

# 光空間通信用捕捉追尾端末の開発

Development of Capture and Tracking Terminal for Free Space Optical Communications

橋本並樹、清水大晃、森田正規、江藤大輔、白玉公一、山下敏明、村田茂

Namiki Hashimoto, Motoaki Shimizu, Masaki Morita, Daisuke Etou, Koichi Shiratama, Toshiaki Yamashita, Shigeru Murata

日本電気株式会社  
NEC Corporation

## Abstract

We have developed a capture and tracking terminal for free space optical communication. Main components of the terminal and method of capture and tracking are described in detail. Acquisition and tracking tests between the two terminals were successfully carried out.

## 1.はじめに

観測衛星や観測航空機で撮像した画像等のデータは高精細化に伴い著しく増大してきている。現在これらのデータを地上へ伝送するには電波による通信では十分な伝送容量が確保できなくなっている。このため短時間で効率よく伝送することのできる移動体光空間通信システムの実現が望まれている[1]。移動体光空間通信では、Fig.1に示すように、航空機等の移動体と地上局間では、航空機の姿勢変動や振動と、伝搬路での大気揺らぎが要因となり、地上局での受光レベル変動、波面変動や指向角度の変動といった問題避けられないため、実用化に当たってはこれらの問題を解決する必要がある。

我々は移動体光空間通信システムの実用化を目指して、要素技術の開発と実証実験を進めている[2]。本稿では、移動体光空間通信システム実現のための捕捉追尾端末の開発の現状について報告する。

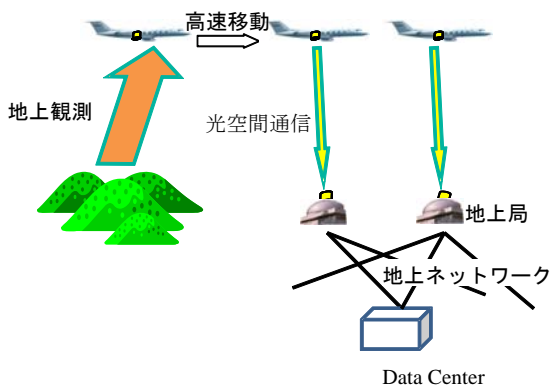


Fig.1 Mobile Free Space Optical Communication System

## 2.捕捉追尾端末

### 2.1 装置の概要

光空間通信では極めて狭い角度の光ビームを使用するため、移動体と地上局との間で安定した光リンクを構築するためには、光ビームの高精度捕捉追尾技術が不可欠である。Fig.2 に地上局用捕捉追尾端末の構成を示す。捕捉追尾端末は光学系と制御系から構成される。光学系の主要ユニットは2軸ジンバル部と固定光学部である。制御系はシステム制御部、捕捉追尾制御部等から構成される。

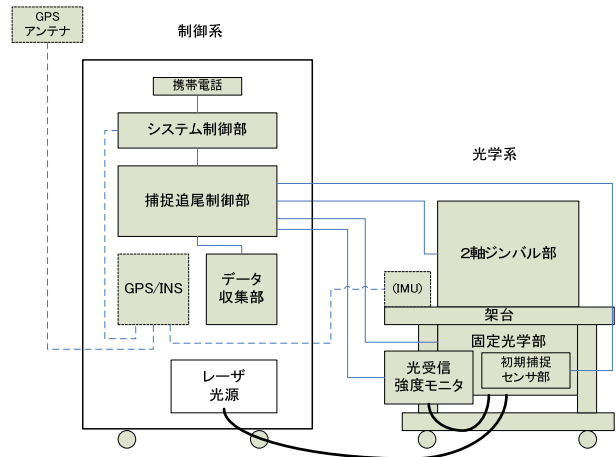


Fig.2 Capture and Tracking Terminal (Grand model)

捕捉追尾端末の主な機能を以下にまとめる。  
<光学系>送信光を固定光学部の光アンテナから2軸ジンバルの2枚ミラーを介して相手局に送信し、また相手局の光信号を受信する。固定光学部は単一モード光ファイバを通じて光空間通信端末(光送受信機)と接続される。捕捉追尾端末と光通信端末

とのインターフェースを光ファイバとすることで、各種の光送受信機を本装置にそのまま接続して利用することが出来る。

<駆動制御系> 拡がり角の狭い光ビームを移動体から地上局(固定局)に向かって(あるいはその逆方向に)照射するためには、極めて高速高精度の光ビーム指向制御系が必要である。本装置では、2軸で駆動する粗捕捉制御機構(2軸ジンバル)と固定部光学部に内蔵した精捕捉追尾制御機構とを組み合わせたシステムを開発した。精捕捉追尾機構としては、広角小型の精捕捉追尾機構 Fine Pointing Mechanism (FPM) [3]を新規開発した。

<システム制御系> システム制御部ではシステム全体の制御を行う。制御部には GPS と慣性装置(IMU)を組み合わせた位置・角度検出ユニット(GPS/INS)が接続されており、移動体としての実験も可能な構成となっている。

## 2.2 光学系

光学系には空間を伝送した受信光を光ファイバに結合するために高精度の安定性が要求される。光学系のブロック図をFig.3 に、固定光学部の外観をFig.4 に示す。送信コリメータから出力した信号光はFPMを介して光アンテナに入る。光アンテナは送信光を送信し、相手局からの信号光を受光する。送受信同軸系で送受信は偏光分離した。受信光はFPMを介して一部が粗捕捉センサ(CAS)に入る。CASは4分割光センサで入射ビームの位置を検出する。受信光の大部分は受信コリメータに入る。受信コリメータには精追尾センサ(FPS)が内蔵されており、受信光の一部がFPSに入る。FPSも4分割光センサで受信光ビームの位置を精密に検出して、光ファイバへの入射角度の制御に用いる。波長はアイセーフ性を考慮して  $1.5 \mu\text{m}$  帯とした。固定光学部には初期捕捉センサが接続されている。初期捕捉センサに関しては後ほど説明する。また固定光学部は、大気揺らぎによる波面変動に対応するための波面補償制御系を設置できるレイアウトとなっている。

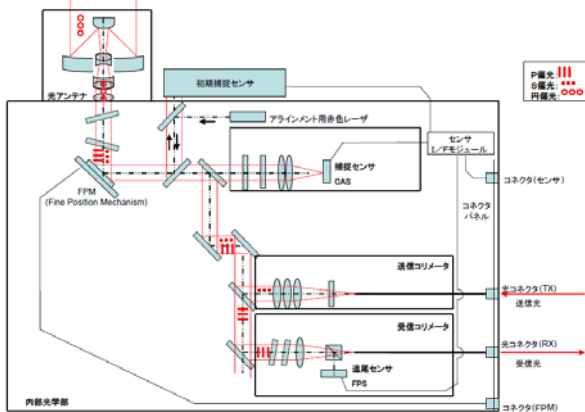


Fig.3 Diagram of Optical Unit

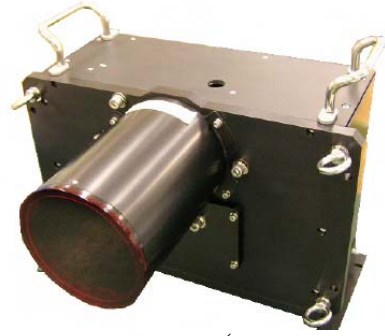


Fig.4 Optical Unit (Grand model)

## 2.3 駆動制御系

駆動制御系全体の構成を Fig.5 に示す。駆動制御系は、2軸ジンバルによる広角(上半球)の角度制御と、FPM による微小角度制御を組み合わせている。2軸ジンバルを含む光学系の外観を Fig.6 に、FPM の外観を Fig.7 に示す。FPM はボイスコイル方式の2軸駆動系で、コイルと磁石によりミラー機械角 $\pm 4^\circ$ 以上の広角小型精捕捉追尾が可能である。FPMはGAPセンサまたはCAS/FPSから出力される角度誤差信号により角度制御される。

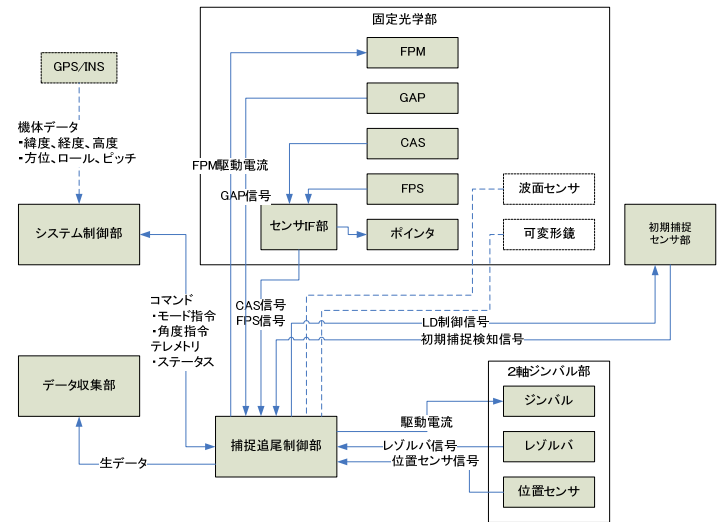


Fig.5 Control System



Fig.6 Optical System (Grand model)

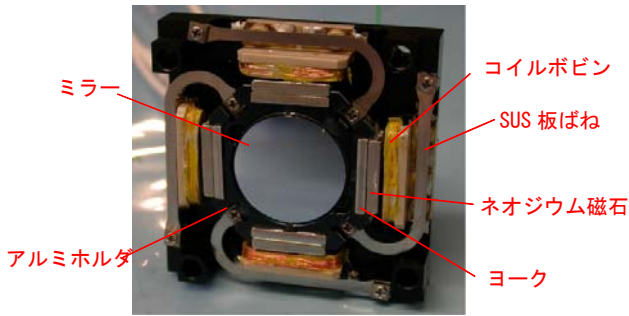


Fig.7 .FPM

粗捕捉制御機構と精捕捉追尾制御機構の組み合わせにより、高精度な空間追尾機構を実現する手法はこれまでも様々検討されてきたが、更なる高性能化を実現するためには粗捕捉制御機構と精捕捉追尾制御機構との積極的な連携、協調制御の実現が必要である。高速 2 軸ジンバルと広角小型 FPM との駆動制御系を同期させ、これらの駆動周波数域をあえてオーバーラップさせた安定化補償器とする協調制御を開発した。Fig.8 は高速 2 軸ジンバルと広角小型 FPM との協調制御系概要を示すブロック図である。図において「2 軸ジンバルコントローラ」および「FPM コントローラ」と示す部分がそれぞれ高速2軸ジンバルと広角小型 FPM に対する制御系であり、さらにこれら 2 つの制御系の間で協調制御系を実現した。

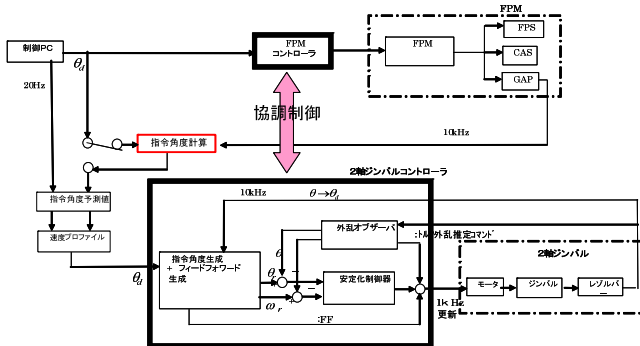


Fig.8 Co-Operative Control System

### 2.4 初期捕捉センサ

光空間通信において、2つの局間の光リンクを成立させるためには初期捕捉が非常に重要である。初期捕捉を確実にを行うためには、最初に地上局側で移動局の方向をサーチして、移動局に向けて信号光(アップリンク光)を常に照射する必要がある。移動局では地上局の信号光を受けることで、移動局の方向を地上局に向けることができる。この目的のために、パルス半導体レーザを利用した初期捕捉センサを開発した。地上局の初期捕捉センサから出力された初期捕捉パルス光は空間的に走査され(IASサーチ)、移動局に設置されたコーナキューブ反射器

で反射される。反射光を検知した方向が移動局の方向である。Fig.8 に初期捕捉センサを用いた初期捕捉シーケンスを示す。

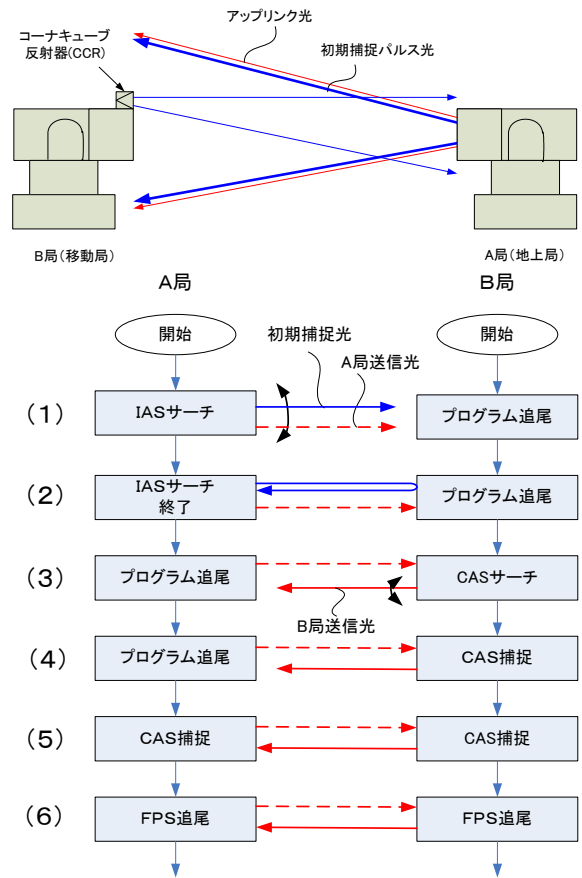


Fig.9 Initial Acquisition Sequence by using the Initial Acquisition Sensor

### 3. 捕捉追尾長距離実験

長距離光空間通信試験の事前試験として開発した端末を地上に置いた状態で長距離捕捉追尾試験を実施した。

#### 3.1 実験の概要

送信側である地上局から 4km の地点に受信側である移動局を設置し、地上局から移動局を見下ろす方向に位置関係とした。地上局は、GPS、初期捕捉センサを用いて移動局の位置を特定した後、CAS、FPS の角度誤差信号を用いた外乱抑制を行わない固定動作モードでレーザを出力させた。移動局は、CAS、FPS の角度誤差信号を用いて外乱抑制を行う捕捉追尾の動作モードとし、受信単一モードファイバへのカップリングパワーを測定した。なお、今回の試験では波面補償制御系は実装しない状態で行われた。



©2011 Google 地図データ ©2011 ZENRIN

Fig.10 Test Area

Table.1 Configuration

	地上局(送信)	移動局(受信)
送信波長	1562.24nm	1540.56nm
出力パワー	0.5W	0.1W
その他		波面補償機能は未実装

### 3.2 実験結果

試験結果を Fig.11 に示す。捕捉追尾制御が行われていない状態では 0.01nW 程度であったカップリングパワーが、捕捉追尾制御を行うことで 80nW 程度になったことから、地上局から出力された光が移動局に接続されている受信ファイバに結合していることが確認された。制御時での強度変動は 6.9dB 以下であった。光空間通信を行う際に必要とされる受信強度と強度変動は、100nW 以上 10dB 以下であるため、送信側のレーザ出力パワーの調整や今回実装されなかった波面補償制御系を実装することで光空間通信が可能であることが確認された。

### 4.まとめ

長距離光空間通信技術の研究開発の一環として、捕捉追尾端末の開発を行った。光空間通信試験の事前試験として開発した端末を地上に置いた状態での捕捉追尾試験を行ったところ、伝送距離 4km での捕捉追尾が可能であることが確認された。

現在、移動体搭載用小型捕捉追尾端末を開発中であり、波面補償制御系と組み合わせた実験を行う予定である。

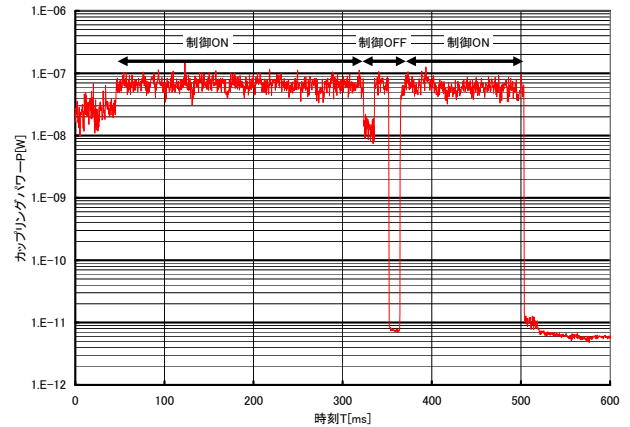


Fig.11 Fiber Coupling Power

### <謝辞等>

本研究開発は、総務省の情報通信技術の研究開発に係る提案公募案件である「光空間通信技術の研究開発」として実施した。情報通信研究開発機構 豊島様、高山様、小山様、NEC エンジニアリング 広橋様、NEC 航空宇宙システム 荻田様のご協力ならびにご指導に感謝いたします。

### <参考文献>

- [1]住友貴広, 鈴木智晴, 宇宿薫: 宇宙光通信技術への期待, 2010 電子情報通信学会総合大会、BI-1-1, 2010年3月
- [2]鈴木良昭, 高橋環, 間瀬一郎, 地引昌弘, 橋本陽一, 村田茂, 白玉公一 衛星/航空機からの観測データ伝送のための超高速光空間通信技術の研究開発 2010 宇科連 3G04 2010年11月
- [3]江藤大輔, 白玉公一, 青木一彦, 間瀬一郎: 光衛星間通信用捕捉追尾技術の開発, 2009 宇科連 2D16, 2009年9月