

# アクティブ光空間通信システムの研究開発 (132310008)

## Development of active free space optics telecommunication 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<sup>†</sup> 吉田耕一<sup>††</sup>

Kiyotaka Izumi<sup>†</sup> Koichi Yoshida<sup>††</sup>

<sup>†</sup>佐賀大学 <sup>††</sup>福岡工業大学

<sup>†</sup>Saga University <sup>††</sup>Fukuoka Institute of Technology

研究期間 平成 25 年度～平成 26 年度

## 概要

災害後のアドホックネットワーク技術、あるいは島しょ部でのブロードバンド通信媒体の選択肢として、レーザ光通信システム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技術を提案した。赤外線レーザ光軸制御装置を設計し、アクティブ光空間通信システムを試作した。また、レーザビームの動的制御系を設計し、光軸追従制御特性等を定量評価した。さらに、光空間通信ネットワークに関し、分散制御により伝送路切替実験を行い提案の有効性を検証した。

## 1. まえがき

震災等の直後は通信インフラ復旧が急務であるが、無線ネットワークは通信輻輳が予想され、光ネットワークは復旧工事に時間がかかる。そこで本研究ではレーザ光通信に着目し、簡易にブロードバンド通信を実現する可能性を検討した。光空間通信(Free Space Optics : FSO)はレーザ通信光を空中に発射して信号を送る通信システムであり、既存のメタル通信線路/光ファイバ/電波無線とは異なる第4の通信媒体に位置づけられる。光通信の一種であることから電波無線より帯域が広く、光ファイバ敷設と比較して建設が容易であるという利点がある一方、光軸のずれや光線の遮蔽に弱いという欠点があり、送受信点が固定されるためユビキタ性に劣ると考えられてきた。アクティブ光空間通信は従来の光空間通信とは異なりレーザ光の発射方向を高速高精度に自動制御するため、光軸の調整が不要であり様々な要因で発生する稼働中の振動や瞬間的な遮蔽に対応した安定な通信が期待できる。また、光ファイバ伝送光をそのまま空間光に変換できるため、既存の光通信システムとの親和性が良い。

本研究は、レーザ光軸制御装置を設計試作し、各々がレーザ光方向を自律的に制御しながら、総体として外乱に強い通信ネットワークを提供するシステムの可能性を追究し、空間を媒体とする光通信技術の実現性を検証した。

## 2. 研究開発内容及び成果

### A) アクティブ光空間通信装置の光学的設計

空間レーザビームを効率よくカスケードに伝送するための通信モジュールの光学的設計を実施した。最初に、受光素子/発光素子/反射鏡で構成される FSO モジュールを検討した。通常の光通信サービスと同一の波長を用い、これを平行空間ビームに変換し直径  $10\mu\text{m}$  の光ファイバに集光するために、色収差等を考慮してコリメータレンズ等の光学系を設計した。さらに、レーザ光方向制御の能力を最大化するためダイナミクスを考慮して反射鏡を最適構成に配置する機構設計を実行した。

### B) アクティブ光空間通信装置の制御系設計

通信環境の振動などの外乱に因り発生する空間通信光の揺らぎを吸収するためのレーザビーム光軸の動的制御

技術を完成した。各 FSO モジュールが内蔵する反射鏡を制御し次のモジュールにレーザ光を伝送することができた。伝送特性はレーザ光の位置決め安定性に依存するので、振動などで送受信モジュールの相対位置がずれたときにも受信強度をフィードバックして常時最適なレーザ方向を維持するようなモジュール個別の自律的通信端末追従制御を実現した。

### C) 双方向光軸制御アルゴリズムの開発

図1に示す双方向光空間通信システムを想定しレーザビームの制御プログラムを実現した。コントローラ内には初期光軸合せを行うスキャニングのためのサブシステムやヤコビ行列を用いた光軸制御のためのサブシステム等を内蔵し、MATLAB/simulink で記述したフローチャートに基づき制御プログラムを設計した。アクチュエータなどのメカトロニクス系と光軸誤差を検出する光学系が組み合わせられて機能を発揮する双方向アクティブ光空間通信装置においてヤコビ行列に基づく光軸制御アルゴリズムが達成可能な性能の指標を得るためのシミュレーション評価を実行した。また、光軸制御の高速応答性を追及するため Simulink Real-Time によるトラッキング制御の実験系を構築して光ビームの振動外乱に対する追従特性を評価し、光ビームの位置誤差を修正する高速トラッキング制御の効果を確認した。

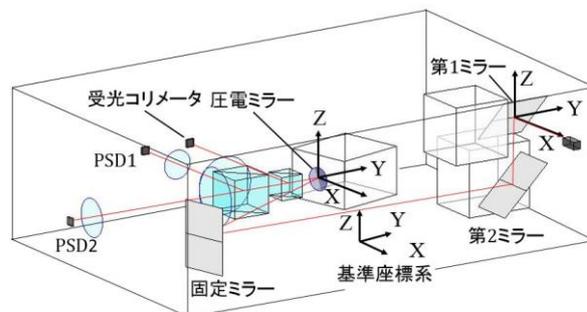


図1 双方向アクティブ光空間通信システム構成図

### D) 双方向アクティブ光空間通信装置の試作

上記の光学系・制御系基本設計に基づいて、双方向光空間通信システムの詳細設計・製作を実行した。制御系を中

心とする構成部品は通信性能・安定性に基づく要求精度から最適な市販品を選定し、基本特性評価を実施した後に試作装置に組み込んだ。製作した双方向アクティブ光空間通信装置を図2に示す。

#### E) レーザ光軸追従制御実験と通信特性評価

レーザ光軸制御装置を用いて伝送実験を行い諸特性を評価した後、提案手法の有効性を確認した。駆動ステージ上に搭載され任意に移動する専用受光素子に対し 5m 離れた位置からビーム径約 5mm のレーザビームで追従した。受光素子に照射されるレーザ光の強度分布の変化に基づいて受光部の移動速度・方向を推定し発光部をフィードバック制御した。受光部が 300mm/s で遥動する場合でも 1mm 以下の位置精度を維持し、ビット誤り率  $10^{-10}$  を実現した。



図2 双方向アクティブ光空間通信装置プロトタイプ

#### F) 空間通信網制御技術

FSO モジュールを複数配置しメッシュネットワークを構成するときメタレベルで通信経路を制御することを目的に、各モジュールが協調して最適ネットワークを形成するネットワークロボット制御技術を検討した。各モジュールの通信状態を常時監視し、通信トラフィック障害を予測した場合は新たなネットワーク構成を再構築するための分散制御機能を実現した。さらに、通信経路が障害物によって塞がれた場合を模擬した通信実験系を構築し、光軸切替制御技術により通信経路を高速に切替え迂回経路生成を実現した。

#### G) 対向通信装置探索技術

光空間通信の初期調整を目的として、フィードバック制御を用いず受光レーザ強度分布を活用して光軸を推定する手法を提案した。レーザ光学解析を応用して離散受光データからレーザ光座標を推定するアルゴリズムを設計し実測データに基づくシミュレーションによりレーザ位置推定精度を試算した。この手法を利用して遠距離通信装置間で光信号の導通を探索し双方向光通信回線を自動で開通する手法を実現した。

### 3. 今後の研究開発成果の展開及び波及効果創出への取り組み

これまでの検討で、提案したアクティブ光空間通信システムとそれに係わる要素技術の実現性・基本特性・実験室レベルでの有効性が確認できた。本システムを実用に供するためには、今後実用化に向けての課題解決、すなわち実フィールドにおける長距離伝送・対環境特性などの特性評価や通信システムとしての信頼性・経済性、装置量産化等の検討を行う必要がある。

その後、本技術を利用して光空間通信ネットワークを応用した新規サービスの創出を実施し地域貢献に資する。具体案の一は、災害直後に短時間で光ネットワークの復旧が

可能な通信技術の実現である。被災した光ケーブルの断線箇所にも本システムを適用することによって光ファイバ/光空間通信ハイブリッド伝送系を構築しアドホック通信システムを提供する。

九州北部には小島が点在しているが、当該地域へのブロードバンド通信の普及という観点からも本技術の貢献が期待できる。島しょ部に限らず山間部等光ファイバ敷設が困難な地域に簡易に高速通信サービスを提供する手段として本提案技術の適用性を検討する。

通信システムとしての側面以外にロボット工学の分野での貢献も期待できる。本システムはレーザ光を発射するロボットであるので、複数台がレーザ光を介して相互に通信しながら協調動作を行う群ロボットが構成されることになり、これらネットワークロボットの自律分散制御技術の研究への応用が期待できる。

### 4. むすび

本研究によってアクティブ光空間通信システムのフィージビリティスタディがほぼ完了した。本研究では双方向光空間通信の機構・制御系・光学系設計を経てアクティブ光空間通信システムを試作品として実証した。また、要素技術としてレーザ通信光の追従制御技術・切替制御技術を完成し通信システムとしての有効性を実験室レベルで確認した。

今後は実用的観点から、屋外環境で通信装置に加わると想定される外乱を人為的に発生し、それに対する光軸制御系の応答や安定性などを定量評価するために、ビット誤り率測定器を用いて通話品質を計測し外乱の通信誤りに対する影響や双方向光空間通信としての伝送帯域の限界等を検証する予定である。

#### 【誌上发表リスト】

[1] Takeshi Tsujimura, Kiyotaka Izumi, and Koichi Yoshida, “Transmission Laser Beam Control Techniques for Active Free Space Optics Systems”, Lecture Notes (CCIS), Springer-Verlag, (2015年6月発行予定)

[2] Takeshi Tsujimura, Shigeki Muta, and Kiyotaka Izumi, “Transmission line switching technique based on active free-space optics system”, 39th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society (Vienna, Austria) (2013年11月12日)

[3] Shigeki Muta, Takeshi Tsujimura, and Kiyotaka Izumi, “Laser beam tracking system for active free-space optical communication”, 2013 IEEE/SICE International Symposium on System Integration (Kobe, Japan) (2013年12月17日)

#### 【申請特許リスト】

[1] 辻村・泉、光空間通信システム、日本、2013年9月24日

#### 【受賞リスト】

[1] Takeshi Tsujimura, Shigeki Muta, Yuichiro Masaki and Kiyotaka Izumi, BEST PAPER AWARD - International Conference on Optical Communication Systems, “Initial Alignment Scheme and Tracking Control Technique of Free Space Optics Laser Beam”, (2014年8月30日)

#### 【本研究開発課題を掲載したホームページ】

<http://robot.me.saga-u.ac.jp/>