

(様式第3号)

## 論文要旨

### 論文題目

光伝送システム用フォトニック結晶ファイバの諸特性評価及び理論的検討

Evaluation of Characteristics and Numerical Investigation in Photonic Crystal Fibers for Optical Transmission Systems

現在、広く用いられている石英系光ファイバは、石英ガラスにゲルマニウム (Ge) やフッ素 (F) 等の添加物を加えることにより、コアとクラッドの屈折率差を調整することで屈折率分布が形成されている。それで、光伝送波形の各種劣化要因を抑制する手段として、光ファイバの屈折率分布の形状を改良することで解消される。しかし、さらに伝送特性を向上することが困難であり、限界が見え始めてきている。そこで、最近、光ファイバの伝送特性向上の可能性を導く新種の光ファイバとして、石英ガラス上に多数の空隙 (Air hole) を配列した構造を有するフォトニック結晶ファイバ (PCF : Photonic Crystal Fiber) が注目されている。

本論文では、従来の光ファイバでは得られない PCF の特異な諸特性について明らかにしている。実際に製造された六角形構造を有する PCF において、ファーフィールドスキャン (FFS : Far Field Scan) 法を用いてモードフィールド径 (MFD : Mode Field Diameter) 及び実効断面積 ( $A_{eff}$  : Effective Area) について、従来の光ファイバと比較して、実験的に評価を行った。また、実モデルの PCF を基に、有限差分法 (FDM : Finite Difference Method) による数値解析を行い、MFD 及び  $A_{eff}$  の数値計算値と実験値の比較を行なった。その結果、PCF の MFD 及び  $A_{eff}$  は従来の光ファイバであるシングルモード光ファイバ (SMF : Single Mode optical Fiber) 及び分散シフト光ファイバ (DSF : Dispersion Shifted optical Fiber) より、非常に小さい値が得られることがわかった。PCF の MFD 及び  $A_{eff}$  の波長依存性は、FDM による数値計算値と実験結果がよく一致すること確認でき、FDM による数値計算の信頼性があることが示された。次に、光波の閉込めが強い、空隙が二等辺三角形形状に規則正しく配列された八角形フォトニック結晶ファイバ (OPCF : Octagonal Photonic Crystal Fiber) を解析モデルとして用いて、OPCF と従来の六角形フォトニック結晶ファイバ (HPCF : Hexagonal Photonic Crystal Fiber) の比較を行った。異なる空隙率が原因で、閉込め損失及び MFD の結果から OPCF は HPCF より分布を強く閉込めることが分かった。OPCF は、HPCF より、正のみならず負にも大きな波長分散値が得られるので、OPCF は、より短波長側のゼロ分散波長  $\lambda_0$  が期待され、分散補償ファイバとして利用できることを示した。OPCF は HPCF より、 $A_{eff}$  を小さくできるので、OPCF は、高機能を有する高非線形ファイバの実現が期待されることを示した。最後に、 $\lambda_0=0.516\mu\text{m}$  と短波長側よりシフトされる高空隙率八角形フォトニック結晶ファイバ (HF-OPCF : High air filling Fraction-Octagonal Photonic Crystal Fiber) 、閉込め損失が 1dB/m 以下で  $10^2$  桁と非常に大きな複屈折率を有する複合欠陥コアを有する八角形フォトニック結晶ファイバ (CDC-OPCF : Compound Defect Cores Photonic Crystal Fiber) を理論的に示した。

氏名 兼島 兼太

(様式第5-2)

平成18年2月15日

琉球大学大学院  
理工学研究科長 殿

論文審査委員

主査 氏名 波平 宜敬

副査 氏名 藤井 智史

副査 氏名 玉城 史朗



### 学位（博士）論文審査及び最終試験の終了報告書

学位（博士）の申請に対し、学位論文の審査及び最終試験を終了したので、下記のとおり報告します。

記

申請者	専攻名 総合知能工学 氏名 兼島 兼太 学籍番号 038654F		
指導教員	波平 宜敬		
成績評価	学位論文	合格 不合格	最終試験 合格 不合格
論文題目	光伝送システム用フォトニック結晶ファイバの諸特性評価及び理論的検討		
審査要旨（2000字以内） 現在、広く用いられている石英系光ファイバは、石英ガラスにゲルマニウム（Ge）やフッ素（F）等の添加物を加えることで屈折率分布が形成されている。この屈折率分布の形状を調整することで、光ファイバの伝送特性を改善できる。これまで、シングルモード光ファイバ（SMF）のゼロ分散波長（ $\lambda_0$ ）を1.31 $\mu\text{m}$ から1.55 $\mu\text{m}$ へシフトさせた分散シフト光ファイバ（DSF）、波長分散を補償する分散補償光ファイバ（DCF）、非線形性を抑制するノンゼロ分散シフト光ファイバ（NZDSF）及び実効断面積（ $A_{eff}$ ）拡大分散シフト光ファイバ（LEDSF）等の各種光ファイバが提案されている。しかし、コアとクラッドの屈折率差を大きく変化させることができないので、さらに伝送特性を向上することが困難であり、限界が見え始めてきている。そこで、最近、光ファイバの伝送特性向上の可能性を導く新種の光ファイバとして、石英ガラス上に空隙（Air hole）を多数配列させたフォトニック結晶ファイバ（PCF）			

### 審査要旨

が注目されている。PCFの特徴は、従来の光ファイバより、コアとクラッドの屈折率差を10倍以上大きくできることである。従来の光ファイバで得られなかったPCFの新しい特性として、広い波長帯域でのシングルモード動作、大きな  $A_{eff}$  (低非線形性)、小さな  $A_{eff}$  (高非線形性)、大きな構造分散、及び大きな複屈折率等が挙げられる。

本論文では、従来の光ファイバでは得られないPCFの特異な諸特性について明らかにしている。六角形構造の空隙を有する実モデルPCFの  $A_{eff}$  及びモードフィールド径 (MFD) の波長依存性について、ファーフィールドスキャン (FFS) 法を用いて実験的に初めて評価を行っている。また、実モデルPCFの断面写真を基に、空隙の数、位置及びサイズを読み取り、有限差分法 (FDM) を用いた数値解析により、 $A_{eff}$  及びMFDについて理論的に検討を行い、実験値との比較検討を行っている。その結果、PCFのMFD及び  $A_{eff}$  は従来の光ファイバであるSMF及びDSFより、非常に小さい値が得られることを示している。また、PCFのMFD及び  $A_{eff}$  の波長依存性は、FDMによる数値計算値とFFS法による実験値が良く一致することを確認し、FDMによる数値計算が信頼できることを示している。次に、最近、提案された空隙が二等辺三角形形状に配列された八角形フォトニックPCF (OPCF) を解析モデルとし、従来の六角形PCF (HPCF) と比較しながら、諸特性について理論的に検討を行っている。その結果、OPCFは、HPCFと比較して優れている特性として3つ挙げられる。第一に、OPCFはHPCFより、閉込め損失が小さく、分布が漏れやすい方向と漏れにくい方向のMFDの差がほとんどないことから、分布を強く閉込める効果があることを示した。第二に、OPCFはHPCFより、正のみならず負にも大きな波長分散値が得られるので、より短波長側にゼロ分散波長 $\lambda_0$ がシフト可能な光ファイバの実現が期待でき、モジュールサイズが小形化された分散補償光ファイバとして利用できることを示している。第三に、OPCFはHPCFより、限界まで  $A_{eff}$  を最小化できるので、高機能を有する高非線形光ファイバの実現の可能性を示している。次に、八角形PCFの各二等辺三角形格子の間に小さい空隙をさらに設けた高空隙率八角形PCF (HF-OPCF) を提案し、その短波長ゼロ分散波長 $\lambda_0$ について理論的に検討を行っている。このモデルは、八角形PCFの分布の閉込めをより強くした構造を有している。その結果、 $\lambda_0$ が $0.516\mu\text{m}$ と可視光帯まで短波長側にシフトでき、可視光帯光源の利用の期待が示されており、これまで、報告された短波長ゼロ分散波長を有するPCFより、より簡単化されたモデルで小さい $\lambda_0$ が得られている。次に、複合欠陥コアを有する八角形PCF (CDC-OPCF) を提案し、その複屈折率特性について、閉込め損失の計算を取り入れながら、理論的に検討を行っている。その結果、各種CDC-OPCF1~5における複屈折率及び閉込め損失について比較検討を行った結果、リング1及び2周期において両端の空隙が2個ずつないCDC-OPCF2で、高複屈折率かつ低閉込め損失が得られている。最後に、 $\lambda=1.3\sim 1.7\mu\text{m}$ において、 $d/\Lambda_1=0.75$ 、 $\Lambda_1=1.0\mu\text{m}$ を有するCDC-OPCF2において、通常の偏波面保存光ファイバの約2倍の $10^{-2}$ の析散係数を有する高複屈折率及び1dB/m以下の低閉込め損失が達成できることを示している。

以上のように、本論文は工学的に価値のある新しい研究成果が示されており、また、上記の者は専門分野及び関連分野の十分な知識を有することも確認できたので、博士(工学)の学位論文及び最終試験とも合格とする。