

(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
2024年1月25日(25.01.2024)



(10) 国際公開番号

WO 2024/018917 A1

- (51) 国際特許分類:
C03B 37/018 (2006.01) C03B 8/04 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2023/025183
- (22) 国際出願日: 2023年7月6日(06.07.2023)
- (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 2022-116690 2022年7月21日(21.07.2022) JP
- (71) 出願人: 古河電気工業株式会社(FURUKAWA ELECTRIC CO., LTD.) [JP/JP]; 〒1008322 東京都千代田区大手町二丁目6番4号 Tokyo (JP).
- (72) 発明者: 浅井 稔之(ASAI, Toshiyuki); 〒1008322 東京都千代田区大手町二丁目6番4号 古

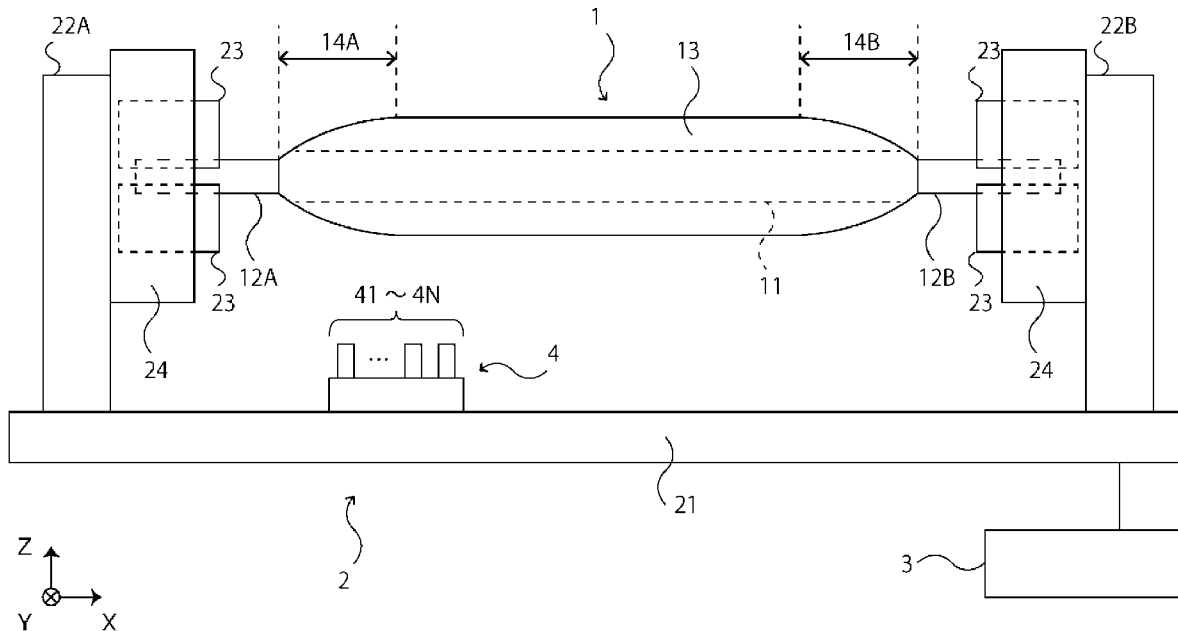
河電気工業株式会社内 Tokyo (JP). 川崎 光広(KAWASAKI, Mitsuhiro); 〒1008322 東京都千代田区大手町二丁目6番4号 古河電気工業株式会社内 Tokyo (JP).

(74) 代理人: 岡部 譲, 外(OKABE, Yuzuru et al.); 〒1070062 東京都港区南青山1-1-1 新青山ビル東館8階 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, CV, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IQ, IR, IS, IT, JM, JO, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, MG, MK, MN, MU, MW, MX, MY, MZ,

(54) Title: OPTICAL FIBER BASE MATERIAL PRODUCING DEVICE AND METHOD, OPTICAL FIBER BASE MATERIAL, AND OPTICAL FIBER

(54) 発明の名称: 光ファイバ母材の製造装置、製造方法、光ファイバ母材および光ファイバ



(57) Abstract: Provided is an optical fiber base material producing device which can reduce unevenness in the surface of an optical fiber base material. The optical fiber base material producing device according to an embodiment of the present invention is characterized by comprising: a support portion which rotates a core rod around a rotation axis of the core rod at a rotation speed r , the rotation axis extending in the longitudinal direction of the core rod; and a burner array which includes N (N is an integer equal to or greater than 2) pairs of burners and raw material jetting ports that are provided at

NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT,
QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL,
ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG,
US, UZ, VC, VN, WS, 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, CV, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SC, 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, ME, 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))

an interval of a distance d , reciprocates around the core rod at a speed v in the longitudinal direction, and forms a porous glass portion on the periphery of the core rod, wherein, when the burner array moves by the distance d in the longitudinal direction, the rotation number ($L+x$) of the core rod is denoted as $rd/v=L+x$, L is any natural number, and, when the offset x is greater than -0.5 and equal to or smaller than $+0.5$, the absolute value of the rotation number x is greater than $2/(2N+1)$ and smaller than $3/(3N-1)$.

(57) 要約: 光ファイバ母材の表面の凹凸を低減することができる光ファイバ母材の製造装置を提供する。本発明の一実施形態による光ファイバ母材の製造装置は、コアロッドの長手方向に延在する前記コアロッドの回転軸を中心に回転速度 r で前記コアロッドを回転する支持部と、距離 d の間隔で設けられる N 組 (N は 2 以上の整数) のバーナーおよび原料噴出口を備え、前記コアロッドの周囲を前記長手方向に速度 v で往復運動し、前記コアロッドの外周に多孔質ガラス部を形成するバーナーアレイと、を備え、前記バーナーアレイが前記長手方向に前記距離 d だけ移動するときの前記コアロッドの回転数 ($L+x$) が、 $rd/v=L+x$ で表され、前記 L は任意の自然数であり、前記オフセット x は -0.5 より大きく $+0.5$ 以下であるとき、前記回転数 x の絶対値が、 $2/(2N+1)$ より大きく、 $3/(3N-1)$ より小さいことを特徴とする。

明 細 書

発明の名称：

光ファイバ母材の製造装置、製造方法、光ファイバ母材および光ファイバ
技術分野

[0001] 本発明は、光ファイバ母材の製造装置、製造方法、光ファイバ母材および光ファイバに関するものである。

背景技術

[0002] 近年、光ファイバ母材の製造過程において、光ファイバ母材の表面の凹凸を減らし、光ファイバ母材の真円度を改善する光ファイバ母材の製造方法が提案されている。特許文献1に記載の光ファイバ母材の製造方法は、光ファイバ母材の出発材であるコアロッドにガラス微粒子を堆積するバーナーの移動速度とコアロッドの回転速度との比を規定することにより、光ファイバ母材の表面の凹凸を減らす工程を備える。

先行技術文献

特許文献

[0003] 特許文献1：特開2006-199526号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0004] しかしながら、特許文献1に記載の光ファイバ母材の製造方法は、1台のバーナーの移動速度とコアロッドの回転速度との関係を規定しているに過ぎない。特許文献1に記載の技術において複数のバーナーを用いた場合、複数のバーナーの火炎の軌跡が互いに重なり合い、光ファイバ母材の表面に凹凸が生じる。

[0005] 本発明は、上記の課題に鑑みてなされたものであって、複数のバーナーが用いられた場合において、光ファイバ母材の表面の凹凸を低減することを目的とする。

課題を解決するための手段

[0006] 本発明の一観点によれば、コアロッドの長手方向に延在する前記コアロッドの回転軸を中心に回転速度 r で前記コアロッドを回転する支持部と、距離 d の間隔で設けられる N 組 (N は 2 以上の整数) のバーナーおよび原料噴出口を備え、前記コアロッドの周囲を前記長手方向に速度 v で往復運動し、前記コアロッドの外周に多孔質ガラス部を形成するバーナーアレイと、を備え、前記バーナーアレイが前記長手方向に前記距離 d だけ移動するときの前記コアロッドの回転数 ($L + x$) が、

[数1]

$$\frac{rd}{v} = L + x$$

で表され、前記 L は任意の自然数であり、オフセット x は -0.5 より大きく $+0.5$ 以下であるとき、前記オフセット x の絶対値が、

[数2]

$$\frac{2}{2N+1} < |x| < \frac{3}{3N-1}$$

であることを特徴とする光ファイバ母材の製造装置が提供される。

発明の効果

[0007] 本発明によれば、光ファイバ母材の表面の凹凸を低減することができる光ファイバ母材の製造装置を提供することができる。

図面の簡単な説明

[0008] [図1] 図 1 は、本発明の第 1 実施形態における光ファイバ母材の製造に用いる堆積装置の側面図である。

[図2] 図 2 は、本発明の第 1 実施形態における堆積装置を制御する制御装置のブロック図である。

[図3] 図 3 は、本発明の第 1 実施形態におけるバーナーアレイの側面図である。

[図4A] 図 4 A は、本発明の第 1 実施形態におけるバーナーアレイの動作の概要図である。

[図4B]図4 Bは、本発明の第1実施形態におけるバーナーアレイの動作の概要図である。

[図4C]図4 Cは、本発明の第1実施形態におけるバーナーアレイの動作の概要図である。

[図4D]図4 Dは、本発明の第1実施形態におけるバーナーアレイの動作の概要図である。

[図4E]図4 Eは、本発明の第1実施形態におけるバーナーアレイの動作の概要図である。

[図4F]図4 Fは、本発明の第1実施形態におけるバーナーアレイの動作の概要図である。

[図5]図5は、本発明の第1実施形態における光ファイバ母材の製造条件に対するバーナーの火炎の軌跡の距離を示す図である。

[図6A]図6 Aは、本発明の第1実施形態における光ファイバ母材の側部に形成されるバーナーアレイの軌跡の展開図である。

[図6B]図6 Bは、本発明の第1実施形態における光ファイバ母材の側部に形成されるバーナーアレイの軌跡の展開図である。

[図6C]図6 Cは、本発明の第1実施形態における光ファイバ母材の側部に形成されるバーナーアレイの軌跡の展開図である。

[図6D]図6 Dは、本発明の第1実施形態における光ファイバ母材の側部に形成されるバーナーアレイの軌跡の展開図である。

[図7]図7は、本発明の第1実施形態における光ファイバ母材の製造条件に対するバーナーの火炎の軌跡の距離を示す図である。

[図8A]図8 Aは、本発明の第1実施形態における光ファイバ母材の側部に形成されるバーナーアレイの軌跡の展開図である。

[図8B]図8 Bは、本発明の第1実施形態における光ファイバ母材の側部に形成されるバーナーアレイの軌跡の展開図である。

[図8C]図8 Cは、本発明の第1実施形態における光ファイバ母材の側部に形成されるバーナーアレイの軌跡の展開図である。

[図8D]図8Dは、本発明の第1実施形態における光ファイバ母材の側部に形成されるバーナーアレイの軌跡の展開図である。

[図9]図9は、本発明の第1実施形態における光ファイバ母材および光ファイバの製造方法のフローチャートである。

[図10A]図11Aは、本発明の第1実施形態における実施例1の光ファイバ母材の外径変動を示す図である。

[図10B]図11Bは、本発明の第1実施形態における実施例2の光ファイバ母材の外径変動を示す図である。

[図10C]図11Cは、本発明の第1実施形態における比較例の光ファイバ母材の外径変動を示す図である。

発明を実施するための形態

[0009] 以下、図面に基づいて本発明の実施形態を説明する。明細書全般における同じ参照符号は、実質的に同一の構成要素を意味する。

[0010] [第1実施形態]

[0011] 図1は、本実施形態における光ファイバ母材の製造に用いる堆積装置の側面図である。光ファイバ母材1のコアロッドは、コア部11、サポート部12A、12Bを備える。コア部11は、光ファイバ母材1の出発材であり、石英ガラス等で形成される。コア部11は、コアおよび当該コアの外周に形成されたクラッド層を有するロッドを加熱延伸することによって形成され得る。コア部11は略円柱形をなし、例えば、長さが4000mmであり、直径が60mmであり得る。コア部11の側部の外周には後述する堆積工程においてガラス微粒子が堆積され、光ファイバ母材1が形成される。

[0012] サポート部12A、12Bは支持棒であり、コア部11の両端にそれぞれサポート部12A、12Bが設けられる。サポート部12A、12Bは、ガラス微粒子の堆積工程および焼結工程において、コア部11を支持する用途に用いられる。サポート部12A、12Bはコア部11と同様に石英等で構成される。サポート部12A、12Bは略円柱形をなし、例えば、長さが1000mmであり、直径が90mmであり得る。サポート部12A、12B

の長さおよび直径は、コア部 11 の長さまたは直径、ガラス微粒子が堆積する厚さ等に応じて適宜変更されてもよい。

[0013] サポート部 12 A、12 B のサポート軸およびコア部 11 のコア軸が略同一線上に位置するように、サポート部 12 A、12 B はコア部 11 に接合される。サポート部 12 A、12 B は酸水素バーナー等を用いてコア部 11 に溶接接合される。溶接接合の方法はこれに限定されず、電気炉等を用いて溶接接合されてもよい。

[0014] 多孔質ガラス部 13 は、コア部 11 に堆積されたガラス微粒子の層である。多孔質ガラス部 13 は、堆積装置 2 によってコア部 11 に堆積する。多孔質ガラス部 13 の堆積方法は、例えば、VAD (Vapor phase Axial Deposition) 法、OVD (Outside Vapor Deposition) 法等であり得る。OVD 法は、コア部 11 を両端把持し、コア部 11 の側部において水平方向にガラス微粒子が堆積する方法である。本実施形態では、横型の堆積装置を用い、OVD 法によって多孔質ガラス部 13 が堆積する。

[0015] 多孔質ガラス部 13 は、テーパ部 14 A、14 B を備える。テーパ部 14 A、14 B は、X 方向に所定の長さで形成される。所定の長さは、後述するバーナーアレイが備える一端のバーナーから他端のバーナーまでの X 方向における距離に相当する。

[0016] 堆積装置 2 は、基台 21、支持部 22 A、22 B、把持部 23、応力付与部 24、制御装置 3、バーナーアレイ 4 を備える。基台 21 は堆積装置 2 の土台になる部材であり、略直方体をなす。基台 21 は接地面に対し略水平に設置される。基台 21 は、基台 21 の長手方向に延在し、コア部 11 の下方に設けられたレール等を備え、支持部 22 A、22 B、バーナーアレイ 4 が当該レールに沿って移動可能である。本実施形態では、1 台のレールと 1 台のバーナーアレイ 4 を含む構成を記載しているが、複数台のレールと複数台のバーナーアレイ 4 を含む構成であってもよい。複数のレールと複数台のバーナーアレイ 4 とを備える構成の場合、複数台のレールはコア部 11 の円周

方向に所定の角度をなして設けられることが好ましい。例えば、レールが3台設けられる場合では、3台のレールが互いに120度の角度をなして円周方向に設けられ、それぞれのレールにバーナーアレイ4が設置される。平面視において、基台21の長手方向をX方向とし、基台21の短手方向をY方向とし、基台21の鉛直方向をZ方向とする。

[0017] 支持部22A、22Bは柱状をなし、互いに対向し、基台21の上部に設けられる。すなわち、支持部22Aは基台21の一方の端部に設けられ、支持部22Bは基台21の他方の端部に設けられる。支持部22A、22Bのうち、少なくともいずれか一方は、基台21に敷設されたレール上を移動可能である。支持部22A、22Bは、サポート部12A、12Bを介してコア部11を回転駆動する回転モータ、変速機等を備える。

[0018] 把持部23および応力付与部24はチャックを構成し、支持部22A、22Bにそれぞれ設けられる。把持部23は、例えばSUS (Steel Use Stainless) 等の金属または耐熱性のフッ素樹脂等で構成され、互いに近接または離隔可能な複数の爪を備える。複数の爪の中央にはサポート部12A、12Bを把持可能な把持穴が形成される。

[0019] 応力付与部24は把持部23の周囲に設けられ、把持部23に応力を与えることが可能である。応力付与部24が把持部23に応力を与えると、複数の爪は互いに近接し、把持穴の径が小さくなる。これにより、把持穴に挿入されたサポート部12A、12Bは把持部23によって把持される。

[0020] 制御装置3は、堆積装置2と通信可能に接続され、堆積装置2の動作およびバーナーアレイ4の動作を制御する。制御装置3は、堆積装置2がコア部11を回転駆動する際の回転方向および回転速度、応力付与部24の応力の大きさ、バーナーアレイ4の移動方向、移動速度、X方向における移動範囲等を制御することができる。

[0021] バーナーアレイ4は、複数のバーナー41~4Nを備え、基台21のレール上に設置される。バーナーアレイ4はレール上をX方向に移動し、コア軸を中心に回転するコア部11にガラス微粒子を堆積することができる。バー

バーナー４１は、コア部１１にガラス微粒子を吹き付けるバーナーであり、例えば、炭化水素（メタン）を主成分とするガスと酸素または酸水素を燃料とするバーナーである。バーナー４１は、可燃性ガスを供給するノズル、助燃性ガスを供給するノズル、ガラス原料を供給するノズル（原料噴出口）等を備える。例えば、可燃性ガスは水素あるいは炭化水素を主成分とするガス等であり、助燃性ガスは酸素等であり得る。また、ガラス原料は、例えば、環状シロキサン、 SiCl_4 等であり得る。バーナー４１は、火炎にガラス原料を投入し、酸化・熱分解反応、火炎加水分解反応等によりガラス微粒子を生成する。複数のバーナー４１～４Ｎは一体をなして稼働する。このようにして、コア部１１の外周に多孔質ガラス部１３が堆積し、光ファイバ母材１が形成される。

[0022] 図２は、本実施形態における堆積装置を制御する制御装置のブロック図である。制御装置３は、CPU (Central Processing Unit) ３０１、ROM (Read Only Memory) ３０２、RAM (Random Access Memory) ３０３、記憶装置３０４、ディスプレイ３０５、タッチセンサ３０６、入力装置３０７、通信Ｉ／Ｆ３０８、センサＩ／Ｆ３０９、バス３１０を備える。各部はバス３１０を介して相互に接続される。

[0023] CPU ３０１は、アプリケーションプログラムにより堆積装置２およびバーナーアレイ４の各部を制御する。ROM ３０２は、不揮発性メモリから構成され、堆積装置２およびバーナーアレイ４の各部を制御するためのアプリケーションプログラムを記憶する。RAM ３０３は、CPU ３０１の動作に必要なメモリ領域を提供する。記憶装置３０４は、ハードディスク、半導体メモリ等から構成される。

[0024] ディスプレイ３０５は、例えば、液晶ディスプレイ、OLED (Organic Light Emitting Diode) ディスプレイ、LED (Light Emitting Diode) ディスプレイ等から構成される。ディスプレイ３０５の表面にはタッチセンサ３０６が配置される。

タッチセンサ306は、静電容量式または抵抗式の検出回路を備える。入力装置307は、ユーザI/Fであり、例えば、キーボード、マウス等であり得る。

[0025] 通信I/F308は、データの送受信を行う通信部であり、制御装置3と堆積装置2とを通信可能に接続する。通信I/F308を介した制御装置3と堆積装置2との通信は、有線通信または無線通信のいずれでもよい。無線通信の方式は、例えば、第3世代移動通信、LTE (Long Term Evolution)、第4世代移動通信、第5世代移動通信、Bluetooth (登録商標) 等の近距離無線通信、Wi-Fi等の無線LAN接続による無線通信等であり得る。

[0026] センサI/F309は、堆積装置2が備えるセンサ類から各種のデータを取得し、記憶装置304等に格納する。各種のデータは、例えば、光ファイバ母材1の周囲の温度、周囲の湿度、光ファイバ母材1の質量、表面温度、表面粗さ、回転方向、回転速度、加速度、回転角度、多孔質ガラス部13の堆積量、バーナーアレイ4の位置、バーナー41～4Nの火炎の温度等であり得る。

[0027] 制御装置3は、オペレータの操作によって堆積装置2の制御パラメータおよびバーナーアレイ4の制御パラメータを受け付け、堆積装置2およびバーナーアレイ4を制御する。また、制御装置3は、センサI/F309を介して堆積装置2に設けられたセンサ（図示せず）から情報を受信し、回転中の光ファイバ母材1の回転方向、回転速度、回転角度、バーナーアレイ4の位置等を計算して、堆積装置2およびバーナーアレイ4の制御に反映することもできる。

[0028] 図3は、本実施形態におけるバーナーアレイの側面図である。バーナーアレイ4は、バーナー台401、N個のバーナー41～4Nを備える。ここで、バーナー数Nは2以上の整数である。バーナー台401は、基台21のレール上をX方向に移動可能である。バーナー41～4Nはバーナー台401の上部に略直線状に設置される。バーナー41およびバーナー42は距離d

の間隔を空けて設置され、バーナー４１およびバーナー４３は距離２ｄの間隔を空けて設置される。すなわち、バーナー４１～４Ｎは、バーナー台４０１の上部に略直線状に設置され、隣り合うバーナーとの間に距離ｄが設けられる。したがって、Ｘ方向におけるバーナー４１からバーナー４Ｎまでの距離は（Ｎ－１）ｄである。バーナーの数Ｎおよび距離ｄは、光ファイバ母材１の長さ、多孔質ガラス部１３の所望の堆積量、テーパー部１４Ａ、１４Ｂの所望の長さ等に応じてそれぞれ調整可能である。なお、前述の複数台のレールと複数台のバーナーアレイ４が設けられる構成の場合、バーナーアレイ４における火炎の温度、可燃性ガスおよび助燃性ガスの供給量、ガラス原料の供給量、ノズルと光ファイバ母材１とのなす角度等は、それぞれのバーナーアレイ４ごとに互いに独立して制御可能である。

[0029] 図４Ａ～図４Ｆは、本実施形態におけるバーナーアレイの動作の概要図である。図４Ａ、図４Ｂ、図４Ｅは光ファイバ母材１の側面図であり、図４Ｂ、図４Ｄ、図４Ｆは、それぞれ図４Ａ、図４Ｃ、図４ＥのⅠ－Ⅰ’線における光ファイバ母材１の断面図である。光ファイバ母材１はコア部１１のコア軸を中心に回転速度 r [rpm] で回転する。バーナー数 $N=3$ であり、バーナーアレイ４は３つのバーナー４１～４３を備える。バーナーアレイ４は移動速度 v [mm/min] でＸ方向に移動し、光ファイバ母材１に多孔質ガラス部１３を堆積する。バーナーアレイ４がＸ方向に距離 d [mm] 移動する間に光ファイバ母材１が（ $L+x$ ）回転するとき、光ファイバ母材１の回転速度 r とバーナーアレイ４の移動速度 v との関係を以下のように表すことができる。

[数３]

$$\frac{v}{r} = \frac{d}{L+x} \quad \dots (1)$$

ここで、 $L+x$ は光ファイバ母材１の回転数であり、オペレータによって設定され得る。回転数 L は光ファイバ母材１の回転数の整数部を表す自然数であり、オフセット x は光ファイバ母材１の回転数の小数部を表すパラメータである。例えば、 $L=5$ 、 $x=0.5$ であるとき、光ファイバ母材１が５

． 5 回転するとバーナーアレイ 4 が X 方向に距離 d 移動する。なお、オフセット x の値域は、以下のように設定される。

[数4]

$$-0.5 < x \leq +0.5$$

[0030] 回転数 L は、バーナー 4 1 の火炎の軌跡の X 方向における周期を制御する。回転数 L が大きくなると、バーナー 4 1 の火炎の軌跡の X 方向における周期が小さくなり、バーナー 4 1 ～ 4 N によってコア部 1 1 の側部に堆積するガラス微粒子の密度が大きくなる。回転数 L が小さくなると、バーナー 4 1 の火炎の軌跡の X 方向における周期が大きくなり、バーナー 4 1 ～ 4 N によってコア部 1 1 の側部に堆積するガラス微粒子の密度が小さくなる。回転数 L はバーナー数 N およびバーナー間の距離 d に応じて決定されてもよく、多孔質ガラス部 1 3 の堆積密度または堆積工程に要する時間等に応じて決定されてもよい。なお、ガラス微粒子を堆積する工程において、回転数 L は必ずしも一定でなくてもよく、適宜変更可能である。例えば、多孔質ガラス部 1 3 の堆積量、表面粗さなどに応じて決定されてもよい。ただし、バーナーアレイ 4 が光ファイバ母材 1 の一方の端部から他方の端部まで移動しガラス微粒子を堆積する間は、回転数 L は一定であることが望ましい。

[0031] 図 4 A および図 4 B において、バーナー 4 1 の火炎の軌跡が光ファイバ母材 1 の側部における点 P に重なっている。バーナー 4 2 およびバーナー 4 3 は、バーナー 4 1 からそれぞれ距離 d および距離 $2d$ 離れて設けられているので、バーナー 4 2 の火炎の軌跡およびバーナー 4 3 の火炎の軌跡は、X 方向において点 P からそれぞれ距離 d および距離 $2d$ 離れた位置を通る。

[0032] オフセット $x \neq 0$ であるとき、図 4 C および図 4 D において、バーナーアレイ 4 が X 方向に距離 d だけ移動すると、光ファイバ母材 1 が $(L + x)$ 回転し、バーナー 4 2 の火炎の軌跡が X 方向における点 P の位置に達する。このとき、点 P が図 4 B における点 P の位置からコア軸を中心にオフセット x だけ回転した位置に達するので、バーナー 4 2 の火炎の軌跡は点 P に重ならない。すなわち、バーナー 4 2 の火炎の軌跡は、バーナー 4 1 の火炎の軌跡

がコア軸を中心にオフセット x だけ回転した位置を通る。したがって、バーナー４２の火炎の軌跡は、バーナー４１の火炎の軌跡に重ならない。

[0033] 図４Ｅおよび図４Ｆにおいて、バーナーアレイ４が X 方向にさらに距離 d だけ移動すると、光ファイバ母材１がさらに $(L+x)$ 回転し、バーナー４３の火炎の軌跡が X 方向における点 P の位置に達する。このとき、点 P が図４Ｄにおける点 P の位置からコア軸を中心にオフセット x だけ回転した位置に達するので、バーナー４３の火炎の軌跡は点 P に重ならない。すなわち、バーナー４３の火炎の軌跡は、バーナー４２の火炎の軌跡がコア軸を中心にオフセット x だけ回転した位置を通る。したがって、バーナー４３の火炎の軌跡は、バーナー４１の火炎の軌跡およびバーナー４２の火炎の軌跡に重ならない。

[0034] このように、オフセット x は、バーナー４１～４ N の火炎の軌跡の距離を制御する。例えば、オフセット x が０であるとき、バーナー４１～４ N の火炎の軌跡は互いに重なり合う。バーナー４１～４ N のすべての火炎の軌跡が重なると、光ファイバ母材１の表面の凹凸が大きくなりうる。このため、バーナー４１～４ N の火炎の軌跡が等間隔になり、光ファイバ母材１の表面の凹凸が小さくなるようなオフセット x の値について考える。

[0035] バーナー４１の火炎の軌跡、バーナー４２の火炎の軌跡、バーナー４ N の火炎の軌跡が、点 P の近傍を通過するとき、点 P とそれぞれの火炎の軌跡との X 方向における距離が求められる。まず、バーナー４１の火炎の軌跡が点 P に重なるときを基準にして、光ファイバ母材１が１回転したとき、バーナー４１の火炎の軌跡は X 方向において点 P から（１）式で示す距離 $d/(L+x)$ 移動する。光ファイバ母材１が L 回転したとき、バーナー４２の火炎の軌跡と点 P とが、 X 方向において略同一直線上に位置する。このとき、バーナー４２の火炎の軌跡と点 P との X 方向における距離は、以下の式で表される。

[数５]

$$\left| \frac{vL}{r} - d \right| = \left| \frac{dL}{L+x} - d \right| = \left| \frac{dx}{L+x} \right| \quad \cdots (2)$$

[0036] 同様に、光ファイバ母材 1 が $(N-1)L$ 回転したとき、バーナー 4 N の火炎の軌跡と点 P とが、X 方向において略同一直線上に位置する。このとき、バーナー 4 N の火炎の軌跡と点 P との X 方向における距離は、以下の式で表される。

[数6]

$$\left| \frac{v(N-1)L}{r} - (N-1)d \right| = \left| -\frac{(N-1)dx}{L+x} \right| \quad \dots (3)$$

[0037] 点 P の近傍において、バーナー 4 1 の火炎の軌跡とバーナー 4 N の火炎の軌跡との X 方向における距離の差は、(1) 式と (3) 式の差で表すことができる。

[数7]

$$\frac{d}{L+x} - \left| -\frac{(N-1)dx}{L+x} \right| = \frac{d - |(N-1)dx|}{L+x} \quad \dots (4)$$

[0038] ここで、オフセット $x = \pm 1 / (N-1)$ であるとき (4) 式の値が 0 になるので、バーナー 4 1 の火炎の軌跡とバーナー 4 N の火炎の軌跡とが重なり合う。

[0039] (4) 式を (2) 式で除算すると、バーナー 4 1 の火炎の軌跡とバーナー 4 2 の火炎の軌跡との距離およびバーナー 4 1 の火炎の軌跡とバーナー 4 N の火炎の軌跡との距離の比が得られる。

[数8]

$$\frac{d - |(N-1)dx|}{L+x} \times \left| \frac{L+x}{dx} \right| = \frac{d - |(N-1)dx|}{|dx|} = \frac{1 - (N-1)|x|}{|x|} \quad \dots (5)$$

[0040] ここで、オフセット $x = \pm 1 / N$ であるとき (5) 式が 1 になるので、バーナー 4 1 の火炎の軌跡とバーナー 4 2 の火炎の軌跡との距離が、バーナー 4 1 の火炎の軌跡とバーナー 4 N の火炎の軌跡との距離に等しくなる。バーナー 4 1 とバーナー 4 2、バーナー 4 2 とバーナー 4 3、…バーナー 4 $(N-1)$ とバーナー 4 N のそれぞれの火炎の軌跡の間隔は常に等間隔であるので、すべての火炎の軌跡が等間隔になり、光ファイバ母材の表面の凹凸が最小になる。したがって、オフセット x の値は、0 を除く値であって、 $-1 /$

($N - 1$) より大きく $+1 / (N - 1)$ より小さい値に設定されることが望ましく、 $\pm 1 / N$ に設定されることがより好ましい。

[0041] 図5は本実施形態における光ファイバ母材の製造条件に対するバーナーの火炎の軌跡の距離を示す図であり、回転数 $L = 5$ 、バーナー数 $N = 4$ 、バーナー間の距離 $d = 150$ [mm]、光ファイバ母材1の回転速度 $r = 30$ [rpm] のときのバーナーアレイ4の移動速度 v [mm/min]、オフセット x 、光ファイバ母材1が1回転するときのX方向におけるバーナーアレイ4の移動距離 v / r 、(2)式(バーナー41の火炎の軌跡とバーナー42の火炎の軌跡との距離)、(4)式(バーナー41の火炎の軌跡とバーナー44の火炎の軌跡との距離)、(5)式の値を示す図である。図6A~6Dは、本実施形態における光ファイバ母材1の側部に形成されるバーナー41~44の火炎の軌跡の展開図である。

[0042] 図5において、オフセット x の値が $0.28 \sim 0.22$ および $-0.21 \sim -0.29$ であるとき、移動速度 v は、それぞれ $852 \sim 862$ [mm/min] および $939 \sim 954$ [mm/min] である。オフセット x の値が $0.28 \sim 0.22$ および $-0.21 \sim -0.29$ であるとき、光ファイバ母材1が1回転する際にバーナーアレイ4がX方向において移動する距離は、それぞれ $28.41 \sim 28.74$ [mm] および $31.32 \sim 31.81$ [mm] である。

[0043] 図5の条件(k)は、オフセット $x = -0.25$ のときの(2)式、(4)式、(5)式の値を示し、図6Aはオフセット $x = -0.25$ のときのバーナー41~44の火炎の軌跡の展開図を示す。図5の条件(k)において、(2)式の値および(4)式の値はいずれも 7.89 であり、(5)式の値が 1.00 である。したがって、バーナー41の火炎の軌跡とバーナー42の火炎の軌跡との距離は、バーナー41の火炎の軌跡とバーナー44の火炎の軌跡との距離に等しくなる。図6Aにおいて、バーナー41の火炎の軌跡とバーナー42の火炎の軌跡との距離 $D2$ は、隣接するバーナー44の火炎の軌跡とバーナー41の火炎の軌跡との距離 $D4$ と等しくなり、光ファイ

バ母材 1 の側部全体にわたって、すべての火炎の軌跡が等間隔である。

[0044] 図 5 の条件 (m) は、オフセット $x = -0.27$ のときの (2) 式、(4) 式、(5) 式の値を示し、図 6 B はオフセット $x = -0.27$ のときのバーナー 41 ~ 44 の火炎の軌跡の展開図を示す。図 5 の条件 (m) において、(2) 式の値および (4) 式の値はそれぞれ 8.56 および 6.03 であり、(5) 式の値は 0.70 である。したがって、バーナー 41 の火炎の軌跡とバーナー 42 の火炎の軌跡との距離が大きくなり、バーナー 41 の火炎の軌跡とバーナー 44 の火炎の軌跡との距離が小さくなる。図 6 B において、距離 D_4 が距離 D_2 に比べて小さくなる。

[0045] 図 5 の条件 (n) は、オフセット $x = -0.29$ のときの (2) 式、(4) 式、(5) 式の値を示し、図 6 C はオフセット $x = -0.29$ のときのバーナー 41 ~ 44 の火炎の軌跡の展開図を示す。図 5 の条件 (n) において、(2) 式の値および (4) 式の値はそれぞれ 9.07 および 4.61 であり、(5) 式の値は 0.51 である。図 5 の条件 (m) の場合よりもさらにバーナー 41 の火炎の軌跡とバーナー 42 の火炎の軌跡との距離が大きくなり、バーナー 41 の火炎の軌跡とバーナー 44 の火炎の軌跡との距離が小さくなる。図 6 C において、距離 D_4 が距離 D_2 に比べてさらに小さくなり、光ファイバ母材 1 の表面の凹凸が大きくなりうる。

[0046] 図 5 の条件 (h) は、オフセット $x = -0.21$ のときの (2) 式、(4) 式、(5) 式の値を示し、図 6 D はオフセット $x = -0.21$ のときのバーナー 41 ~ 44 の火炎の軌跡の展開図を示す。図 5 の条件 (h) において、(2) 式の値および (4) 式の値はそれぞれ 6.58 および 11.59 であり、(5) 式の値は 1.76 である。バーナー 41 の火炎の軌跡とバーナー 42 の火炎の軌跡との距離が小さく、バーナー 41 の火炎の軌跡とバーナー 44 の火炎の軌跡との距離が大きい。図 6 D において、距離 D_4 が距離 D_2 に比べて大きくなり、光ファイバ母材 1 の表面の凹凸が大きくなり得る。

[0047] このように、バーナー数 $N = 4$ であるとき、オフセット x の値は $\pm 1/N = \pm 0.25$ 、すなわち (5) 式の値が 1.00 であることが望ましい。(

5) 式の値が $3/4 \sim 4/3$ (0.75 ~ 1.33) の範囲の値であってもよく、 $2/3 \sim 3/2$ (0.67 ~ 1.50) の範囲の値であっても光ファイバ母材1の表面の凹凸は許容範囲であり得る。したがって、(5) 式が $3/4 \sim 4/3$ (0.75 ~ 1.33) の範囲の値であるとき、

[数9]

$$\frac{3}{3N+1} < |x| < \frac{4}{4N-1}$$

が導出され、(5) 式が $2/3 \sim 3/2$ (0.67 ~ 1.50) の範囲の値であるとき、

[数10]

$$\frac{2}{2N+1} < |x| < \frac{3}{3N-1}$$

が導出される。

[0048] 図7は本実施形態における光ファイバ母材の製造条件に対するバーナーの火炎の軌跡の距離を示す図であり、回転数 $L=3$ 、バーナー数 $N=3$ 、バーナー間の距離 $d=120$ [mm]、光ファイバ母材1の回転速度 $r=20$ [rpm] のときのバーナーアレイ4の移動速度 v [mm/min]、オフセット x 、光ファイバ母材1が1回転するときのX方向におけるバーナーアレイ4の移動距離 v/r 、(2) 式(バーナー41の火炎の軌跡とバーナー42の火炎の軌跡との距離)、(4) 式(バーナー41の火炎の軌跡とバーナー43の火炎の軌跡との距離)、(5) 式の値を示す図である。図8A~8Dは、本実施形態における光ファイバ母材1の側部に形成されるバーナー41~43の火炎の軌跡の展開図である。

[0049] 図7において、オフセット x の値が $0.39 \sim 0.26$ および $-0.28 \sim -0.38$ であるとき、移動速度 v は、それぞれ $708 \sim 736$ [mm/min] および $882 \sim 916$ [mm/min] である。オフセット x の値が $0.39 \sim 0.26$ および $-0.28 \sim -0.38$ であるとき、光ファイバ母材1が1回転する際にバーナーアレイ4がX方向において移動する距離は、それぞれ $35.40 \sim 36.81$ [mm] および $44.12 \sim 45.8$

0 [mm] である。

[0050] 図7の条件(d)は、オフセット $x=0.33$ のときの(2)式、(4)式、(5)式の値を示し、図8Aはオフセット $x=0.33$ のときのバーナー41～43の火炎の軌跡の展開図を示す。図7の条件(d)において、(2)式の値および(4)式の値はそれぞれ11.89および12.25であり、(5)式の値が1.03である。したがって、バーナー41の火炎の軌跡とバーナー42の火炎の軌跡との距離は、バーナー41の火炎の軌跡とバーナー43の火炎の軌跡との距離にほぼ等しくなる。図8Aにおいて、バーナー41の火炎の軌跡とバーナー42の火炎の軌跡との距離D2は、隣接するバーナー43の火炎の軌跡とバーナー41の火炎の軌跡との距離D3とほぼ等しくなり、光ファイバ母材1の側部全体にわたって、すべての火炎の軌跡がほぼ等間隔である。

[0051] 図7の条件(f)は、オフセット $x=0.29$ のときの(2)式、(4)式、(5)式の値を示し、図8Bはオフセット $x=0.29$ のときのバーナー41～43の火炎の軌跡の展開図を示す。図7の条件(f)において、(2)式の値および(4)式の値はそれぞれ10.58および15.32であり、(5)式の値が1.45である。したがって、バーナー41の火炎の軌跡とバーナー42の火炎の軌跡との距離が大きくなり、バーナー41の火炎の軌跡とバーナー43の火炎の軌跡との距離が小さくなる。図8Bにおいて、距離D2が、距離D3に比べてやや小さくなる。

[0052] 図7の条件(a)は、オフセット $x=0.39$ のときの(2)式、(4)式、(5)式の値を示し、図8Cはオフセット $x=0.39$ のときのバーナー41～43の火炎の軌跡の展開図を示す。図7の条件(a)において、(2)式の値および(4)式の値はそれぞれ13.81および7.79であり、(5)式の値は0.56である。図7の条件(f)の場合よりもさらにバーナー41の火炎の軌跡とバーナー42の火炎の軌跡との距離が大きくなり、バーナー41の火炎の軌跡とバーナー43の火炎の軌跡との距離が小さくなる。図8Cにおいて、距離D3が距離D2に比べて小さくなり、光ファイ

バ母材 1 の表面の凹凸が大きくなりうる。

[0053] 図 7 の条件 (g) は、オフセット $x = 0.26$ のときの (2) 式、(4) 式、(5) 式の値を示し、図 8 D はオフセット $x = 0.26$ のときのバーナー 4 1 ~ 4 3 の火炎の軌跡の展開図を示す。図 7 の条件 (g) において、(2) 式の値および (4) 式の値はそれぞれ 9.57 および 17.67 であり、(5) 式の値は 1.85 である。バーナー 4 1 の火炎の軌跡とバーナー 4 2 の火炎の軌跡との距離が小さく、バーナー 4 1 の火炎の軌跡とバーナー 4 3 の火炎の軌跡との距離が大きい。図 8 D において、距離 D_3 が距離 D_2 に比べて大きくなり、光ファイバ母材 1 の表面の凹凸が大きくなり得る。

[0054] バーナー数 $N = 3$ であるとき、オフセット x の値は $\pm 1/N = \pm 0.33$ 、すなわち (5) 式の値が約 1.00 であることが望ましい。また、(5) 式の値が $3/4 \sim 4/3$ (0.75 ~ 1.33) の範囲の値であってもよく、 $2/3 \sim 3/2$ (0.67 ~ 1.50) の範囲の値であっても光ファイバ母材 1 の表面の凹凸は許容範囲であり得る。したがって、(5) 式が $3/4 \sim 4/3$ (0.75 ~ 1.33) の範囲の値であるとき、

[数11]

$$\frac{3}{3N+1} < |x| < \frac{4}{4N-1}$$

が導出され、(5) 式が $2/3 \sim 3/2$ (0.67 ~ 1.50) の範囲の値であるとき、

[数12]

$$\frac{2}{2N+1} < |x| < \frac{3}{3N-1}$$

が導出される。

[0055] オフセット x の絶対値が $\pm 1/N$ より大きくなると、バーナー 4 1 の火炎の軌跡とバーナー 4 2 の火炎の軌跡との距離 (図 6 A ~ 6 D における距離 D_2 および図 8 A ~ 8 D における距離 D_2) が大きくなり、バーナー 4 1 の火炎の軌跡とバーナー 4 N の火炎の軌跡との距離 (図 6 A ~ 6 D における距離 D_4 および図 8 A ~ 8 D における距離 D_3) が小さくなる。一方、オフセッ

トの絶対値が $\pm 1/N$ より小さくなると、バーナー41の火炎の軌跡とバーナー42の火炎の軌跡との距離（図6A～6Dにおける距離D2および図8A～8Dにおける距離D2）が小さくなり、バーナー41の火炎の軌跡とバーナー4Nの火炎の軌跡との距離（図6A～6Dにおける距離D4および図8A～8Dにおける距離D3）が大きくなる。したがって、バーナー数Nに応じて適切なオフセットxの値を設定することにより、表面の凹凸が小さい光ファイバ母材の製造方法が可能になる。

[0056] 図9は、実施形態における光ファイバ母材および光ファイバの製造方法のフローチャートである。まず、サポート部12A、12Bがコア部11の両端に接合される（ステップS101）。サポート部12A、12Bの仮想のサポート軸およびコア部11の仮想のコア軸が略同一線上に位置するように、酸水素バーナー等を用いてコア部11にサポート部12A、12Bが溶融接合される。

[0057] 次に、サポート部12A、12Bが接合されたコア部11（光ファイバ母材1）が、堆積装置2に設置される（ステップS103）。サポート部12A、12Bが堆積装置2の把持部23によってそれぞれ把持される。

[0058] オペレータが入力装置307を介して、回転数L、バーナー数N、バーナー間の距離d、光ファイバ母材1の回転速度r、オフセットx等の設定パラメータを制御装置3に入力する（ステップS105）と、CPU301が（1）式に設定パラメータを代入してバーナーアレイ4の移動速度vを計算し、堆積装置2に設定パラメータと移動速度vを送信する。例えば、オペレータが回転数 $L=5$ 、バーナー数 $N=4$ 、バーナー間の距離 $d=150$ [mm]、光ファイバ母材1の回転速度 $r=30$ [rpm]、オフセット $x=0.25$ （図5（d）のパラメータの場合）を入力すると、CPU301がバーナーアレイ4の移動速度 $v=857$ [mm/min]を計算し、堆積装置2に入力された設定パラメータと移動速度vを送信する。なお、オフセットxはバーナー数Nに応じて自動的に適切な値に設定されてもよい。回転数Lはバーナー数Nおよびバーナー間の距離d等に応じて自動的に適切な値に設定

されてもよく、多孔質ガラス部 13 の堆積密度または堆積工程に要する時間等に応じて決定されてもよい。S 105 においてオペレータが回転速度 r を設定し、CPU 301 が移動速度 v を計算したが、オペレータが移動速度 v を設定し、CPU 301 が回転速度 r を計算してもよい。

[0059] S 105 において入力された設定パラメータと移動速度 v とに基づき、堆積装置 2 が光ファイバ母材 1 を回転速度 r で回転し、バーナーアレイ 4 にガラス原料、可燃性ガス、助燃性ガスが供給され、バーナーアレイ 4 によってガラス微粒子がコア部 11 の側部に堆積する（ステップ S 107）。バーナーアレイ 4 は、サポート部 12 A とコア部 11 との接合部からサポート部 12 B とコア部 11 との接合部までの間を、移動速度 v で X 方向に往復する。バーナー 41 ~ 4 N は火炎にガラス原料を投入し、生成されたガラス微粒子がコア部 11 の側部に設定パラメータに基づく間隔で堆積する。

[0060] コア部 11 の側部に所定量のガラス微粒子が堆積するまで（ステップ S 109 において NO）、バーナーアレイ 4 はコア部 11 の下部を移動速度 v で X 方向に往復し、ガラス微粒子がコア部 11 の側部に堆積する。コア部 11 の側部に所定量のガラス微粒子が堆積すると（ステップ S 109 において YES）、バーナーアレイ 4 へのガラス原料、可燃性ガス、助燃性ガスの供給が停止され、バーナーアレイ 4 が消火される。所定量のガラス微粒子の堆積は、例えば、Y 方向または Z 方向における多孔質ガラス部 13 の厚さ、堆積前と堆積後の光ファイバ母材 1 の質量差等で判断されてもよい。

[0061] 光ファイバ母材 1 の温度が自然冷却により所定の温度まで下げられると、サポート部 12 A、12 B が把持部 23 から取り外され、光ファイバ母材 1 が堆積装置 2 から撤去される（ステップ S 111）。

[0062] 焼結装置の上部においてサポート部 12 A が垂直に支持され、光ファイバ母材 1 が焼結装置に設置される。焼結装置によって光ファイバ母材 1 が加熱され、焼結される（ステップ S 115）。まず、塩素 (Cl_2) 等がガス導入部から焼結装置の炉心管に導入される。次に、光ファイバ母材 1 が炉心管において回転しながら、ヒーターによって加熱される。これにより、光ファイ

バ母材 1 に含まれる不純物等が取り除かれる。さらに、塩素が炉心管の外部に排出され、塩素と不活性ガスとの混合ガスが雰囲気ガスとして炉心管に導入される。光ファイバ母材 1 は炉心管において回転しながら、ヒーターによって所定の温度に加熱される。所定の温度は、例えば 1500℃等であり得る。光ファイバ母材 1 の焼結が完了すると、ヘリウムが炉心管の外部に排出され、透明ガラス化された光ファイバ母材 1 が炉心管から取り出される。この後の工程において、透明ガラス化された光ファイバ母材 1 は、加熱され、線引きされる。例えば、2000～2300℃の加熱温度で光ファイバ母材 1 が加熱される。このようにして、光ファイバが形成される。

[0063] 以上に述べたように、本実施形態によれば、複数のバーナーを備えるバーナーアレイの移動速度とコアロッドの回転速度との関係を規定することにより、1本のバーナーによるガラス微粒子の堆積よりも堆積効率が良く、光ファイバ母材の表面の凹凸を低減することが可能になる。

[0064] [第2実施形態]

本実施形態では、バーナーアレイが往復移動を繰り返す際に、コアロッドの回転角度の初期位相が制御される。以下、本実施形態について、第1実施形態と異なる構成を中心に説明する。第1実施形態と同様の構成要素には同一の符号を付し、説明を省略し、または簡潔にする。

[0065] 図9のステップS107において、バーナーアレイ4は、X方向において光ファイバ母材1の一方の端部から他方の端部まで移動しながら、コア部11の側部にガラス微粒子を堆積する。制御装置3は、バーナーアレイ4が一方の端部から移動を開始するときの光ファイバ母材1の回転角の初期位相 θ_1 を記憶する。このような一連の工程を1回目の往路の堆積工程と呼ぶ。

[0066] バーナーアレイ4が光ファイバ母材1の他方の端部まで移動した後、バーナーアレイ4は、光ファイバ母材1の他方の端部から一方の端部まで移動しながら、コア部11の側部にガラス微粒子を堆積させる。制御装置3は、バーナーアレイ4が他方の端部から移動を開始するときの光ファイバ母材1の回転角の初期位相 θ_2 を記憶する。このような一連の工程を1回目の復路の

堆積工程と呼ぶ。

[0067] バーナーアレイ 4 が光ファイバ母材 1 の一方の端部まで移動すると、バーナーアレイ 4 は、光ファイバ母材 1 の一方の端部から移動を開始する。このとき、制御装置 3 は、光ファイバ母材 1 の回転角の初期位相 θ_3 を初期位相 θ_1 とは異なる値に制御する。例えば、初期位相 θ_1 、 θ_3 の差は、0 より大きいオフセット $\times$ の絶対値未満であり得る。すなわち、1 回目の往路の堆積工程において形成されたバーナー 4 1 の火炎の軌跡と 1 回目の往路の堆積工程において形成されたバーナー 4 2 の火炎の軌跡との間に、今回の堆積工程におけるバーナー 4 1 の火炎の軌跡が形成されるように、初期位相 θ_3 が設定され得る。初期位相 θ_3 に基づき、バーナーアレイ 4 が光ファイバ母材 1 の他方の端部まで移動すると、バーナーアレイ 4 はガラス微粒子の堆積を一時的に停止する。このような一連の工程を 2 回目の往路の堆積工程と呼ぶ。

[0068] バーナーアレイ 4 が光ファイバ母材 1 の他方の端部まで移動すると、バーナーアレイ 4 は、光ファイバ母材 1 の他方の端部から移動を開始する。このとき、制御装置 3 は、光ファイバ母材 1 の回転角の初期位相 θ_4 を初期位相 θ_2 とは異なる値に制御する。例えば、初期位相 θ_2 、 θ_4 の差は、0 より大きいオフセット $\times$ の絶対値未満であり得る。すなわち、1 回目の復路の堆積工程において形成されたバーナー 4 N の火炎の軌跡と 1 回目の復路の堆積工程において形成されたバーナー 4 (N - 1) の火炎の軌跡との間に、今回の堆積工程におけるバーナー 4 N の火炎の軌跡が形成されるように、初期位相 θ_4 が設定され得る。初期位相 θ_4 に基づき、バーナーアレイ 4 が光ファイバ母材 1 の一方の端部まで移動すると、バーナーアレイ 4 はガラス微粒子の堆積を一時的に停止する。このような一連の工程を 2 回目の復路の堆積工程と呼ぶ。

[0069] 2 回目の往路の堆積工程と同様に、バーナーアレイ 4 が光ファイバ母材 1 の一方の端部まで移動すると、バーナーアレイ 4 は、光ファイバ母材 1 の一方の端部から移動を開始する。このとき、制御装置 3 は、光ファイバ母材 1

の回転角の初期位相 $\theta 5$ を初期位相 $\theta 3$ とは異なる値に制御する。例えば、初期位相 $\theta 3$ 、 $\theta 5$ の差は、0より大きくオフセット $\times$ の絶対値未満であり得る。すなわち、2回目の往路の堆積工程において形成されたバーナー41の火炎の軌跡と1回目の往路の堆積工程において形成されたバーナー42の火炎の軌跡との間に、今回の堆積工程におけるバーナー41の火炎の軌跡が形成されるように、初期位相 $\theta 5$ が設定され得る。初期位相 $\theta 5$ に基づき、バーナーアレイ4が光ファイバ母材1の他方の端部まで移動すると、バーナーアレイ4はガラス微粒子の堆積を一時的に停止する。このような一連の工程を3回目の往路の堆積工程と呼ぶ。

[0070] 一方の端部および他方の端部において堆積工程ごとに初期位相に所定の角度を加算し、上記のような堆積工程を繰り返すことにより、バーナーアレイ4によってガラス微粒子が堆積し、光ファイバ母材1が形成される。本実施形態では、1回の堆積工程ごとにバーナーアレイ4の初期位相を設定し、バーナーアレイ4がコア部11の側部にガラス微粒子を堆積する。なお、所定の角度は、S109における所定の堆積量を得られる堆積工程の回数に基づき算出してもよく、バーナー41～4Nのガラス微粒子の堆積量の分布に基づき決定してもよい。なお、光ファイバ母材1の一方の端部において初期位相に加算する所定の角度は、他方の端部において初期位相に加算する所定の角度と同じであってもよく、それぞれ異なる所定の角度が初期位相に加算されてもよい。

[0071] 光ファイバ母材1の一方の端部から他方の端部まで（往路）ガラス微粒子を堆積する工程において、1回目の往路、2回目の往路、3回目の往路、・・・のバーナー41～4Nの火炎の軌跡が互いに重なり合わないように、初期位相が設定される。光ファイバ母材1の他方の端部から一方の端部まで（復路）ガラス微粒子を堆積する工程において、1回目の復路、2回目の復路、3回目の復路、・・・のバーナー41～4Nの火炎の軌跡が互いに重なり合わないように、初期位相が設定される。一方、往路の堆積工程と復路との堆積工程において、往路の火炎の軌跡と復路の火炎の軌跡とは互いに交差す

るので、互いの初期位相を必ずしも考慮しなくてもよい。

[0072] 以上に述べたように、本実施形態によれば、複数のバーナーを備えるバーナーアレイの移動速度とコアロッドの回転速度との関係を規定し、さらに堆積工程ごとにバーナーアレイの火炎の軌跡の初期位相を設定することにより、1本のバーナーによるガラス微粒子の堆積よりも堆積効率が良く、光ファイバ母材の表面の凹凸を低減することが可能になる。

[0073] [実施例1]

回転数 $L = 5$ 、バーナー数 $N = 4$ 、バーナー間の距離 $d = 150$ [mm]、光ファイバ母材1の回転速度 $r = 30$ [rpm]、オフセット $x = -0.25$ として（図5の条件（k）の場合）、第1実施形態の製造方法により光ファイバ母材1を製造し、光ファイバ母材1の側部が略円柱形をなす部位（テーパ部14A、14Bを除く部位）における一部の外径変動を調べた。図10Aは、本実施例における光ファイバ母材1の外径変動を示す図である。堆積した多孔質ガラス部13の厚さの平均は、約200mmであった。図10Aに示すように、外径変動は $-0.04 \sim 0.04$ mm以下であり、表面の凹凸が小さい光ファイバ母材1を製造することができた。なお、図10Aにおける外径変動の標準偏差は 1.26×10^{-2} [mm]であった。

[0074] [実施例2]

回転数 $L = 5$ 、バーナー数 $N = 4$ 、バーナー間の距離 $d = 150$ [mm]、光ファイバ母材1の回転速度 $r = 30$ [rpm]、オフセット $x = -0.27$ として（図5の条件（m）の場合）、第1実施形態の製造方法により光ファイバ母材1を製造し、光ファイバ母材1の側部が略円柱形をなす部位における一部の外径変動を調べた。図10Bは、本実施例における光ファイバ母材1の外径変動を示す図である。堆積した多孔質ガラス部13の厚さの平均は、約200mmであった。図10Bに示すように、外径変動は $-0.07 \sim 0.07$ mm以下であり、表面の凹凸が小さい光ファイバ母材1を製造することができた。本実施例において、（5）式の値は0.70であり、（5）式の値が $2/3 \sim 3/2$ （ $0.67 \sim 1.50$ ）の範囲内の値であれば

光ファイバ母材 1 の表面の凹凸は許容範囲であった。なお、図 10B における外径変動の標準偏差は 2.53×10^{-2} [mm] であった。

[0075] [比較例]

一方、比較例として、回転数 $L = 5$ 、バーナー数 $N = 4$ 、バーナー間の距離 $d = 150$ [mm]、光ファイバ母材 1 の回転速度 $r = 30$ [rpm]、オフセット $x = -0.29$ として（図 5 の条件 (n) の場合）、第 1 実施形態の製造方法により光ファイバ母材 1 を製造し、光ファイバ母材 1 の側部が略円柱形をなす部位における一部の外径変動を調べた。図 10C は、本実施例における光ファイバ母材 1 の外径変動を示す図である。堆積した多孔質ガラス部 13 の厚さの平均は、約 200 mm であった。図 10C に示すように、外径変動は $-0.17 \sim 0.17$ mm 以下であり、一部に 0.1 mm を超える変動を生じた。本比較例において、(5) 式の値は 0.51 であり、(5) 式の値が $2/3 \sim 3/2$ ($0.67 \sim 1.50$) の範囲外の値では光ファイバ母材 1 の表面の凹凸が大きくなった。なお、図 10C における外径変動の標準偏差は 6.22×10^{-2} [mm] であった。

[0076] 実施例 1 および実施例 2 において、(5) 式の値が $2/3 \sim 3/2$ ($0.67 \sim 1.50$) の範囲内であれば、光ファイバ母材 1 の外径変動のばらつきを 0.05 % 以下に抑えられることがわかった。一方、比較例において、(5) 式の値が $2/3 \sim 3/2$ ($0.67 \sim 1.50$) の範囲外であれば、光ファイバ母材 1 の外径変動が 0.05 % を超えて大きくなることがわかった。

[0077] この出願は 2022 年 7 月 21 日に出願された日本国特許出願第 2022-116690 号からの優先権を主張するものであり、その内容を引用してこの出願の一部とするものである。

符号の説明

- [0078] 1 : 光ファイバ母材
2 : 堆積装置
3 : 制御装置

4 : バーナーアレイ

請求の範囲

[請求項1] コアロッドの長手方向に延在する前記コアロッドの回転軸を中心に回転速度 r で前記コアロッドを回転する支持部と、

距離 d の間隔で設けられる N 組（ N は 2 以上の整数）のバーナーおよび原料噴出口を備え、前記コアロッドの周囲を前記長手方向に速度 v で移動し、前記コアロッドの外周に多孔質ガラス部を形成する少なくとも 1 つのバーナーアレイと、を備え、

前記バーナーアレイが前記長手方向に前記距離 d だけ移動するときの前記コアロッドの回転数（ $L + x$ ）が、

[数1]

$$\frac{rd}{v} = L + x$$

で表され、前記 L は任意の自然数であり、オフセット x は -0.5 より大きく $+0.5$ 以下であるとき、前記オフセット x の絶対値が、

[数2]

$$\frac{2}{2N+1} < |x| < \frac{3}{3N-1}$$

であることを特徴とする光ファイバ母材の製造装置。

[請求項2] さらに前記オフセット x の絶対値が、

[数3]

$$\frac{3}{3N+1} < |x| < \frac{4}{4N-1}$$

であることを特徴とする請求項 1 に記載の光ファイバ母材の製造装置。

[請求項3] さらに前記オフセット x が、

[数4]

$$x = \pm \frac{1}{N}$$

であることを特徴とする請求項 1 に記載の光ファイバ母材の製造装置。

[請求項4] 前記速度 v または前記回転速度 r のいずれか一方を決定すると、他方が決定されることを特徴とする請求項 1 に記載の光ファイバ母材の製造装置。

[請求項5] 前記バーナーアレイは、前記コアロッドの一方の端部から他方の端部までの移動を繰り返し実行可能であって、

第 1 の移動を開始する際における前記コアロッドの回転角の第 1 の初期位相と、前記第 1 の移動に続く第 2 の移動を開始する際における前記コアロッドの回転角の第 2 の初期位相とは互いに異なることを特徴とする請求項 1 に記載の光ファイバ母材の製造装置。

[請求項6] 前記第 1 の初期位相と前記第 2 の初期位相との差は、0 より大きく前記オフセット x の絶対値未満であることを特徴とする請求項 5 に記載の光ファイバ母材の製造装置。

[請求項7] 少なくとも 1 つのバーナーアレイがコアロッドの外周に多孔質ガラス部を形成する工程を備え、

前記コアロッドは、前記コアロッドの長手方向に延在する前記コアロッドの回転軸を中心に回転速度 r で回転し、

前記バーナーアレイは、距離 d の間隔で設けられる N 組 (N は 2 以上の整数) のバーナーおよび原料噴出口を備え、前記コアロッドの周囲を前記長手方向に速度 v で移動し、

前記バーナーアレイが前記長手方向に前記距離 d だけ移動するときの前記コアロッドの回転数 ($L + x$) が、

[数5]

$$\frac{rd}{v} = L + x$$

で表され、前記 L は任意の自然数であり、オフセット x は -0.5 より大きく $+0.5$ 以下であるとき、前記オフセット x の絶対値が、

[数6]

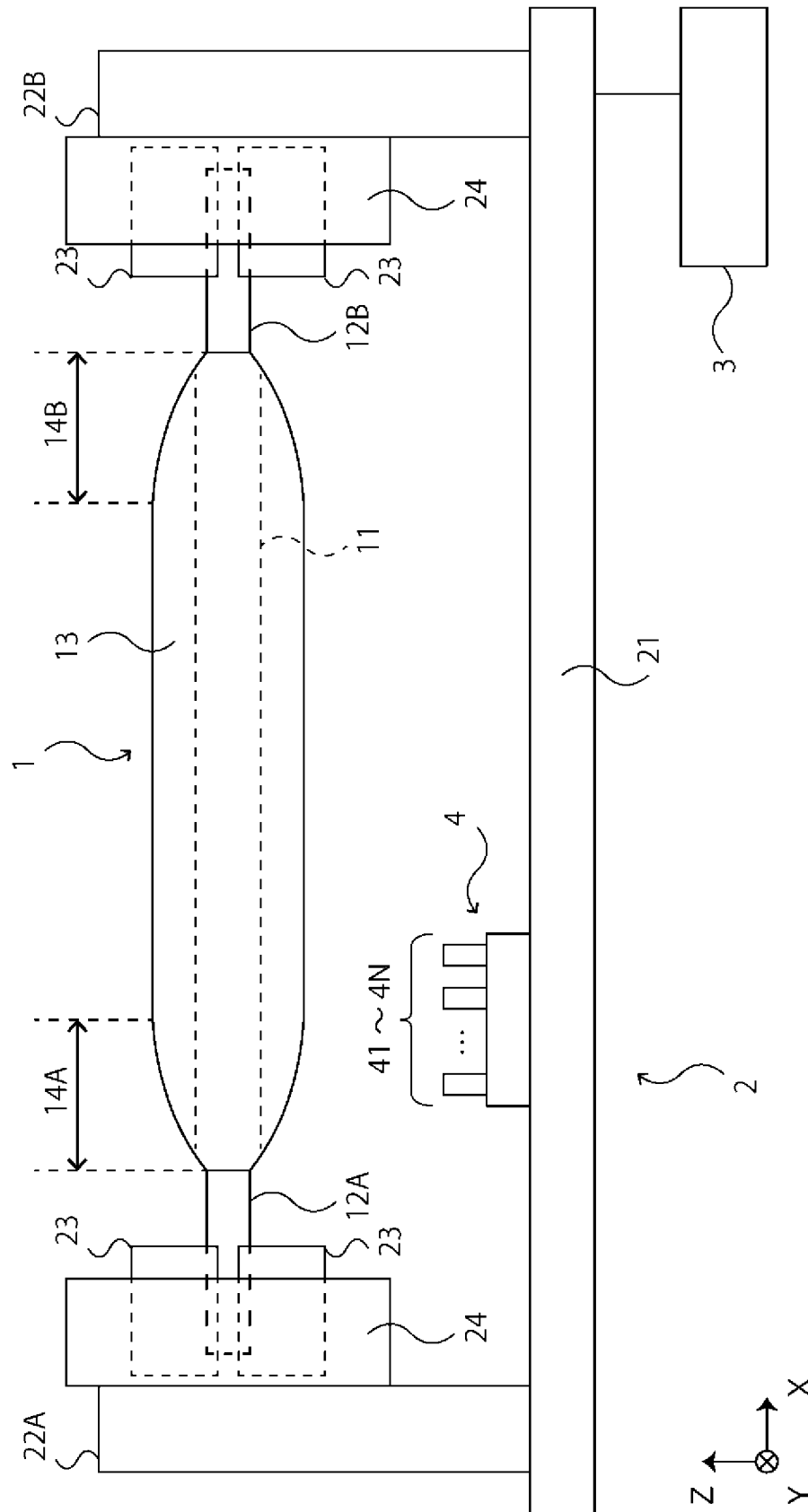
$$\frac{2}{2N+1} < |x| < \frac{3}{3N-1}$$

であることを特徴とする光ファイバ母材の製造方法。

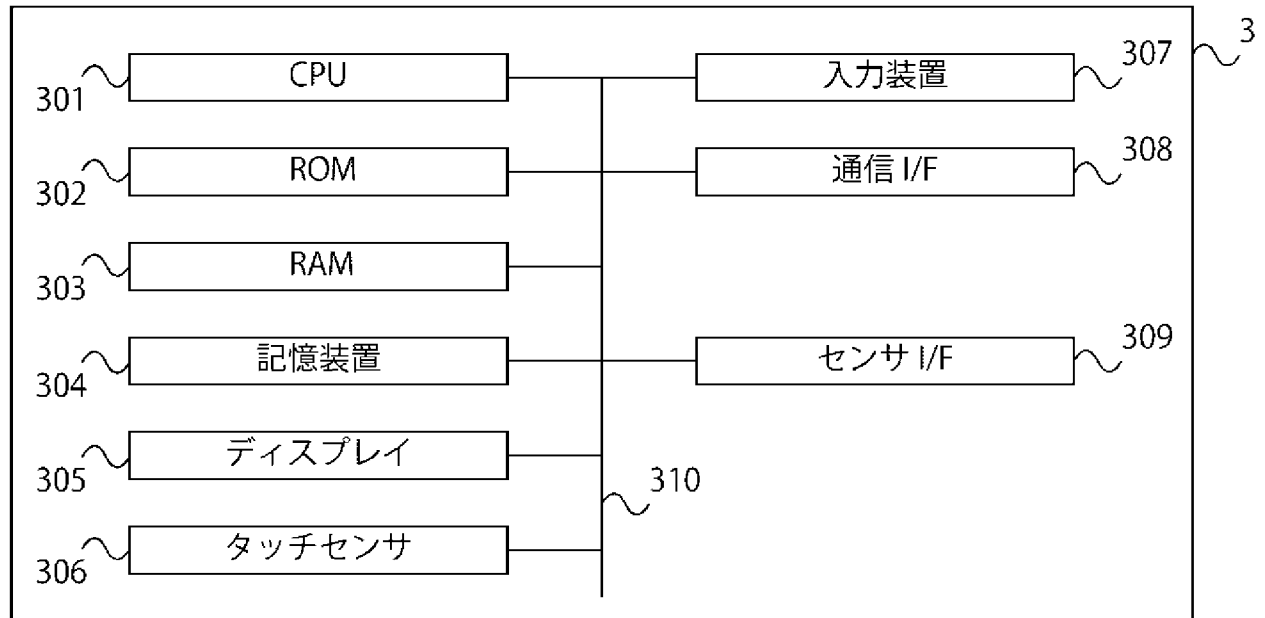
[請求項8] 請求項1に記載の光ファイバ母材の製造装置によって製造した光ファイバ母材。

[請求項9] 請求項8に記載の光ファイバ母材を高温で線引きし、製造した光ファイバ。

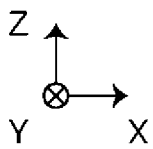
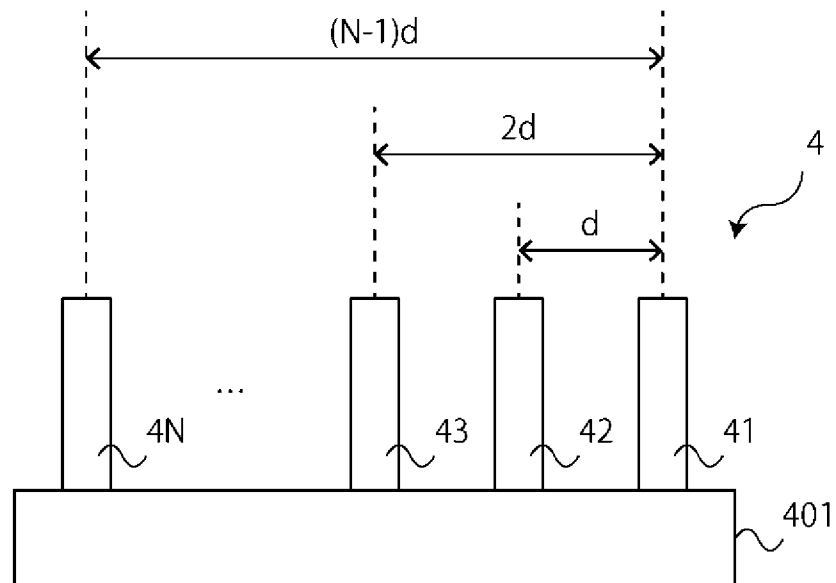
[図1]



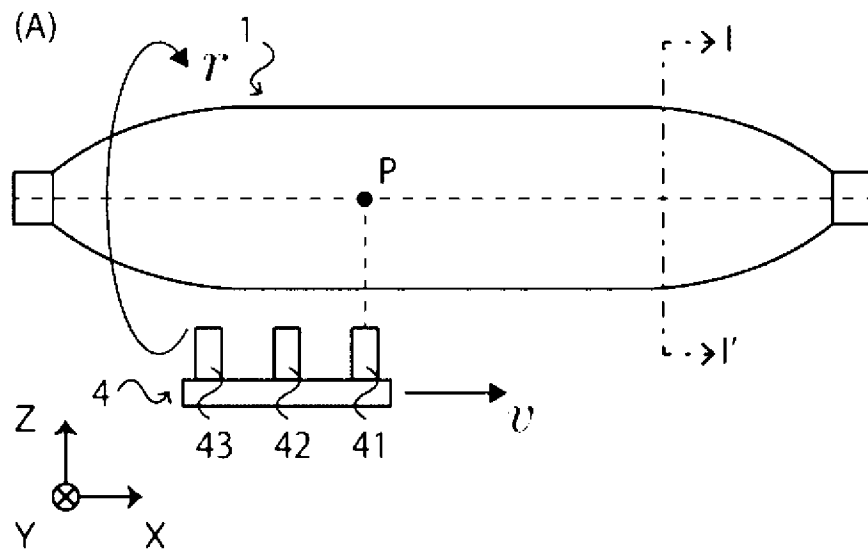
[図2]



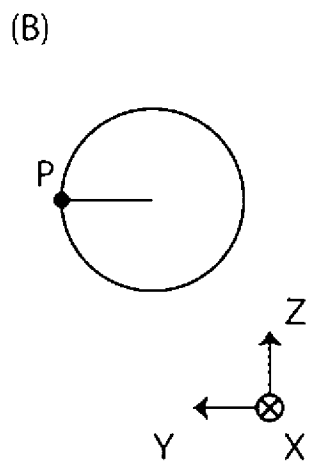
[図3]



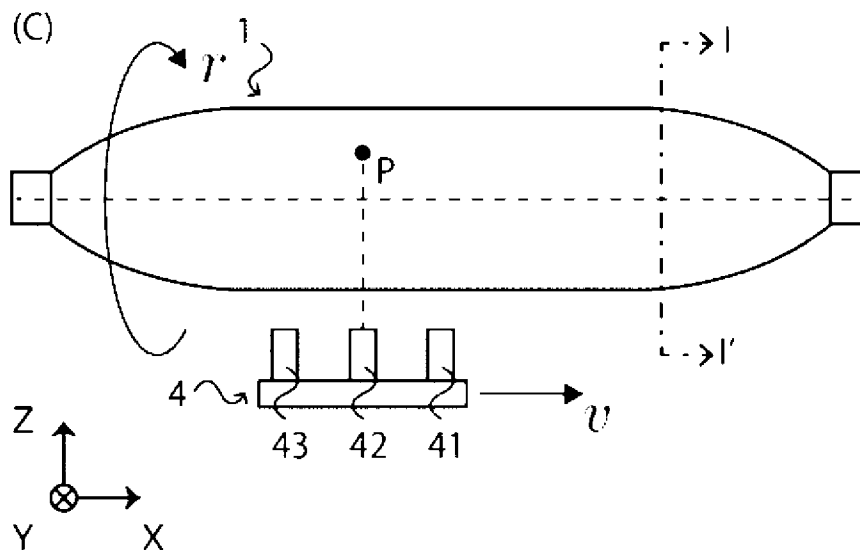
[図4A]



[図4B]

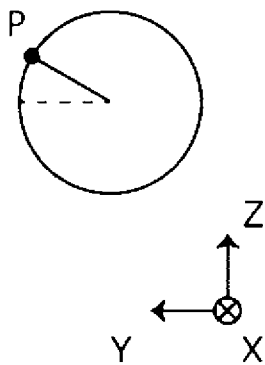


[図4C]



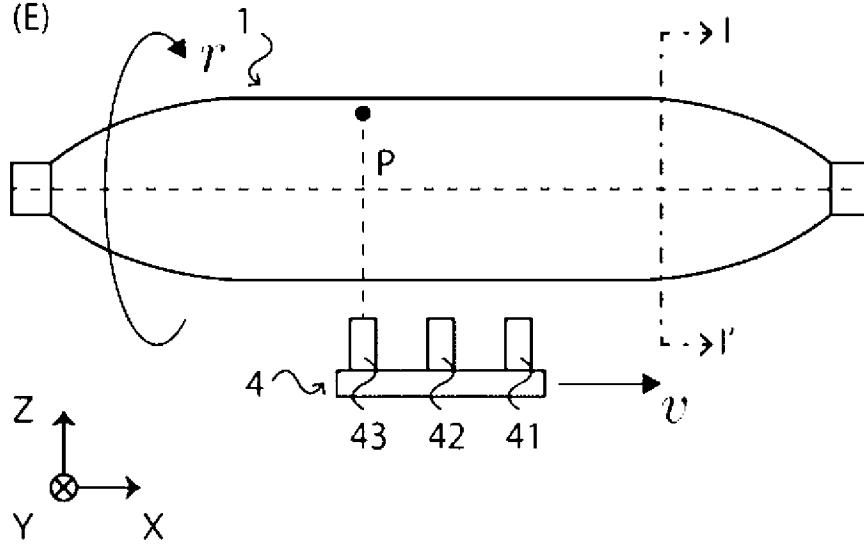
[図4D]

(D)



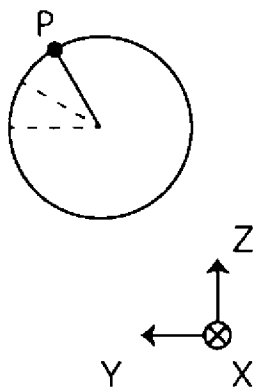
[図4E]

(E)



[図4F]

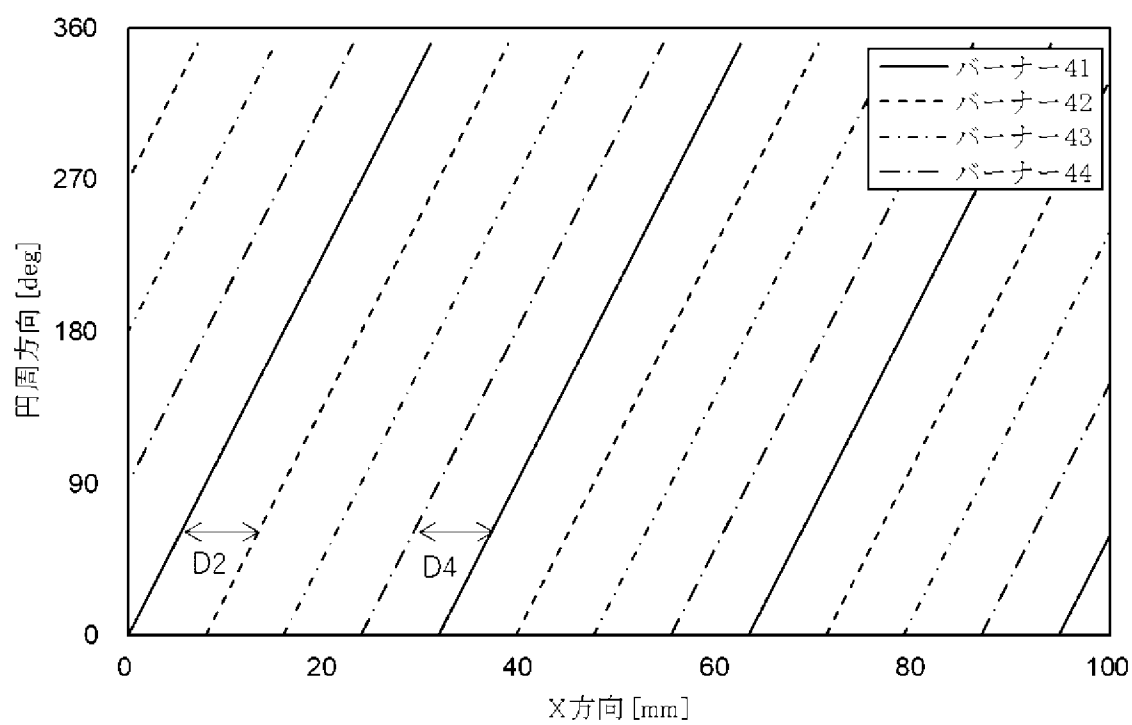
(F)



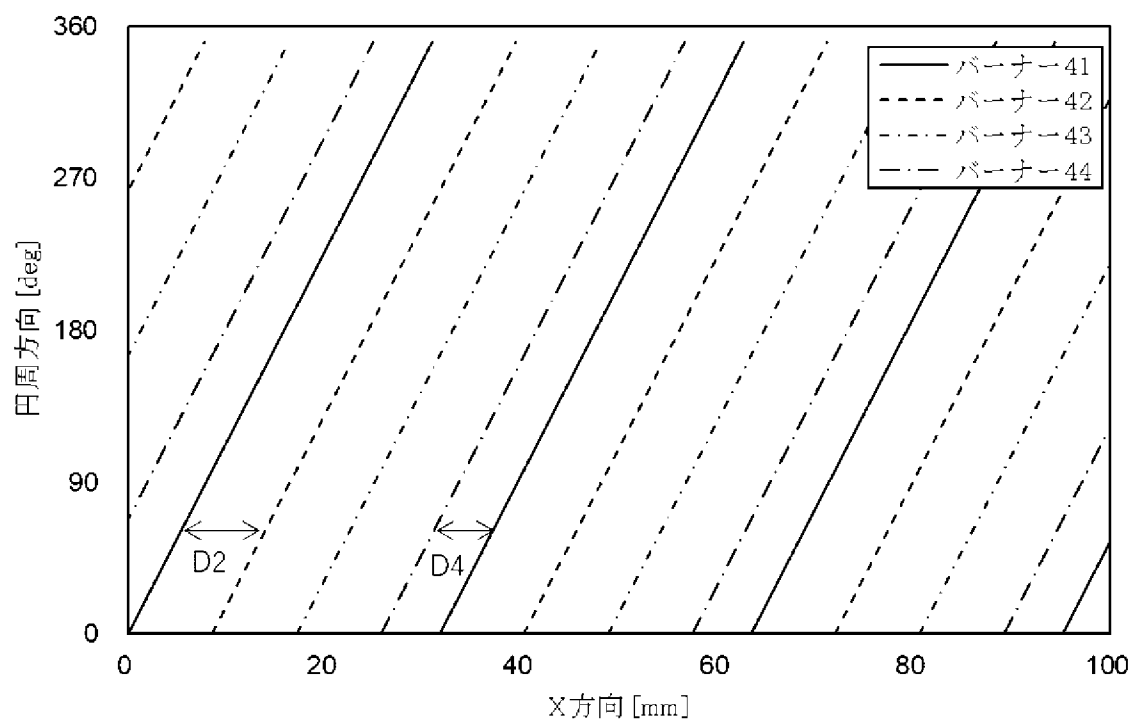
[図5]

	v	x	v/r	$\left \frac{dx}{L+x}\right $	$\frac{d- (N-1)dx }{L+x}$	$\frac{1-(N-1) x }{ x }$
(a)	852	0.28	28.41	7.95	4.55	0.57
(b)	854	0.27	28.46	7.69	5.41	0.70
(c)	856	0.26	28.52	7.41	6.27	0.85
(d)	857	0.25	28.57	7.14	7.14	1.00
(e)	859	0.24	28.63	6.87	8.02	1.17
(f)	860	0.23	28.68	6.60	8.89	1.35
(g)	862	0.22	28.74	6.32	9.77	1.55
(h)	939	-0.21	31.32	6.58	11.59	1.76
(i)	943	-0.23	31.45	7.23	9.75	1.35
(j)	945	-0.24	31.51	7.56	8.82	1.17
(k)	947	-0.25	31.58	7.89	7.89	1.00
(l)	949	-0.26	31.65	8.23	6.96	0.85
(m)	951	-0.27	31.71	8.56	6.03	0.70
(n)	954	-0.29	31.81	9.07	4.61	0.51

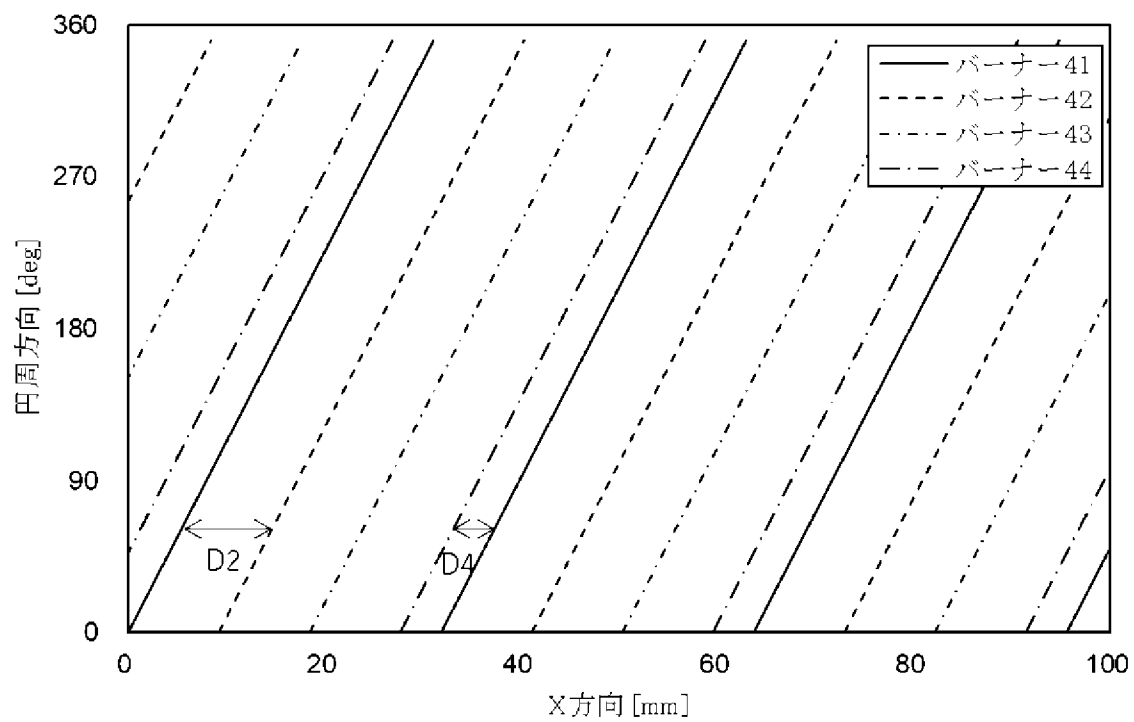
[図6A]



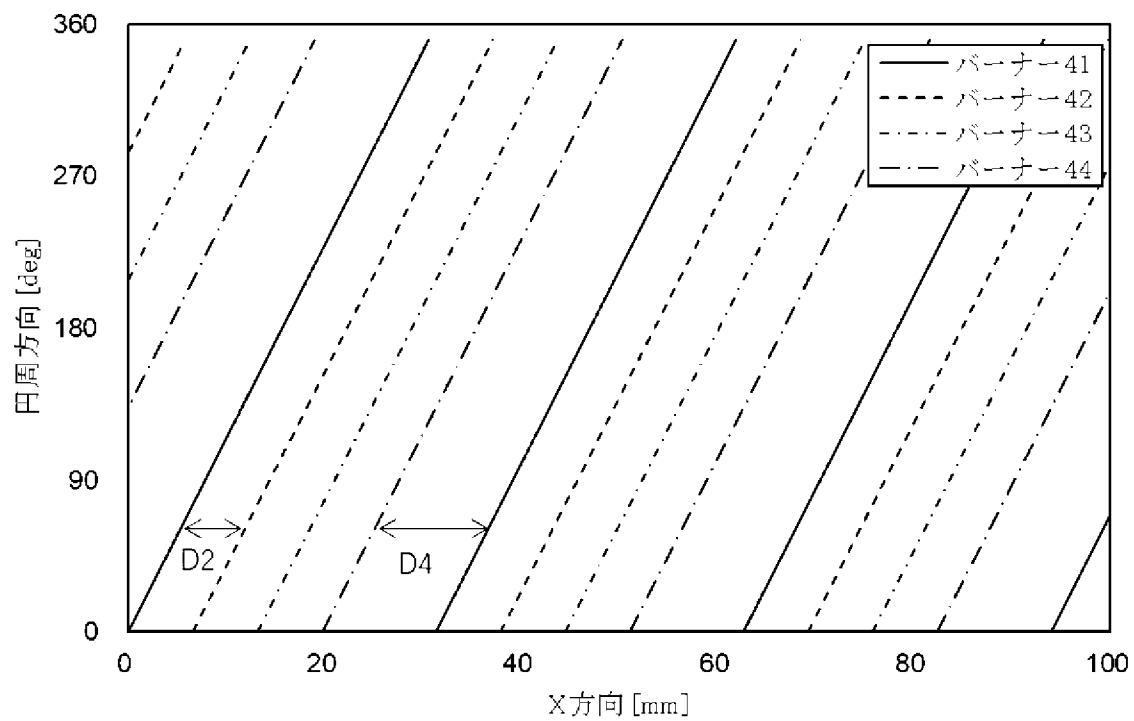
[図6B]



[図6C]



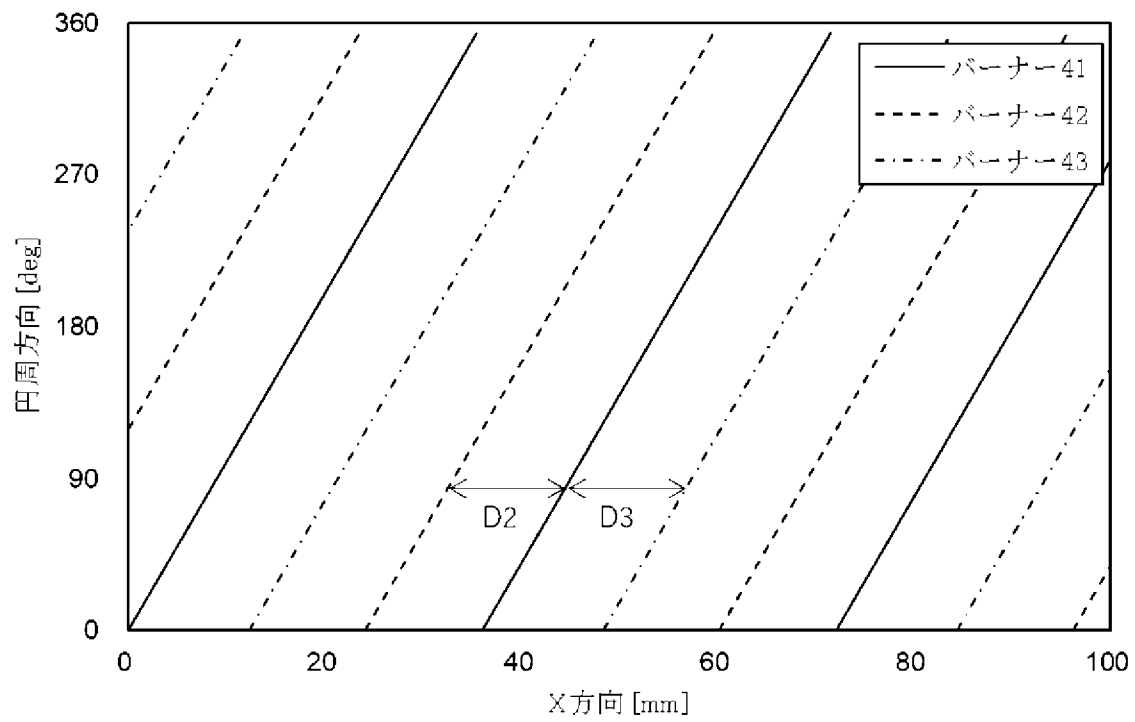
[図6D]



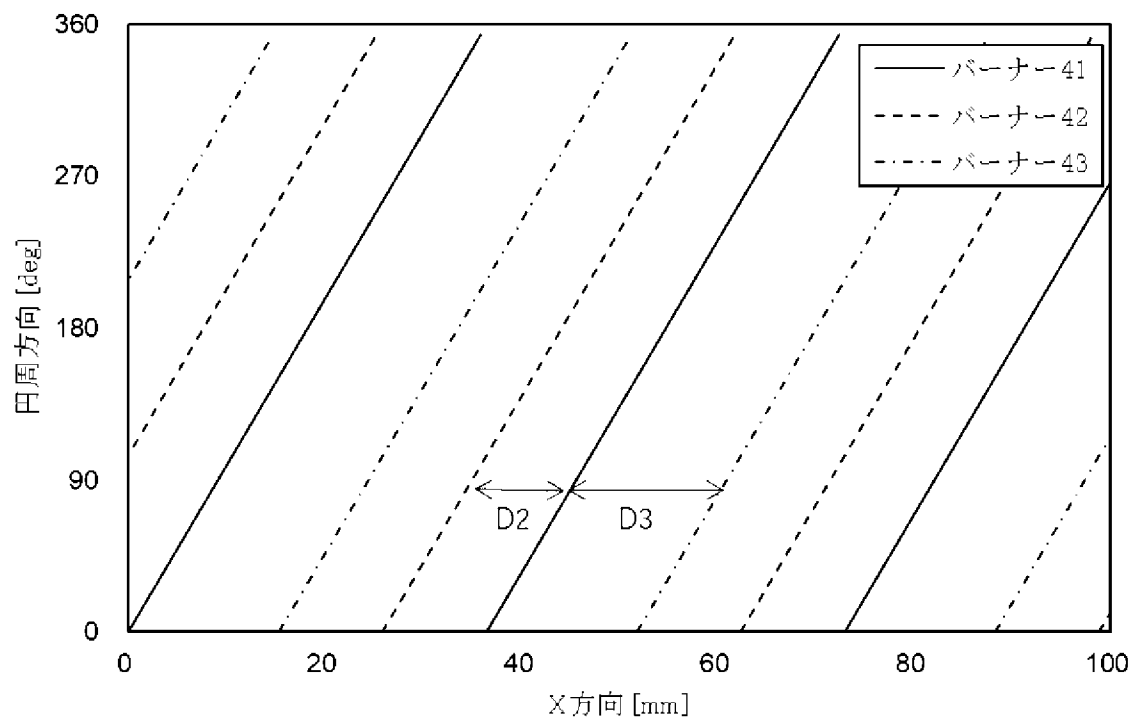
[図7]

	v	x	v/r	$\left \frac{dx}{L+x}\right $	$\frac{d- (N-1)dx }{L+x}$	$\frac{1-(N-1) x }{ x }$
(a)	708	0.39	35.40	13.81	7.79	0.56
(b)	712	0.37	35.61	13.18	9.26	0.70
(c)	714	0.36	35.71	12.86	10.00	0.78
(d)	721	0.33	36.04	11.89	12.25	1.03
(e)	727	0.30	36.36	10.91	14.55	1.33
(f)	729	0.29	36.47	10.58	15.32	1.45
(g)	736	0.26	36.81	9.57	17.67	1.85
(h)	882	-0.28	44.12	12.35	19.41	1.57
(i)	886	-0.29	44.28	12.84	18.60	1.45
(j)	889	-0.30	44.44	13.33	17.78	1.33
(k)	899	-0.33	44.94	14.83	15.28	1.03
(l)	909	-0.36	45.45	16.36	12.73	0.78
(m)	913	-0.37	45.63	16.88	11.86	0.70
(n)	916	-0.38	45.80	17.40	10.99	0.63

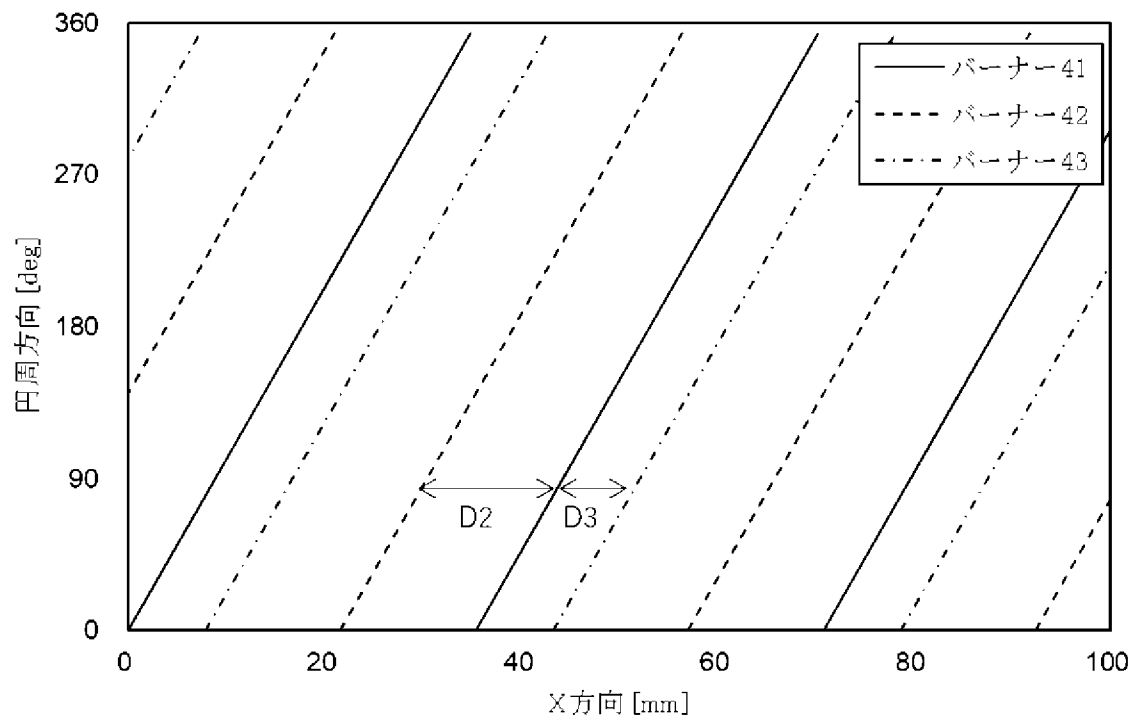
[図8A]



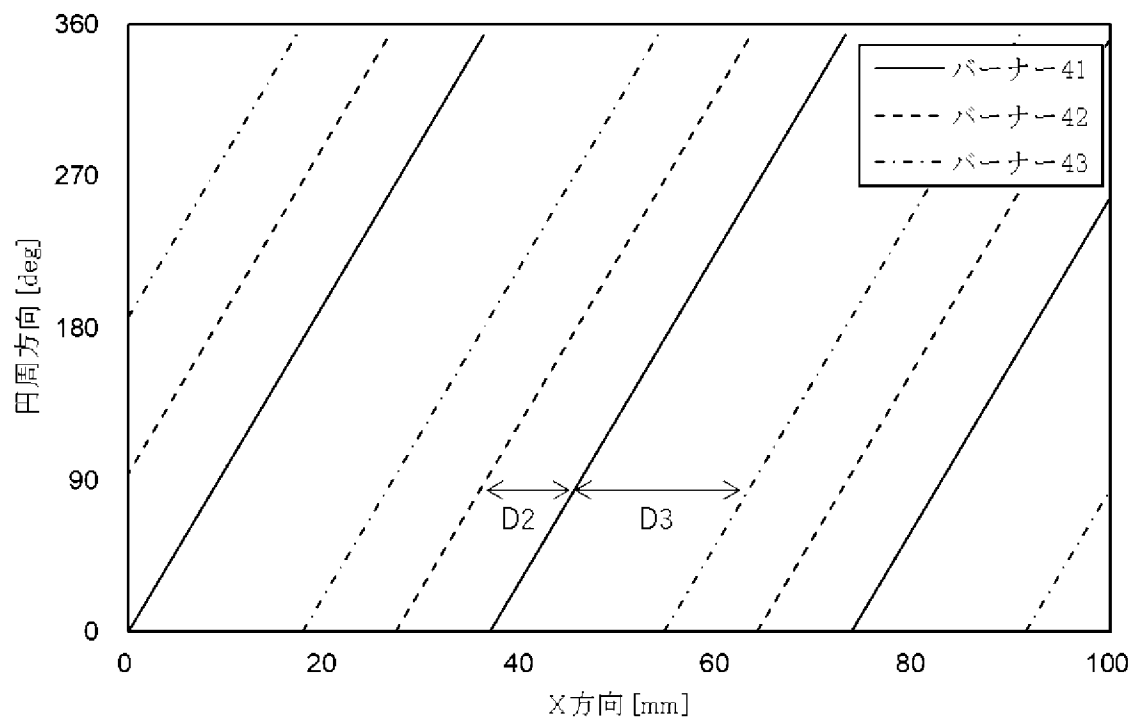
[図8B]



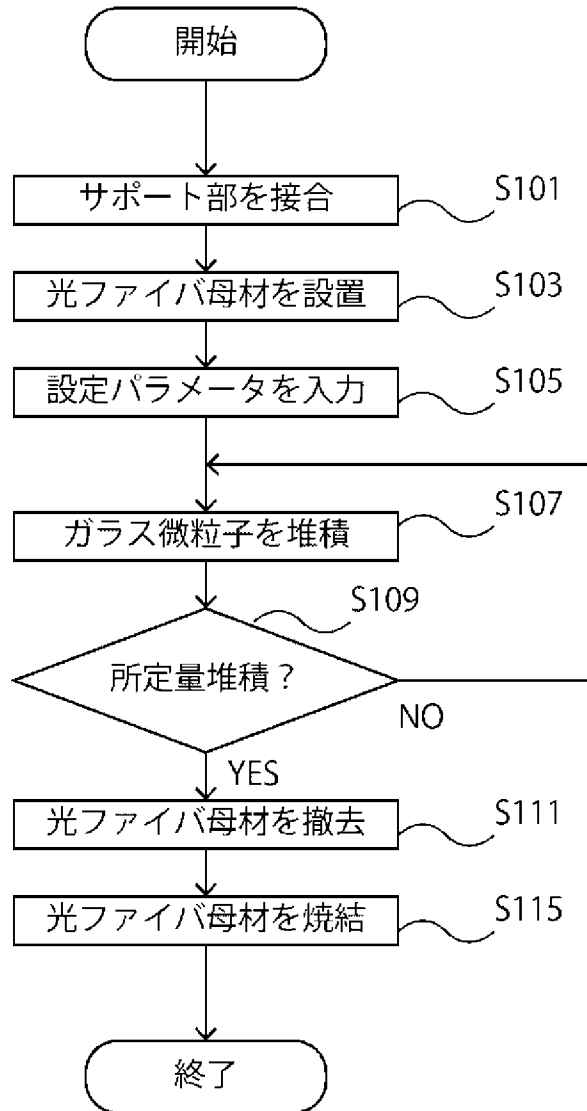
[図8C]



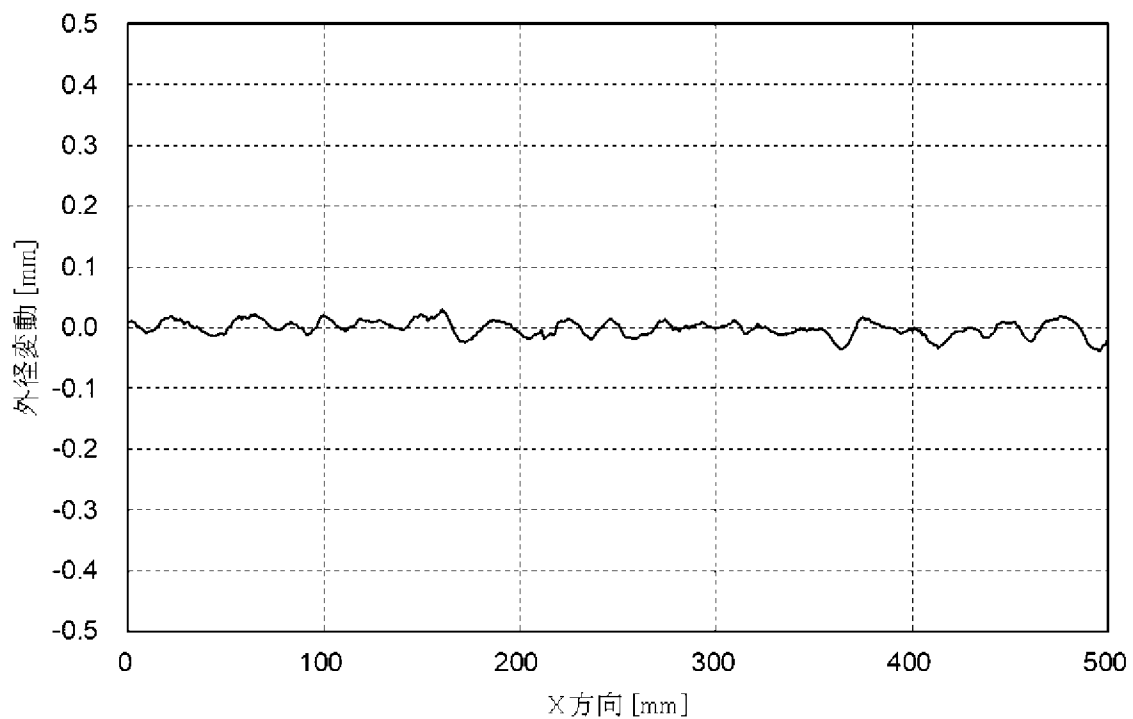
[図8D]



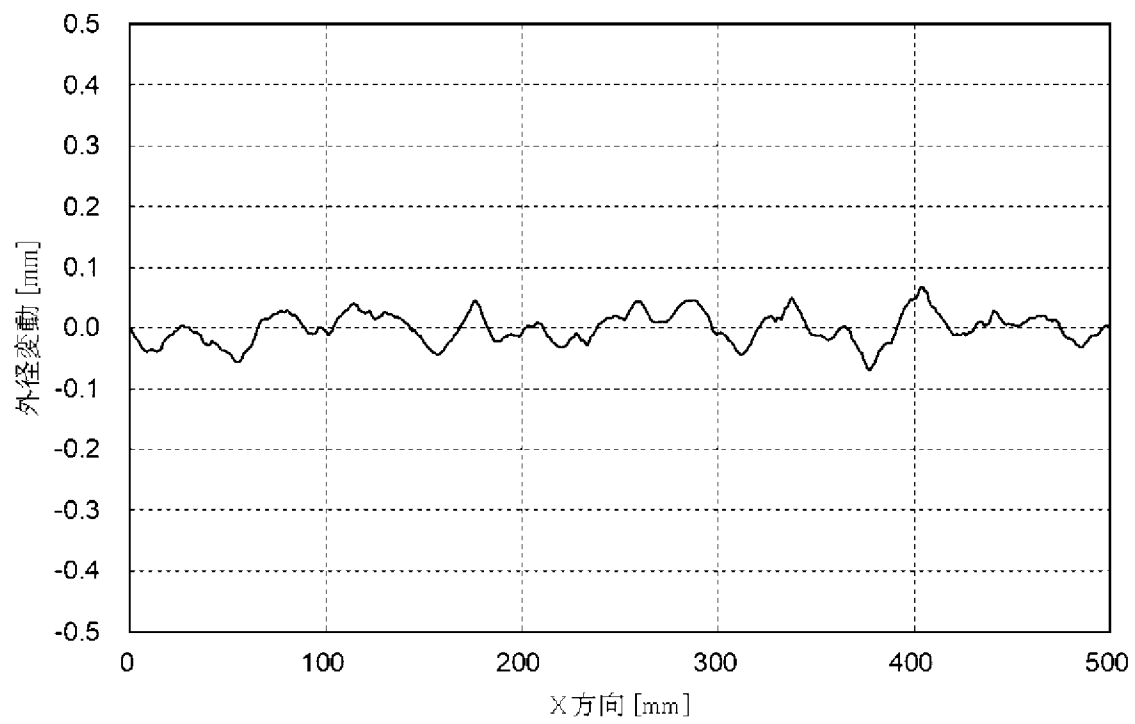
[図9]



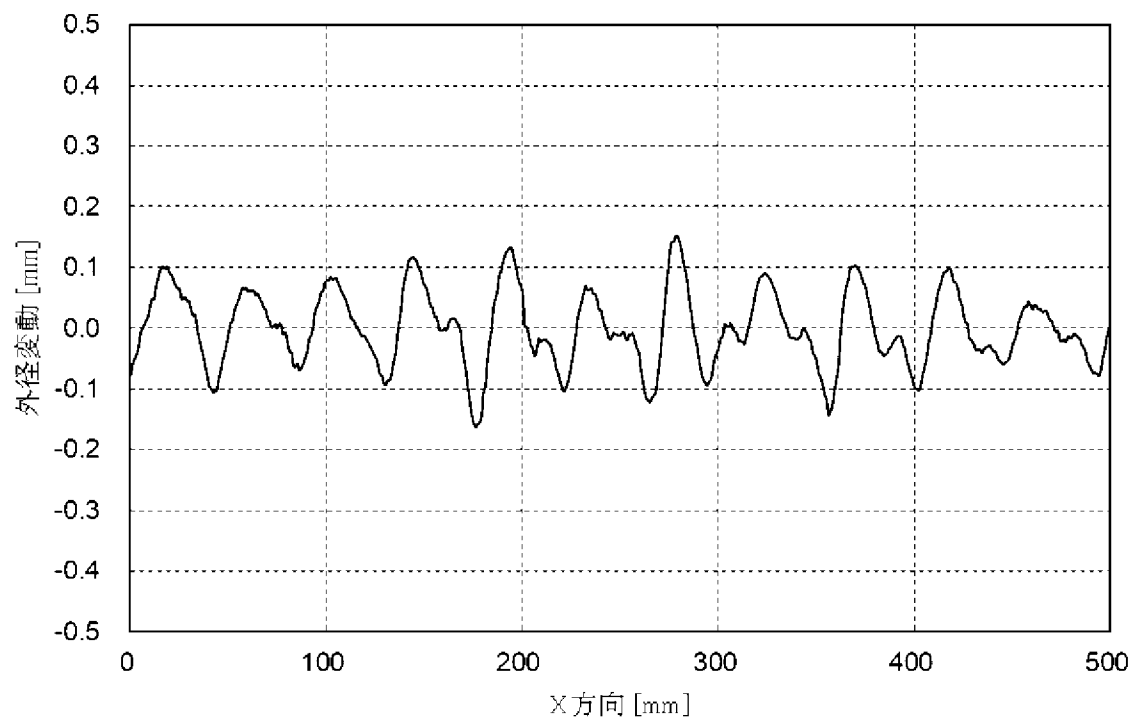
[図10A]



[図10B]



[図10C]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2023/025183

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER**C03B 37/018**(2006.01)i; **C03B 8/04**(2006.01)i

FI: C03B37/018 C; C03B8/04 C; C03B8/04 J

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)

C03B37/018; C03B8/04

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 1971-2023

Registered utility model specifications of Japan 1996-2023

Published registered utility model applications of Japan 1994-2023

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	JP 2022-18230 A (SHIN-ETSU QUARTZ PRODUCTS CO., LTD.) 27 January 2022 (2022-01-27)	1-9
A	JP 2013-43810 A (SUMITOMO ELECTRIC INDUSTRIES, LTD.) 04 March 2013 (2013-03-04)	1-9
A	JP 2003-81645 A (SUMITOMO ELECTRIC INDUSTRIES, LTD.) 19 March 2003 (2003-03-19)	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

“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

08 September 2023

Date of mailing of the international search report

26 September 2023

Name and mailing address of the ISA/JP

Japan Patent Office (ISA/JP)

3-4-3 Kasumigaseki, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8915

Japan

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.
PCT/JP2023/025183

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
JP	2022-18230	A	27 January 2022	US	2022/0017404	A1	
				CN	113943094	A	
				KR	10-2022-0009353	A	
JP	2013-43810	A	04 March 2013	(Family: none)			
JP	2003-81645	A	19 March 2003	(Family: none)			

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC）） C03B 37/018(2006.01)i; C03B 8/04(2006.01)i FI: C03B37/018 C; C03B8/04 C; C03B8/04 J										
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）） C03B37/018; C03B8/04										
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 <table border="0"> <tr> <td>日本国実用新案公報</td> <td>1922 - 1996年</td> </tr> <tr> <td>日本国公開実用新案公報</td> <td>1971 - 2023年</td> </tr> <tr> <td>日本国実用新案登録公報</td> <td>1996 - 2023年</td> </tr> <tr> <td>日本国登録実用新案公報</td> <td>1994 - 2023年</td> </tr> </table>			日本国実用新案公報	1922 - 1996年	日本国公開実用新案公報	1971 - 2023年	日本国実用新案登録公報	1996 - 2023年	日本国登録実用新案公報	1994 - 2023年
日本国実用新案公報	1922 - 1996年									
日本国公開実用新案公報	1971 - 2023年									
日本国実用新案登録公報	1996 - 2023年									
日本国登録実用新案公報	1994 - 2023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	JP 2022-18230 A（信越石英株式会社）27.01.2022（2022 - 01 - 27）	1-9								
A	JP 2013-43810 A（住友電気工業株式会社）04.03.2013（2013 - 03 - 04）	1-9								
A	JP 2003-81645 A（住友電気工業株式会社）19.03.2003（2003 - 03 - 19）	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。										
<table border="0"> <tr> <td> * 引用文献のカテゴリー “A” 特に関連のある文献ではなく、一般的技术水準を示すもの “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 </td> <td> “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抵触するものではなく、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 </td> </tr> </table>			* 引用文献のカテゴリー “A” 特に関連のある文献ではなく、一般的技术水準を示すもの “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抵触するものではなく、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						
* 引用文献のカテゴリー “A” 特に関連のある文献ではなく、一般的技术水準を示すもの “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抵触するものではなく、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 08.09.2023	国際調査報告の発送日 26.09.2023									
名称及びあて先 日本国特許庁(ISA/JP) 〒100-8915 日本国 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号	権限のある職員（特許庁審査官） 酒井 英夫 4T 9631 電話番号 03-3581-1101 内線 3465									

国際調査報告
パテントファミリーに関する情報

国際出願番号

PCT/JP2023/025183

引用文献			公表日	パテントファミリー文献			公表日
JP	2022-18230	A	27.01.2022	US	2022/0017404	A1	
				CN	113943094	A	
				KR	10-2022-0009353	A	
JP	2013-43810	A	04.03.2013	(ファミリーなし)			
JP	2003-81645	A	19.03.2003	(ファミリーなし)			