

VERA20m 電波望遠鏡 駆動制御系 時刻同期制御部の内製化

○平野賢、上野祐治、砂田和良
(国立天文台 水沢 VLBI 観測所)

概要

時刻同期制御部 (TSU: Time Synchronous Unit) は、アンテナ指向指令値を基準時刻信号に同期させ、下位の制御装置群へ指令を与える装置である。TSU の予備品枯渇が迫る中、入出力仕様を元に代替機の内製を進めた。2020 年 3 月に天体追尾機能を実装し、7 月に従来品と同等の VLBI 観測結果を得て、水沢局にて実運用を開始した。11 月には小笠原局にも搭載した。完成までの道のりを述べる。

1. 駆動制御系 時刻同期制御部の概要と構成

VERA(VLBI Exploration of Radio Astrometry) 20m 電波望遠鏡の駆動機構は、方位角(AZ: Azimuth)、仰角(EL: Elevation)、視野回転角(FR: Field Rotation)と、2 ビーム機構(2B: 2 Beam)から成る。FR と 2B により同時に 2 天体を観測できることが特徴である。時刻同期制御部の改修前後の構成を図 1-1 に示す。水素メーザーからの正確な 5MHz 信号を基準に、時計装置が IRIG-B タイムコード信号をアンテナ内の TCG/T へ送り、同期クロック信号に変換して TSU へ送る構成である。TSU はこの信号と同期し、局運用計算機からのアンテナ駆動指定時刻と、実際に駆動する時刻を正確に合わせるといふ、天体追尾のための重要な機能を持つ。しかし、TSU は製造中止となり、近年は予備品枯渇も迫っていた。

そこで、予備品枯渇解消と技術力向上のため、旧 TSU の入出力仕様を元に、同仕様のプログラムを新規開発し、TSU を内製することとした。合わせて、従来問題となっていた IRIG-B タイムコード信号の電圧低下を解消するため、同期クロック信号系の構成を変更した。以降、図 1-1 左の TSU を旧 TSU、右の TSU 互換計算機を新 TSU と書き分ける。

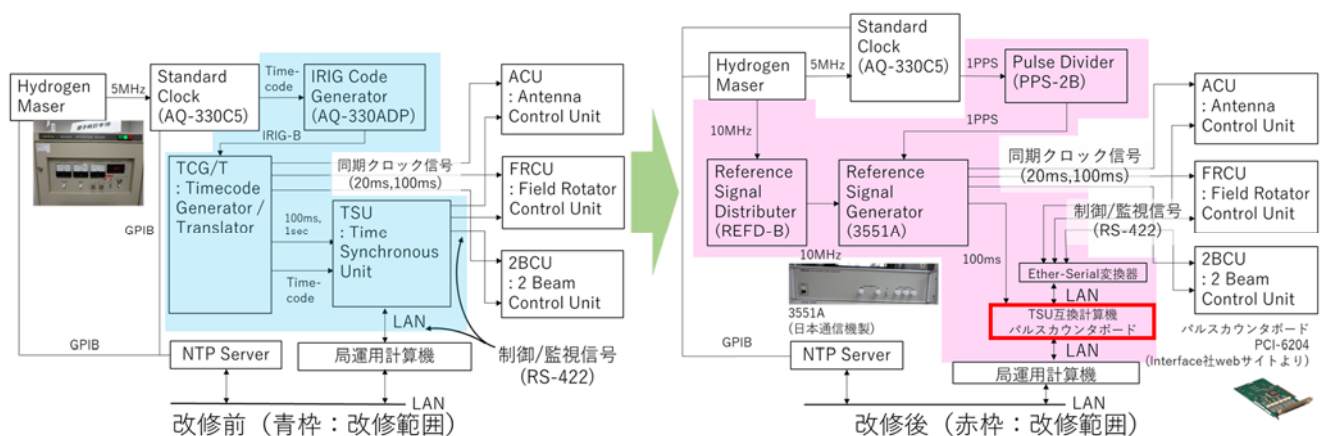


図 1-1 時刻同期制御部の改修前後の構成

2. 新 TSU プログラムの構成

新 TSU は、局運用計算機と、望遠鏡駆動機構を制御するローカル装置(ACU,FRCU,2BCU)との間で、

制御コマンド（DRIVE ON/OFF 等の指令コマンド+指令角度）及び監視ステータス（装置状態+実角度）を受け渡す機能を有する。各装置間で受け渡すデータの内容とタイミングのイメージを図 2-1 に示す。天体を追尾するためには、局運用計算機で作られる指令角度を 100ms ごとに分割し、細かく内容を変化させながらローカル装置へ送信する必要がある。2020 年 3 月にこの機能を実装し、天体追尾を可能とした。



図 2-1 新 TSU が送受信するデータとタイミングのイメージ

3. 天体追尾機能のデバッグ

機能実装後、新 TSU による初観測を実施したところ、局運用計算機から送られる指令角度と、受け取る実角度の差が、旧 TSU の場合（最大 0.8 秒角（ 0.0002° ）程度）と比べて明らかに大きい（最大 14.4 秒角（ 0.004° ））ことがわかった。局運用計算機側でこの差が見えることから、指令角度の送信タイミングが異なることで実際のアンテナの動きが変わったか、実角度情報に異常があるかという 2 つの仮説を立てた。調査の結果、指令角度については送信タイミングと内容に旧 TSU との差異が無く問題ないため、実角度の内容に起因すると推定した。さらに調査を進めた結果、新 TSU から局運用計算機に毎秒送る実角度配列の先頭から順に最新の角度を格納していたが、本来は先頭から時間順のデータが常に並ぶ必要があることがわかった。これを修正し、この差を最大 1.8 秒角（ 0.0005° ）程度に抑えた。

4. 実運用試験

2020 年 6 月から 5 項目の実運用試験を実施した。以下に各試験の判定基準と結果を示す。

1) 単一鏡観測試験

判定基準：新 TSU 接続状態でもビームのずれ等がなく、旧 TSU と同等の結果を得ること。

結果：新 TSU で観測した場合でも、旧 TSU と同等の天体追尾を実現できた（図 4-1）。

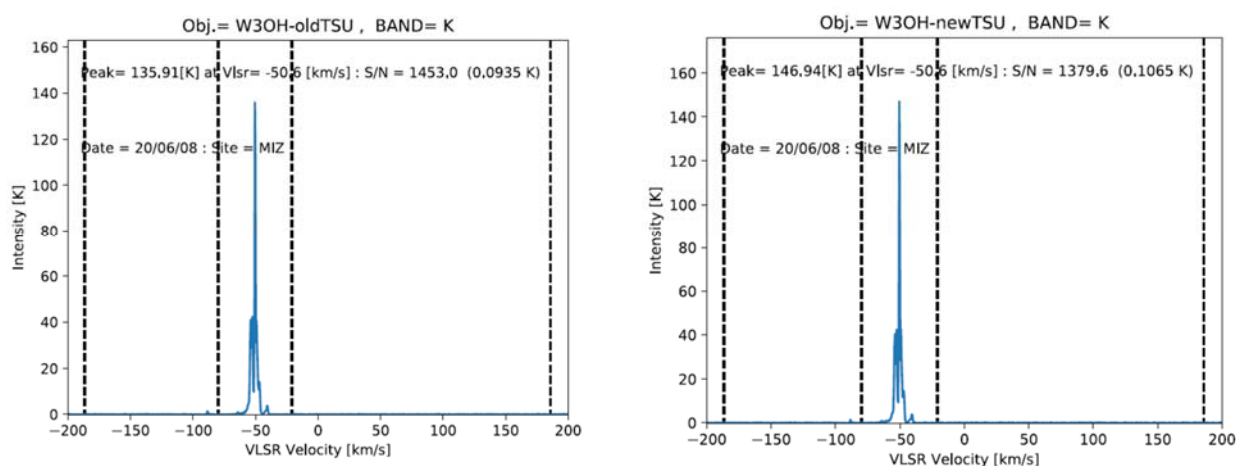


図 4-1 W3(OH)の観測結果（左：旧 TSU、右：新 TSU）

2) 全局 VLBI 観測試験

判定基準：水沢局に新 TSU を搭載して全局で同一天体を観測し、旧 TSU による観測と比較してフリンジのピークに明らかな差異がなく、全観測時間にわたってフリンジを検出できること。

結果：連続波源 OJ287 のフリンジの遅延時間のオフセット(Delay)、遅延変化率のオフセット(Rate)、信号対雑音比(SNR)を新旧 TSU で比較したところ、天候による SNR 低下以外の有意な差は見られなかった。図 4-2 に観測中の各値の時間変化(赤色：旧 TSU による観測名 r20181t、青色：新 TSU による観測名 r20182t)を示す。

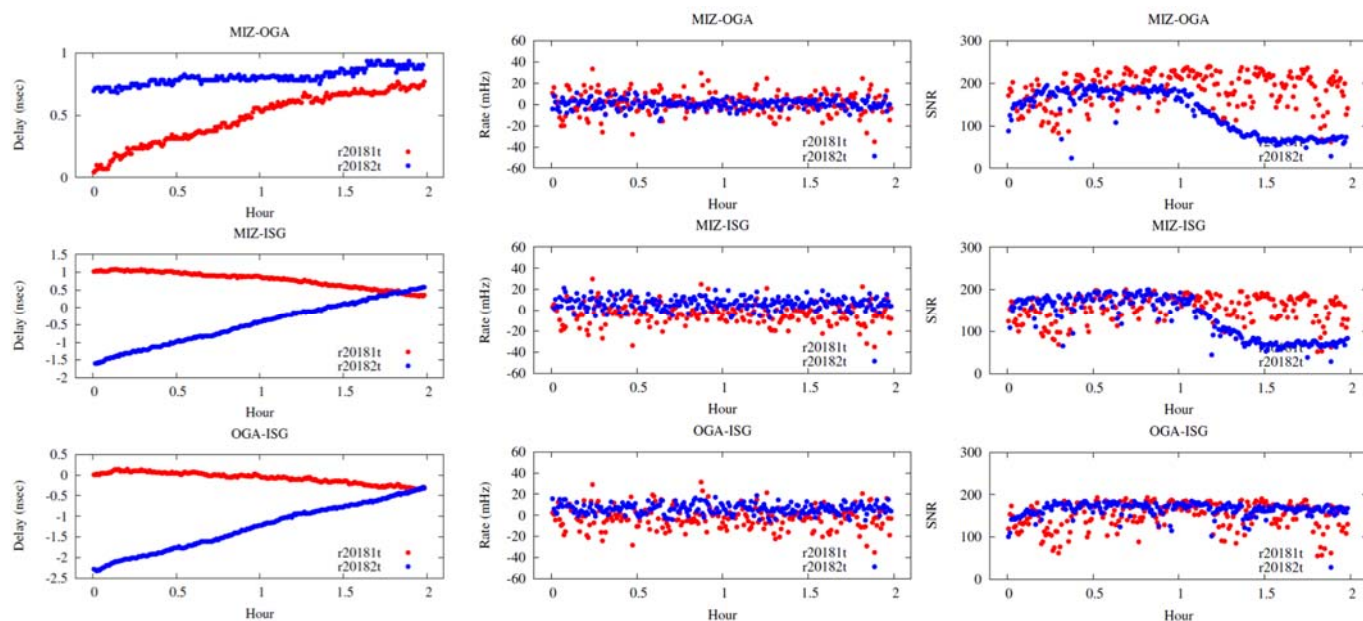


図 4-2 OJ287 フリンジの Delay (左) , Rate (中央) , SNR (右) の時間変化(2020/6/29-30)

(上段：水沢局-小笠原局、中段：水沢局-石垣島局、下段：小笠原局-石垣島局の各基線)

3) 5 日間連続運転試験

判定基準：新 TSU により、5 日間連続で 2B を変化させて観測し、予期せず停止しないこと。

結果：1 件の不具合(過去の制御コマンドが実行される)が発生し、修正した。この試験中、水沢局旧 TSU の CPU ボードが故障し、予備ボードが無いため旧 TSU によるアンテナ駆動が不可能となった。緊急に新 TSU の運用を開始せざるを得ない状況となった。

4) 単一鏡ポインティング観測

判定基準：新 TSU により、毎年実施しているポインティング観測を行い、ポインティングオフセットに異常な周期成分が見られないこと。

結果：3 項記すとおり、指令角度と実角度の差が旧 TSU と比較して 1 秒角程度大きい、ポインティング精度の劣化は検出されず、問題ない精度であるため、合格とした。

5) 長期運用試験 (実運用開始)

判定基準：新 TSU を搭載したまま、支障なく運用可能であること。

結果：観測中に駆動停止する不具合が不定期に発生することがわかり、運用を続けながら対処中である。詳細は 6 項に記す。

5. 2号機製造と小笠原局への搭載

実運用試験中に水沢局にて緊急的に新 TSU の運用を開始したため、さらなる故障がいずれかの局で発生した場合、直ちにアンテナを駆動できなくなるおそれがあった。そこで、実運用試験と並行して 2 号機の製造に着手した。2020 年 11 月に 2 号機を完成させ、他の保守作業に合わせて小笠原局に搭載した。同月中に単一鏡観測およびポインティング観測を実施し、水沢局と同様に問題ないことを確認した後、運用を開始した。

6. 現在対処中の不具合

観測中に予期せず駆動停止した際の復旧に要する時間は、運用者がいる場合は、ソフト再立ち上げで復旧できる場合は十数分程度、アンテナへアクセスする必要がある場合は 30 分程度である。夜間無人運用中に発生すると、翌朝まで停止状態となる。

不具合が起きた際の、新 TSU からローカル装置への制御コマンドを調べたところ、本来格納されるべき配列にずれて格納されていることがわかった。このずれがどこで生じたかを調べるため、wireshark によって局運用計算機から新 TSU へ送られる制御コマンドの packets を確認したところ、その内容は正しいことがわかった (図 6-1)。新 TSU プログラム内部の問題と推定し、さらなる原因調査を進めている。



図 6-1 wireshark による制御コマンドパケットモニターの様子

7. まとめ

旧 TSU 故障により観測停止が危ぶまれたが、新 TSU の奇跡的な緊急登板によって観測停止期間を最小限に抑えた。実運用試験によって、新 TSU に置き換えても旧 TSU 使用時と比較して望遠鏡の追尾性能は同等であることがわかった。また、水沢局に加え、小笠原局でも 2020 年 11 月から 2 号機の運用を開始した。一方、観測中に不定期に停止する致命的な不具合が残る。これを早急に解消するとともに、今後のさらなる障害発生に備え、3 号機の製造や、保守改良のためのドキュメントを整備する計画である。