

平成 27 年度 戦略的基盤技術高度化支援事業

「40/100Gbps 光伝送受信器用キャピラリー型
ファイバレイの開発」

研究開発成果等報告書

平成 28 年 3 月

委託者 東北経済産業局

委託先 公益財団法人いわて産業振興センター

目次

第1章 研究開発の概要

1-1 研究開発の背景・研究目的および目標

1-2 研究体制

1-3 成果概要

1-4 当該研究開発の連絡窓口

第2章 本論

2-1 高精度キャピラリーの作製技術に関する研究開発

2-1-1 母材設計技術に関する研究開発

2-1-2 高精度化技術に関する研究開発

2-2 光ファイバのキャピラリーへの挿入技術に関する研究開発

2-2-1 ホーン形状加工技術に関する研究開発

2-2-2 ファイバアレイ化技術に関する研究開発

2-3 評価技術に関する研究開発

2-3-1 微小穴内部評価に関する研究開発

2-3-2 信頼性評価に関する研究開発

2-4 事業化に関する検討

最終章 全体総括

第1章 研究開発の概要

次世代光通信システムとして期待されているデジタルコヒーレントシステムに使用される光受信器用の小型ファイバアレイの開発を目指して研究開発を行った。開発したファイバアレイは従来のV溝型と異なる小型のキャピラリー型ファイバアレイである。この小型ファイバアレイを実現するためにまず、直径 ϕ 1mm以下長さ3mmの細いガラス管に $\phi 127\mu\pm 1\mu$ の公差で2個の穴を $500\mu\pm 1\mu$ のピッチ公差で空けた構造のキャピラリーフェルールの開発を行った。次にこれらの穴に単一モードファイバと偏波保持ファイバをそれぞれ挿入しファイバアレイとした。

キャピラリーフェルールの開発には極めて高精度なガラス加工技術が要求されるがこれについては熱延伸技術を使用して実現した。

ファイバアレイ化も試み、その光学特性、強度特性、長期信頼性などを評価した。これらの開発品はファイバアレイとしてのみでなく、キャピラリーフェルールのみでも製品化可能なものであり将来の事業化を目指した。

1-1 研究開発の背景・研究目的および目標

近年インターネットの普及と相まって、パソコンのみでなくスマートフォン、IoT、M2M などにより情報トラフィックは爆発的に増大している。今後この傾向は益々増加するものと予測されている。インターネットの利用者側では光回線のみでなくモバイルでのアクセスが増えているが、これらの情報は光回線で集約され近距離、長距離光回線で配信される。このため無線による情報発信量・受信量の増大は光回線の容量増大の要求をもたらすことになる。

図1に最近の代表的な通信システムを模式的に示す。幹線系、メトロ系は

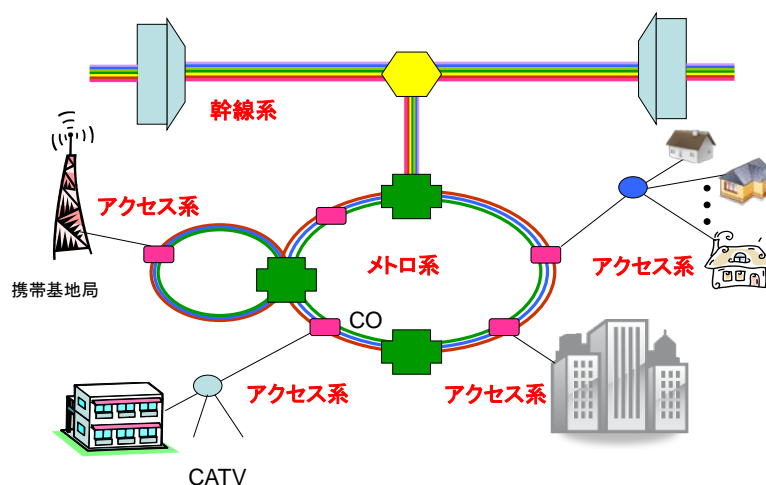


図1 代表的な通信システムの模式図

高密度波長多重通信方式 (Dense Wavelength Division and Multiplexing : DWDM) が主流であり、これまでは 10Gbps、25Gbps などを波長多重して 40Gbps、100Gbps などの高速大容量通信にしていた。

増大する情報量に対応するためにはこれらの波長多重通信装置の増設が急務である。しかし単に同種装置を増設するだけでは、将来的に限界があり省スペース、省エネルギー、経済性などの観点から好ましくない。このため、単一波長での通信速度の高速化、小型高密度実装技術の開発ニーズが高まっていた。単一波長での通信速度の高速化に対しては近年デジタルコヒーレントシステムが開発された。これは従来の光通信が振幅変調であったのに対して多値の位相変調方式の新しい光通信方式であり、送信用光源の安定化やデジタルシグナルプロセッサ (Digital Signal Processor: DSP) などの開発によって可能となったものである。

デジタルコヒーレントシステムによれば、単一波長で 100Gbps の高速大容量の通信が長距離に渡って可能となる。図 2 にデジタルコヒーレントシステムに使用する光送受信機の内部構成の概略を模式的に示した。

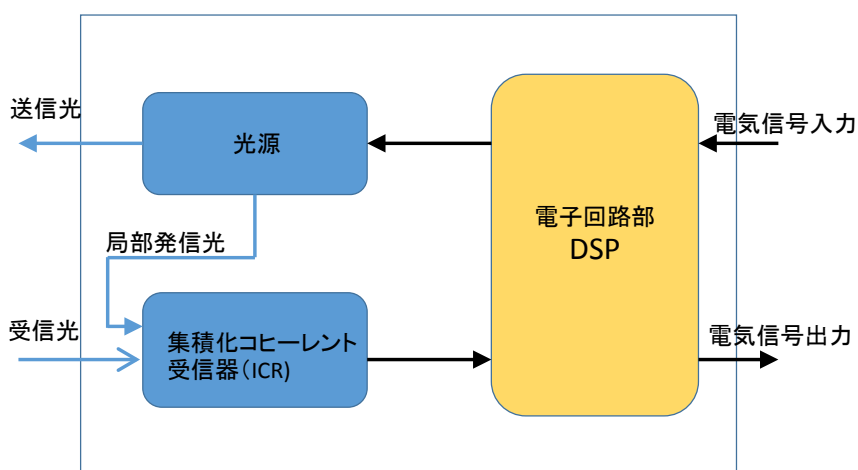


図 2 デジタルコヒーレント用送受信機内部の概略

小型高密度実装に向けて上記光送受信機の小型化、省エネ化が進んでいる。電子回路部は低電力 LSI が開発されており、光部品も光集積回路による小型化が進んでいる。図 2 で示す集積化コヒーレント受信器 (Integrated Digital Coherent Receiver: ICR) には外部からの受信光と局所発信光が入力されている。

受信光は通常の単一モードファイバで入力され、局所発信光は偏波保持ファイバで受信器に入力される。これら入力されたファイバはファイバアレイを通じて受信器内部の光集積回路に接続されている。受信器を小型高密度実装するためにはこのファイバアレイについても小型化が必要となっていた。本開発

ではこのファイバアレイを新しい形態にして小型化しようとするものである。

一般に光集積回路は、ファイバアレイをインターフェースとして光ファイバに接続され外部の機器につながっている。ファイバアレイの代表的な使用例としては、FTTH (Fiber To The Home) のPONシステム (Passive Optical Network) での光スプリッタチップと光ファイバの接続や DWDM システムでの AWG (Arrayed Waveguide Grating) チップと光ファイバの接続などが挙げられる。既述のように、これまでのデジタルコヒーレントシステムにおける光受信器においても外部からの光ファイバは V 溝型ファイバアレイを通じて光集積回路に接続されていた。

図 3 に従来の V 溝型ファイバアレイ組立の模式図を示す。図 3 では受信器用の 2 芯の例を示している。

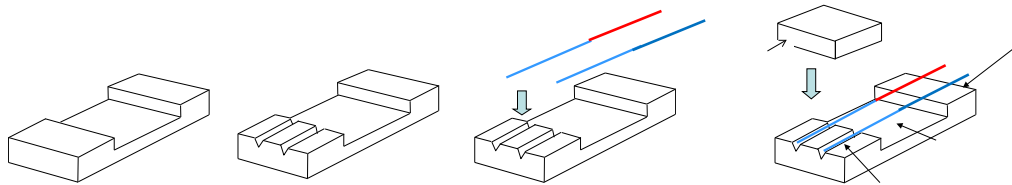


図 3 (a) V 溝型ファイバアレイ (2 芯) 組立模式図

従来の V 溝型ファイバアレイではホウケイ酸ガラスまたは石英ガラスにスライサー等で精密に V 溝を形成し光ファイバを V 溝にセットした後、リッドを被せて全体を接着剤で固定する方法で組み立てられていた。

この方法でファイバアレイを小型化していくと図 4 に示すようにリッドと V 溝台座との糊代の幅が狭くなり接着力が弱くなり、リッドが剥がれるなどの問題があった。これは受信器の故障にもつながりその長期信頼性確保の観点から重要な問題であった。

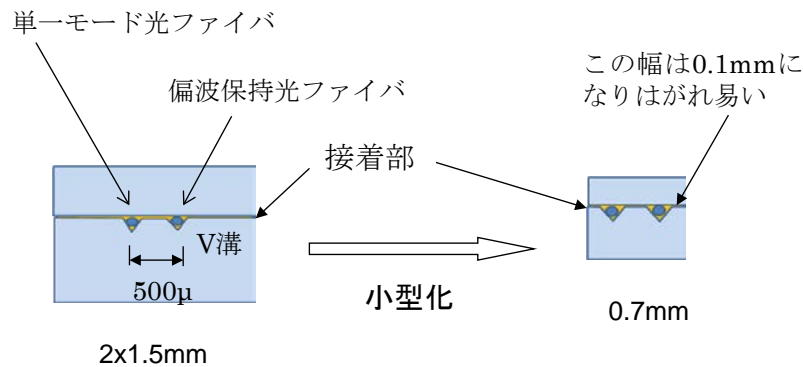


図 4 V 溝型ファイバアレイ小型化の状況

なお、図4では2本のファイバの間隔を500 μ としたが、これは受信器内部の光集積回路の導波路間隔で決まる値であり、250 μ の場合もそれ以下の場合もあり得る。しかしいずれの場合においてもその分だけ外側のサイズを小さくすれば糊代幅が狭くなることには変わりなく、小型化には限界があった。

図5はキャピラリー型ファイバアレイ組立模式図である。キャピラリーはホウケイ酸ガラス製の管であり、その内部には $\pm 1\mu$ の精度で直径 $\phi 127\mu$ の2個の穴が500 $\mu \pm 1\mu$ のピッチ精度で形成されている。キャピラリー型ファイバアレイはこのキャピラリーに光ファイバを挿入して接着剤で固定するだけの工程で組み立てられる。リッドを使用していないため原理的に剥がれの現象が生じず長期信頼性に優れているのみでなく、小型化が容易、組立工程も簡単であるため経済的であるなどの利点がある。

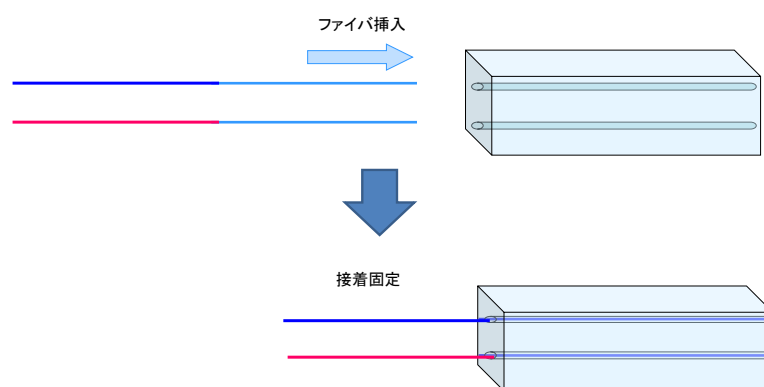


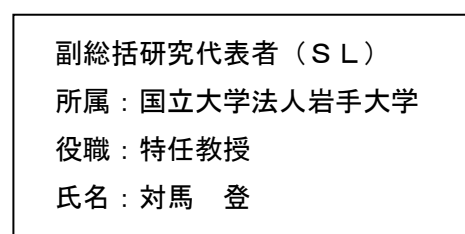
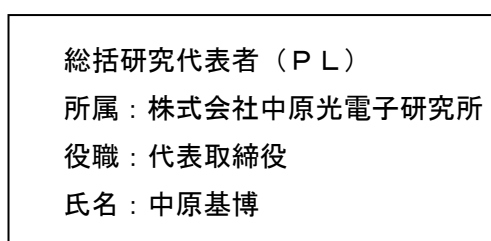
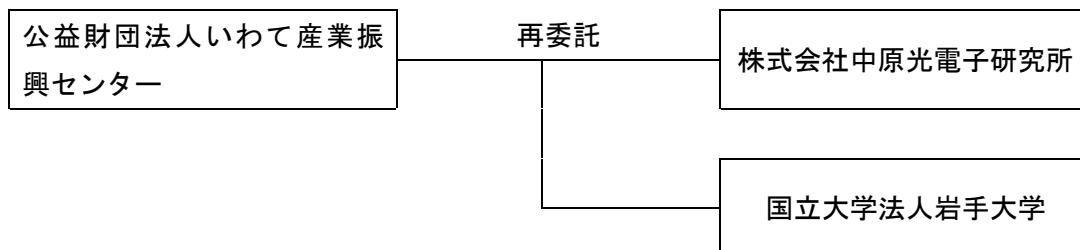
図5 キャピラリー型ファイバアレイ組立模式図

以上述べてきた背景を元に、本研究開発においてはキャピラリー型の小型ファイバアレイを実現する事を目的とする。研究開発の目標として、まず高精度のガラスキャピラリー作製技術を確立し、そのキャピラリーに光ファイバを挿入してファイバアレイ化しさらに長期信頼性の試験も実施し、事業化までを行う事を目標とした。具体的には以下の研究開発項目と分担で進めた。

- ① 高精度キャピラリーの作製技術に関する研究開発（株式会社中原光電子研究所）
- ② 光ファイバのキャピラリーへの挿入技術に関する研究開発
（株式会社中原光電子研究所、国立大学法人岩手大学）
- ③ 評価技術に関する研究開発（国立大学法人岩手大学、株式会社中原光電子研究所）
- ④ 事業化に関する調査（株式会社中原光電子研究所）
- ⑤ 研究全体の統括、プロジェクトの管理運営（公益財団法人いわて産業振興センター）

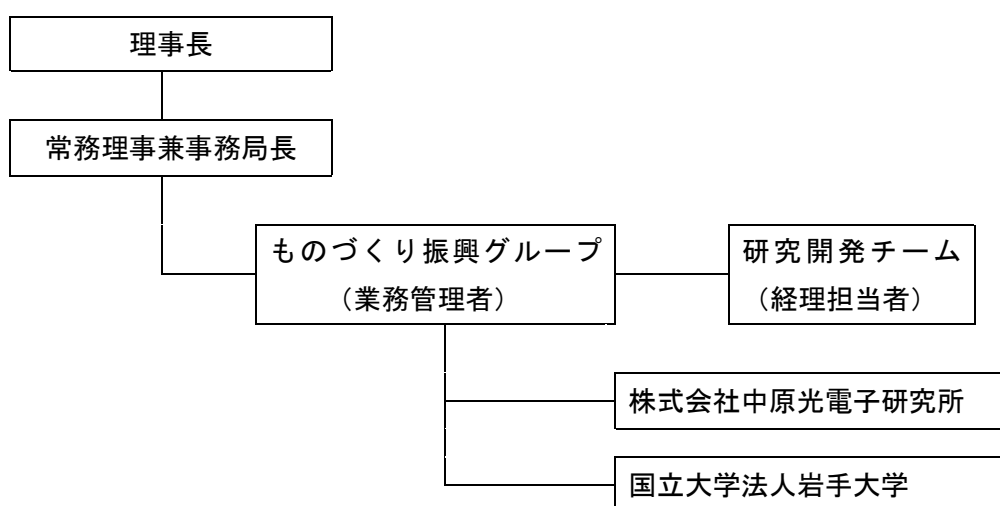
1-2 研究体制

1) 研究組織（全体）



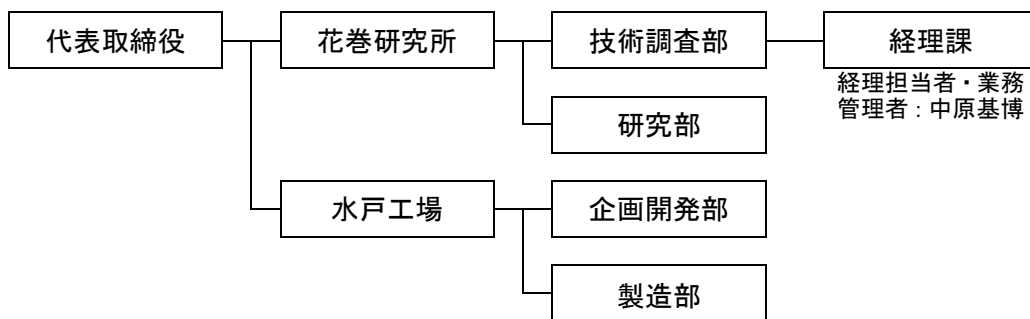
2) 管理体制

① 事業管理機関 [公益財団法人いわて産業振興センター]

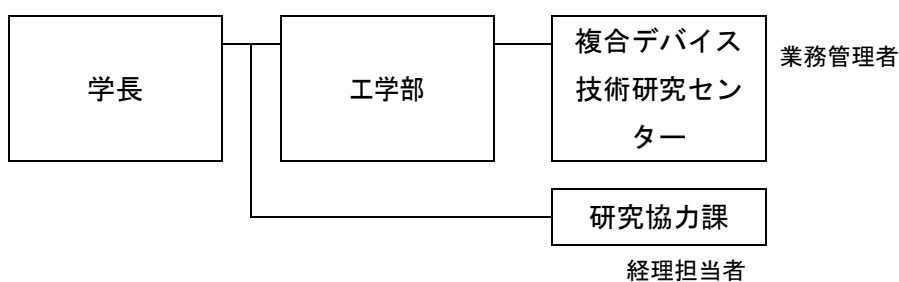


② (再委託先)

株式会社中原光電子研究所



国立大学法人岩手大学



(2) 研究員及び管理員 (役職・実施内容別担当)

【事業管理機関】公益財団法人いわて産業振興センター

②管理員

氏名	所属・役職	実施内容 (番号)
柳沢 晴彦	ものづくり振興グループ 主幹	⑤
菊地 諭	ものづくり振興グループ 主幹	⑤
田澤 潤	ものづくり振興グループ 副主幹	⑤
嶋 陽平	ものづくり振興グループ 主事	⑤
熊谷 和彦	ものづくり振興グループ 産学連携コーディネーター	⑤
今 健一	ものづくり振興グループ ILC・産学連携コーディネーター	⑤
村上 あずさ	ものづくり振興グループ 補助職員	⑤

【再委託先（研究員）】

株式会社中原光電子研究所

氏名	所属・役職	実施内容（番号）
中原 基博	代表取締役（花巻研究所）	PL、①、②、③、④
塩谷 正博	企画開発部 部長（東京営業所）	①、④
大友 克也	製造部 技師（水戸工場）	①、②
中原 和博	企画開発部 主任（水戸工場）	①、②
小椋 昇平	製造部 社員（水戸工場）	①、②
都築 信頼	企画開発部 技術顧問（厚木事務所）	①、②

国立大学法人岩手大学

氏名	所属・役職	実施内容（番号）
対馬 登	工学部附属複合デバイス技術研究センター 特任教授	SL、③
滝田 耕平	工学部附属複合デバイス技術研究センター 特任研究員	③

（3）経理担当者及び業務管理者の所属、氏名

【事業管理機関】

公益財団法人いわて産業振興センター

（経理担当者）ものづくり振興グループ 主幹

菊地 諭

（業務管理者）ものづくり振興グループ グループリーダー

菊池 孝

【再委託先】

株式会社中原光電子研究所

（経理担当者）代表取締役

中原 基博

（業務管理者）代表取締役

中原 基博

国立大学法人岩手大学

（経理担当者）研究協力課 主任

伊藤 寛将

（業務管理者）工学部附属複合デバイス技術研究センター
センター長

長田 洋

研究推進会議 委員

氏名	所属・役職	備考
中原基博	株式会社中原光電子研究所 花巻研究所 代表取締役	PL <input type="checkbox"/> 委
塩谷正博	株式会社中原光電子研究所 企画開発部 部長	<input type="checkbox"/> 委
大友克也	株式会社中原光電子研究所 企画開発部 技師	<input type="checkbox"/> 委
中原和博	株式会社中原光電子研究所 企画開発部 主任	<input type="checkbox"/> 委
小椋昇平	株式会社中原光電子研究所 企画開発部 社員	<input type="checkbox"/> 委
都築信頼	株式会社中原光電子研究所 企画開発部 技術顧問	<input type="checkbox"/> 委
高橋志郎	株式会社中原光電子研究所 企画開発部 技術顧問	<input type="checkbox"/> 委
対馬 登	国立大学法人岩手大学 工学部附属複合デバイス技術研究センター 特任教授	SL
宮下 忠	PLCC2 代表取締役	アドバイザー
宮内栄作	TDK テクノ 顧問	アドバイザー
佐藤祐三	TDK 新規事業開発室 課長	アドバイザー
藤井 克己	公益財団法人いわて産業振興センター 顧問	
小山 康文	公益財団法人いわて産業振興センター 事業化プロモーター	
菊池 孝	公益財団法人いわて産業振興センター ものづくり振興グループ グループリーダー	

(4) 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	主な指導・協力事項
宮下 忠	キャピラリー型ファイバアレイの米国市場の可能性について助言
宮内栄作	キャピラリー型ファイバアレイの製造に関する技術的助言。
佐藤祐三	キャピラリー型ファイバアレイの顧客に関する助言。

1-3 成果概要

本研究開発テーマにおいての主要な研究開発項目とその成果は以下のようであった。

① 高精度キャピラリーの作製技術に関する研究開発

穴径、ピッチともに目標値に対して $\pm 1\mu$ の高精度化は達成した。今後の事業化を想定してキャピラリーの歩留り、収率の向上が課題として残った。また、極めて高精度に穴径とピッチを検査しなければならないため、検査工程の自動化、簡略化が不可欠でありこれらについても重点的に検討し見通しを得た。

- ② 光ファイバのキャピラリーへの挿入技術に関する研究開発
機械的加工方法によってホーン形状への加工は可能になった。今後はこの加工速度の短縮が課題として残った。また穴の入り口をホーン形状に加工したキャピラリーに光ファイバを挿入しファイバアレイ化も行った。今後はこのファイバアレイについては長期信頼性の確保と経済化を行う必要がある。
- ③ 評価技術に関する研究開発
上記①高精度化と②ファイバ挿入技術の開発課題について、それぞれのサンプル、工程等を分析評価して研究開発を促進させた。またファイバアレイとしての強度測定、湿熱試験などを行い、データを蓄積中である。
- ④ 事業化に関する調査
関連の顧客との情報を密にし、本技術開発による製品の事業化について調査を行いその有望性を明らかにした。特にガラスキャピラリーのみについては早期に事業化の具体的見通しを立てることができた。

1-4 当該研究開発の連絡窓口

- ① 事業管理者
公益財団法人いわて産業振興センター
〒020-0857 岩手県盛岡市北飯岡 2-4-26
ものづくり振興グループ 産学連携コーディネーター
熊谷 和彦
- ② 研究実施者
株式会社中原光電子研究所 花巻研究所
〒028-0114 岩手県花巻市東和町土沢 1-1-1
代表取締役 中原基博
- ③ 国立大学法人岩手大学 工学部附属複合デバイス技術研究センター
〒025-0312 岩手県花巻市二枚橋 5-6-3
特任教授 対馬 登

第2章 本論

本研究開発におけるファイバレイ用のガラスキャピラリーは、キャピラリーと断面形状が相似形の母材ガラスを熱延伸で細径化し、約 3mm 程度の長さに切断することによって得られる。このため、母材ガラスの設計・製作、それを高精度に相似形に熱延伸する技術開発が不可欠である。またこのキャピラリーに光ファイバを挿入して接着固定すればファイバレイになるが、光ファイバ表面に傷をつけずに穴に挿入する技術、信頼性の確保・評価技術について開発を行う事が重要である。

開発の目標として、外側断面形状 $\phi 1\text{mm}$ 以下、または $\square 0.7\text{mm}$ 以下、光ファイバ挿入用の穴径 $127\mu\text{m} \pm 1\mu\text{m}$ 、2 穴のピッチ $500\mu\text{m} \pm 1\mu\text{m}$ で光ファイバ挿入口の形状がホーン形状になったホウケイ酸ガラス製のキャピラリーを開発する事を第一の目標とした。次いでこのキャピラリーに光ファイバを挿入する技術を開発しデジタルコヒーレント用キャピラリー型ファイバレイを開発することを目指す。

以下研究開発の実施内容とその成果を記す。

2-1 高精度キャピラリーの作製技術に関する研究開発

高精度なキャピラリーは、キャピラリーと相似形状でそれよりも断面が約 20-30 倍大きい母材（ホウケイ酸ガラス）を高精度に熱延伸することによって作製される。図 6 にその様子を示した。

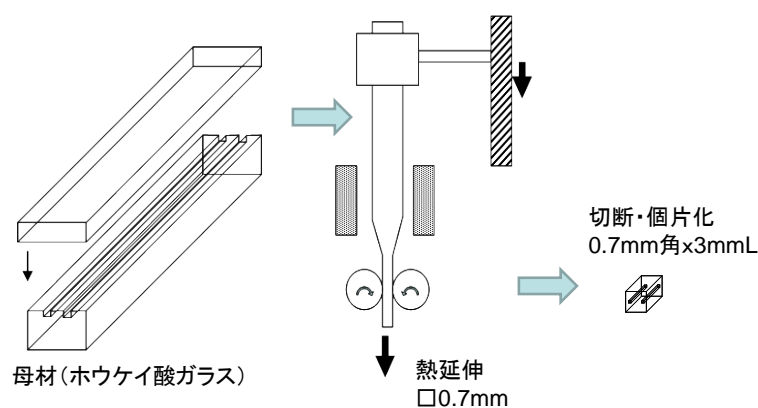


図 6 熱延伸法によるキャピラリーの作製

延伸後のキャピラリーを所定の長さ（3mm 程度）に切断すれば多数の個片キャピラリーが得られる。

しかし、上記のガラス母材を熱延伸した場合、熱延伸の条件によっては外形の変形、内部の穴・溝の変形・寸法変動などが発生する。また複数の穴が存在する場合ガラスの流動によってその位置関係が変化する。さらにはホウケイ酸ガラスの表面および内

部で結晶化の現象が生じ微小領域での寸法の変動やひび割れ等が起こる。これらを防止しなければ $\pm 1\mu\text{m}$ の高精度でキャピラリーを延伸することは極めて難しい。このため以下の項目について詳細な検討を行った。

2-1-1 母材設計技術に関する検討

高精度なキャピラリーを製造するのに適した母材の形状を種々検討した。図7に示す3種類について検討した。母材形状への要求条件としては、オリエンテーションフラット面が少なくとも1面にある事、母材製造容易性、延伸時の変形、経済性などがあり、これらを考慮してD-cut型、上下D-cut型が適していることがわかった。

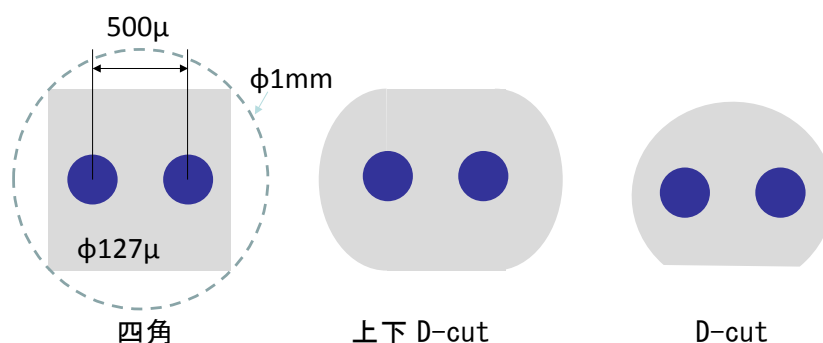


図7 母材から得られるキャピラリーの形状

2-1-2 高精度化技術に関する検討

熱延伸の温度、延伸条件などを種々に変えてキャピラリーを作製し母材の寸法形状にフィードバックすることによって精度を上げていった(図8)。図9には高精度延伸されたキャピラリーの断面写真を示す。最終的には図10に示すように、穴径 $127\mu\pm 1\mu$ 、ピッチ $500\mu\pm 1\mu$ のキャピラリーを作製する事に成功した。

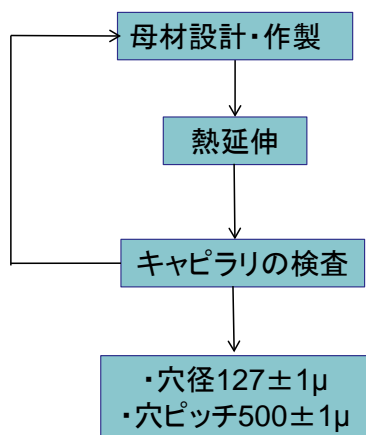


図8 高精度化達成のフロー

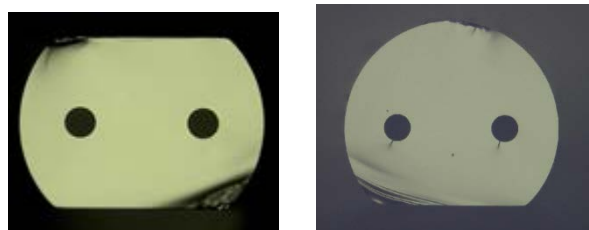


図9 延伸したキャピラリーの例

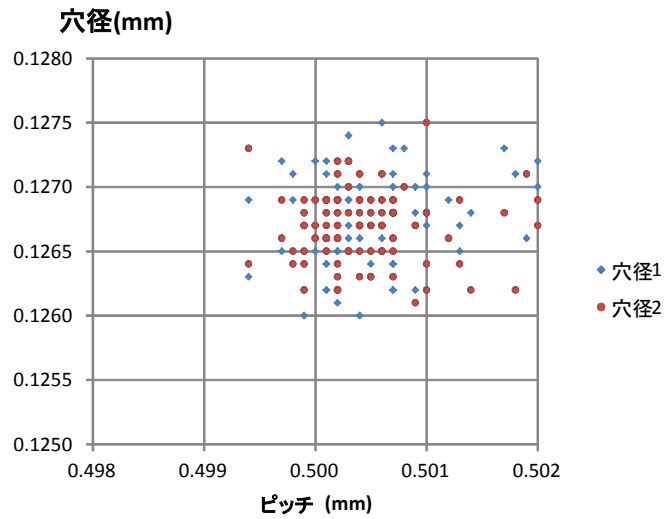


図 1 0 穴径とピッチの測定結果

2-2 光ファイバのキャピラリーへの挿入技術に関する研究開発

2-2-1 ホーン形状加工技術に関する研究開発

光ファイバの挿入を容易にするため切断後のキャピラリーの片側端面にテーパ加工を施す必要がある。しかし高速回転のセラミック用ドリルなどによってテーパ加工した場合、テーパ加工とファイバ穴との境界部にエッジ部が形成される。挿入時および挿入後の光ファイバがこの穴のエッジに接触するとクラックが発生し破断する恐れがある。このため挿入口形状としてエッジ部が存在しないホーン状のものが必要である。これを実現するため化学的処理、機械加工、熱加工、サンドブラスト加工など種々の方法を検討した。その結果機械加工によって図 1 1 に示すように滑らかな面を有すホーン形状のファイバ挿入口を実現できた。

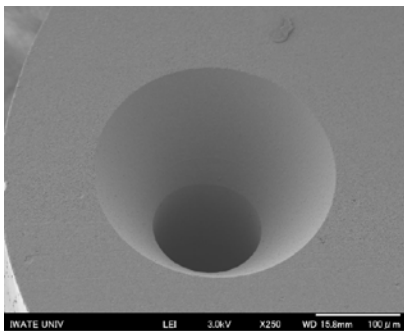


図 1 1 ホーン加工面

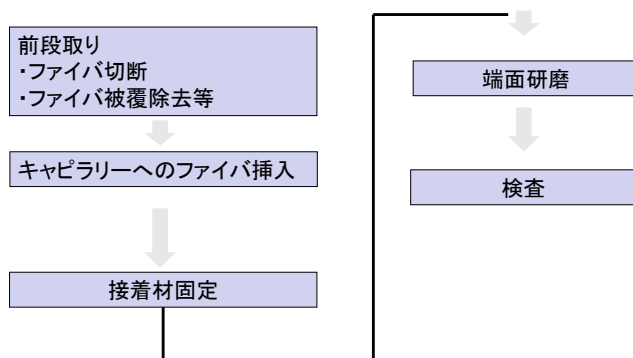


図 1 2 ファイバアレイ組立工程

2-2-2 ファイバアレイ化技術に関する研究開発

ホーン加工を施したキャピラリーに単一モードファイバと偏波保持ファイバを挿

入してファイバアレイを組み立てた。デジタルコヒーレント受信器用のファイバアレイとしては偏波消光比が最も重要な光学特性であるため、これを測定評価する装置を導入した。装置の構成を図13に示す。

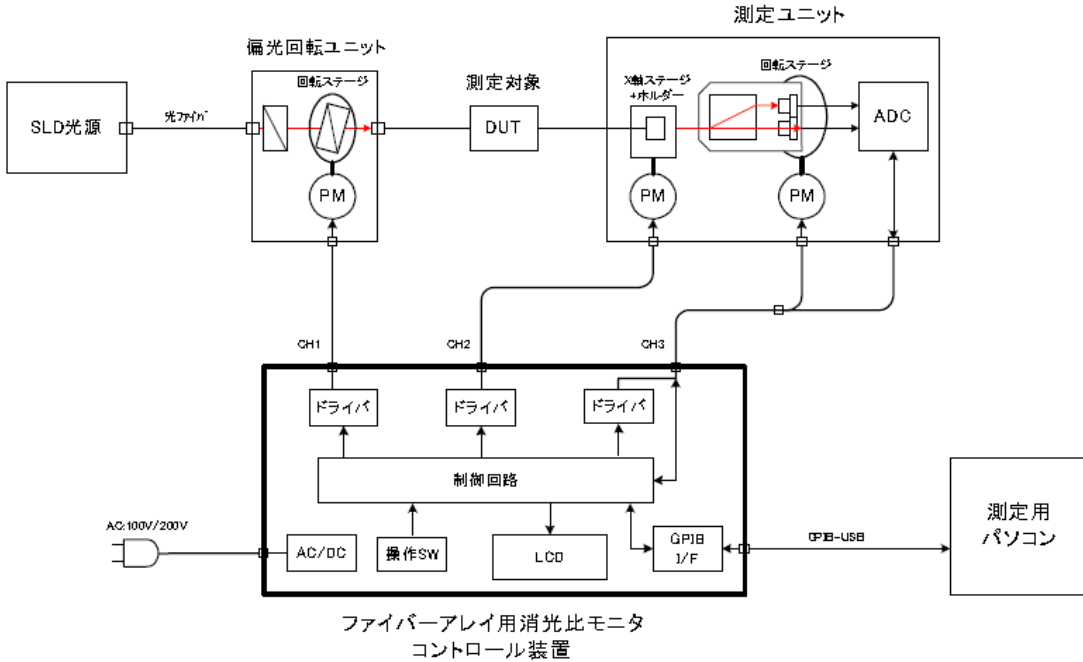


図13 偏波消光比測定装置構成

偏波保持ファイバを挿入したファイバアレイでは、偏波消光比の劣化は偏波保持ファイバの偏波面とキャピラリーのオリフラ面との角度ずれによって主に発生する。図13に示す装置を使用して角度ずれと偏波消光比の関係を求め(図14)、偏波消光比が+25dB以上の良好なファイバアレイを得ることができた。

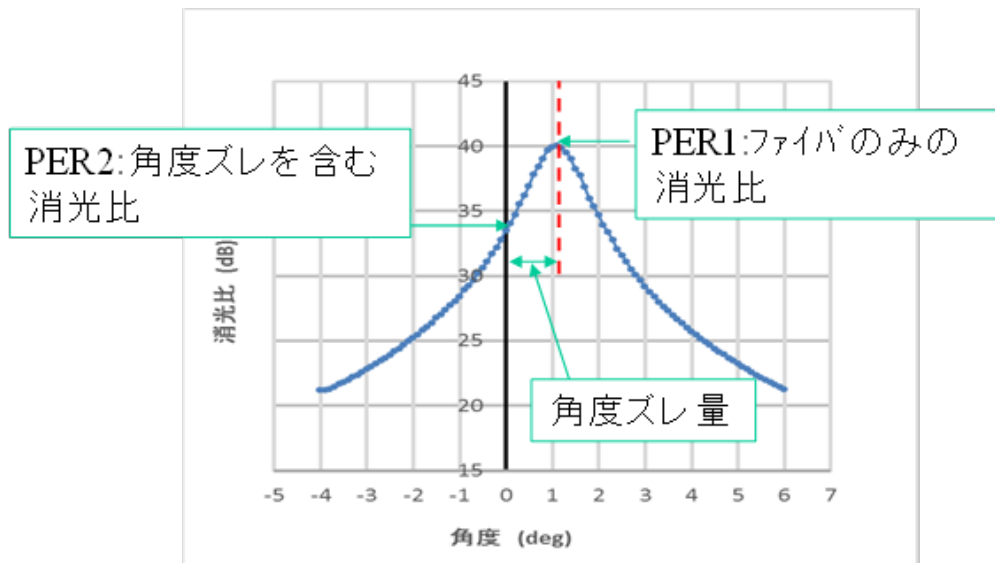


図14 偏波消光比と角度ずれの関係 PER(Polarization Extinction Ratio)

2-3 評価技術に関する研究開発

2-3-1 微小穴内部評価に関する研究開発

キャピラリー加工後の外観形状、表面状態を走査電子顕微鏡（SEM）、走査原子間力顕微鏡（AFM）を用いて観察、分析し、キャピラリー加工条件にフィードバックした。

図15にキャピラリー加工の初期サンプルのSEM像、図16には拡大したSEM像を示す。表面にスジのようなものが見える。

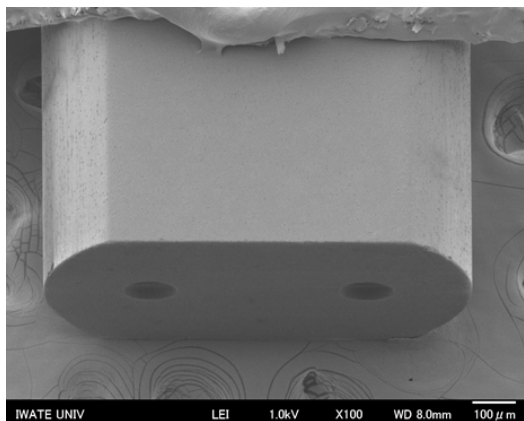


図15 初期キャピラリーの外観 SEM 像

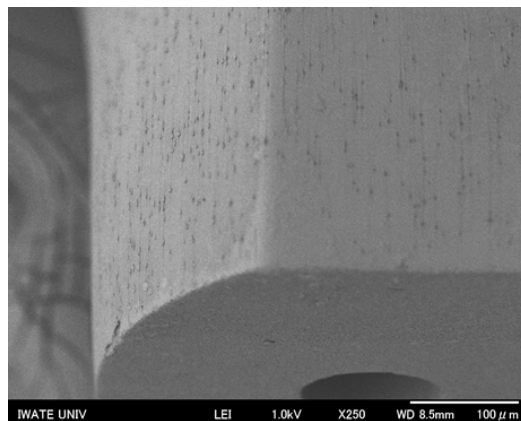


図16 初期キャピラリーの拡大 SEM 像

表面のスジの詳細な観察を行うと、スジは表面にある異常粒子が原因であることがわかった。図16はスジ部のSEM像、図17はさらに拡大したSEM像で異常粒子の存在がわかる。

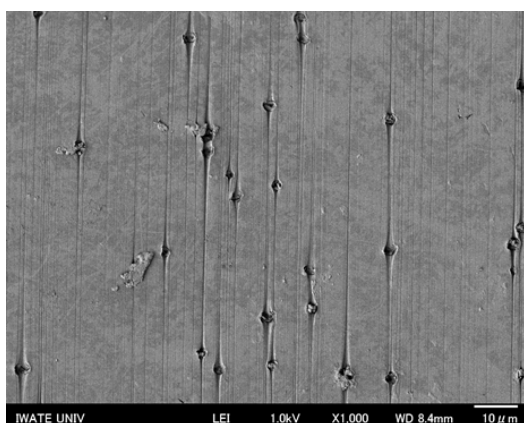


図17 表面スジ部のSEM像

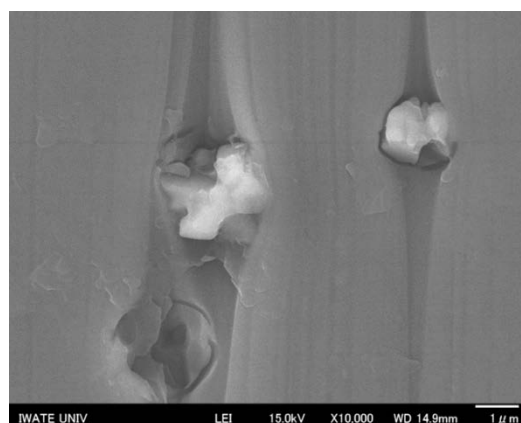


図18 表面スジ部の異常粒子 SEM 像

この異常粒子を分析するため、AFMでの形状確認を行った結果を図19に示す。粒子の大きさは数 μm サイズであり、高さは約 0.8 μm であった。

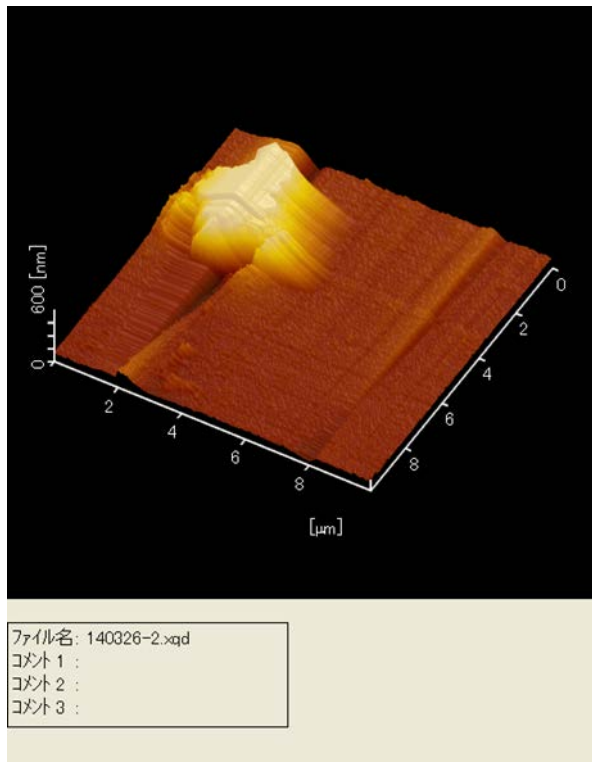


図 19 表面粒子部の AFM 像

この異常粒子は SEM に併設されているエネルギー分散型 X 線分析装置による組成分析の結果、キャピラリーガラスの成分と同じであることが分かり、異常粒子はガラスの結晶化であることが推察された。この分析結果をキャピラリー加工条件（熱処理条件）にフィードバックした結果、改善した処理条件では異常粒子の発生が解消された。

図 20 は異常粒子の EDS 分析結果、図 21 はガラス母材部の EDS 分析結果を示す。どちらも同じ成分スペクトルとなっている。

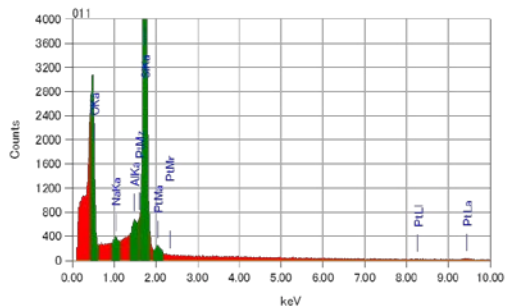


図 20 異常粒子の EDS 分析結果

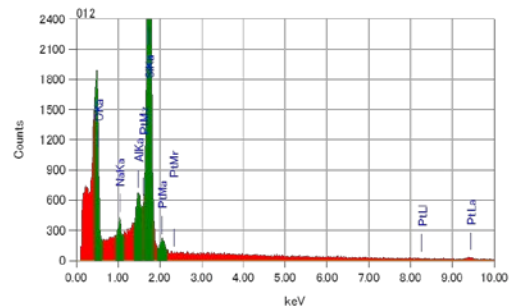


図 21 ガラス母材部の EDS 分析結果

キャピラリー穴のテーパー加工形状についても SEM を用いて形状の把握を行った。図 22 はテーパー加工後のキャピラリー端面全体を観察した SEM 像であり、図 23 はテーパー加工した部分の拡大 SEM 像である。

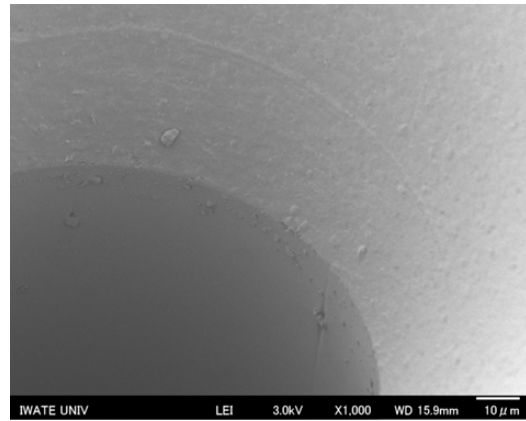
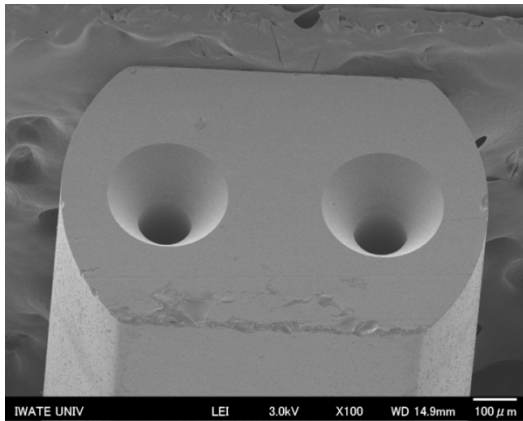


図 2 2 テーパー加工したキャピラリー 図 2 3 テーパー加工部拡大 SEM 像
端面 SEM 像

サンプルを傾斜させてテーパー加工部の状態を観察し、テーパー加工条件にフィードバックした。

2-3-2 信頼性評価に関する研究開発

ファイバレイに加工した場合の信頼性評価として、キャピラリーからファイバの引き抜き強度を評価した。引き抜き強度を測定するために図 2 4 に示すような光ファイバ強度試験装置を製作した。キャピラリー部分を固定し、ファイバ固定側を移動させてロードセルによって破断荷重（引き抜き強度）を測定するものである。

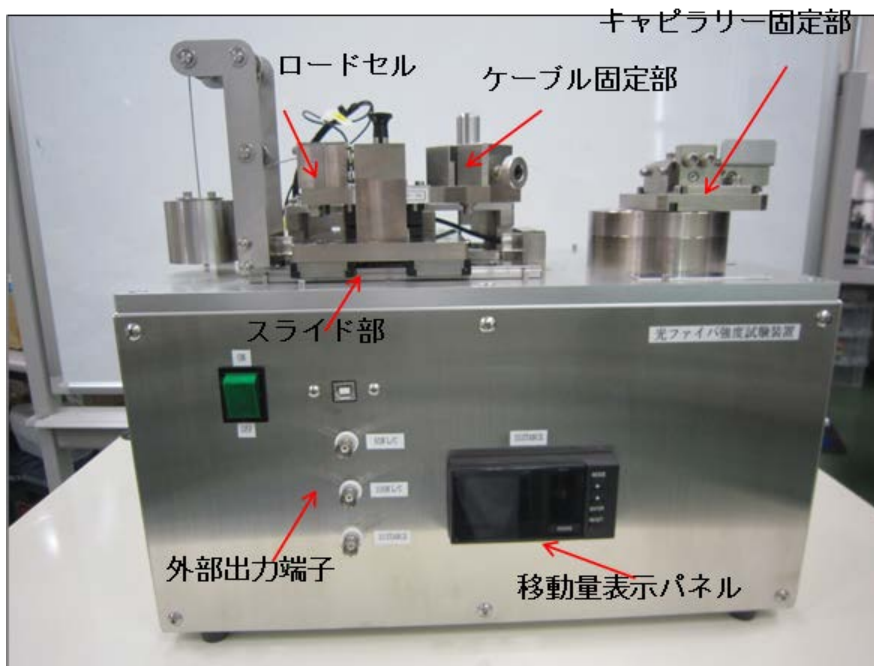


図 2 4 使用した光ファイバ強度試験装置

図 2 5 は引っ張り強度試験結果のグラフの一例である。横軸には距離、縦軸は荷重を示しており、このサンプルの場合の偏波保持ファイバの引っ張り強度はグラフのピーク荷重である 10.57N となる。

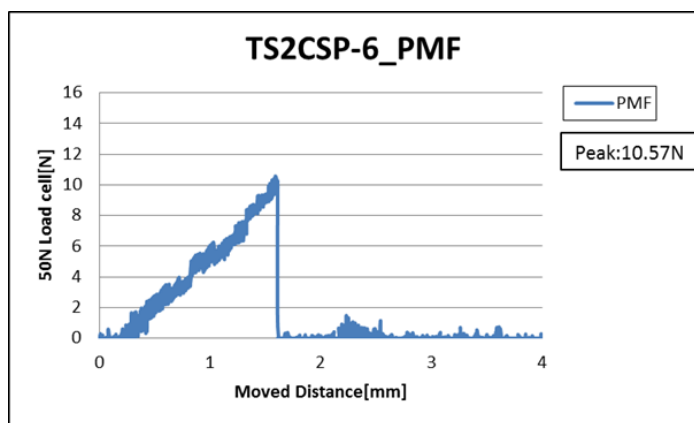


図 2 5 引っ張り強度試験結果の例

信頼性試験用として、温度サイクル試験 (21℃/75℃/21℃/-40℃ 1 サイクル 8 時間、42 サイクル 336 時間)、高温保存試験 (85℃ 336 時間)、高温高湿保存試験 (60℃/90RH% 336 時間) が可能な恒温恒湿試験装置を導入した。(図 2 6)



図 2 6 (a) 恒温恒湿試験装置外観



図 2 7 (b) 恒温恒湿試験装置内部

キャピラリーとファイバの接着に関しては、高温高湿保存試験が最も厳しい環境試験となっているが、この高温高湿保存試験後のサンプルにおいても、引っ張り強度は 10N 以上となっている。図 2 8 に強度試験結果の一部を示す。このサンプルの偏波保持ファイバの引っ張り強度は 13.3N となっている。

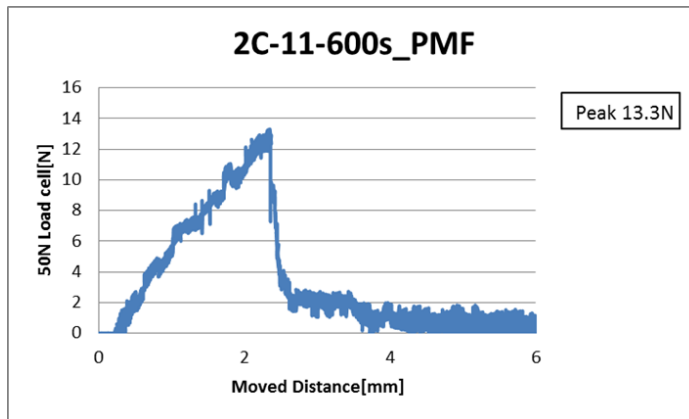


図 2 8 恒温恒湿保存試験後の引っ張り強度例

ファイバアレイ状態での信頼性試験（引っ張り強度試験）については、まだサンプル数が少ない状況ではあるが、高温高湿保存試験においても強度の劣化や破壊モードの変化は確認できておらず、問題ないと思われる。

2-4 事業化に関する検討

事業化に向け、2芯キャピラリー型ファイバアレイの優位性と市場性について開発研究と同時に調査研究した。

2-4-1 企業顧客への製品仕様調査及び試作品の評価

- ・ユーザーとなる光受信器製造メーカーなどと密接なコンタクトを図り製品仕様の詳細調査を行った。また、従来型ファイバアレイ部品メーカーへ、開発したキャピラリーを提供し従来品との差異を明確にし、事業化への具体的な見通しを得た。

2-4-2 事業化に向けての市場調査

- ・事業化に向け、キャピラリー型ファイバアレイの世界的な市場性を調べるため、海外の光受信器メーカーとも情報交換し、データを収集した

最終章 全体総括

1. 高精度キャピラリーの作製技術に関する研究開発

穴径： $127\mu\pm 1\mu$ 、ピッチ $500\mu\pm 1\mu$ を同時に満足するキャピラリーの作製に成功した。しかし、歩留り、収率などが低く全体的には生産性の向上の観点からは未だ不十分な点もあり、今後継続的な開発が必要である。

2. 光ファイバのキャピラリーへの挿入技術に関する研究開発

機械加工でホーン加工技術・装置を検討しホーン加工自体は可能になった。しかし加

工速度の向上などが今後の課題として残った。

またファイバをキャピラリーに挿入してファイバアレイ化を試みた。組み立てたファイバアレイを用いて偏波消光比の測定を行った。今後ファイバアレイ組立の各工程での偏波消光比の変化を測定し、光学特性に優れたファイバアレイの実現を目指す。

3. 評価技術に関する研究開発

キャピラリーの加工面の仕上がり状態を SEM、AFM で分析し、加工条件にフィードバックをかけた。

ファイバアレイのファイバ引っ張り強度を評価するための試験装置を製作し、環境試験前後での引っ張り強度のデータ収集および破壊モードの評価を行った。また、サンプル数が少ないが致命的な劣化は見られていない。

4 事業化に関する研究開発

想定される顧客との情報交換を密に行い、当初予想以上に市場は急速に拡大する事がわかった。また、開発したキャピラリーの評価なども行い事業化への確実な見通しを得た。今後とも顧客との情報交換を密にして市場調査を行い、販路拡大に努める。