

宇宙ランデブー・ドッキング用レーザーレーダの開発
 Development of Laser Radar for Rendezvous and
 Docking in Space

斎藤宏文, 中谷一郎, 二宮敬彦, 棚町健彦
 H.Saito, I.Nakatani, K.Ninomiya,
 T.Tanamachi
 宇宙科学研究所

Institute of Space and Astronautical Science

遠藤泰介, 古谷章
 T.Endou, A.Huruya
 三菱電機
 Mitubishi Electric Corporation

1. はじめに

1992年に、スペースシャトルを用いて初飛しようが予定されている日本のフリーフライアー(小型宇宙基地)計画において、衛星のランデブー・回収実験が行われる。回収しようとする衛星の測距、姿勢の検出に、レーザーレーダを利用することが予定されており、既に、そのレーザーレーダの開発が開始されている[1-5]。その実験の概要、レーザーレーダシステム、及び開発状況について述べる。

2. ランデブー・回収実験[4]

宇宙活動において、衛星と衛星のランデブー・ドッキング(回収)技術は、衛星の修理、宇宙基地の建設等、多彩な宇宙活動を支える重要な技術である。これらは、1960年代に米ソによって完成された。この従来型の米ソの技術とは異なり、現在、我々が目標としているのは、人間を介在としない自律的なランデブー・回収実験である。

従来の米ソの技術では、マイクロ波レーダを用いて測距、相対速度を測定してランデブーし、ドッキングする近距離に入るとテレビカメラで人間がターゲット衛星をモニターして、人間の操縦によってドッキングを行ってきた。このマイクロ波レーダをレーザーレーダで置き換えると、装置の小型軽量化ができて、無人のドッキングに必要な近距離での測距分解能の向上がはかれる。加えて、レーザーレーダを用いてターゲット衛星の撮像ができ、姿勢の検出も可能である。このように、レーザーレーダは、無人の自律的なランデブー・回収技術に適したシステムである。

1992年にスペースシャトルを用いて初飛しようが予定されている日本のフリーフライアー(小型宇宙基地)計画において、この無人ランデブー・回収実験が行われる。ランデブー・回収されるターゲット衛星は、フリーフライアーから放出される。これは、能動的な機能を持たない“死んだ”衛星であり、レーザーレーダの反射用に表面にコーナーキューブを配置してある。ターゲット衛星が10数km離れた時点で、レーザーレーダを用いてターゲット衛星の捕捉(アクイジション)を開始

する。捕捉後、レーザーレーダにより追尾(トラッキング)、測距(レンジング)しながら、フリーフライアーの推進系を用いてランデブーを行い、ターゲット衛星に接近していく。相対距離が20km~200m及び200m~1mの領域は、各々、遠距離、及び近距離系と呼ばれている。遠距離系では0.06°の細い送信ビームを用いる。近距離系では30°の広いビームを用いて、測距、追尾に加えて、二次元CCDイメージセンサーによるターゲット衛星のコーナーキューブからの反射光の撮像を行い、ターゲット衛星の姿勢検出を行う。相対距離が数mになったら、回収モードに入り、フリーフライアーに備え付けたマニピュレータ(ロボットアーム)で、自動的にターゲット衛星を捕捉し、回収する。マニピュレータの先端には、モニター用のテレビカメラが取り付けられている。

3. レーザーレーダ装置[1-5]

このランデブー・回収実験用に開発されているレーザーレーダの機能を、遠距離系、近距離系に分けて、以下、説明していく。図1にシステムのブロック図を示す。

3-1 遠距離系

ターゲット衛星との相対距離が20km~200mの領

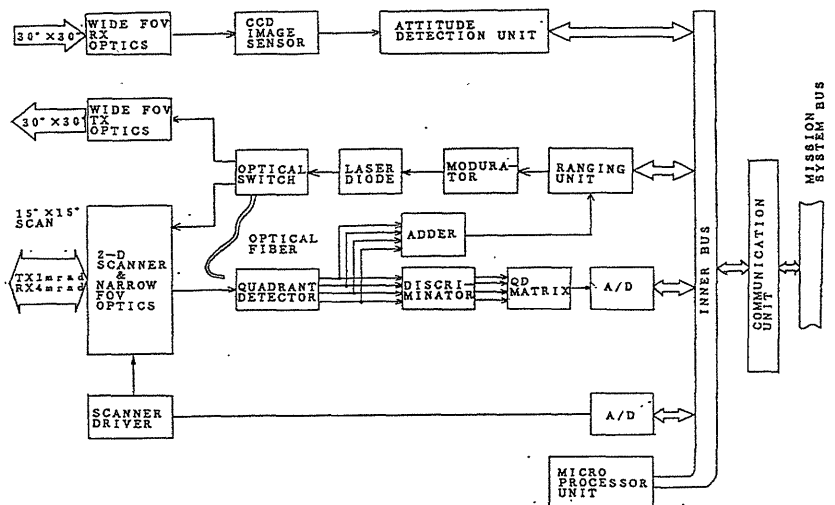


Fig.1 Block Diagram of Laser Radar

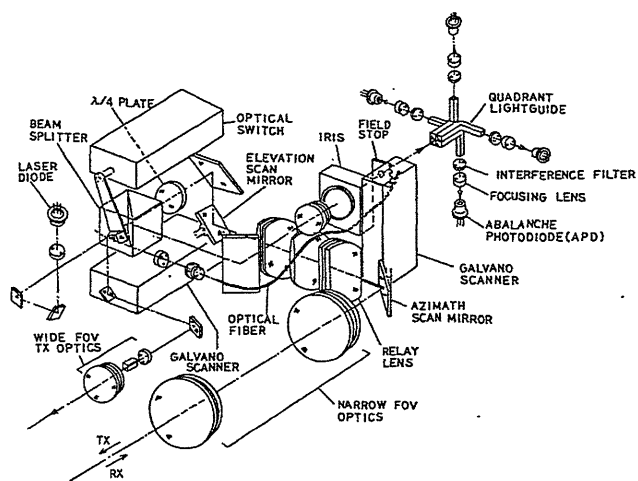


Fig.2 Optical Configuration of laser Radar for Far Field

域では、この遠距離系を用いる。この遠距離系は、既に、試作されており、その光学系を図2に示す。送信用のレーザーダイオードは、波長 $0.83\mu\text{m}$ 、出力 15mW のcwである。レーザービームは、 0.06° の細いペンシルビームとして送信される。捕捉と追尾のため、最大、 $15^\circ \times 15^\circ$ の二次元スキャンが可能である。ターゲット衛星からの反射光は、 0.24° の視野角を持つ光学系で受光され、四象限検出器(Quadrant Detector)[3]に導かれる。受光レンズから入射したレーザー光は、アルミニウム蒸着した 2mm 角のガラス棒4本からなる四象限の光ガイドに導かれ、4個のアバランシェフォトダイオード(APD)にそれぞれが入射される。整流した後、マトリックス回路で2つの和信号SUM1、SUM2と、Azimuth, Elevationの差信号に分けられる。四象限検出器の入射面は“田”の字型になっており、入射ビームの方向により、各々の象限に入るビームの割合が変化する。

捕捉時には、送信ビームはガルバノスキャナーを用いて、約 100 秒で $15^\circ \times 15^\circ$ の二次元スキャンを行い、和信号SUM1を用いて捕捉の判定が行われる。これでターゲット衛星が捕捉されない時は、フリーフライア本体の姿勢を変えて、これを繰り返す。

捕捉後は、ターゲット衛星の追尾に入る。四象限検出器のAzimuth, Elevationの差信号を零にしていくように、レーダレーダの送信ビーム方向、あるいはフリーフライア本体の姿勢を追随・制御していく。

測距のために、送信ビームは、 150kHz 、及び 7.5

kHz のトーンで変調されている。四象限検出器の和信号SUM2を用いて、 5m の精度で測距ができ、ランデブーのために供される。

3-2 近距離系

相対距離が $200\text{m} \sim 1\text{m}$ の近距離系では、広い視角をカバーするために送信ビームはビーム拡がり角 30° に拡げられる。測距モードでは、遠距離系と同じ四象限検出器の和信号SUM2を用いて行われ、 15MHz と 150kHz のトーンによって測距精度 5cm が得られる。

近距離系では、ターゲット衛星の追尾及び姿勢検出のために、二次元CCDイメージセンサーを受光系として持つ。ターゲット衛星の表面には、姿勢検出に最適な配列のコーナーキューブが配置されている。これをフリーフライアのレーザーレーダで観測して得られる二次元的な点画像列から、ターゲット衛星の相対姿勢や距離を求める事ができる[2,5]。これにより、ターゲット衛星のタンプリング等の運動を解析し、マニピュレータによる回収のために利用する。

4. 開発状況

現在までのところ、3-1に述べた遠距離系の試作品は完成し、昭和61年9月現在、その総合評価試験を行っている。62年度には、近距離系の製作に取り掛かり、1994年に予定されているランデブー・回収実験に向けて、その後、フライトモデルの設計・製作を行う。一連の開発により、レーザー技術の宇宙活動への一層の応用を促していきたい。

文献

- [1] 中谷一郎, “ランデブー・ドッキング用レーザーレーダ”, 電子通信学会光・電波部門全国大会(1984)1-360.
- [2] 二宮敬彦, 中谷一郎, 棚町健彦, “ランデブー・ドッキングのための運動解析への同次座標系の応用”, 第29回宇宙科学技術連合講演会(1985)1C1.
- [3] 中谷一郎, 大道富男, 古谷章, “レーザーレーダ用四象限検出器の開発”, 第29回宇宙科学技術連合講演会(1985)3D1.
- [4] 宇宙科学研究所, 小型宇宙基地ワーキンググループ編, “Advanced Technology Experiment onboard Space Flyer Unit” (1986).
- [5] I. Nakatani, T. Tanamachi, and K. Ninomiya, “Satellite Motion Analysis via Laser Reflector Pattern Processing for Rendezvous and Docking”, Proc. 37th Int. Astronautical Federation (1986) 86-06.