

平成21年度戦略的基盤技術高度化支援事業

『コリメータアレイ用光ファイバ母材の  
高精度切削研磨加工技術の開発』

研究開発成果等報告書

平成22年4月

委託者：北海道経済産業局

委託先：特定非営利活動法人

ホトニクスワールドコンソーシアム

## 目次

第1章 研究開発の概要.....	1
1-1 研究の概要 .....	1
1-2 研究の背景・目的及び目標.....	1
1-3 実施内容.....	2
1-3-1 光ファイバ母材の高精度切削研磨加工技術及び装置の開発.....	2
1-3-2 光ファイバ母材の外径・偏芯測定システム開発.....	3
1-3-3 研究全体の統括、プロジェクトの管理運営 .....	4
1-3-4 委託期間.....	4
1-4 研究体制.....	5
1-4-1 研究組織(全体).....	5
1-4-2 管理体制.....	5
1-4-3 管理員及び研究員.....	6
1-4-4 経理担当者及び業務管理者の所属、氏名員 .....	7
1-4-5 他からの指導・協力者名及び指導・協力事項.....	7
1-5 成果概要.....	8
1-6 当該研究開発の連絡窓口.....	8
第2章 本論.....	9
2-1 光ファイバ母材の高精度切削研磨加工技術及び装置の開発.....	9
2-1-1 光ファイバ母材の回転機構開発.....	9
2-2-2 切削研磨装置の発熱抑制機構開発.....	13
2-2 光ファイバ母材の外径・偏芯測定システム開発.....	15
2-2-1 外径・偏芯測定システム設計及び作製.....	15
2-2-2 外径・偏芯測定システム評価.....	17

# 第1章 研究開発の概要

## 1-1 研究の概要

高機能光スイッチとしてコリメータアレイの開発が求められているが、川下企業ではアレイ端部に接続するレンズ外径の歪みから製品化歩留まりが10%と低く、歪みの原因である原材料の光ファイバの外径公差を $0.25\text{mm} \pm 0.0001\text{mm}$ とする技術開発が課題となっている。この解決のため、本研究開発では、光ファイバ作製用母材の外径公差を $20\text{mm} \pm 0.01\text{mm}$ とするための高精度切削加工技術を開発する。

## 1-2 研究の背景・目的及び目標

光通信のブロードバンドネットワークの普及に伴い、多波長の光信号の切り替え用として、コリメータアレイの製品化が求められている。コリメータアレイは、光ファイバの先に平行光を空間伝送させるコリメータレンズを接続して作製したコリメータファイバを並べたもので、対向させたアレイの間にフィルターを挿入しスイッチ等に用いられる。

ここで、標準的な光ファイバは、光信号を長距離伝送するための伝送路で、特に光を平行光にする機能は無い。コリメータファイバは、光ファイバの端部に光ファイバから出射した光を平行にする機能を備えたコリメータレンズが取り付けられたもので、光スイッチ等に用いられている。コリメータアレイは、コリメータファイバを並列に並べ多チャンネル化したもので、通信の大容量化等のニーズに対応した小型の多チャンネル製品である。

川下企業の研究開発により、小型で高性能(8芯寸法=W4mm×H3mm×L10mm、空間伝送損失=1dB/10mm)なコリメータアレイの試作品を開発した。川下企業が開発したコリメータアレイは、V溝と呼ばれる固定具に並べて作製するが、V溝の間隔が $0.25\text{mm} \pm 0.0001\text{mm}$ と定められているため、レンズの外径をこの基準値に収めることが不可欠となっている。しかし、現状ではレンズ作製用光ファイバの外形公差が $0.25\text{mm} \pm 0.001\text{mm}$ でV溝にフィットするレンズの作製歩留まりが10%と低いいため、光ファイバの外径公差を基準値内に収めるための切削研磨加工技術の開発を求めている。

本研究開発では、光ファイバの外径公差が光ファイバ作製用母材の外径公差に影響されることから、①光ファイバ母材の外径公差を従来の $\phi 20 \pm 0.1\text{mm}$ から1/10である $\phi 20 \pm 0.01\text{mm}$ に向上させる、また、光ファイバ母材の長さが4倍になると、線引きした際の光ファイバの長さは16倍(4<sup>2</sup>倍)になることから、光ファイバの製品化効率を向上させるために②被研磨体の長さを、従前の加工限界長である10cmから4倍の40cmとする、ことを目標に、従前のガラス加工技術を応用加工し、難削材である光ファイバ母材(石英棒)に対応した切削研磨加工技術を開発することを目的とする。表1に本研究による高度化目標をまとめる。

表1 本研究による高度化目標

	従来技術	本研究開発
光ファイバ母材外径公差	$\phi 20 \pm 0.1\text{mm}$	$\phi 20 \pm 0.01\text{mm}$
切削研磨加工限界	10cm	40cm

### 1-3 実施内容

#### 1-3-1 光ファイバ母材の高精度切削研磨加工技術及び装置の開発

従来のオスカー式研磨装置では、定盤の外周部分に対して中心部分が3倍程度多く削られてしまう研磨ムラが生じる。この研磨量の差によって、研磨加工後の外径公差目標値である $\pm 0.01\text{mm}$ の達成は極めて困難なものとなっている。この問題を解決するために、光ファイバ母材を自転(転がり回転)及び公転(プロペラ回転)運動させながら切削研磨を行う。これによって、定盤上で研磨ムラがあったとしても、母材が公転することにより、研磨量の多い箇所、少ない箇所を移動しながら平均的に切削研磨加工されるので、研磨ムラを解消することができ、外径公差目標値 $\pm 0.01\text{mm}$ が実現可能となる。本項目では、回転機構を有する切削研磨装置で加工した光ファイバ母材の外径公差が $\pm 0.01\text{mm}$ 以下を達成することを技術的目標値とする。

オスカー式切削研磨加工装置の定盤の熱による変形は、加工後の光ファイバ母材の外形公差に大きく影響する。仮に定盤が $0.1\text{mm}$ 歪んだとすると、光ファイバ母材の外形公差は定盤の歪み量と同程度である $\pm 0.1\text{mm}$ になってしまう。従って、光ファイバ母材外径の高精度化を図るためには定盤の熱による変形を最小化する必要がある。本項目では、オスカー式切削研磨加工装置の定盤変形の原因となる筐体内外の温度差を、従来の $\pm 5\sim 10^\circ\text{C}$ から $\pm 0.5^\circ\text{C}$ とする。

#### (1) 光ファイバ母材回転機構開発

##### 研究開発手段及び手法

母材の外径公差を、目標値である $\pm 0.01\text{mm}$ 以下にするために必要な回転機構の設計を行う。装置開発後は、実機を用いて目標値達成のための実証試験を実施する。実施内容の詳細は以下の通り。

##### (1)-1 ギア付きホルダ設計

切削研磨加工時に、加工位置が最も平均化される構造の設計を行う。設計はCAEツールを用いて行うほか、実機を用いた検証も行い、技術的目標値である母材の外径公差 $\pm 0.01\text{mm}$ の達成を目指す。(CIST、PSTI、共立鉄工所)

**研究場所**: 共立鉄工所内『Fiber Laser R&D Center』(最寄駅:長都駅)  
千歳科学技術大学(最寄駅:南千歳駅)

##### (1)-2 回転機構の評価

回転機構を付加した切削研磨装置を用いて光ファイバ母材の加工を行い、その前後での研磨量の評価を1-3-2の項目で開発する外径検査装置を用いて行う。(共立鉄工所、PSTI)

**研究場所**: 共立鉄工所内『Fiber Laser R&D Center』(最寄駅:長都駅)

##### (1)-3 研磨材の濃度調整

研磨材の濃度は、一般的なガラスでは凡そ20%(溶液と酸化セリウムとの重量比)とされているが、光ファイバ母材のような高純度な合成石英ガラスでは、この数値が最適であると明らかにされていない。本項目では、母材の外径公差目標のほか、表面が最も平滑になるような研磨材の濃度を明らかにする。また、光ファイバ母材の外径粗研削装置を用いて、外径の粗調整に最適な研磨材濃度を明らかにする。(PSTI、共立鉄工所)

**研究場所**: 共立鉄工所内『Fiber Laser R&D Center』(最寄駅:長都駅)

## (2) 切削研磨装置の発熱抑制機構開発

### 研究開発手段及び手法

加工対象である母材がガラスであるのに対して、加工装置は金属であるため線膨張係数が一桁大きい。これは加工中に装置の温度が変化してしまうと加工精度が低下することを意味している。本項目では加工中における装置の発熱の抑制機構の開発を行い、母材の外径公差目標である $\pm 0.01\text{mm}$ 以下の達成を目指す。実施内容の詳細は以下の通り。

### (2)－1 外気の吸気循環機構の設計

切削研磨装置の解析モデルを作製し、『ANSYS Multiphysics』を用いて熱流体解析を行い、外気温に関係なく、筐体内外温度差が $\pm 0.5^\circ\text{C}$ となる①回転主軸の形状、②回転主軸長さ、③吸気量、④筐体内部形状を明らかにする。(CIST、PSTI、共立鉄工所)

研究場所: 千歳科学技術大学(最寄駅:南千歳駅)

### (2)－2 吸気循環機構の機能評価

外気の吸気循環機構の設計を反映した装置を用いて、筐体内部の温度分布計測及び切削研磨装置の定盤温度分布測定、実機を用いた光ファイバ母材切削研磨試験及び加工後の光ファイバ母材外径評価を実施し、本機構の有効性を確認する。(共立鉄工所、PSTI)

研究場所: 共立鉄工所内『Fiber Laser R&D Center』(最寄駅:長都駅)

### 数値目標

「1-3-1 光ファイバ母材の高精度切削研磨加工技術及び装置の開発」では、以下の数値を達成することを目標とする。

- ・ 外径公差:  $20 \pm 0.01\text{mm}$  以下
- ・ 母材長さ: 40cm

## 1-3-2 光ファイバ母材の外径・偏芯測定システム開発

従来、円柱形及び円筒形材料の直径は、ノギスを用いた接触式手法で行っていたが、この方法では、ある一定間隔での直径測定になるため直径の未計測箇所が生じてしまい、計測データの信頼性や精度にかける点や、真円度は評価できないなどの課題があった。本事業では光ファイバ母材の外径公差を $\pm 0.01\text{mm}$ 以下にするため、外径・偏芯測定の高精度化が必要になる。そこで本項目では、従来に無いレーザー光を用いた非接触式外径・偏芯測定システムの開発を行い、技術的目標値を以下のように設定する。尚、技術的目標値は、母材長が400mmより多少前後する可能性がある点、調達可能な母材の外径が一定ではない点、を考慮して、1-3-1の外径公差及び母材長さの数値目標よりも余裕を持たせた数値に設定する。

- ・ 測定可能母材長 : 最大 500mm
- ・ 測定可能母材直径 : 最大 30mm
- ・ 測定精度 :  $\pm 0.001\text{mm}$  以下

### 研究開発手段及び手法

光ファイバ母材の外径・偏芯測定システムは一般には市販されていないため、加工した光ファイバ母材の外径公差及び偏芯を確認するためには、外形・偏芯測定システムを新たに開発する必要がある。本項目では以下についての検討を行い、光ファイバ母材のような透明材の被接触外径・偏芯測定システムの開発及び、実機を用いた実証試験を実施する。

### (1) 外径・偏芯測定システム設計及び作製

外径・偏芯測定システムの設計として、外径計測用レーザヘッドの選定、光ファイバ母材送り用の直動ステージ選定、回転ステージの選定を行う。また、制御プログラムの作成を行い、基本動作確認を行う。また、光ファイバ母材のコアの偏芯量を測定するための手法の検討及び設計、作製を行う。(PSTI)

**研究場所**: 共立鉄工所内『Fiber Laser R&D Center』(最寄駅:長都駅)  
千歳科学技術大学(最寄駅:南千歳駅)

### (2) 外径・偏芯測定システム評価

外径・偏芯測定システム作製後、実機を用いて切削研磨加工を行った光ファイバ母材の外径及び偏芯の測定を行うほか、石英棒等を用いて外径及び偏芯の測定の予備検討を行う。検査項目は、①外径均一性、②真円度、③偏芯量である。また測定結果の信頼性を確認するために、接触式計測、画像処理計測などでクロスチェックを行う。さらに、外径公差を  $20 \pm 0.01\text{mm}$  以下に抑えた光ファイバ母材或いは石英棒の線引きを行い、川下ニーズを満足する結果である  $0.25 \pm 0.0001\text{mm}$  が得られたかについても検討を行う。尚、母材の外径公差は線引き後の光ファイバの外径に比例して小さくなり、線引き後の光ファイバの直径が母材の直径の  $1/100$  になると、外径公差も  $1/100$  となることを実験で確認している。従って、光ファイバの外径公差を  $0.25 \pm 0.0001\text{mm}$  にしたい場合は、母材の外径を  $20 \pm 0.01\text{mm}$  にすれば良いこととなる。(CIST、共立鉄工所、PSTI)

**研究場所**: 共立鉄工所内『Fiber Laser R&D Center』(最寄駅:長都駅)

### 数値目標

「1-3-2 光ファイバ母材の外径・偏芯測定システム開発」では、以下の数値を達成することを目標とする。

- ・ 測定可能母材長 : 最大 500mm
- ・ 測定可能母材直径 : 最大 30mm
- ・ 測定精度 :  $\pm 0.001\text{mm}$  以下

### 1-3-3 研究全体の統括、プロジェクトの管理運営

研究開発の進捗管理、成果報告書の作成、今後の研究課題に向けて進めるべき方向などを議論する研究開発委員会を開催する。

**実施場所**: 千歳アルカディア・プラザ内『PWC 事務局』(最寄駅:南千歳駅)

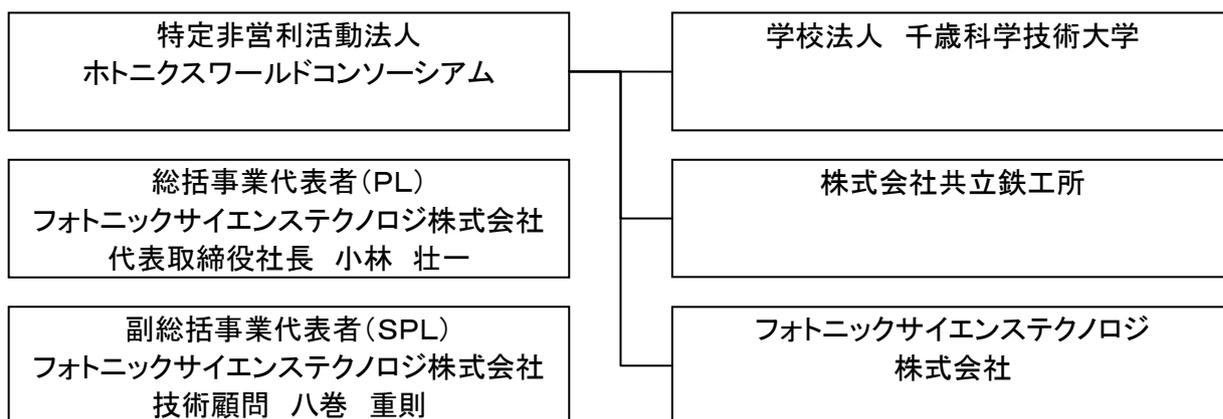
※ PSTI: フォトニクスサイエンステクノロジー(株)、CIST: 千歳科学技術大学、PWC: ホトニクスワールドコンソーシアム

### 1-3-4 委託期間

契約締結日から平成22年4月30日迄

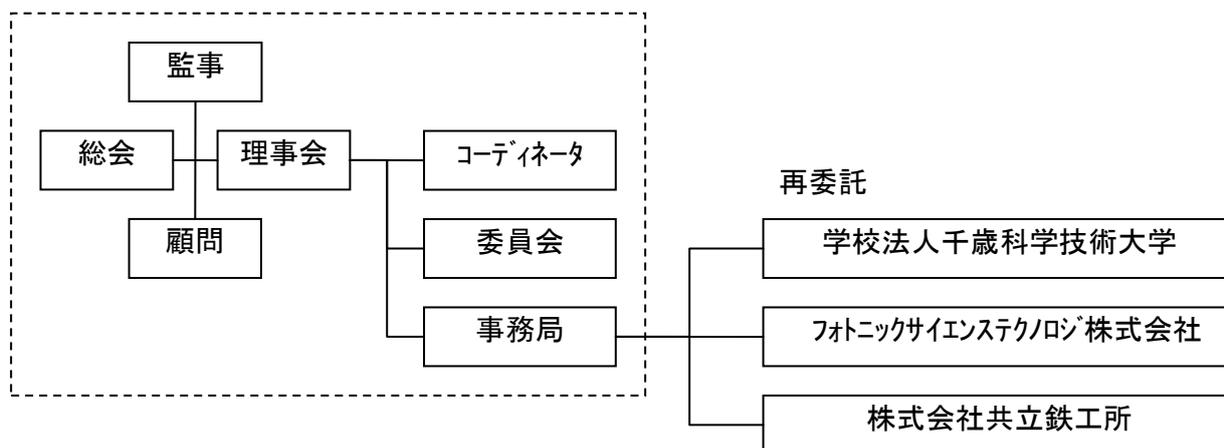
## 1-4 研究体制

### 1-4-1 研究組織(全体)



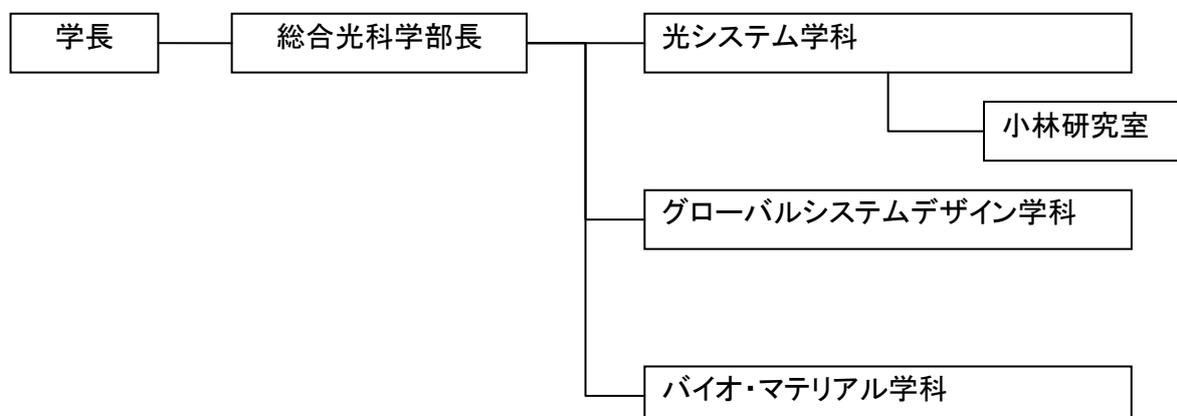
### 1-4-2 管理体制

#### ① 管理法人(特定非営利活動法人 ホトニクスワールドコンソーシアム)



#### ② 再委託先

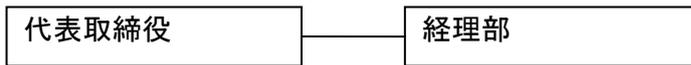
- 学校法人千歳科学技術大学



・ フォトニックサイエンステクノロジー株式会社



・ 株式会社共立鉄工所



1-4-3 管理員及び研究員

【事業管理者】特定非営利活動法人ホトニクスワールドコンソーシアム

①管理員

氏名	所属・役職	実施内容(番号)
小林 壮一	総括事業代表者	③
坂本 捷男	プロジェクトコーディネータ	③
八巻 重則	副総括事業代表者	③
安保 一企	事務局長	③
磯崎 徹	事務局次長	③
山根 祥二	事務局書記	③

【再委託先】※研究員のみ

フォトニックサイエンステクノロジー株式会社

氏名	所属・役職	実施内容(番号)
小林 壮一	代表取締役社長	①-1-1、2、3 ①-2-1、2 ②-1、2
梶川 泰典	研究員	①-1-1、2、3 ①-2-1、2 ②-1、2
須田 俊央	技術主任	①-1-1、2、3 ①-2-1、2 ②-1、2
藤井 雄介	技術主任	①-1-1、2、3 ①-2-1、2 ②-1、2

株式会社共立鉄工所

氏名	所属・役職	実施内容(番号)
三ツ野 仁	代表取締役	①-1-1、2、3 ①-2-2 ②-2
新関 健士	部長	①-1-2、3 ①-2-2 ②-2
三ツ野 亮	次長	①-1-2、3 ①-2-2 ②-2
三ツ野 豪	課長	①-1-2、3 ①-2-2 ②-2

学校法人千歳科学技術大学

氏名	所属・役職	実施内容(番号)
小林 壮一	光システム学科・教授	①-1-1 ①-2-1 ②-2

1-4-4 経理担当者及び業務管理者の所属、氏名

(事業管理者)

特定非営利活動法人ホトニクスワールドコンソーシアム

(経理担当者) 事務局次長 磯崎 徹

(業務管理者) 事務局長 安保 一企

(再委託先)

フォトニックサイエンステクノロジー株式会社

(経理担当者) 取締役副社長 坂本 捷男

(業務管理者) 代表取締役社長 小林 壮一

株式会社共立鉄工所

(経理担当者) 取締役 三ツ野 久子

(業務管理者) 代表取締役 三ツ野 仁

学校法人千歳科学技術大学

(経理担当者) 事務局研究推進課長 大沼 友一郎

(業務管理者) 学長 雀部 博之

1-4-5 他からの指導・協力者名及び指導・協力事項

【アドバイザー】

氏名	所属・役職	備考
埴 文明	NTTエレクトロニクス株式会社・フォトニクス事業本部 光回路事業部 製造部(兼) 第2設計部 部長	
佐々木 恵逸	北日本電線株式会社・光デバイス事業部 研究グループ リーダー	
山下 悠斗	北日本電線株式会社・光デバイス事業部 研究グループ	

#### 1-5 成果概要

従来の光ファイバ母材の外径公差を $\phi 20\text{mm} \pm 0.1\text{mm}$ から $\pm 0.01\text{mm}$ 以下、及び加工限界長を100mmから400mmにする為、母材を自転・公転させながら研磨する両面研磨装置を開発した。

実機を用いて光ファイバ母材を研磨した結果、直径 $\phi 20\text{mm}$ ・長さ400mmの母材の外径公差を $\pm 0.003\text{mm}$ にすることができた。これにより、本研究の数値目標の1つ目である、外径公差 $\pm 0.01\text{mm}$ 以下・母材長さ40cmを達成することができた。

また、研磨した光ファイバ母材の外径を高精度に測定する為、外径測定装置を開発した。本装置の測定範囲は直径 0.08~30mm、長さ10~1000mmまでとし、0.1 $\mu\text{m}$ 単位での測定が可能である。これにより、本研究の数値目標の2つ目である、測定可能母材長:最大500mm、測定可能母材直径:最大30mm、測定精度: $\pm 0.001\text{mm}$ 以下を達成することができた。

#### 1-6 当該研究開発の連絡窓口

フットニックサイエンステクノロジー株式会社 坂本 捷男

TEL:0123-42-0575/FAX:0123-42-0576

E-mail:jimu@psti7.com

## 第2章 本論

### 2-1 光ファイバ母材の高精度切削研磨加工技術及び装置の開発

#### 2-1-1 光ファイバ母材の回転機構開発

##### (1) ギア付きホルダ設計

まず開発した両面研磨装置の概要について述べる。図1に示すように本装置は研磨用定盤を上下に設置し、下定盤上にギア付きホルダ(キャリア)を据付ける構造となっている。定盤とキャリアは回転する機構になっており、上定盤は右回り、下定盤及びキャリアは左回りに回転する。上定盤と下定盤とキャリアの回転比率は、キャリアに対する下定盤の仕事量と上定盤の仕事量を等しくする様、設計を行っている。研磨液は外付けのタンクから循環ポンプで上定盤上にある研磨液供給口へ運ばれ、そこからチューブを通り上定盤から滴下される。研磨中に下定盤から流れ落ちた研磨液は、装置横にあるホースを通り外付けのタンクに戻るようになっている。

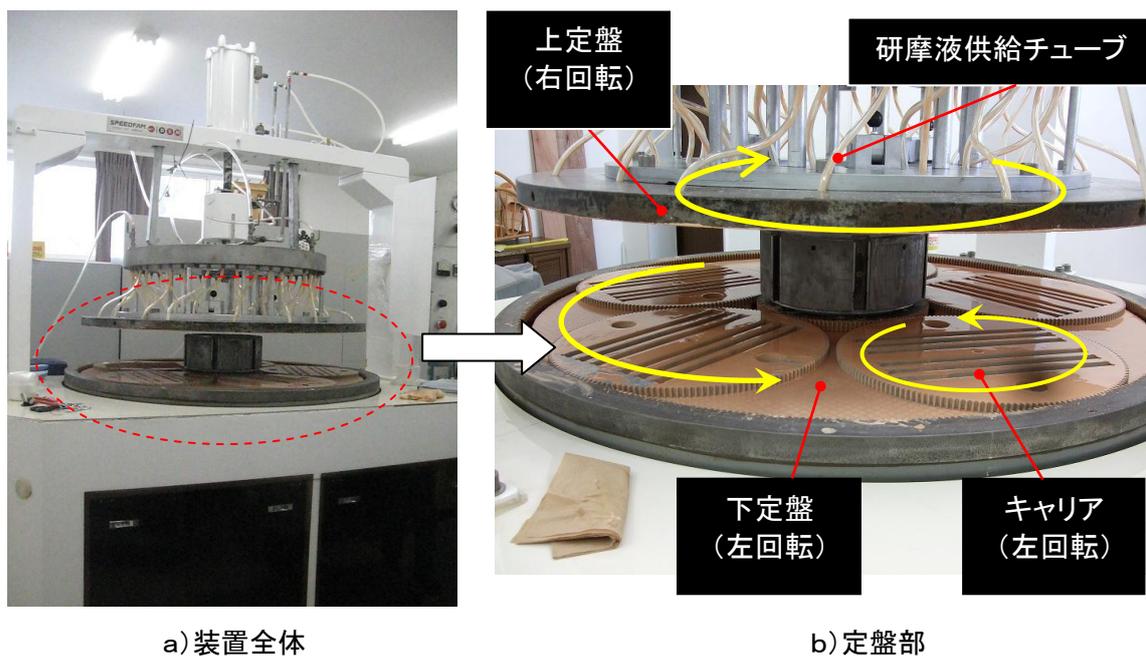


図1. 両面研磨装置

次に作製したキャリアを図2に示す。研磨時に母材(φ 20mm、長さ40cm)が自転できるように、母材よりも数mm程度大きく穴を開けている。材質は研磨面にキズやカケが入らないように、プラスチックの材質を選択した。ギア数は上記の回転最適比率が成り立つように設計を行った。1枚のキャリアには最大本の母材を置けるようになっており、これを下定盤上に5枚据付けて母材を研磨する。

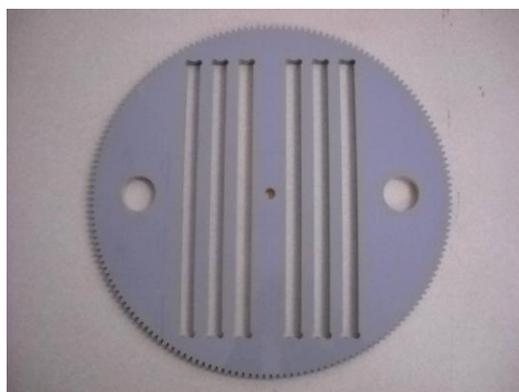


図2. 作製したキャリア

## (2) 回転機構の評価

両面研磨装置で母材を研磨する時には、装置に投入するすべての母材の外径バラつき、及び外径公差が $30\mu\text{m}$ 以下になっている必要がある。外径バラつきが大きいと母材に上定盤の圧力が均等にかからず、研磨中に母材を破損してしまう恐れがある為である。

そこで、旋盤型研磨装置を用いて母材を外削し、母材の外径公差の大まかな修正を行う。使用した旋盤型研磨装置を図3に示す。旋盤型研磨装置はナイロンブラシ、又は研磨布を用いて研磨を行い、研磨材は酸化セリウムを使用する。研磨材については、2-1-1(3)にて詳細を述べる。ナイロンブラシは被研磨物の形状にならって研磨していくが、研磨布は板状の治具に張り付けて使用する為、外径の太い個所から順に研磨される。したがって、外径が凸状になっている部分の研磨には研磨布が有効である。

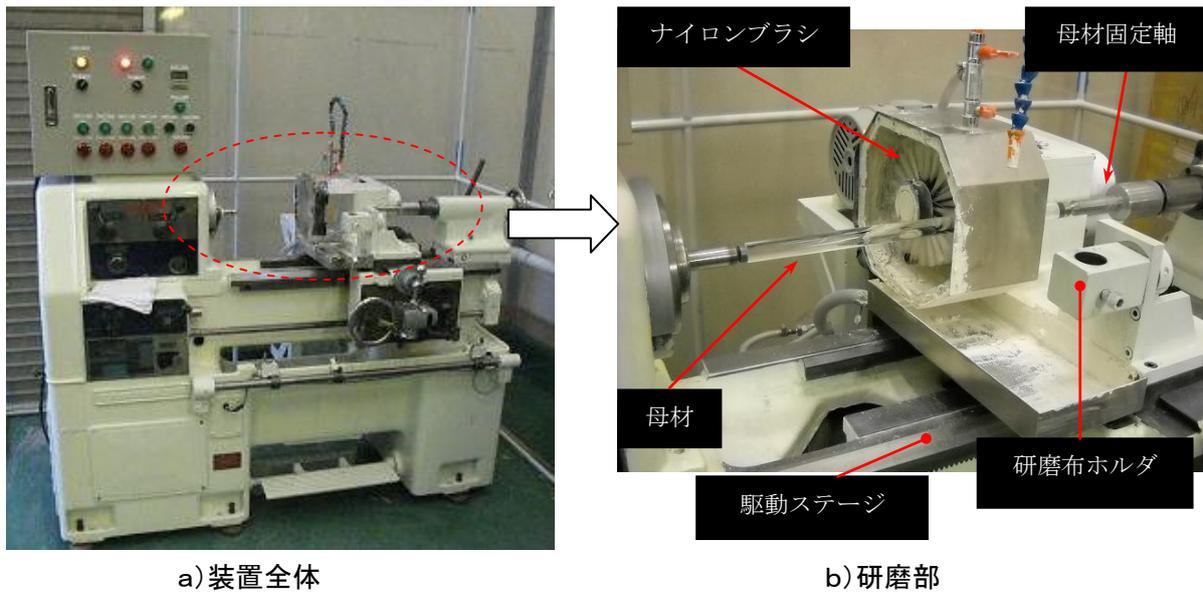


図3. 外削用旋盤型研磨装置

実際に旋盤型研磨装置を用いて外削した結果を図4に示す。外削前には外径公差が $70\mu\text{m}$ であったが、外削後には $30\mu\text{m}$ となった。

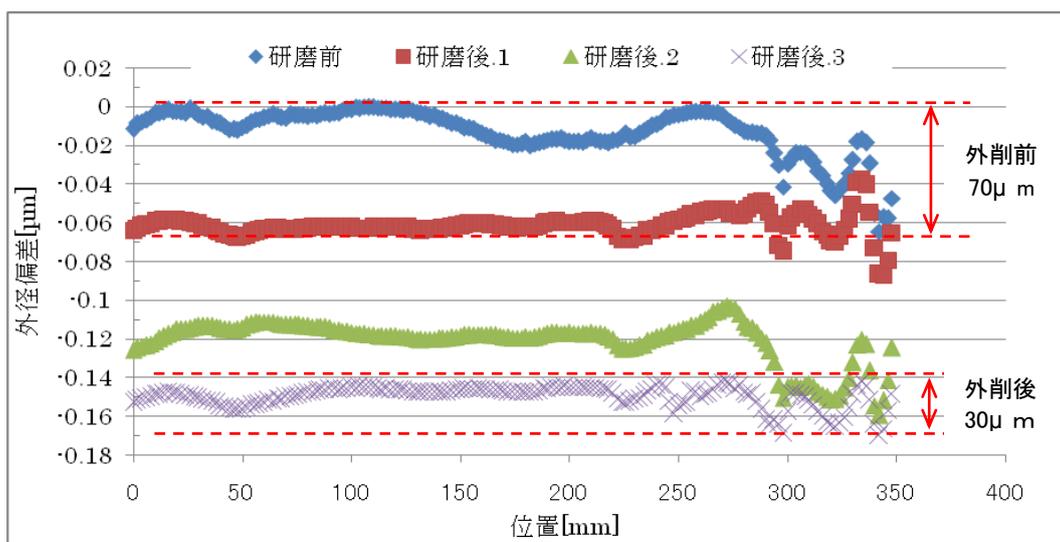


図4. 旋盤型研磨装置外削結果

続いて、外径公差が $30\mu\text{m}$ 以下となった母材を両面研磨装置に投入して研磨を行った。研磨材は旋盤型研磨装置と同様に酸化セリウムを使用した。この時の研磨条件は、研磨材濃度25%、上定盤圧力4.8kgf/本、下定盤回転数25rpmである。研磨条件については、研磨材同様2-1-1(3)にて詳細を述べる。研磨結果を図5、及び表1に示す。結果の通り、研磨後120分で外径公差は約 $\pm 0.009\text{mm}$ となり、最終的には母材外径公差は約 $\pm 0.003\text{mm}$ となった。これにより、本項目の目標値である外径公差 $\pm 0.01\text{mm}$ 以下、及び母材長さ40cmを達成したことを確認した。

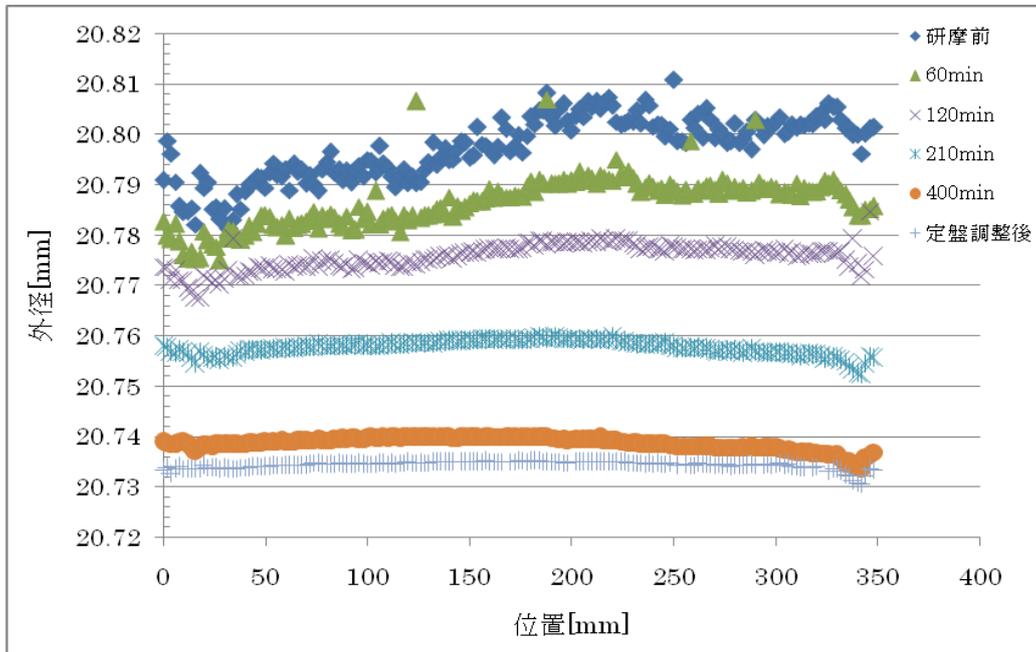


図5. 両面研磨装置研磨結果(1)

表1. 両面研磨装置研磨結果(2)

母材外径	研磨前	60min	120min	210min	400min	定板調整後
最大値	20.8107	20.8069	20.7847	20.7601	20.7400	20.7353
最小値	20.7812	20.7750	20.7675	20.7523	20.7337	20.7305
外径差*	0.0295	0.0319	0.0172	0.0078	0.0063	0.0048

\*外径差=最大値-最小値

単位:mm



図6. 研磨後の母材

### (3) 研磨材の濃度調整

本項目では両面研磨装置を用いて研磨する場合の研磨材の濃度、及び両面研磨装置の上定盤圧力、下定盤回転速度について最適化を図った。

研磨材は、昭和電工株式会社の『SHOROX(グレード:A-10)』を使用した。研磨材の粒度分布は $1.2\mu\text{m}\sim 1.8\mu\text{m}$ 、用途は光学ガラス等、各種ガラスの研磨となっている。また、このグレードは研磨レートと面品質のバランスが取れているという特徴がある。粒度分布が $1\mu\text{m}$ 以下のグレードもあるが、これは高精度の面仕上げを目的としており研磨レートが低い。本研究では、母材の表面が鏡面(目視でキスが無い程度)になれば良く、高精度な仕上げ面を必要としない為、研磨レートが高いグレード:A-10を選択した。

研磨材の濃度は、一般的なガラスの場合で凡そ20%(溶液と酸化セリウムとの重量比)とされていることから、まず研磨材の濃度を15%とし、上定盤圧力と下定盤回転速度を変数にして1時間当たりの研磨量を測定した。測定結果を図7に示す。測定結果より、上定盤圧力、及び下定盤回転速度の増加に伴い研磨量が増加するのがわかる。上定盤圧力については、 $6\text{kgf/本}$ の時に研磨装置に大きな振動が生じ、母材の破損や装置の故障を懸念した為、最適値を $4.8\text{kgf/本}$ とした。同様に、下定盤回転速度についても、 $30\text{rpm}$ の時に大きな振動が生じた為、 $25\text{rpm}$ を最適値とした。

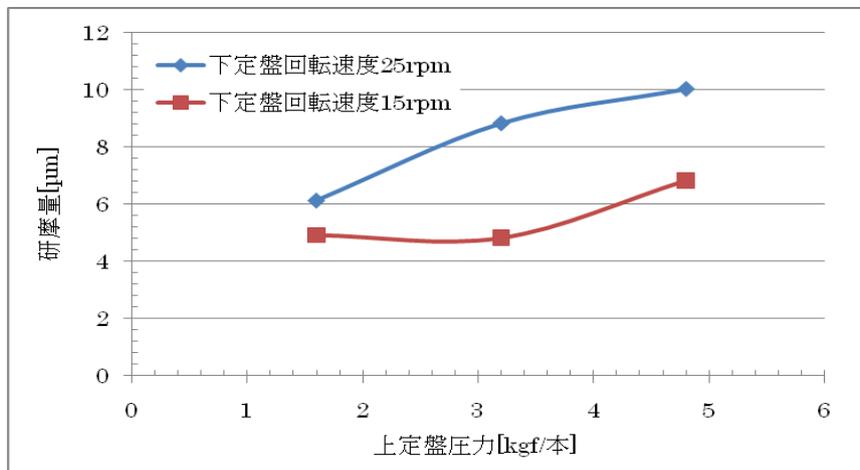


図7. 研磨材濃度15%時の研磨量

次に上定盤圧力と下定盤回転速度を各々最適値に設定し、研磨材の濃度を変数にして1時間当たりの研磨量を測定した。濃度は15%から10%ずつ上げていき35%まで測定した。45%では研磨液供給チューブの詰まりが激しく、測定結果を得ることはできなかった。測定結果を図8、及び表2に示す。測定結果より、濃度が35%付近から研磨量が飽和するような傾向が読み取れる。しかし、35%でも研磨液供給チューブが2本/40本詰まってしまった為、研磨材の濃度については25%を最適値とした。

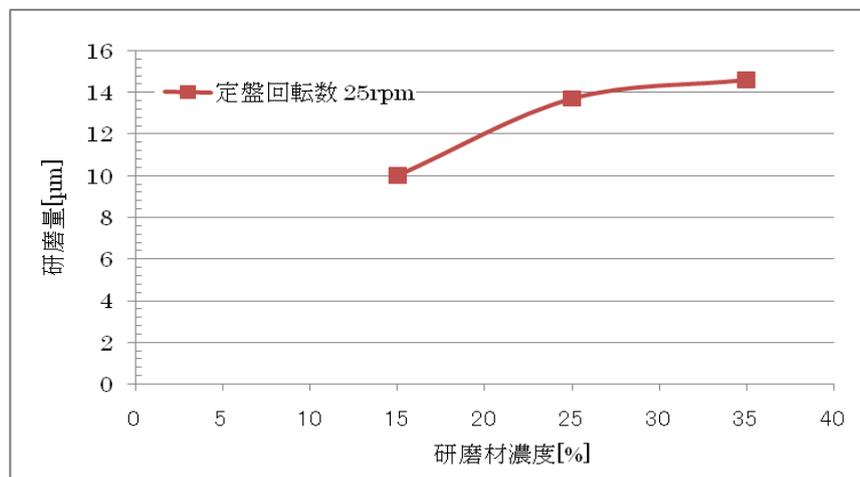


図8. 研磨材濃度による研磨量

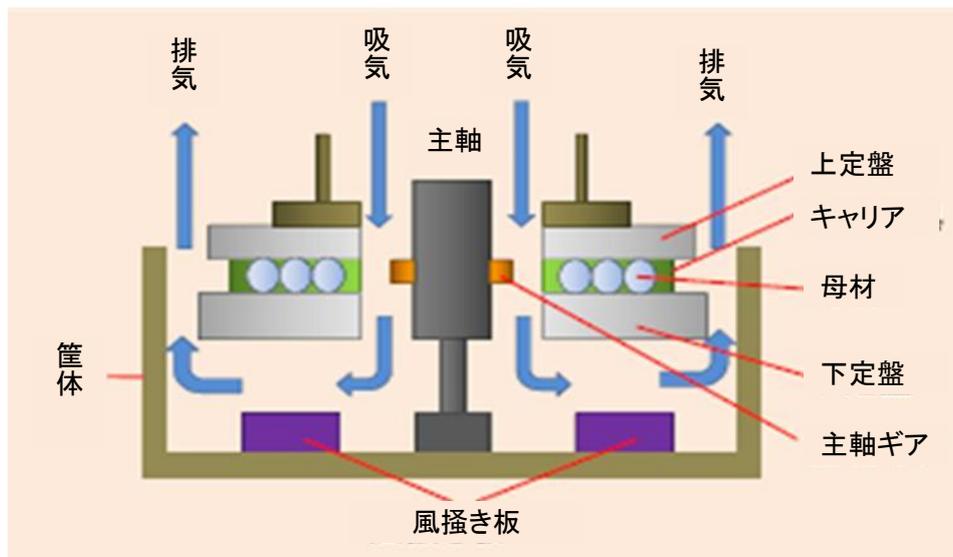
表2. 研磨レート一覧

研磨材濃度	上定盤圧力	研磨量 (μ m/h)	
		定盤回転数 15rpm	定盤回転数 25rpm
15%	1.6kgf/本	4.9	6.1
	3.2kgf/本	4.8	8.8
	4.8kgf/本	6.8	10
25%	1.6kgf/本	-	-
	3.2kgf/本	5.3	8.9
	4.8kgf/本	7.5	13.7
35%	1.6kgf/本	-	-
	3.2kgf/本	-	-
	4.8kgf/本	-	14.9

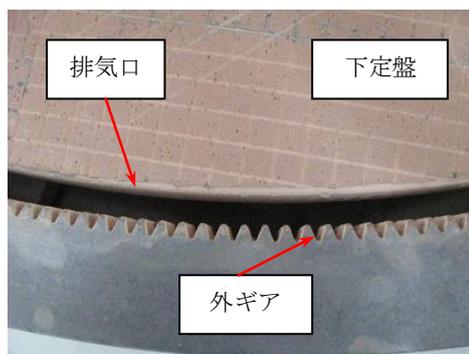
## 2-2-2 切削研磨装置の発熱抑制機構開発

### (1) 外気の吸気循環機構の設計

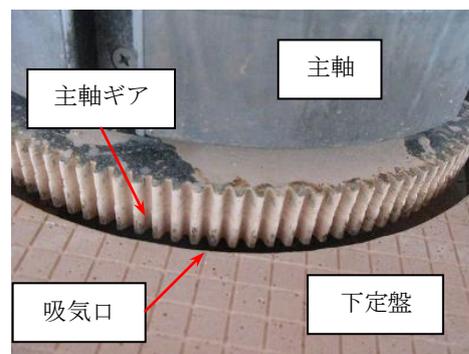
研磨中には定盤と母材との摩擦熱、装置内の駆動モーターや研磨液を循環させるための循環ポンプによる発熱によって、定盤の温度が上昇してしまう。この温度変化が加工精度の低下の要因となる。そこで、温度上昇を緩和させて定盤の温度分布を均一に保つ為に、図9に示すような主軸一定盤間、及び外ギア一定盤間に外気の吸排気口を設け、風搔き板で外気を循環させて空冷する機構を設計した。



a) 循環機構概略



b) 排気口



c) 吸気口

図9. 外気の循環機構

## (2) 吸気循環機構の機能評価

まず、図10に示すように風量計を用いて吸排気量を測定した結果、外気の循環が行われていることを確認することができた。次に、研磨装置を稼働させ、図11に示すように下定盤の内側と外側の各4点での温度を1時間おきに測定した。測定結果を図12、及び表3に示す。

定盤の温度は各点で時間と共に上昇して約11℃変化し、35℃付近で飽和した。下定盤内の温度バラつきは、5時間後も研磨前とほぼ変わらず0.2℃に納まった。また、研磨後の母材の外径公差は±0.01mm以下になっていた。これらにより、本機構の有効性を確認することができた。さらに、研磨液のタンクにチラーを設けて研磨液の温度を管理するようにすれば、定盤の温度上昇を大幅に改善でき、研磨の高精度化に繋がると思われる。

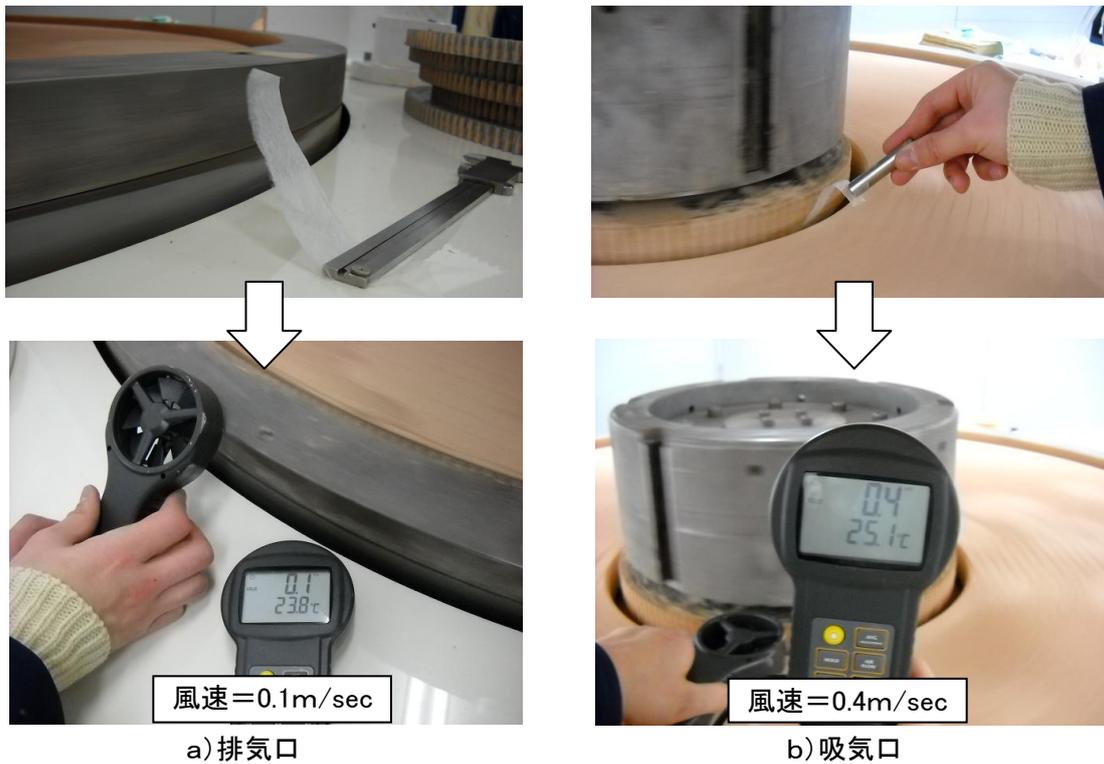


図10. 吸排気の様子

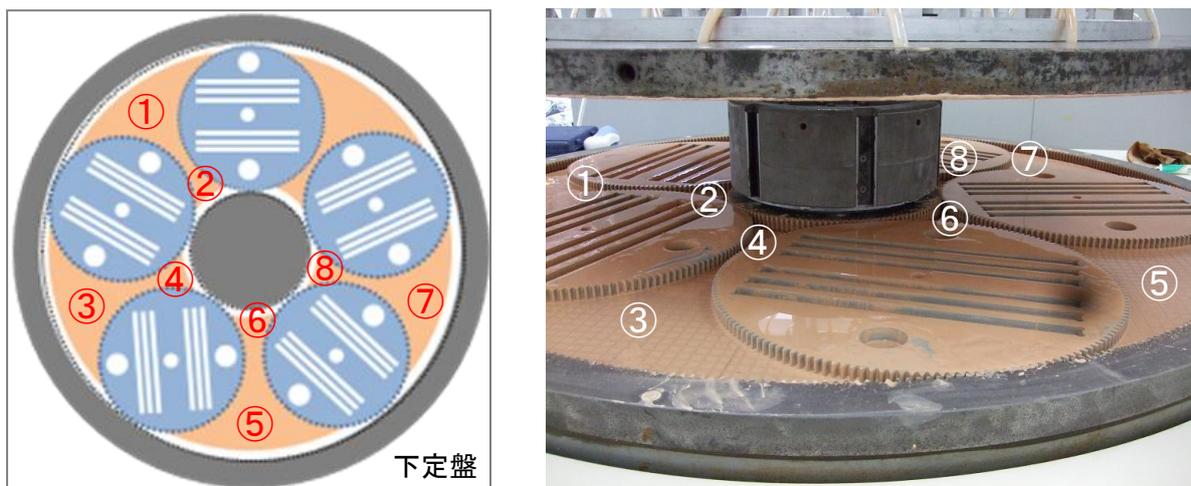


図11. 下定盤の温度測定箇所

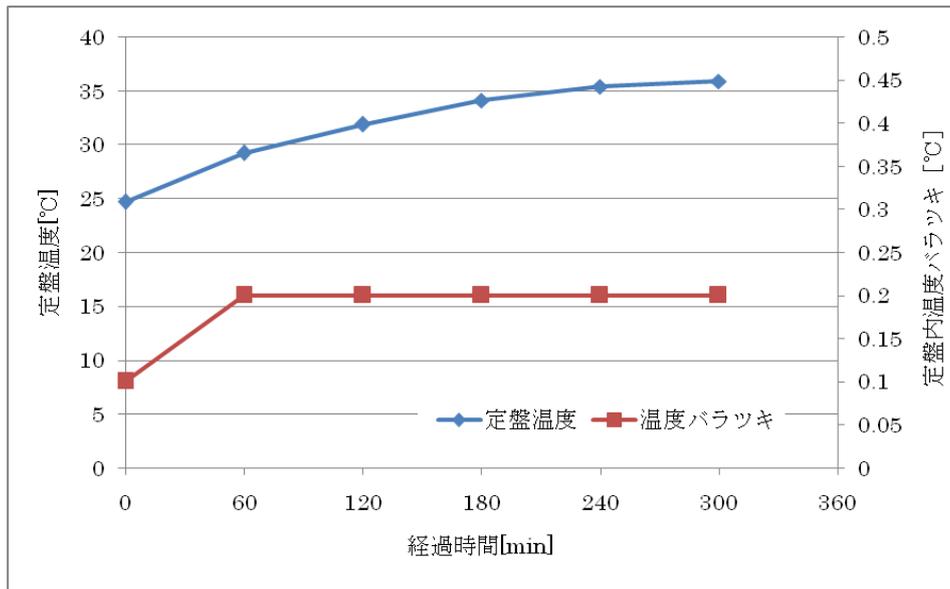


図12. 下定盤温度測定結果(1)

表3. 下定盤温度測定結果(2)

		経過(研磨)時間[min]					
		0	60	120	180	240	300
定盤温度 [°C]	1点目	24.7	29.2	31.9	34.1	35.4	35.9
	2点目	24.7	29.2	32.0	34.2	35.5	36.0
	3点目	24.6	29.2	31.8	34.1	35.4	35.9
	4点目	24.7	29.3	31.9	34.1	35.6	36.0
	5点目	24.7	29.1	31.8	34.1	35.5	35.8
	6点目	24.7	29.2	31.9	34.1	35.5	35.9
	7点目	24.7	29.2	31.8	34.0	35.4	35.9
	8点目	24.6	29.2	31.8	34.1	35.5	35.9
定盤内温度バラツキ [°C]		0.1	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2

## 2-2 光ファイバ母材の外径・偏芯測定システム開発

### 2-2-1 外径・偏芯測定システム設計及び作製

まず、外径測定装置について述べる。図13に示すように本装置は測定用レーザヘッド、母材送り用直動ステージ、回転ステージを装着しており、タッチパネルで操作する構成とした。測定ポイントは最大200ポイントで、データはメモリーカードを用いて取り出せるようにした。測定範囲は直径 0.08~30mm、長さ10~1000mmまでとし、0.1μm単位での測定が可能である。これらにより、本項目の数値目標である、測定可能母材長:最大500mm、測定可能母材直径:最大30mm、測定精度:±0.001mm以下を達成した。母材の真円度は、回転ステージを回して方向別の外径を測定することで確認できるようにした。また、予め外径の仕様値・公差を入力しておく、測定値の合否判定を行うことができる。作成した測定プログラムを図14示す。

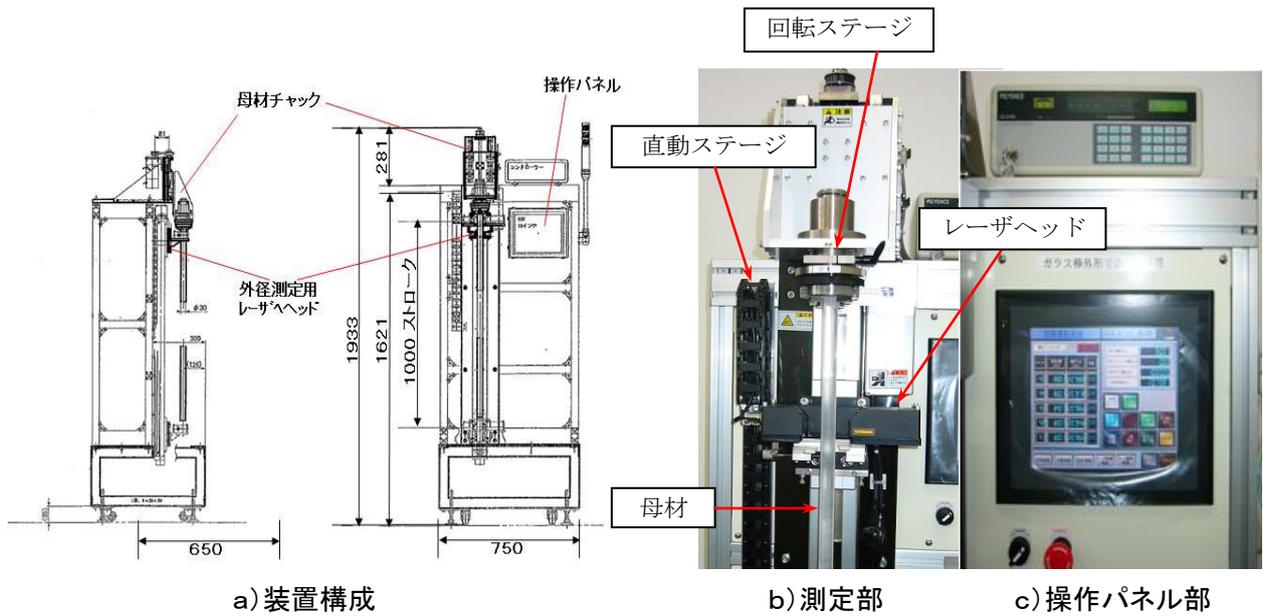


図13. 外径測定装置

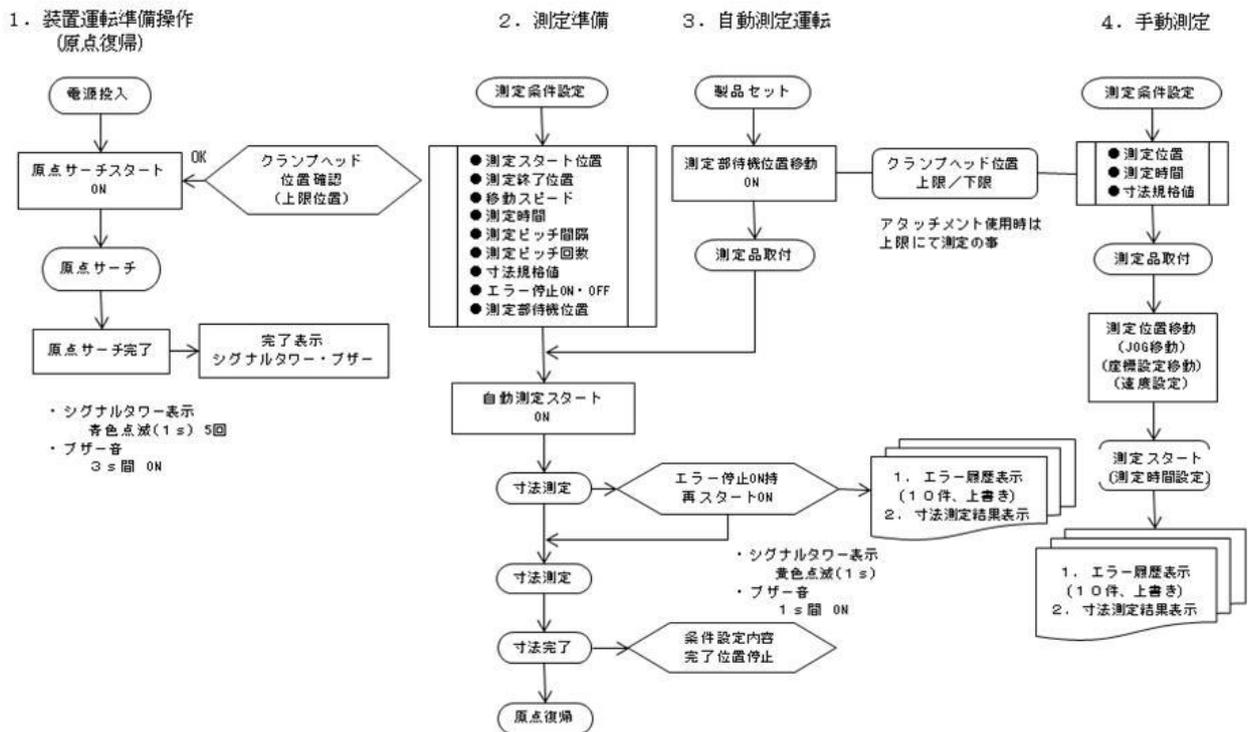
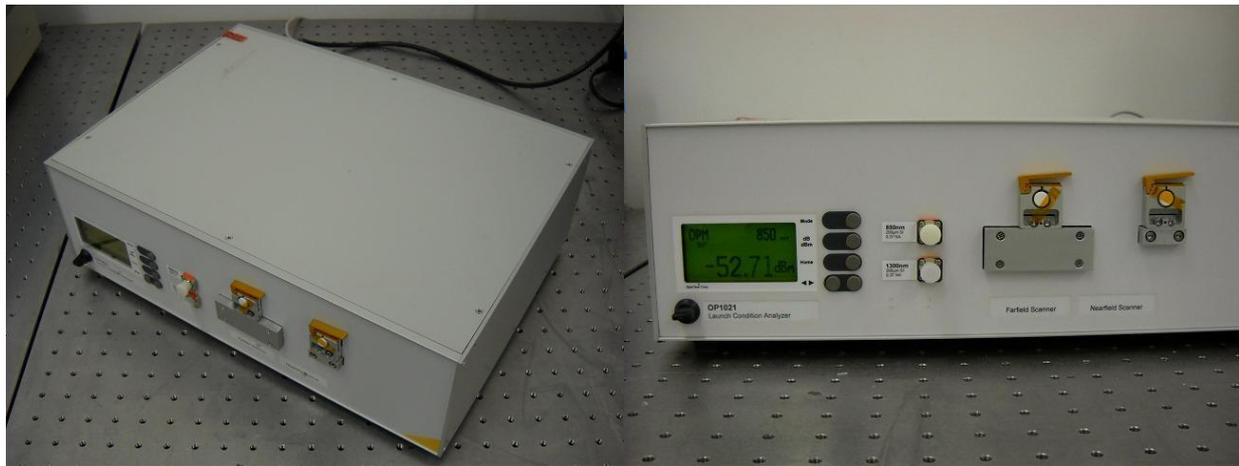


図14. 測定プログラムフローチャート

次に偏芯測定装置について述べる。本装置は光ファイバのNFP(Nearfield Pattern)、FFP (Farfield Pattern)の測定結果から屈折率分布を導出する構成となっている。また、屈折率測定結果からファイバの偏芯量の解析も可能とした。偏芯している場合、測定した光強度分布、又は屈折率分布の中心が測定の基準点から左もしくは右にずれる。そのずれ量が偏芯量となる。本装置を図15、及び仕様を表4に示す。

測定時には下記仕様に示すようにコネクタ加工を施し、測定を行う。NFPは、測定ファイバ(コネクタ)端面での光強度分布を±150μmの範囲でフォトディテクタをスキャンさせて測定する。また、FFPは、測定ファイバ(コネクタ)からの光強度分布を測定ファイバから一定の距離にある受光ファイバを測定ファイバの端面を回転中心にして±45°スキャンさせて測定する。



a) 装置全体

b) 装置正面

図15. 偏芯測定装置

表4. 偏芯測定装置仕様

波長(内蔵光源)	850nm/1310nm/1550nm
対応光コネクタ	FC、SC、ST(φ 2.5mm フェルルール)
出射ファイバ (内蔵光源側)	850nm: φ core200μ m NA 0.37 SI
	1310nm: φ core200μ m NA 0.37 SI
	1550nm: φ core100μ m NA 0.27 SI
スキャンレンジ	FF SCAN: ±45°、スキャン精度: ±0.045
	NF SCAN: ±150μ m(Max±250μ m)、 スキャン精度: 2、スキャン分解能: 0.2μ m
屈折率測定分解能	0.00004
ダイナミックレンジ	34.5dB (1.31μ m)、33.5dB (1.45μ m)
	32.5dB (1.55μ m)、30.0dB (1.625μ m)

#### 2-2-2 外径・偏芯測定システム評価

外径φ 20mm、長さ40cmの母材を用いて外径測定装置の評価を行った。まず、外径測定装置で外径測定を行い、その後にマイクロメータを用いて再度外径測定を行った。また、外径を直行する2方向から各々測定し、真円度を測定した。測定結果を図16、及び表5に示す。

外径測定装置では母材の外径を2mm間隔、0.1μ mの精度で確認することができた。また、2方向から測定した外径差より、真円度を確認することができた。外径測定装置での測定値とマイクロメータでの測定値とでは±3μ mのズレがあるが、マイクロメータ自体の測定精度が±2μ mある為、測定値のズレはおおよそ測定誤差と考えられる。また、マイクロメータが母材の直径と正確に接触しているのかという、測定位置精度がズレの要因と考えられる。しかし、母材全体の形状はほぼ一致しており、ズレも小さいことから外径測定装置の測定結果が信頼できると判断できる。

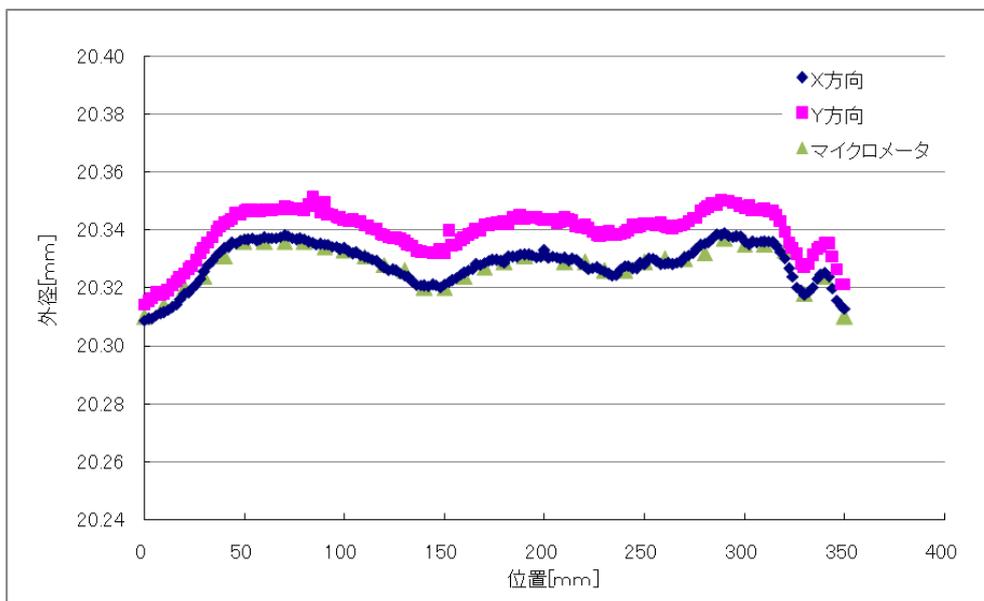
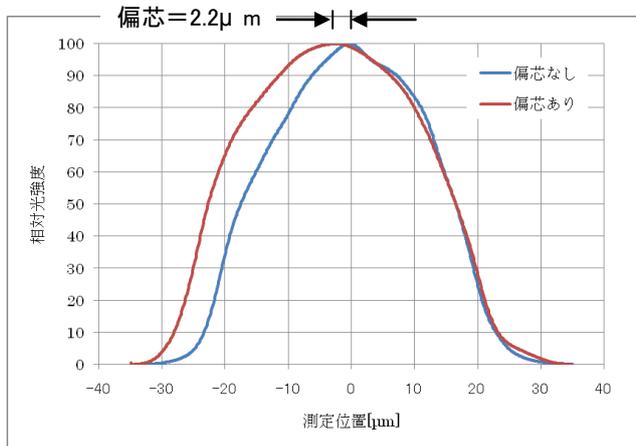


図 16. 外径測定結果(1)

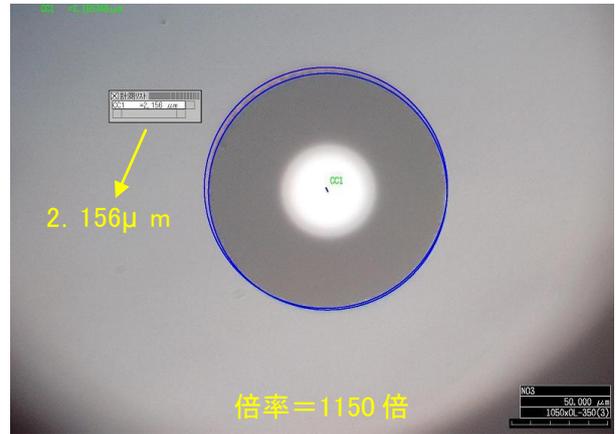
表5. 外径測定結果(2)

位置 [mm]	外径[mm]				
	X 方向	Y 方向	マイクロメータ	誤差	真円度
0	20.3087	20.3144	20.310	-0.001	0.006
10	20.3116	20.3179	20.314	-0.002	0.006
20	20.3178	20.3251	20.320	-0.002	0.007
30	20.3255	20.3339	20.324	0.001	0.008
40	20.3337	20.3422	20.331	0.003	0.009
50	20.3368	20.3463	20.336	0.001	0.010
60	20.3374	20.3466	20.336	0.001	0.009
70	20.3381	20.3477	20.336	0.002	0.010
80	20.3369	20.3467	20.336	0.001	0.010
90	20.3349	20.3497	20.334	0.001	0.015
100	20.3337	20.3435	20.333	0.001	0.010
110	20.3308	20.3416	20.331	0.000	0.011
120	20.3271	20.3383	20.328	-0.001	0.011
130	20.3243	20.3359	20.326	-0.002	0.012
140	20.3207	20.3324	20.320	0.001	0.012
150	20.3213	20.3321	20.320	0.001	0.011
160	20.3252	20.3370	20.324	0.001	0.012
170	20.3287	20.3415	20.327	0.002	0.013
180	20.3288	20.3426	20.329	0.000	0.014
190	20.3315	20.3436	20.331	0.000	0.012
200	20.3329	20.3435	20.332	0.001	0.011
210	20.3303	20.3440	20.329	0.001	0.014
220	20.3275	20.3414	20.329	-0.002	0.014
230	20.3258	20.3389	20.326	0.000	0.013
240	20.3276	20.3388	20.326	0.002	0.011
250	20.3282	20.3418	20.329	-0.001	0.014
260	20.3284	20.3411	20.330	-0.002	0.013
270	20.3304	20.3420	20.330	0.000	0.012
280	20.3353	20.3470	20.332	0.003	0.012
290	20.3391	20.3502	20.337	0.002	0.011
300	20.3359	20.3474	20.335	0.001	0.011
310	20.3359	20.3470	20.335	0.001	0.011
320	20.3301	20.3394	20.333	-0.003	0.009
330	20.3177	20.3270	20.318	0.000	0.009
340	20.3253	20.3357	20.324	0.001	0.010
350	20.3128	20.3214	20.310	0.003	0.009

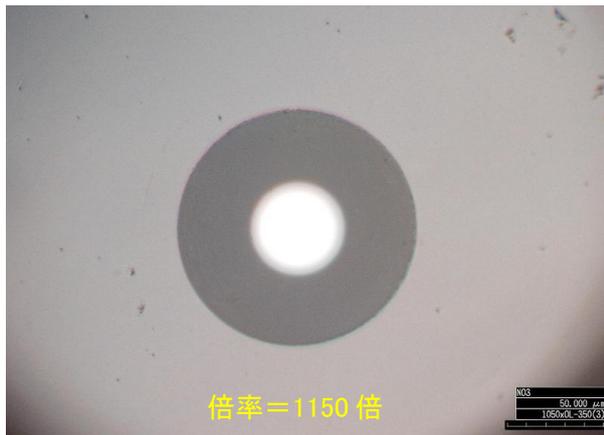
偏芯測定装置について、マルチモード光ファイバを用いて評価を行った。50/125 $\mu$ m GIファイバを使用して屈折率分布の測定と偏芯のあるファイバとないファイバを使用し、偏芯測定装置と顕微鏡の両方で偏芯を測定した。偏芯測定装置ではNFPの測定結果から、光強度分布の頂点のずれ量を偏芯量として算出する。また、顕微鏡では、画像からフェルール内径とファイバ(クラッド)外径のずれ量を偏芯量として算出する。測定結果を図17、18に示す。測定結果より、偏芯測定装置では偏芯量2.2 $\mu$ m、顕微鏡では倍率1150倍において、偏芯量2.156 $\mu$ mであった。これによって、偏芯測定装置での測定結果が信頼性の高いものだと確認できた。



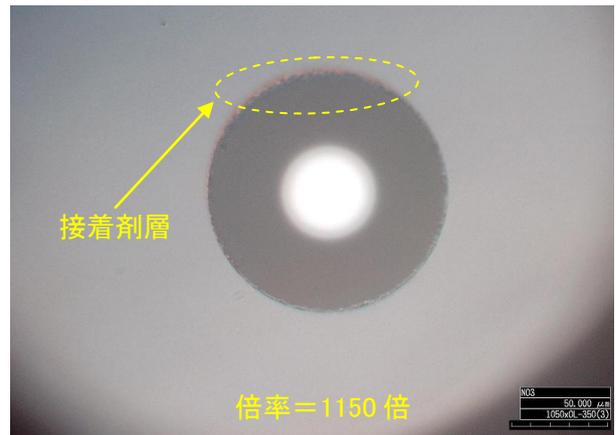
a) 偏芯測定器



b) 顕微鏡



c) ファイバ端面: 偏芯なし



d) ファイバ端面: 偏芯あり

図17. 偏芯測定結果

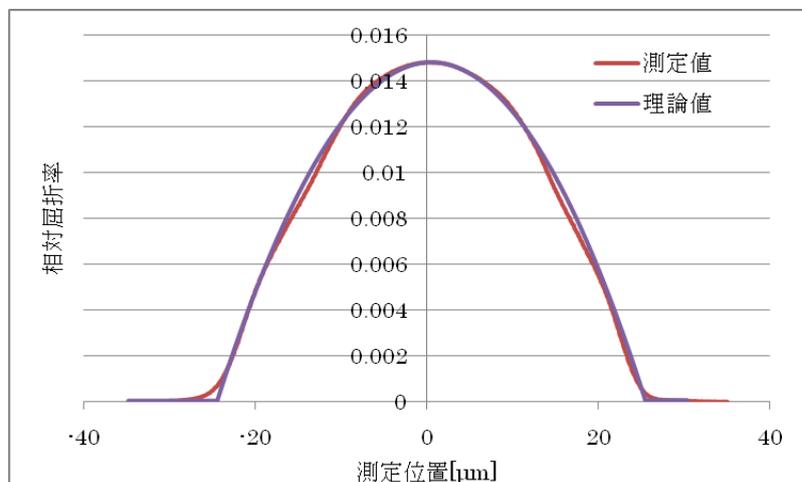
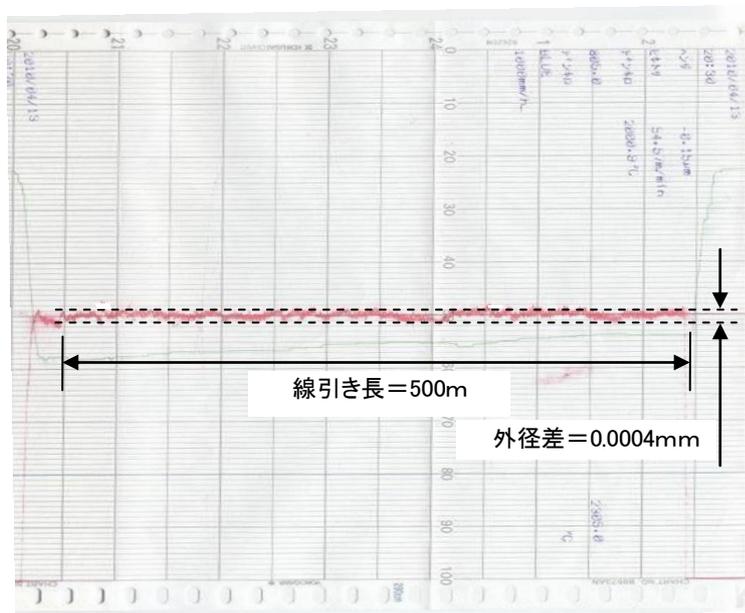
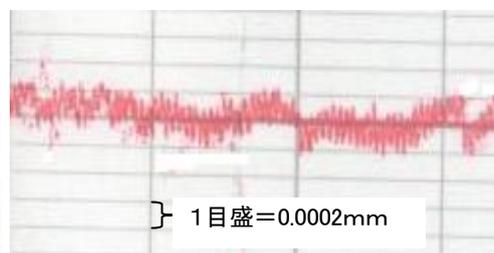


図18. 50/125 $\mu$ m GIファイバ屈折率分布

最後に両面研磨装置を用いて研磨した母材の線引き結果について述べる。研磨後に外径公差 $\pm 0.003\text{mm}$ となった母材を使用し、外径 $0.25\text{mm}$ を目標値に設定して $500\text{m}$ の線引きを行った。線引き後の外径は、川下ニーズ( $0.25 \pm 0.0001\text{mm}$ )に対して、 $0.25 \pm 0.0002\text{mm}$ という結果となった。線引き時の外径チャートを図19に示す。線引き装置に装着されている外径測定器の測定精度が $\pm 0.0002\text{mm}$ であることを考慮すると、良好な結果が得られたと言える。



a) 外径チャート全体



b) 外径チャート部分拡大

図19. 外径チャート