(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
2012 年 4 月 26 日(26.04.2012)

PCT

(10) 国際公開番号
WO 2012/053267 A1

(51) 国際特許分類:
A61B 17/00 (2006.01) *A61B 18/20* (2006.01)
A61B 17/22 (2006.01)

(21) 国際出願番号: PCT/JP2011/067140

(22) 国際出願日: 2011 年 7 月 27 日(27.07.2011)

(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 2010-234858 2010 年 10 月 19 日(19.10.2010) JP

(71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 国立大学法人東北大学(Tohoku University) [JP/JP]; 〒9808577 宮城県仙台市青葉区片平二丁目１番１号 Miyagi (JP).

(72) 発明者; および

(75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 高山 和喜(TAKAYAMA Kazuyoshi) [JP/JP]; 〒9808577 宮城県仙台市青葉区片平二丁目１番１号 国立大学法人東北大学内 Miyagi (JP). 山本 裕朗(YAMAMOTO Hiroaki) [JP/JP]; 〒9808577 宮城県仙台市青葉区片平二丁目１番１号 国立大学法人東北大学内 Miyagi (JP). 下川 宏明(SHIMOKAWA Hiroaki) [JP/JP]; 〒9808577 宮城県仙台市青葉区片平二丁目１番１号 国立大学法人東北大学内 Miyagi (JP).

(74) 代理人: 秋山 重夫(AKIYAMA Shigeo); 〒5410041 大阪府大阪市中央区北浜一丁目９番９号 北浜長尾ビル３階 Osaka (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, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PE, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, 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.

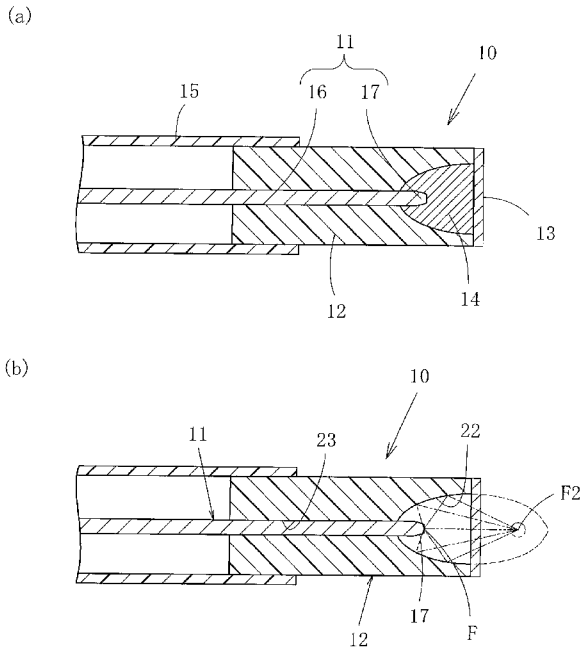
(84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ

[続葉有]

(54) **Title**: OPTICAL FIBER AND UNDERWATER SHOCKWAVE GENERATING DEVICE EMPLOYING SAME

(54) 発明の名称 : 光ファイバーおよびそれを用いた水中衝撃波発生装置

[図1]



(57) **Abstract**: Provided are an optical fiber which has good laser beam condensation efficiency and is highly resilient, and a shockwave generating device employing same. An optical fiber (11) is employed in an underwater shockwave generating device (10) which projects a laser beam underwater and generates an underwater shockwave. The optical fiber (11) comprises: a main body part (16); and a laser convergence part (17) which is disposed upon a leading end thereof. The laser convergence part (17) is configured so as to exhibit an approximately frustum shape wherein the diameter of the leading end (18a) is narrower than the diameter of the base end (18b), and such that an interior angle θ with respect to a radial direction of a lateral face of an axial cross-section gradually decreases toward the front thereof.

(57) 要約: レーザー光の集光効率が良く、耐久性の高い光ファイバーおよびそれを用いた衝撃波発生装置を提供する。水中にレーザー光を照射して水中衝撃波を発生させる水中衝撃波発生装置１０に用いられる光ファイバー１１。光ファイバー１１は、本体部１６と、その先端に設けられたレーザー収束部１７とからなり、レーザー収束部１７が先端１８ａの径が基端１８ｂの径より小さい略円錐台の形状を呈しており、かつ、軸線断面の側辺の半径方向に対する内角θが、先に向かって徐々に小さくなるように構成されている。

WO 2012/053267 A1

(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, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

— 国際調査報告（条約第 21 条(3)）

明　細　書

発明の名称 ：

光ファイバーおよびそれを用いた水中衝撃波発生装置

技術分野

[0001] 本発明は、光ファイバーおよびそれを用いた水中衝撃波発生装置に関する。詳しくは、水中にパルスレーザー光を照射して水中衝撃波を発生するための光ファイバーおよびそれを用いた水中衝撃波発生装置に関する。

背景技術

[0002] 近年、患部に対する非薬物療法として高周波アブレーション治療が広く普及している。しかし、この治療法は治療部位を電極により焼灼するため、頻脈性不整脈における深部の不整脈の治療が困難であり、また発生する熱により重篤な血栓閉塞症を患部に併発させるおそれがあるという問題がある。

また、水中にパルスレーザー光を照射し発生させた水中衝撃波を収束させて、限局した空間に瞬間的に高圧を発生させ、尿路や腎臓結石を破砕除去する体外破砕術（Extracorporeal Shock Wave Lithotripsy （ESWL））が確立されている。

本出願人は、例えば特許文献１に示すように、上記水中衝撃波収束法をカテーテルに組み入れ可能な大きさまでにまで小型化し、その水中衝撃波発生装置を提供することに成功している。

また、非特許文献１の３．６で示すように、光ファイバーの表面を粗面とする方が鏡面とすることより強い衝撃波を発生させることが知られている。

先行技術文献

特許文献

[0003] 特許文献1：特開２００９－６１０８３号公報

非特許文献

[0004] 非特許文献1：H. NOSE et al., Effect of Optical Fiber Output Surface on Laser InducedShock Wave and Its Application, Japanese Journal of Ap

plied Physics Vol.43, No. 9A, 2004, pp. 6145-6151

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0005] 特許文献１の水中衝撃波発生装置は、深部にある患部を治療できるという課題、および、治療部位において熱を発生させないため血栓閉塞症を発生させないという課題を解決したが、耐久性が低いことがわかった。特に、成形などで生じた表面の微細な亀裂に水が入り込んだり、レーザー光を照射した際に、わずかな亀裂を起点として破壊が生じたりすることがわかった。そのため、１回から数回のレーザー光を照射するだけで、光ファイバーの先端が損傷してしまい、それにより発生する衝撃波の強さが激減してしまうことがわかった。このため、より良い水中衝撃波発生装置を構築するためには、光ファイバーの耐久性を向上させることが必要不可欠である。

本発明は、エネルギーの大きい衝撃波を効率よく発生させることができ、かつ、耐久性の高い水中衝撃波発生装置用の光ファイバーおよびそれを用いた衝撃波発生装置を提供することを目的としている。

課題を解決するための手段

[0006] 本発明の光ファイバーは、水中にパルスレーザー光を照射して水中衝撃波を発生する水中衝撃波発生装置用の光ファイバーであって、線状の本体部と、その先端に設けられたレーザー収束部とからなり、前記レーザー収束部が、先に向かって径が小さくなり、軸中心に回転した回転体を呈しており、前記レーザー収束部は、その先端が前記軸に対して垂直な平面部となった略円錐台を呈しており、前記レーザー収束部の軸線断面の側辺の半径方向に対する内角が、先に向かって徐々に小さくなるように構成されていることを特徴としている。

このような光ファイバーであって、前記レーザー収束部の表面が鏡面になっているものが好ましい。また、前記レーザー収束部の軸線断面の側辺が、複数の直線から構成されているもの、前記レーザー収束部の軸線断面の側辺が曲線から構成されているもの、または、前記レーザー収束部の軸線断面の

側辺が直線および曲線から構成されているものが好ましい。

[0007] 本発明の水中衝撃波発生装置は、本発明の光ファイバーと、先端に凹面が形成された柱状の反射体と、その凹面を閉じる遮断膜と、前記凹面と遮断膜との間に充填される液体とから構成されている。また、反射体が、長軸を回転軸とした回転楕円面形状を有する前記凹面と、長軸上に形成され、前記凹面と連通する光ファイバーを通す中心孔とを有しており、前記光ファイバーは、レーザー収束部の先端が前記反射体の凹面の焦点にくるように固定されていることを特徴としている。

発明の効果

[0008] 本発明の光ファイバーは、線状の本体部と、その先端に設けられたレーザー収束部とからなり、前記レーザー収束部が、先に向かって径が小さくなり、軸中心に回転した回転体を呈しているため、光ファイバーの先端に基端から照射したレーザー光を集光させることでき、より強い衝撃波を効率よくピンポイントに発生させることができる。特に、前記レーザー収束部の軸線断面の側辺の半径方向に対する内角が、先に向かって徐々に小さくなるように構成されているため、光線追跡法に基づいてレーザー光を収束させることができる。また、前記レーザー収束部の先端が軸に対して垂直な平面部となった略円錐台を呈しているため、耐久性が高い。

[0009] このような光ファイバーであって、前記レーザー収束部の表面が鏡面になっている場合、表面における微細な亀裂等を防止でき、その耐久性を向上させることができる。また、レーザー収束部の内面での乱反射を防ぎ、先端に向かって収束するレーザーエネルギー密度を高めることができる。特に、レーザー収束部を先端に向かって縮径した略円錐台としており、その機械的強度は円筒状のものより小さくなるが、従来の成形法のものより発生させる衝撃波が強く、かつ耐久性の高いものが得られる。

このような光ファイバーであって、レーザー収束部の軸線断面の側辺が複数の直線から構成されている場合、レーザー収束部の軸線断面の側辺が１または２以上の曲線から構成されている場合、または、前記レーザー収束部の

軸線断面の側辺が１または２以上の曲線から構成される場合、レーザー光を光線追跡法に基づいて収束させることができ、安定した衝撃波を発生させることができる。

[0010] 本発明の水中衝撃波発生装置は、本発明の光ファイバーを用いているため、光ファイバーの耐久性が高く、装置全体としての耐久性も高い。また、光ファイバーの先端にレーザー光が収束するように構成されているため、発生した衝撃波も反射体外の焦点に正確に収束し、エネルギー効率も高い。また、装置からより遠い距離で大きな衝撃波を発生させることができる。そのため、より一層高度な治療に用いることができる。

図面の簡単な説明

[0011] [図1]図１ａは本発明の水中衝撃波発生装置の一実施形態を示す断面側面図であり、図１ｂはその水中衝撃波発生装置によって発生させた衝撃波の反射図である。

[図2]図２ａ～ｅはそれぞれ本発明の光ファイバーのレーザー収束部の一実施形態を示す外形図である。

[図3]図３ａは図２ａのレーザー収束部の数式を表す概略図であり、図３ｂは図２ａの光ファイバーのレーザー収束部にレーザー光を照射したときのレーザー光の収束図である。

[図4]図１ａの反射体を示す断面側面図である。

[図5]水中衝撃波発生装置によって発生させた衝撃波の装置先端からの距離と強さの関係を示すグラフである。

発明を実施するための形態

[0012] 次に図１を用いて本発明の水中衝撃波発生装置を説明する。

水中衝撃波発生装置１０は、光ファイバー１１と、その光ファイバーを固定する反射体１２と、その反射体１２の先端の凹面開口部を閉じる遮断膜１３と、凹面と遮断膜との間に充填される液体１４とから構成される。この水中衝撃波発生装置１０は、カテーテル１５の先端に取り付けられる小型のものである。

[0013] 光ファイバー１１は、線状の本体部１６と、その先端に設けられたレーザー収束部１７とからなり、脱水酸基処理をした石英製のものである。その本体部１６の径としては、０．１～１．０ｍｍ、０．５～０．７ｍｍ、特に０．６ｍｍのものが用いられる。

レーザー収束部１７は、先に向かって径が小さくなり、本体部の軸中心に回転した回転体を呈しており、先端が本体部の軸に対して垂直な平面部１８ａとなった小さい略円錐台の形状を呈している（図２参照）。レーザー収束部１７の先端平面部１８ａの径の基端１８ｂの径に対する比は１／１．５～１／６、好ましくは１／２～１／３、特に好ましくは１／２である。

レーザー収束部の軸線断面の側辺の半径方向に対する内角θは、基端側から先端側に向かって（先に向かって）徐々に小さくなるように構成されている。また、レーザー収束部の耐久性を考慮するとその高さはファイバーの直径より低いことが好ましい。

[0014] レーザー収束部１７の表面は鏡面としており、表面の微細な亀裂や凹凸が無い。そのため、表面な微細な亀裂や凹凸に水が入り込み、その亀裂を起点としたレーザー収束部１７の破壊を防止することができる。

レーザー収束部１７の鏡面仕上げの方法としては、光学レンズの作成方法が用いられる。詳しくは、光学レンズ用の所定の道具を用いて、径２４ミクロンから径１ミクロンまでの複数の研磨剤を用意し、大きいものから順番に研磨して鏡面に仕上げる方法が挙げられる。

[0015] このようなレーザー収束部１７の略円錐台の形状として、図２ａ～ｅなどが挙げられる。

図２ａのレーザー収束部１７ａは、基端１８ｂの径Ｘに対して先端１８ａの径Ｙが約半分となっているものであり、軸線断面の形状が略台形を呈する。この台形の側辺は３つの直線（１７ａ$_1$、１７ａ$_2$、１７ａ$_3$）からなっており、それぞれ基端部（本体部、図中左）側から台形の底辺（略円錐台の半径方向）に対する内角（θ_A、θ_B、θ_C）が徐々に小さくなるように構成されている（$\theta_A > \theta_B > \theta_C$）。

[0016] 図２ａのレーザー収束部１７ａでは、軸線断面形状である台形の側辺が３つの直線からなるものを挙げたが、次の数式を満たせば、２つの直線から構成されても、４つ以上の直線から構成されてもよい。基端から先端に向かってそれぞれの直線の半径方向に対する内角（θ_1、θ_2、・・・θ_{n-1}、θ_n）とする。

（数１）

$0.4 < \tan(2\theta_n - 1/2\pi)/\tan\theta_n < 0.5$

$2\theta_n - 1/2\pi < \theta_{n+1} < \theta_n$、n=1,2,3…

ただし$1/4\pi < \theta_n < 1/2\pi$

このように設定することによって、図３ａに示すように、半径方向に対する内角がθnの直線Ｃの内面で反射したレーザー光は、その直線の基端、先端によって形成される面Ａ、面Ｂの間の平坦面Ｄを必ず通過する。そのため、レーザー光を効率よく集光でき、一層強い衝撃波を発生させることができる。また、レーザー収束部の耐久性を考慮すると略円錐台の高さはファイバーの直径より低いことが好ましい。

[0017] 図２ｂのレーザー収束部１７ｂは、基端１８ｂの径Ｘに対して先端１８ａの径Ｙが約１／６となっており、軸線断面の台形の側辺が３つの直線（１７ｂ$_1$、１７ｂ$_2$、１７ｂ$_3$）からなっている。また、このレーザー収束部１７ｂの高さ（Ａ’＋Ｂ’＋Ｃ’）を基端１８ｂの径Ｘと同じにしている。それぞれ基端部（本体部、図中左）側から台形の底辺（略円錐台の半径方向）に対する内角（θ_A、θ_B、θ_C）が徐々に小さくなるように構成されており（$\theta_A > \theta_B > \theta_C$）、全てのレーザー反射光が先端１８ａの平坦面を通過するように設定されている。

[0018] 図２ｃのレーザー収束部１７ｃは、基端１８ｂの径Ｘに対して先端１８ａの径Ｙが約１／３となっているものである。軸線断面の台形の側辺は２つの直線（１７ｃ$_1$、１７ｃ$_2$）とからなっており、それぞれ基端部（本体部、図中左）側から台形の底辺（略円錐台の半径方向）に対する内角（θ_A、θ_B）が先に向かって徐々に小さくなるように構成されている（$\theta_A > \theta_B$）。

この実施形態では、直線１７ｃ$_1$の内角θ_Aを臨界角付近に設定している。つまり、水の屈折率を1.329、光ファイバーの屈折率を1.435としたとき、臨界角の定義（臨界角θc＝arcsin(n2/n1)、n1：光ファイバーの屈折率、n2：水の屈折率）より直線１７ｃ１を通過して水中に透過するレーザー光が理論上無くなる臨界角度は、６７．８４度である。さらに、レーザー収束部の耐久性を考慮すると略円錐台はファイバーの直径より低いことが好まく、その場合は７６．８度以下となる。したがって，６７．８４度＜θ_A＜７６．８度としている。

[0019] 図２ｄのレーザー収束部１７ｄは、基端１８ｂの径Ｘに対して先端１８ａの径Ｙが約半分となっている。軸線断面の台形の側辺１７ｄ１が外向きに突出した湾曲線より構成されている。一方、側辺１７ｄ１は、２以上の湾曲線により構成されてもよい。

図２ｅのレーザー収束部１７ｅは、基端１８ｂの径Ｘに対して先端１８ａの径Ｙが半分となっている。軸線断面の台形の側辺が一つの直線１７ｅ$_1$と、１つの湾曲線１７ｅ$_2$より構成されている。

[0020] 図２ａ～ｅのレーザー収束部１７ａ～ｅは、レーザー収束部の先端１８ａが基端１８ｂより小さくなった略円錐台形状を呈し、かつ、レーザー収束部１７の軸線断面形状の側辺の半径方向に対する内角が先に向かって連続的にあるいは不連続的に徐々に小さくなっていれば、集光効率の向上、および、光ファイバーのレーザー収束部１７の耐久性の向上という本発明の効果が得られる。

このように光ファイバー１１は構成されているため、例えば図３ｂに示すように、図２ａのレーザー収束部１７ａにレーザー光Ｒを照射するとレーザー光は光線追跡法に基づいて収束する。

[0021] 反射体１２は、図４に示すように、長軸回転軸とした回転楕円面形状を有する凹面２２と、反射体の軸中心に形成され、凹面２２と連通する光ファイバー１１を通す中心孔２３とを備えている円柱状のものである。凹面２２の短径（開口部直径Ｚ）としては、２．０～２．５ｍｍ、特に２．３ｍｍが好

ましい。長径は、患部の深度に応じて決定することができるが、長短径比が１．２～１．６、特に１．４～１．４５が好ましい。

[0022] 図１の遮断膜１３は、プラスチック製の薄膜であって、弾力性を有するものが用いられる。そのような材質として、ポリエチレン等が挙げられる。

液体１４としては、水、食塩水等が挙げられる。

カテーテル１５は、可撓性を有するものであり、ポリウレタン、ポリアミド、それらに類するエラストマー、シリコンゴムなどの合成樹脂製が用いられる。

[0023] 本発明の水中衝撃波発生装置１０は、光ファイバー１１のレーザー収束部１７の先端１８ａが反射体１２の凹面２２の一つの焦点Ｆ１に位置するように、反射体１２の中心孔２３に通して光ファイバー１１を固定する（図１ｂ参照）。これにより、光ファイバー１１を介して照射されたレーザー光は反射体の凹面２２の焦点Ｆ１で衝撃波を発生する。発生された衝撃波は、その焦点から３６０度に拡散されるが、反射体１２の凹面に反射され、反射体１２の外の第２の焦点Ｆ２に向かって収束する。このように、本発明の水中衝撃波装置１０は、先端からある一定の距離に衝撃波を収束させることができる。例えば、頻脈性不整脈における深部の不整脈治療を正確に、かつ、安全に行うことができる。特に、光ファイバー１１のレーザー収束部１７は、複数回使用しても損傷せず耐久性が高く、小さいエネルギーで大きな衝撃波を発生させることができる。

[0024] 本発明の水中衝撃波発生装置に使用するレーザー光としては、パルス幅が５０～１２０ナノ秒、好ましくは７０～１００ナノ秒、特に好ましくは７０ナノ秒であり、エネルギーが１パルスあたり３０mJ～５０mJのものが使用される。このようなレーザーとして、Ｑスイッチ付きHo：YAGレーザーが好ましい。

実施例

[0025] 次の光ファイバーの先端を次のように加工した。

[実施例１]

基端１８ｂの径Ｘが０．６ｍｍであり、先端１８ａの径Ｙが０．３４４ｍｍであり、断面形状の側辺を構成する３つの直線（１７ａ$_1$、１７ａ$_2$、１７ａ$_3$）の角度（θ_A、θ_B、θ_C）が７８．９度、７３．４度、６５．６度であり、高さ（Ａ’、Ｂ’、Ｃ’）が０．１７５ｍｍ、０．１８６ｍｍ、０．０７２ｍｍである図２ａのレーザー収束部１７ａを作製した（実施例１）。

このレーザー収束部１７ａの表面を、光学レンズの作成方法に使用する道具で、粗い研磨剤（溶融アルミナ（２４ミクロン、１６ミクロン、１０ミクロン）、酸化セリウム（１ミクロン））から順に磨いて鏡面とした。

[0026] [実施例２]

基端１８ｂの径Ｘが０．６ｍｍであり、先端１８ａの径Ｙが０．１０６ｍｍであり、断面形状の側辺を構成する３つの直線（１７ｂ$_1$、１７ｂ$_2$、１７ｂ$_3$）の角度（θ_A、θ_B、θ_C）が７０度、６１度、５５度であり、高さ（Ａ’、Ｂ’、Ｃ’）が０．４５７ｍｍ、０．０６０ｍｍ、０．０８３ｍｍである図２ｂのレーザー収束部１７ｂを作製した（実施例２）。

[0027] [実施例３]

基端１８ｂの径Ｘが０．６ｍｍであり、先端１８ａの径Ｙが０．１４８ｍｍであり、断面形状の側辺を構成する２つの直線（１７ｃ$_1$、１７ｃ$_2$）の角度（θ_A、θ_B）が６９度、６０度であり、高さ（Ａ’、Ｂ’）が０．２１３ｍｍ、０．２４２ｍｍである図２ｃのレーザー収束部１７ｃを作製した（実施例３）。

[0028] [実施例４]

実施例１のレーザー収束部１７ａを備えた光ファイバー１１と、短径４ｍｍの半切楕円体形状の凹面（反射鏡）を備えた反射体１２とを用意した。その反射体１２の凹面２２に精製水（液体１４）を満たし、その反射体の開口端を厚さ０．１ｍｍのシリコンゴム製の遮断膜１３で密封し、水中衝撃波発生装置１０（実施例４）を製造した。光ファイバーのレーザー収束部１７ａは、その先端が反射体の第１の焦点（図１ｂのＦ１）と位置するように固定した。

[0029] [比較例１]

へき開処理をした円筒状の先端を有する通常の光ファイバーを用意し、実施例１の反射体１２、遮断膜１３、液体１４で水中衝撃波発生装置（比較例１）を製造した。光ファイバーの先端は、反射体の第１焦点に固定した。

[0030] [比較例２]

基端の径が０．６ｍｍであり、先端の径Ｙが０．３５ｍｍであり、高さＺが０．４３ｍｍである回転円錐台のレーザー収束部を備えた光ファイバーを用意した。レーザー収束部の表面は、ナンバー４０００の紙やすりで処理した（粗面）。実施例１の反射体１２、遮断膜１３、液体１４で水中衝撃波発生装置（比較例２）を製造した。光ファイバーのレーザー収束部の先端が、反射体の第１焦点に配置されるように固定した。

[0031] [比較例３]

基端の径が０．６ｍｍであり、断面形状の側面が先端に向かってが湾曲しており、先端が曲面となっている全体として非球形状（弾丸形状）となっているレーザー収束部を備えた光ファイバーを用意した。レーザー収束部の表面は、ナンバー４０００の紙やすりで処理した（粗面）。実施例１の反射体１２、遮断膜１３、液体１４で水中衝撃波発生装置（比較例３）を製造した。光ファイバーのレーザー収束部の先端が、反射体の第１焦点に配置されるように固定した。

[0032] 実施例４および比較例１、２、３の水中衝撃波発生装置にＨｏ：ＹＡＧレーザー（発振周期３Ｈｚ、レーザー出射端におけるエネルギーが３５mJ/pulse）を照射し、衝撃波を発生させた。装置の先端からの距離に対する衝撃波最大過剰圧の変化を図５に示す。

[0033] 図５に示すように、実施例４を用いた場合、５５～６５ＭＰａの衝撃波（収束波）が確認できた。

一方、比較例１を用いた場合、１５ＭＰａ前後の衝撃波（収束波）しか確認できなかった。比較例２、３を用いた場合でも、３５～４５ＭＰａ前後の衝撃波しか確認できなかった。

また、実施例４では、装置の先端からの距離が２ｍｍ以上において最大値が観測されたのに対し、比較例１～３では、装置の先端からの距離が２ｍｍ前において最大値が観測された。

また、光ファイバーの耐久性は、比較例２は３００秒の連続照射で損傷し、比較例３は５秒の連続照射でレーザー収束部が損傷した。実施例４では、レーザーエネルギーが４５mJ/pulseのとき，５秒連続照射を８０回繰り返しても損傷は認められなかった。

符号の説明

[0034] １０　水中衝撃波発生装置

１１　光ファイバー

１２　反射体

１３　遮断膜

１４　液体

１５　カテーテル

１６本体部

１７　レーザー収束部

１７ａ～１７ｅ　レーザー収束部

$17a_1$～$17a_3$、$17b_1$～$17b_3$、$17c_1$、$17c_2$　側辺

１８ａ　先端

１８ｂ　基端

２２　凹面

２３　中心孔

請求の範囲

［請求項1］ 水中にレーザー光を照射して水中衝撃波を発生させる水中衝撃波発生装置用の光ファイバーであって、

線状の本体部と、その先端に設けられたレーザー収束部とからなり、

前記レーザー収束部が、先に向かって径が小さくなり、軸中心に回転した回転体を呈しており、

前記レーザー収束部は、その先端が前記軸に対して垂直な平面部となった略円錐台を呈しており、

前記レーザー収束部の軸線断面の側辺の半径方向に対する内角が、先に向かって徐々に小さくなるように構成されている、

光ファイバー。

［請求項2］ 前記レーザー収束部の表面が鏡面になっている、

請求項１記載の光ファイバー。

［請求項3］ 前記レーザー収束部の軸線断面の側辺が複数の直線から構成される、

請求項１記載の光ファイバー。

［請求項4］ 前記レーザー収束部の軸線断面の側辺が曲線から構成される、

請求項１記載の光ファイバー。

［請求項5］ 前記レーザー収束部の軸線断面の側辺が直線および曲線から構成される、

請求項１記載の光ファイバー。

［請求項6］ 請求項１ないし５いずれか記載の光ファイバーと、先端に凹面が形成された柱状の反射体と、その凹面を閉じる遮断膜と、前記凹面と遮断膜との間に充填される液体とから構成されており、

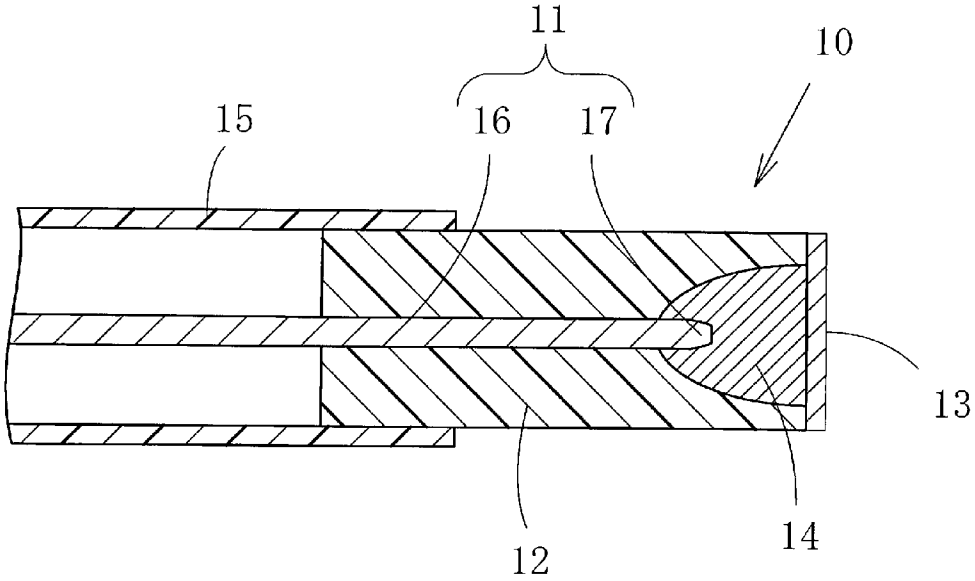
前記反射体が、長軸を回転軸とした回転楕円面形状を有する前記凹面と、長軸上に形成され、前記凹面と連通する光ファイバーを通す中心孔とを有しており、

前記光ファイバーは、レーザー収束部の先端が前記反射体の凹面の焦点にくるように固定されている、

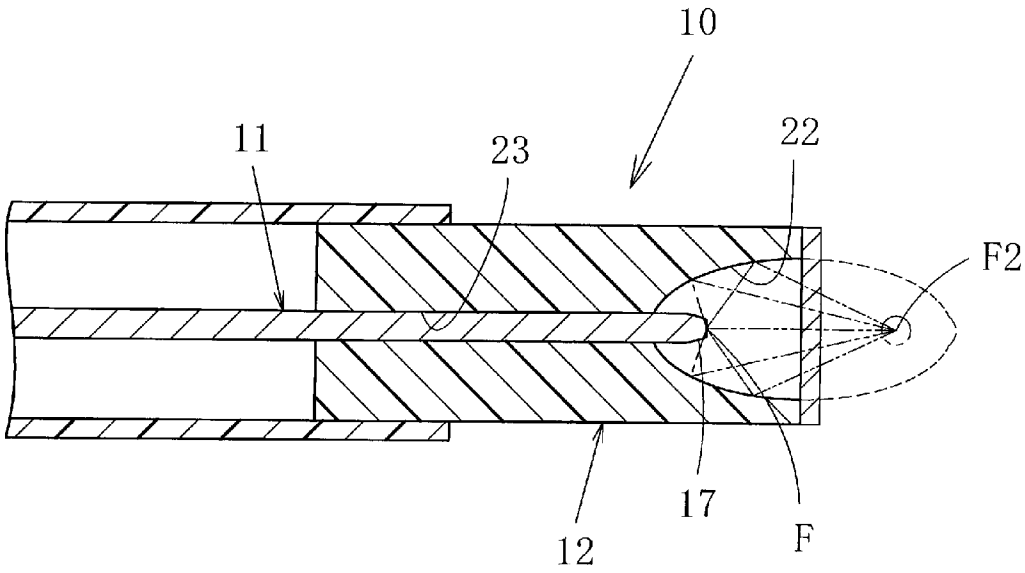
水中衝撃波発生装置。

[図1]

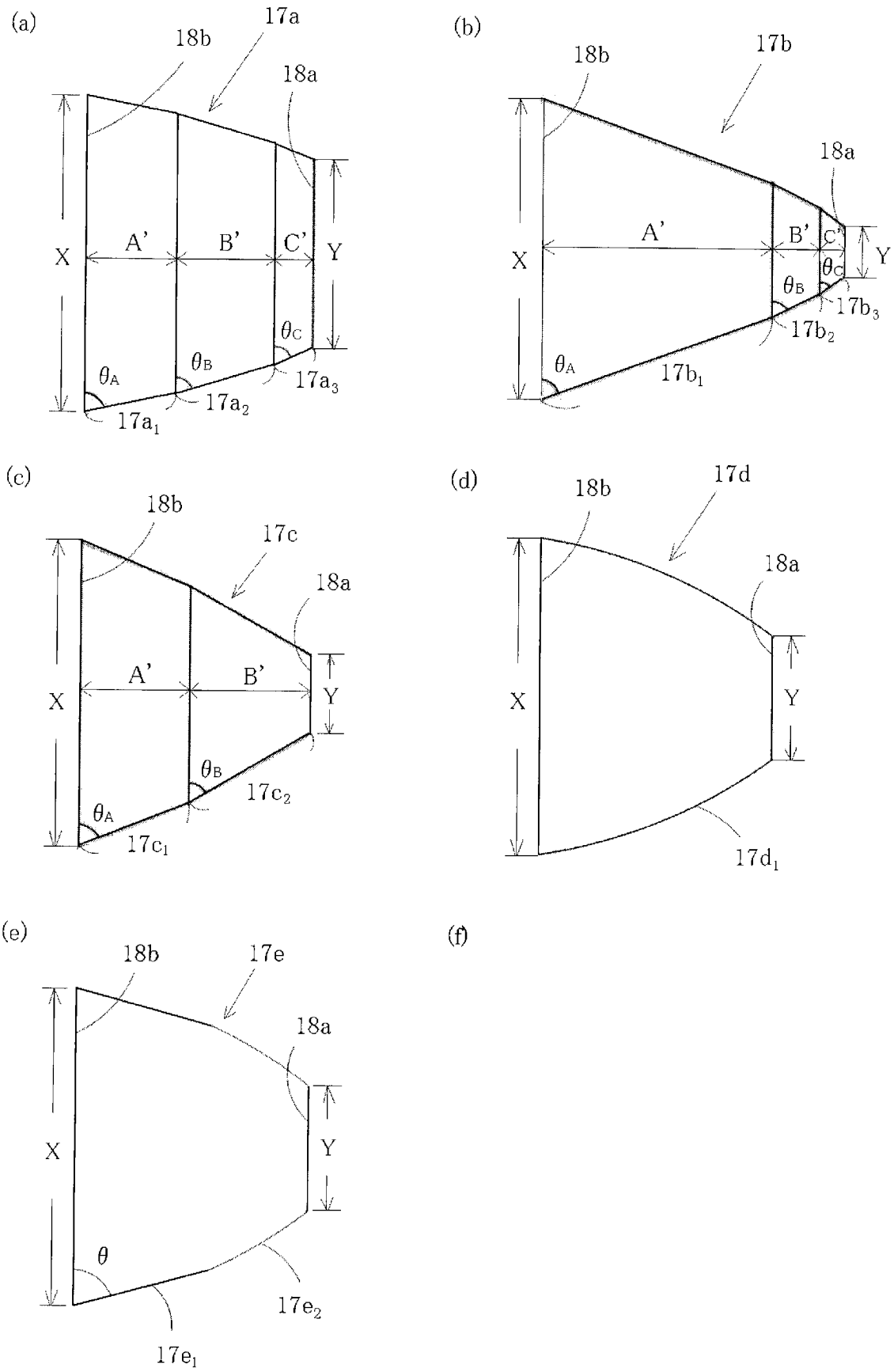
(a)



(b)

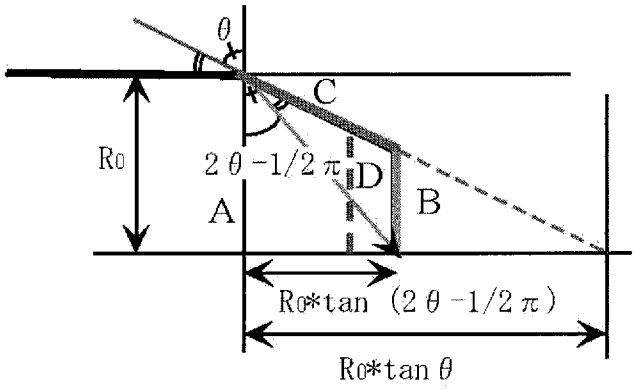


[図2]

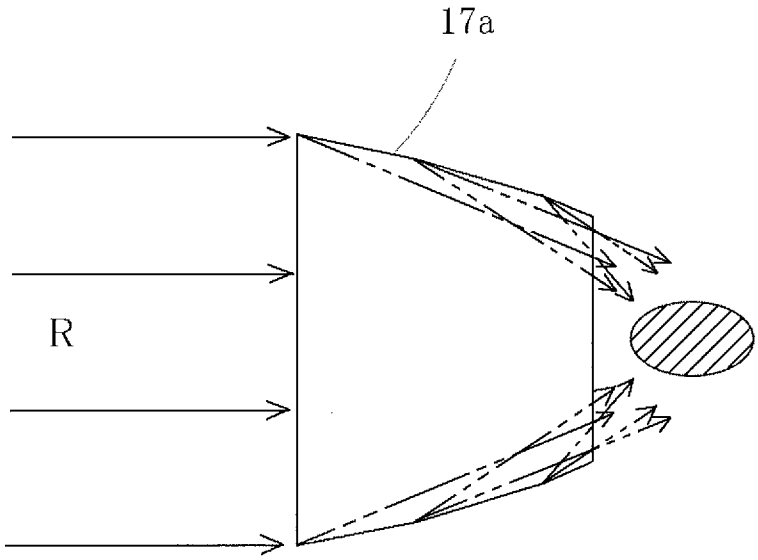

(a)
17a
18b
18a
X
A'
B'
C'
Y
θC
θA
θB
17a3
17a2
17a1
(b)
17b
18b
18a
X
A'
B'
C'
Y
θC
θB
17b3
17b2
θA
17b1
(c)
18b
17c
18a
X
A'
B'
Y
θB
17c2
θA
17c1
(d)
17d
18b
18a
X
Y
17d1
(e)
18b
17e
18a
X
Y
θ
17e2
17e1
(f)

[図3]

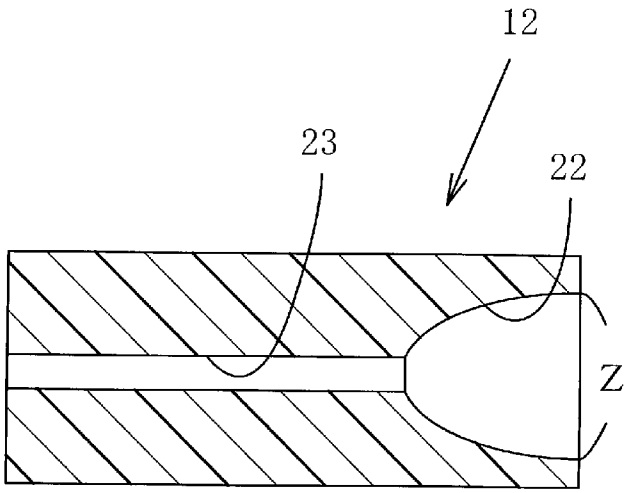
(a)



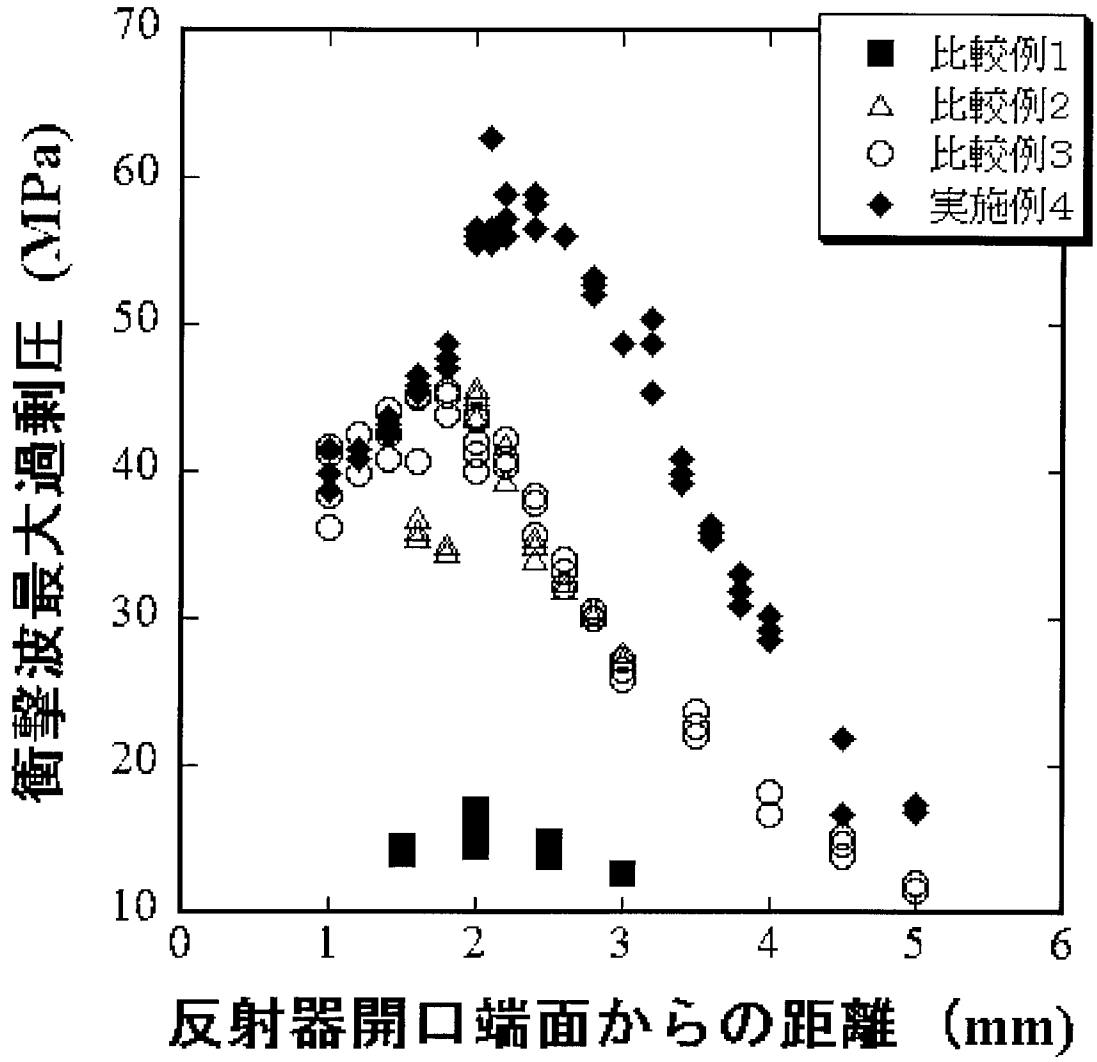
(b)



[図4]



[図5]


70
60
50
40
30
20
10
0
1
2
3
4
5
6
衝撃波最大過剰圧 (MPa)
反射器開口端面からの距離 (mm)
比較例1
比較例2
比較例3
実施例4

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2011/067140

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
A61B17/00(2006.01)i, *A61B17/22*(2006.01)i, *A61B18/20*(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)
A61B17/00, A61B17/22, A61B18/20

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2011
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2011	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2011

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.
Y	JP 2009-61083 A (Hi-Lex Corp.), 26 March 2009 (26.03.2009), paragraphs [0016], [0017]; fig. 1, 2 (Family: none)	1-6
Y	JP 9-47518 A (Lederle (Japan), Ltd.), 18 February 1997 (18.02.1997), paragraphs [0003], [0027], [0028]; fig. 8 & US 5976175 A	1-6
Y	JP 50-137551 A (Nippon Telegraph & Telephone Public Corp.), 31 October 1975 (31.10.1975), fig. 4 (Family: none)	1-6

☒ 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
"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search 24 August, 2011 (24.08.11)	Date of mailing of the international search report 06 September, 2011 (06.09.11)
Name and mailing address of the ISA/ Japanese Patent Office Facsimile No.	Authorized officer Telephone No.

Form PCT/ISA/210 (second sheet) (July 2009)

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2011/067140

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	WO 2008/114869 A1 (Fujikura Ltd.), 25 September 2008 (25.09.2008), fig. 11 & US 2010/0176311 A1 & CN 101720442 A & KR 10-2009-0123005 A	1-6

国際調査報告

国際出願番号　ＰＣＴ／ＪＰ２０１１／０６７１４０

Ａ．　発明の属する分野の分類（国際特許分類（ＩＰＣ））

Int.Cl.　A61B17/00(2006.01)i, A61B17/22(2006.01)i, A61B18/20(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.　A61B17/00, A61B17/22, A61B18/20

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	１９７１－２０１１年
日本国実用新案登録公報	１９９６－２０１１年
日本国登録実用新案公報	１９９４－２０１１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
Y	JP 2009-61083 A (株式会社ハイレックスコーポレーション) 2009.03.26, [0016],[0017], 図 1,2 (ファミリーなし)	1-6
Y	JP 9-47518 A (日本レダリー株式会社) 1997.02.18, [0003],[0027],[0028], 図 8 & US 5976175 A	1-6
Y	JP 50-137551 A (日本電信電話公社) 1975.10.31, 第４図 (ファミリーなし)	1-6

☑　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	国際調査報告の発送日
２４．０８．２０１１	０６．０９．２０１１

国際調査機関の名称及びあて先
日本国特許庁（ＩＳＡ／ＪＰ）
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）　３Ｉ　３１１８
二階堂　恭弘
電話番号　０３－３５８１－１１０１　内線　３３４６

Ｃ（続き）．　関連すると認められる文献

引用文献のカテゴリー＊	引用文献名　及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する請求項の番号
Y	WO 2008/114869 A1 (株式会社フジクラ) 2008.09.25, 図11 & US 2010/0176311 A1 & CN 101720442 A & KR 10-2009-0123005 A	1-6