

平成22年度「革新的光ファイバ技術の研究開発」の開発成果について

1. 施策の目標

- ・通信トラフィックの爆発的な伸びに対応するため、大容量伝送が可能な新規マルチコア光ファイバを開発する。
- ・現状のシングルコア光ファイバでは、ファイバー心あたりの伝送可能な容量の伸び悩みがあり、新規マルチコアファイバでこの状況を打破する。

2. 研究開発の背景

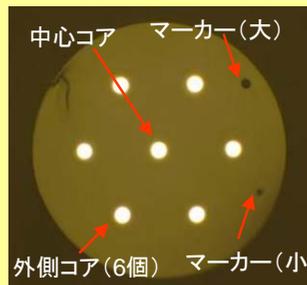
・幹線系光通信インフラは、過去20年間で3桁の大容量化(1987年:1.6Gbps 2007年:1.6Tbps)を達成し、現時点においても年率約40%以上でトラフィックが増えている。しかし、光ファイバへの入力可能な光エネルギーの観点から、一本の光ファイバで伝送できる容量は、現在の容量を1.5桁～2桁を増やすのが限界と予測されている。これは約10年で伝送容量が枯渇する量であり、さらに大容量伝送可能な新しい光ファイバが求められる。この限界を打破するためには、1心の光ファイバに多数のコアを収納したマルチコア光ファイバが次世代ネットワークには必要である。

3. 研究開発の概要と期待される効果

- ・マルチコア光ファイバでは ①最適製造技術 ②コア間クロストーク評価、特性改善技術 に開発課題が大別される(下図)。
- ①最適製造技術については、幾何学的特性(コア偏心率、コア非円率)、光学特性などについて検討。接続損失を抑えるために、マルチコア光ファイバの各コアの位置ズレ量を従来ファイバと同等程度に抑え、実用化を目指す。
- ②コア間クロストーク評価、特性改善技術については、通信品質を劣化させるコア間クロストークを抑えるために、コア間隔の最適化、改善設計が求められる。上記の実現により、クロストークを光エネルギーが各コアに分散されるため、一本あたりの通信容量の拡大が図れる。

①最適製造技術

ファイバの幾何学的特性(コア偏心率、コア非円率)など、通常のファイバと同程度の特性が得られる製法を確立する。偏心率、非円率が大きいと接続損失などが増加する。



作製したファイバ断面形状

単孔パイプと多孔パイプを使ったプリフォームを線引することでコア数7個のマルチコア光ファイバを作製。

マーカーはコア配列の識別用(空孔で形成)。例えば、マーカー(小)と(大)で挟まれたコアをコア番号1として、コア(大)の方向に2、3、…と配列を決めることができる。

- A 単孔パイプ(Stack and Draw)製法
- B 多孔パイプ製法
- C ファイバ評価

②コア間クロストーク評価、特性改善技術

マルチコアファイバはコアが近接しているため、振動でコア間のクロストークが発生する。コア間のクロストークは信号雑音として通信品質を劣化させる。クロストークはマルチコア光ファイバ特有のもので、正確な測定方法の確立や、クロストークの挙動を把握した上で、クロストークを低減したファイバの設計を進める必要がある。



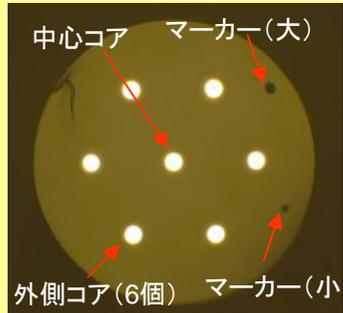
- A コア間クロストーク測定技術
- B クロストーク条長依存性、波長依存性
- C クロストーク低減技術

- 4. 研究開発の期間及び体制 平成22年度～平成23年度(3年間)
NICT委託研究(三菱電線工業株式会社)

①最適製法技術の主な成果

①最適製造技術

ファイバの幾何学的特性(コア偏心量、コア非円率)など、通常のファイバと同程度の特性が得られる製法を確立する。偏心量、非円率が大きいと接続損失などが増加する。



単孔パイプと多孔パイプを使ったプリフォームを線引することでコア数7個のマルチコア光ファイバを作製。

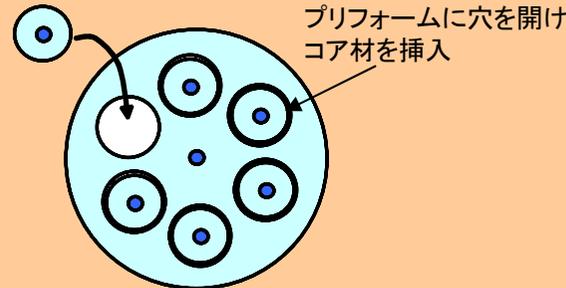
マーカーはコア配列の識別用(空孔で形成)。例えば、マーカー(小)と(大)で挟まれたコアをコア番号1として、コア(大)の方向に2、3、...と配列を決めることができる。

- A 単孔パイプ(Stack and Draw)製法
- B 多孔パイプ製法
- C ファイバ評価

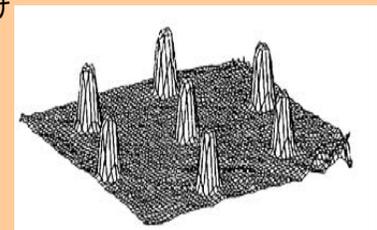
作製したファイバ断面形状

多孔パイプ製法

- 各コア間距離のバラつきは±1um以下を確認。
- 外側コア非円率は5%以下を確認。単孔パイプを使用した場合に比べ、多孔パイプを使用することで非円率が改善。穴とコア材の隙間をプリフォーム直径10/1000以下で変形を抑制。
- 13000mを線引(クラッド径170umで20000m超のプリフォームサイズ) 長尺ファイバの作製の可能性を示した。



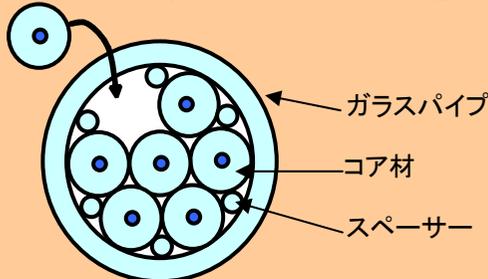
多孔パイプのプリフォーム



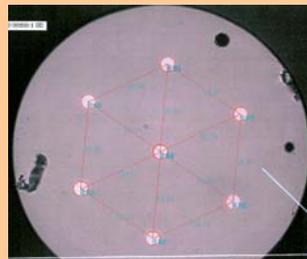
ファイバの屈折率分布(3次元)

単孔パイプ(Stack and Draw)製法

- コア偏心量が大きいと、ファイバ接続時にコアの位置ズレを起こし、接続損失が大きくなる。各コア間距離のバラつきを計測し、±1um以下を確認。
- 単孔パイプを使用するとプリフォーム内の隙間が大きく、クラッド外縁形状が六角形になる。スペーサーガラスで隙間を埋めて改善を確認。
- 外側コアの非円率は約10%と大きいことを確認。プリフォーム内の隙間が埋まることで変形が生じたと考えられる。
- コア配列の識別のためのマーカーを配置。



単孔パイプのプリフォーム



コア間隔の計測

ファイバ評価

コア間隔約50um、クラッド径170um、の略同一構造のファイバを2種類の製法(単孔パイプ製法、多孔パイプ製法)で作製。コア径、ΔはSMFと同等

	波長	単孔パイプ製法		多孔パイプ製法	
		中心コア	外側コア	中心コア	外側コア
伝送損失 (dB/km)	1.31um	0.44	0.77	0.33	0.33
	1.55um	0.41	0.69	0.19	0.19
*コア位置ズレ量 (um)	-	1um以下		1um以下	
外側コア形状	1.55um (PMD)	<p>コアが楕円化 コア非円率: 10.3% PMD: 0.11ps/√km</p>		<p>コア非円率: 2.3% PMD: 0.21ps/√km</p>	

SMFと同等特性
目標値を達成

本年度の
目標値を達成

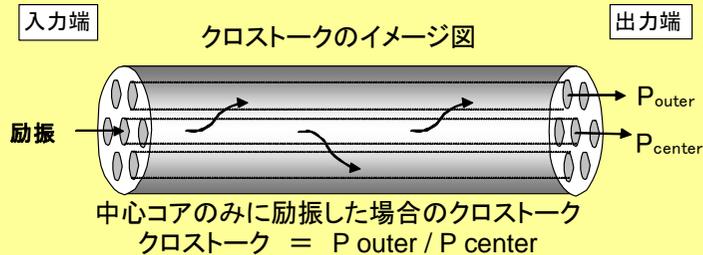
コア非円率が
低い多孔パイプでPMDが大きい。
今後、再測定
など予定

* 各コア間距離のバラつきを計測

①コア間クロストーク評価、特性改善の主な成果

②コア間クロストーク評価、特性改善技術

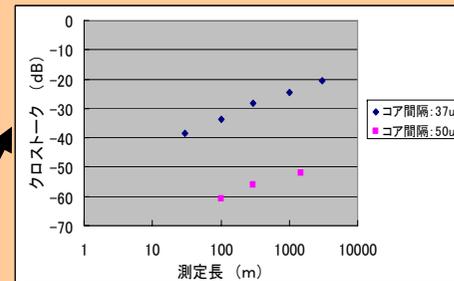
マルチコアファイバはコアが近接しているため、摂動でコア間のクロストークが発生する。コア間のクロストークは信号雑音として通信品質を劣化させる。クロストークはマルチコア光ファイバ特有のもので、正確な測定方法の確立や、クロストークの挙動を把握した上で、クロストークを低減したファイバの設計を進める必要がある。



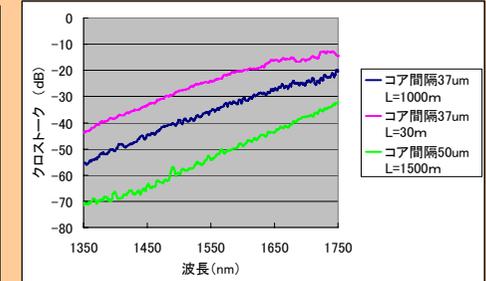
- A コア間クロストーク測定技術
- B クロストーク条長依存性、波長依存性
- C クロストーク低減技術

クロストークの長さ依存性、波長依存性 など

- コア間隔を50umまで拡げることで、コア間クロストークを -51.9dB @ $L=1500\text{m}$ ($\lambda=1.55\mu\text{m}$)を実現。100kmで -38dB のクロストークに相当。
- スーパーコンティニューム光源を使用することで、クロストークの波長依存性を測定。
- 波長1.55umに比べ波長1.625um(L-Band)ではクロストークは約7dB大きい。今後の設計指針が得られた。



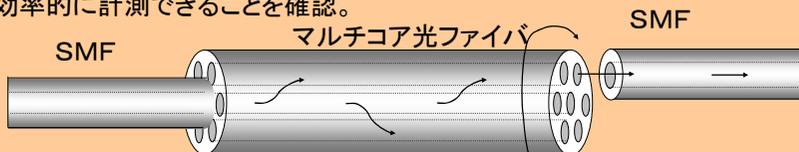
ファイバ長依存性



波長依存性

コア間クロストーク測定技術

- マルチコア光ファイバのコア間クロストークの測定系を構築。
- シングルモードファイバを使うことで、マルチコアファイバの各コアからの光電力を選択的に計測。
- マルチコア光ファイバの出力端は回転機構に取り付けることで、外側6コアの光電力は効率的に計測できることを確認。



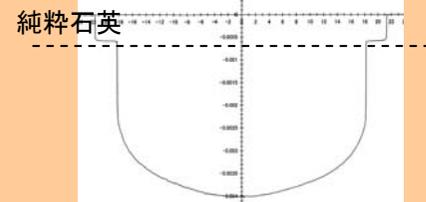
コア間クロストーク測定系

60° 毎に回転させながら、外側コアの光電力を効率的に測定

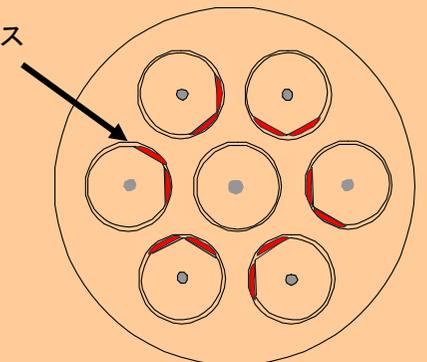
クロストーク低減技術

- コア間クロストークの低減のために障壁層(低屈折率層)設置の構造設計。
- 低屈折率材料をクラッドに配置し、エバネッセント波の広がりを抑制して、隣接するコア間のクロストークを抑圧。

一例として赤色部分にフッ素ドープ石英ガラスを挿入する



フッ素ドープガラスの屈折率分布測定



プリフォーム構成

1. これまで得られた研究成果(特許出願や論文発表等)

	国内出願	外国出願	研究論文	その他研究発表	報道発表	展示会	標準化提案
革新的光ファイバ技術の研究開発	2	0	0	0	0	0	0

(補足) 研究発表については、現在、準備中である

(1) 表彰・受賞

なし

(2) 研究成果発表会等の開催について

なし