

追尾システムの高精度化について（1）

藤沢健太

1. 背景

2002年7月に山口32m電波望遠鏡の追尾システムは一旦完成し、同システムにより天体の自動導入、自動追尾、プログラム追尾などが可能となった。しかし、角度信号をLACUより読み出していることにより、（1）角度読み出しの分解能が0.01度である、（2）LACU内のS/D変換部の誤差があり、読み出し角度にジッター的な変動がある、という2つの問題があった。同システムで追尾を行った場合の天体（Vir-A）の受信強度変動を図1に示す。追尾を行っていた約5分間に、受信強度は2倍以上も変動している。また周期的なパターンが見られることから、S/D変換部の変換に起因する誤差の存在を示している。受信強度が平坦になる30秒ほどの間にも、小さな強度変動が確認でき、追尾システムに問題が残されている事がわかっていた。

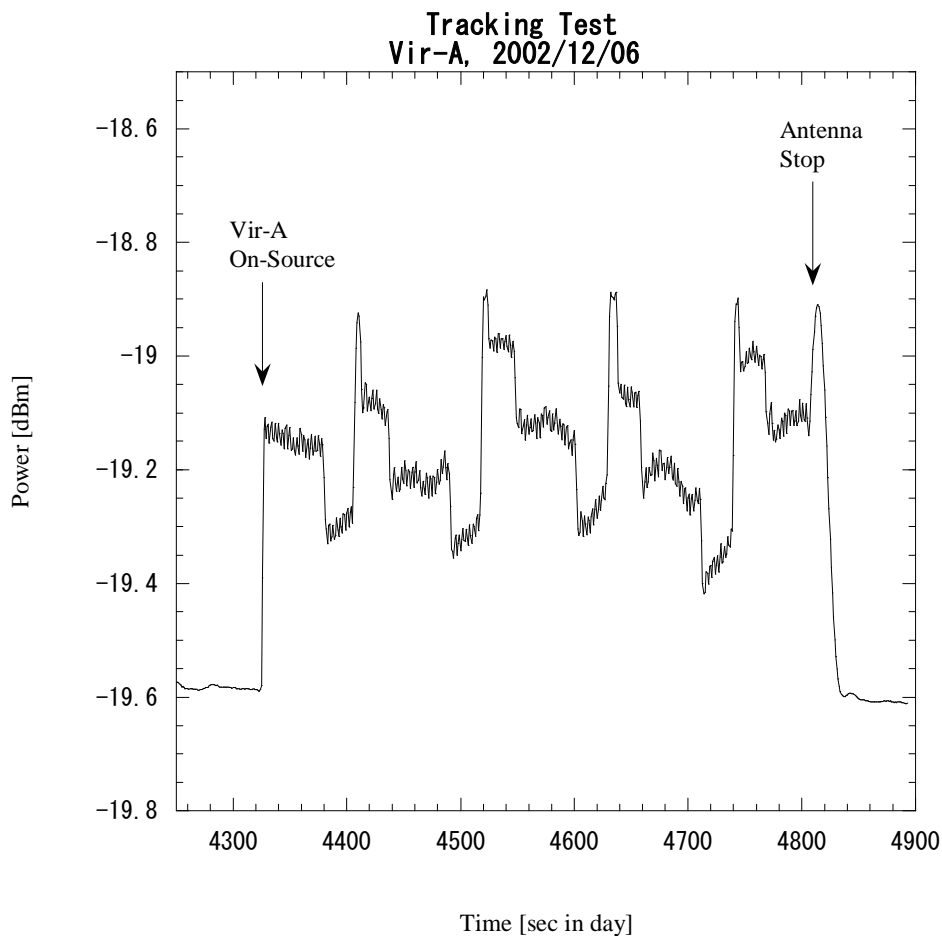


図1. 旧システムによる Vir-A の追尾時の受信強度

これらの追尾システムの問題点を解決するために、角度読み込み部をLACUからMEM_TRKに変更することを九州東海大の浦口智貴君、田中貴章君、田中洋行君らとともに検討、調査を行った。調査の結果、MEM_TRK（メモリー追尾装置）にはLACUとは別のS/D変換部が内蔵されており、0.001度の角度分解能で角度読み出し値が出力されている事が明らかになった。この信号は19ビット・バイナリで360度を表現し、出力レベルはTTLである。この信号を追尾システムの角度読み込み部に入力し、BCDエンコードを想定しているソフトウェアをバイナリに変更するなどの改修を行うことで、追尾システムの精度を0.001度まで高める事が可能ではないかと考えられる。

調査結果を元に担当業者（森野テクニカルサービス）と相談し、改修作業を行った。ここでは、改修作業の内容と改修後に行った予備的な性能調査結果について述べる。

2. 作業内容

2-1. ハード改修

LCAUに接続されていたケーブルは、LACUの出力に対応したピン配列になっていた。これをMEM_TRKの出力部のピン配列に対応させるために接続ケーブルを新たに製作した。MEM_TRKとの接続側はフルピッチ（50ピン）のアンフェノール・コネクタである。データをPCに読み込むためのPIOボードは既存のものを使用した。

MEM_TRKの信号が背面コネクタに出力されていたため、ハードウェア改修点はケーブルだけである。図2～4に改修を行ったケーブルの設置状況の写真を示す。

2-2. ソフト改修

ソフトウェアの主な改修点は、入力信号をBCDからバイナリに変更、内部の補間ルーチンの削除、また仕様の変更として器差補正パラメータを付加したことである。その他、様々な補修が行われているが、インターフェイスに変更はない。

ソフトウェアは全システムのソースコードをCD-ROMに納めた形で供給された。これらを追尾システム用PCにダウンロードしてコンパイルした。

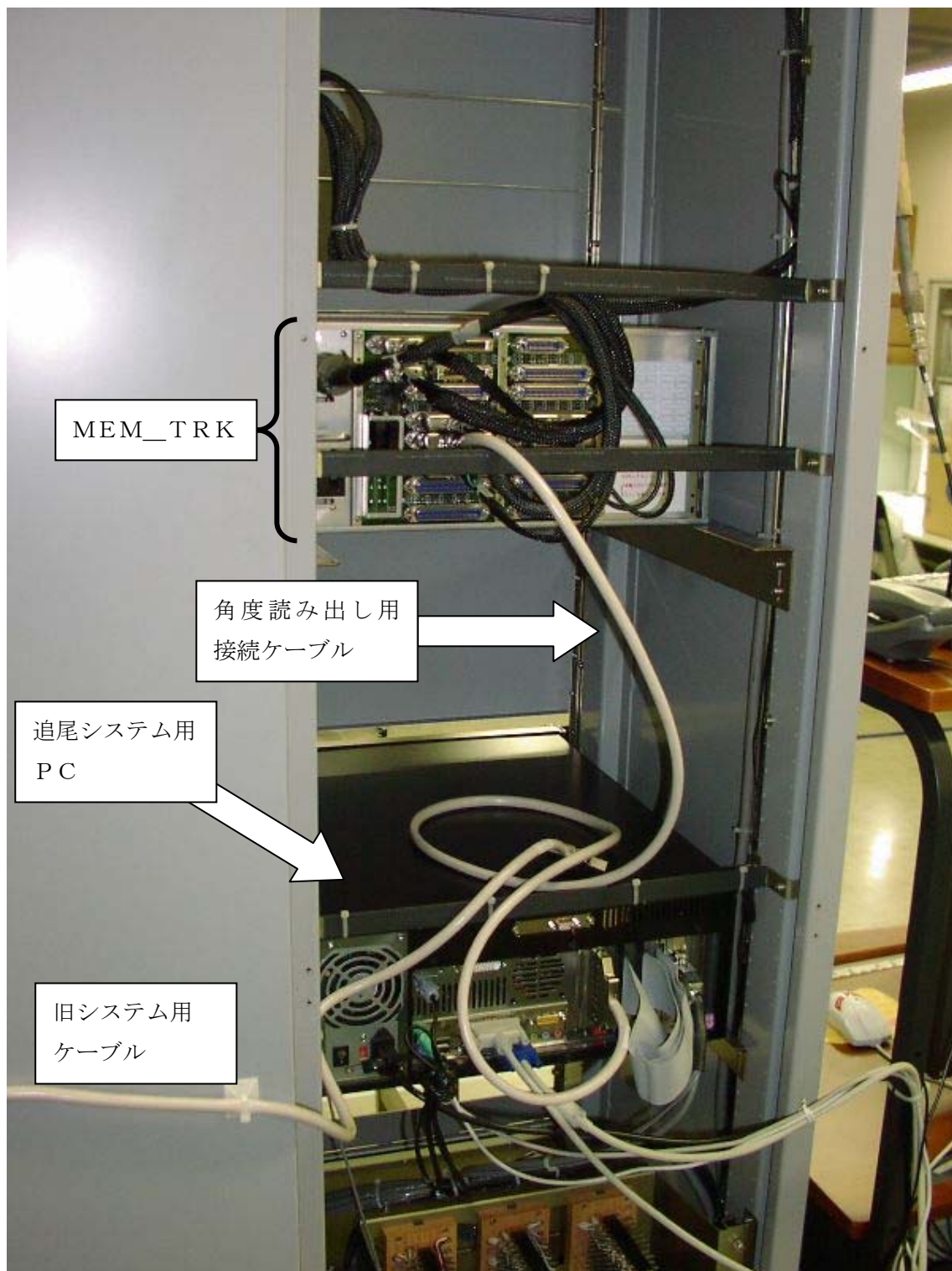


図2. 改修した角度読み出し用接続ケーブル (矢印)。LACUに接続された旧システムのケーブルも写っている。

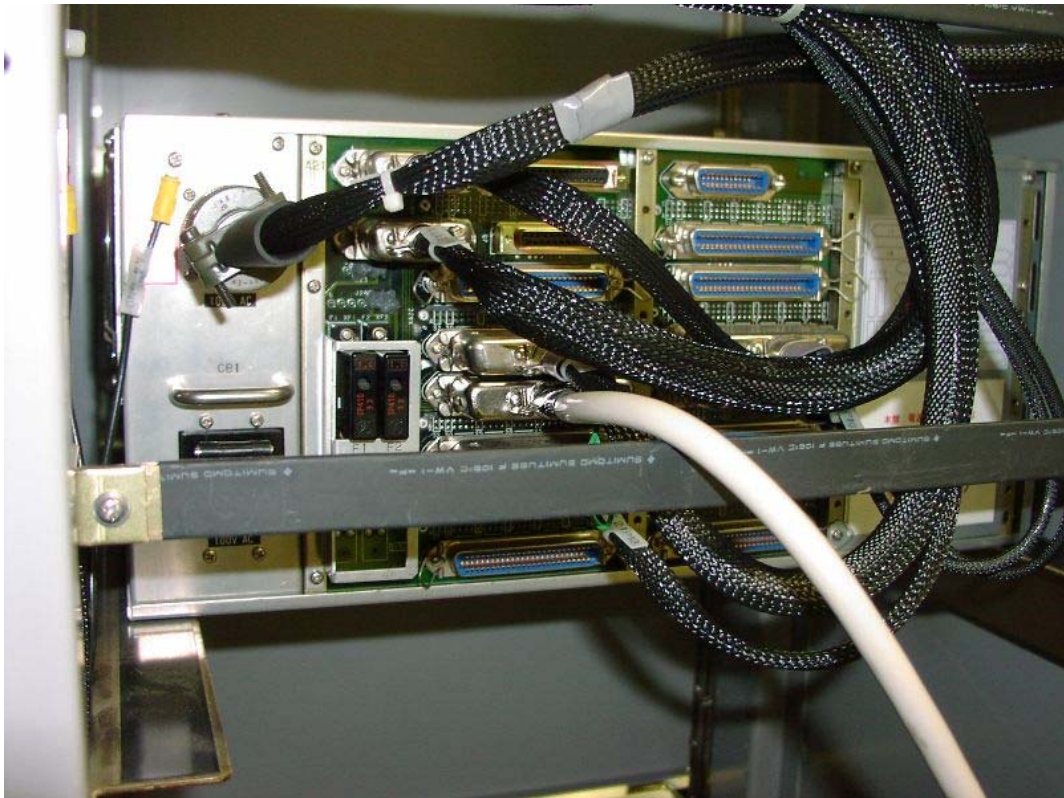


図 3. MEM_TRKからの信号出力部（J 1 1ポート）と新ケーブル



図 4. 追尾システム用PCの角度読み込み用P I Oボードへの新ケーブルの接続

3. 調整

1 2月24日にケーブル・ソフトが納品され¹、26日午後に設置および試験を行った。ケーブルの接続およびソフトウェアのコンパイルは容易に行われたが、当初角度の読み込みに失敗した。これは業者に対して指示したピン配列と角度の関係を2倍間違えていたため、ソフトウェア (acu.cc ルーチン) 内部の設定パラメータを変更することによって、角度の読み込みに成功した。角度ログに記録された角度値もバイナリ読み込みの値の通りに設定されていた。追尾の試験を行ったところ、旧システムと同様に天体追尾に成功した。

27日、天体追尾を行い、受信強度の変動をモニタしながら内部パラメータの調整を行った。主な調整点は天体を追尾している状態になったと判断する収束条件と、収束外でのフィードバックパラメータ、収束状態でのフィードバックパラメータの3つである。27日は主に収束条件と収束外パラメータを調整したが、振動を起こしたり、追尾はずれが頻繁に発生する状態が続いた。

28日、九州東海大から浦口智貴君、田中貴章君が来所し、試験に立ち会った。この日は調整と試験のため、アンテナ内で宿泊した。

29日、収束条件と収束外パラメータはデフォルト値に戻し、収束した状態でのフィードバックパラメータを調整した。その結果、きわめて良好な追尾状態を実現した。これまでは「連続追尾パラメータ」に「誤差パラメータ」を0.1倍したものを付加して誤差電圧を発生していたが、これを0.3倍あるいは0.5倍にすることによって、実角度とターゲット角度の差を常に0.01度以下に保ち、しかもスムーズな追尾ができる事が明らかになった。

30日、上記の状態でスケジュールファイルによってポインティングを試みた。しかし悪天候のため、有意なデータは取得できなかった。

31日、やはり悪天候のため、スケジュールファイルによるポインティングはあきらめ、強力な天体使って大まかなポインティングを行い、全天においてどれほど追尾誤差があるのか調査した。

その結果、仰角方向は常にビームがターゲットより下にオフセットしていること、大きさは0.5~1.5分角の範囲であることが明らかになった。これはアンテナ面側が重いため、ターゲットより下側にオフセットした状態でフィードバックループが安定しているためと考えられる。追尾システムのソフトウェアを固定してしまえば、このオフセットは器差補正值によって吸収できると考えられる。

また、方位角方向のオフセットは角度依存性を示し、調査した範囲では第4象限において1分角以上のオフセットを持つ事が明らかになった。

今後、快晴無風の状態で全天についてポインティングを行い、器差パラメータに還元する事が必要である。ただしそれ以前に追尾システムのソフトウェアの調整を完了する必要がある。

¹ その後、さらにバージョンアップした kddi32m-20021226.tgz をもらっているが、まだインストールしていない。

4. 測定データ

12月31日、ポインティングとは別に Cyg-A の連続追尾データを取得した。これは追尾システムが連続的に滑らかに天体を追尾できることを示すためのものである。図5に受信パワーの変化を示す。23950秒付近で追尾状態となり、それから250秒間、ほぼ一定の受信強度を保っている。24225秒でアンテナを停止した後は、天体の移動につれて受信強度が低下し、24400秒付近で完全にビームから外れている。この状態でノイズソースをONにし、受信強度の参考とした。

図5に示した【ON】の範囲における200秒間の受信パワーの平均値は -16.767 dBm、標準偏差は 0.0086 dBであった。同様に【OFF】で示した24450からの14秒間の平均は -19.170 dBm、標準偏差は 0.0017 dBであった。これが大気を含む受信システムに起因するゆらぎとすると、受信強度は 0.0084 dBの標準偏差で揺らいでいたという結果を得る。Cyg-A の受信強度が約 2.4 dBであるから、 0.0084 dBの変動はおよそ 0.35% (1σ)の変動であり、きわめて安定した追尾に成功したことを示している。

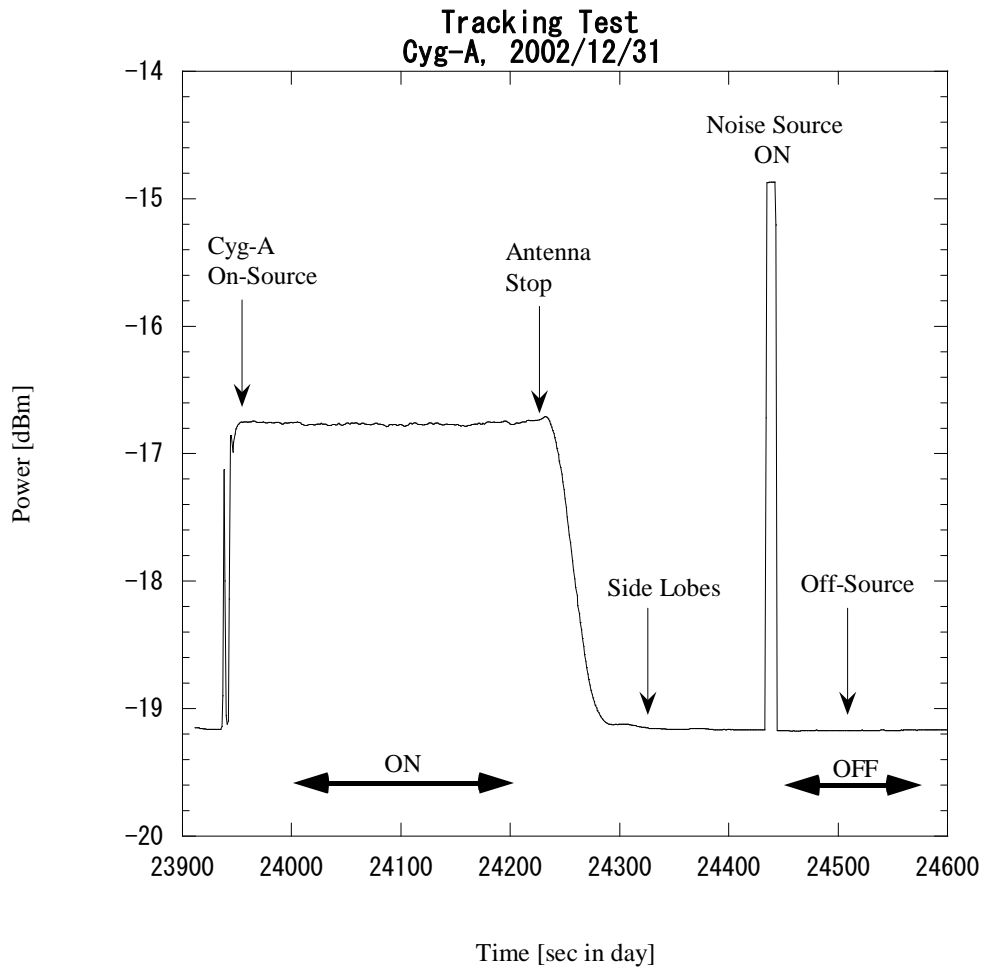


図5. Cyg-A の追尾による受信強度の変化

図6以降に追尾の収束と追尾状態を示す。図6、図7は読み出し角度の変化（方位角、仰角）を示している。ともに急速な接近から1回の大きなオーバーシュートを経て収束している事がわかる。拡大すると、前後に1回ずつ、2階のオーバーシュートがある事がわかる。

図8は追尾システムから出力された誤差電圧の変動である。方位角、仰角ともにスムーズな変動を示している。

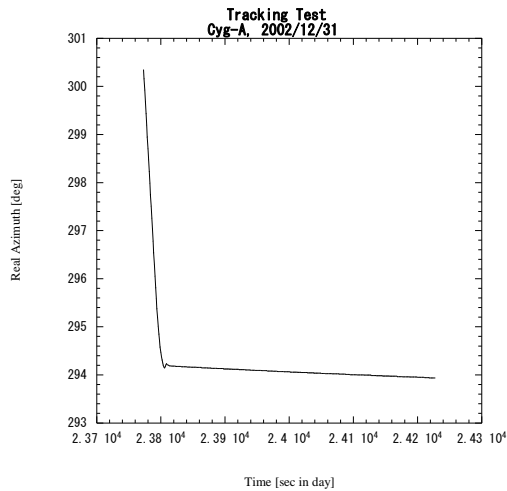


図6．方位角の収束と追尾状態

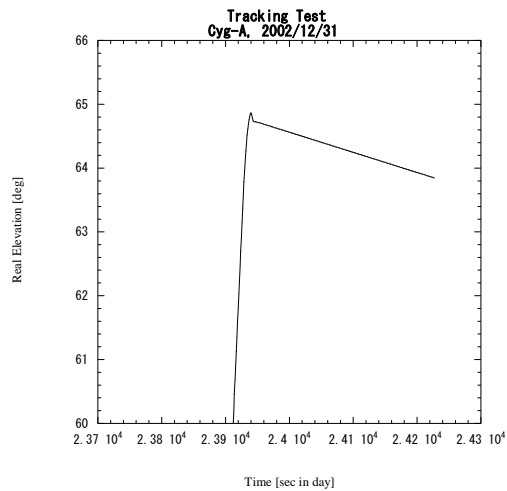


図7．仰角の収束と追尾状態

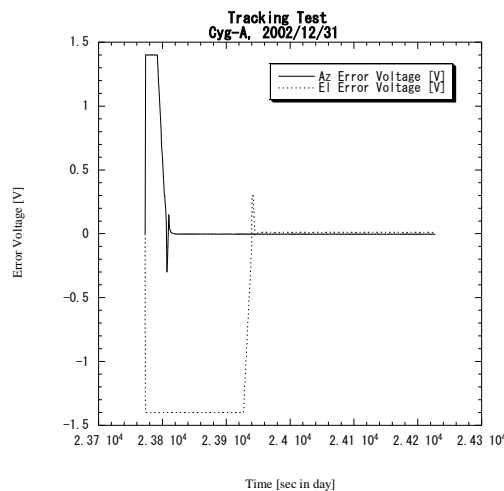


図8．誤差電圧の変動（実線が方位角、点線が仰角）

図9～11はターゲット位置と現在位置の角度差の変化を示している。図9は収束から追尾へ移行する全容を示している。図10は収束時のオーバーシュートの様子を示している。角度差がほぼ0になってから2回オーバーシュートし、13秒で完全に収束し、安定追尾状態に入っていることがわかる。

図11は収束後の角度差を拡大して表示したものである。ほぼ0.008度で一定の角度差を

保ったまま追尾が行われている事がわかる。これは追尾が完全に目標を捕らえていないことを意味する（前述の通り、この大部分は仰角のオフセットである）。しかし、追尾システムが常にこのオフセットを持っているのであれば、器差補正值で吸収する事が出来る。

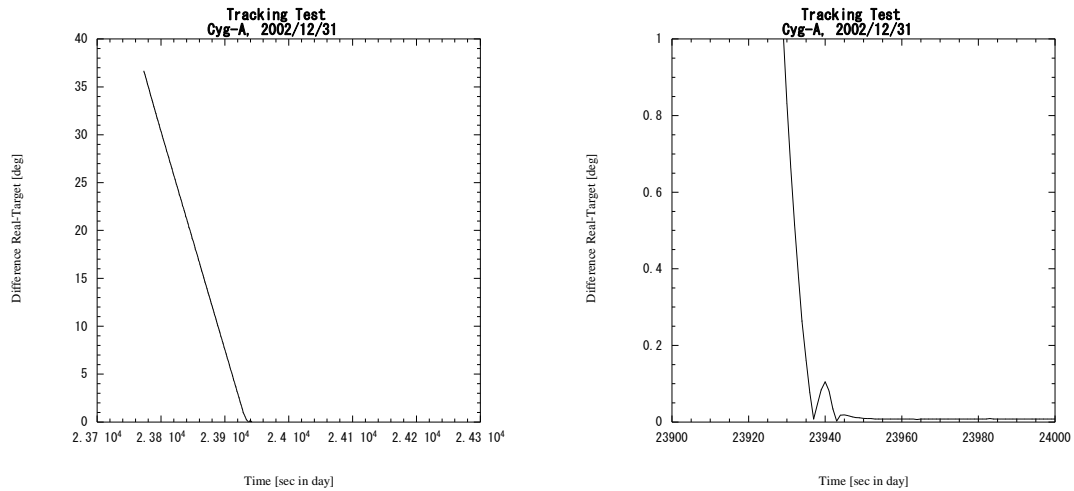


図9（左）、図10（右）. ターゲット位置と現在位置の角度差の時間変化

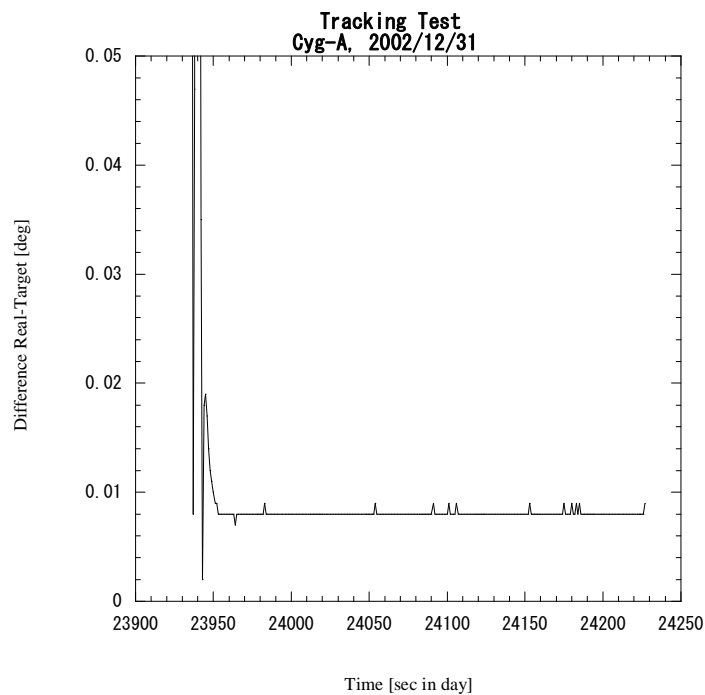


図11. ターゲット位置と現在位置の角度差の時間変化（拡大図）

参考資料

浦口、田中、田中、卒業論文（九州東海大学、2003年）

==以上==



九州東海大の浦口智貴君（右）と田中貴章君（左）