

方形コア単一マルチモードファイバ横方向出射内視鏡の開発に向けた 光強度分布制御の高速化

Speed-up of laser intensity distribution control for the development of a square-core single
multimode fiber side-firing endoscope

京大院工, °合田啓真, 太田一輝, 覚野貴之, 四竈泰一, 蓮尾昌裕

Kyoto Univ., °Hiroma Goda, Kazuki Ota, Takayuki Kakuno, Taiichi Shikama, Masahiro Hasuo

E-mail: goda.hiroma.58s@st.kyoto-u.ac.jp

単一マルチモードファイバ内視鏡[1]は, 空間光変調器 (Spatial Light Modulator: SLM) によって位相や振幅を変調したレーザー光をファイバに入射し, その出射端に光スポットを形成する技術である. 我々は, 先行研究[2]で円形コアファイバを用いた軸方向出射内視鏡を開発した. 今回, 新たに先端を 40° 斜め研磨した方形コアファイバを用いた横方向出射内視鏡の開発に取り組んでいる. 方形コアの内視鏡では, 円形コアの内視鏡と比べて光スポットの位置に応じた強度変化を低減でき, また, ファイバ回転による光スポット走査を行える利点がある. 本研究では, 光スポット形成時の SLM 変調の最適化に用いる制御アルゴリズムを, 先行研究で用いていた遺伝的アルゴリズム (Genetic Algorithm: GA) [3]から, SLM の各画素の位相を逐次的に決定する転送行列法 (例えば, [4]) に変更することで最適化に要する時間の短縮を試みた.

実験には, 方形コアファイバ (SI 型, コア径 $100\ \mu\text{m} \times 100\ \mu\text{m}$, クラッド径 $\phi 500\ \mu\text{m}$, 開口数 0.20, 長さ 1.00 m) を用いた. Fig.1(a)にファイバの先端の拡大図を示す. He-Ne レーザー (波長 633 nm) を反射型液晶 SLM によって位相変調した後に 10 倍対物レンズで集光してファイバに入射し, 出射光強度分布を 20 倍対物レンズと組み合わせた CMOS カメラで計測した. カメラの焦点面 (光スポットを形成する平面) をクラッド表面付近の $y = 250\ \mu\text{m}$ の平面とした. まず, 制御アルゴリズムに GA を用いて, 出射光の中心付近に光スポットを形成した. Fig.1(b)に出射光全体のカメラ画像, (c)に光スポット付近を拡大した画像を示す. SLM 位相パターン更新回数 7530 回 (所要時間約 45 分) で, 光スポットピーク強度が, 最適化前の背景スペckルパターン平均光強度に対して約 50 倍となった. 所要時間の内訳は, SLM 位相パターン計算時間約 94 %, SLM 応答時間約 4 %, CMOS カメラ露光時間約 2 %であった. GA は最適化中に SLM 位相パターンを計算するため, 所要時間の大部分が計算時間となった. 制御アルゴリズムを, 最適化中の計算が不要な転送行列法[4]に変更することで, 所要時間を短縮する. 必要な SLM 位相パターン更新回数は GA と同程度であり, 最適化時間を原理的に約 5% (所要時間約 2-3 分) に短縮できると考えられる. ただし, GA に比べて, ノイズが大きい場合に光強度が増加しにくいことが報告されている[3]. 講演では実験結果を報告する.

[1] A. M. Caravaca-Aguirre and R. Piastun, Opt. Express 25, 1656 (2017).

[2] L. Ishikawa, et al., Rev. Sci. Instrum. 93, 083705 (2022).

[3] D. B. Conkey, A. N. Brown, A. M. Caravaca-Aguirre and R. Piastun, Opt. Express 20, 4840 (2012).

[4] H. Chen, et al., Appl. Opt. 58, 7552 (2019).

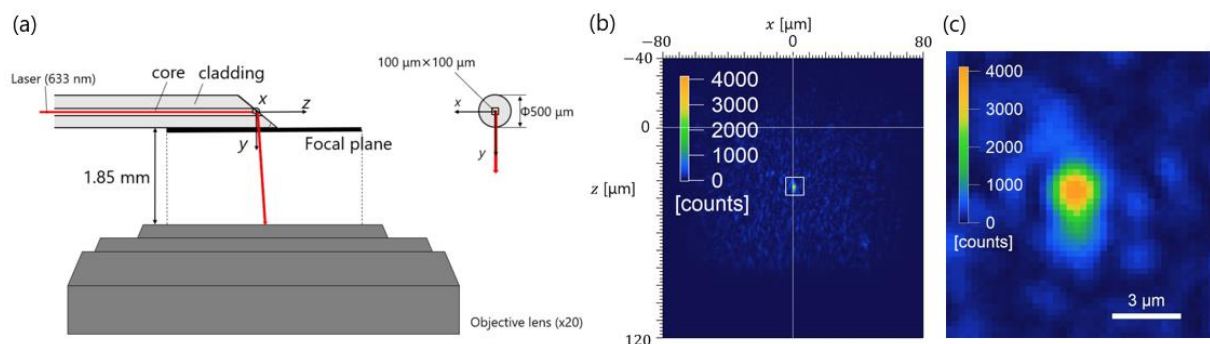


Fig.1 (a) Schematic illustration of the optical fiber distal end (b) CMOS image of light intensity distribution in a $y = 250\ \mu\text{m}$ plane (c) Enlarged image of the square region in (b).