

野辺山太陽電波観測所における電波環境調査と混信軽減対策

北條雅典*, 篠原徳之, 関口英昭*

(2010年4月13日受付: 2010年10月5日受理)

Radio Environment Survey and Interference Mitigation at the Nobeyama Solar Radio Observatory

Masanori HOUJYOU*, Noriyuki SHINOHARA and Hideaki SEKIGUCHI

Abstract

Nobeyama Radio Polarimeters have been used to observe the Sun at several frequencies in the microwave range. They measure total and circularly polarized fluxes from the whole Sun. Recently, measured data are often contaminated by interferences. To avoid data degradation due to the interferences, we surveyed the characteristics of interferences at each frequency and identified sources of the interference. Then, we modified receiver configurations (frequencies, bandwidth and filters) to suppress the influence of interference in the measured data.

1. はじめに

野辺山太陽電波観測所では強度偏波計によりマイクロ波帯の7周波(1GHz, 2GHz, 3.75GHz, 9.4GHz, 17GHz, 35GHz, 80GHz)で太陽全面から放射される電波を受信してその強度と円偏波を測っている。観測は1951年に名古屋大学空電研究所(現在同太陽地球環境研究所)において3.75GHz帯で開始された。1956年には9.4GHz帯, 1957年には1GHz2GHz帯が稼動した。また1964年以来国立天文台三鷹で17GHz帯の観測が行なわれていたが, 1978年に国立天文台野辺山で観測装置を新設して観測は継続されている。さらに野辺山では1983年には35GHz帯, 1984年には80GHz帯が稼動した。そして1994年に全周波数帯とも国立天文台野辺山に移設統合され定常観測を行なっている。¹⁾

太陽活動が活発な時期には, 激しい爆発現象(太陽フレア)が頻繁に起こる。その時に発生する高エネルギー電子から出る電波を多数の周波数で計測することで, フレア爆発のメカニズムを解明するために使用されている。混信波が入るとデータ解析が困難になるため, 混信波の影響を受け

ることなく観測をすることが重要である。野辺山太陽電波観測所の周囲は山で囲まれ, 比較的電波環境の良い場所であるが, 1~9.4GHzの間の4周波について, 観測記録に混信波によるノイズが増加して来ている。元々観測7周波については電波天文バンド²⁾ではなく, 他の用途に割り振られた周波数帯であり, 混信を受けることは予想されていた。そこで混信軽減対策を図ることを目的に混信を受けている4周波数について混信電波源, その混信経路についてフィールド調査を実施した。本論文では, その調査結果とそれを踏まえた混信電波軽減策について述べる。

2. 偏波強度計について

図1に野辺山強度偏波計の全景を示す。右から左に1GHz, 2GHz, 3.75GHz, 9.4GHz, 17GHz用のアンテナ, そして左隅のアンテナには3基の小口径アンテナが設置されており, 中央が35GHzで両端が80GHz用のアンテナである。図2に太陽静穏時1日の観測データの例, 図3に太陽バースト発生時の15分間の観測データの例を示す。図2は観測周波数5周波, 図3は観測周波数7周波が重ねて表示されている。

*野辺山太陽電波観測所

図2下のスパイク状の信号は混信波で上の両端のピークは地形の影響により生じたものである。1) なお混信を受けている4周波の強度偏波計の基本系統図と基本諸元を付録1に示す。



図1. 野辺山強度偏波計全景

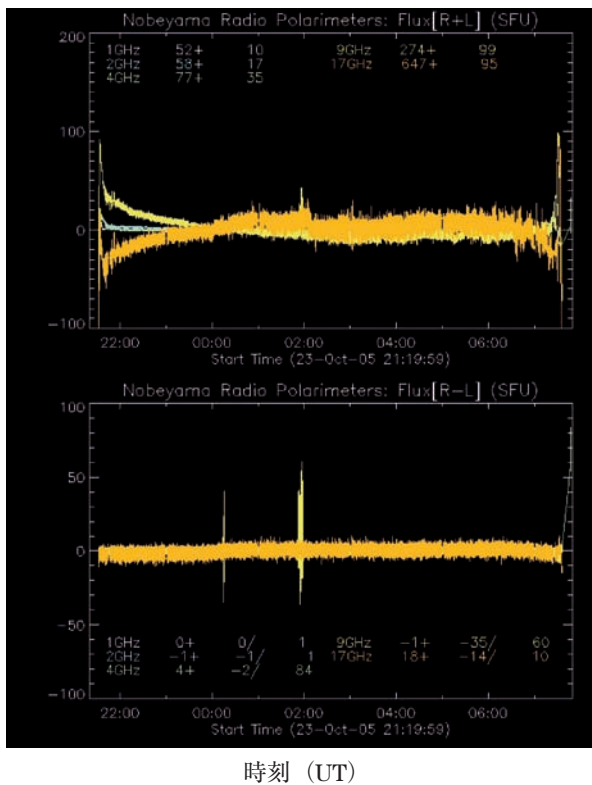


図2. 太陽静穏時の観測データの例

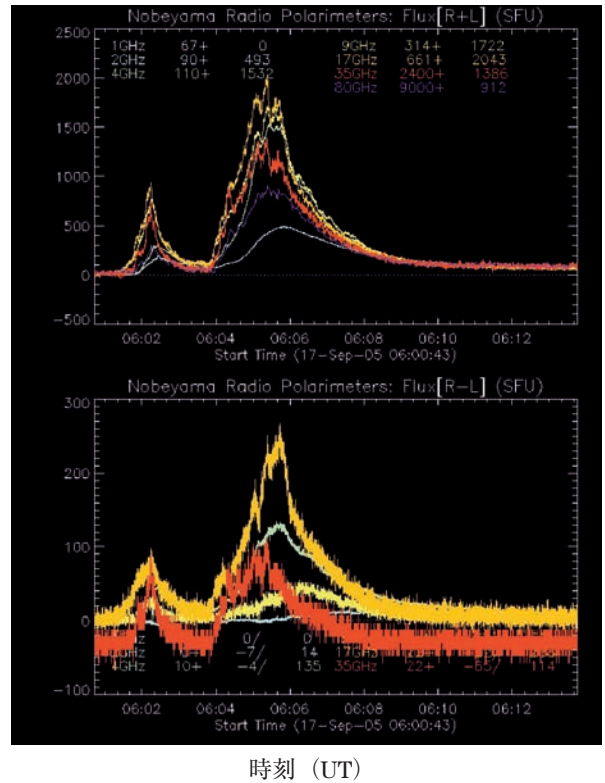


図3. 太陽バースト発生時の観測データの例

3. 強度偏波計が受けている混信状況

強度偏波計はほぼ日出から日没まで、夏季はJST6:10~17:20、冬季は7:20~16:00の間ルーチン観測を行っている。観測している7周波のうち4周波（1GHz帯、2GHz帯、3.7GHz帯、9.4GHz帯）について太陽電波以外の混信波が受信され、収集データ上に記録されている。収集データ上で僅かな変化が発生した時、その変化が太陽活動によるものなのか混信によるものなのかを判別しなければならず、データ解析をする上で支障をきたしていた。収集データに現れる4周波の混信例を図4~7に示す。以下これら4周波における混信の特性について検討する。

それぞれの混信状況としては

- ・1GHz帯、2GHz帯の混信は、不定期にヒゲ状に記録されている。
- ・3.7GHz帯は春分、秋分の時期にそれぞれ20日間程、毎日決まった時間に強力な混信波として記録されている。
- ・9.4GHz帯の混信は、不定期にバースト状に記録されている。

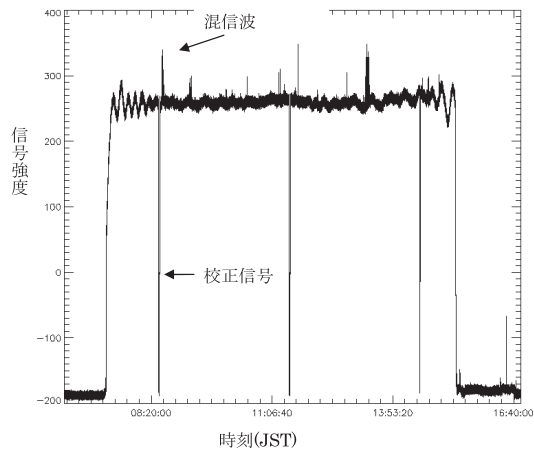


図 4. 1GHz帯偏波強度計の混信例

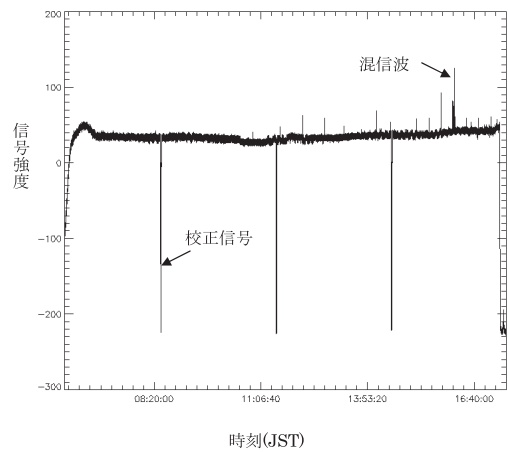


図 5. 2GHz帯偏波強度計の混信例

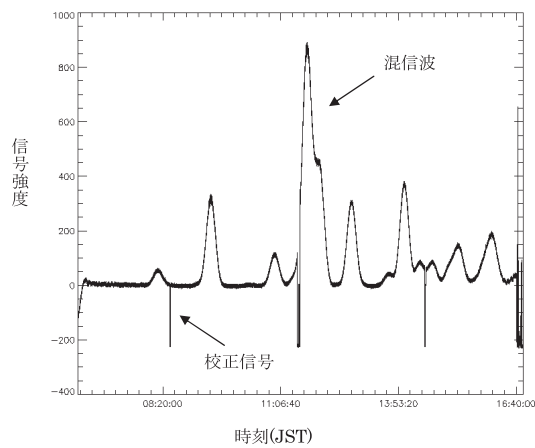


図 6. 3.75GHz帯偏波強度計の混信例

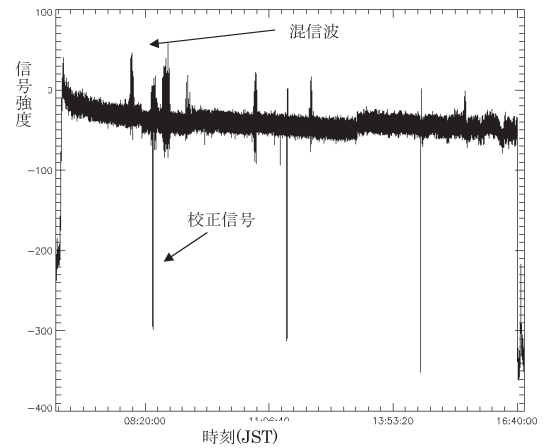


図 7. 9.4GHz帯偏波強度計の混信例

4. 混信調査

混信波による観測収集データへの影響を軽減することを目的に次の調査を実施した。

4.1 フィールド調査

混信の原因となる到来電波の周波数特性、及び

信号強度を知るため、観測用アンテナの近くに、標準アンテナをセットしてフィールド調査を実施した。フィールド調査風景を図 8 と 9 に詳細セットアップ図を付録 2 に示す。

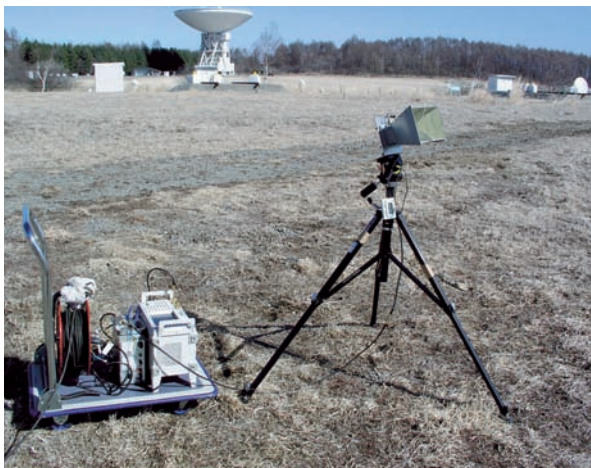


図 8. 1GHz, 2GHz, 9.4GHz帯混信波調査実施風景



図 9. 3.75GHz帯混信波調査実施風景

4.1.1 フィールド調査結果

混信を受けている4周波数帯のフィールド調査結果を次に記述する。本データは混信源となる無線局の特定と混信軽減策を検討する上での基礎データである。

(1) 1GHz帯⁴⁾

1GHz帯のフィールド調査の結果、図10に示すように、周波数範囲1025~1150MHzに多数の混信波が確認された。1GHz帯の観測周波数は $1000\text{MHz} \pm 5\text{MHz}$ であり、観測周波数近傍の1025MHzと観測用受信機の局部発振周波数 $1060\text{MHz} + \text{中間周波数}60\text{MHz} = 1120\text{MHz}$ が混信波の周波数である事が確認された。

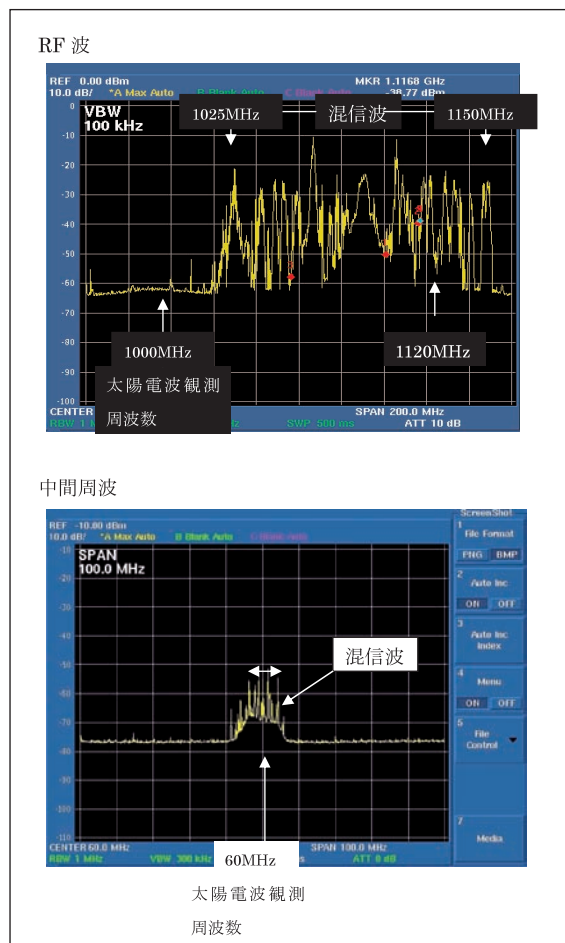


図10. 1GHz帯フィールド調査結果

(2) 2GHz帯⁵⁾

2GHz帯のフィールド調査の結果、図11に示すように、周波数範囲2137~2167MHz間に連続変調波が確認された。2GHz帯の観測受信周波数は $2000\text{MHz} \pm 5\text{MHz}$ と $2120 \pm 5\text{MHz}$ であり、近傍の2137MHz変調波が混信源と成っている事が確認された。

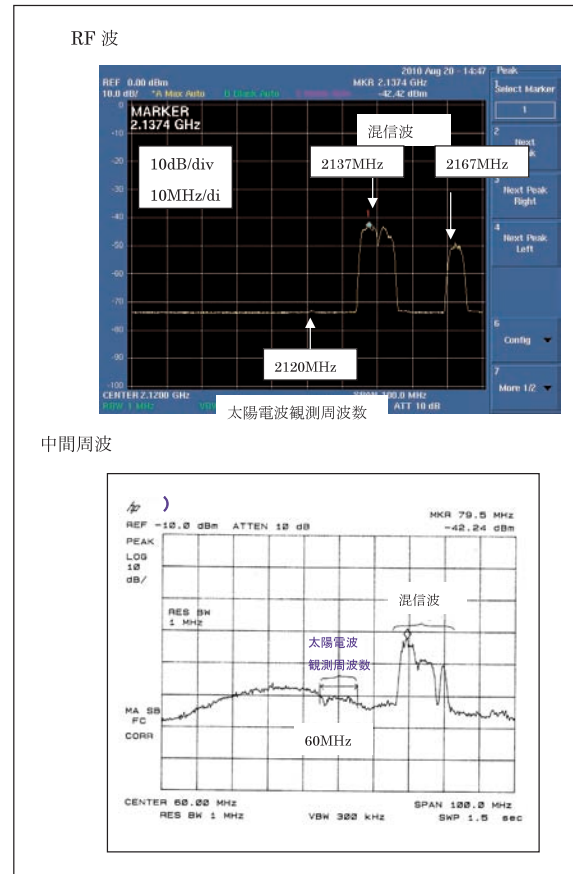


図11. 2GHz帯フィールド調査結果

(3) 3.75GHz帯⁶⁾

3.75GHz帯における混信は春分、秋分の時期にのみ生じることから、その時期の太陽位置⁷⁾ (赤緯 -5.5° , 極軸 $120^\circ \sim 220^\circ$) に測定アンテナ方向を向け実施した。

3.75GHz帯のフィールド調査の結果、図12に示すように、周波数範囲3450~4300MHzに渡り連続する混信波が確認された。3.75GHz帯の観測周波数は $3750\text{MHz} \pm 5\text{MHz}$ と $3870\text{MHz} \pm 5\text{MHz}$ であり、混信波は観測周波数と同一周波数で2波ともに混信波が落ち込むことが確認された。

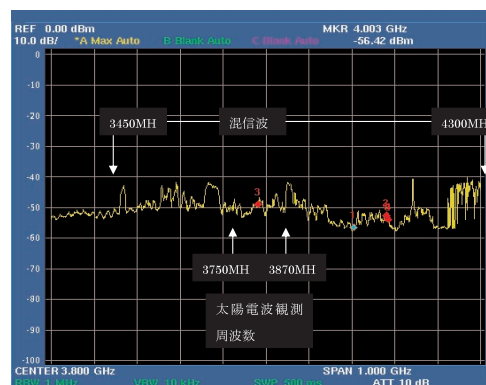


図12. 3.75GHz帯フィールド調査結果

(4) 9.4GHz帯⁸⁾

9.4GHz帯のフィールド調査の結果、アンテナ方向が南方向の時に、図13に示すように、周波数範囲9330～9553MHzに渡り間歇的にパルス波が確

認された。9.4GHz帯の観測周波数は9400MHz±5MHzと9520MHz±5MHzであり、混信波は観測受信周波数と同一周波数で2波ともに混信波として落ち込むことが確認された。

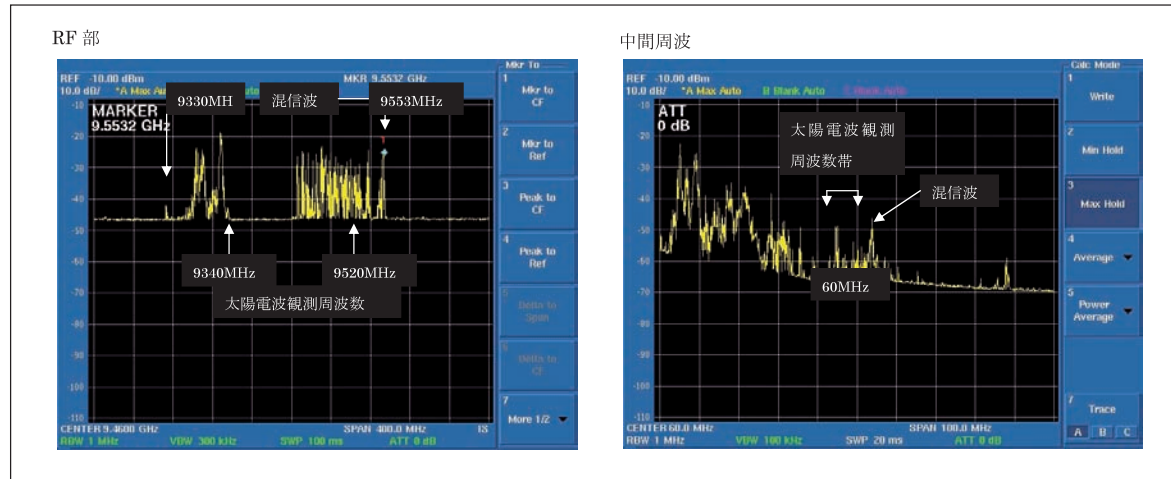


図13. 9.4GHz帯フィールド調査結果

4.2 周波数割当計画²⁾による混信源無線システムの特定

混信を受けている4周波の観測周波数帯は電波天文バンドではなく他の用途に割り当てられたものである。そこでフィールド調査結果により得

られた各周波数帯の混信信号周波数を基に、総務省で公開している周波数割当計画²⁾を利用して混信源に該当する無線システムを特定することとした(表1)。

表1. 周波数割当と混信源無線システム

観測周波数	混信周波数 MHz	周波数割当計画		混信源 該当無線システム
		国内分配	無線局の目的	
1GHz帯	1025, 1120	960~1164 MHz 航空無線航行	航空用DME及び タカン(無線航行 援助システム)	航行航空機DME装置(距離測定装置) 使用周波数: 1025~1150MHz 送信出力: 3kW 空中線: $\lambda/4$ ブレード型(無指向性)
2GHz帯	2137	2121~2170 MHz 移動	電気通信業務用 (携帯無線通信用)	観測所近傍の携帯基地局 使用周波数: 2137~2147MHz 送信出力: 16W 空中線利得: 18dB 距離: 2.9km
3.75GHz帯	3450~4300	3400~4200MHz 固定衛星 (宇宙から地球)	電気通信業務用 公共業務用	Cバンドダウンリンク静止通信衛星送信波 使用周波数: 3400~4200MHz EIRP: 71dBm 距離: 約38000km (日本からの距離) 混信源となる衛星が軌道に8基存在している。
9.4GHz帯	9330~9553	9200~9800MHz	一般業務用 船舶無線航行用レ ーダー用	航行中の船舶レーダー 使用周波数: 9360~9560MHz 送信出力(空中線利得含む): 25kW

4.3 混信波の到来電波伝搬経路と混信波信号強度の計算

混信波の周波数と同一の周波数を利用する無線システムを特定できたが、特定されたシステムが本当に混信源であるかどうかを確認するため、混信源と成る無線システムの運用諸元（送信位置、送信周波数、送信出力）を基に、混信源と観測所間の電波伝搬経路をプロファイル図に作成し、到来混信波の信号強度の計算値を求め、測定値と比較してみた。その計算式³⁾を付録3に示す。

(1) 混信経路

(a) 1GHz帯

混信波の観測所までの伝搬経路のプロファイル図を図14に示す。プロファイル図からも判る通り、観測所から距離約100km付近を航行中の航空機でも、高度6000m以上であれば障害物は無く、混信波は直接波として観測所に到来する。

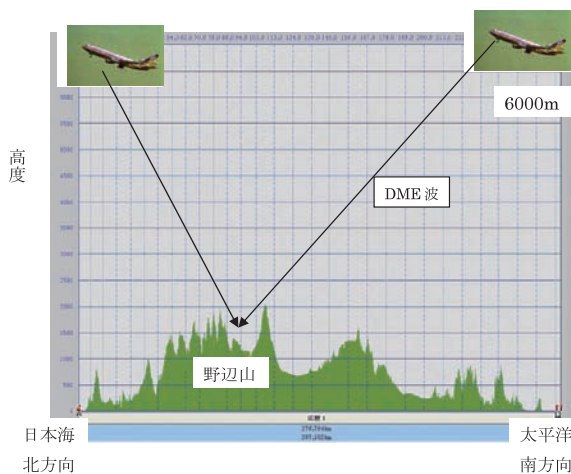


図14. 混信源（航空機）から観測所までのプロファイル図

(b) 2GHz帯

混信波の観測所までの伝搬経路のプロファイル図を図15に示す。プロファイル図から判る通り電波伝搬路の途中にある森林が障害物となり、森林を通過する際に植生により減衰された電波として到来する。

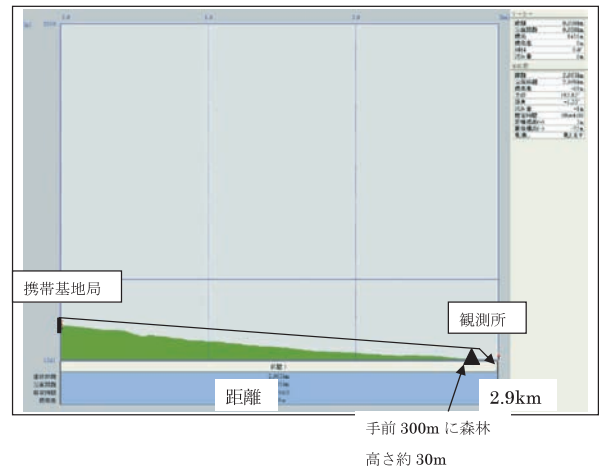
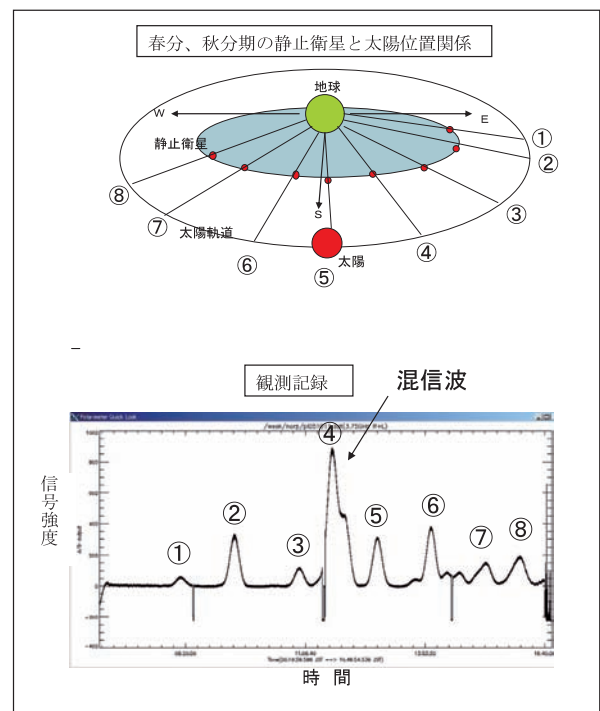


図15. 混信源携帯基地局から観測所までのプロファイル図

(c) 3.75GHz帯

3.75GHz帯の観測周波数は、静止通信衛星のC帯ダウンリンク（3.4～4.2GHz）周波数のインバンドにあたる。そのため、太陽が天の赤道付近の高度になる春分、秋分の時期に静止通信衛星が太陽観測域に入り、同一周波数である3.75GHz帯観測周波数に静止通信衛星の送信波が混信波として落ち込む。伝搬路に障害物は無く、直接波として受信される。春分、秋分期の静止通信衛星と太陽の位置関係を図16に示す。⁹⁾



図中の①～⑧は混信源となる8基の衛星に太陽が重なる時間位置関係を示す。

図16. 春分、秋分期の静止通信衛星と太陽の位置関係

(d) 9.4GHz帯

混信波の観測所までの伝搬経路のプロファイル図を図17に示す。

混信波の周波数は船舶レーダの周波数帯のインバンドに当る。観測所の南方向の距離約120km付近に静岡港があることから、入出港する船舶のレーダ波と考えられる。野辺山太陽電波観測所と静岡港の間には山岳があり、見通しがきかないプロファイルである。しかし船舶レーダーの高送信出力は、山岳回折、対流圏散乱による見通し外電波伝搬路によって観測所に到来し、混信波として受信される。混信波の受信電力強度は見通し外電波伝搬路を経ている為、気象条件に大きく左右され、見通し外電波伝搬特有のアップフェージングが増加する異常伝搬時には混信波の影響が大となる。ここでアップフェージングとは見通し外電波伝搬路特有の現象で、自由空間損失以外に散乱損失と回折損失を含む見通し外伝搬路の損失が、地域の気象条件によって、時間は短時間であるが、自由空間損失の場合の値に近づき、受信電力強度が異

常に高くなる現象を言う。

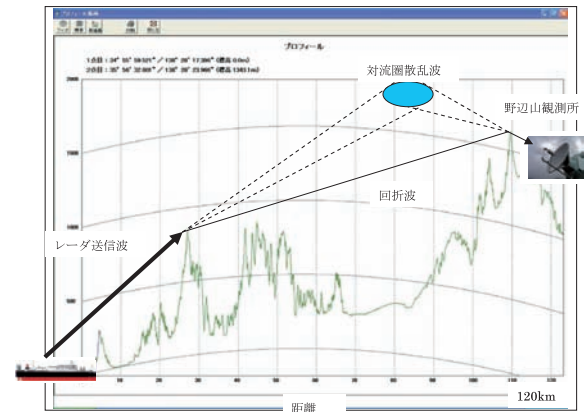


図17. 船舶レーダと観測所までのプロファイル図

(2) 到来混信波の受信信号強度の計算値と実測値
特定した混信源と成る無線システムの送信緒元とプロファイル図を基に、到来混信波の受信信号強度を求め、実測値との比較検討を行った。表2に計算値と実測値を示す。

表2. 混信波の受信信号強度の計算値と実測値

観測周波数帯	混信波周波数	混信波の電波伝搬路	混信波となる無線局の送信諸元			到来混信波等方受信信号強度	
			送信出力	アンテナ利得	距離	計算値	実測値
1GHz帯	1025, 1025 MHz	直接波	3kW (64.7dBm)	0 dB	約100km	-67.9dBm	-65dBm
2GHz帯	2137 MHz	近距離森林通過波	16W (42 dBm)	18 dB	2.9km	-74dBm	-76dBm
3.75GHz帯	3450~4300 MHz	直接波	静止通信衛星ダウンリンク EIRP* 71dBm		38000km (日本からの距離)	-124dBm	-126dBm
9.4GHz帯	9350~9550 MHz	遠距離見通し外波	空中線電力25kW (74dBm)		120km 見通し外	-102dBm	-89dBm

*EIRP:実効放射電力 (equivalent isotropic radiation power) であり、送信機出力電力、送信アンテナの絶対利得、ファイダ損を含めたアンテナから放射される電力。

それぞれの混信波受信信号強度の計算値と実測値の比較

- ・1GHz帯, 2GHz帯, 3.75GHz帯については計算値と実績値の差が2dB~3dBでほぼ近い値であった。
- ・9.4GHz帯
計算値-102dBmに対して実測値は-89dBmで13dB実測値が高い値と成っている。これは電

波伝搬が見通し外電波伝搬路であるため概算計算式ではアップフェージング量を60dBと見込んで計算したが、この値は気象条件等により変動が激しく60dBを超えたアップフェージングが発生している事と、伝搬路の山岳による回折損失計算値と実際との差によるものと考えられる。

5. 混信軽減対策

調査結果に基づき, D/U値を評価指標として混信軽減対策を講じた. なおD/U計算書の求め方は付録4に, 周波数毎のD/U比計算の詳細は付録5に示す.

5.1 1GHz帯

到来混信波が観測受信周波数の帯域外であることから, 太陽電波観測周波数帯域のみを通過させる帯域制限により混信波による影響軽減を図った. 混信波を軽減させる策として, 観測用受信装置の高周波部に図18に示す特性を持つ狭帯域RF BPFを追加することにより, 付録5の表A-4に示すように

- ・1025MHzの混信波に対し, 改善前のD/U= -9.4dB (余裕度-29.4dB)
→改善後のD/U=40.6dB (余裕度20.6dB)
- ・1120MHzの混信波に対し, 改善前のD/U= -14.4dB(余裕度-34.4dB)

→改善後のD/U=35.6dB (余裕度15.6dB)と余裕度が正の値となり, 混信が軽減される事が確認された.

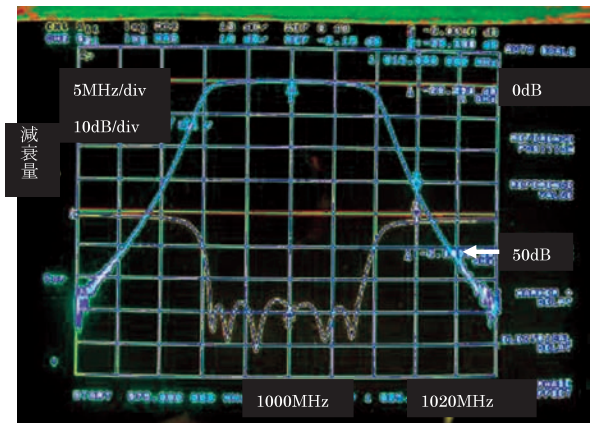


図18. 狭帯域RF BPF 特性

RF周波部に狭帯域RF BPFを追加することにより, 図19に示すように収集データ記録に出ていたひげ状の混信は軽減された.

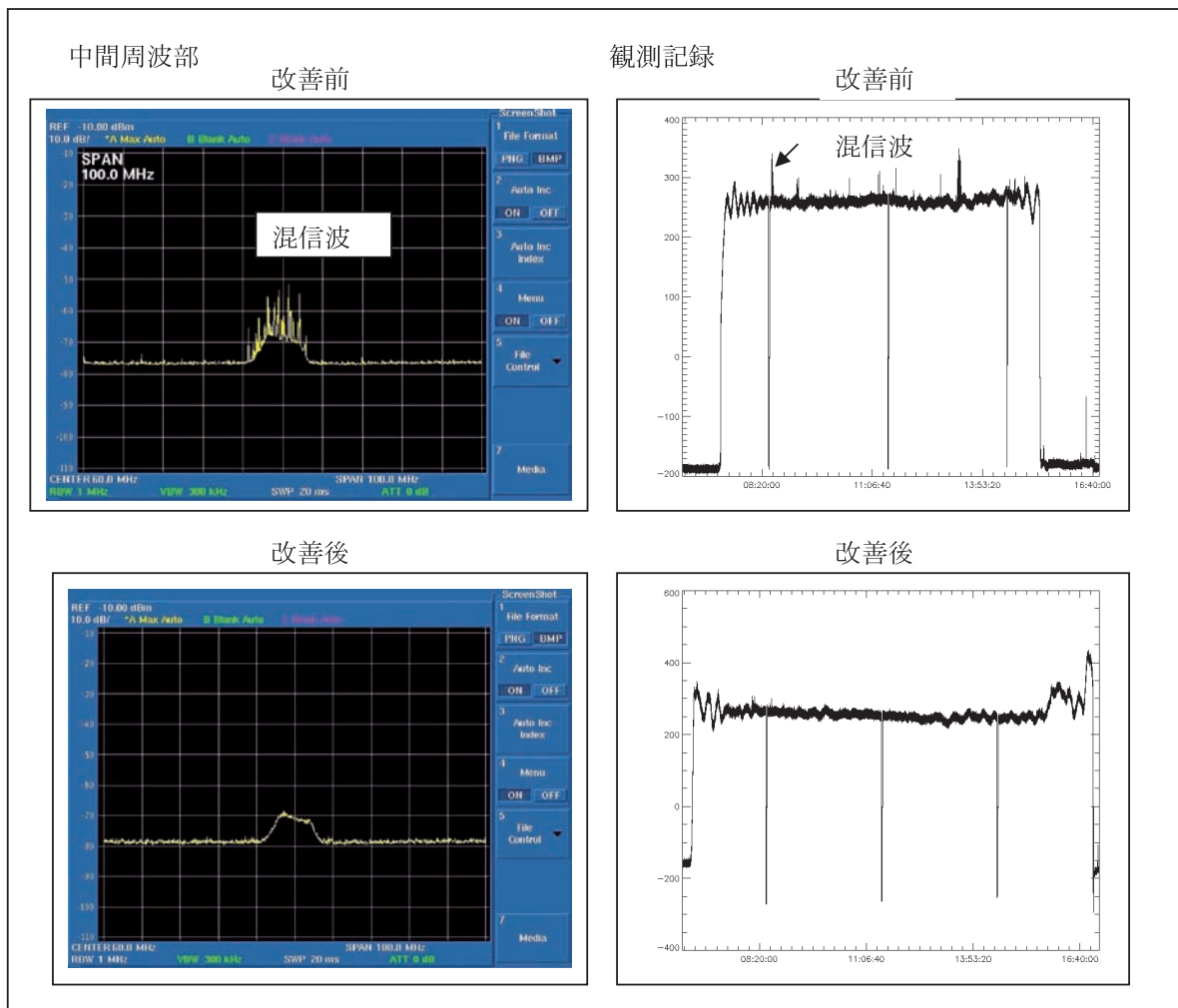


図19. 1GHz帯混信波軽減効果

5.2 2GHz帯

到来混信波が観測受信周波数の帯域外であることから、太陽電波観測周波数帯域のみを通過させる帯域制限により混信波による影響軽減を図った。

混信波を軽減させる策として受信装置の中間周波部位に図20に示す特性の狭帯域IF BPFを追加した結果、付録5の表A-5に示す通り

・2137MHzの混信波に対して、改善前のD/U=9.4dB（余裕度-10.6dB）

→改善後のD/U=49.4dB（余裕度29.4dB）
と余裕度が正の値となり、大幅に改善され混信が軽減されることが確認された。

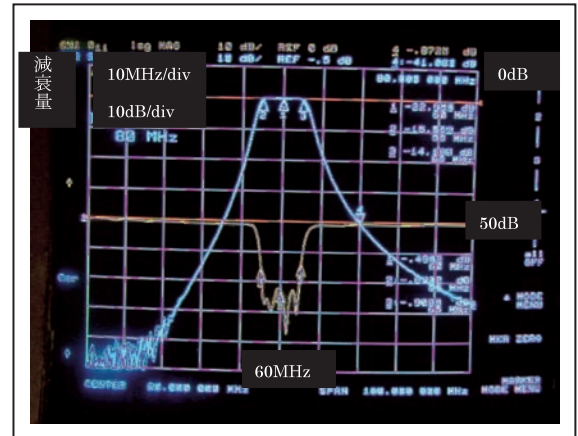


図20. 狭帯域IF BPFの特性

中間周波部位に狭帯域BPFを追加することにより、図21に示すように収集データ記録に出ていたひげ状の混信は軽減された。

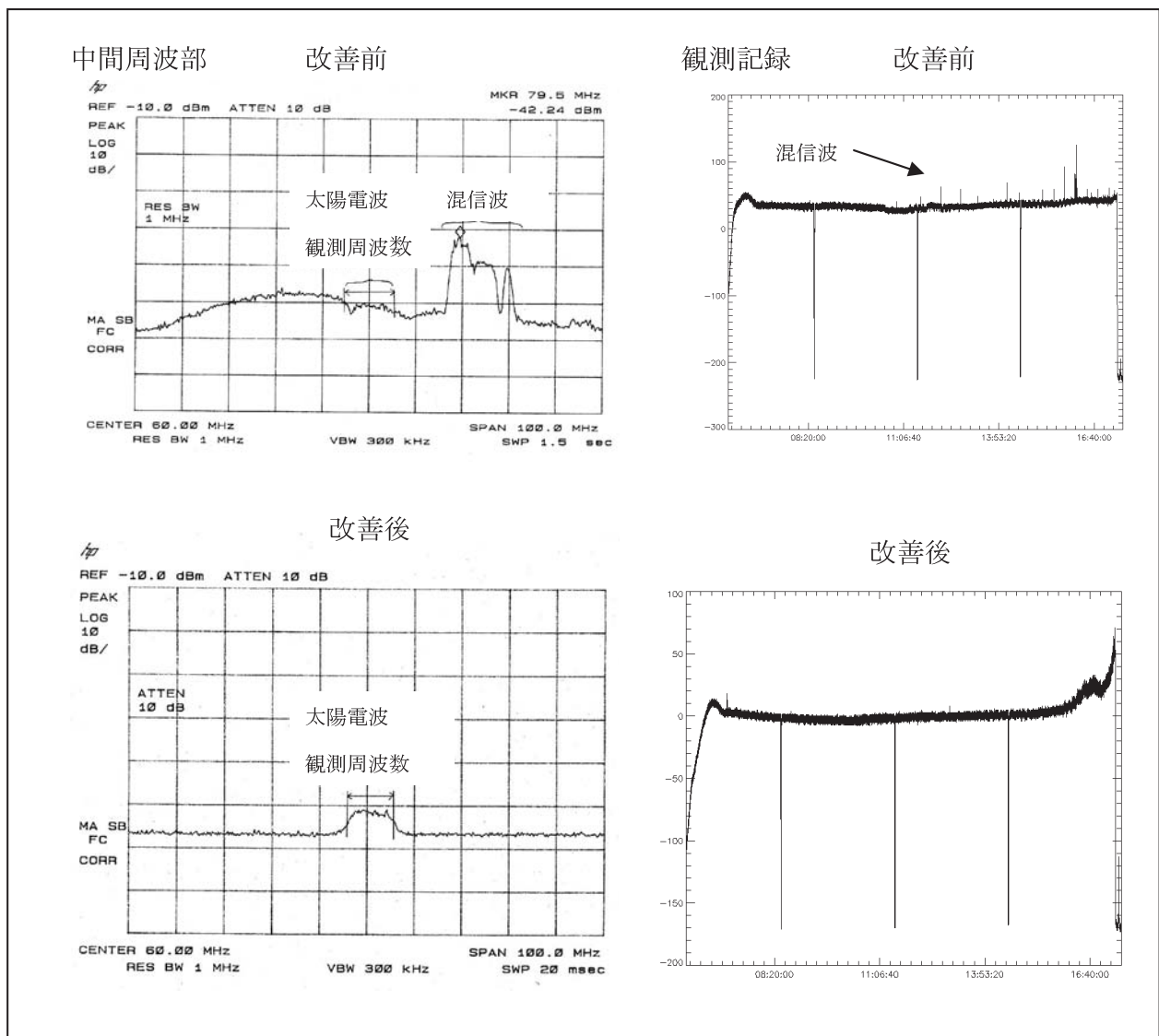


図21. 2 GHz帯混信波軽減効果

5.3 3.75GHz帯

静止通信衛星に割当てられたCバンドダウンリンク周波数帯（3400～4200MHz）のなかで、8基の衛星で共通に未使用の周波数の有無を捜し当てることを目的に送信スペクトラムの調査を実施した。

(1) 混信源となっている静止通信衛星の送信スペクトラムの調査

送信スペクトラムの調査の結果、図22に示すよ

うに、7基の静止通信衛星は割当てられたCバンドダウンリンク周波数帯（3400～4200MHz）を全帯域使用しておらず、それぞれの衛星で使用周波数は異なるが未使用周波数域があることが確認できた。

⑧に相当する衛星については調査用空中線の方角限度で向けることが出来ずスペクトラムを得る事ができなかった。

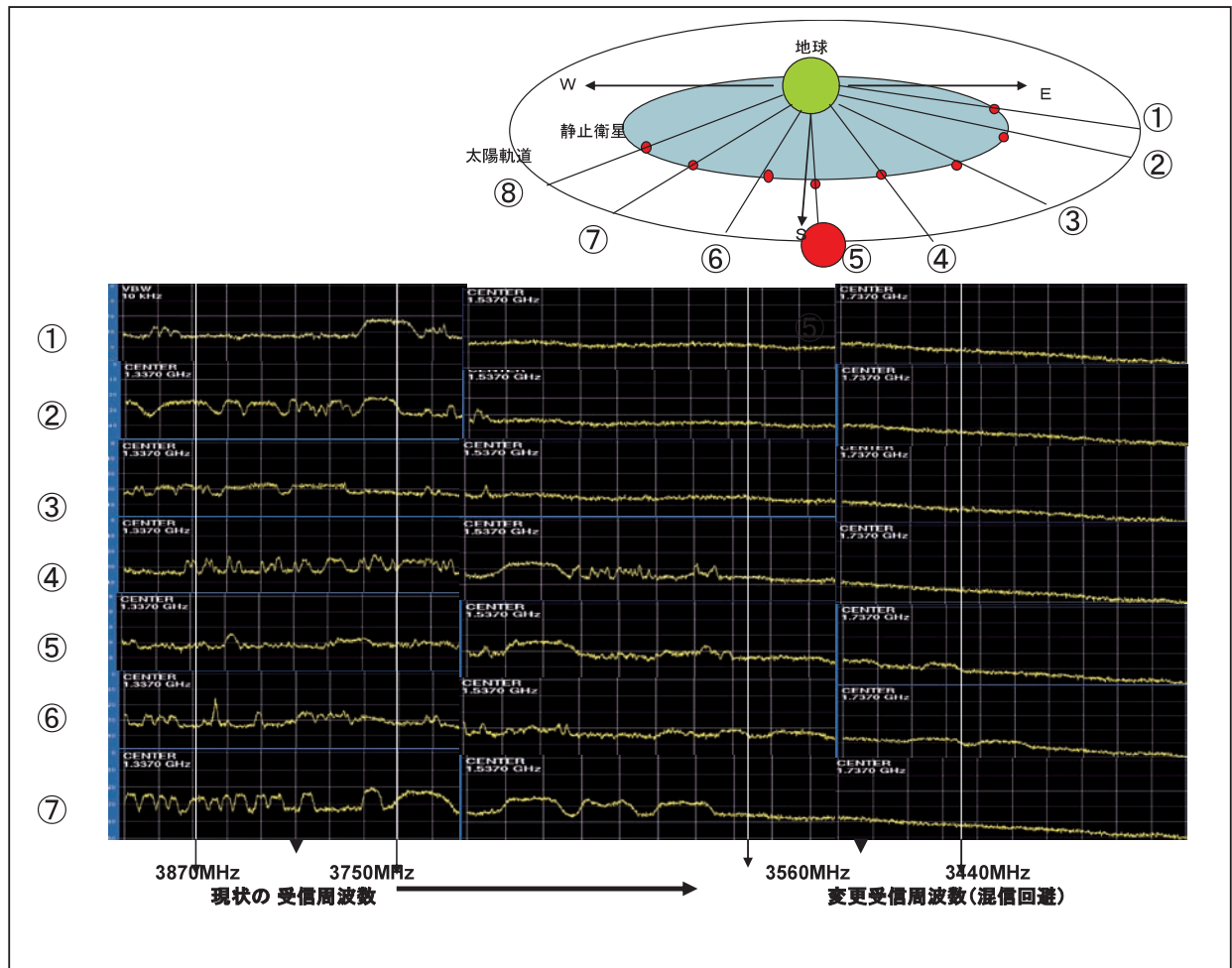


図22. 混信源静止通信衛星の送信スペクトラム

(2) 混信軽減対策

調査結果に基づき、現状の太陽電波観測周波数を、次のように、2周波共310MHz低い周波数に変更した。

現状観測周波数	変更後の観測周波数
3710MHz±5MHz	→ 3560MHz±5MHz
3870MHz±5MHz	→ 3440MHz±5MHz

その結果、付録5の表A-6に示すように

- 改善前のD/U=-9.8dB（余裕度-29.8dB）
→改善後D/U=40.2dB（余裕度20.2dB）

と余裕度が正の値となり、混信が軽減されることが確認された。

なお、送信スペクトラムが確認できなかった1基⑧についても混信波は軽減された。

太陽電波観測受信周波数を変更することにより、かならず秋分、春分時期に発生していた8基の静止通信衛星による大きな混信も軽減された。図23に観測受信周波数変更による改善効果を示す。

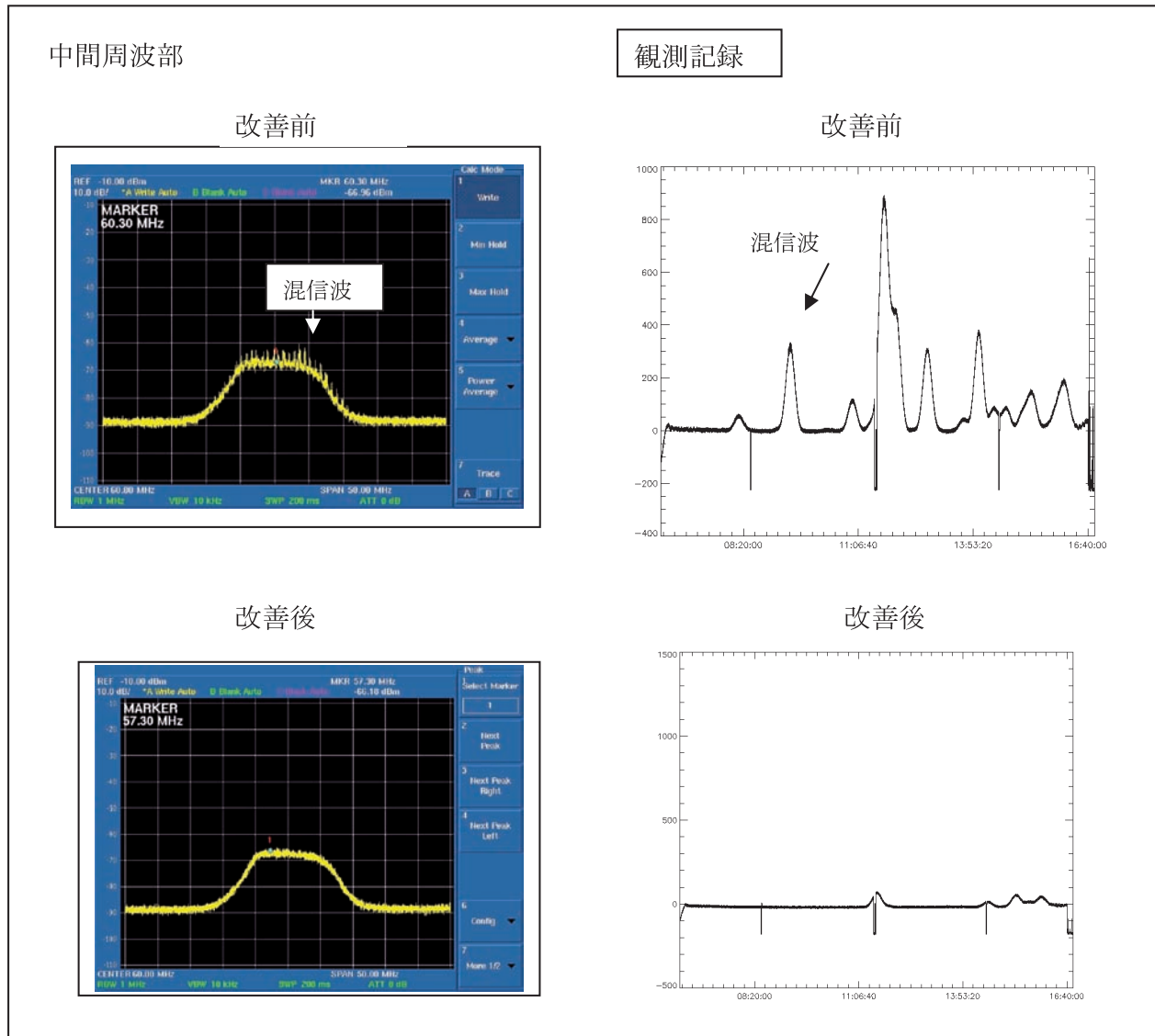


図23. 3.75GHz帯混信軽減効果

太陽電波の強度フラックス強度は周波数に関係している。周波数を変更することによりフラックス

値が変わることになり、従来観測データとの連続性が保てなくなることを考慮する必要がある。図24にあるフラックスの実測値に示すように、周波数を変更することにより値が約5%低下する。そこで従来データとの連続性を考慮して、周波数を変更した後のフラックス測定値に対し1.05の補正をすることが必要である。

本調査結果から太陽電波の観測運用方針を次の通りとした。

- ・平常時期は現状観測周波数を受信するLO（局発周波数）を3.81GHzで運用する。
- ・春分時期（2月20日～3月20日）、秋分時期（9月20日～10月20日）は静止通信衛星からの混信を回避できるように、LOを3.5GHzで運用する。
- ・周波数変更によるフラックス値の補正は、その時期の前後のフラックス値で判断する。

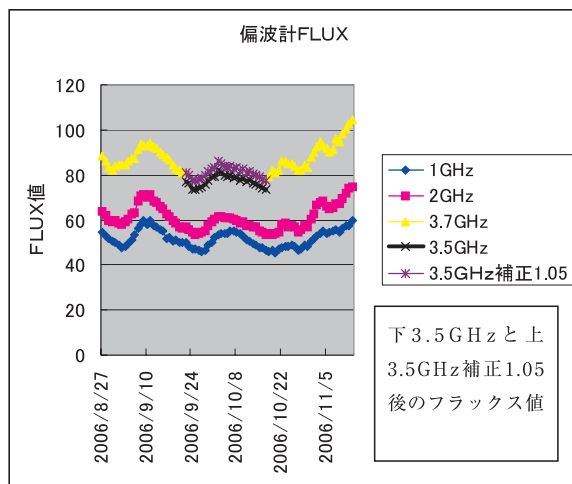


図24. 3.75GHz帯フラックスの実測値

(例1.05)

- ・LOの設定はシンセサイザを採用し、受信周波数を変更する。

5.4 9.4GHz帯

船舶レーダー波への割当周波数帯（9200～9800MHz）の中で、使用頻度の少ない周波数の有無を捜し当てることを目的に、長期間の周波数調査を実施した。

(1) 周波数使用頻度の調査結果

船舶レーダーの使用周波数は、レーダーシステムへの割当周波数帯（9200～9800MHz）全帯域では無く図25に示すように、9345～9400MHzと9460～9600MHzに集中していることが確認された。現状の観測受信周波数9400MHzと9520MHzの2周波とも、混信頻度の高い周波数であることも確認された。

(2) 混信軽減対策

調査結果に基づき現状の太陽電波観測受信周波数を、次のように、2波共90MHz低い周波数に変更した。

現状観測周波数 変更後の観測周波数

9400MHz → 9310MHz

9520MHz → 9430MHz

その結果、混信は付録5の表A-7に示す通り

- ・改善前のD/U=-47.8 dB（余裕度-67.8dB）
→改善後のD/U=22.2 dB（余裕度2.2dB）
と余裕度が正の値となり、混信が軽減されることが確認された。

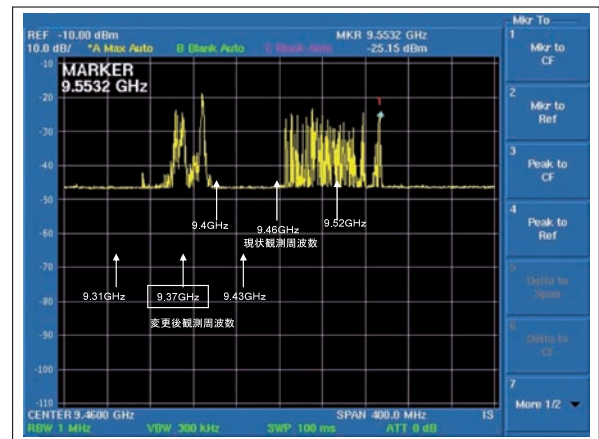


図25. 9.4GHz帯周波数使用状況

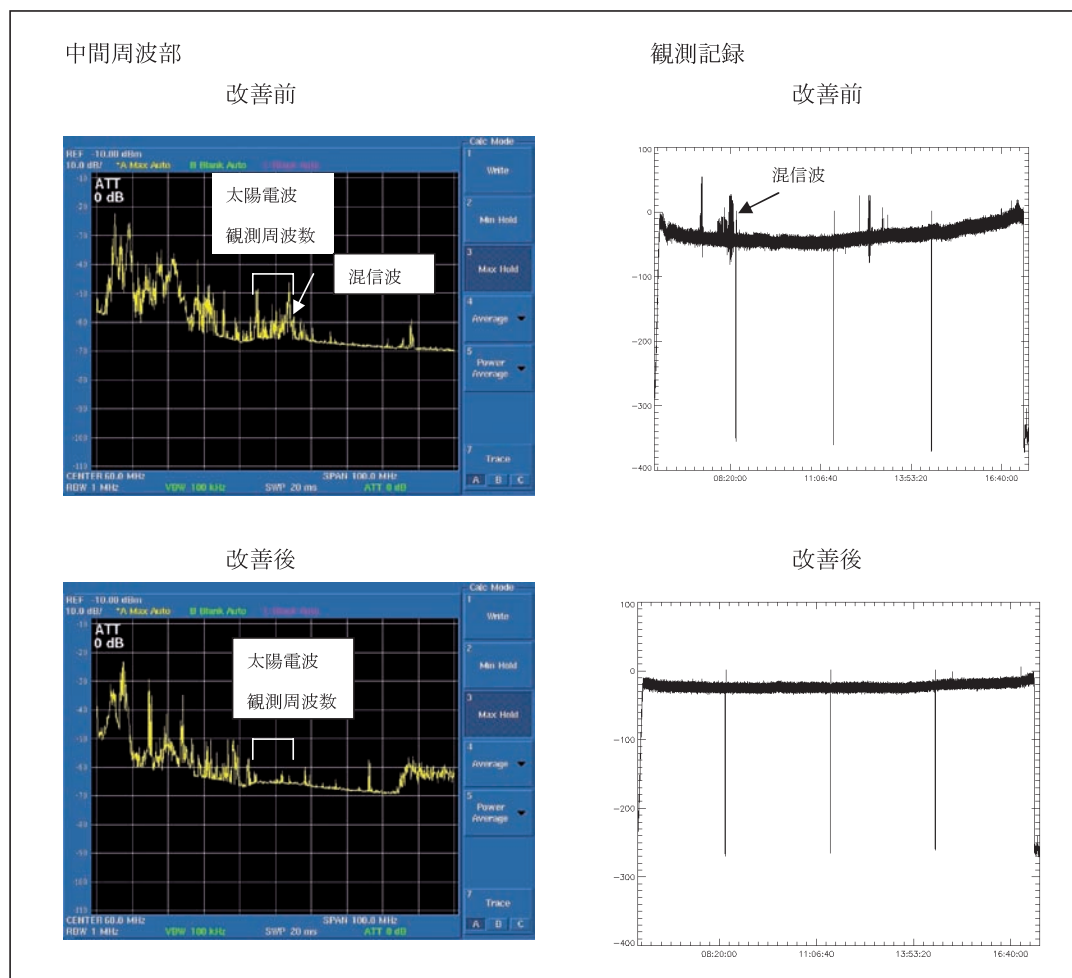


図26. 9.4GHz帯混信軽減効果

周波数変更前の混信回数は15～20回/月で有ったが、周波数変更後は1～2回/月に低減した。図26に観測受信周波数変更による改善効果を示す。

なお太陽電波のフラックス強度は周波数に関係している。周波数を変更することによりフラックス値が変わることになり、従来の観測値との連続性が保てなくなることを考慮する必要が生じてくる。図27にあるフラックス値の実測値に示すように、周波数を変更することにより値が約2%低下する。そこで従来データとの連続性を考慮して、周波数変更した後のフラックス測定値に対し1.02の補正をする必要がある。

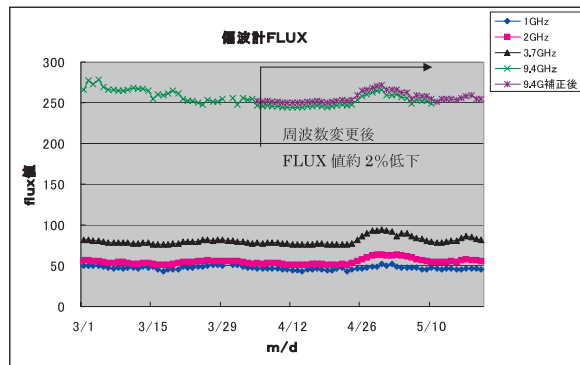


図27. 9.4GHzフラックス実測値

本調査結果から太陽電波の観測運用方針を次の通りとした。

- ・太陽電波観測周波数を現状の9.4GHz、9.52GHzから混信頻度の少ない9.31GHz、9.43GHzに変更する。
- ・周波数を変更したことによる太陽電波強度のフラックス値の変化については、過去実績データを考慮して補正（1.02）を行なう。なおこの補正値は太陽活動に伴って変化することが予想されるので、定期的に見直す必要がある。

6. D/U計算による混信評価

混信対策前は、表3の3項目に示すように、4周波数帯とも所要D/U:20dB（混信の影響が無しと判断される値）を満足せず、余裕度は負の値となっており、数値的にも混信の影響は大と判断された。これらの数値を基に、表3の4項目に示すように、観測用受信機の帯域フィルタの特性改善、周波数の変更等を行なったところ、D/U余裕度が正の値になり、混信の影響が軽減された。

表3. D/U計算総括表

		1GHz帯		2GHz帯	3.75GHz帯	9.4GHz帯
1	改善前のD/U (dB)	-9.4	-14.4	9.4	-9.8	-49.8
2	所要D/U (dB)	20 (dB)				
3	改善前の余裕度 (dB)	-29.4	-34.4	-10.6	-29.8	-69.8
	混信影響の有無	有り	有り	有り	有り	有り
4	選択度特性改善					
	RF BPF特性の狭帯域化 (dB)	50	50			
	IF BPF追加 (dB)			40		
	希望波周波数変更選択度 (dB)				50	70
	改善後のD/U (dB)	40.6	35.6	49.4	40.2	20.2
	改善後の余裕度 (dB)	20.6	15.6	29.4	20.2	0.2
	混信影響の有無	無し	無し	無し	無し	無し

7. まとめ

混信源となっていた無線システムは，航空機（航法距離測定装置DME送信波），陸上固定局（携帯電話基地局送信波），静止通信衛星（Cバンドダウンリンク送信波），船舶（レーダ送信波）であり，電波伝搬路も見通し内の直接波，または見通し外伝搬路を経た見通し外波で有った．これらの到来混信波から伺える事は，野辺山太陽電波

観測所は山で囲まれた環境条件とはいえ，観測受信周波数帯が電波天文バンドではなく他の用途の無線局に割り当てられたものであるので，十分な混信対策を取る必要があるということである．本調査によって現状の混信度合いを評価して，それに基づき表4に示すように，観測用受信機の帯域制限および受信周波数変更による選択度特性を改善して混信軽減を図ることが出来た．そして安定な観測データ取得に寄与している．

表 4. 混信軽減策総括表

観測周波数帯	混信源無線局	混信軽減対策	
		帯域制限	周波数変更
1GHz帯	航行中の航空機航法局 (DME:距離測定装置送信波)	RF BPF特性の狭帯域化による選択度特性の改善	
2GHz帯	近傍携帯電話基地局 (送信波)	狭帯域IF BPF追加による選択度特性の改善	
3.75GHz帯	赤道軌道上の静止通信衛星局 (Cバンドダウンリンク送信波)		Cバンドダウンリンク割当周波数帯域内の未使用周波数への周波数変更
9.4GHz帯	静岡沖航行中の船舶局 (レーダ送信波)		レーダ割当周波数内の使用頻度の少ない周波数への周波数変更

謝辞

本調査を行なうにあたり混信源無線局の諸元，総務省電波割当計画等の資料提供を頂いた宇宙電波観測所野辺山地区周波数保護チームの方々，データ収集に協力いただいた新海久子さん，竹村美和子さんにお礼申し上げます．本報告の出版にご支援下さいました元野辺山太陽電波観測所長の柴崎清登教授に感謝します．

参考文献

- 1) 国立天文台野辺山太陽電波ホームページ
<http://solar.nro.nao.ac.jp>
- 2) 総務省電波利用ホームページ周波数割当公開
<http://www.tele.soumu.go.jp/>
- 3) 電波伝搬基礎図表，渋谷茂一，コロナ社，144,145,291,335（1976）
- 4) 野辺山太陽電波観測所における電波環境
北條雅典，篠原徳之；第25回天文学に関するシンポジウム
2005集録111-114
- 5) 4) 野辺山太陽電波観測所における第三世代通信システムの弊害とその対策
篠原徳之，北條雅典，；第25回天文学に関する

るシンポジウム

2005集録115-118

- 6) 野辺山における最近の電波環境3.75GHzでの混信対策
北條雅典，篠原徳之；第27回天文学に関するシンポジウム
2007集録26-29
- 7) 理科年表,国立天文台編，丸善株式会社，8,22（平成19年）
- 8) 野辺山における最近の電波環境9.4GHzでの混信対策
北條雅典，篠原徳之；第28回天文学に関するシンポジウム
2008集録73-76
- 9) HAMERS太陽雑音発生予想日時計算書
http://www.hamers.co.jp/white/t_d/sun-noise.html
- 10) 3.75GHz偏波計の新設
武士保健，鳥居近吉，関口英昭，川島進，塩見靖彦，中島弘，柴崎清登（国立天文台野辺山太陽電波）
第13回天文学に関する技術シンポジウム1993集録40-43
- 11) 国際電気通信連合勧告 ITU-R P.833-4

付録 1

強度偏波計の基本構成¹⁰⁾

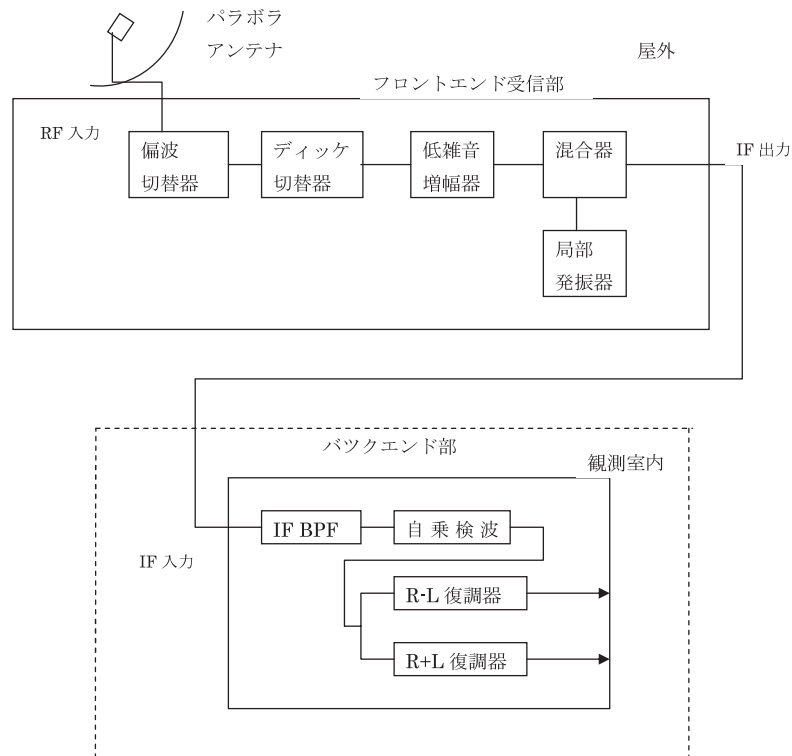
混信を受けている強度偏波計の基本構成は図A-1に示す通り、空中線部、フロントエンド受信部、バックエンド部より構成されている。

空中線部のパラボラアンテナとフロントエンド受信部は赤道儀式架台に取付けられておりアンテナ制御用計算機により制御されたパルスモータで駆動し太陽を追尾している。

フロントエンド受信部は系の温度ドリフト等の軽減の為ディック切替機能を備えている。

バックエンド部は受信部で受信された太陽電波受信信号を自乗検波して偏波およびディックの2つの位相同期検波により左右円偏波の和成分(R+L) (強度) と差成分(R-L) (偏波成分) に分離してデータ収集装置とペンレコーダで記録している。

混信を受けている強度偏波計の基本諸元を表A-1に示す。



図A-1. 強度偏波計基本系統図

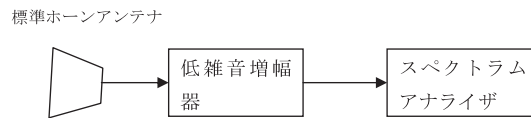
表A-1. 強度偏波計基本諸元

諸元	観測周波数帯 (GHz)			
	1.0	2.0	3.75	9.4
観測視野	太陽全面			
空間分解能	なし (太陽全面の電波を計測)			
時間分解能	0.1秒			
アンテナ直径 (m)	3.0	2.0	1.5	0.8
アンテナ利得 (dB)	28	30	32	35
アンテナ半値幅 (°)	7	5.3	4	2.8
観測周波数 (GHz)	1.0	2.0	3.71	9.4
		2.12	3.87	9.52
受信帯域幅 (MHz)	10			
検波方式	自乗検波			
偏波	R+L R-L の同時出力			

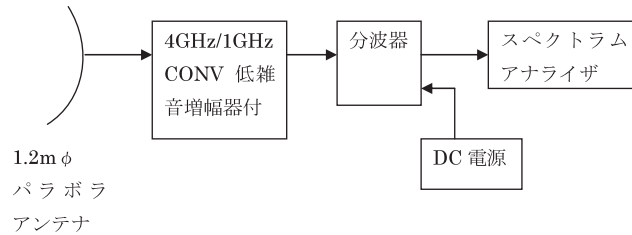
付録 2

フィールド調査セットアップ

1) 1GHz帯, 2GHz帯, 9.4GHz帯の測定系



2) 3.75GHz帯の測定系



図A-2. フィールド調査セットアップ図

表A-2. フィールド調査セットアップ測定器一覧表

測定器名	性能諸元				型式等
標準ホーンアンテナ	周波数：1.0~12.4GHz 利得：1.0GHz: 7 dB, 2.0GHz: 7 dB 9.4GHz: 12 dB ビーム幅：45°				H1479 AEL製
1.2mφパラボラアンテナ	周波数：3.5~4.2GHz 利得：31dB ビーム幅：4.1° 駆動：方位，赤緯手動ハンドル駆動				
低雑音増幅器	周波数GHz	1.0	2.0	9.4	
	利得 dB	38	33	47	
4GHz/1GHz CONV LNA	周波数：3.5~4.2GHz/0.95~1.45GHz 利得：55dB				
スペクトラムアナライザ	周波数範囲：10~17GHz 分解能：RBW 1kHz~3MHz VBW 10kHz~3MHz 振幅測定範囲：10~-80dBm				

付録 3

到来混信波受信電力計算式

(1) 直接波 1 (地上見通し内到来波)

$$R_o = P_t + G_t - \Gamma \quad (\text{dBm}) \quad (1)$$

ここで、

Ro：等方受信電力強度 (dBm)

等方受信電力強度：無指向性アンテナで受信した時の受信電力強度

Pt：送信電力 (dBm)

Gt：送信側アンテナ利得 (dB)

 Γ ：自由空間伝搬損失 (dB)

$$\text{自由空間伝搬損失 } \Gamma = 32.4 + 20 \log f(\text{MHz}) + 20 \log D(\text{km}) \quad (2)$$

(2) 直接波 2 (静止衛星からの到来波)

$$R_o = EIRP - \Gamma \quad (\text{dBm}) \quad (3)$$

ここで、

Ro：等方受信電力強度 (dBm)

EIRP：通信衛星の実効放射電力 (dBm)

Γ ：自由空間伝搬損失 (dB)

(3) 見通し内伝搬路区間に森林

$$R_o = P_t + G_t - \Gamma - A_{ev} \quad (\text{dBm}) \quad (4)$$

ここで、

R_o ：等方受信電力強度 (dBm)

P_t ：送信電力 (dBm)

G_t ：送信側アンテナ利得 (dB)

Γ ：自由空間伝搬損失 (dB)

A_{ev} ：植生損失 (Rec.ITU-R P.833-4¹¹⁾ による概算計算値26dBを使用)

R_o ：等方受信電力強度 (dBm)

P_t ：送信電力 (dBm)

G_t ：送信側アンテナ利得 (dB)

Γ ：自由空間伝搬損失 (dB)

Z ：2重回折損失

$$Z = Z_1 + Z_2 \quad (\text{dB}) \quad (6)$$

ここで、

Z_1 ：第1リッジ回折損失 (dB) (電波伝搬基礎図表3章³⁾による概算計算値39dBを使用)

Z_2 ：第2リッジ回折損失 (dB) (電波伝搬基礎図表3章³⁾による概算計算値42dBを使用)

(4) 遠距離見通し外電波伝搬路回折波

$$R_o = P_t + G_t - \Gamma - Z + Y \quad (\text{dBm}) \quad (5)$$

ここで、

Y ：アップフェーシング (日本国内見通し外通信システム運用回線の発生経験値60dBを使用)

付録4

表A-3. D/U計算書の求め方
D/U 計算書 (D/U計算による混信評価)

	項目	求めかた
1	希望波入力	
	1) 太陽電波フラックス強度 ($10^{-22}\text{Wm}^{-2}\text{Hz}^{-1}$)	観測値を使用する
	2) PFD (電力束密度) 10MHz帯域 (dBm m^{-2})	$\text{PFD (電力束密度)} = 10\log\text{太陽電波フラックス強度} (10^{-19}\text{mWm}^{-2}\text{Hz}^{-1}) + 10\log\text{受信帯域幅 (Hz)}$
	3) 等方受信入力 R_o (dBm)	等方受信入力 = $\text{PFD} + 20\log\text{受信波波長} - 10\log 4\pi$
2	混信波入力 等方受信入力 R_{u0} (dBm)	到来混信波の計算値又は実測値の内大きい値を使用する
3	アンテナ利得 (dB)	観測受信機のアンテナ利得を使用する
4	アンテナの混信波方向利得減衰量 (dB)	観測受信機のアンテナ方向利得減衰量を使用する
5	受信機入力 (dBm)	受信機入力 = 等方受信入力 R_o (dBm) + アンテナ利得 (dB) - アンテナ方向利得減衰量 (dB)
6	希望波と混信波の周波数差 (MHz)	周波数差 = 希望波周波数 (MHz) - 混信波周波数 (MHz)
7	選択度特性	
	1) RF BPF (dB)	RF BPF特性から希望波と混信波の周波数差減衰量を読み取る
	2) IF BPF (dB)	IF BPF特性から希望波と混信波の周波数差減衰量を読み取る
8	D (dBm)	希望波の受信機入力値を使用する
9	U (dBm)	混信波の受信入力 - RF BPF選択度特性 - IF BPF選択度特性
10	D/U (dB)	$D/U = D (\text{dBm}) - U (\text{dBm})$
11	所要D/U (dB)	混信の影響が1%以下の閾値 Dが20dB 高い値とする
12	余裕度 (dB)	$D/U(\text{dB}) - \text{所要}D/U(\text{dB})$
	混信の影響有無	余裕度が負の値の時は混信の影響有り 余裕度が正の値の時は混信の影響なしと評価する

付録 5

周波数毎のD/U比計算の詳細

1. 1GHz帯

(1) D/U比

D/U計算書（D/U計算による混信評価）を表A-4に示す.

D/U 計算書

(D/U計算による混信評価)

周波数帯：1GHz帯 観測周波数：1000MHz

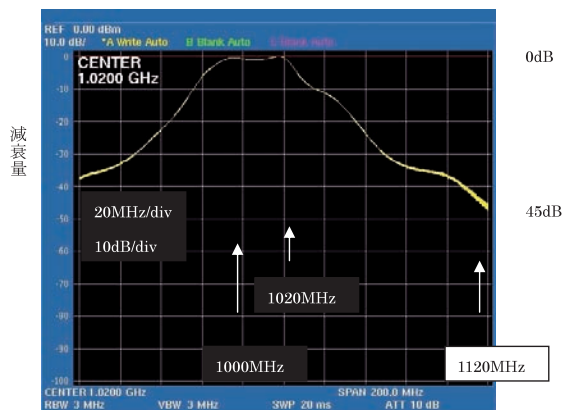
表A-4. 1GHz帯D/U計算書

		希望波	混信波 1	混信波 2
		1000MHz	1025MHz	1120MHz
1	希望波入力			
	1) 太陽電波フラックス 強度 ($10^{-22}\text{Wm}^{-2}\text{Hz}^{-1}$)	50		
	2) PFD (電力束密度) 10MHz帯域 (dBmm^{-2})	-103		
	3) 等方受信入力 R_0 (dBm)	-124.4		
2	混信波入力 等方受信入力 R_{u0} (dBm)		-65	-65
3	アンテナ利得 (dB)	27	27	27
4	アンテナの混信波方向 利得減衰量 (dB)		0	0
5	受信機入力 (dBm)	-97.4	-38	-38
6	希望波と混信波の 周波数差 (MHz)		25	120
7	選択度特性			
	1) RF BPF (dB) 図A-3	0	0	45
	2) IF BPF (dB) 図A-4	0	50	0
8	D (dBm)	-97.4		
9	U (dBm)		-88	-83
10	D/U (dB)		-9.4	-14.4
11	所要D/U (dB)		20	20
12	余裕度 (dB)		-29.4	-34.4
	混信の影響有無		有	有
13	改善・RF BPF 追加図18 による選択度特性改善 (dB)		50	50
	改善後のD/U (dB)		40.6	35.6
	余裕度 (dB)		20.6	15.6
	混信の影響有無		無	無

(2) D/U評価説明

(a) 混信波1025MHzに対する考察

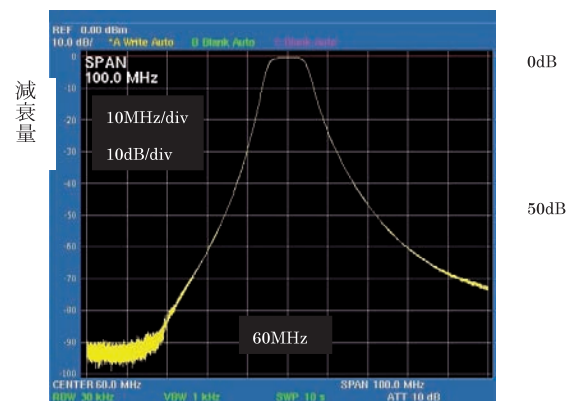
- ①混信波は太陽電波観測受信周波数の帯域外であり、離調周波数は+25MHzである。
- ②太陽観測受信レベルDと混信波受信レベルU比による混信評価
(詳細は表A-4参照)
 - ・表A-4の5項目受信機入力点における
 $D/U = -97.4 - (-38) = -59.4\text{dB}$ (混信波受信レベルが59.4dB高い)
 - ・離調周波数が25MHz有ることから図A-4に示すIF BPF特性により混信波受信レベルは50dB軽減され
 $D/U = -97.4 - (-88) = -9.4\text{dB}$ となる。(混信波受信レベルが9.4dB高い)
 - ・機器の混信波に対し所要D/U=20dB (混信波に対して希望波レベルが20dB高いと混信とならない) であり余裕度は-29.4dBである。
 - ・所要D/Uを29.4dB満たせず収集データ記録にひげ状の混信波として現れる。



図A-3. RF BPF特性
(観測用受信機RF部に既実装BPF)

(b) 混信波1120MHzに対する考察

- ①混信波は太陽電波観測受信周波数の帯域外であり、離調周波数は+120MHzである。
- ②太陽観測受信レベルと混信波受信レベル比は観測受信レベル (dBm) / 混信波受信レベル (dBm)
 - ・表A-4の5項目受信機入力点における
 $D/U = -97.4 - (-38) = -59.4\text{dB}$ (混信波受信レベルが59.4dB高い)
 - ・離調周波数が120MHz有ることから図A-3に示すRF BPF特性により混信波受信レベルは45dB軽減され
 $D/U = -97.4 - (-83) = -14.4\text{dB}$ となる。(混信波受信レベルが14.4dB高い)
 - ・機器の混信波に対し所要D/U=20dB (混信波に対して希望波レベルが20dB高いと混信とならない) であり余裕度は-34.4dBである。
 - ・所要D/Uを34.4dB満たせず、収集データ記録にひげ状の混信波として現れる。



図A-4. IF BPF特性
(観測用受信機IF部に既実装BPF)

2. 2GHz帯

(1) D/U比

D/U計算書 (D/U計算による混信評価) を表A-5に示す.

D/U 計算書

(D/U計算による混信評価)

周波数帯: 2 GHz帯 観測周波数: 2000MHz, 2120MHz

表A-5. 2GHz帯D/U計算書

		希望波	混信波 1	
		観測周波数	2137MHz	
1	希望波入力			
	1) 太陽電波フラックス 強度 ($10^{-22}\text{Wm}^{-2}\text{Hz}^{-1}$)	60		
	2) PFD (電力束密度) 10MHz帯域 (dBmm^{-2})	-102.2		
	3) 等方受信入力 R_0 (dBm)	-129.6		
2	混信波入力 等方受信入力 R_{u0} (dBm)		-76	
3	アンテナ利得 (dB)	30	30	
4	アンテナの混信波方向 利得減衰量 (dB)		23	
5	受信機入力 (dBm)	-99.6	-69	
6	希望波と混信波の 周波数差 (MHz)		17	
7	選択度特性			
	1) RF BPF (dB)	0	0	
	2) IF BPF (dB) 図A-4	0	40	
8	D (dBm)	-99.6		
9	U (dBm)		-109	
10	D/U (dB)		9.4	
11	所要D/U (dB)		20	
12	余裕度 (dB)		-10.6	
	混信の影響有無		有	
13	改善・IF BPF 追加図20 による選択度特性改善 (dB)		40	
	改善後のD/U (dB)		49.4	
	余裕度 (dB)		29.4	
	混信の影響有無		無	無

(2) D/U比評価説明

(a) 混信波2137MHz (近傍携帯基地局周波数) に対する考察

- ①混信波は太陽電波観測受信周波数の帯域外であり, 離調周波数は17MHzである.
- ②太陽観測受信レベルDと混信波受信レベルU比は (詳細は表A-5参照)
・表A-5の5項目受信機入力点における
 $D/U = -99.6 - (-69) = -30.6\text{dB}$ (混信波受信レベルが30.6dB高い)

③離調周波数が17MHz有ることから, 図A-4に示すIF BPF特性により混信波受信レベルは40dB軽減され

$D/U = -99.6 - (-109) = +9.4\text{dB}$ となる.
(混信波受信レベルが9.4dB低い)

④機器の混信波に対する所要D/U=20dBであり, 余裕度は-10.6dBである.

⑤所要D/Uを10.6dB満たせず, 収集データ記録にひげ状の混信波として現れる.

3. 3.75GHz帯

(1) D/U比

D/U計算書（D/U計算による混信評価）を表A-6に示す。

D/U 計算書

（D/U計算による混信評価）

周波数帯：3.75GHz帯 観測周波数：3740MHz, 3840MHz

表A-6. 3.75GHzD/U計算書

		希望波	混信波 1, 2	
		観測周波数	観測周波数に同じ	
1	希望波入力			
	1) 太陽電波フラックス 強度 ($10^{-22}\text{Wm}^{-2}\text{Hz}^{-1}$)	80		
	2) PFD (電力束密度) 10MHz帯域 (dBmm^{-2})	-100.9		
	3) 等方受信入力 R_0 (dBm)	-133.8		
2	混信波入力 等方受信入力 R_{u0} (dBm)		-124	
3	アンテナ利得 (dB)	32	32	
4	アンテナの混信波方向 利得減衰量 (dB)		0	
5	受信機入力 (dBm)	-101.8	-92	
6	希望波と混信波の 周波数差 (MHz)		0	
7	選択度特性			
	1) RF BPF (dB)	0	0	
	2) IF BPF (dB) 図A-4	0	0	
8	D (dBm)	-101.8		
9	U (dBm)		-92	
10	D/U (dB)		-9.8	
11	所要D/U (dB)		20	
12	余裕度 (dB)		-29.8	
	混信の影響有無		有	
13	改善・・・周波数変更による IF選択度特性改善 (dB) 図A-4		50	
	改善後のD/U (dB)		40.2	
	余裕度 (dB)		20.2	
	混信の影響有無		無	無

(2) D/U比評価説明

(a) 混信波3740MHz, 3840MHzに対する考察

- ①混信波は太陽電波観測受信周波数の帯域内であり、離調周波数は0MHzである。
- ②太陽観測受信レベルDと混信波受信レベルU比は（詳細は表A-6参照）
・表A-6の5項目受信機入力点における
 $D/U = -101.8 - (-92) = -9.8\text{dB}$ （混信波受信レベルが9.2dB高い）

- ③離調周波数が0MHzで有ることから受信機の選択度特性による軽減は無い。
- ④機器の混信波に対する所要D/U = 20dBであり、余裕度は-29.8dBである。
- ⑤所要D/Uを29.8dB満たせず春分、秋分の時期にそれぞれ20日間程、毎日8基の静止通信衛星と太陽が重なる時間に強力な混信波として観測データ上に記録されている。

4. 9.4GHz帯

(1) D/U比

D/U計算書（D/U計算による混信評価）を表A-7に示す.

D/U 計算書

(D/U計算による混信評価)

周波数帯：9.4GHz帯 観測周波数：9400MHz, 9520MHz

表A-7. 9.4GHz帯D/U計算書

		希望波	混信波 1, 2	
		観測周波数	観測周波数に同じ	
1	希望波入力			
	1) 太陽電波フラックス 強度 ($10^{-22}\text{Wm}^{-2}\text{Hz}^{-1}$)	250		
	2) PFD (電力束密度) 10MHz帯域 (dBm)	-96		
	3) 等方受信入力 R_0 (dBm)	-136.8		
2	混信波入力 等方受信入力 R_{u0} (dBm)		-89	
3	アンテナ利得 (dB)	36	36	
4	アンテナの混信波方向 利得減衰量 (dB)		0	
5	受信機入力 (dBm)	-100.8	-53	
6	希望波と混信波の 周波数差 (MHz)		0	
7	選択度特性			
	1) RF BPF (dB)	0	0	
	2) IF BPF (dB) 図A-4	0	0	
8	D (dBm)	-100.8		
9	U (dBm)		-53	
10	D/U (dB)		-47.8	
11	所要D/U (dB)		20	
12	余裕度 (dB)		-67.8	
	混信の影響有無		有	
13	改善・・・周波数変更による IF選択度特性改善 (dB) 図A-4		離調40MHz 70dB	
	改善後のD/U (dB)		22.2dB	
	余裕度 (dB)		2.2	
	混信の影響有無		無し	

(2) D/U比評価説明

(a) 混信波9400MHz, 9520MHzに対する考察

①混信波は太陽電波観測受信周波数の帯域内であり，離調周波数は0MHzである.

②太陽観測受信レベルDと混信波受信レベルU比は（詳細は表A-7参照）

・表A-7の5項目受信機入力点における
 $D/U = -100.8 - (-53) = -47.8\text{dB}$ （混信波受

信レベルが47.8dB高い）

③離調周波数が0MHzで有ることから，受信機
 の選択度特性による軽減は無い.

④機器の混信波に対する所要D/U = 20dBであり，
 余裕度は-67.8dBである.

⑤所要D/Uを67.8dB満たせず，船舶レーダ波
 が到来した時に強力なバースト状の混信波と
 して記録されている.