

平成24年度研究開発成果概要書  
革新的光ファイバ技術の研究開発（146ア0101）  
課題ア マルチコア光ファイバの設計方法および製造方法に関する研究  
副題 マルチコア光ファイバの低損失および低非線形化の検討

（1）研究開発の目的

全世界の情報通信需要は、過去30年間に亘って10倍/4年のペースで増大し、今後もこの延長線上で推移すると考えられている。そのため、その需要増に対応できる大容量伝送可能な特性を備えた光ファイバが求められる。上記の大容量化を可能にする光ファイバとして期待されるのが、マルチコア光ファイバである。本ファイバは空間多重の要素を備えるため、大容量化の限界をもたらす光学的非線形や、ファイバフューズといったファイバ破壊に対する耐性が従来の光ファイバよりも高い。そのため、次世代の光ファイバとして最有望視されている。

（2）研究開発期間

平成22年度から平成24年度（3年間）

（3）委託先企業

日立電線株式会社＜幹事＞  
学校法人トヨタ学園 豊田工業大学

（4）研究開発予算（百万円）

平成22年度	30（契約金額）
平成23年度	29（ 〃 ）
平成24年度	27（ 〃 ）

（5）研究開発課題と担当

課題ア：マルチコア光ファイバの設計方法および製造方法に関する研究  
ア-1. マルチコア光ファイバ製造技術：（日立電線、豊田工大）  
ア-2. 低損失化技術：（日立電線、豊田工大）  
ア-3. 測定/評価技術：（日立電線、豊田工大）  
ア-4. ファイバインターフェイス技術：（日立電線）

(6) これまで得られた研究開発成果

		(累計) 40 件	(当該年度) 16 件
特許出願	国内出願	18	6
	外国出願	1	0
外部発表	研究論文	0	0
	その他研究発表	14	7
	プレスリリース	0	0
	展示会	7	3
	標準化提案	0	0

具体的な成果

(1) マルチコア光ファイバの製造技術

- ① 2 種類の母材製造方法について検討し、ロッドイン法がコアピッチの高精度化に優位であり。また、スタックアンドドロ法でファイバ長 50km 級母材を作製した。
- ② 分散補償型&空孔付与構造型 MCF で、ファイバ長 100km 換算で、クロストーク特性-55dB を達成した。
- ③ 分散補償型の空孔付与マルチコア光ファイバを試作し、 $A_{eff}=132 \mu m^2$ 、低損失化 (0.2dB/km) と高クロストーク化 (<-55dB) を達成した。
- ④ 均一7コア型のマルチコア光ファイバを試作し、ファイバ長=23km でクロストーク特性-45dB を確認した (100km 換算で-39dB)。

(2) マルチコア光ファイバの低損失化技術

- ① Ge 添加マルチコア光ファイバをアニール線引きし、最低損失 0.185dB/km を達成した。損失低下要因を分析し、レーリー散乱損失とマイクロバンド損失の低減を確認した。
- ② 上記光ファイバの仮想温度を評価し、通常品 (アニール無) に比べ 110°C 低下していることを確認した。

(3) マルチコア光ファイバの測定/評価技術

- ① マルチコア光ファイバ用調心装置を製作、クロストーク再現性 0.6dB 以内を確認した。
- ② ファイバフェーズ測定系を立ち上げ。ファイバフェーズ現象にマルチコア光ファイバの構造依存性がないことを確認した。

(4) マルチコア光ファイバインターフェイス技術

- ① インターフェイス用細径 ( $\Phi 50 \mu m$ ) 光ファイバを試作し、マルチコア光ファイバとの接続損失が平均で 0.43 dB を確認した。

(7) 研究開発イメージ図

# 平成24年度「革新的光ファイバ技術に関する研究開発」の研究開発目標・成果と今後の研究計画

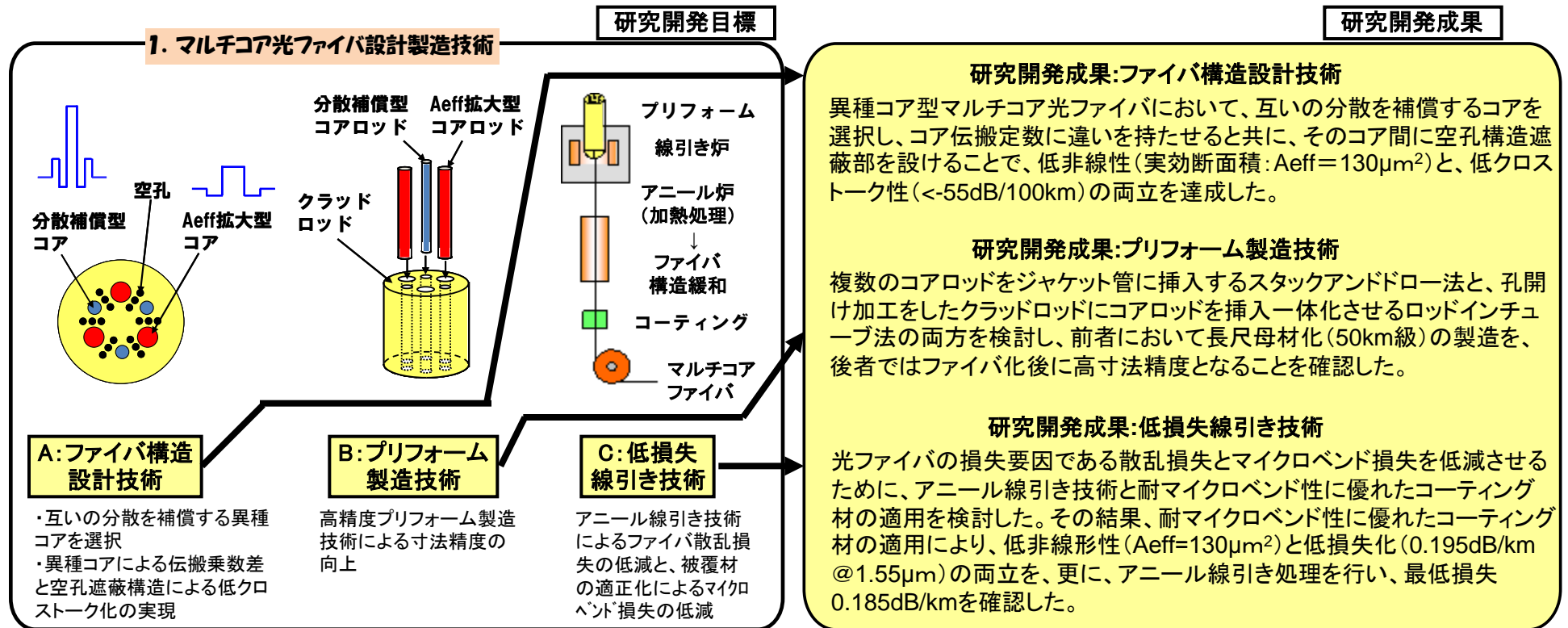
## 1. 実施機関・研究開発期間・研究開発費

- ◆実施機関 日立電線株式会社(幹事者)、学校法人トヨタ学園 豊田工業大学
- ◆研究開発期間 平成22年度から平成24年度(3年間)
- ◆研究開発費 総額86百万円(平成24年度 27百万円)

## 2. 研究開発の目標

年率40%のペースで増加している情報トラフィック需要に対応するために、従来の光ファイバにおいて伝送制限を与えていた光学的非線形性や熱的破壊といった問題点を打破する革新的なマルチコア光ファイバ技術を開発し、次世代の伝送路としての実用化を目指す。

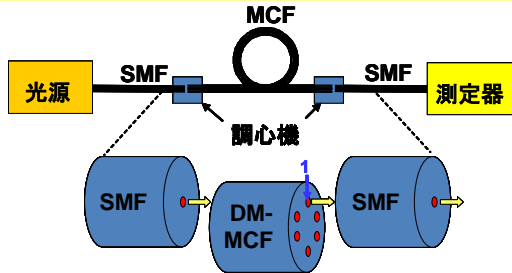
## 3. 研究開発の成果



### 研究開発目標

## 2. マルチコア光ファイバの評価技術

マルチコア光ファイバ測定用、試験光アライメント可能な装置を開発する  
マルチコア光ファイバのファイバフェーズ特性を評価する



マルチコア光ファイバ光学特性評価用アライメント装置の開発  
マルチコア光ファイバのファイバフェーズ特性の検証

### 研究開発成果

**研究開発成果:マルチコア光ファイバ用試験光アライメント装置の開発**

•マルチコア光ファイバの任意のコアに短時間で調心が可能で、かつ、繰り返し再現性のある試験光ファイバアライメント装置を開発し、マルチコア光ファイバのクロストーク特性の再現性において、そのばらつきが0.6dB以内で測定が可能であることを確認した。

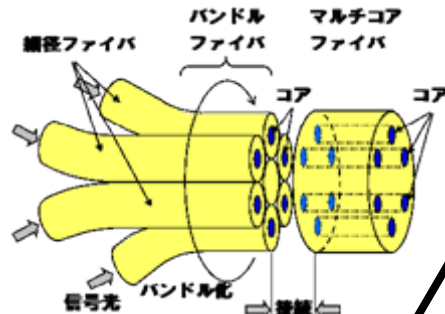
**研究開発成果:マルチコア光ファイバファイバフェーズ特性の検討**

•ファイバフェーズ評価系を立ち上げ、マルチコア光ファイバについて種々の評価を行った。その結果、マルチコア光ファイバにおけるファイバフェーズ現象は、その構造には依存せず、それぞれのコアのAeffに依存することを確認した。

### 研究開発目標

## 3. マルチコア光ファイバのインターフェイス技術

マルチコア光ファイバの各コアに信号光を入出力する機構を備えたモジュールを試作開発する



A: インターフェイス用細径ファイバの試作開発  
B: インターフェイスモジュールの試作検討

### 研究開発成果

**研究開発成果:インターフェイス用細径ファイバの試作開発**

インターフェイスモジュール作製用に、想定したマルチコア光ファイバのコアピッチと同じ外径を持つ細径光ファイバ(外径50~51 $\mu$ m)を作製した。細径ファイバでは、被覆材の適正化を行い、マイクロバンド損失の発生を抑制させた。

**研究開発成果:インターフェイスモジュールの試作検討**

試作した細径ファイバを7本用いて、7コア型マルチコア光ファイバ対応インターフェイスモジュールを試作した。試作した2本のモジュール同士を接続した状態で、平均接続損失=0.5dB、モジュールとマルチコアファイバとの接続で、平均0.43dBを確認した。

# 研究開発成果:マルチコア光ファイバ設計、製造技術

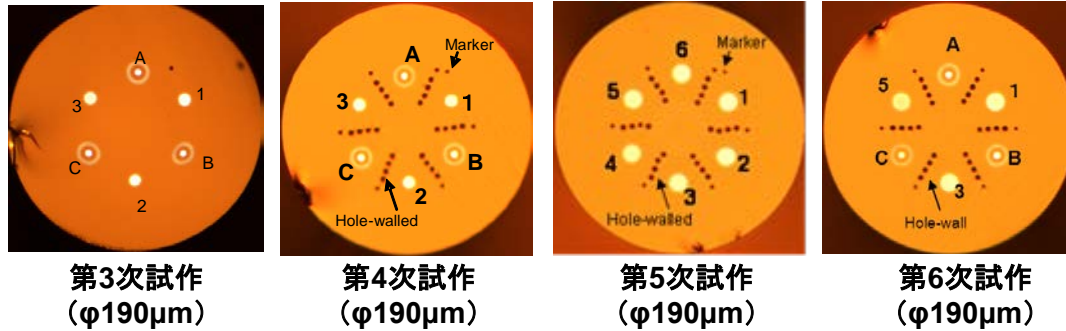


図1. 試作マルチコア光ファイバ断面写真

## クロストーク特性改善

異種コア型(3, 4次, 6次)、同種コア低非線形型(5次)マルチコア光ファイバの設計製造、試作、特性評価を行った。異種コア型のコアの種類は通常SMF型(3,4次)またはAeffが大きい(>130 $\mu\text{m}^2$ )低非線形型と分散補償型である。第3次試作におけるクロストーク特性は-12~-41.5dBとばらつきが大きかったが、その原因は図3に示すようにコアの曲げ損失特性に依存していることを確認した。また、隣接コア間に空孔を付与する(第4次~6次試作)構造とすることで、クロストーク特性は改善し、その曲げ損失特性依存性も小さくなる。低非線形型と分散補償型の異種コアと空孔付与型を組み合わせたマルチコア光ファイバ(6次)では、クロストーク特性<-55dB(100km換算)を確認した。

## 低損失化検討

各コア間ピッチとファイバ外径の適正化(第3次試作)により、通常SMF型コアで最低損失0.205dB/kmを確認した。被覆に耐マイクロバンド性に優れた材料を用いることで、構造不整損失を低減し低非線形型コアで0.195dB/kmを確認した。線引き時にアニール処理を行うことで、レーリー散乱損失の低減を図り、通常SMF7コア型構造で、0.185dB/kmを確認した。また、本ファイバは線引き長=23kmで均一な損失特性であることも確認した。

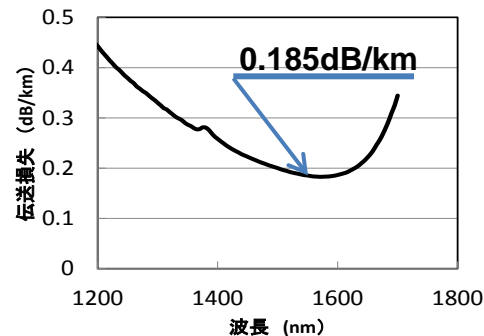


図4. 第7次試作の波長損失特性

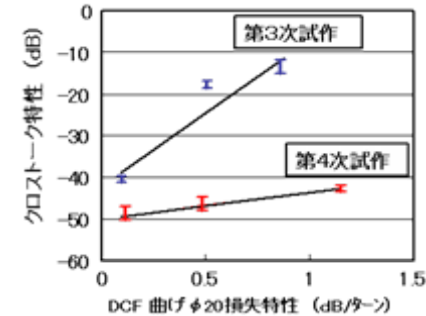


図2. クロストーク特性の曲げ損失依存性

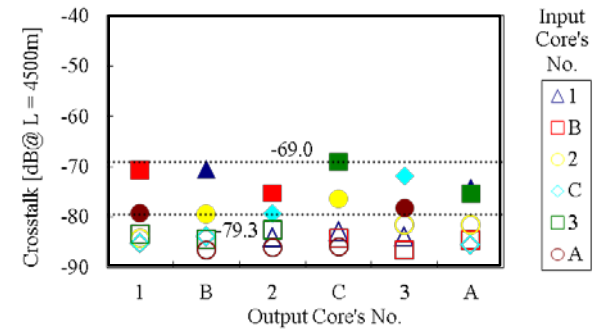


図3. 第6次試作クロストーク特性

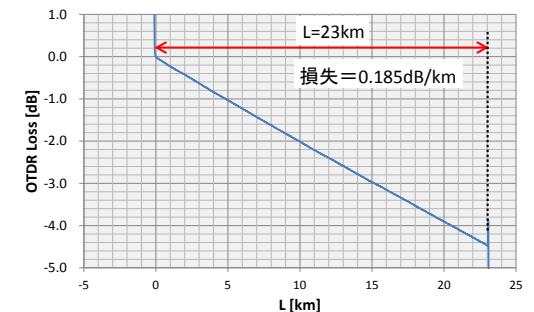


図5. 第7次試作の損失長手方向均一性

## 研究開発成果:マルチコア光ファイバ評価技術

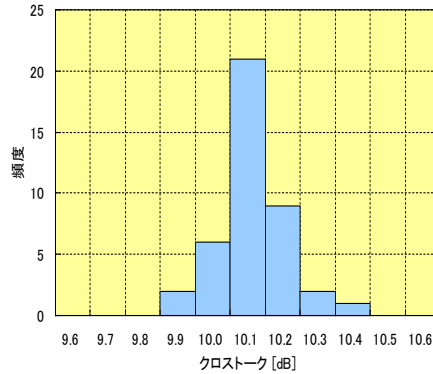
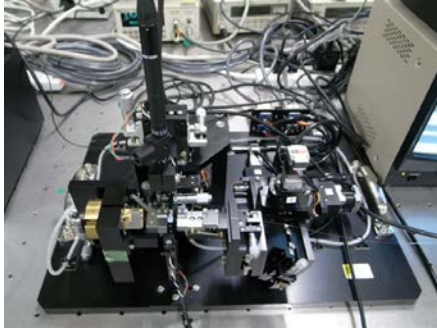


図6. 評価用光ファイバアライメント装置

図7. クロストーク再現性評価

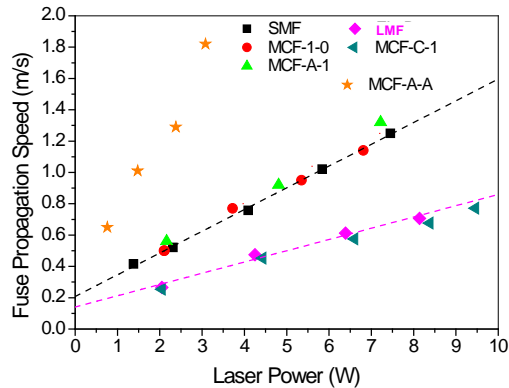


図8. 試験光パワーとファイバフェーズ進行速度の関係

マルチコア光ファイバの各々のコアに測定光をアライメントして、光学特性評価が行える光ファイバアライメント装置を開発した。図7に、本装置を用いたクロストーク特性の再現性評価結果を示す。ばらつき0.6dB以下の評価が可能であることを確認した。構造が違うマルチコア光ファイバのファイバフェーズ現象を観測し、その挙動はAeffに依存することを確認した。

## 研究開発成果:マルチコア光ファイバ用インターフェイス技術

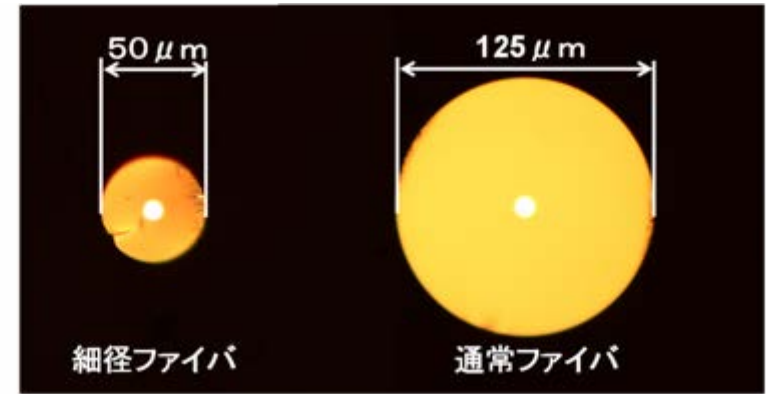


図9. 細径ファイバ(φ50μm)と通常ファイバ(125 μm)との断面写真

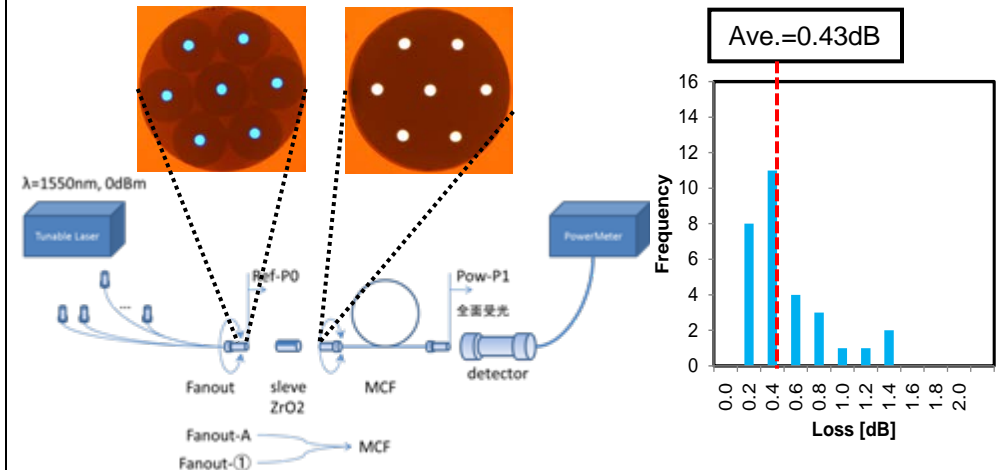


図10. モジュール接続損失評価系

図11. モジュール⇄ファイバ間接続損失

マルチコア光ファイバ接続技術の検討用に、細径ファイバ(50μm)を用いた7コア型対応インターフェイスモジュールの試作を行った。本モジュールと別途試作した7コア型マルチコアファイバとの平均接続損失=0.43dBであった。使用した部品の寸法精度を更に上げれば、より一層の低損失接続が可能と思われる。

4. これまで得られた成果(特許出願や論文発表等) ※成果数は累計件数と( )内の当該年度件数です。

	国内出願	外国出願	研究論文	その他研究発表	プレスリリース	展示会	標準化提案
革新的光ファイバ技術に関する研究開発	18 (7)	1 (0)	0 (0)	14 (7)	0 (0)	7 (3)	0

5. 今後の研究開発計画

1. マルチコア光ファイバの設計/製造技術

実用化を見据え、長尺かつその長手方向の特性が安定した光ファイバを得るために、母材大型化の検討を更に進める。また、実用上必要なクロストーク特性を維持しつつ、空間多重効率を上げるために、コア間ピッチ、空孔構造、ファイバ外径の適正化の観点から、ファイバ構造の最適設計化を行うと共に、他の開発機関との連携により標準化に向けた準備を進める。

2. マルチコア光ファイバの測定評価技術

開発したファイバアライメント装置によるファイバ評価の経験を重ね、改良、改善点を探索し、必要に応じて装置の改良を検討する。また、マルチコア光ファイバの複数のコアに同時に試験光を入射した条件下でのファイバフューズ特性について検討を行う。

3. マルチコア光ファイバのインターフェイス技術

インターフェイスモジュール用に使用する光ファイバのサイズに最適なモジュール部品を適用することで、モジュール自体の寸法の高精度化を図る。更に、マルチコア光ファイバとの接続実験用ファイバを試作して、検証実験を行う。