

平成22年度「革新的光ファイバ技術に関する研究開発」の開発成果について

1. 施策の目標

マルチコア光ファイバに関する、「伝搬特性解析技術と最適設計技術」、「入出力技術」、並びに「特性評価技術」について検討を行う。課題アに掲げられたマルチコア光ファイバの設計・製造技術の研究開発との連携により、既存光ファイバの伝送容量限界を打破する、将来の超大容量伝送用光ファイバの技術基盤を確立する。併せて、マルチコア光ファイバ技術の国際標準化に向けた礎を築く。

2. 研究開発の背景

光ファイバ1コア当りの総伝送容量は、その物理的な限界に迫りつつあり、次世代の100Tb/s超光伝送の実現には光ファイバ技術の更なるブレイクスルーが求められている。このような中、マルチコア構造の適用による伝送容量の飛躍的な拡大に向けた検討が進展しつつあり、国外研究機関も含む研究開発が加速しつつある。

3. 研究開発の概要と期待される効果

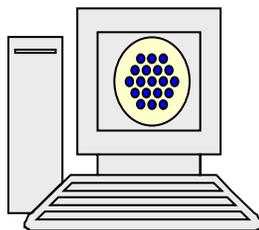
本研究では、マルチコア光ファイバの「特性解析技術」、「入出力技術」、並びに「特性評価技術」について、「同種コア／異種コア」、「結合型／非結合型」、「単一モード／多モード」の観点から体系的に検討を行う。また、課題アのマルチコア光ファイバの設計・製造技術の検討との連携により、伝送容量を最大とする非結合型マルチコア光ファイバの最適構造を明らかにすると同時に、結合型マルチコア光ファイバによる更なる伝送容量の拡張性についても明確化を図る。

以上の検討を通じ、マルチコア光ファイバ技術の起大容量伝送に対するポテンシャルを見極め、国際標準化に向けたマイルストーンを策定し、日本発の新たな光伝送基盤技術を確立を目指す。

①解析技術

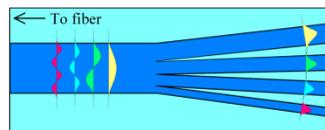
「非結合型／結合型」、「同種／異種コア」、「単一／多モード」、の観点から、伝送特性と最適構造を体系的かつ段階的に明確化する。

特に、非結合型マルチコア光ファイバに対するクロストーク特性解析技術、並びに結合型マルチコア光ファイバに対するモード伝搬特性解析技術を確立する。(北海道大学)



②入出力技術

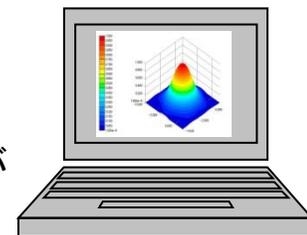
非結合型マルチコア光ファイバに好適なFun-out導波路を設計・試作し、その結合特性等を明確化する。また、結合型マルチコア光ファイバ用のモード合分波器を考案・設計し、Fun-out導波路技術と併せ、マルチコア光ファイバの実用化に向けた入出力デバイスの基盤技術を確立する。(横浜国立大学)



③評価技術

マルチコア光ファイバの実用化に必要な電界分布及びクロストークの評価技術を確立する。(大阪府立大学)

光ファイバ構造条件、入力光強度限界、並びに光ファイバ伝搬方向の均一性評価法について検討し、マルチコア光ファイバの最適化へフィードバックする。(NTT)



4. 研究開発の期間及び体制

平成22年度～平成24年度(3年間)

NICT委託研究(日本電信電話株式会社、大阪府立大学、北海道大学、横浜国立大学)

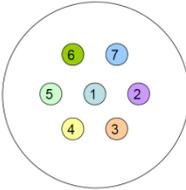
①解析技術および②入出力技術の主な成果

結合特性の解析



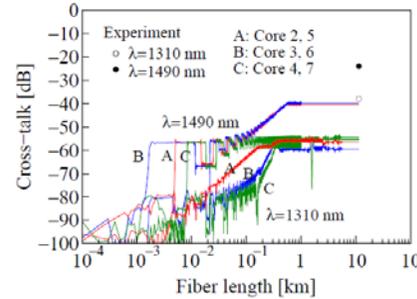
- 非結合型マルチコア光ファイバ中の曲げやねじれ、並びに伝搬方向における不均一性が結合特性に及ぼす影響を考慮
- 文献に報告された実際の光ファイバ特性例(下記)との比較により、曲げおよびねじれと、その伝搬方向における不均一性が伝送特性に及ぼす影響について考察(右記)

| | |
|---------------|-------------------|
| Core Δ | 0.40% |
| Core diameter | 8.0 μm |
| Core pitch | 38 μm |

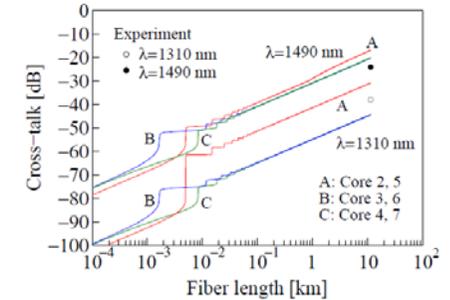


曲げ半径: 140 mm
 ねじれ周期: 20 m
 ○●: 実験値(B. Zhu et al., Opt. Express, 2010)

- モード結合理論、並びに電力結合理論に基づくクロストーク特性の解析技術を開発し、文献の特性例(図中のプロット)との整合性を検証



モード結合理論

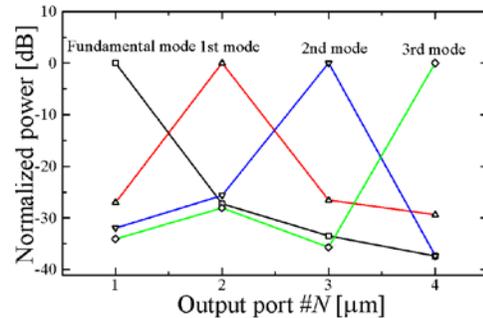
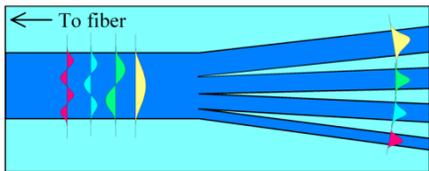


電力結合理論

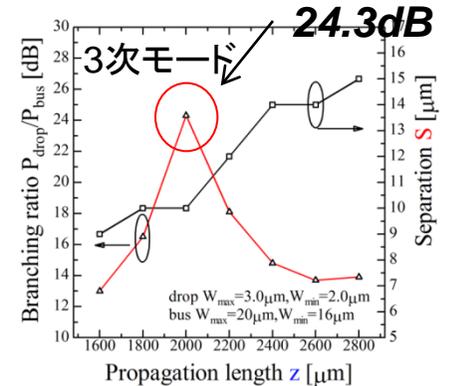
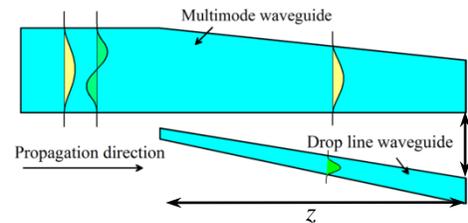
モード合分波器



- 非対称一括分岐形モード合分波器の考案と設計
- -25 dB以下のクロストーク特性を実現



- 非対称テーパ逐次分岐形モード分波器の考案と設計
- 全モードに対して-24.3 dB以下のクロストーク特性を実現

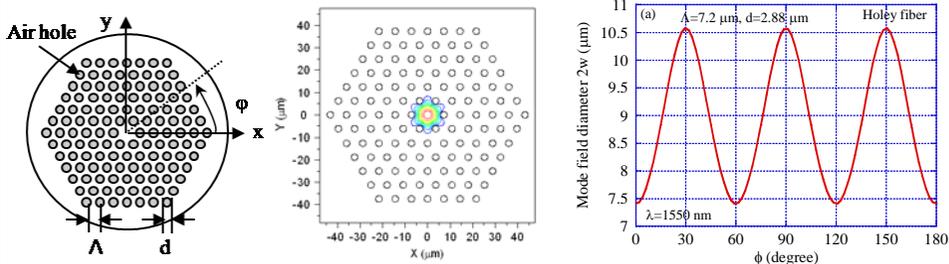


③評価技術の主な成果

電界分布評価技術

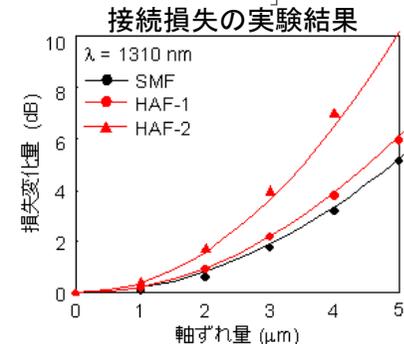
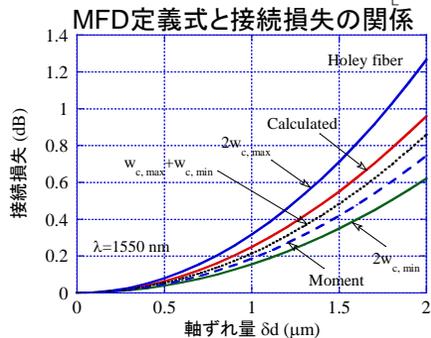


- 電界分布が周方向に変化する光ファイバのモードフィールド径 (MFD)の定義を接続損失特性との整合性により明確化
- 電界評価法として、周回方向(角度)毎の測定、あるいは断面全体を測定する技術の必要性を確認し、開口数可変 (VA) 法の有効性を実験的に明確化



- 周回方向の最大・最小値の平均値によるMFDの適正を確認
- VA法によるMFD評価結果の接続損失推定に対する有効性を実験的に明確化

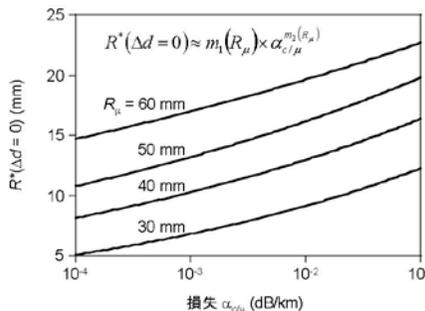
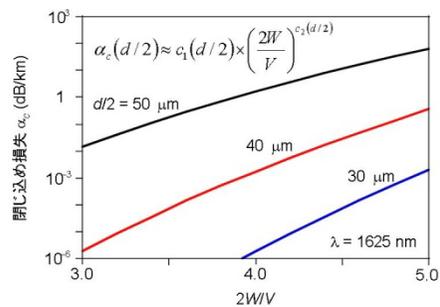
$$2w_N = \frac{2w_{c,max} + 2w_{c,min}}{2}, \quad 2w_c = \frac{\lambda}{\pi} \left[\frac{2 \int_0^{\pi/2} F^2(\theta) \sin \theta \cos \theta d\theta}{\int_0^{\pi/2} F^2(\theta) \sin^3 \theta \cos \theta d\theta} \right]^{1/2}$$



光ファイバ構造条件



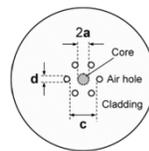
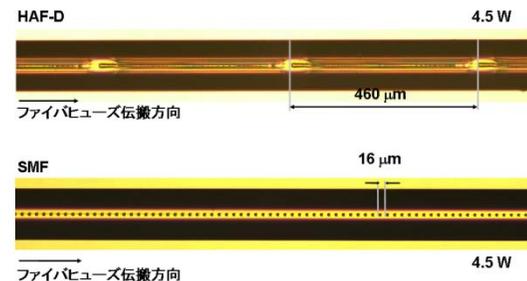
- ステップ型光ファイバにおける閉じ込め損失特性のMFD対規格化周波数比 (2W/V)を用いた簡易推定技術の考案
- マイクロバンド損失の影響を低減する許容曲げ半径R*と仮想曲げ半径Rμの関係を導出



入力光強度限界と均一性評価

- HAFにおける長周期ヒューズ伝搬、並びに伝搬特性の入力光強度と空孔構造に対する依存性を実験的に検証
- 均一性評価に対するPNC-OFDR(位相雑音補償型一光周波数領域リフレクトメトリ)の原理的適用性の明確化

| ファイバ | e (μm) | d (μm) | ファイバヒューズ伝搬 |
|-------|--------|--------|-------------------|
| HAF-A | 30.7 | 4.5 | 発生 |
| HAF-B | 17.1 | 4.6 | なし (up to 15.6 W) |
| HAF-C | 9.5 | 5.0 | なし (up to 13.5 W) |
| HAF-D | 20.3 | 2.3 | 発生 |
| HAF-E | 22.0 | 3.4 | 発生 (上限伝搬閾値の観測) |



空孔アシストファイバ (HAF: Hole Assisted Fiber) におけるファイバヒューズ伝搬と空孔構造との関係

空孔構造ファイバにおける新たなファイバヒューズ伝搬特性

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* | 1 | 0 | 1 | 7 | 0 | 1 | 0 |

*:課題イ マルチコア光ファイバの性能評価方法の研究および実用方式に向けての検討

(1) 展示会

(1.1) 展示タイトル:革新的光ファイバ技術の研究開発

(NTT R&Dフォーラム、2011年2月22日～23日、NTT武蔵野研究開発センタ)

(2) 研究成果発表会等での発表

(2.1) 研究論文でマルチコアファイバのクロストーク特性における曲げの影響を発表

・IEICE Electronics Express(北大):

“Crosstalk behavior of cores in multi-core fiber under bent condition”

(2.2) 国際会議でマルチコアファイバの研究動向と高密度実装について発表

・Optical Fiber Communication Conference(OFC'2011)(北大):

“Recent progress in multi-core fibers: their prospects and potential”

・16th Micro optics Conference(MOC'10)(横国大):

“High density packing of heterogeneous uncoupled multi-core fibers by strained lattice”