

野辺山偏波計共通バックエンド受信機の製作

篠原徳之、川島進、関口英昭、齊藤泰文

国立天文台 野辺山太陽電波観測所

概要

国立天文台野辺山太陽電波観測所の太陽電波観測用偏波計は太陽全面を常時監視して太陽からの電波の強度及び偏波（左右円偏波）を測定する電波望遠鏡である。偏波計は太陽爆発現象時の高温・高エネルギーの電子から出る電波を7周波数帯（1、2、3.75、9.4、17、35、80GHz）で毎日観測し、爆発現象のメカニズムの解析等に役立てられている。得られたデータは全世界に向け提供され、各国の研究者からも太陽研究における基礎データとして信頼されている。

野辺山偏波計全景



左写真が偏波計群の全景である。

この偏波計システムのバックエンド受信機部がかなり老朽化してきたため、新しい受信機に変更するプロジェクトが2001年よりスタートした。コンセプトはで1~17GHzまでの周波数帯で共通化させ、実用機化作業またメンテナンス性を向上させるよう設計を行った。

設計時に考慮した主な点は

- ・ 受信IF周波数を統一する 1GHz~9.4GHz 60MHz ± 10MHz BW
(17GHzは60MHz ± 20MHz BW)
- ・ バックエンド出力（太陽レベル、SKYレベル）は受信周波数毎に調整可能
- ・ 主要部品をユニット化、共通化
- ・ 調整の簡易化
- ・ 安定性の向上

である。

更新にあたっては旧来方式をそのまま引き継ぐのではなく、機能の見直しや、新たな素子の使用などを盛り込んでいる。例えば、Dick 切換、偏波切換信号は今まで各バックエンド部（以降 BE と略す）で独自に作って使用していたが、これをデータ積分(100ms)信号と同期した信号に変更（外部の共通信号発生部から供給する）する事によりデータ処理が統一でき効率よくデータを収集できる。また BE 部で重要な位置を占める二乗検波回路は、従来のダイオードや FET 型から高速乗算器型に変更することで、温度特性や二乗特性の向上を計った。また PLD の使用などで全体に小型化を実現している。

§ 1 偏波計システムの構成



旧バックエンド



新バックエンド (3.75GHz、9.4GHz)

上写真左は20数年間頑張ってきた旧バックエンド部である。古いものでありその性能を維持するには多大な努力が必要であった。

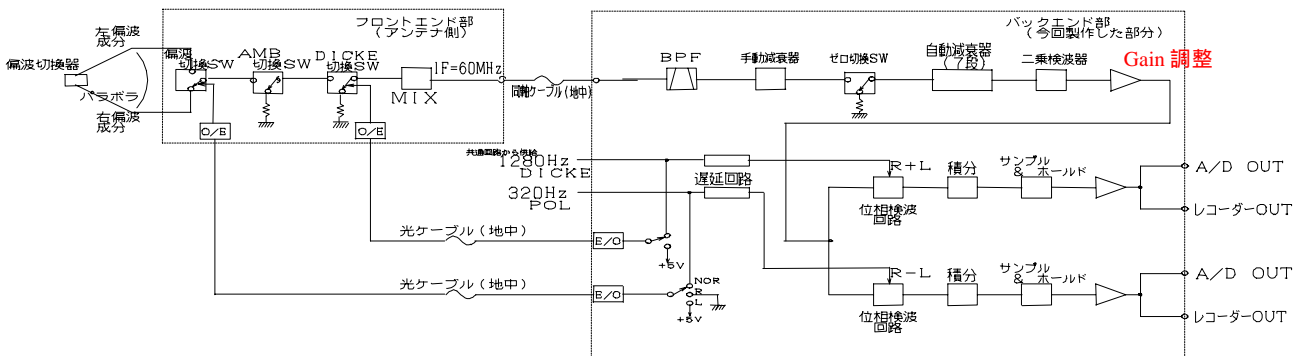
上右写真が今回報告する新型バックエンド部である。各周波数で全く同じ形をしており、内部の調整だけで、その周波数専用のバックエンド部になる。主な調整箇所は、

制御パルスのディレイ (受信機内部とアンテナ側でのパルスの位相差)

BEに入力されるIF信号は、アンテナ側に設置したフロントエンド(以降、FEと略す)部にある偏波切換器、ディッケ切換器を経由するため、切換信号に対して僅かに遅延が生ずる。位相検波回路の同期信号とこの遅延によるIF信号のズレは受信感度低下をもたらすので補正する必要がある。そのための遅延調整回路が入っており、約0.6 μ s単位で調整している。

入力IF信号の強さ

バックエンド受信機部のGain(1dBm / 1V出力:入力信号が1dBm変化したときBE出力で1V変化)と非常に簡単である。下図に偏波計受信システムのブロック図を示す。図中の右側半分のバックエンド部が今回製作した部分である。(印部が調整箇所になる。)



§ 2 3.75GHz、9.4GHz、17GHz 偏波計用バックエンドの実機製作

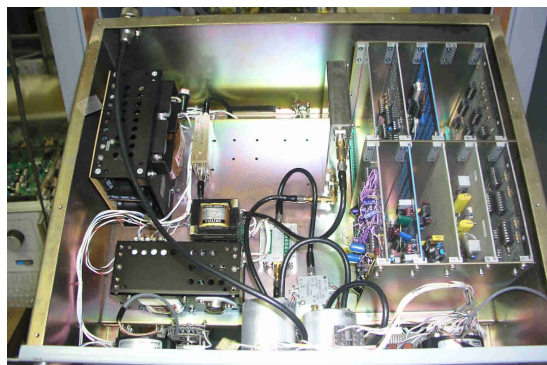
先行機の評価を踏まえて、2002年度において、3.75GHz、9.4GHz、17GHz用に3台のBE受信機を製作した。以下の点に注意し製作を行った。

ノイズ対策

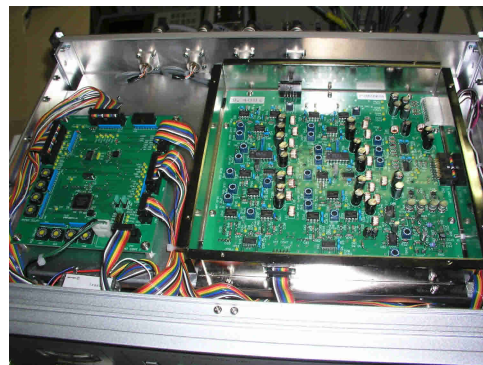
DC電源はスイッチング電源をシリーズ電源に変更して出力ノイズの一層の低減化。筐体内部のシールドを強化するため、金属ケースを採用(二乗検波回路部など)。強度と偏波信号間の漏れこみを防ぎ、分離度を良くするためにアース回路を工夫。

データの取りこぼし対策

太陽フレア発生時は、静穏時に比べて 20～30dB 強い電波が出ることもある。BE 部ではできるだけ小さい変動も捕らえるため、ダイナミックレンジは狭くしてあり、出力レベルが飽和する手前で自動減衰器を動作させ、それをカバーする方式になっている。この減衰機が働く瞬間データが異常な値になる現象がある。データサンプリングと減衰機の入るタイミングでこの問題が起こってしまうのだが、その異常データの数をできるだけ減らし（このデータは使えない）100 分に近いデータ収集を可能にした。



旧バックエンド内部



新バックエンド内部

上図に新旧バックエンド内部の様子を示す。新バックエンドでは各部がユニット化され整然としているのがわかる。新バックエンドのようにユニット化することにより故障の発見、修理が迅速に行えるようになった。また各周波数で同一なものを使用しているため、故障履歴を積み重ねるにしたがって故障箇所の特定が容易にできる利点がある。このようにハードウェア面では目標の性能アップができた。

§ 3 性能評価

実際に受信機としてどの程度の性能向上になったかを以下に示す。

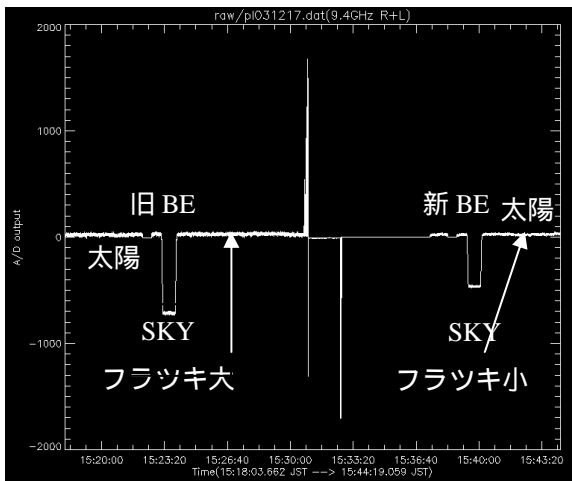
入力終端時の不要出力信号の比較 3.75 GHz (単位 mV)

	新バックエンド	旧バックエンド
強度信号のフラツキ	最大値： 4 . 9 最小値： 0	最大値： 5 8 . 8 最小値： - 1 0 7 . 8
強度信号のオフセット	平均値： 0	平均値： - 2 4 . 5
偏波信号のフラツキ	最大値： 0 最小値： - 4 . 9	最大値： 1 1 2 . 7 最小値： - 2 9 . 4
偏波信号のオフセット	平均値： 0	平均値： 4 1 . 7

入力終端時の不要出力信号の比較 9.4 GHz (単位 mV)

	新バックエンド	旧バックエンド
強度信号のフラツキ	最大値： 4 . 9 最小値： 0	最大値： - 3 4 . 3 最小値： - 4 4 . 1
強度信号のオフセット	平均値： 0	平均値： - 3 8 . 7
偏波信号のフラツキ	最大値： 0 最小値： - 4 . 9	最大値： - 9 . 8 最小値： - 1 9 . 6
偏波信号のオフセット	平均値： 0	平均値： - 1 4 . 6

(注：最終のデジタル出力で測定。1LSB が 4.9mV)



上表からわかるが、入力をゼロにした状態でのバックエンドから出る不要信号（オフセット値）が小さくなった。実際に太陽を新、旧バックエンドで観測した結果が左のデータである。これは太陽強度を計算するため FE と BE の先端で 50 に終端した時の値（入力ゼロの状態）。パラボラを太陽と空 (SKY) に向けた時の値等を測定したデータであり、縦軸に時間、縦軸に太陽からの電波の強度を表している。左半分が旧 BE、右半分が新 BE での観測結果である。太陽の部分と比べても旧 BE の方がフラツキが大きいことがわかる。（受信機ノイズが大きい）

偏波形データ派継続して報告しているので BE を変更してもデータの継続性は重要である。このデータから太陽電波強度を計算すると、太陽 Flux 値の差は 3.75 GHz、9.4 GHz とともに 1% 以下であり新 BE への移行は問題がないことも確認している。

§ 4 まとめ

2001 年からスタートした野辺山偏波計群のバックエンド更新プロジェクトも現在予定をしていた 5 周波のうち 4 周波が終了した。今回新たに 3 台製作したが、何年にもわたり使用している受信機の置き換えが容易ではないことを体験した。

その際痛感した点は

古い機器は、改修・改造を重ねて現在に至っている。その都度図面を修正し、整備してあるものもあるが、図面が失われてしまい、全くないものもあり、現物の配線を 1 つ 1 つ調べて図面を起こすことからはじめなければならないものもあった。必要な時、誰でも修理・調整等に対処できるよう図面は常に整備するよう心がけるべきである。

ディッケ、偏波の極性が途中で替わっていたり、その他データ取り込みのケーブル接続などでも、変更の個所、変更の経緯が記録されていないものもあり、その都度対応に苦労した。観測システムの履歴は確実に残しておくべきである。

今後最初に立ち上がったバックエンド受信機は既に 2 年近い観測実績ができた。今後データを整理し長期安定性能の評価を行いさらに安定した運用ができるように、またまだ故障は経験していないが、しっかりと実績を積み上げ信頼性の高いシステムを構築できるような運用をおこなっていくことが課題である。