Vol.42 No.1 通信総合研究所季報 March 1996
pp.167—170

研 究

4.2.4 タイミング系

雨谷 純[*1] 国森 裕生[*1]
(1995年10月16日受理)

4.2.4 TIMING MEASUREMENT SYSTEM

By

Jun AMAGAI, and Hiroo KUNIMORI

The timing system is one of the most important hardware components for the KSP SLR. The timing system measures event timings, such as laser firing timing or detection timing of return pulses. Principles of timing measurement and some additional functions of the timing systems are described.

[キーワード] SLR, 測地, タイミング計測.
SLR, Geodesy, Timing measurement.

1. はじめに

衛星レーザ測距 (Satellite Laser Ranging : SLR) は, 逆反射鏡 (Corner Cube Reflector : CCR) を持つ衛星に対しレーザ光を発射し, 反射してきた微弱な光を望遠鏡で受信し, その往復経過時間を測定する装置である. 往復経過時間から衛星までの距離が計算され, それをもとにSLR観測局の3次元位置や衛星の軌道を測定する. タイミング系は, 電気信号に変換した送出レーザ光と受信光の時間間隔を精密に測定する装置で, 望遠鏡, 光学系とならんでSLRの最も重要なハードウェアである.

タイミング系の構成を第1図に示す. レーザパルスは, レーザから発射された直後に, その光の一部がフォトダイオードに導びかれ, スタートパルスとなる電気信号 (T1イベント) が生成される. また, 衛星で反射され戻ってきた微弱光は, MCPまたはSPADといった高感度受光装置 (4.2.3参照) によりストップパルスとなる電気信号 (T2イベント) に変換される.

スタートパルス, ストップパルスはともに, タイミング計測装置に導かれ, 各パルスを検出した時刻が決定される. この時刻の差をとることにより往復時間が求められる. 得られたデータはファイルサーバに出力される. タイミング測定の基準としては水素メーザ原子標準からの信号が使用される.

*1 標準計測部 時空計測研究室

2. タイミング計測

タイミングの計測はMRCS (Master Ranging Control System) と呼ばれる装置で行われる. MRCSは計算機からの指令により, レーザの発射制御, 各イベントタイミングの計測の他, アイセーフレーザレーダによる航空機監視の制御も行う.

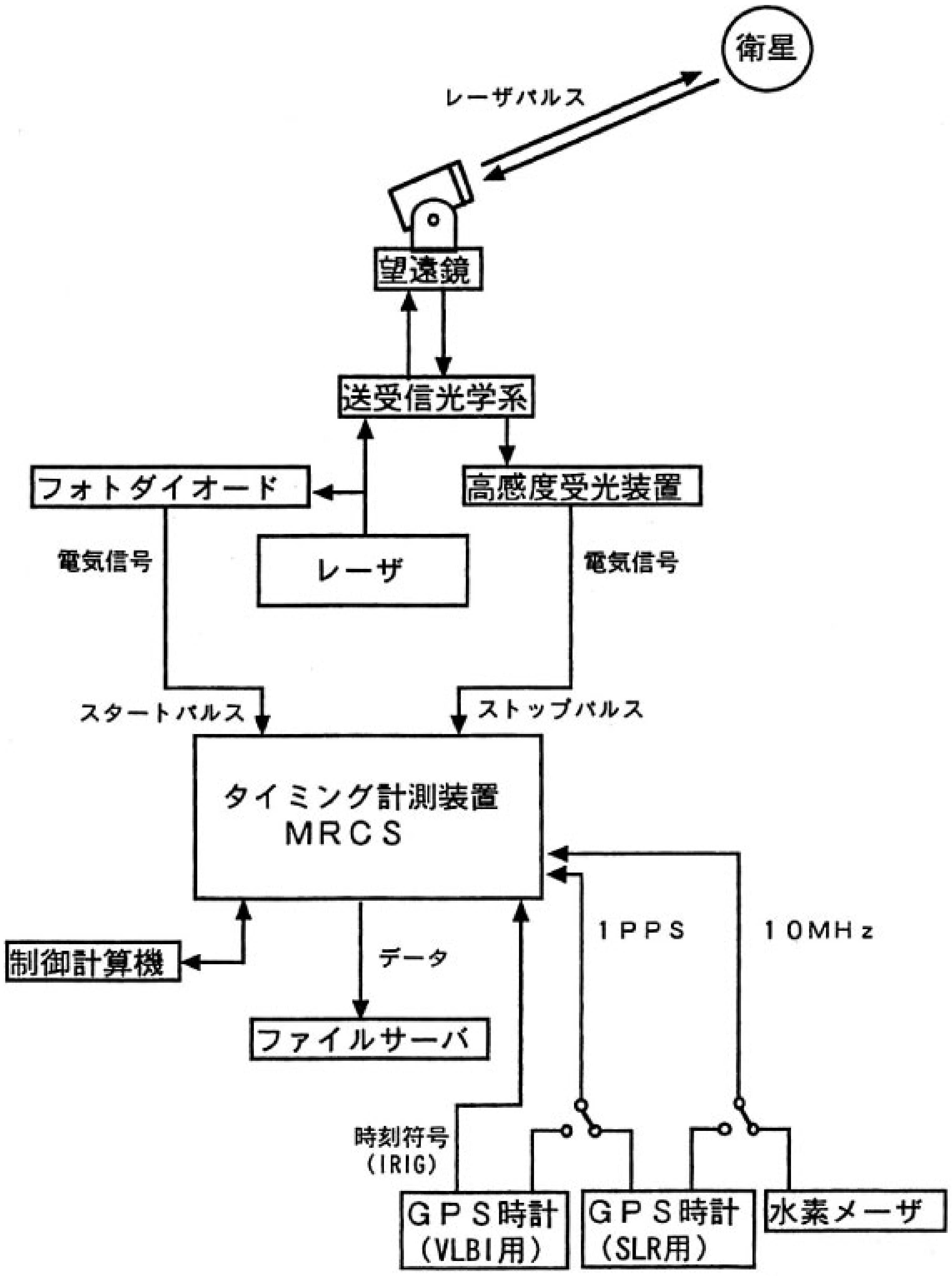
MRCSが行う制御や計測は, イベントラッチと呼ばれるメモリに予め計算機からセットされたイベント内容とその実行予定時刻をもとに実行される. 内部クロックの時刻とイベントラッチに格納された実行予定時刻を比較し, 一致した時刻 (PEQ) にそのイベントが実行される.

(1) 内部クロック

内部クロックには, 水素メーザ原子標準からの高安定な10 MHz信号を, PCCO (programmable controlled crystal oscillator) を使って逓倍した80 MHzの信号が使用され, 68ビットのカウンタにより時刻が管理される. 外部の時計を参照しての時刻のセットおよび, 外部から供給される秒信号 (1 PPS) への同期は計算機からの指令により行うことができる.

(2) タイミング計測の方法

MRCSのタイミング計測装置は, 内部クロックによりまず12.5 nsの分解能でイベントタイミングの測定を行う. 12.5 ns以下については, コンデンサの充電時間を利用した14ビットのバーニアカウンタ (dual-slope



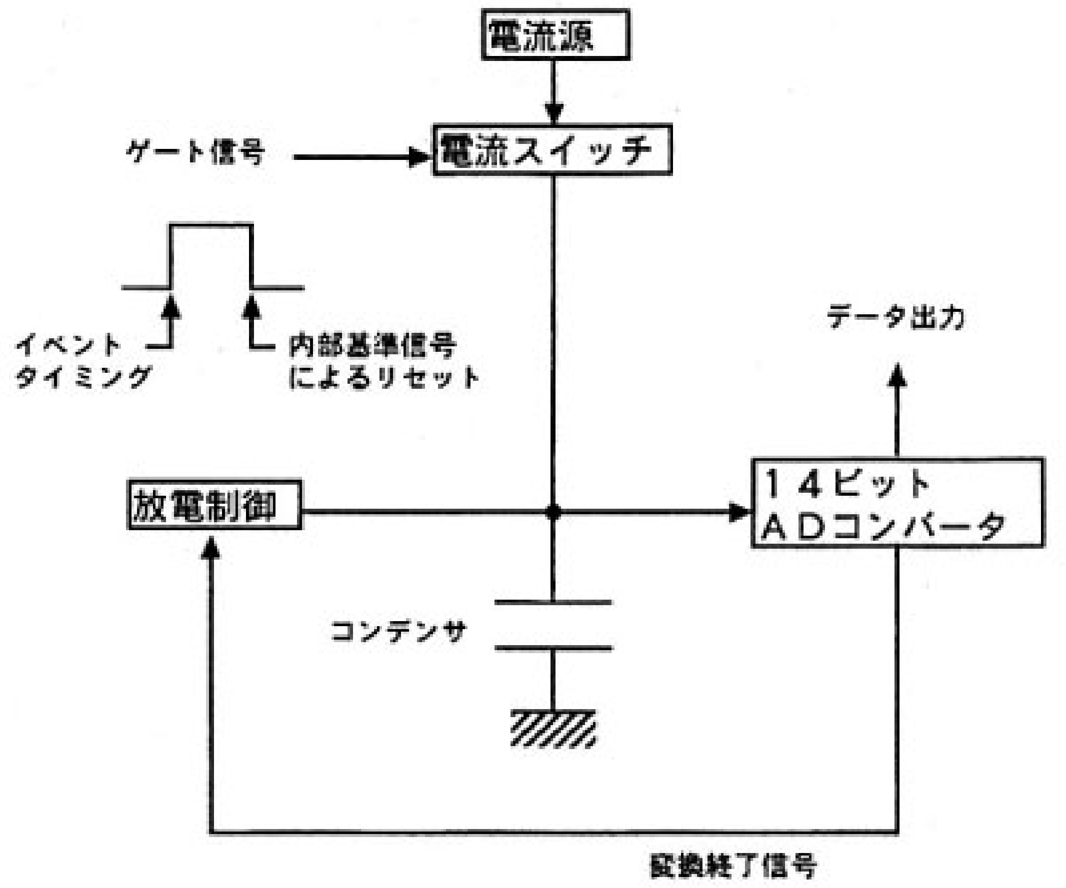
第1図　タイミング系の構成

timing vernier：第2図）により分解能約2psで計測される．タイミング測定の精度は，このバーニアカウンタの精度で決まる．バーニアカウンタの校正を行うため，内部クロックから作られる疑似スタート，ストップパルスが使用され，コンデンサの充電電圧を変換するADコンバータの特性が測定される（第3図）．

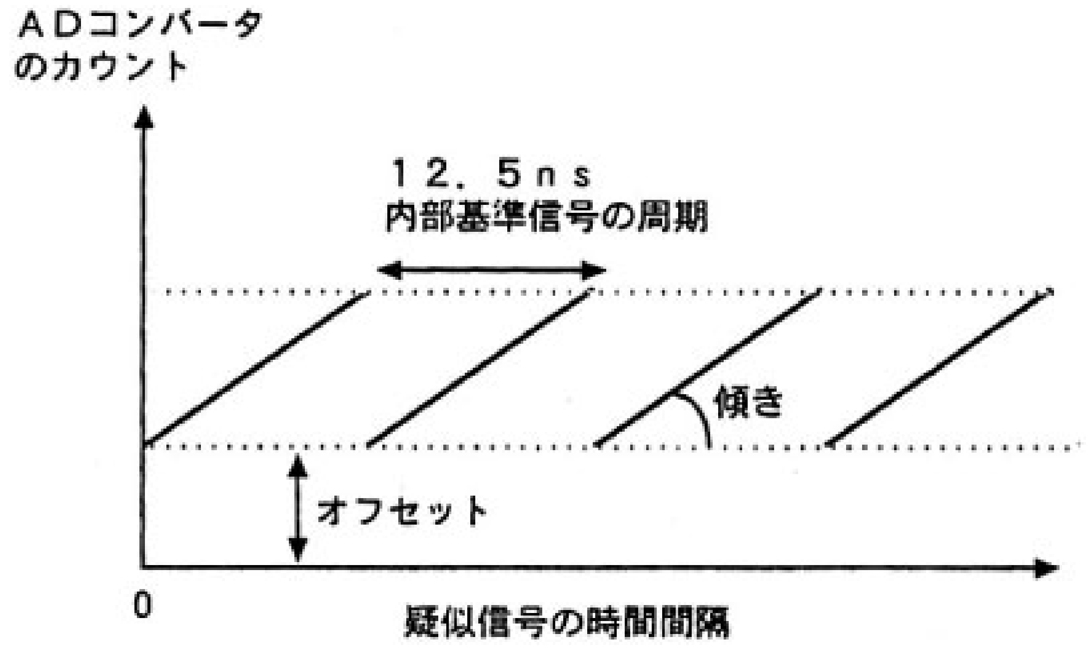
測るべきイベントタイミングは，スタートパルス（T1イベント）と，望遠鏡基準点（後述）および衛星からの2種類のストップパルス（T2イベント）の計3つである．MRCSには全部で4つのバーニアカウンタが装備されているが，バーニアの器差を打ち消すため，2種類のストップパルスは同一のバーニアを用いて測定される（(6)構成の項を参照）．また，ストップパルスに関しては，PEQを元にストップパルスの入力ゲート（キャリブレーションウインドウおよびレンジゲート）が開かれイベントが検知される．キャリブレーションウインドウの幅は25nsから3.2μsまで，レンジゲートの時間幅は25nsから819.2μsまで，それぞれ設定できるようになっている．

(3)　検出器ゲート

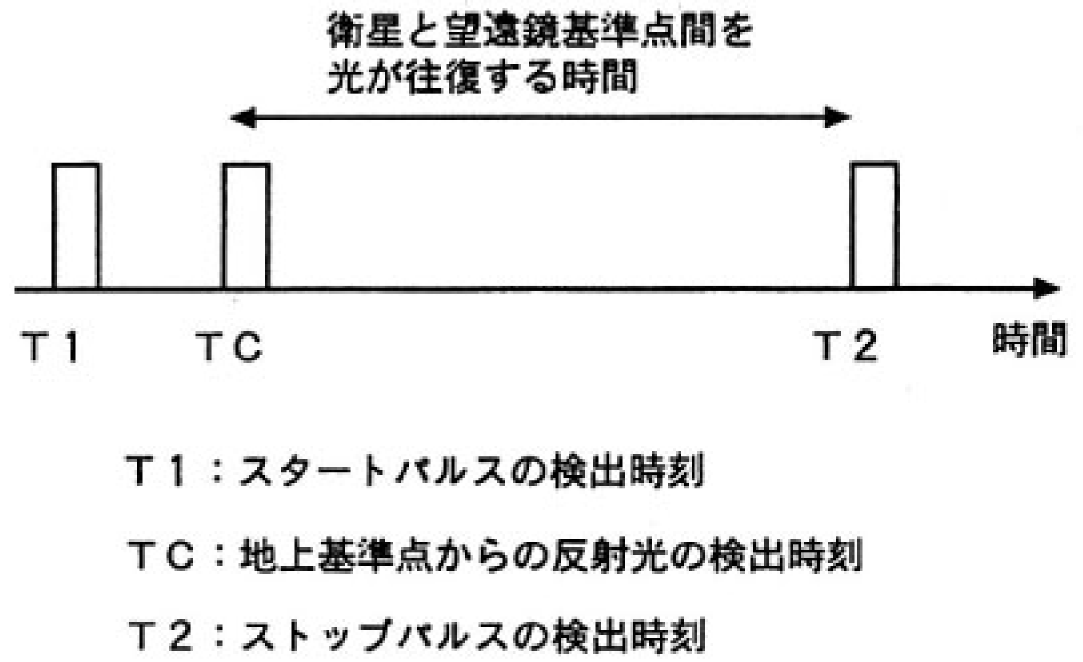
高感度受光装置からは，衛星からの反射光による信号以外に，背景光等による雑音信号も含まれる．これをさけるため反射光の戻ってくる時刻を予想して高感度受光装置を動作させる（検出器ゲートを開く）．検出器ゲートの時間幅は25nsから819.2μsまで設定できるように設計されている．高感度受光装置はゲートを開いてから



第2図 バーニアカウンタ



第3図 バーニアカウンタの校正



第4図 局内遅延の補正

実際に信号を検出できるようになるまで数マイクロ秒ほど時間を要するので，キャリブレーションウインドウおよびレンジゲートは，検出器ゲートを開いた後，この時間分遅らせてから開かれる．

(4) 2色測距レーザへの対応

KSP・SLR のタイミング系は，2色レーザ測距に対応している．2色レーザ測距は，主波長（532μm）のレーザと，より短い波長のレーザを同時に使用する測距方法で，光の屈折率の分散性から伝搬媒質の遅延量を推定することができる(1)．この方式を実用化することにより，これまで SLR の観測精度向上の大きな障害となってきた大気の伝搬遅延変動による誤差が，大幅に低減されることが期待される．この2色レーザ観測を実現するため，MRCS は複数のスタートパルス，ストップパルスに対応できるように設計されている．

取得された測距データ（各イベントタイミング）はオンボードメモリに蓄えられ，デュアルポート RAM を使うことによりデータ取得を妨げることなく，計算機によるデータ取得ができるようになっている．測距データの他，測距や制御の状況もデータとして出力される．コマンドとデータを蓄積するデータバッファは，毎秒1000回のレーザ発射レートで 200 ms 分のデータが格納できる容量が用意されている．

(5) 航空機監視レーザの制御

KSP では，15°以下の仰角に対してはレーザ光が照射されないようになっている．また，地上の基準点に対してレーザ光を発射する場合は，JIS の安全基準を満たす，微弱なレーザ光を使用するようになっている．しかし，天空に対しては尖塔出力ギガワットレベルの強力なレーザを発射するため，航空機搭乗員の目に照射された場合，傷害を与える可能性がある．そのためアイセーフレーザ（波長約 1.5μm）による航空機の監視を行う．アイセーフレーザによる航空機監視は，SLR レーザパルスの発射前に必ず行われる．アイセーフレーザを発射して 300μs（45 km に相当）以内に反射光を確認した場合は SLR レーザの発射を禁止するように設計されている．ただし SLR レーザパルスの繰り返し周期が 100 Hz 以上の時は，レーザ出力が小さくなり傷害を与える危険性がなくなるので，アイセーフレーザによる航空機の監視は行わない．

(6) 校正

衛星レーザ測距で観測されるべき測距量は，望遠鏡基準点（方位角仰角両軸の直交点）から衛星までの距離であり，その間を光が往復する時間間隔を求めたいわけだが，実際には，システム内部で生じる局内遅延量も含んだ形でしか時間間隔測定ができない．そのため，発射されたレーザが望遠鏡基準点を通過する波面上にコーナキューブを設け，このコーナキューブまでの往復時間を測定することにより局内遅延量を求めることができるようになっている（第4図）．

この他，KSP では，望遠鏡基準点との位置関係が正確

に測られている地上基準点が各観測局に5点ずつ設置されており，この基準点に置いたコーナキューブに対してレーザ測距を行うことにより，望遠鏡基準点と地上基準点の相対位置関係および，局内遅延量が最小自乗法により推定できるように設計されている（4.2.7参照).

3. おわりに

KSP・SLRの中でもっとも重要なハードウェアのひとつであるタイミング系に関し，中心となるMRCSの原理と機能，構成を述べた．

平成5年度から始まったKSP観測プロジェクトも，平成7年度にVLBI館山局およびSLR 4局が整備されることにより，システムの完成を見ることとなった．水平方向の測位感度の高いVLBIに加え，鉛直方向の測位感度の高いSLRによる観測を行うことにより，高い地殻変動監視能力が得られることが期待される．

謝辞

本研究をご支援くださいました，総務部，標準計測部の関係者各位に深く感謝いたします．

参考文献

(1) Abshire, J.B., "Pulsed Multiwavelength Laser Ranging System for Measuring Atmospheric Delay," Appl. Opt., 19, 3436, 1980.