

平成23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 日本電信電話株式会社(幹事者)、大阪府立大学、北海道大学、横浜国立大学
- ◆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112百万円(平成23年度 37百万円)

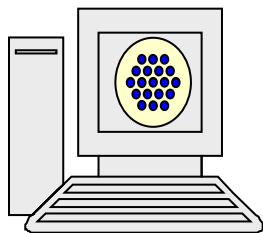
2. 研究開発の目標

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。(下図に開発技術と担当を示す)

①解析技術

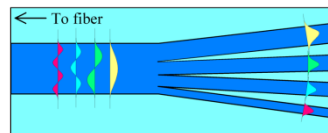
「非結合型／結合型」、「同種／異種コア」、「単一／多モード」、の観点から、伝送特性と最適構造を体系的かつ段階的に明確化する。

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

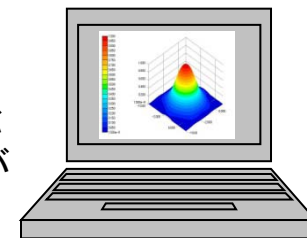
非結合型マルチコア光ファイバに好適なFan-out導波路を設計・試作し、その結合特性等を明確化する。また、結合型マルチコア光ファイバ用のモード合分波器を考案・設計し、Fan-out導波路技術と併せ、マルチコア光ファイバの実用化に向けた入出力デバイスの基盤技術を確立する。(横浜国立大学)



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)



3. 研究開発の成果

今年度の各課題の主な目的は以下に示す通りであり、具体的な成果を2および3ページ目に示す。

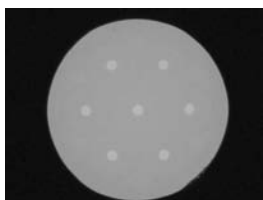
- ①解析技術 モードおよび電力結合理論に基づく非結合型マルチコア光ファイバの解析・設計技術の確立。
- ②入出力技術 非結合型マルチコア光ファイバ用の導波路型Fan-outデバイスの設計技術の確立。
- ③評価技術 クロストーク評価技術の確立、並びに光ファイバ構造条件の明確化による非結合型マルチコア光ファイバの最適化。

①解析技術および②入出力技術の主な成果

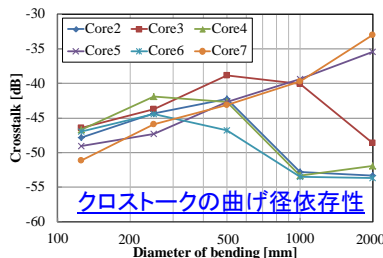
結合特性の解析



- 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
- 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)



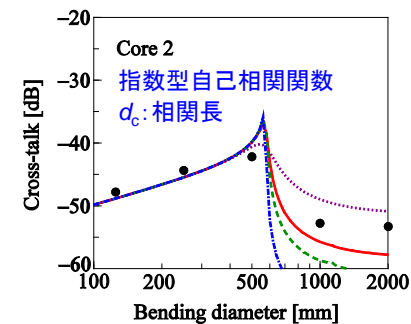
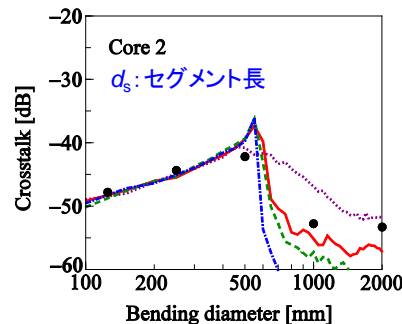
Core Δ	0.4%
Core pitch	39.2 μm
Twisting pitch	20 m
Fiber length	100 m



準均一7コアファイバ

ファイバパラメータ

- 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、実際の実験例(図中のプロット)との整合性を検証



モード結合理論

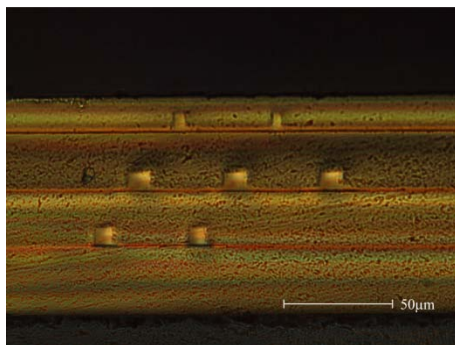
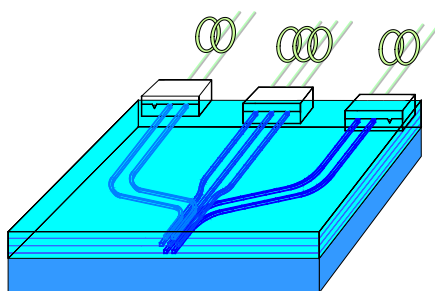
電力結合理論

点線: $d_s=d_c=0.01$ m, 実線: $d_s=d_c=0.05$ m, 破線: $d_s=d_c=0.1$ m, 一点鎖線: $d_s=d_c=0.5$ m

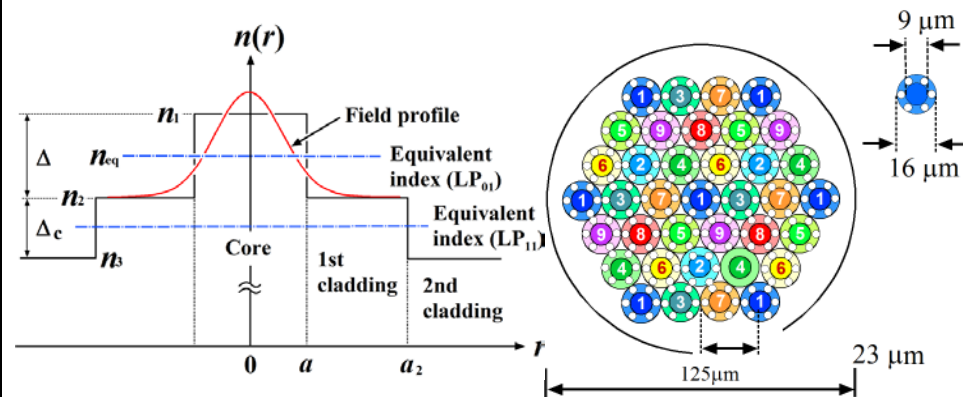
入出力技術とコア高密度化



- 導波路型外部接続デバイス(Fan-outデバイス)の設計
- ポリマー多層導波路構造の製作技術の開発



- ホールアシスト2段クラッドによるコア高密度化の提案と設計
- 37コア高密度化の設計



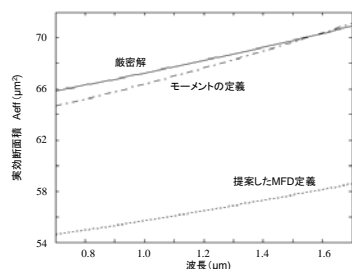
③評価技術の主な成果

電界分布評価技術

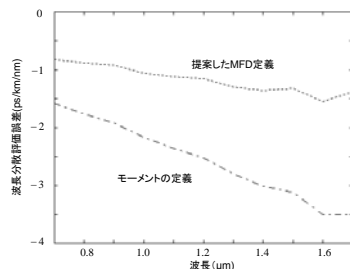


- MFDを用いて A_{eff} および波長分散を評価し、提案したMFDの定義式の妥当性を明確化

$$\text{MFDの定義式: } 2w = \frac{2w_{min} + 2w_{max}}{2}, \quad A_{eff} = k\pi w^2, \quad D = D_m + D_w, \quad D_w = \frac{\lambda}{4\pi^2 cn} \frac{d}{d\lambda} \left(\frac{2\lambda}{w^2} \right)$$



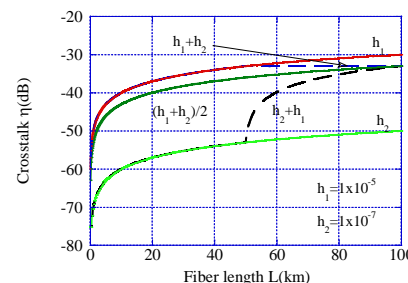
(a) HFの A_{eff} の波長特性



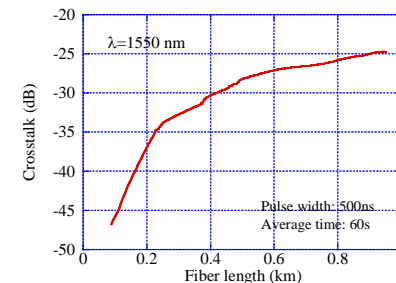
(b) HFの波長分散評価誤差

クロストーク評価法

- ファイバ全長のクロストークは、全長における電力結合係数の平均値で評価できることを明確化
- OTRDを用いたクロストーク評価法の装置構成の明確化と適用性の検証



(a) クロストークの距離特性

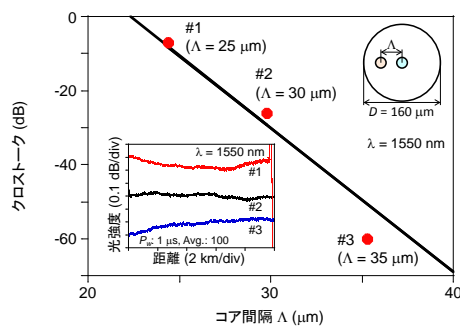
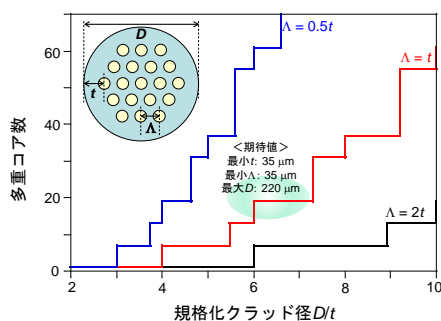


(b) OTRDによるクロストークの測定結果

光ファイバ構造条件

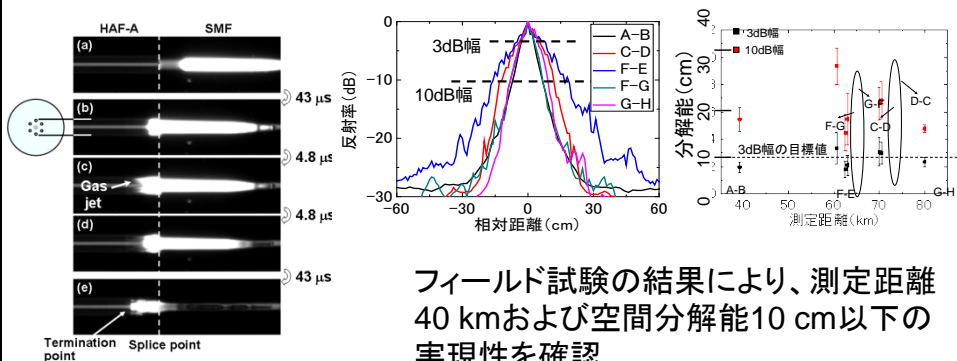


- 損失と機械強度特性のクラッド径依存性から非結合型マルチコア光ファイバの充填コア数を推定
- 2コア光ファイバの分布特性と結合特性の実験検証



入力光強度限界と均一性評価

- 空孔アシストファイバのヒューズ伝搬停止機構を実験的に解明
- PNC-OFDR (位相雑音補償型一光周波数領域反射計)による偏波変動の長距離・高分解能測定を実現



フィールド試験の結果により、測定距離40 kmおよび空間分解能10 cm以下の実現性を確認

4. 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	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の研究開発	12 (11)	0 (0)	26 (21)	42 (37)	0 (0)	5 (4)	1 (1)

※成果数は累計件数と()内の当該年度件数です。

5. 展示会、研究成果発表など

(1) 展示会および国際標準化

- 各種展示会で日本発のマルチコア光ファイバ技術を幅広くアピール
国際会議ICC'11、NTTつくばフォーラム、OCSシンポジウム'11、NTT R&Dフォーラム
- ITU-T、SG15にて、空間およびモード多重用光ファイバの検討を提案。次会期の課題として採択。

(2) 研究成果の学会・会議発表

- モードおよび電力結合モデルに基づく非結合型マルチコア光ファイバの解析・設計技術で世界をリード。
国際会議ECOC'11での招待講演や、論文誌Optics Express特集号への採録など (北海道大学)
- 結合型マルチコア光ファイバにおける選択モード励振について世界に先駆け実験検証を実施。
国際会議ECOC'11や、論文誌Optics Express特集号への採録など (横浜国立大学)
- 空孔構造光ファイバにおける電界分布の定義と評価法について明確化。
電子情報通信学会論文誌への採録など (大阪府立大学)

6. 今後の研究開発計画

非結合型マルチコア光ファイバにおける最適構造の明確化に向け研究活動を推進すると同時に、結合型マルチコア光ファイバによる伝送容量の拡張性についても検討を行い、今後の超大容量伝送用光ファイバの研究課題および国際標準化に向けたマイルストーンの明確化を図る。