

**研 究**

## 4.2 KSP-SLR 仕様の概要

### 4.2.1 システムの全体構成と総合仕様

国森 裕生\*<sup>1</sup> 大坪 俊通\*<sup>1</sup> 雨谷 純\*<sup>1</sup>  
野尻 英行\*<sup>1</sup>

(1995年10月16日受理)

#### 4.2 DESIGN CONCEPT OF KSP-SLR SYSTEM

##### 4.2.1 THE OVERALL STRUCTURE AND SPECIFICATION OF KEYSTONE SLR SYSTEM

By

Hiroo KUNIMORI, Toshimichi OTSUBO, Jun AMAGAI,  
and Hideyuki NOJIRI

The Communications Research Laboratory (CRL) has started to develop a crustal deformation monitoring system using Very Long Baseline Interferometer (VLBI) and Satellite Laser Ranging (SLR) techniques in the Tokyo metropolitan area. This system, called the "Key Stone Project" (KSP), contributes to the study of earthquakes.

Each SLR station has a 75-cm-diameter optical telescope in a shielded dome on an observation tower and major observation instruments in a trailer box. The station has the millimeter precision and accuracy especially designed in vertical component. The four stations are connected by a dedicated digital communication line to the central station, Koganei. Each station will be un-manned, eye-safe, and fully-automated, but will be under surveillance and control by the central station.

[キーワード] SLR, 地震調査研究, 宇宙測位技術.

SLR, Seismology research, Space geodetic techniques.

#### 1. はじめに

通信総合研究所が開始した「宇宙技術による首都圏広域地殻変動観測」(KSP: キーストーンプロジェクト)計画<sup>(1)</sup>における目的は、首都圏4カ所にVLBIとSLRシステムを設置し、想定される直下型地震の測地的予兆現象をmmオーダーでとらえることである。概念図を第1図に示す。

地表面にあらわれる観測局の位置変化は、プレートや断層運動等の定常的な変位とゆらぎとして観測される。ここで、より小さい有意な変位を正確かつ高精度のシステムでとらえることができれば、地震の発生過程を検討するための強力な武器となる。

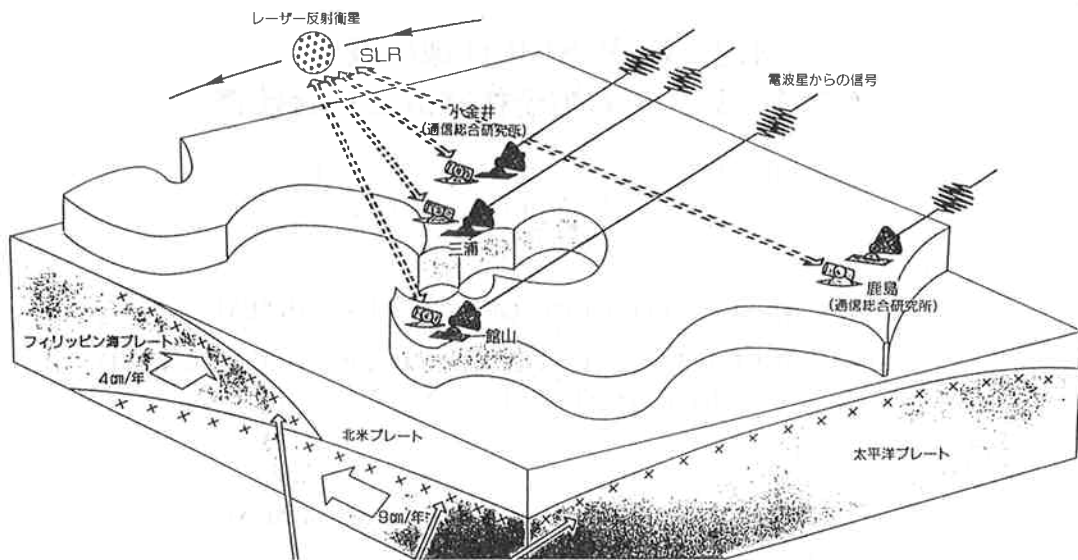
KSPでは、独立した誤差起源と、互いに異なる高い検出感度をもつVLBI, SLRの併設により、地上局の位置変化のmmオーダー検証が可能とする。このためのSLR局の整備は、平成7年度より小金井、鹿嶋、三浦、館山の4カ所で開始されている。全体構成を第2図に示す。小金井は中央局として各観測局の制御監視機能をもち、鹿嶋は可搬局用電気光パッケージ(以下可搬パッケージ)の基地と各機器の校正等のためのコロケーションプラットフォームとしての機能をもつ。

#### 2. 基本目標と総合仕様

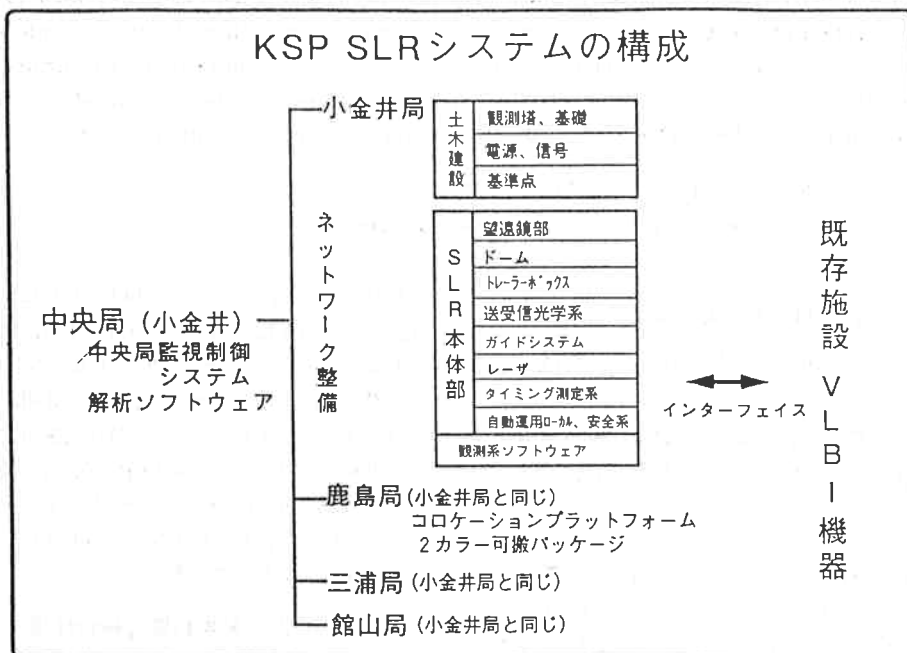
本システムは、宇宙光通信地上センターで開発されてきたSLRシステムの成果にもとづき<sup>(2)(3)</sup>、次世代のSLRシステムにもとめられる先進性をそなえた仕様を

\*<sup>1</sup> 標準計測部 時空計測研究室

### 首都圏広域地殻変動観測システム



第1図 首都圏広域地殻変動観測施設の整備計画 (観測局配置)



第2図 システムの全体構成

第1表 KSP-SLR システムの総合仕様と基本目標

仕様項目	総合仕様と基本目標
測距可能衛星	<ul style="list-style-type: none"> <li>・高度約300kmから静止衛星まで。</li> <li>・大気片側透過率60%、シーイング7秒角より良い条件下で、ラジオス衛星、GPS衛星のリターン率：それぞれ80%、15%以上確保。</li> </ul>
測位精度の正確さ	<ul style="list-style-type: none"> <li>・地上キャリブレーション測距：4mmシングルショット精度。</li> <li>・15秒間隔の代表値の1時間安定性及び正確さ：1mm。</li> <li>・衛星測距：大気と衛星形状等による系統誤差要因を補正した後、ラジオス衛星5mmシングルショット精度と正確さ。</li> <li>・システム不動点（2軸直交点）：岩盤に対し1mm位置安定性。</li> <li>・システム不動点の外部地上基準点参照性：水平成分1mm、鉛直成分2mm。</li> <li>・製作システム：測距値バイアス校正後納入（鹿島コロケーションプラットフォームで比較観測）校正後の測距値Peak-to-Peakで2mm以内に一致。</li> </ul>
多波長システムへの対応	<ul style="list-style-type: none"> <li>・小金井、三浦、館山及び鹿島の4局について、将来の多波長の測距へのアップグレードが容易に実現できる構造をもった単一波長測距システム。</li> <li>・可搬パッケージについてはこれを任意の観測棟に接続することにより複数波長の同時測定が可能なシステム。</li> <li>・大気遅延量の推定値が2波長の分散により5mmより正確。</li> </ul>
同期レーザ測距	<ul style="list-style-type: none"> <li>・レーザの発射タイミング：5ns (RMS) 同期。</li> </ul>
自動運用性	<ul style="list-style-type: none"> <li>・小金井：制御監視用中央局。</li> <li>・定常状態における運用：各局は無人で中央局より集中監視、制御可能なシステム。</li> <li>・万一中央局のシステムダウンや制御用通信ラインがダウンしたときでも各局にて一定の訓練を受けたオペレータを派遣。</li> <li>・中央局以外の場所においても一般の公衆回線（アナログ及びデジタル回線）を用いコンピュータ端末より全局の運用状態が把握可能。</li> </ul>
データ生産性と信頼性	<ul style="list-style-type: none"> <li>・24時間連続トラッキング、データ取得運用。</li> <li>・複数の衛星パスの効率的データ取得。</li> <li>・MTBF：4カ月以上、MTTR：1週間以内、年間に必要な保守の合計時間を4週間以内。</li> </ul>
可搬性及びコロケーションプラットフォーム	<ul style="list-style-type: none"> <li>・望遠鏡を除く主要な機器はトレーラボックス内に格納し、保守や校正観測等のため移動可能な設計。</li> <li>・2波長での計測能力をもつ、可搬電気光パッケージ。</li> <li>・鹿島コロケーション：共通の望遠鏡とレーザを用い4つのシステムを同時に接続し校正。</li> </ul>
国際SLR互換性	<ul style="list-style-type: none"> <li>・国内外の他機関とのネットワークを通じた協調（観測モードの共通化、データ交換）CSTG互換性。</li> <li>・海上保安庁、NASA、EUROLAS、WPLTN協調運用。</li> <li>・冗長系のインタフェースが増設可能。</li> </ul>
安全性	<ul style="list-style-type: none"> <li>(1) 人間の目および皮膚に対する安全性                     <ul style="list-style-type: none"> <li>・仰角15度以下および室内：JIS-C-6802(1991)、ANSI Z136.1、(1993)安全規格に準拠。</li> </ul> </li> <li>・ハード的、ソフト的に防護措置、管理区域ビームブロック、植樹。</li> <li>(2) 航空機に対する安全性                     <ul style="list-style-type: none"> <li>・航空機監視レーザまたはアイセーフレーザによる自動的なレーザのシャットダウン機構。</li> </ul> </li> <li>(3) 地震に対する建物、機器の防御。</li> <li>(4) 雷、高電圧、機械的運動による保守時の人間に対する安全性の確保と太陽光、突然の雨、強風の施設、機器に対する損傷対策。</li> </ul>

有する。総合仕様を第1表に示す。

(1) 測距可能衛星

本システムでは、高度約300kmから静止衛星にいたる、コーナキューブをもつすべての衛星（第2表）が測距可能である。

(2) 測位精度の正確さ

地殻変動検出感度を最大限に上げるため、システム設計においては、地上におけるキャリブレーション測距で4mmより高いシングルショット精度（サンプル数100点で評価）と、15秒間隔の代表値の1時間安定性及び正確さを1mmより良くすることをめざす。さらに、ラジオス衛星においては、大気と衛星形状等による系統誤差要因の補正後、シングルショット精度と正確さを5mm

より高くする。

システム基準点（例えば2つの駆動軸直交点）は、1mmより高い位置安定性をもつ。本点においては、外部地上基準点への参照を、水平成分1mm、鉛直成分2mmより高い精度で定期的に行うことができる。

(3) 多波長システムへの対応

小金井、三浦、館山及び鹿島の4局は、単一波長測距システムとする。これにより、将来の多波長測距へのアップグレードが容易となる。さらに、これらのシステムにおいては、可搬パッケージを任意の観測棟に接続することにより、複数波長による同時測定が可能となる。

(4) 同期レーザ測距

各局は、同時に同一衛星に対するレーザの発射タイミ

第2表 測距可能衛星

衛星名	打ち上げ年	国	高度
スターレット	1975	仏	700km
ラジオス1	1976	米	6000km
あじさい	1986	日本	1500km
エタロン1,2	1989	旧ソ連	20000km
ERS1	1991	ESA	700km
TOPEX/POSEIDON	1992	米, 仏	1500km
ラジオス2	1992	米, 伊	6000km
STELLA	1993	仏	700km
GLONASS	1990-	旧ソ連	20000km
GPS-35, 36	1993	米	20000km
Optus1-b	1993	オーストラリア	36000km
ERS2	1995	ESA	700km
GFZ-1	1995	ドイツ	300km
ADEOS(RIS)	1996 (予定)	日本	800km

ングを制御する。これにより、衛星への信号到達時刻を5 ns (RMS) 以上の高精度で同期させデータを取得することができる。これは、将来のKSPの応用となる、衛星・局位置推定の幾何学的解法及びSLRを用いた時刻伝送のためである。

#### (5) 自動運用性

小金井を制御監視用中央局とし、鹿嶋を将来の副中央局として位置づける。定常状態でのシステムでは、無人の各局に中央局からの集中監視、制御が可能である。

中央局のシステムダウンが生じた場合や、制御用通信ラインがダウンしたときでも、各局に一定の訓練を受けたオペレータを派遣することにより観測を可能にする。中央局以外の場所でも、一般の公衆回線（アナログ及びデジタル回線）を利用し、（ノートブックPC等の）コンピュータ端末を中央局のコンピュータに接続すれば、全局の運用状態の把握が可能となる。

#### (6) データ生産性と信頼性

SLRは天候に左右されやすいが、限られた観測機会の中では、最大限のデータを生産することができる。システムは、24時間連続のトラッキングとデータ取得が可能である。

さらに、本システムでは、同時に複数の衛星を効率的に切り替えながらデータ取得が可能である。切り替えに要する時間は、いかなるパスの切り替えにおいても1分間以内とする。

長期にわたる定常的なデータを生産するため、各観測機器は高い信頼性を有し、故障によるシステムダウンの平均時間間隔は4カ月以上とする。その場合、システムの回復時間は1週間以内とする。従って、年間に必要な保守の合計時間を4週間以内とする。

#### (7) 拡張性

本システムは前提として、連続運用期間を最低10年とする。保守の効率的実施、及び将来の技術の受け入れ可能性を拡大するため、各サブシステムは可能な限りパッケージ化され拡張性の高いインターフェースを保っている。

#### (8) 可搬性及びコロケーションプラットフォーム

本システムは各地において固定的に設置し運用される。このとき、望遠鏡を除く主要な機器はトレーラボックス内に格納し、保守や校正観測等のため移動可能な設計とする。また、各局に配備する4システムとは別に同一の仕様に加えて2波長での計測能力をもち、以下の役割を担った試験用可搬電気光パッケージ（可搬パッケージ）を製作する。

- ・固定局トレーラボックスの全部または部分の即時交換可能スペア
- ・持ち運び可能な校正機能
- ・将来、望遠鏡が付加されれば可搬局または固定局として稼働可能なパッケージ
- ・マルチカラーシステムなど次期システムバージョンのテストパッケージ

望遠鏡側に付加されている安全管理系システムを除き、すべての他のトレーラボックスの機能を有する。4局のエレクトロニクス系を同時に敷地内に設置して各種の調整や校正実験を行えるプラットフォームを鹿嶋に建設する。そこでのテストシステムは、共通の望遠鏡とレーザを用い、4つのシステムを同時に接続し校正が行える構造をもつ。

#### (9) 国際SLR互換性

本システムは、首都圏の地殻変動を観測するものである。衛星軌道を正確に把握するためには、国内外の他機関とのネットワークを通じた協調（観測モードの共通化、データ交換）が前提となり、特にCSTG (International Coordination of Space Techniques for Geodesy and Geodynamics) を中心とした場で決められたプロトコルとの互換性をとっている。また、本システムは将来KSP以外の国内及び西太平洋のレーザ局ネットワークとの協調運用が考えられるため中央局の機能に冗長系のインターフェースが増設可能な設計とする。

#### (10) 安全性

本システムは、人間または機器へのダメージの可能性に対する次の項目の安全性を確保する。

- ・人間の目および皮膚に対する安全性

仰角15度以下および室内における保守作業以外の環境においては、JIS-C-6802 (1991)、またはこれとほぼ同等のANSI Z 136.1 (1993) の安全規格に準拠する。

また、レーザの調整のためやむをえず前述の規格が守れず特定の方向に高いパワーのレーザを発射する場合には、ハード的、ソフト的に防護措置を施すレーザビーム走行路上および散乱発生箇所は管理区域を設け、ビームブロック等により人間の目に対する防御、および植樹等により付近住民にみだりに不安を与えないようにする。

- ・航空機に対する安全性  
高視野航空機警戒アイセーフレーザレーダを装備する。
- ・地震に対する建物、機器の防御  
建物、屋内機器および人命に対して、震度6以下の地震における重大な建物の損壊、機器の転倒、窓ガラス、危険物の飛散等がないように配慮する。
- ・雷、高電圧による感電事故、火災、機器への損傷のない設計とする。塵埃等による高電圧端子のアイソレーション劣化、一般機器への誤動作に注意する。
- ・望遠鏡または保守用重機の機械的運動による保守時の人間または機器に対する空間的クリアランスを確保しマニュアルによる機械的または電気的なフェールセーフの緊急停止機能をもうける。
- ・太陽、月または明るい人工光が光学系サブシステムの

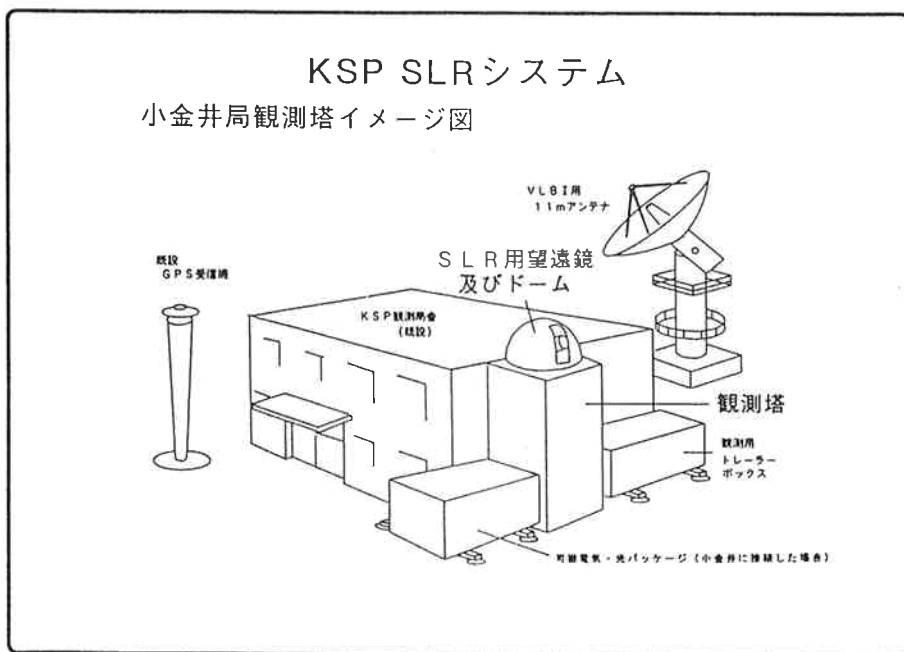
一部または全部を損傷することのないよう、太陽光シャッター等の保護装置およびソフトウェアによる対策をほどこす。

(1) 環境の保護

本機が設置される場所には VLBI 施設、電離層観測施設、気象レーダ、商用通信施設、短波帯電波監視施設等があるためそれらの施設に対する電磁妨害がないようにする。また、ドームの回転、開閉などによる観測施設からの異音、騒音を極力抑える。各観測局付属施設に本施設を一般市民に説明する展示コーナを設ける。

3. ま と め

以上、KSP 計画における SLR の総合仕様を述べてきた。小金井局における完成イメージ図を第3図に示す。本システムのような宇宙測地技術 SLR に対する新しいシステム開発への動きは、世界各地（イタリア、ドイツ、アメリカ、オーストラリア）に見られ、21 世紀に活躍する次世代システムの離陸期ともいえる時期を迎えている<sup>(4)(5)(6)</sup>。KSP のシステムコンセプトは、SLR の測定精度の目標を cm から mm へあげること、安全性や保守性に対する人間の負担を減らし、観測の自動化を一層進めること、ネットワークによる運用性を高めることにあ



第3図 KSP-SLR システム小金井局イメージ

る。本システムにより、地上システム、衛星、伝搬路から発生する誤差の最小化と周囲 GPS 基準点との高精度な結合をはかり、首都圏の「要石」たる KSP の目標を達成するとともに、グローバル網の発展、地球物理学モデルの向上に寄与していきたいと考えている。

#### 参 考 文 献

- (1) 吉野泰造 他, 「宇宙測地技術を用いた首都圏広域地殻変動観測計画」第 86 回通信総合研究所研究発表会予稿集 pp. 16-24, 1994 年 5 月
- (2) 国森裕生 他, 「地殻変動観測の高精度化に向けて一ピコ秒衛星レーザ測距システムの研究開発」第 89 回通信総合研究所研究発表会予稿集 pp. 57-72, 1995 年 11 月
- (3) H. Kunimori, K. Imamura, F. Takahashi, T. Itabe, T. Aruga, A. Yamamoto, "New Development of Satellite Laser Ranging System for highly precise Space and Time measurements", Journal of Communications Research Laboratory, Vol. 38, No.2, pp. 303-317, July 1991.
- (4) J.J. Degnan, "Satellite Laser Ranging: Current status and Future Prospects", IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, Vol. GE-23, No.4, pp. 398-413, July 1985.
- (5) J.J. Degnan, "Millimeter Accuracy Satellite Laser Ranging: A Review", Contributions of Space Geodesy to Geodynamics: Technology, AGU Monograph GEODYNAMICS Vol. 25, 1993.
- (6) Satellite Laser Ranging in the 1990's, Report of the 1994 Belmont Workshop, NASA Conference Publication 3283, February 1994.

