

# アクティブ光空間通信システムの通信品質向上に関する研究開発 (152310001)

## Communication Quality of Active Free Space Optics System

### 研究代表者

辻村 健 佐賀大学

Takeshi TSUJIMURA Saga University

### 研究分担者

泉 清高 佐賀大学

Kiyotaka IZUMI Saga University

研究期間 平成 27 年度、平成 29 年度～平成 30 年度

## 概要

アクティブ光空間通信装置プリプロトタイプを用いて、光空間通信システム (FSO) を実現するための光学系・光軸制御系要素技術の有効性検証を行った。また、この技術を簡易な広帯域アクセス系通信あるいは災害時アドホックネットワークに適用するために、実用化を目的とした技術検討を進めた。最初に、ボイスコイルモータとポジショニングフォトダイオードを搭載することにより初期調整が容易な双軸アクティブ光空間通信装置を設計・試作した。ガウシアンビーム光学の原理を適用し通信レーザー光の着地点を Distributed Photodiode Array の受光強度に基づいて推定する手法を提案した。また、レイトレーシングシミュレーションにより光空間通信装置光学系の最適設計を試行し、長距離通信に対応した光学設計パラメータを明らかにした。最後に、双軸アクティブ光空間通信装置プロトタイプを用いて光空間通信/光ファイバ・ハイブリッドネットワークを構築して通信実験を行い伝送信号品質を評価した。その結果、1550nm 赤外線レーザーを用いた 1Gbps ブロードバンド光空間通信をビットエラーレート  $10^{-11}$  以下の高品質で実現した。

## 1. まえがき

災害直後の通信インフラ復旧用アドホックネットワーク技術の一つとして、また、島しょ部等へのブロードバンド通信提供を目的として、レーザー光空間通信方式とロボット制御技術を組み合わせたアクティブ光空間通信を検討した。今回、新たに双眼型レーザー光軸制御装置を設計試作し 1550nm 赤外レーザー光を用いた 1Gbps 双方向光空間通信システムの実用性検証を行った。

## 2. 研究開発内容及び成果

光空間通信を長距離で実現するためには、レーザー光が拡散しないように平行光を生成する必要がある。そこで最初に光学シミュレータ CODE V (Synopsys, Inc.) を利用して、レンズの厚さ・曲率半径・レンズ間の距離をパラメータとする幾何光学解析を実行し、光線追跡により平行度を評価して光空間通信光学系の最適化を行った。

今回試作した通信装置の送信器 (図 1) ではレーザー光は鏡筒内にある 4 枚のレンズを通過して空間光に変換される。各レンズの厚さ、曲率半径、レンズ間距離を調整することにより空間光のプロファイルを設計して平行光を生成できる。

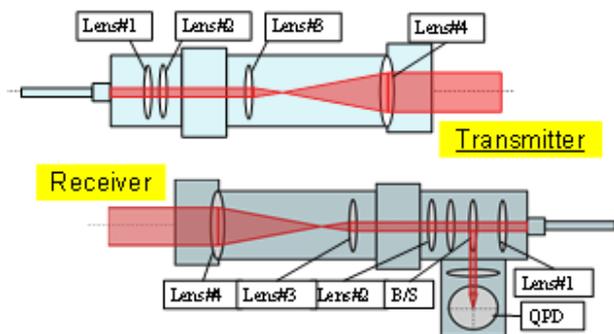


図 1 アクティブ光空間通信装置光学系

この平行度を、レイトレーシングシミュレーションにより定量的に評価し、最も平行光に近いプロファイルを実現するための各パラメータの条件を求めた。

たとえば、Lens #1 の曲率半径を 4.0-7.0 mm の範囲で変えてシミュレーションを行った。図 2 に示すように、厚さ 5.0mm と 6.0mm の間に最適条件があることが推定され、さらなる詳細検討により最適な曲率半径として 5.8mm が得られた。同様に各レンズの厚さ、曲率半径、レンズ間の距離に関して最適値を検証して最適パラメータを明らかにした。

次に、双眼型アクティブ光空間通信システムプロトタイプ

(図 3) を試作した。これは Distributed Photodiode Array を備え、ガウシアンビーム光学に基づいて通信レーザー光の着地点を推定できる。その情報を用いて送信装置の光学系を VCM (Voice Coil Motor) を駆動して双方向独立に制御するフィードバック系を設計した (図 4)。

このプロトタイプを用いて通信実験を行い伝送信号の品質評価を行った。

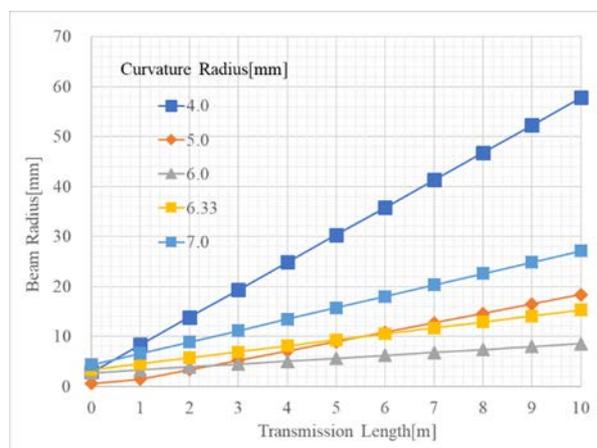


図 2 通信光プロファイルシミュレーション結果

シングルモードファイバ (SMF) の一部を FSO に置き換えた通信路を準備し、空間伝送距離を 1.5/ 5/ 35m と変えて通信実験を実行した。ビット誤り率測定器 MP2101A (ANRITSU) を用いて 1Gbps 疑似ランダムパターン光信号を伝送したときのビットエラーレートを測定したところ、受信光信号強度 -7dBm 程度、ビットエラーレート  $10^{-11}$  以下であり、いずれの条件でも良好な通信品質が提供できることが明らかとなった。また、アイパターンを計測したところ図 5 のようにジッタが少なくクリアなパルス信号が観測できた。これからも高品質のデジタル信号が伝送されていることが確認できた。

実験環境の制限で空間通信距離 35m までしか実験できなかったが、光信号減衰特性と光受信機の特性値から推定して、本システムは 1000m 以上の長距離通信が可能であるという見通しを得た。



図 3 双眼型アクティブ光空間通信装置プロトタイプ

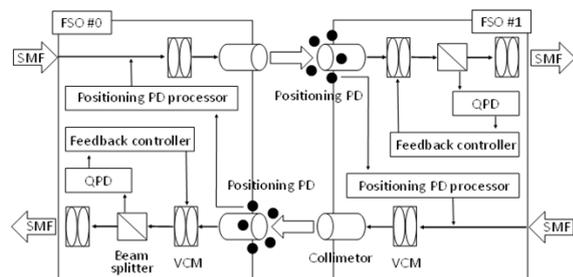


図 4 双眼型アクティブ光空間通信装置ブロック図

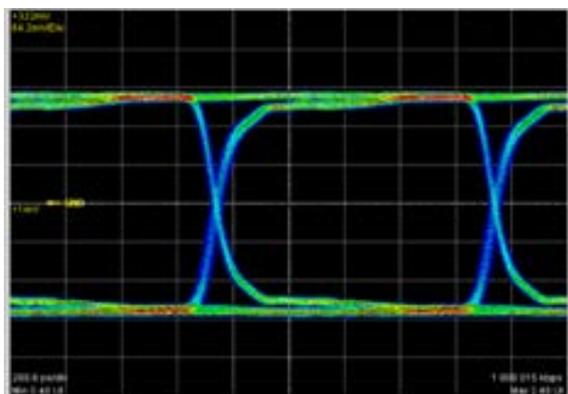


図 5 光空間通信のアイダイアグラム

### 3. 今後の研究開発成果の展開及び波及効果創出への取組

本検討の結果、実用化のためには通信レーザ光の全光完全自動光軸調整機能を付加して初期調整時間を短縮化する

ことが必須であることが判明した。今後これを喫緊の課題として引き続き技術検討を進めたい。

また、想定される実環境で長距離通信実験を行い、気候の影響評価・耐久性・信頼性・製造コスト等実用性に関するデータの収集に努めたのちに図 6 に示すようなアクティブ光空間通信ネットワークの実現を目指す。

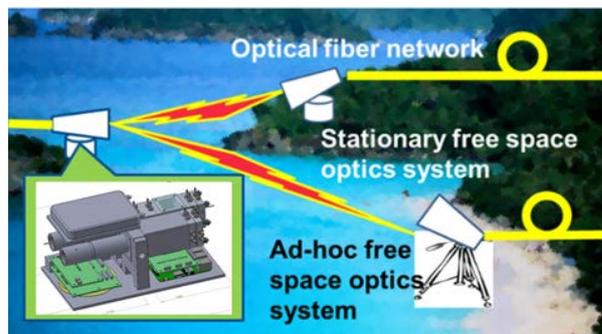


図 6 アクティブ光空間通信ネットワーク

### 4. むすび

双眼型細径赤外光空間通信システムを提案し、光学解析に基づいて最適設計を行った後、受信レーザ光到達位置検出機能と送信レーザ光方向制御機能を有する FSO 装置を試作した。これによりビーム径約 10mm の 1550nm 赤外レーザ光を双方向独立に光軸調整するアクティブ光空間通信を実現した。

試作装置を用いて FSO/SMF ハイブリッド通信路を構築し、1Gbps 信号を伝送する実験を行った結果、良好なアイパターンを確認し、ビットエラーレート  $10^{-11}$  以下の高品質でブロードバンドネットワークを提供可能であることを実証した。

#### 【誌上发表リスト】

- [1] Yuta Shimada, Yuki Tashiro, Kiyotaka Izumi, Koichi Yoshida, and Takeshi Tsujimura, "Initial Alignment Method for Free Space Optics Laser Beam", Japanese Journal of Applied Physics, Volume 55, Number 8S3, (2016.7)
- [2] Yuki Tashiro, Yuta Shimada, Kiyotaka Izumi, Takeshi Tsujimura, Koichi Yoshida : Optical Axis Identification Technique for Free Space Optics Transmission, International Journal of Advances in Telecommunications, Electrotechnics, Signals and Systems, Vol 6, No 2 (2017.7)
- [3] Takeshi Tsujimura, Kiyotaka Izumi, Koichi Yoshida: Collaborative All-Optical Alignment System for Free Space Optics Communication. In: Xhafa F., Barolli L., Greguš M. (eds) Advances in Intelligent Networking and Collaborative Systems. Lecture Notes on Data Engineering and Communications Technologies, vol 23. Springer, Cham. (2019.1)

#### 【登録特許リスト】

- [1] 辻村健、泉清高、光空間通信システム、日本、登録平成 30.3.2、特許第 6296436 号

#### 【受賞リスト】

- [1] Yuki Tashiro, Finalist in the SICE annual conference poster presentation award, "Optical System Design for Laser Tracking of Free Space Optics", 2017.9.22.

#### 【本研究開発課題を掲載したウェブページ】

[http:// robot.me.saga-u.ac.jp/](http://robot.me.saga-u.ac.jp/)