

衛星レーザ測距設備 (SLR) のキロヘルツ化

加瀬 貞二¹⁾, 橋本 並樹¹⁾, 黛 克典¹⁾, 川原 章裕¹⁾, 大井 浩二²⁾,
領木 萌子³⁾, 安達 高博³⁾, 秋山 恭平³⁾, 中村 信一³⁾, 伊藤 寛行³⁾

¹⁾ 日本電気株式会社 (〒183-8501 東京都府中市日新町 1-10)

²⁾ オーテックス株式会社 (〒162-0067 東京都新宿区富久町 16-5)

³⁾ 宇宙航空研究開発機構 (〒305-8505 茨城県つくば市千現)

A kHz laser ranging system for GUTS-SLR

T. KASE¹⁾, N. HASHIMOTO¹⁾, Y. IKUSE¹⁾, A. KAWAHARA¹⁾, K. OHI²⁾,
M. RYOKI³⁾, T. ADACHI³⁾, K. AKIYAMA³⁾, S. NAKAMURA³⁾, and H. ITO³⁾

¹⁾ NEC Corp., 1-10 Nissshin-cho, Fuchu, Tokyo, 183-8501

²⁾ AUTEX, INC., 16-5 Tomihisa-cho, Shinjuku, Tokyo, 162-0067

³⁾ JAXA, 2-1-1 Sengen, Tsukuba, Ibaraki, 305-8505

Abstract The satellite ranging experiment which combined the kHz ranging devices with GUTS-SLR was made. Functional demonstrations were successfully shown by 2kHz satellite ranging which targeted "AJISAI".

Key Words: SLR, Satellite Laser Ranging,

1. はじめに

JAXA では 2004 年から種子島の増田宇宙通信所に設置された衛星レーザ測距設備 (SLR:Satellite laser Ranging)を使用し、高精度軌道決定システム (GUTS:Global and High Accuracy Trajectory Determination System)^{1, 2}を運用している (以下本システムを GUTS-SLR という)。

GUTS-SLR は現在 10Hz 用レーザを含む測距システムで運用されており、これらを kHz システムに更新することでレーザシステムの小型化や測距精度向上の他、運用コストの低減も期待できる。

SLR は数百 km~数万 km の衛星の軌道をミリメートルの精度で測距する技術であり、技術課題には衛星を追尾する望遠鏡の高精度ポインティングと、フォトンレベルの受信光から高精度にタイミングを検出する測距技術がある。今回は後者の技術実証を目的としており、既存 SLR システムで kHz レンズシステムを構成し、要素技術の開発とレンジング実験を行ったので報告する。



Fig.1 GUTS-SLR building in Masuda Tracking and Communications Station

2. GUTS-SLR の概要

GUTS-SLR の主要な構成品には直径 1m のカセグレン望遠鏡、衛星高度によって切り替えて使用する低軌道/高軌道用レーザ、光検出器を含む送

受信光学系、そして高精度に送受信タイミングを検出するタイミングシステムがある。システム全体の精度及び各構成品の諸元は Table-1 のとおりである。

Table-1 Specifications of GUTS-SLR

測距精度 ^{注 1), 2)}	地上ターゲット : < 3mm LAGEOS 衛星 : < 10mm
測距範囲 ^{注 1)}	数 m~40,000km
望遠鏡	直径 : φ 1m ポインティング精度 : < 2 秒角
レーザ	波長 : 532nm パルス幅(FWHM) (低/高) : < 60psec / < 300psec 繰返し : 10Hz パルスエネルギー (低/高) : > 50mJ / > 250mJ
検出器	送信 : PIN-PD 受信 : MCP-PMT
タイミングシステム	イベントタイマ、ディスクリミネータ、レンジゲートジェネレータ、GPS、ルビジウム周波数標準

注 1)リフレクタ搭載衛星に対して

注 2)測距精度はシングルショット RMS

3. kHz レンズシステム

今回、GUTS-SLR に Table-2 の kHz レンズシステム用機器を導入し、1m 望遠鏡等の他の既存システムと組み合わせて衛星測距実験を実施した。kHz レンズシステムのブロック図を Fig.2 に示す。

ターゲット衛星の予測軌道は ILRS (International Laser Ranging Service)が公開している情報を入手し、望遠鏡の追尾とレンジゲートジ

エネレータ(RGG)のタイミング制御の計画に利用する。RGGは制御装置からの軌道情報を基に、時々刻々と変化する衛星の軌道に追従し受信シャッタとMCP-PMTのゲートタイミングを制御する。受信のゲート幅は広いほど予測軌道の誤差に対応できるが、MCP-PMTのダークカウントにより誤測距の確率が増え、衛星からのリターンが検出できなくなる。このため、地上ターゲットを利用し実験的に適切なゲート幅を設定した。kHzレンジングで生じる送受信タイミングの衝突に対しては送信トリガのタイミングを能動的に制御する衝突回避方式を採用した。この方式により測距データの損失を最小限にできる。

Table-2 Specifications of the kHz ranging devices

①レーザ発振部	1)ピコ秒レーザ <ul style="list-style-type: none"> ・波長：532nm ・パルス幅(FWHM)：<50psec ・繰返し：2kHz ・パルスエネルギー：>2mJ
②kHz用タイミングシステム	1)レンジゲートジェネレータ <ul style="list-style-type: none"> ・時間分解能：3.215nsec ・繰返し：1Hz~5kHz ・出力信号数：ゲート×2 トリガ×6 2)ディスクリミネータ <ul style="list-style-type: none"> ・アンプゲイン：30dB ・増幅後の最小検知レベル：20mV (@パルス幅 200psec)
③受信シャッタ	1)ポッケルスセル <ul style="list-style-type: none"> ・消光比：>100:1 ・繰返し：>2kHz

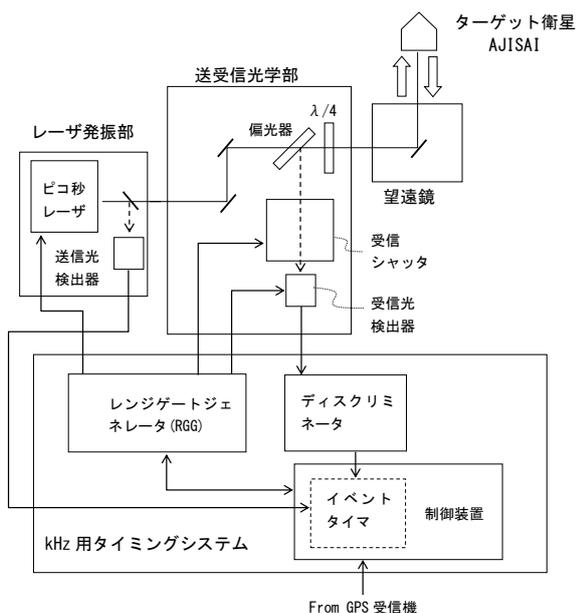


Fig.2 Block diagram for the kHz ranging system

4. 測地衛星「AJISAI」のkHzレンジング実験

今回の実験ではターゲット衛星にILRSに登録されている衛星の中から、回線の成立が得やすい測地衛星「AJISAI」³で実施した。「AJISAI」の測距予測軌道との時間差(往復時間)をプロットしたグラフをFig.3に示す。予測軌道と数十nsecの差の範囲に「AJISAI」からのリターン信号が検出されており、送信タイミングとMCP-PMTや受信シャッタへのゲートタイミングが適切に制御されたことを確認した。得られた測距データからリターンレートの高い部分を抽出し、ノイズデータ除去処理を施した結果、シングルショットの標準偏差値(1σ)は61mm(0.41nsec相当)であった。10Hzシステムから繰返しが200倍になったことによる平均化処理の精度向上を考慮すると10mm以下の測距精度が実現できる。

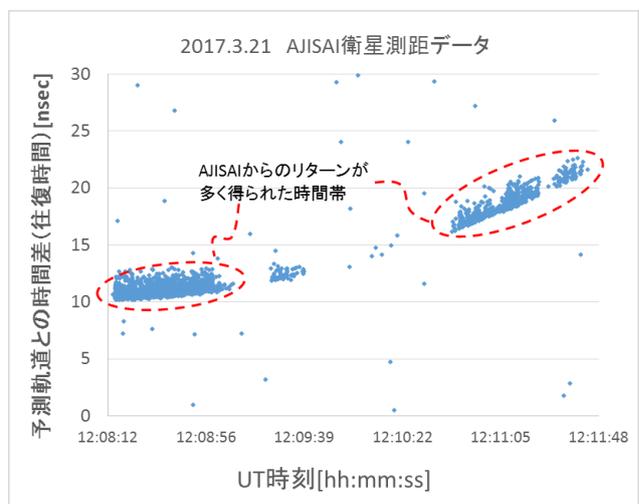


Fig.3 The time difference between the observation and the calculation for the "AJISAI" ranging experiment

5. まとめ

GUTS-SLRにkHzレンジング構成を適用した実証実験により、「AJISAI」衛星からのリターンが得られ、ゲートタイミング制御を含むkHzレンジングシステムの基本動作を確認した。この時の測距精度はシングルショットの標準偏差値で61mmであった。今後は他のSLR衛星のレンジングデータを取得し、受信レベル最適化をシステムに導入することで測距精度向上を図る。

参考文献

1. 内村、中村、工藤、村田 “JAXAにおける衛星レーザ測距システムの運用” 第24回レーザセンシングシンポジウム, P-40, 2005
2. N. Kudo, S. Nakamura. Overview of JAXA SLR Station SpaceOps 2006 Conference AIAA 2006-5641
3. 橋本、中村、白井、仙石、藤田、佐藤、國森、大坪 “測地衛星「あじさい」の開発と観測による測地学への貢献” 測地学会誌, 第58巻, 第1号 (2012). pp9-25