流れる動物血液の流速を測定した。図 19 に示した血管ファントムは、等価散乱係数及び等価吸収係数がヒトの胃の内壁と同等に設計された樹脂で形成されており、内部に血液を流すことのできる流路が形成されている。流路は観察面から 0.2 mm の深さに形成されており、断面 1 mm × 1 mm の大きさとなっている。この流路に、ポンプにより豚の血液を 1 mm/s の速さで流し、観測を行った。観測は、血管ファントムの上部側からレーザ光を照明し、その拡散反射光を上部に配置された撮像装置 103 により撮像することで行った。

[0103] 撮像装置 103 として、一般的なカメラレンズを用い、作動距離を 200

mmとし、F値を8とし、像倍率を約0.6とした。撮像装置103に設けられた撮像素子は、画素サイズが $1.85\mu\text{m}$ 正形状であり、有効画素数が 2080×4096 画素である、ベイヤー配列のローリングシャッター方式のカラーCMOSセンサ（エリアセンサ）である。

[0104] 撮像装置103から得られたスペックル画像に対して、公知の感度補正処理、及び、ダークレベル補正処理を施した後、流速を算出した。

[0105] なお、本実施例では、図6A及び図7と同様にして、エリアセンサの垂直方向に1024ライン目に位置する画素群のみを、1ラインだけ走査させた。これにより、109.5kHzでのフレームレートで、連続的に1次元スペックル像を取得した。

[0106] 事前の測定より、上記サンプルでスペックルパターンが相関を失う時間（すなわち、空間相関消失時間）は、 $10 \sim 100\mu\text{s}$ であることが明らかとなっていた。上記フレームレートは、空間相関消失時間よりも短い時間を露光時間とし、かつ、空間相関消失時間よりも短い時間間隔で連続的に撮像することが可能なフレームレートである。

[0107] 図20に、かかる測定で取得した、1フレーム目の流路位置のスペックル画像信号と、2フレーム目のスペックル画像信号と、6フレーム目のスペックル画像信号とを、あわせて示した。図20において、横軸は画素番号であり、血液は、左から右に（すなわち、画素番号の少ない側から多い側へ向けて）流れている。

[0108] 2フレーム目及び6フレーム目のスペックル画像信号は、1フレーム目の撮像タイミングを基準として、それぞれ9.13マイクロ秒後、及び、45.7マイクロ秒後に撮像された、血流方向の光強度信号である。1フレーム目のスペックル画像の自己相関係数、及び、1フレーム目のスペックル画像と、2フレーム目又は6フレーム目のスペックル画像と、の相互相関係数を算出した結果を、図21に示した。図20に示した、スペックル画像信号の生データでは、血流の流れる方向を特定することは困難であるが、図21に示した相関係数のプロットに着目すると、横軸の画素位置に対し、相関係数

のピーク位置が流れの方向に微少移動していることがわかる。

[0109] かかる結果からも、血流の流れの方向は、画素番号の少ない側から多い側に向かう方向であることが明らかとなり、得られた血流の速さは、 16.7 mm/s となった。

[0110] (実施例2)

本実施例においても、手術中の患者の血管に着目して、血液の流動状態を観察する状況を模擬するために、疑似的な血管と動物血流を用いて、血液の流速測定を実施した。

[0111] 流速測定装置1において、撮像ユニット10のレーザ光源101として、波長 800 nm 、出力 200 mW 、横モード TEM_{00} 、縦モード単一周波数の外部共振半導体レーザを用いた。ビームエキスパンダによりビーム成形を行い、投影レンズによりサンプルに対して照射した。

[0112] サンプルとしては、実施例1と同様のものを使用し、形成された流路に、ポンプにより豚の血液を 1 mm/s の速さで流し、観測を行った。観察は、血管ファントムの上部側からレーザ光を照明し、その拡散反射光を上部に配置された撮像装置により撮像することで行った。

[0113] 撮像装置103として、一般的なカメラレンズを用い、作動距離を 200 mm とし、F値を8とし、像倍率を約0.6とした。撮像装置103に設けられた撮像素子は、画素サイズ $1.85 \mu\text{m}$ 正形状、有効画素数 2080×4096 、ベイヤー配列のローリングシャッター方式のカラーCMOSセンサ（エリアセンサ）である。

[0114] 本実施例では、図22に示したように、垂直方向に1ラインずつ、 9.13 マイクロ秒 ごとに 9.13 マイクロ秒 だけ露光して（すなわち、 $ET = \Delta t = 9.13 \mu\text{s}$ ）、2次元スペックル像を取得した。図22において、縦軸は、露光する水平画素ラインの垂直方向の番号を示し、横軸は、時間である。図中のハッチングで示した矩形は、露光している時間を示している。

[0115] 撮像装置103から得られたスペックル画像に対して、公知の感度補正処理、及び、ダークレベル補正処理を施した後、隣接するラインごとに、水平

方向の信号プロファイルの相互相関係数を算出した。

[0116] 図23に、1024番目のラインの信号プロファイルの自己相関係数、及び、1024番目のラインの信号プロファイルと、1025番目のラインの信号プロファイルとの相互相関係数をそれぞれ示した。図23に示したように、横軸の画素位置に対し、相関係数のピーク位置が、流れの方向に微少移動していることがわかる。

[0117] かかる結果からも、血流の流れの方向は、画素番号の少ない側から多い側に向かう方向であることが明らかとなり、得られた血流の速さは、16.7 mm/sとなった。

[0118] 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。

[0119] 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。

[0120] 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)

被測定物である光散乱流体を、前記光散乱流体が生成するスペックルパターンの空間相関が消失する時間である空間相関消失時間よりも短い時間を露光時間とし、かつ、前記空間相関消失時間よりも短い時間間隔で連続的に撮像して、2枚以上のスペックル画像を生成することと、

前記2枚以上のスペックル画像間における前記スペックルパターンの時間変動から、前記光散乱流体の流れの方向及び速さを算出することと、
を含み、

前記スペックル画像の撮像は、エリアセンサを実装した撮像装置を用い、かつ、前記エリアセンサの一部の画素群を用いて実施されるか、又は、ラインセンサを実装した撮像装置を用いて実施される、流速測定方法。

(2)

前記光散乱流体は、所定方向に延伸している導管の内部を移動しており、前記スペックル画像の撮像は、撮像に用いるセンサの走査方向を前記導管の延伸方向に略一致させた上で実施される、(1)に記載の流速測定方法。

(3)

前記光散乱流体の移動に伴う前記スペックルパターンの時間変動を表す指標として、前記2枚以上のスペックル画像を用いて算出されるスペックル画像の空間分布の相互相関を用い、

前記光散乱流体の流れの方向及び速さは、前記スペックル画像の空間分布の相互相関に基づき算出される、(1)又は(2)に記載の流速測定方法。

(4)

前記スペックル画像の空間分布の相互相関のピーク値のシフト方向を、前記光散乱流体の流れの方向とし、

前記ピーク値のシフト量と、前記センサにおける画素の大きさと、前記時間間隔と、に基づき、前記光散乱流体の速さを算出する、(3)に記載の流速測定方法。

(5)

前記光散乱流体は、レーザ光源から出射されたレーザ光により、ライン状に照明される、(1)～(4)の何れか1つに記載の流速測定方法。

(6)

前記光散乱流体は、生体中を流れる血液又は体液である、(1)～(5)の何れか1つに記載の流速測定方法。

(7)

被測定物である光散乱流体に対して、所定波長のレーザ光を照射するレーザ光源と、

前記光散乱流体を、前記光散乱流体が生成するスペックルパターンの空間相関が消失する時間である空間相関消失時間よりも短い時間を露光時間とし、かつ、前記空間相関消失時間よりも短い時間間隔で連続的に撮像して、2枚以上のスペックル画像を生成する撮像装置と、

前記2枚以上のスペックル画像間における前記スペックルパターンの時間変動から、前記光散乱流体の流れの方向及び速さを算出する演算処理ユニットと、

を備え、

前記スペックル画像の撮像は、前記撮像装置としてエリアセンサを実装した撮像装置を用い、かつ、前記エリアセンサの一部の画素群を用いて実施されるか、又は、前記撮像装置としてラインセンサを実装した撮像装置を用いて実施される、流速測定装置。

(8)

所定波長のレーザ光が照射された被測定物である光散乱流体を、前記光散乱流体が生成するスペックルパターンの空間相関が消失する時間である空間相関消失時間よりも短い時間を露光時間とし、かつ、前記空間相関消失時間よりも短い時間間隔で連続的に撮像することで生成された、2枚以上のスペックル画像を用い、前記2枚以上のスペックル画像間における前記スペックルパターンの時間変動から、前記光散乱流体の流れの方向及び速さを算出する演算処理ユニットを備え、

前記演算処理ユニットは、前記2枚以上のスペックル画像として、エリアセンサを実装した撮像装置を用い、かつ、前記エリアセンサの一部の画素群を用いて撮像されたもの、又は、ラインセンサを実装した撮像装置を用いて撮像されたものを用いる、流速測定装置。

(9)

コンピュータに、

所定波長のレーザ光が照射された被測定物である光散乱流体を、前記光散乱流体が生成するスペックルパターンの空間相関が消失する時間である空間

相関消失時間よりも短い時間を露光時間とし、かつ、前記空間相関消失時間よりも短い時間間隔で連続的に撮像することで生成された、2枚以上のスペックル画像を用い、前記2枚以上のスペックル画像間における前記スペックルパターンの時間変動から、前記光散乱流体の流れの方向及び速さを算出する演算処理機能を実現させ、

前記演算処理機能は、前記2枚以上のスペックル画像として、エリアセンサを実装した撮像装置を用い、かつ、前記エリアセンサの一部の画素群を用いて撮像されたもの、又は、ラインセンサを実装した撮像装置を用いて撮像されたものを用いる、プログラム。

符号の説明

[0121]	1, 3	流速測定装置
10		撮像ユニット
20		演算処理ユニット
30		撮像制御装置
101		レーザ光源
103		撮像装置
111		レーザダイオード
113		コリメータ
115		アイソレータ
117		アナモルフィックプリズムペア
119		$\lambda/2$ 波長板
121		結合ポート
131		撮像レンズ
133, 143		エリアセンサ
135		ダブリズム
141		光学レンズ
145		ラインセンサ
201, 301		撮像制御部

2 0 3 流速算出部

2 0 5 表示制御部

2 0 7 記憶部

請求の範囲

[請求項1] 被測定物である光散乱流体を、前記光散乱流体が生成するスペックルパターンの空間相関が消失する時間である空間相関消失時間よりも短い時間を露光時間とし、かつ、前記空間相関消失時間よりも短い時間間隔で連続的に撮像して、2枚以上のスペックル画像を生成することと、

前記2枚以上のスペックル画像間における前記スペックルパターンの時間変動から、前記光散乱流体の流れの方向及び速さを算出することと、

を含み、

前記スペックル画像の撮像は、エリアセンサを実装した撮像装置を用い、かつ、前記エリアセンサの一部の画素群を用いて実施されるか、又は、ラインセンサを実装した撮像装置を用いて実施される、流速測定方法。

[請求項2] 前記光散乱流体は、所定方向に延伸している導管の内部を移動しており、

前記スペックル画像の撮像は、撮像に用いるセンサの走査方向を前記導管の延伸方向に略一致させた上で実施される、請求項1に記載の流速測定方法。

[請求項3] 前記光散乱流体の移動に伴う前記スペックルパターンの時間変動を表す指標として、前記2枚以上のスペックル画像を用いて算出されるスペックル画像の空間分布の相互相関を用い、

前記光散乱流体の流れの方向及び速さは、前記スペックル画像の空間分布の相互相関に基づき算出される、請求項1に記載の流速測定方法。

[請求項4] 前記スペックル画像の空間分布の相互相関のピーク値のシフト方向を、前記光散乱流体の流れの方向とし、

前記ピーク値のシフト量と、前記センサにおける画素の大きさと、

前記時間間隔と、に基づき、前記光散乱流体の速さを算出する、請求項 3 に記載の流速測定方法。

[請求項5] 前記光散乱流体は、レーザ光源から出射されたレーザ光により、ライン状に照明される、請求項 1 に記載の流速測定方法。

[請求項6] 前記光散乱流体は、生体中を流れる血液又は体液である、請求項 1 に記載の流速測定方法。

[請求項7] 被測定物である光散乱流体に対して、所定波長のレーザ光を照射するレーザ光源と、

前記光散乱流体を、前記光散乱流体が生成するスペックルパターンの空間相関が消失する時間である空間相関消失時間よりも短い時間を露光時間とし、かつ、前記空間相関消失時間よりも短い時間間隔で連続的に撮像して、2枚以上のスペックル画像を生成する撮像装置と、

前記2枚以上のスペックル画像間における前記スペックルパターンの時間変動から、前記光散乱流体の流れの方向及び速さを算出する演算処理ユニットと、

を備え、

前記スペックル画像の撮像は、前記撮像装置としてエリアセンサを実装した撮像装置を用い、かつ、前記エリアセンサの一部の画素群を用いて実施されるか、又は、前記撮像装置としてラインセンサを実装した撮像装置を用いて実施される、流速測定装置。

[請求項8] 所定波長のレーザ光が照射された被測定物である光散乱流体を、前記光散乱流体が生成するスペックルパターンの空間相関が消失する時間である空間相関消失時間よりも短い時間を露光時間とし、かつ、前記空間相関消失時間よりも短い時間間隔で連続的に撮像することで生成された、2枚以上のスペックル画像を用い、前記2枚以上のスペックル画像間における前記スペックルパターンの時間変動から、前記光散乱流体の流れの方向及び速さを算出する演算処理ユニットを備え、

前記演算処理ユニットは、前記2枚以上のスペックル画像として、

エリアセンサを実装した撮像装置を用い、かつ、前記エリアセンサの一部の画素群を用いて撮像されたもの、又は、ラインセンサを実装した撮像装置を用いて撮像されたものを用いる、流速測定装置。

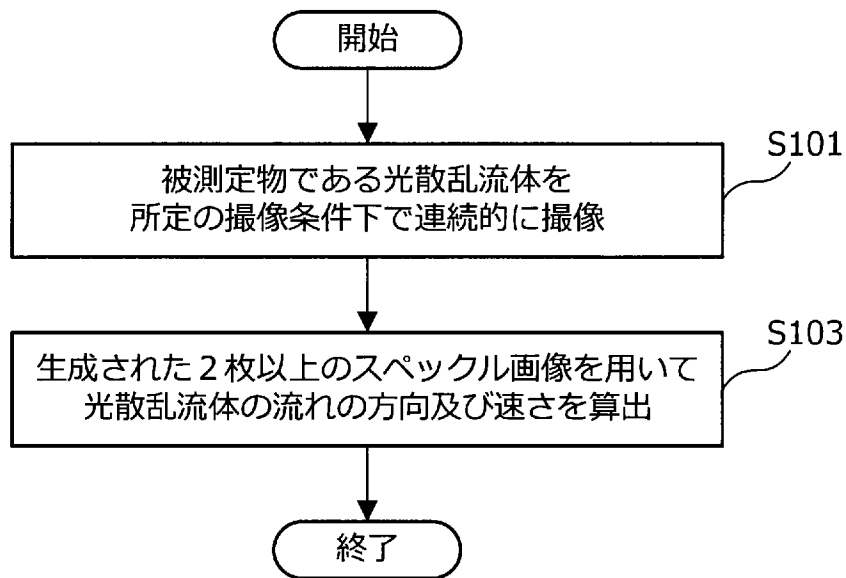
[請求項9]

コンピュータに、

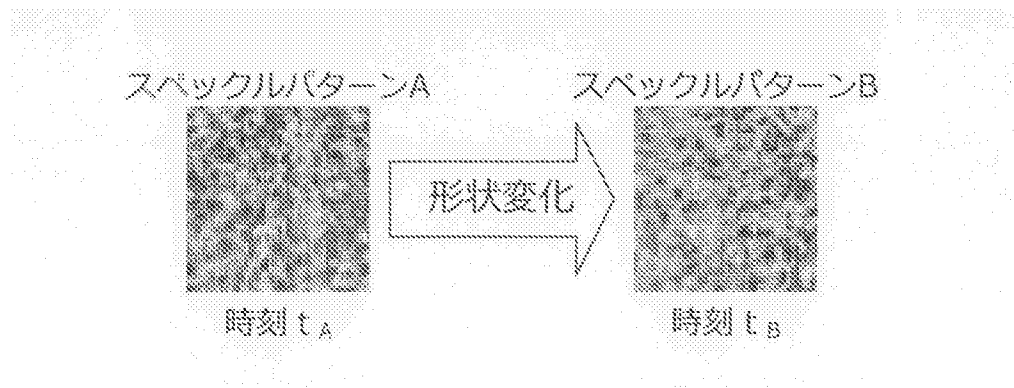
所定波長のレーザ光が照射された被測定物である光散乱流体を、前記光散乱流体が生成するスペックルパターンの空間相関が消失する時間である空間相関消失時間よりも短い時間を露光時間とし、かつ、前記空間相関消失時間よりも短い時間間隔で連続的に撮像することで生成された、2枚以上のスペックル画像を用い、前記2枚以上のスペックル画像間における前記スペックルパターンの時間変動から、前記光散乱流体の流れの方向及び速さを算出する演算処理機能を実現させ、

前記演算処理機能は、前記2枚以上のスペックル画像として、エリアセンサを実装した撮像装置を用い、かつ、前記エリアセンサの一部の画素群を用いて撮像されたもの、又は、ラインセンサを実装した撮像装置を用いて撮像されたものを用いる、プログラム。

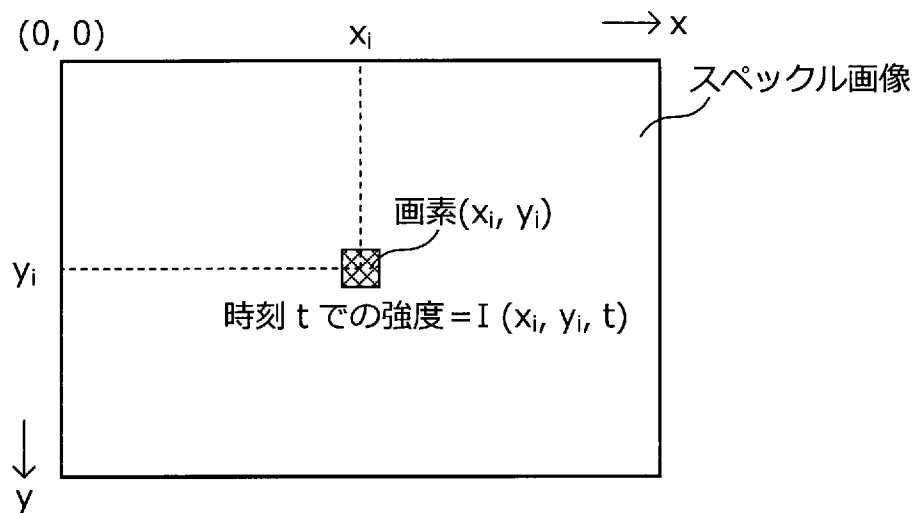
[図1]



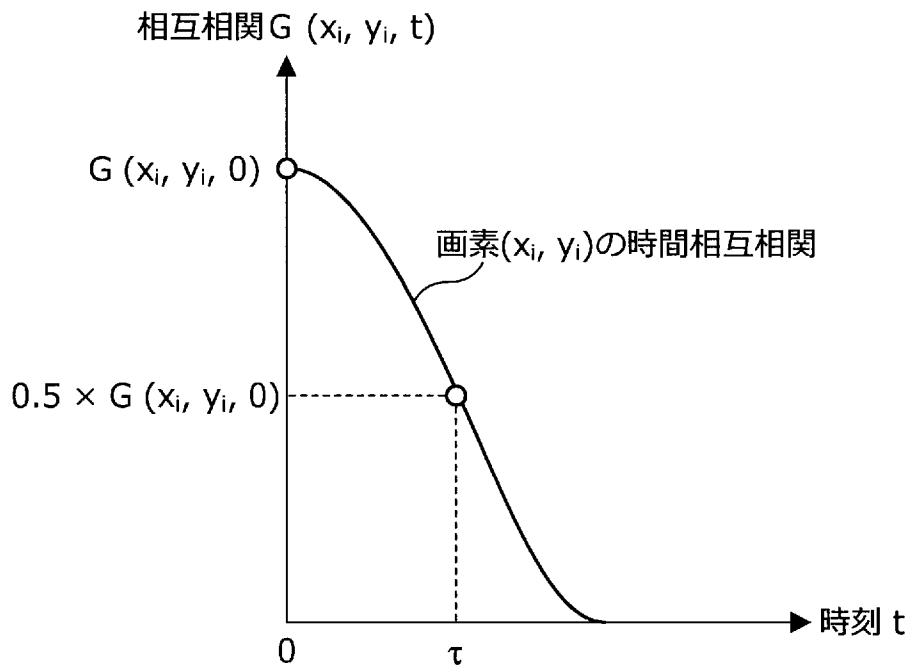
[図2]



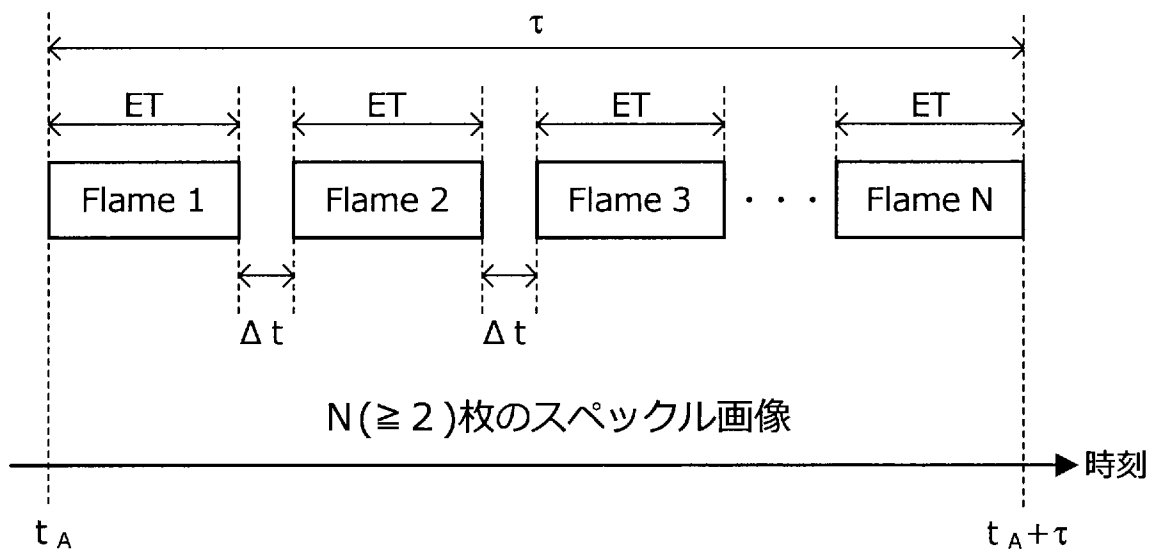
[図3]



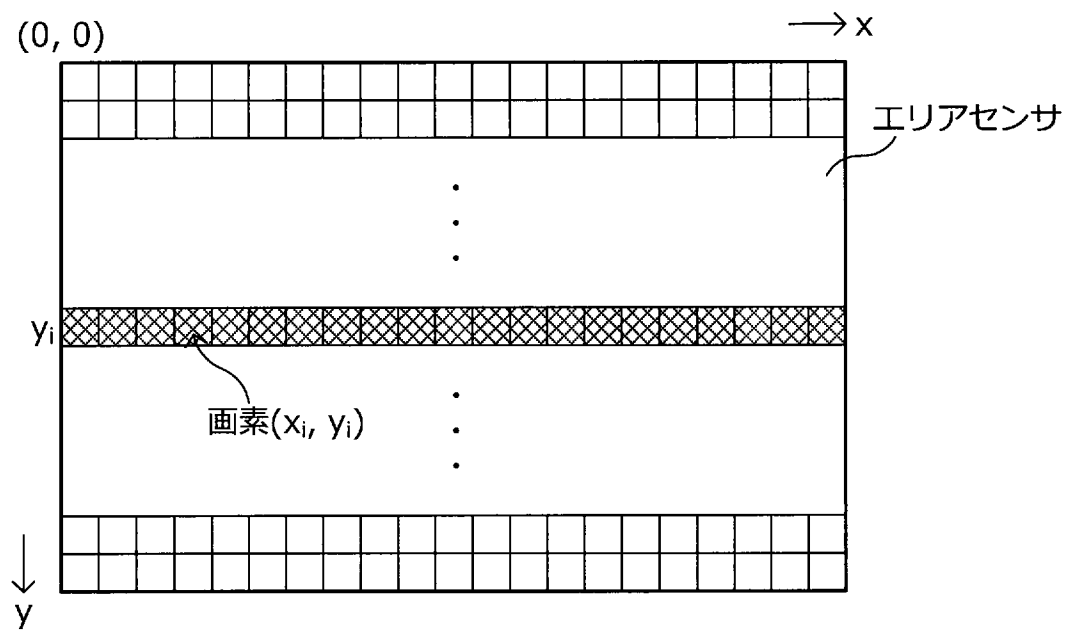
[図4]



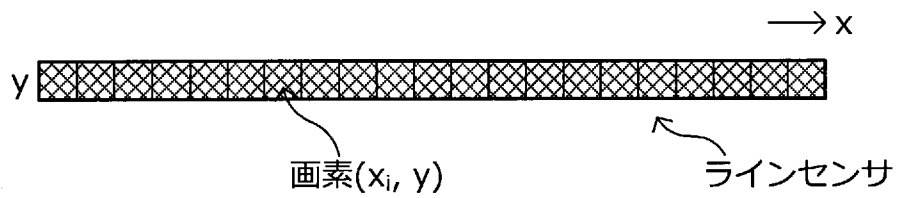
[図5]



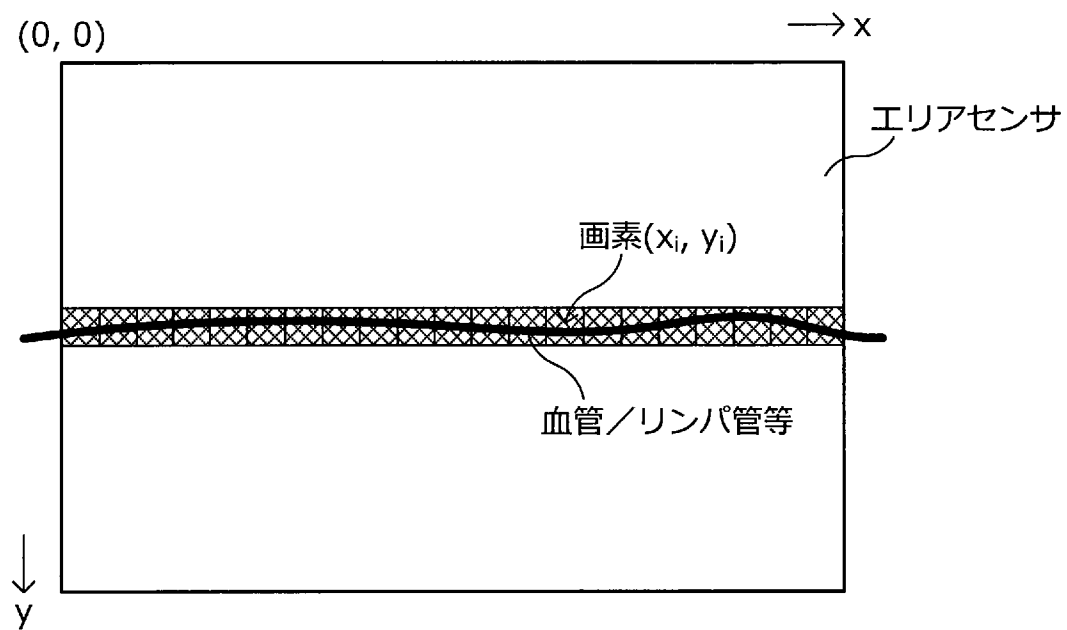
[図6A]



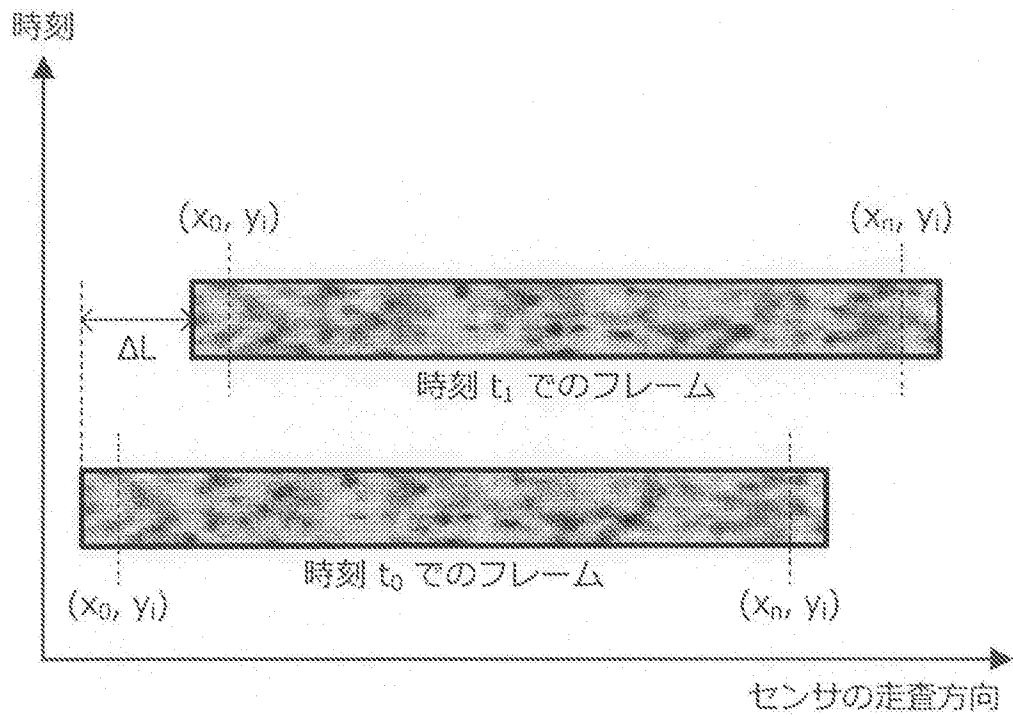
[図6B]



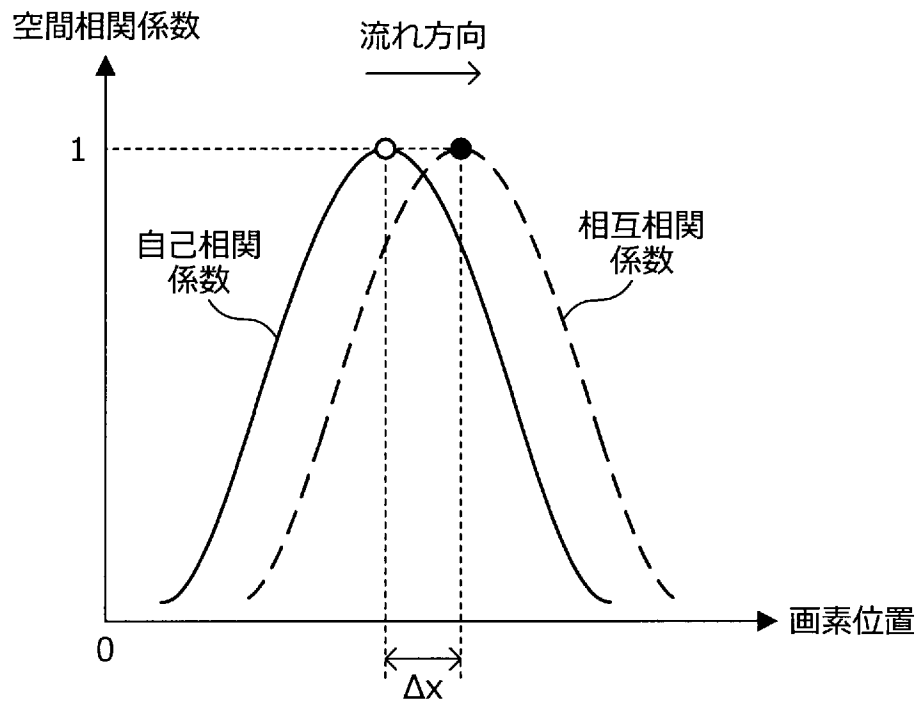
[図7]



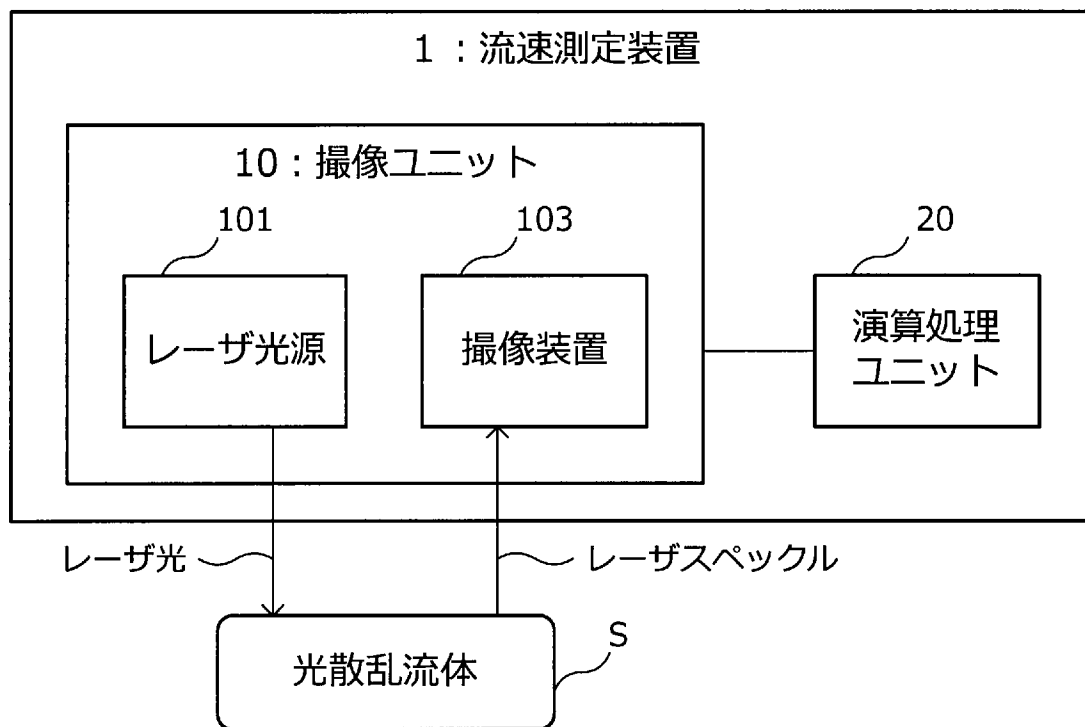
[図8]



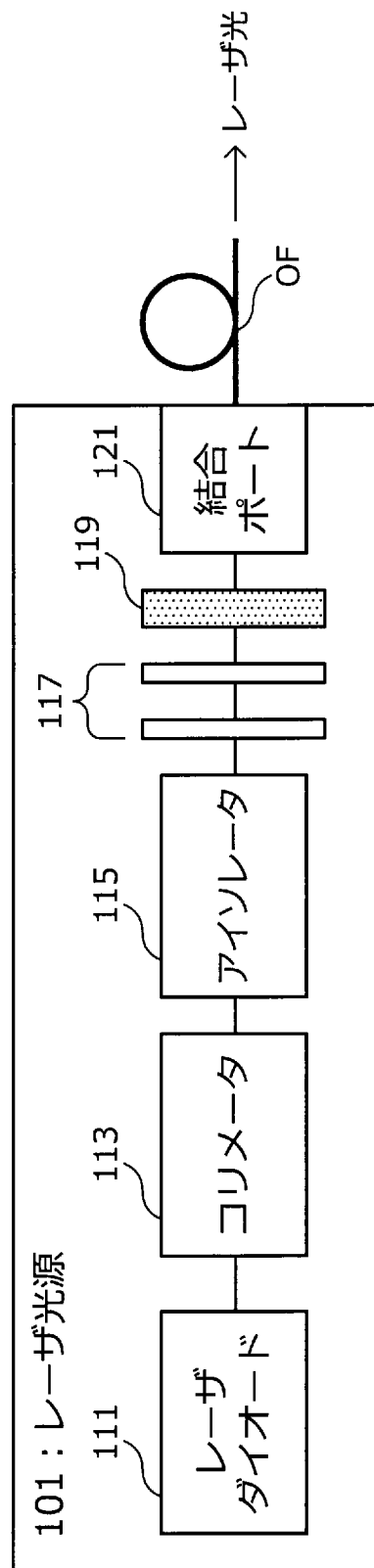
[図9]



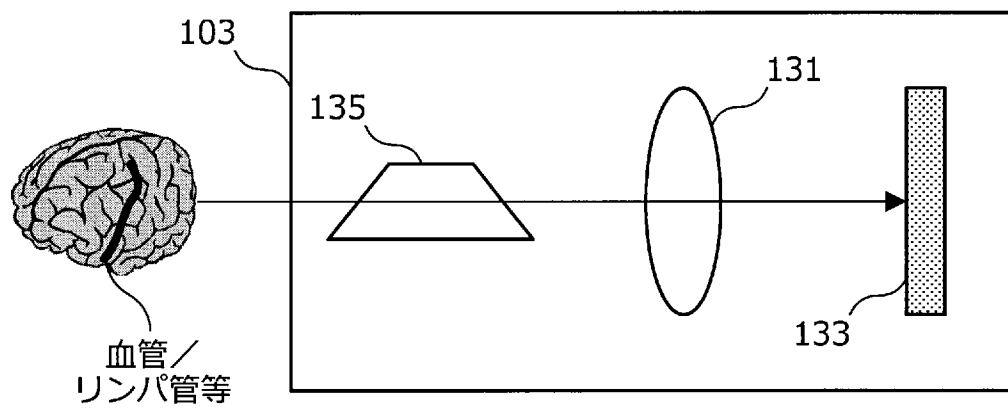
[図10]



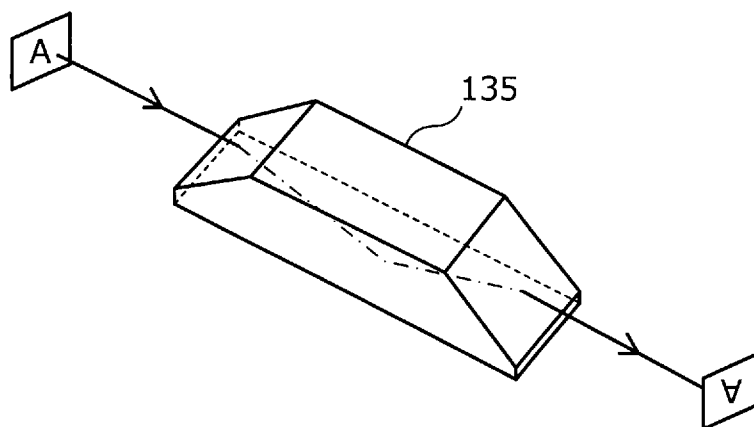
[図11]



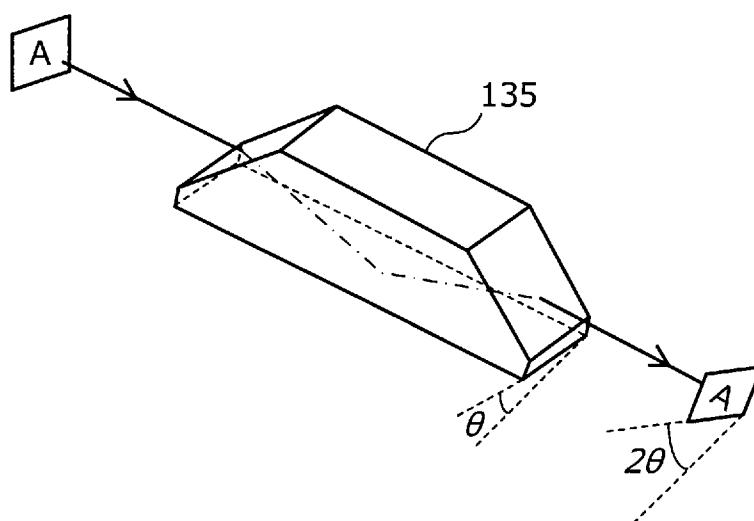
[図12]



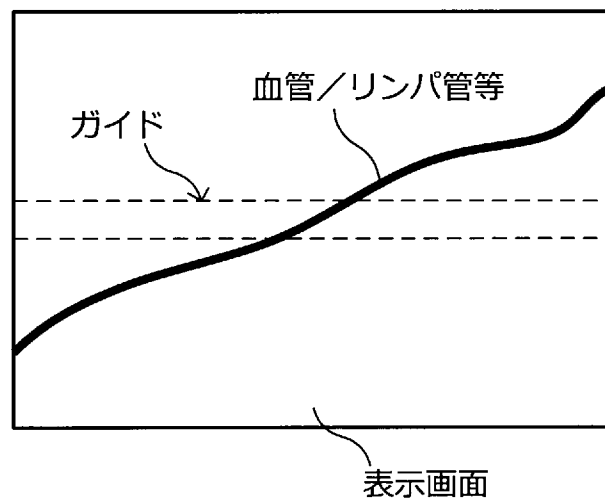
[図13A]



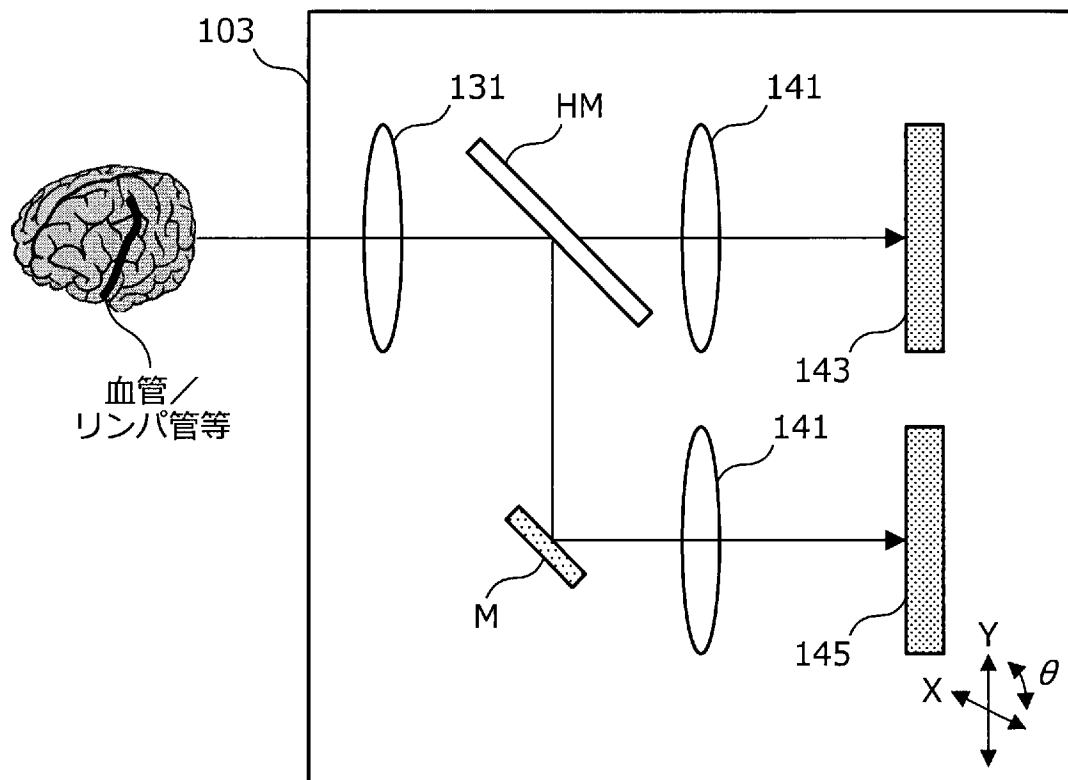
[図13B]



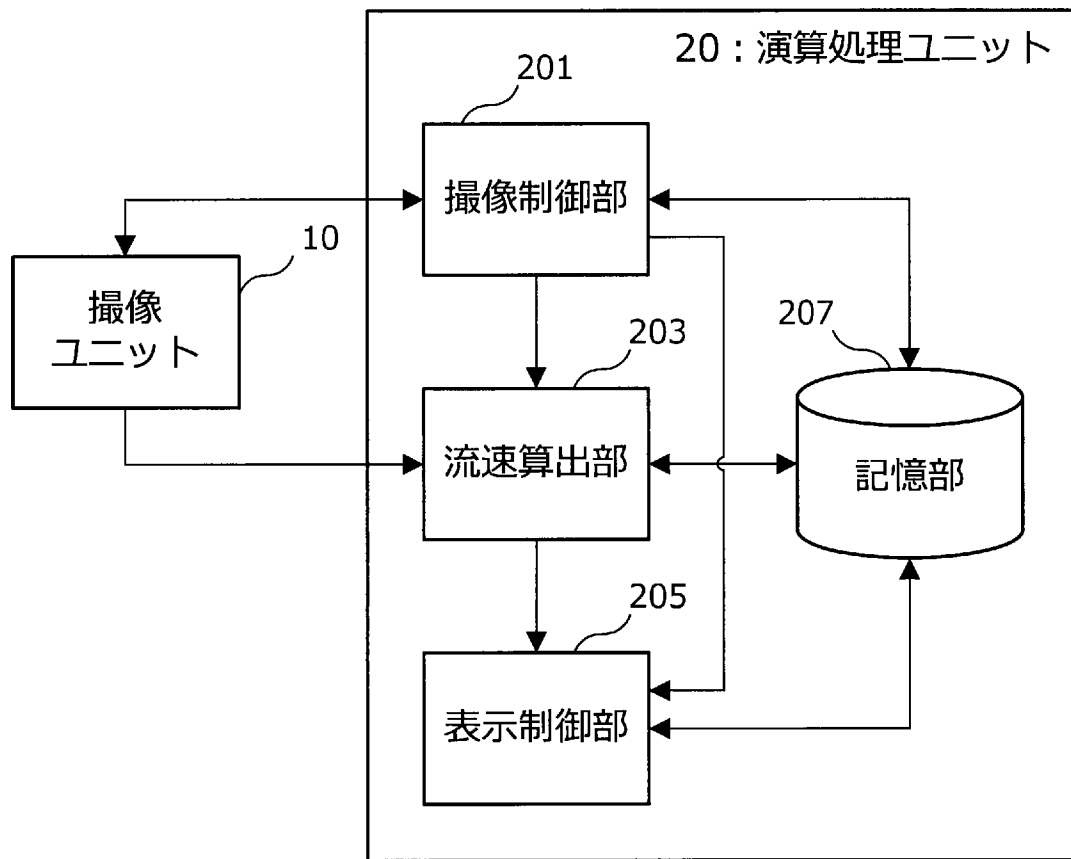
[図14]



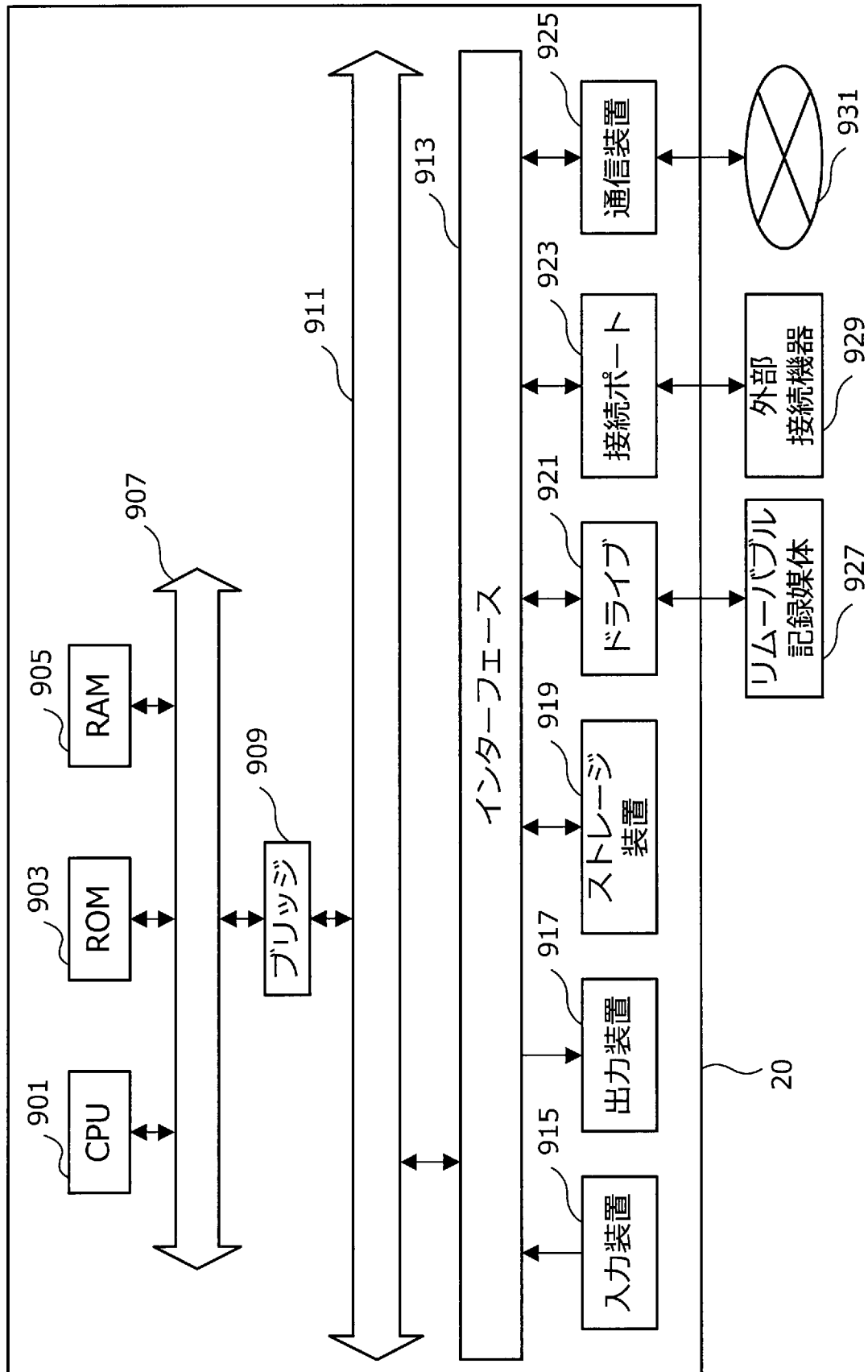
[図15]



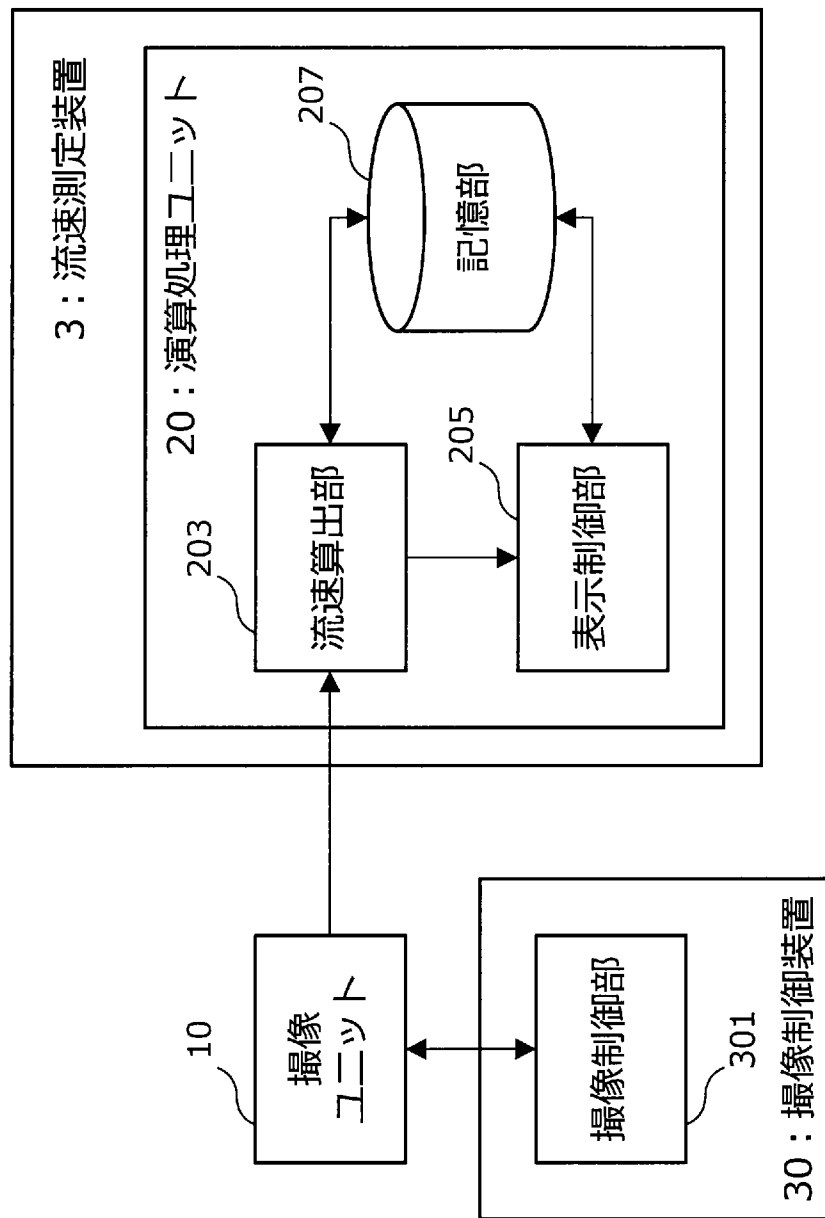
[図16]



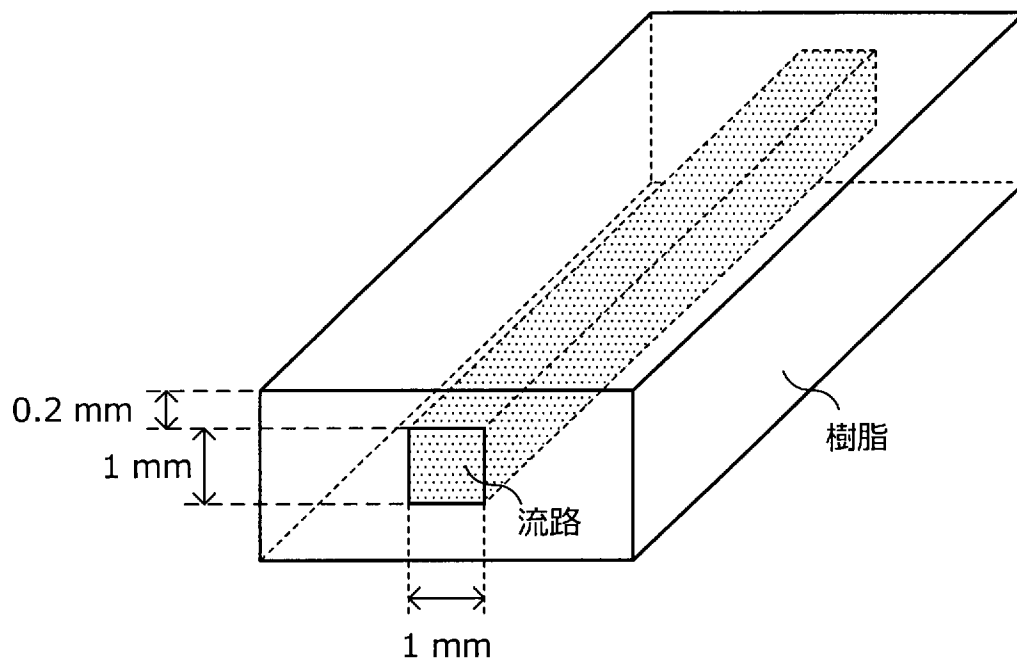
[図17]



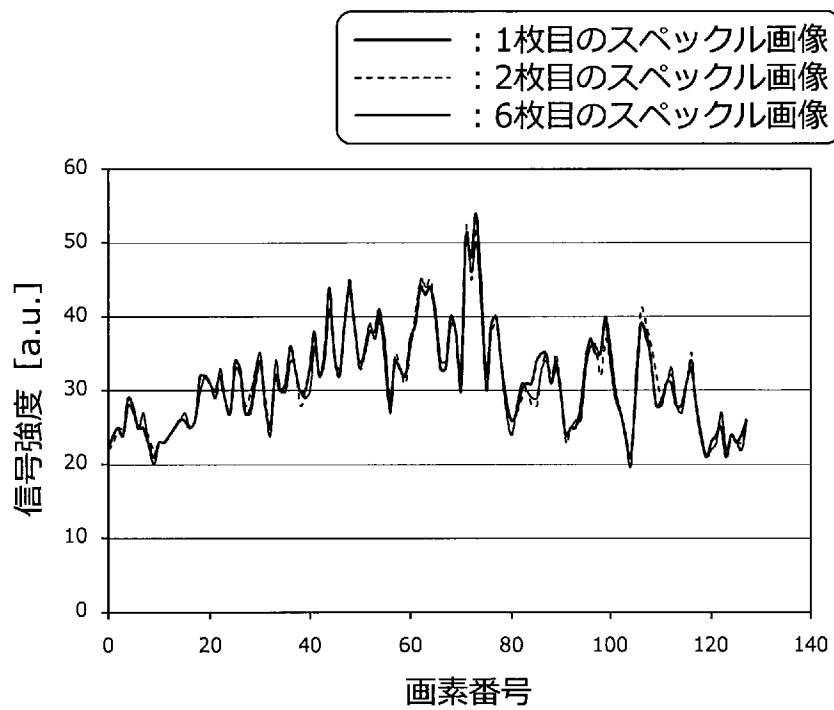
[図18]



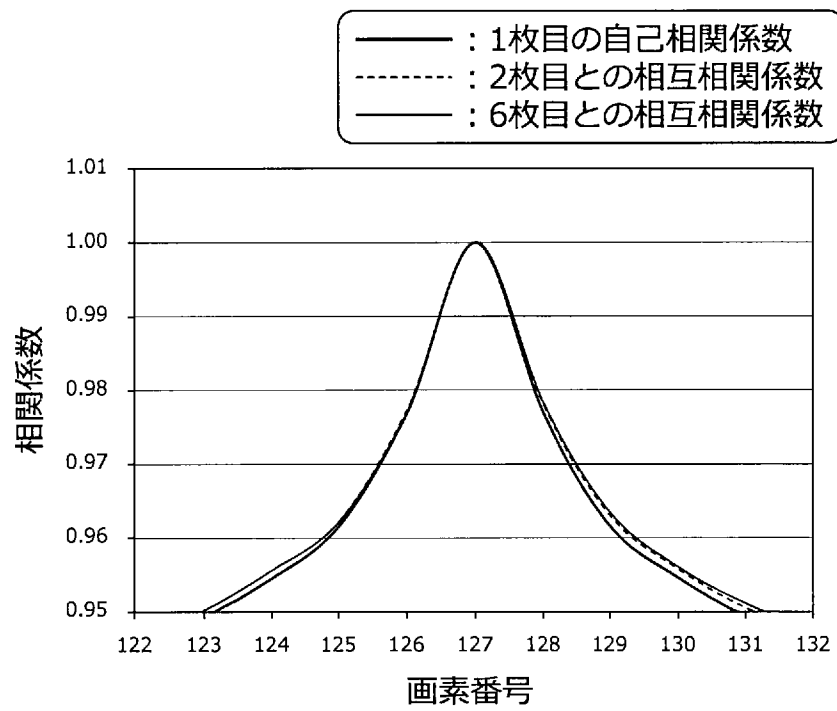
[図19]



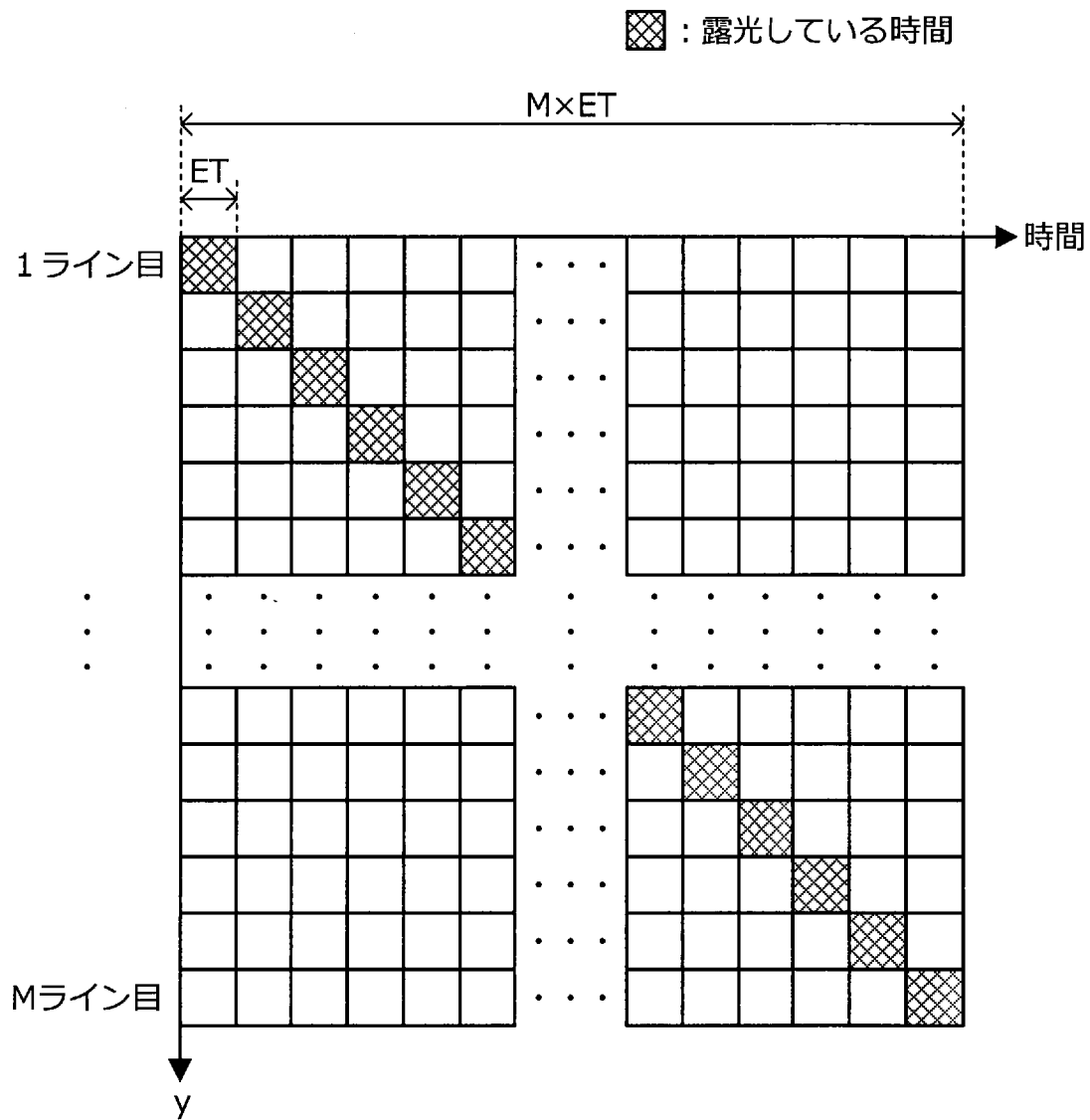
[図20]



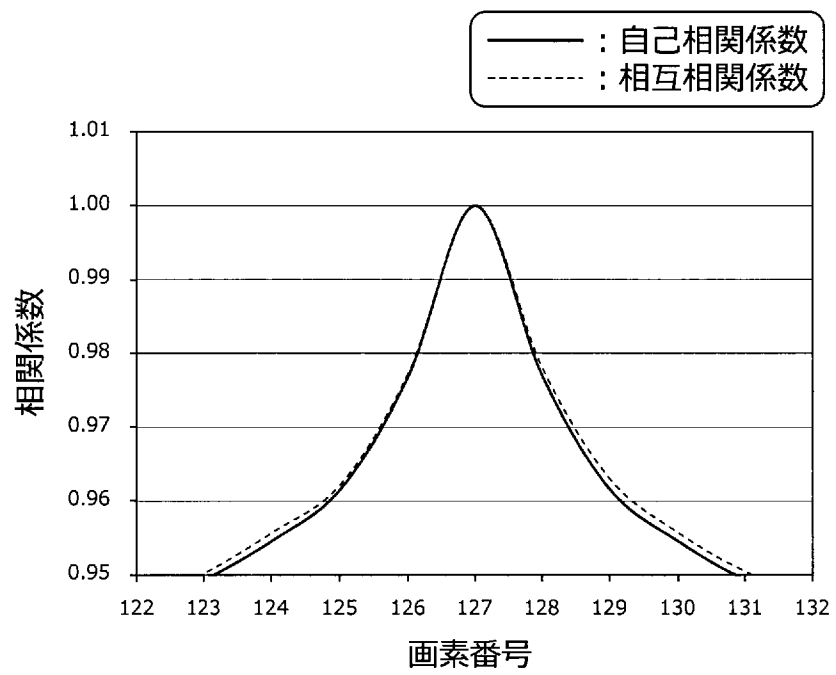
[図21]



[図22]



[図23]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2018/005452

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int.Cl. G01P5/22 (2006.01) i, G01P13/00 (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. G01P3/00-5/26, G01P13/00-13/04, A61B5/026-5/0295, G01F1/00-1/90

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.
A	US 2012/0277559 A1 (KOHL-BAREIS, Matthias) 01 November 2012, entire text, all drawings & EP 2509491 A1 & WO 2011/070357 A1	1-9
A	JP 2010-55064 A (RICOH CO., LTD.) 11 March 2010, entire text, all drawings & CN 101923299 A & US 2010/0310284 A1	1-9
A	JP 2005-515818 A (STICHTING VOOR DE TECHNISCHE WETENSCHAPPEN) 02 June 2005, entire text, all drawings & DE 10392250 T5 & EP 1332718 A1 & GB 2402286 A & US 2005/0187477 A1 & WO 2003/063677 A1	1-9



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

"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

"I" 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
19 April 2018 (19.04.2018)

Date of mailing of the international search report
01 May 2018 (01.05.2018)

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/JP2018/005452

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 2003-180641 A (FUJII, Hitoshi) 02 July 2003, entire text, all drawings (Family: none)	1-9
A	JP 10-314118 A (KOWA CO., LTD.) 02 December 1998, entire text, all drawings (Family: none)	1-9
A	JP 1-124437 A (FUJII, Hitoshi) 17 May 1989, entire text, all drawings & AU 1206388 A & CA 1293535 A & DE 3875758 T2 & EP 282210 A1 & US 4862894 A	1-9

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC））

Int.Cl. G01P5/22(2006.01)i, G01P13/00(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. G01P3/00-5/26, G01P13/00-13/04, A61B5/026-5/0295, G01F1/00-1/90

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
A	US 2012/0277559 A1 (KOHL-BAREIS, Matthias) 2012.11.01, 全文, 全図 & EP 2509491 A1 & WO 2011/070357 A1	1-9
A	JP 2010-55064 A (株式会社リコー) 2010.03.11, 全文, 全図 & CN 101923299 A & US 2010/0310284 A1	1-9

☒ 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

19.04.2018

国際調査報告の発送日

01.05.2018

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）

岡田 卓弥

2 F

9206

電話番号 03-3581-1101 内線 3216

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 2005-515818 A (スティヒティング・フォール・デ・テヘニッセ・ ヴェーテンサッペン) 2005.06.02, 全文, 全図 & DE 10392250 T5 & EP 1332718 A1 & GB 2402286 A & US 2005/0187477 A1 & WO 2003/063677 A1	1-9
A	JP 2003-180641 A (藤居仁) 2003.07.02, 全文, 全図 (ファミリーなし)	1-9
A	JP 10-314118 A (興和株式会社) 1998.12.02, 全文, 全図 (ファミリーなし)	1-9
A	JP 1-124437 A (藤居仁) 1989.05.17, 全文, 全図 & AU 1206388 A & CA 1293535 A & DE 3875758 T2 & EP 282210 A1 & US 4862894 A	1-9