野辺山電波ヘリオグラフの障害データベースと稼働率

関口英昭,川島 進,篠原徳之,北條雅典

(2007年10月29日受付; 2008年1月23日受理)

Trouble Database and Availability of Nobeyama Radioheliograph System

Hideaki Sekiguchi, Susumu Kawashima, Noriyuki Shinohara and Masanori Houjyou

Abstract

Nobeyama Radioheliograph is a radio interferometer dedicated to solar observations. It consists of 84 element antennas and has been operating since 1992. Full disk images of the Sun at 17 (intensity and circular polarization) and 34 GHz (intensity) have been taken about 8 hours every day with one second cadence. In case of radio bursts with high variability, images are taken every 100 milliseconds. These data are used freely for research in solar physics and related fields and also for education and outreach purposes through INTERNET.

Due to unpredictable activity of the Sun, downtime of the heliograph should be minimized. Systematic approach is needed to realize very high performance of the system because of so many components of the heliograph. We could successfully reach the availability of 98.4 percent so far. Details on how we could reach this number are described. This is a very good example of how to maintain complex systems for a long time by a very limited number of staffs.

1. 序

野辺山電波ヘリオグラフは太陽観測専用の電波 干渉計であり,1990年度と1991年度で製作され, 総合調整と試験観測を経て1992年6月末から1日 約8時間の連続観測を続けている.当初は17GHz の1周波数での観測であったが1995年9月と10月 の2ヶ月間観測を休んで17GHzと34GHzの2周波 での観測に改造した.東西489m南北220m間に 設置された直径80cmの素子アンテナ84台と受信 機群,制御及びデータ収録のための計算機群で構 成されている.電波ヘリオグラフは太陽観測を目 的としているので,太陽で突発的に起こるフレ アーなどの現象を捕えるために,故障による中断 などを出来るだけ減らして定常的に連続観測を続 けることが不可欠である.このシステムは非常に 多くの部品から構成されている.この装置を少な い職員数で運用していくには予防が最も重要であ り、そのために毎年定期点検を行うとともに、障 害の予兆を見つけて対策を施してきた.実際に障 害が発生した場合には、それを早く検知し、原因 をすみやかに同定し、修理する必要がある.その ために障害データベースを蓄積し、保守用部品を 確保している.これらの結果、長期間にわたる電 波へリオグラフの運用において故障時間を短縮す ることが出来た.以下に具体策を述べる.



図1. 野辺山電波ヘリオグラフアンテナ. 後方は 八ヶ岳

2. 電波ヘリオグラフの構成

電波ヘリオグラフ¹⁾(図1)は、アンテナ系、 フロントエンド系、中間周波系、デジタルバック エンド系、信号伝送系、データ収録処理系の6つ の部分に大別される.

アンテナ系は、太陽からの信号を取り込む84 台のパラボラアンテナと太陽を追尾するための制 御計算機から構成される.フロントエンド系は、 各アンテナで受信した信号を増幅し、中間周波に 変換する受信機群から構成される.中間周波系は、 84系統の信号に対する位相追尾など、太陽の日 周運動に伴う信号の受信特性を補償する装置群か ら構成され、デジタルバックエンド系は84系統 の信号から画像の合成に必要な情報(相関値とい う)を計算し,取り出す装置から構成される.信 号伝送系は東西489m,南北220mの敷地に離し て設置された小型望遠鏡(パラボラアンテナと超 高周波受信機)と観測棟を結ぶ光ケーブルおよび 電線から構成される.データ収録系は観測データ (信号強度,相関値)およびその他の付加情報(時 刻,観測状態の情報など)の収録,画像の合成・ 表示を行う計算機システムから構成される(図2 参照).

3. 電波ヘリオグラフの運用

野辺山電波ヘリオグラフは南中をはさんで約 ±4時間のルーチン観測を行っている.得られた 観測データのうち一部は,その日のうちに画像等 に加工され,ホームページ(HP)上に公開して 共同利用に供されている.電波ヘリオグラフは基 本的には観測開始から終了まで自動的に運用され ている.図2の主制御監視計算機(MCC)がカレン ダーファイルを持っていて当日の観測開始時間, 終了時間を初め全体の制御スケジュールを作成し 観測運用の指示を出す.観測時間の内外を問わず にシステムに障害があれば,時間と障害の内容が MCC及びそれに接続している制御計算機の画面 に表示される.平日は1週間毎に観測当番を決め て監視し,休日も順番に観測当番を割り振り,決



図2. 電波ヘリオグラフ受信システムと制御系計算機の構成

められたチェックリストに従い障害の早期発見に 当たっている.

観測室に行かなくても運用状況が把握できる各 種制御情報,観測データのグラフ表示,カメラ画 像(アンテナや天候)等をHPで診断できる遠隔 診断システムを2002年に構築した²⁾. 遠隔診断 システムは休日の運用状況のチェックにも用いら れる.平日の点検と同様にチェックシートを用意 していて,朝は観測が順調に開始したか,昼は続 いているか,夕方は観測が手順通りに終了したか を確認している.

4. 障害のデータベース

欠測を減らすためには障害発生等の早期発見と 対処が必要である、観測生データ、フロントエン ド箱内温度、環境(気象)データについては、専 用のチェックソフトを作り. 異常の早期発見に努 めている¹⁰⁾.異常が見られた場合は、電波ヘリオ グラフ運用責任者に連絡し,適宜対処する体制に なっている.後日の同様な障害に備えるため,観 測ノートに障害の内容. 原因. 復旧に要した時間 等の情報の記録を蓄積しこれをデータベース化し た³⁾. データベースは年月日. トラブルの部位. どういう現象であったか. それにより観測が出来 ない時間帯と修理に要した時間は何時から何時ま でであったか、原因、処置、修理に必要とした部 品と個数等をまとめている.装置の部位のトラン シーバのトラブルで検索した例を表1に示す.こ れにより過去に発生したトラブルを参考にして早 急な処置を施すことが可能になる. ソフトはエク セルを使用し、障害部位で検索できる.

以下の項目で区分けしている.

・アンテナ駆動関連

アンテナ制御ボード,サージアブソーバ,絶 縁リピータ,トランシーバ,パルスモータ, エンコーダ、リミットスイッチ

- ・フロントエンド関連 直流電源,位相ロック発振器,中間周波アン プ,撹拌用ファン
- ・バックエンド関連
 直流電源,排気用ファン,アナログ・ディジ
 タル変換ボード
- ・機器制御関連
 主制御監視計算機,アンテナ・受信機・位相・
 遅延の各制御計算機,環境監視計算機,中央
 時計装置
- ・データ収集・収録関連 高速データ記録装置,データ演算装置,集合 型CD装置,像合成計算機,プリンター

これらは各項目で検索できるが,アンテナの番 号で検索すると各アンテナ系統の障害履歴が分か るようになっている.過去の同様な障害を検索し て原因を素早く究明するのに役立つほか,交換し た部品の個数も記録しているので,交換履歴から 予防交換の時期も予測が可能となった.

4.1 観測当番によるチェック

定常運用開始以来,リアルタイム太陽画像のモ ニター画面,制御計算機の画面情報等をチェック している.エラー発生などのトラブルを最も早く 的確に把握できる.毎日点検する項目と,1日お きに行う項目,週に1回の項目等があるので,ルー チン観測による慣れからチェック項目を見逃さな いようにチェックシートを用意している.

4.2 観測生データ, 気象データ, フロントエンド箱内の温度のチェック

定常運用開始以来,毎日の観測生データから, 1日分の信号強度(アンテナ84台,17,34GHzの

左日口	装置名		- 田 - 名	観測できない時間帯		修理時間		Б П	
千月口 	ANT No.	部 位	况 豕	Start	End	Start	End		
1992/ 9/ 3	W28	トランシーバ	通信不可	16:00	17:00	16:00	17:00	トランシーバ不良	交換
1994/ 8/ 9	N28	トランシーバ	通信不可	16:00	16:20	16:00	16:20	落雷被害	交換
1994/ 8/10	アンテナ	トランシーバ	アンテナ制御できない	0:00	11:30	11:00	11:30	前日落雷	交換
1994/ 9/ 7	E27	トランシーバ	アンテナ制御できない	0:00	16:20	16:00	16:20	落雷被害	交換
1998/ 6/17	N02	トランシーバ	T小屋のアンテナの 信号レベルがおかしい。	13:10	15:30	15:00	15:30	トランシーバ不良	交換
2000/ 7/ 4	N15	トランシーバ	通信不可	16:00	16:30	16:00	16:30	落雷	交換
2000/ 7/ 4	N18	トランシーバ	通信不可	16:00	16:30	16:00	16:30	落雷	交換
2000/ 7/ 4	N26	トランシーバ	通信不可	16:00	16:30	16:00	16:30	落雷	交換
2001/ 9/21	W27	トランシーバ	信号波形異常	0:00	16:20	16:00	16:20	トランシーバ不良	交換

表1. トランシーバのトラブルで検索した例



図3. 2006年4月3日のN07アンテナにおける周 波数34GHzの信号強度と環境データの変動

2周波)と隣接アンテナペアの相関値については タイムプロフィルにしてチェックしている. 観測 生データの信号強度変動の原因が環境温度等に影 響を受けていることが多いのでFE箱内温度変動 と気象データ(外気温度・風速)のチェックで関 連を調べている. 図3は上から日照,外気温,風 速,フロントエンド箱内の温度,信号強度の観測 時間中の変化を示す. この例では日照はなく,外 気温は3℃から8℃の間で急激には変化していな い.しかし風が強く,風速に依ってフロントエン ド内の温度,信号強度が8時30分頃と11時頃に 影響を受けている.

FE温度は、1分毎にサンプルした84台のFE温

度をグラフ化し,気象データは,5秒毎にサンプ ルしたデータ(気温,日照,湿度,風向,風速, 中継小屋内温度)を,グラフ化(1日単位)して 保存している.

5. 稼働率

電波ヘリオグラフ装置は多くの部品からなってお り、それぞれの部品が故障する可能性がある.し かしその故障が装置全体に対してどの程度影響を 及ぼすかは様々である.そこで電波ヘリオグラフ 装置の運用状況を数値的に示すため稼働率を導入 する.

5.1 故障時間

電波ヘリオグラフは太陽を観測する専用機である ことから観測時間が太陽の南中時間±約4時間と 固定されているが本報告では装置の性能を示すた めに24時間中の故障時間を計算根拠とした.干 渉計の場合アンテナ台数をN(電波ヘリオグラフ では84台)とすると総稼働時間は

総稼働時間 = 日数 × 24時間 ×
$$N$$
 (1)

となる. また, 故障時間を計算する際には各アン テナ毎の故障時間 (D_A とする)であるか, 共通パー ツの故障時間 (D_c とする)であるかを考慮する 必要がある. D_A は各アンテナ毎の故障時間の和, D_c は共通パーツの故障時間にアンテナ台数を掛 けたものになり次式で表される.

$$D_{\rm A} = D_1 + D_2 + \cdots + D_n = \sum_{i=1}^n D_i$$
 (2)

$$D_{\rm C} = N^* D_n \tag{3}$$

D_A, D_Cの推移を図4に示す.



5.2 稼働率

あるシステムや機械が故障するまでの時間の 平均値が平均故障間隔(時間/件)でありMTBF と呼ばれ,修理しながら使うシステムや機械に適 用される.平均故障間隔は次式で表される.

平均故障間隔=総稼働時間/総故障件数(4)

また修理にかかった時間を平均したものが平 均修理時間(時間/件)でありMTTRと呼ばれ, これも修理しながら使うシステムや機械に適用さ れる.平均修理時間は次式で表される.

平均修理時間=総修理時間/総故障件数(5)

一方稼働率はシステムや機械が使える状態にあ る割合のことで、稼働率と平均故障間隔、平均修 理時間には次のような関係が存在する.

$$=\frac{\ensuremath{\&}\ensuremath$$

総稼働時間から以下の時間数は除いて計算し た.

- ・毎年行われる商用電源の保守点検のために観 測所全体が停電となる時間:a
- ・1994年から年1回行われているアンテナと受 信機の保守点検で,直流電源や光/電気変換
 器の予防交換等のために電源が落とされてい る時間:b
- ・1995年の9月から10月の間は観測周波数を2 周波化する工事のため観測は休止した.この 間は稼働率の計算から除外した.

上の3点を考慮すると(6)式は

この式を電波ヘリオグラフにあてはめ計算する には、1年の場合は*a*及び*b*を考慮し、(1)、(2)、 (3)、(6') 式より

稼働率 =
$$(365 \times 24 - a - b) \times 84 - D_A - D_C$$

(365×24-a-b)×84
(7)

となる.

1992年の観測開始以来のすべてのトラブルについてデータベース化されている. そのデータ総



図5. 年毎の故障発生件数

上(◆)発生した故障の総数

下(■)観測が不能になった故障の総数

数は2598件,そのうち観測が出来なかったデー タは669件であった(図5).このデータを元に(7) 式を用いて稼働率を計算した.^{4),5),9)}

5.3 稼働率の実績値

1992年の7月から2007年7月までの稼働率の実 績値を,年毎を図6に月毎を図7に示す.主たる 低下の原因である自然災害の落雷や大雪に起因す るもの,主制御計算機,電源のトラブルに起因 するもの等は図中に示した.1995年9月から10 月は2周波化工事のため観測は休止しているので 計算から除外した.1992年は7月以降の6ヶ月, 2007年は7月までの7ヶ月間の稼働率である.15 年間の月毎の平均値は98.4%である.

図6. 年毎の稼働率



関口 英昭 他



図7.月毎の稼働率

6. 故障の要因とその対処

6.1. 自然災害(落雷)

電波ヘリオグラフは完成まもなく1992年に2 回,1994年に4回の落雷被害を受けている.幸い 直撃雷ではなく誘導雷による被害であった.被害 箇所が観測棟から屋外のアンテナまで通ずる制御 線(ツイストペア線)に直結する部分とその周辺 に見られるため,この制御線を誘導雷サージが流 れたことによる被害であると考えられた⁶⁾.野辺 山地区は雷雲の発生頻度が特別高い場所ではない が,1994年の猛暑の折りには頻繁に雷雲が発生 し,8月初旬から9月初旬にかけて4回の被害を 受けている.このうちの1回は電波へリオグラフ のアンテナ中心から約300m離れている宇宙電波 観測所の45mアンテナ近くにある気象観測塔付 近に落雷した模様である.これらの被害で電波へ リオグラフは,観測不能日2日,アンテナの一部

(1~6台)を使えずに観測を余 儀なくされた期間が約1ヶ月に も及び,復旧にも相当の労力と 費用を費やすことになった.こ れを機に,より本格的な雷対策 を進めることにし,誘導雷サー ジの通信ラインへの進入・伝播 を防ぐ対策(絶縁リピータ)や, 進入した誘導雷サージの過電圧 から素子を守る対策(サージア ブソーバ)を施した.

観測棟内に設置されている

アンテナ中央制御装置(ACC)と各アンテナの 下に設置されているアンテナ制御ボード(ACB) の全体構成図を図8に示す.

図中の中継点はアンテナ中心付近にある温度制 御された部屋(T小屋)であり,10対の制御線の 他,制御用光ケーブル,受信信号の光ケーブル等 も中継されている.

観測棟と中継点とは約320m, そこから北, 東, 西の各アームの中央までが約250mあり通信距離 の延長のためにはリピータが必要になる(図中の a). 1992年の落雷被害後,対策としてまずアン テナ本体の接地抵抗のばらつきをなくすために保 安アースと,アンテナ本体のアースを接続するこ とによりアース強化をはかった.次に,観測棟内 へのサージ進入阻止の目的で観測棟内に絶縁リ ピータを新設した(同b). これで観測棟内のド ライバーICの故障がなくなった. さらに1995年 に中継点のリピータを, 1996年にはアンテナ部リ ピータを絶縁型にしてサージの伝搬を防止した.



図8. ACC 拡張ボードとアンテナ制御ボードの全体構成図

同じ年に、通信ラインと、アンテナ制御ボード (ACB)内にサージアブソーバを追加した.これ によりエンコーダの故障、落雷と同時に発生す るACB内のIC破損等の故障はなくなった.さら にこの年にはDC電源保護用のサージアブソーバ を追加した.この対策後も2004年8月に観測棟内 のアンテナ制御PCのRS485通信ボードが落雷の 被害で故障する事態が発生した.この対策として 観測棟と中継点間の誘導雷阻止目的でサージアブ ソーバを追加した.(同 c)この対策以来落雷被 害は起こっていないが、サージアブソーバは3年 ごとに予防交換を実施しておりその効果もあると 思われる.

6.2 部品の故障・経年変化

(1) 観測制御系

(a) 制御計算機

電波ヘリオグラフの制御系計算機群は図2の左 下の中央時計装置,アンテナ制御,受信機制御, 位相制御,遅延制御,環境監視,主制御監視,デー 夕演算装置の各パソコンより構成される.1992 年の運用開始から,昼夜連続運用してきたこれ らのパソコン(FC-9801A)5台中2台でハード ディスク,マザーボードが故障した.1997年に 1回目の更新でFC-9821Xへ,2003年に2回目で Express 5800/54XPへの更新を行った.

主制御監視計算機 (MCC) は最初 EWS4800/220 であった. 完成当初は17GHz 1 周波での観測で あったが1995年に34GHzでの観測も出来るよう にした2周波同時観測機能の追加⁸⁾ により制御・ 監視項目が増加した. これとOS (UNIX) が古 いことに起因すると思われるパニックの発生頻 度が増加したため1997年にEWS4800/410ADへ 更新した. その後は2002年に, 2回目の更新で Express5800/54Weにした.

演算装置 (DAU) は 2001 年 Express 5800/54 We に 2005 年 に NEC MATE MY 30 Y/M-F に 更新 した.

これらの計算機の更新に当たっては、建設時の 設計がよくできていて運用形態を変える必要がな かったため、計算機は上位互換の機種に更新した が運用ソフトは基本的に変更せずOSのバージョ ンアップに留めた、但しCPU速度に依存する周 辺ハードとのタイミング調整、ネットワークボー ド変更を行った⁷⁾.最新の更新の際には、OSを EWS-UNIXから移植性・安定性を考慮しLinux システムを採用した.この作業時には画面レイア ウトを見直し、モニタを液晶化したり、停電対策



図9. アンテナ制御ボードの外観図



図10. アンテナ制御ボード本体とROM交換履歴

として無停電装置との連動を強化した.

(b) アンテナ制御ボード (ACB)

ACBはパラボラ直下の端子盤箱内に設置されているインテリジェント型CPUであり、パルスモータドライブプログラムをROM化して更新を可能としている、外観図を図9に示す。

ACBの機能はアンテナ制御計算機からRS485 を介して受け取ったアンテナ位置情報と各アンテ ナのモータと一体になっているインクリメントエ ンコーダの位置情報との差をドライバを介して駆 動モータに伝達することである.これらの情報は 落雷などの被害を避けるため信号の入出力部にア イソレータを介して伝達される.

ACBの交換履歴(図10)をみると1992年の ROM交換は初期の動作不良に対処するもの, 1995年は中継点を絶縁リピータにした際の通信 エラー対策によるものであり,1996年の本体の 交換個数が多いのは雷対策でサージアブソーバ 付きのACBに交換したためである.1998年は通 信エラーが多発したのでその対策としてROMを バージョンアップしたためである.

2000年まで本体の交換個数は年に数個程度で 多くはないが故障箇所は次の3箇所であった.

① オプチカルアイソレータ

落雷によるサージ電圧が通信ラインから ACBに入り込まないようにオプチカルアイ ソレータ(超高速フォトカプラ)で絶縁して いる.これはIC入りの半導体で電圧や波形, 電源電流等からは劣化を確認することは出 来ないが,落雷によるサージ電圧等により変 換効率が低下するものと思われる.また動作 範囲が狭いことから樹脂変質による伝送効率 の悪化の影響を受けやすく,雷被害のあった 年の冬に伝送不良が発生する等が起こってい る.

② PLD (Programable Logic Device)

雷被害時にもっとも多く故障した部品であ る.通常の論理ICに比べてここでの使用品 種に限ってはサージ耐量が低いと考えられ る.通常TTL等は8Vくらいでも壊れないの にACBで使用しているPLDは5.5V程度で壊 れる物があった.最初の故障が出たときに気 がついたのでその後は互換品のサージに強い 部品に置き換えている.

③ アルミ電解コンデンサ

CPU基板上のアルミ電解コンデンサの液 漏れがありその影響でパターンが断線, CPU が動作不良となった例があった.

ACBが故障するとアンテナが動かなくなる. 図11にW系の11番のアンテナがACBの故障で 観測開始時間がきても稼働せず,ACBを交換す ることにより9時5分に復旧した前後のW系の アンテナのみを用いて作成した1次元のマップを 示す. 図の左が東側,右側が西側であり太陽が 静穏時にはカマボコ型のマップとなる. 回復前 (8:45:27) はアンテナが太陽を向いていないため にノイズレベルが高いが回復後(9:15:27) は解消 されている.

原因としては①のオプチカルアイソレータと② のPLDの故障であるが、2000年になりこのよう なトラブル数が増えたので2001年と2002年の2 年がかりで全84台のACBを新品に予防交換した.





交換により取り外したACBは①②の部品を交換 して予備品として保管している.

- (2) 受信機関連¹¹⁾
 - (a) 34GHz低雑音変換器(34GHz Low Noise Converter:LNC)

電波ヘリオグラフの受信機システムブロックを 図12に示す.

運用開始時は17GHzでの1周波の観測であっ たが1995年の9月から10月にかけて34GHz受信 機を増設して2周波での観測に改修した⁸⁾. 1995 年から1996年にかけての交換は初期不良による ものである(図13). その後7年間はトラブルも なく稼働していたが2004年から動作不良が現れ た.現象としては周波数変換器の利得が期待値の +39dBから約+24dBとなり約15dB低下した. 当 初故障素子の特定まではできなかったが概ねの動







図13. 34GHz LNCの交換履歴



図14. 34GHz LNCの回路図

作状態と、故障部位の確認を行った.その結果、 原因は局発用4逓倍回路を含む局発系の故障と考 えられた.局発周波数の4逓倍機能を実装したIC の劣化でドレインバイアス電流が設計値の半分以 下に減少してしまったことと、RFアンプの利得 が約15dB低下してしまったため34GHzの信号強 度が大きく変化するというのが不具合である.主 要回路はすべて高周波ハイブリッドICの中に組 み込まれており、容易に故障していると考えられ るデバイスを交換したり当該部位を直接にモニタ することは出来ない(図14).

このLNCの利得増加策としては以下のような ことが考えられる.

 ① 故障していると考えられるハイブリッド ICを新しいものに交換する。

このICの予備はないので新たな物を製作 することが必要で、従来使用していたFET は製造が中止されているため同等なものに置 き換えた設計を行った上で、ICの製作が必 要である。

② IF 増幅段の利得を増加する.

現状の利得低下の原因は,正常な周波数変 換が行えないことにより利得低下が生じてい るものであるがこの対策は故障原因を除去す るのではなく,暫定的に周波数変換部の利 得低下をIF増幅段で補う考えの処置であり, 今後更に状況の悪化が生じる問題は残ったま まとなる.

高発信号の原振である8.4GHzの信号レベルを増加させる.

現状の局発原振(8.4GHz)の入力レベル -6.5dBmを,0dBm程度まで増加させること で変換利得の向上を図る方法である.

故障品は予備品と交換する事で現在観測している.将来のトラブル時には上記3案のうち局発信

号レベルを増加させる方法 を行う予定であるが,根本 原因の除去を行うことには ならないので更に状況の悪 化が生じる問題は残ること になる.

 (b) 位相ロック発信器
 (Phase Locked Oscillator: PLO)

PLOは,2周波で観測 している17GHzと34GHz 各々の混合器へ供給する 8.4GHzの局発信号を発生

させる装置である. 局発信号出力の一部を取り出 して1/16分周した信号(525MHz)と, 観測棟か ら供給される525MHzのローカル参照信号との間 で位相同期させることで, 84台が正確な8.4GHz 局発信号を発生している. この信号を17GHzの 場合は2逓倍, 34GHzの場合は4逓倍して混合 器に供給し200MHzのIF信号を得ている.

局発信号の周波数がずれると受信周波数がずれ ることになり干渉計としては機能しなくなるため、電波干渉計受信機の中でもとりわけ重要な ユニットである.温度変動にも敏感なため、FE 箱の温度制御に加えPLOユニット単体でもペル チェ素子を使った温度制御を行っている.

故障時の症状で多いのは出力周波数が時々ずれ るものである.その結果,相関振幅の低下,相関 位相の変動となって表れる.この症状は,4章の4.2 で述べた観測生データのチェック作業(相関振幅・ 位相の時間変動をグラフ化してチェック)で発見 される.図15に具体例を示す.

図中の左側が17GHz,右側が34GHzのデー







図16. PLO交換履歴

タである. それぞれ上からE07-E08, E08-E09, E09-E10, E10-E11の隣同士のアンテナの組み合 わせの相関値の振幅(左), 位相(右)を示す. この組み合わせのアンテナ間隔は等しいことから 正常であれば同じ振幅, 位相変動を示す. しかし E08-E09, E09-E10の位相にはジャンプが見られ (矢印箇所)正常なE07-E08, E10-E11の位相とは 異なっている. 異常な組み合わせにE09が共通な こと, 17, 34GHz両方にジャンプが見られること, 位相変化量が17GHzに比べて34GHzでは2倍に なっていることからE09のPLOのトラブルと判 断される.

PLOの故障は図16に見られるように2004年を ピークにして出続けている.当初は数個のPLO の予備品を確保していて,不具合が生じると予備 品と交換して不具合品を修理に出すようにしてい た.故障個数が多くなってきたこと,修理のため に工場に持ち込んでもアンテナに実装していた時 の症状が出ずに完全な修理がなかなか困難である ことなどから2002年に新たに5台のPLOを製作 し,予備品として確保した.

障害原因を追及した結果,アンテナの実機に装 着されている時に発生した不具合には以下の3つ の症状があり,それぞれ次のような対策をした.

① 周波数がずれてロックしている.

PLOの参照信号は光で入力されるのでま ずO/E(光/電気)変換される.O/E変換 器の直後にモニタ端子があり,8.4GHzロッ クはずれ時に同期異常が確認されたことから 原因はE/O変換器が原因と推定した.対策 としては同じE/O変換器の製造が可能だっ たので交換し,初段の集積回路(IC)も交 換した.

PLOロックエラー(周波数がフリーラン状態8.4GHz ± 10MHz程度).

PLOのケース内に手を添えたり, 配線に さわる等の行為でロックしない状態が出たの でさらに触診を行ったところ8逓倍器と押さ え金具(放熱板)に触れた際に確実にフリー ランになることが確認できた.IC付近での 異常発振が原因と考え,対策としてICの押 さえ金具と電圧制御発振器のケースにアルミ テープを貼りグランドを強化するとともに電 源ケーブルの引き回しを変更した.また放熱 板に塗布しているシリコングリスを補充塗布 した.この結果発振が安定した.

③ 信号強度,相関出力にスパイク状の雑音 が連続的に出ている。

10Vラインに用いている電圧安定化用三端 子レギュレータの発振のために電源ラインに リップルが生じ、PLOの出力にスプリアス が発生する.この発振が間欠的に発生したた めに、相関出力は瞬時低下し、ひげ状の出力 を呈したものと考えられる.直流電源基板内 に実装しているコンデンサは標準品はセラ ミックコンデンサを使用していたが、商用電 源の雑音を抑制する為に容量の大きいタンタ ルコンデンサに付け替えたりコンデンサを追 加取り付けした.この結果電源ラインのリッ プルは解消され、スパイク状の雑音はなく なった.

不具合はICの故障など原因のはっきりしてい るものは修理は容易であるが,接地を強固にした り,配線の引き回しで直るものの特定には時間が かかった.修理した物は良品と位相を比べて長時 間にわたって変化がないかどうか,温度を変えた ときに位相が飛ぶ等の変動がないかを測定し使用 可能かどうかを判断した.

(c) 直流電源

電源ユニットは汎用のスイッチング電源(± 15V. ±5V)で、受信機ユニット内では必要に応 じて三端子レギュレータを介して再度安定化し て使用している.-15Vの出力が出なくなる症状 で、フロントエンド部からの中間周波出力信号に ノイズも出なくなる(フィルタの周波数特性が 見えない)のが特徴である.図17の交換履歴か ら分かるように故障は運用開始の6年後から出始 め、2005年、2006年は故障の頻度が上がったの で2006年度に全数を予防交換した.この電源は、 +5Vの電流の最小出力電流(2アンペア)を取る ことで他の±15Vが安定する回路になっている. 2006年までは電圧が低いなどの不安定さがあっ たので予防交換の際に、ブリーダ抵抗を付加して 安定化を図った.抵抗の付加の際には抵抗が発す る熱が付近に及ぼす影響が懸念されたが、実際に



図17. フロントエンド直流電源の交換履歴

セメント抵抗を取り付けてみると熱は発するもの の影響はほとんどなかった.また使用している電 源が製造中止となっており代替え品は取り付けね じの位置等が異なっていたが,製造メーカーと直 接交渉して従来の製品を製造してもらった.

(d) O/E (光/電気) 変換モジュール

高周波信号の伝送損失の低減,落雷(誘導 雷)等の外部雑音の混入や破損に強いことなどか ら,観測棟とアンテナ間に光伝送方式を採用し た.光伝送をしているのは、フロントエンド出力 である中間周波信号(200MHz)と局発参照信号 (525MHz),制御信号(偏波切換信号,自動減衰 器制御,20Hz同期信号)である.1997年にはO/ E変換モジュール劣化により相関値の位相が決ま らない障害が発生した(図18).O/E変換器に用 いられている発光ダイオードには寿命があるの で,1つ劣化したということは全体の予兆と考え られ全数交換が必要と判断した.交換履歴の図 19で1997年が多い理由である.

故障を待っていると修理完了までの間のデータ が利用できなくなるだけでなく故障対応に必要な 人と時間が増大する.寿命がきたものは故障して いなくても前もって交換することによりコストパ フォーマンスを上げることが出来る.

図18は1997年8月21日のW18に関連するO/E 変換モジュールが劣化したときの17GHz(左側), 34GHz(右側)のデータである.それぞれ上か らW16-W17,W17-W18,W18-W19,W19-W20 の隣同士のアンテナの組み合わせの相関値の振 幅(左),位相(右)を示す.この組み合わせで はW16-W17,W17-W18のアンテナ間隔は等し く,W18-W19,W19-W20のアンテナ間隔は等し く,W18-W19,W19-W20のアンテナ間隔は同じ であることから正常であればそれぞれ同じ振幅, 位相変動を示す.しかしW17-W18,W18-W19 の組み合わせとも10時頃から位相が決まらなく なってきた(図18中の矢印).正常なW16-W17, W19-W20の振幅,位相変動とは異なっている.



相関値振幅 相関値位相

相関値振幅相関値位相

図18. O/E変換モジュール劣化時の相関値の振幅 と位相



図19. E/O変換モジュールの交換履歴



図20. 中間周波増幅器の交換履歴

異常な組み合わせにW18が共通なこと,17, 34GHz両方にジャンプが見られることからW18 のトラブルと判断され,この場合はW18のE/O 変換器の交換で回復した.

(e) 中間周波増幅器

中間周波増幅器は図12に示すように17GHz系 (中間周波増幅器1),34GHz系(中間周波増幅器 3)と17GHzと34GHzの信号を切り替えて送り出 す増幅器(中間周波増幅器2)の3個がある.3個 を合計した交換履歴を図20に示す.故障の原因 は増幅用IC,34GHzと17GHzの信号切換スイッ チの故障等であり交換で回復した. (f) デジタルバックエンド部

2004年の落雷被害以来高い稼働率で推移して いたが2007年6月,7月に低下した.図7参照. これは商用電源100Vの定期保守で受信機のラッ クの電源を7時間止めた後,元に戻したところ受 信機の一部(デジタルバックエンド部の積分回 路)が正常に動作しなくなり,その復旧に時間が かかったためである.原因のユニットは推定でき たが部品までははっきりと特定できなかった.今 後の対策が必要な事項である.

7. システム維持のための施策

7.1 定期保守

トラブルを未然に防止する目的で年1回の定期 保守を,アンテナについては1999年から,受信 機については1997年から行っている.最近はア ンテナ関連の定期保守は9月の2週間,受信機関 連は10月1ヶ月をその期間に当てている.ルー チン観測の時間外に殆どの作業を行っているので 作業によるルーチン観測の停止はない.定期保守 は毎年実施する項目と,3年ごとに行う項目とに 分かれている.定期保守の中身は外観確認,クリー ニング,ボード内二次電源電圧値のチェック等で ある.部品の保守間隔は3年としている.また環 境測定装置,中央時計装置も保守間隔は3年とし ている.

7.2 予防交換

1992年からルーチン観測を開始したが,数年間は初期不良,雷の被害であった.7-8年を超え る頃から耐用年数を超えたために起こるトラブル が見え始めた.顕著な例はアンテナ制御ボード (ACB)で,6.2(1)(b)で述べた対策を施したものを 2001年と2002年の2カ年で定期保守期間中に全 数交換した.

その後予防措置として部品を交換するものは定 期保守期間中に行うようにしている.フロントエ ンド箱の撹拌・排気用ファン,サージアブソーバ, IF架の電源,ファン等が該当し,3年毎と4年毎 に交換する物に分けて計画的に交換しこの対象物 品に関連するトラブルは殆ど無くなった.

7.3 異常の早期発見

異常の早期発見の手段として様々な方法を用意 しているが,基本は毎日観測当番を決めて運用状 態を確認することである.電波へリオグラフの観 測は観測開始時間,終了時間の設定からすべて自 動で行われているのでモニター画面上で異常の表 示がないかを確認する.この作業はその時間にト ラブルが無いかどうかの確認であり長時間にわた る変化などはチェックできない.その確認のため 観測時間終了後に取得したデータを使用して各ア ンテナの信号強度,隣接するアンテナとの相関強 度,位相の全観測時間にわたるチェックを行って いる(図15,18参照).太陽電波に関するデータ の確認は観測時間内に限られるが,観測時間外で も制御計算機等の画面の確認は終日1時間毎に遠 隔監視で見られる様になっていて異常は早期に発 見できる²⁾.

7.4 保守品の確保による早期修復

故障が発見された場合、早急に修理するために は保守部品をある程度確保しておく必要がある. そこでフロントエンド箱一式を予備機とするた め2式製作した、フロントエンド部は、故障が多 いと予測される部品で構成されていること、コン パクトに多くの部品がまとまっていることなどか ら、大きなトラブルがあったらメーカに依頼して 全体をそっくり交換するという計画であった. し かし実際は、故障個所の特定をして対応する部品 のPLOやアンプ、制御基板、ファン等を交換で きる力を持つ技術系スタッフの努力により短時間 で構成部品の交換を行うようにした. その他アン テナコントロールボード、A/D変換ボード、等 も数台保守品として確保しておき故障時には交換 し、その際の故障品を修理後保守品として確保す る方法を取っている.

7.5 早期修復のための体制

保守部品を確保していても取り替えるのにメー カに依存していたのでは故障時間の短縮化にはつ ながらない.予防交換で84台のアンテナすべて の電源やファンを取り替えるという場合は保守点 検時にメーカーに依頼するが,日常のトラブルは 所員で対応している.アンプ,温度制御基板,ア ンテナ制御ボード等の交換は容易で短時間ででき るが,PLOの交換は取付位置が箱の中心部になっ ているために熟練を要する作業となる.

8. まとめ

電波ヘリオグラフは1992年に製作されて以来 ルーチン観測を行ってきた.当初は落雷による観 測の中止などがあったが,雷対策を施すことで回 避してきた.その後アンテナを駆動,制御するボー ドや受信機のPLO,アンプ,A/D変換ボード等 の部品は耐用年数と言われている7年から10年を 過ぎる頃からトラブルが多くなってきた.毎日の 観測記録に残されていた障害記録を整理してトラ ブルの履歴を知る手段としてそれらをデータベー ス化した. このデータベースを用い障害部位で検 索すると過去の同じ様な障害の原因と対処方法が 分かるので復旧作業に有効利用が出来.復旧作業 の短縮化が可能となった.また故障を予測した予 防交換が可能となり電波ヘリオグラフの稼働率の 向上が計れた. データベースの2958件の障害事 例から観測不能となった669件の事例を用いて稼 働率を算出した。1992年7月から2007年7月まで の15年間の稼働率は98.4%であった。今後は交 換保守部品が製造中止になり入手出来ないような 事態が予測されるので現時点で入手可能な部品は 手当をした. このことで障害による観測の中止を 最小限にとどめていきたいと考えている.

謝 辞

野辺山電波ヘリオグラフは野辺山太陽電波観測 所のすべての職員により運用されている. 障害の 早期発見,稼働率の向上に尽力していただいた野 辺山太陽電波観測所の方々にお礼申し上げます. 野辺山太陽電波観測所長の柴崎清登教授は本報告 の出版にご支援下さいました.稼働率の考え方等 に関して有益な助言を頂いた野辺山宇宙電波観測 所の川邊良平教授に感謝します.

参考文献

- 1) The Nobeyama Radioheliograph, Nakajima et al, Proc.IEEE, VOL.82, No.05, MAY 1994
- 太陽電波観測装置の遠隔診断システムの開発:
 川島進,篠原徳之,関口英昭;国立天文台

報, 第8巻, 1-14, 2005

- 3)13年目を経過した電波へリオグラフのトラ ブルの傾向:関口英昭,篠原徳之,北條雅典, 川島 進;第25回天文学に関する技術シン ポジウム集録,17-20,2005
- 4) 電波ヘリオグラフの稼働率:関口 他;第 23回天文学に関する技術シンポジウム2003, 63-68,2003
- 5) 電波ヘリオグラフの稼働率:関口英昭,北條 雅典,篠原徳之,川島 進;第26回天文学 に関する技術シンポジウム2006集録, 30-33, 2006
- 6)通信ラインの被雷対策の評価:川島;技術研 究会報告・16,116,2000
- 7) 電波ヘリオグラフ制御系計算機の更新:川島他;第17回天文学に関する技術シンポ ジウム1997, 43-49, 1997
- 8)周波数選択型副鏡の開発と電波へリオグラフ2周波化:関口英昭他;第15回天文学に関する技術シンポジウム集録,103-108,1995
- 9)野辺山電波ヘリオグラフの稼働率:関口英昭, 篠原徳之,北條雅典,川島 進;2006天文 学会秋,V04b
- 10) 電波ヘリオグラフ受信機温度制御のトラブル:
 川島進,齋藤泰文;第20回天文学に関する技術シンポジウム収録,105-118,2000
- 11) 電波ヘリオグラフ84台のフロントエンド受 信器部の性能保持対策とその総括:川島進, 篠原徳之,関口英昭,武士俣健,齋藤泰文; 第23回天文学に関する技術シンポジウム収 録, 69-74, 2003