(19)日本国特許庁(JP)　(12)特　許　公　報(B2)　(11)特許番号
特許第5120920号
(P5120920)
(45)発行日　平成25年1月16日(2013.1.16)　(24)登録日　平成24年11月2日(2012.11.2)

(51)Int.Cl.　F I
G01L 5/00 (2006.01)　G01L 5/00 101Z
G01L 1/24 (2006.01)　G01L 1/24 Z

請求項の数 8　(全 13 頁)

(21)出願番号　特願2007-64045(P2007-64045)
(22)出願日　平成19年3月13日(2007.3.13)
(65)公開番号　特開2008-197078(P2008-197078A)
(43)公開日　平成20年8月28日(2008.8.28)
審査請求日　平成22年3月8日(2010.3.8)
(31)優先権主張番号　60/900,114
(32)優先日　平成19年2月8日(2007.2.8)
(33)優先権主張国　米国(US)

特許法第３０条第１項適用　平成１８年９月１４日　社団法人　日本ロボット学会発行の「第２４回日本ロボット学会学術講演会講演概要集」に発表

(73)特許権者　504143441
国立大学法人　奈良先端科学技術大学院大学
奈良県生駒市高山町８９１６－５
(74)代理人　110000338
特許業務法人原謙三国際特許事務所
(72)発明者　上田　淳
奈良県生駒市高山町８９１６－５　国立大学法人奈良先端科学技術大学院大学内
(72)発明者　小笠原　司
奈良県生駒市高山町８９１６－５　国立大学法人奈良先端科学技術大学院大学内
(72)発明者　直原　佑哉
奈良県生駒市高山町８９１６－５　国立大学法人奈良先端科学技術大学院大学内
最終頁に続く

(54)【発明の名称】触覚センサ及び触覚情報検出方法

(57)【特許請求の範囲】
【請求項１】
着色された液体が封入された可撓性を有する透明な１本以上の管と、
前記管内の着色液体に向かって光を照射する光源と、
前記管内の着色液体を透過した光を受光する受光素子と、
前記受光素子によって受光された光量の変化に基づいて、前記管に作用する力に関連した触覚情報を検出する触覚情報検出手段とを備え、
前記管は、光線を透過させる柔軟素材の内部に配置されていることを特徴とする触覚センサ。
【請求項２】
前記１本以上の管は、複数本の菅であり、
前記複数本の菅は、格子状に配置されている請求項１記載の触覚センサ。
【請求項３】
前記管は、透明な柔軟素材の内部に配置されている請求項１記載の触覚センサ。
【請求項４】
前記光源は、前記柔軟素材の内部に配置されている請求項３記載の触覚センサ。
【請求項５】
前記１本以上の管は、複数本の第１の管と、前記第１の管よりも細い複数本の第２の管である請求項１記載の触覚センサ。
【請求項６】

前記第１の管に封入された液体の色は、前記第２の管に封入された液体の色と異なっている請求項５記載の触覚センサ。
【請求項７】
前記触覚情報は、圧力分布、接触面積、及び力の向きのうちの少なくとも１つを含む請求項１記載の触覚センサ。
【請求項８】
可撓性を有する透明な１本以上の管に封入された着色液体に光を照射し、
前記管内の着色液体を透過した光を受光し、
前記受光した光量の変化に基づいて、前記管に作用する力に関連した触覚情報を検出し、
前記管は、光線を透過させる柔軟素材の内部に配置されていることを特徴とする触覚情報検出方法。
【発明の詳細な説明】
【技術分野】
【０００１】
本発明は、外力、外力の分布、接触面積を検出するための触覚センサ及び触覚情報検出方法に関する。
【背景技術】
【０００２】
従来、外力、外力の分布、接触面積を検出するための種々の触覚センサが知られている。
【０００３】
多指ハンドによる遠隔把持のための触覚センサ内蔵ソフトフィンガが知られている（非特許文献１）。この触覚センサは、バネによって圧力を感知する。また、対象物の表面に対して垂直な方向の変化率と、対象物の表面に対して平行な方向の変化率とを、空洞と超音波とによって測定する触覚センサが知られている（特許文献１）。また、把持力制御のための曲面状ひずみ分布センサが知られており、この触覚センサは、歪ゲージによって圧力を感知する（非特許文献２）。カメラによりマーカを追跡する光学式触覚センサが知られている（特許文献２）。
【０００４】
また、接触面の散乱光を検出する触覚センサが知られており（特許文献３、非特許文献３、特許文献４）、封入液体の圧力を検出する触覚センサが知られている（特許文献５）。
【特許文献１】特開２００１－０２１４８２号公報（平成１３年１月２６日公開（２００１．１．２６））
【特許文献２】特開２００５－１１４７１５号公報（平成１７年４月２８日公開（２００５．４．２８））
【特許文献３】特開平７－４９０８号公報（平成７年（１９９５）１月１０日）
【特許文献４】米国特許第５，９６７，９９０号明細書
【特許文献５】特願平４－２２８９２１号
【非特許文献１】藤本他著　「多指ハンドによる遠隔把持のための触覚センサ内蔵ソフトフィンガ」ロボティクス・メカトロニクス講演会‘０２
【非特許文献２】河合他　「把持力制御のための曲面状ひずみ分布センサの開発」機械学会論文誌１９９８
【非特許文献３】「Development of a Medical Telediagnostic System with Tactile Haptic Interface」Michigan State University, IEEE/ASME Mcchatronics, 2004
【発明の開示】
【発明が解決しようとする課題】
【０００５】
しかしながら、上記非特許文献１、特許文献１、非特許文献２、及び特許文献２に記載

の構成では、内蔵する歪ゲージ、空孔、ばね、マーカを内部に多数配置することができないため、触覚センサの分解能が不足するという問題がある。

【０００６】

また、上記特許文献３、非特許文献３、及び特許文献４に記載の構成では、触覚センサが検出する力の感度が不足し、接触は検出できるが、圧力の計算は困難であるという問題がある。

【０００７】

本発明は、上記の問題点に鑑みてなされたものであり、その目的は、高い分解能を有して高感度な触覚センサ及び触覚情報検出方法を実現することにある。

【課題を解決するための手段】

【０００８】

本発明に係る触覚センサは、上記課題を解決するために、着色された液体が封入された可撓性を有する透明な１本以上の管と、前記管内の着色液体に向かって光を照射する光源と、前記管内の着色液体を透過した光を受光する受光素子と、前記受光素子によって受光された光量の変化に基づいて、前記管に作用する力に関連した触覚情報を検出する触覚情報検出手段とを備えたことを特徴とする。

【０００９】

上記特徴によれば、着色された液体が封入された管に外力を作用させると、作用した外力により、管が変形し、封入された着色液体を透過する光量が変化する。このため、着色液体を透過した光を受光素子により受光し、受光した光量の変化に基づいて、管に作用する力に関連した触覚情報を算出することができる。

【００１０】

本発明に係る触覚センサでは、前記１本以上の管は、複数本の菅であり、前記複数本の菅は、格子状に配置されていることが好ましい。

【００１１】

上記構成によれば、複数本の菅が、格子状に配置されているので、すべての管の透過光をそれぞれ受光する複数個の受光素子を設けることにより、外力の分布、接触面積、及び力の向きを計測可能な分布型圧力センサを実現することができる。分布型圧力センサとは、点ではなく、線または面によって、ある外部の負荷との接触部を構成し、圧力の大きさ及び圧力の分布を計測することができるセンサを言う。

【００１２】

本発明に係る触覚センサでは、前記管は、透明な柔軟素材の内部に配置されていることが好ましい。

【００１３】

上記構成によれば、管を、透明な柔軟素材の内部に配置すれば、外力を管に適切に伝達することができ、また、柔軟素材を成型することによって、柔軟素材の内部に管を形成することができる。

【００１４】

本発明に係る触覚センサでは、前記光源は、前記柔軟素材の内部に配置されていることが好ましい。

【００１５】

上記構成によれば、柔軟素材の表面を遮光性部材で覆うことができ、外部から光源へのの外乱を低減することができる。

【００１６】

本発明に係る触覚センサでは、前記１本以上の管は、複数本の第１の管と、前記第１の管よりも細い複数本の第２の管であることが好ましい。

【００１７】

上記構成によれば、より帯域の広い感度を得ることができる。

【００１８】

本発明に係る触覚センサでは、前記第１の管に封入された液体の色は、前記第２の管に

封入された液体の色と異なっていることが好ましい。
【００１９】
上記構成によれば、異なる径の管の変形を１つのカメラで容易に検出することができる。
【００２０】
本発明に係る触覚センサでは、前記触覚情報は、圧力分布、接触面積、及び力の向きのうちの少なくとも１つを含むことが好ましい。
【００２１】
上記構成によれば、分布型圧力センサを構成できる。
【００２２】
本発明に係る触覚情報検出方法は、可撓性を有する透明な１本以上の管に封入された着色液体に光を照射し、前記管内の着色液体を透過した光を受光し、前記受光した光量の変化に基づいて、前記管に作用する力に関連した触覚情報を検出することを特徴とする。
【００２３】
上記特徴によれば、着色された液体が封入された管に外力を作用させると、作用した外力により、管が変形し、封入された着色液体を透過する光量が変化する。このため、着色液体を透過した光を受光し、受光した光量の変化に基づいて、管に作用する力に関連した触覚情報を算出することができる。
【発明の効果】
【００２４】
本発明に係る触覚センサは、以上のように、着色された液体が封入された可撓性を有する透明な１本以上の管と、前記管内の着色液体に光を照射する光源と、前記管内の着色液体を透過した光を受光する受光素子とを備えているので、着色液体を透過した光を受光素子により受光し、受光した光量の変化に基づいて、管に作用する力に関連した触覚情報を算出することができる。
【００２５】
本発明に係る触覚情報検出方法は、以上のように、可撓性を有する透明な１本以上の管に封入された着色液体に光を照射し、前記管内の着色液体を透過した光を受光するので、着色液体を透過した光を受光素子により受光し、受光した光量の変化に基づいて、管に作用する力に関連した触覚情報を算出することができる。
【発明を実施するための最良の形態】
【００２６】
本発明の一実施形態について図１ないし図１１に基づいて説明すると以下の通りである。
【００２７】
本実施の形態では、接触力と接触位置とを知覚することができる流路の変形に基づく光学式触覚センサの構成を説明する。そして、流路の変形を計測し、接触力に変換する方法を説明する。そして、この原理を確認するためにカメラを用いて作成した試作機による実験結果を説明する。
【００２８】
（実施の形態１）
図１は、実施の形態１に係る触覚センサ１の構成を示す模式図である。触覚センサ１は、平板状をした透明な柔軟素材４を備えている。柔軟素材４は、負荷７のような物体が接触し、その接触した部分に力が加わることによって変形する。
【００２９】
図２（ａ）は、柔軟素材４の構成を説明するための模式断面図である。柔軟素材４は、無色透明・加工のしやすさ・柔らかさの点から、アルテクノ社のジェリーキャストを使用して構成することができる。ジェリーキャストは、約２００℃で融解する特殊なプラスチック材料であって、型に入れて整形する。柔軟素材４の大きさは、例えば、縦５０ｍｍ×横５０ｍｍ×高さ５ｍｍである。柔軟素材４の中には、細い血管のような形状をした可撓

性を有する管２が形成されている。管２の中には、透明な色の着いた流体８が封入されて密封されている。柔軟素材４内部の管２は、整形時に柔軟素材４に針金を入れておき、固まった後、針金を抜くことによって形成することができる。

【００３０】

触覚センサ１は、ＬＥＤ３を備えている。ＬＥＤ３は、柔軟素材４の側面に対向して配置されており、管２内の着色流体８に向かって光を照射する。ＬＥＤ３は、柔軟素材４の内部に配置してもよい。

【００３１】

触覚センサ１には、カメラ５が設けられている。カメラ５は、柔軟素材４の負荷７が押し当てられる面とは反対側の面に対向して配置されている。このカメラ５は、例えば、ＳＯＮＹ社　ＤＦＷ－ＶＬ５００によって構成することができる。

【００３２】

図３は、ＬＥＤ３から照射され、管２内の液体８を透過してカメラ５に到達する光を示す模式断面図である。ＬＥＤ３から照射された光は、柔軟素材４の側面から柔軟素材４の内部に入射し、柔軟素材４の表面によって反射されながら管２に向かって進行する。柔軟素材４のカメラ５と反対側の表面によって反射された光は、カメラ５と反対側から管２に入射する。そして、管２に封入された液体８を透過して管２を出射し、柔軟素材４のカメラ５側の表面から出射して、カメラ５に入射する。このようにして、ＬＥＤ３から照射された光は、管２内の着色液体８を透過してカメラ５により受光される。管２内の着色流体８は、カメラ５によって計測が容易とされる波長の短い赤色によって着色することが好ましい。

【００３３】

触覚センサ１は、触覚情報検出部６を備えている。触覚情報検出部６は、カメラ５によって受光された光量の変化に基づいて、管２に作用する力に関連した触覚情報を検出する。

【００３４】

図２（ｂ）は、触覚センサ１の動作を説明するための模式図である。柔軟素材４のカメラ５と反対側の表面が負荷７によって押圧されると、柔軟素材４が変形し、これに応じて管２が変形して管２の径が変化し、管２の中の流体８が押し出され、その付近の管を通り過ぎる光の透過率が変化する。この現象を利用して、柔軟素材４を裏からカメラ５によって撮影する。そして、触覚情報検出部６の画像処理により、管２の流体８を通り過ぎる光の透過率が変化することを検出して、管２に加えられた力を測定する。

【００３５】

図５は、触覚センサ１の力の検出原理を説明するための図である。管２に加えられた力は、下記の式１によって表されるＬａｍｂｅｒｔ－Ｂｅｅｒの法則に基づいて検出する。

ｌｏｇ（Ｉｏ／Ｉ）＝ｅ・ｌ・ｃ　…（式１）

ここで、

Ｉｏ：入射光強度

Ｉ　：透過光強度

ｅ　：濃度（ｍｏｌ／ｌ）

ｌ　：光の通過距離（ｃｍ）

ｃ　：分子吸光係数（ｌ／ｃｍ・ｍｏｌ）

である。

【００３６】

図４（ａ）は触覚センサ１に設けられた柔軟素材４の初期状態の画像を示す図であり、（ｂ）は力を加えたときの柔軟素材４の画像を示す図である。図４（ａ）（ｂ）に示す柔軟素材４を使用した実験を行った。まず、柔軟素材４内部に内径１ｍｍの管２を１本作成し、液体８を封入した。そして、外部からの外乱を低減するために、柔軟素材４の表面を黒いゴム板によって覆った。次に、直径２ｃｍ、重さ２８グラムの鉄球を、柔軟素材４の表面に載置し、その鉄球に９２グラムの鉛の立方体をガイドに沿わせて１つずつ載せ、０

グラム、２８グラム、１２０グラム、２１２グラム、３０４グラムと負荷を増加させていった。その後、鉛の重りを１つずつ取り除いていき、初期状態に戻していき、その変移を計測した。その実験結果を図６に示す。

【００３７】

図６は、触覚情報検出部６によって検出された光の輝度と力との関係を示すグラフである。横軸は、負荷７によって加えた力（ニュートン）を示しており、縦軸は、触覚情報検出部６によって検出された光の輝度値を示している。縦軸の輝度値は、カメラ５によって計測されて分解されたＲＧＢ画像のうち、封入された液体の赤色に対応するＲ画像に基づいている。この輝度値は、力が加わっている中心から５×５画素の平均値であり、値は、０～２５５である。図６から、加えられた力に応じてＲＧＢのＲ値が変化していることが分かる。そして、加えられた力に対する輝度値の収束を得ることができた。得られた収束結果から最小二乗法により近似式を求めた。この近似式の結果より、以下の式２に示す変換式を得ることができた。

$$I = 5.35F^2 - 28.28F + 119.14 \quad \cdots（式２）$$

ここで、

Ｉ：輝度値

Ｆ：加えられた力

である。

【００３８】

以上のように、実施の形態１によれば、流路の変形に基づく光学式触覚センサを構成して、加えられた力を輝度値の変化に基づいて推定することができる。また、実験的に加えられた力を近似式に基づいて輝度値に変換することができる。

【００３９】

（実施の形態２）

図７は実施の形態２に係る触覚センサの構成を説明するための平面図であり、図８はその模式的な斜視図である。実施の形態２に係る柔軟素材４の内部には、複数本の管２が、柔軟素材４の表面に垂直な方向から見て格子状に配置されている。図８に示すように、異なる径の管を配置すると、管の径に応じて印加圧力に対する感度を変化させることができ、より帯域の広い感度を得ることができる。一般的には、径の異なる流路を２種類以上配置する。また，異なる径の管の変形を一つのカメラで検出するためには、それぞれの管に封入された液体の色を、管の径に応じて異ならせれば、容易に検出することができる。

【００４０】

図９（ａ）は実施の形態２に係る触覚センサに設けられたＬＥＤ３とカメラ５との配置を模式的に示す斜視図であり、（ｂ）は実施の形態２に係る触覚センサの実験装置を表す画像を示す斜視図である。図１０（ａ）は実施の形態２に係る触覚センサの構成を示す模式断面図である。実施の形態２に係る触覚センサでは、４個のＬＥＤ３が、柔軟素材４の４つの側面にそれぞれ設けられている。柔軟素材４の負荷７と反対側の表面に対向する位置にカメラ５が配置されている。

【００４１】

図１０（ｂ）は実施の形態２に係る触覚センサの動作を説明するための模式断面図である。柔軟素材４のカメラ５と反対側の表面が、負荷７によって押圧されると、複数本の管２のそれぞれが、負荷７の押圧位置との関係に応じてそれぞれ変形して管２の径が変化する。このため、各管２の中の流体８がそれぞれ押し出され、その付近の管を通り過ぎる光の透過率が変化する。この現象を利用して、柔軟素材４を裏からカメラ５によって撮影する。そして、触覚情報検出部６の画像処理により、複数本の管２の流体８のそれぞれを通り過ぎる光の透過率が変化することを検出して、管２のそれぞれに加えられた力を測定する。

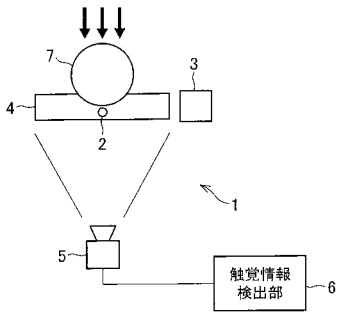
【００４２】

このように、管２を複数本格子状に配置すると、計測することができる範囲が広がるので、全ての管の透過光の変化をカメラ５で計測することにより、外力自体に加えて、外力

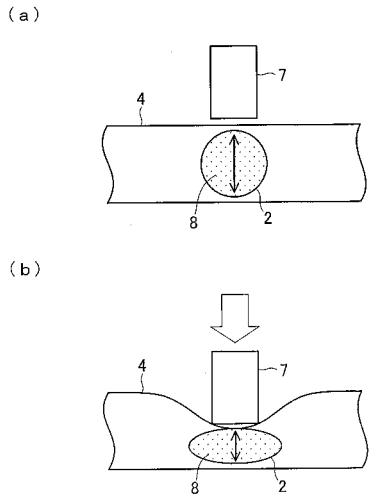
の圧力分布（凹凸）、接触面積、接触位置、外力の向きも測定することができる。
【００４３】
図１１（ａ）は実施の形態２の触覚センサに設けられた柔軟素材４の初期状態の画像を示す図であり、図１１（ｂ）は力を加えたときの柔軟素材４の画像を示す図である。力を加えたときに、負荷７に接触する柔軟素材４の接触位置に対応する管２が変形するので、接触位置を確認することができることが分かる。
【００４４】
以上のように実施の形態１及び２によれば、高い分解能を有するカメラによって、管内の着色液体を透過した光を受光して、触覚情報を検出するという光学的手法を用いるので、従来技術の構成による分解能不足という問題を解決することができる。
【００４５】
また、実施の形態１及び２によれば、管に封入した着色液体を透過する光の輝度変化に基づいて、内部応力を推定し、管に作用する力に関連した触覚情報を検出する。液体を封入した管は、小さい圧力でも容易に変形するので、接触は検出することができるが、圧力の計算は困難であるという従来技術の構成による力の感度不足という問題を解決することができる。
【００４６】
また、管の変形による透過光の輝度変化を測定することによって力を検出するので、管の直径を調整することにより圧力の感度を調整することができ、また、毛細管のような管を多数設けることにより、空間分解能を向上させることができる。
【００４７】
なお、実施の形態１及び２では、透明な柔軟素材４により触覚センサを構成した例を示したが、本発明はこれに限定されない。柔軟素材４は、光線が透過すればよく、例えば半透明な素材によって構成してもよい。
【００４８】
本発明は上述した各実施形態に限定されるものではなく、請求項に示した範囲で種々の変更が可能であり、異なる実施形態にそれぞれ開示された技術的手段を適宜組み合わせて得られる実施形態についても本発明の技術的範囲に含まれる。
【産業上の利用可能性】
【００４９】
本発明は、外力、外力の分布、接触面積を検出するための触覚センサ及び触覚情報検出方法に適用することができる。また、この触覚センサを備えたロボット医療（乳癌、肝硬変、リンパ節等の触診システム）、コンピュータインターフェース、福祉ロボット用人工皮膚、組み立てロボット用手先センサに適用することもできる。
【図面の簡単な説明】
【００５０】
【図１】実施の形態１に係る触覚センサの構成を示す模式図である。
【図２】（ａ）は上記触覚センサに設けられた柔軟素材の構成を説明するための模式断面図であり、（ｂ）は上記触覚センサの動作を説明するための模式断面図である。
【図３】上記触覚センサに設けられたＬＥＤから照射され、管内の液体を透過してカメラに到達する光を示す模式断面図である。
【図４】（ａ）は上記触覚センサに設けられた柔軟素材の初期状態の画像を示す図であり、（ｂ）は力を加えたときの上記柔軟素材の画像を示す図である。
【図５】上記触覚センサの力の検出原理を説明するための図である。
【図６】上記触覚センサに設けられた触覚情報検出部によって検出された光の輝度と力との関係を示すグラフである。
【図７】実施の形態２に係る触覚センサの構成を説明するための平面図である。
【図８】上記触覚センサの構成を模式的に示す斜視図である。
【図９】（ａ）は上記触覚センサに設けられたＬＥＤとカメラとの配置を模式的に示す斜視図であり、（ｂ）は上記触覚センサの実験装置を表す画像を示す斜視図である。

【図１０】（ａ）は上記触覚センサの構成を示す模式断面図であり、（ｂ）は上記触覚センサの動作を説明するための模式断面図である。
【図１１】（ａ）は上記触覚センサに設けられた柔軟素材の初期状態の画像を示す図であり、（ｂ）は力を加えたときの上記柔軟素材の画像を示す図である。
【符号の説明】
【００５１】
１　触覚センサ
２　管
３　光源（ＬＥＤ）
４　柔軟素材
５　受光素子（カメラ）
６　触覚情報検出部
７　負荷
８　液体

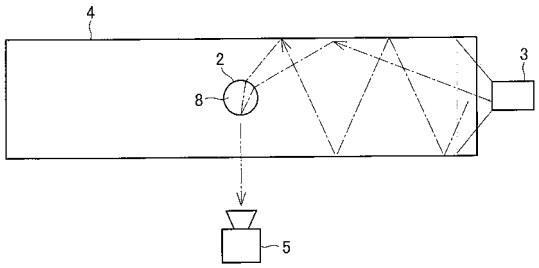
【図１】



【図２】



【図３】

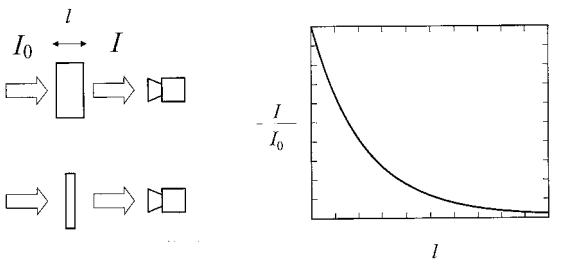


【図５】

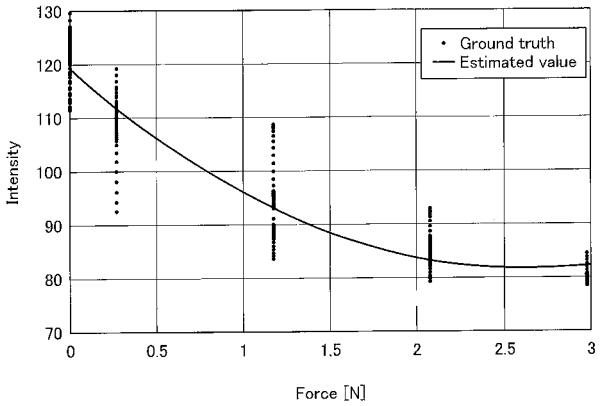
◆吸光度(Lambert-Beerの法則)

$$\log(I_o/I) = e \cdot l \cdot c$$

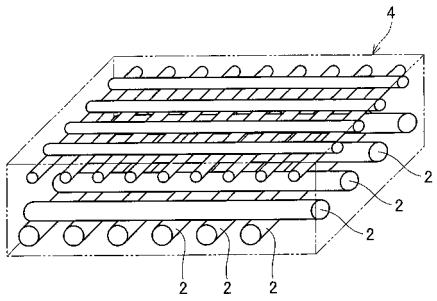
I_o：入射光強度
I：透過光強度
e：濃度(mol/l)
l：光の通過距離(cm)
c：分子吸光係数(l/cm･mol)



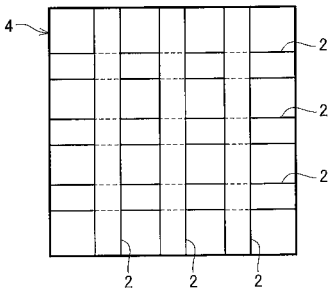
【図６】



【図８】

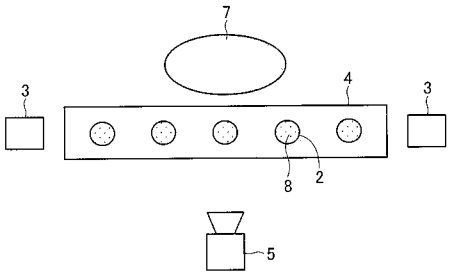


【図７】

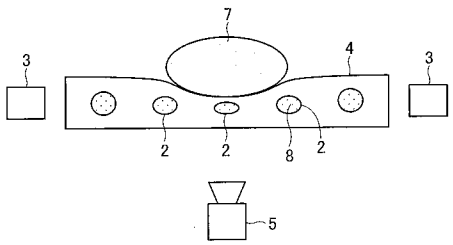


【図１０】

（ａ）

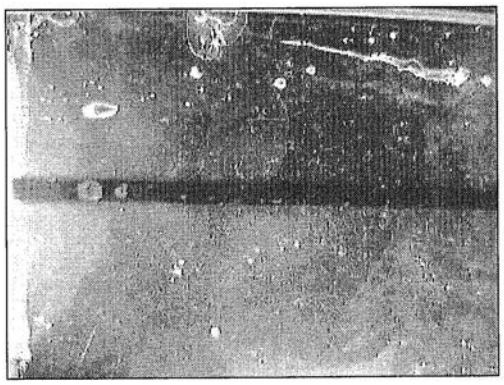


（ｂ）

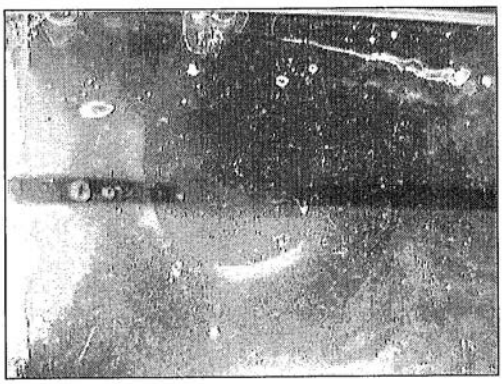


【図４】

（ａ）

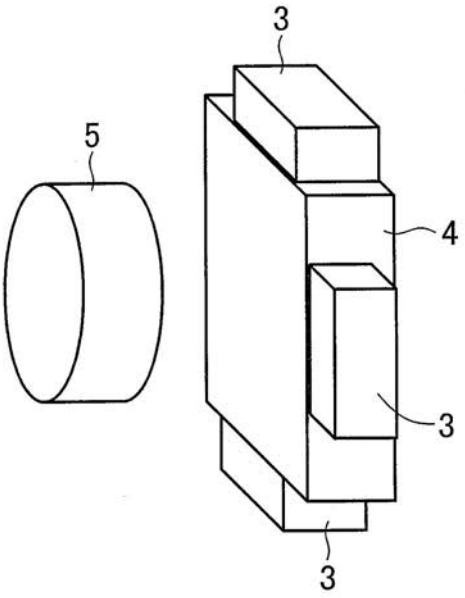


（ｂ）

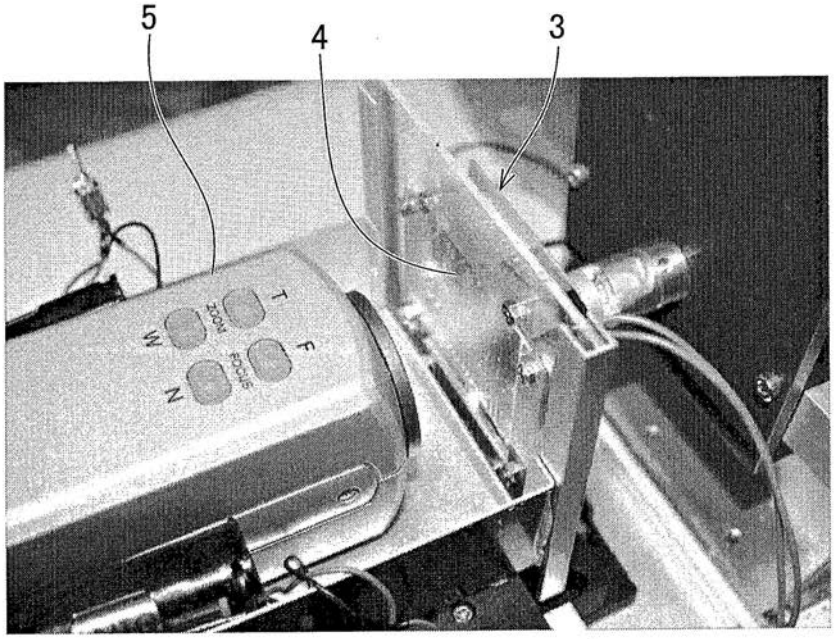


【図９】

（ａ）

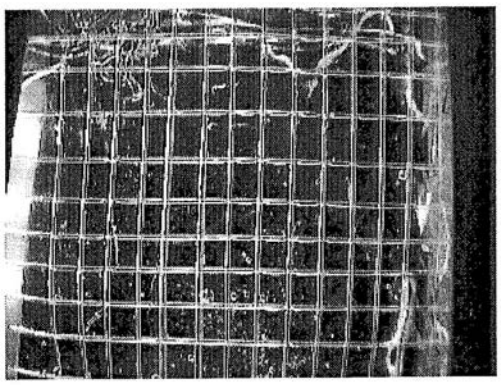


（ｂ）

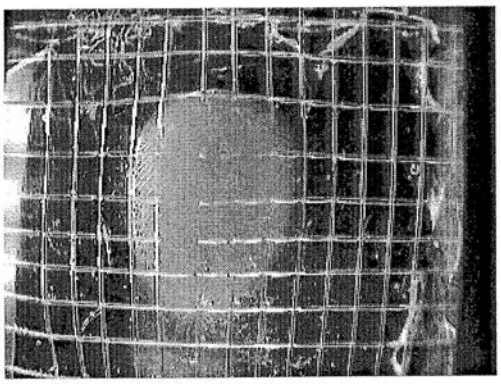


【図１１】

（ａ）



（ｂ）



フロントページの続き

特許法第３０条第１項適用　平成１９年2月5日　インターネットアドレス「ｈｔｔｐ：／／ｉｓｗ3．ｎａｉｓｔ．ｊｐ／ＩＳ／ＭａｓｔｅｒＴｈｅｓｉｓ／２００６／ｍａｓｔｅｒ－ｐｒｏｇｒａｍ０６．ｈｔｍｌ」「ｈｔｔｐ：／／ｉｓｗ3．ｎａｉｓｔ．ｊｐ／ＩＳ／ＭａｓｔｅｒＴｈｅｓｉｓ／２００６／Ｍａｓｔｅｒ－ｆｅｂ／０５５１０６０．ｈｔｍｌ」に発表
特許法第３０条第１項適用　平成１９年2月１３日　国立大学法人奈良先端科学技術大学院大学主催の「国立大学法人奈良先端科学技術大学　平成１８年度博士前期課程修士論文・課題研究発表会」に文書をもって発表

審査官　田邉　英治

(56)参考文献　特開平１１－１６６８４１（ＪＰ，Ａ）
特表昭６２－５０２１４２（ＪＰ，Ａ）
米国特許第０６２６７０１４（ＵＳ，Ｂ1）
特開昭５８－１９０７３８（ＪＰ，Ａ）
特開２００６－００３１３７（ＪＰ，Ａ）
実開昭６０－０２１９４１（ＪＰ，Ｕ）
特開２００１－２１３１５８（ＪＰ，Ａ）

(58)調査した分野(Int.Cl.，ＤＢ名)
Ｇ０１Ｌ　　５／００－　５／２８
Ｇ０１Ｌ　　１／００－　１／２６
Ｇ０１Ｌ　　７／００－２３／３２
Ｇ０１Ｂ　１１／００－１１／３０
Ｇ０１Ｄ　　５／２６－　５／３８