

VERAメタノールメーザー用6.7GHz帯受信機の開発と搭載

○松本浩平、木村公洋、小川英夫、大西利和（大阪府立大学）
氏原秀樹（NICT）、浅利一善、本間希樹、小林秀行（国立天文台）、三谷友彦（京都大学）

概要

我々はVERA（VLBI Exploration of Radio Astrometry）搭載用の6.7GHz帯受信機を開発している。開発された受信機は2009年5月中旬にVERA4局に搭載されメタノールメーザーの受信に成功した（図1）。

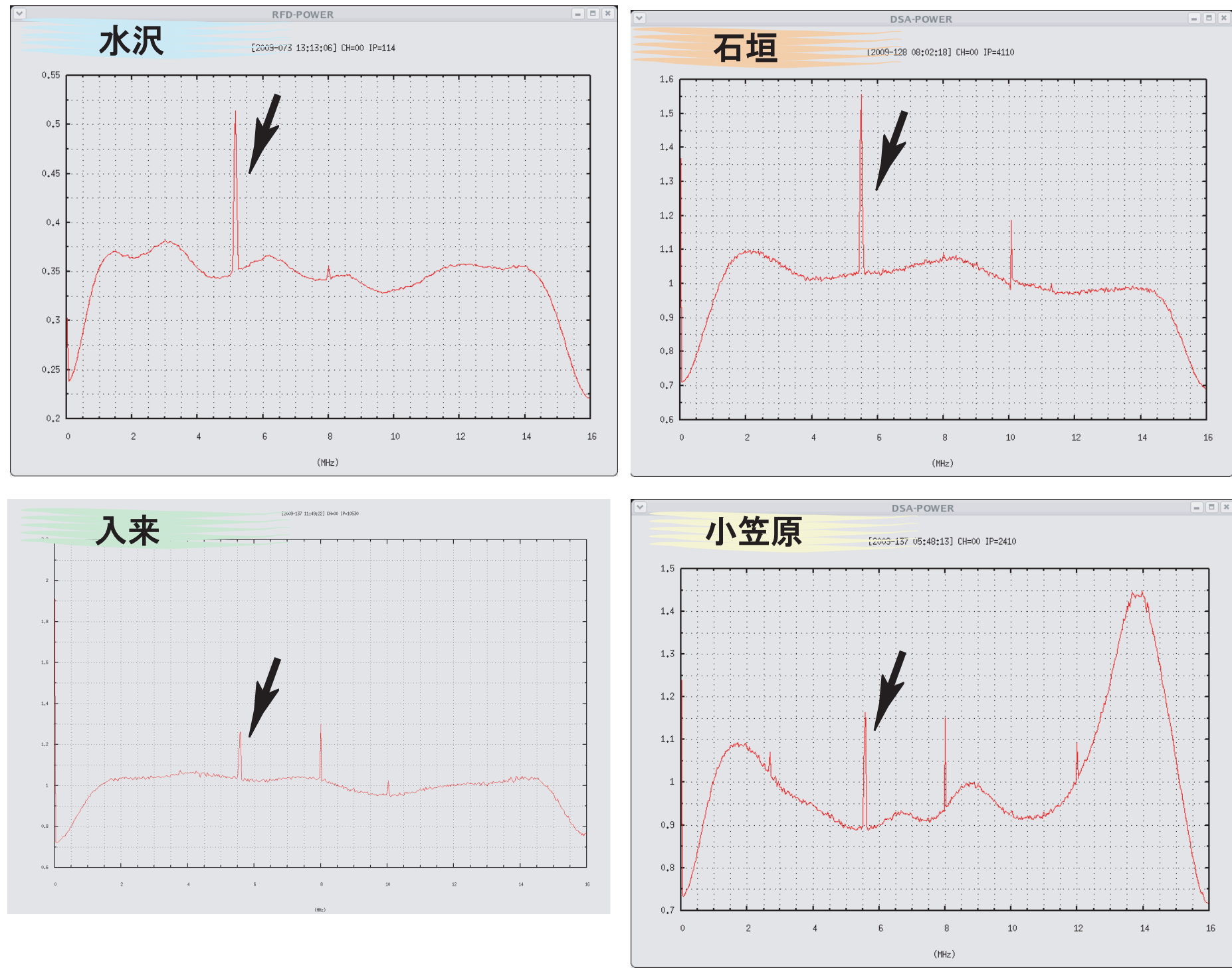


図1 分光観測結果。矢印で示したのがメタノールメーザーである。入来局は悪天候の中で取られたデータ。

6.7GHz受信機はクラスⅡメタノールメーザーをターゲットとしている。メタノールメーザーは水メーザーに次いで輝度温度が高く、線幅が狭い、寿命が長い、固有運動が小さいなどの特徴がある。また現在にいたるまで、大質量星形成領域でしか検出されていないため、大質量形成のよい指標として期待もたれてる。

6.7GHz帯は大気中の水蒸気の影響を受けにくい、1年を通しての観測や低仰角における観測が容易であることも魅力である。天頂方向の τ は年中0.05ほどである。

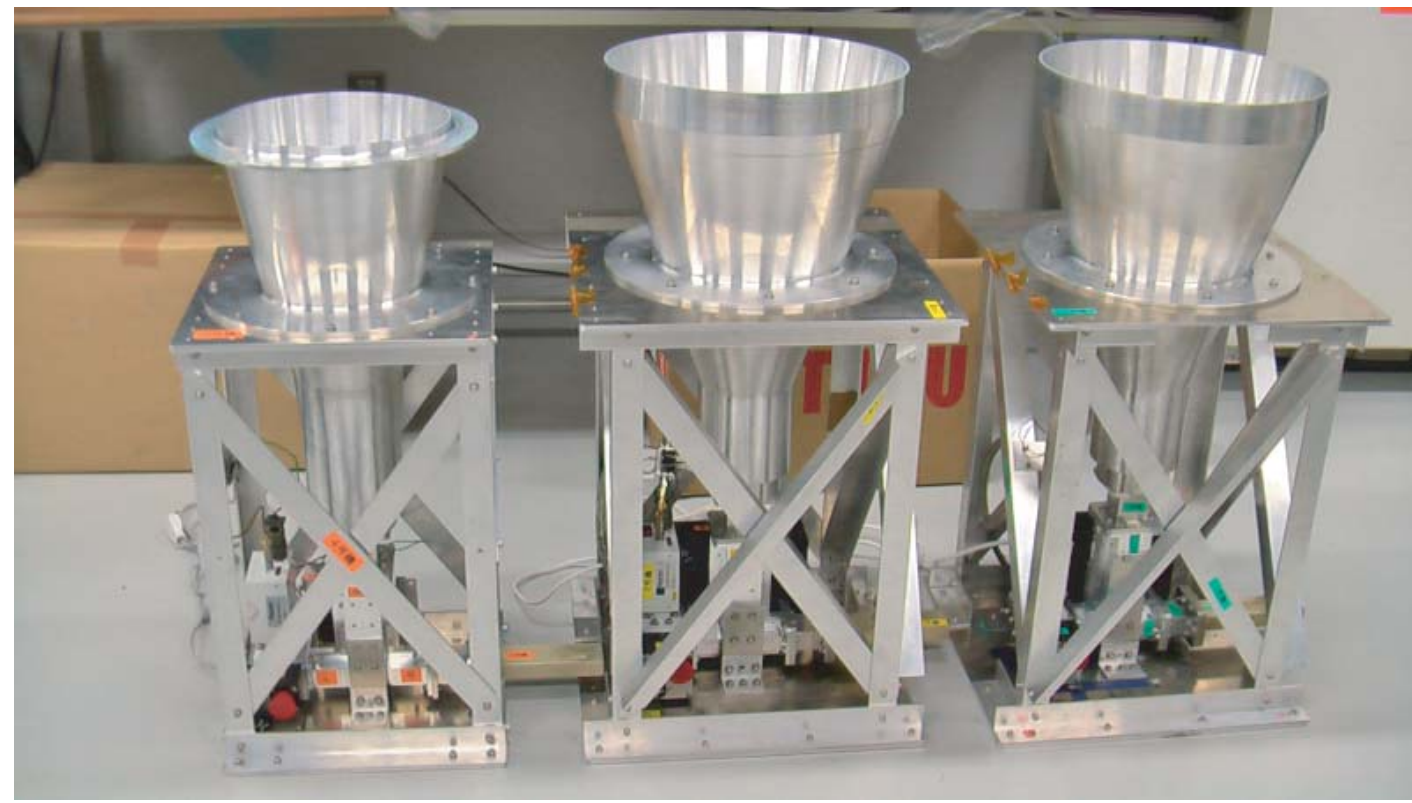


図2 フロントエンドが並んでる様子。左から石垣用、小笠原用、入来用。

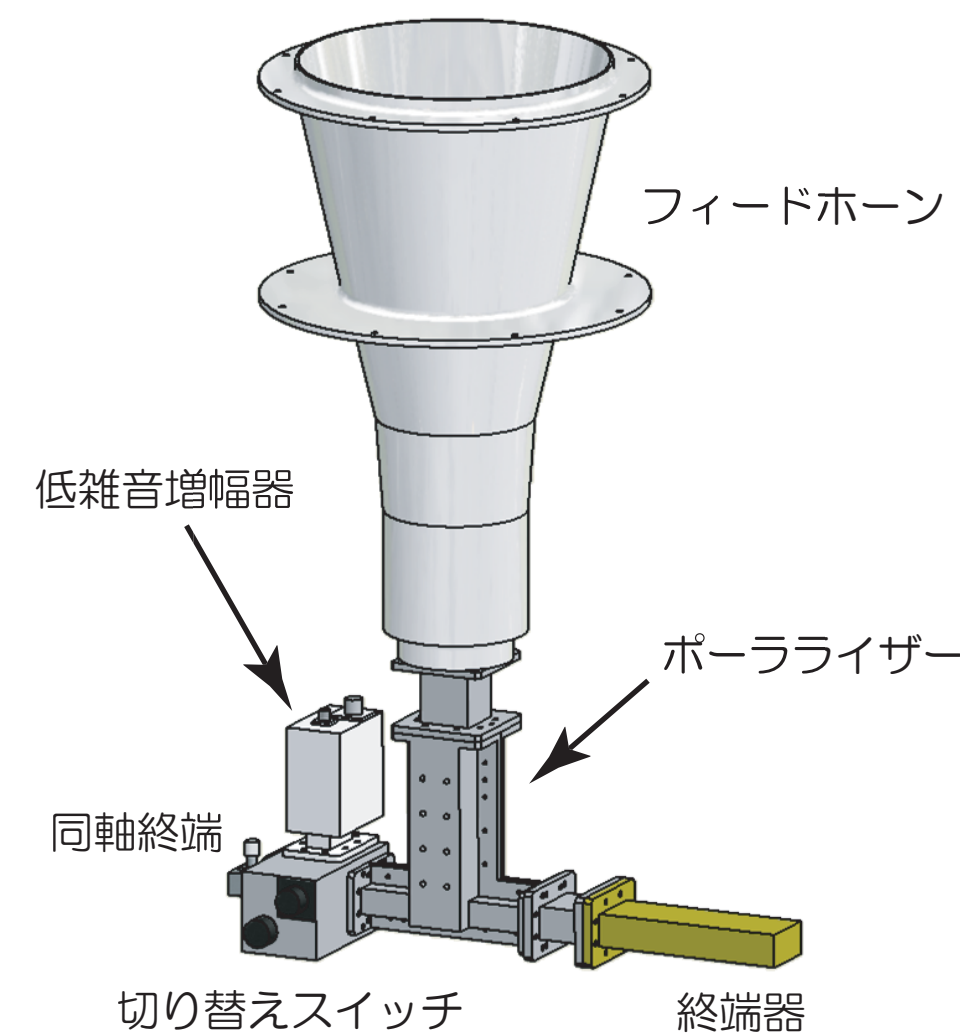


図3 フロントエンド。図は4モードホーン版。

6.7GHz帯受信機（フロントエンド）は図3のような構成になっている。副鏡で反射された電波は直接フィードホーンに給電され、円偏波をポーラライザーで左旋偏波と右旋偏波に分離する。そのあと低雑音増幅器で信号が増幅されて分光計などを含んだバックエンドへと導かれる。また、導波管切り替え器によってskyを見るか終端を見るかを選択でき、切り替えスイッチは観測棟からリモートコントロールすることができる。これによってR-sky法で簡単にシステム雑音温度を測定することができる。

22GHz帯、43GHz帯受信機のホーン開口面は副鏡下のカセグレン焦点面に置かれている。しかし6.7GHz帯受信機は構造上、焦点面に配置するのが難しく、また22G帯ホーンのビームへの干渉問題などからくるスペースの制約が大きい。よってマルチモードホーン（2モード）を採用して小型化を図った。これは入来・小笠原局に搭載中である。水沢・石垣搭載受信機では4モードホーンを採用してさらに小型化したほか、受信機フォルダの小型化・軽量化をおこなった（図2）。従来はコニカルホーンを用いて直線偏波で観測を行っていたために能率が約20%と良くなかった。マルチモードホーンを用いた受信機ではそれぞれ能率53%を達成している。

6.7GHz帯受信機の開発

受信機のスペック

表1 受信機のスペック

周波数帯	6.7GHz
偏波	LHCP・RHCP
受信機雑音温度（Trx）	60K
システム雑音温度（Tsys*）	110K
アンテナ開口能率	53%
ビームサイズ	8.1' × 8.1'

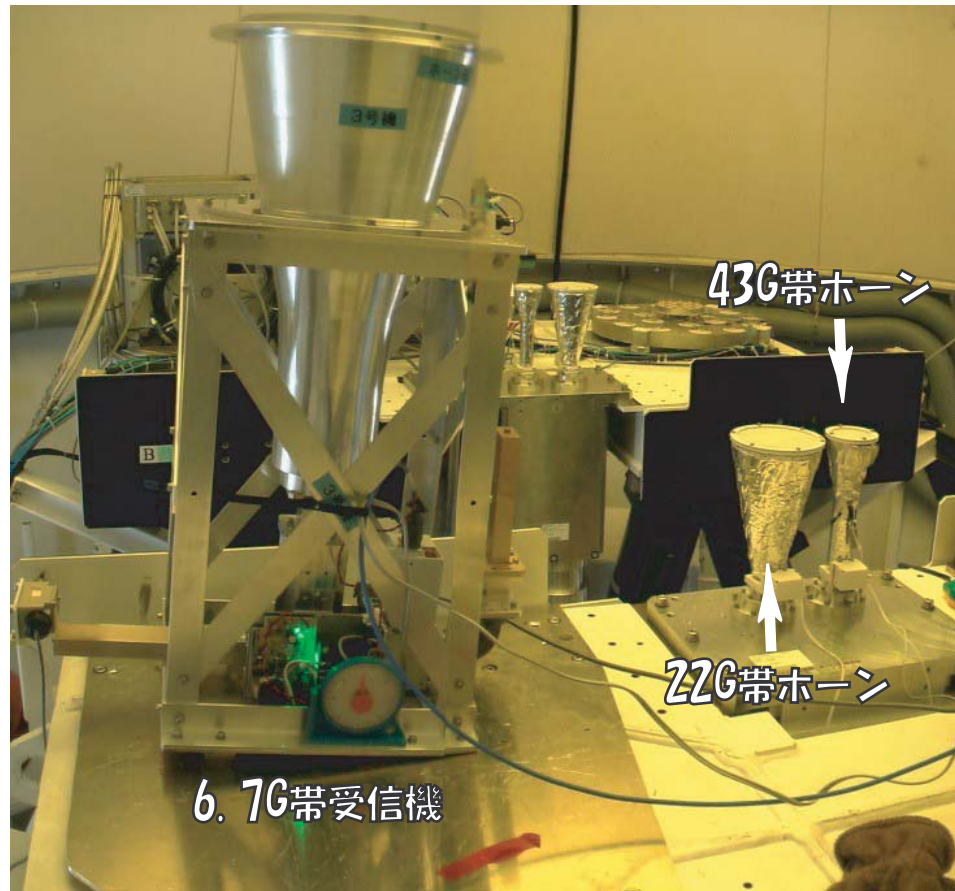


図4 6.7GHz受信機

受信機は図4のように22G帯ホーンの隣に配置され、その特性は表1のとおりである。受信機の位置は22G帯ホーンのビームへの干渉をできるだけ少なくするために可能な限り離している。現在は左旋円偏波のみであるが、ポーラライザーのRHCPポートにLNAを取り付けるだけで容易にフロントエンドの両円偏波化は可能である。

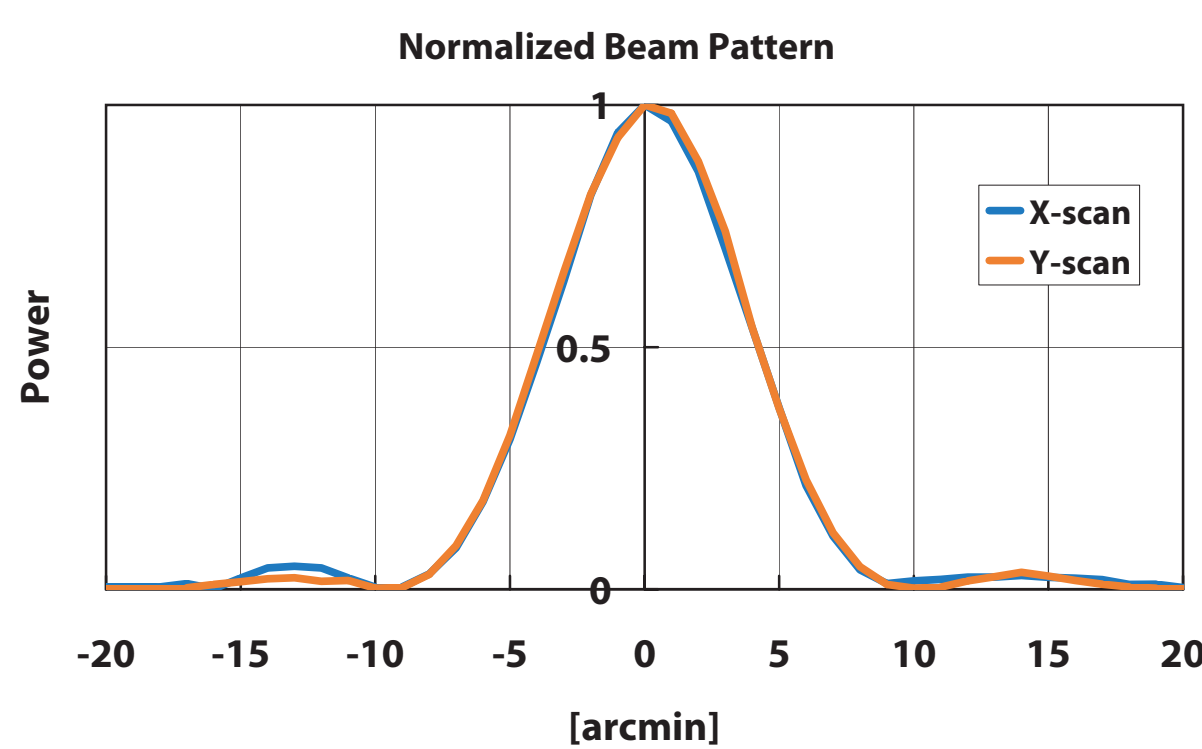


図5 アンテナビームパターン

受信機システム

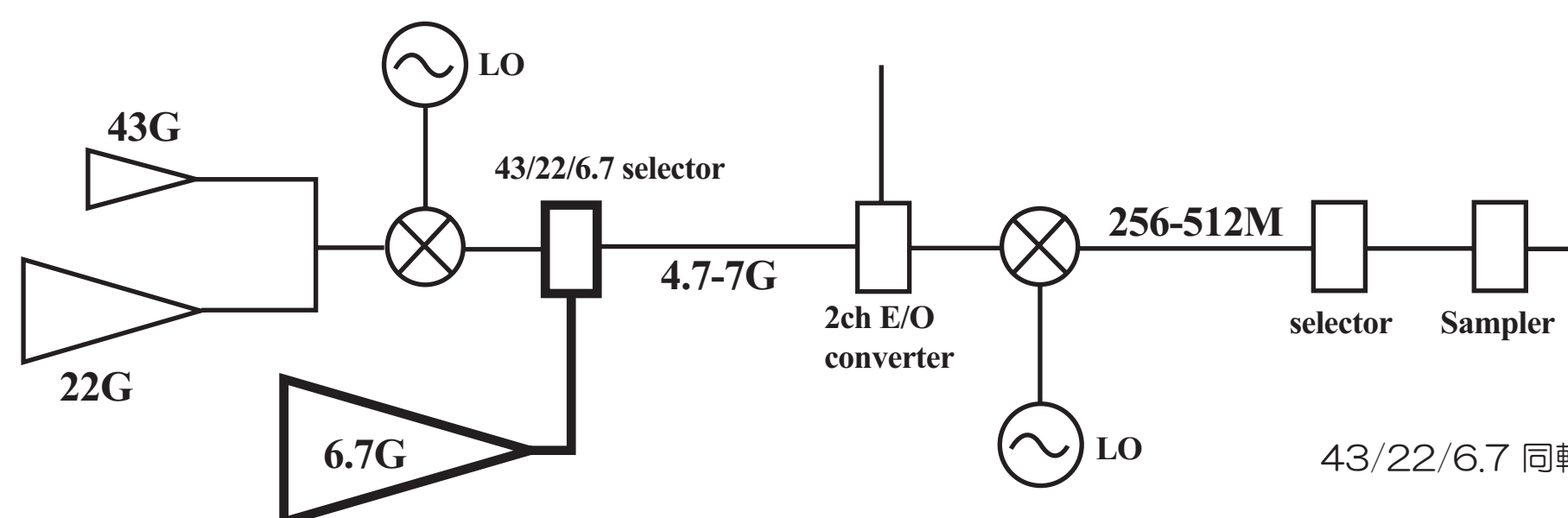


図6 システムブロック図

ブロック図を図6と図7に示す。ホーンに給電された電波はポーラライザーによって円偏波分離された後、導波管切替器を通して低雑音増幅器（LNA）に入力される。サンプリングしたときのビット分布を最適化するためにLNAの後にさらに増幅器で信号を増幅し、BBCで256-512MHzにダウンコンバートされたあとA/D変換される。

この受信機には簡単にR-skyを実行できるシステムを搭載した。これまでの6.7GHz受信機の較正作業はRを見るためにその都度受信機室内に入り、ホーン上面に黒体を設置していたため、効率性と正確性に欠けていた。新受信機の導波管切替器は内部がバンド導波管になっており、電波の伝播経路を変えることができる。Skyを見る場合は図7の赤の矢印のようにポーラライザーからの信号を、Rをみるときは青の矢印のように常温の終端（黒体）からの信号をそれぞれLNAに導く。

同軸切替器では22/43Gの信号と6.7GHzの信号のどちらをBBCに送るかを切り替えることができる。導波管切替器と同軸切替器は観測棟からリモート制御可能である。

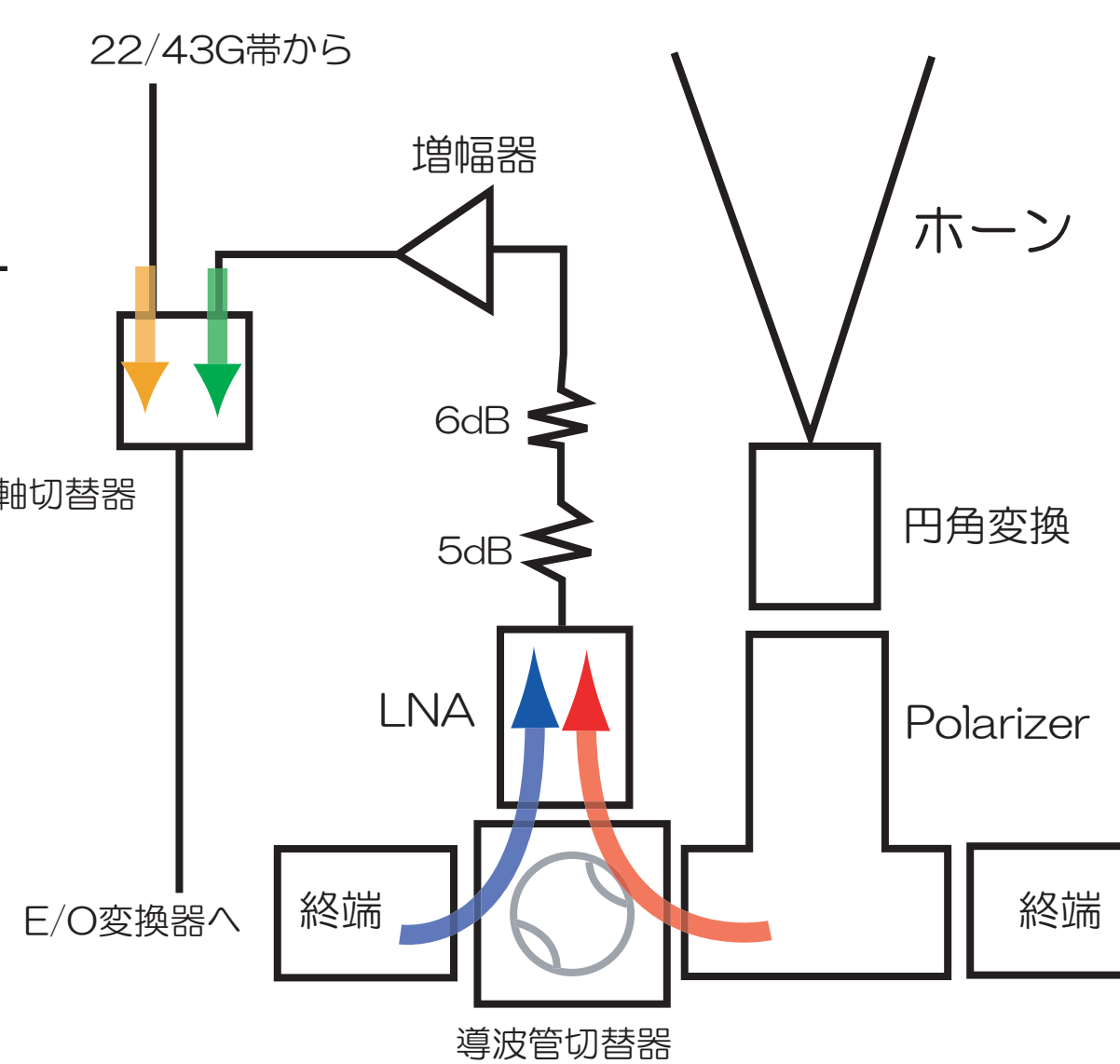


図7 フロントエンドブロック図

マルチモードホーン

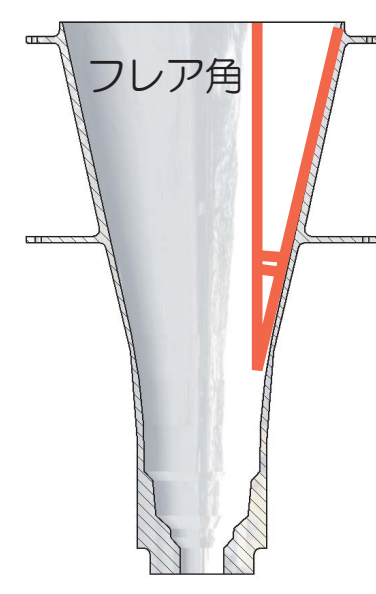


図8 4モードホーンの断面図

マルチモードホーンは直線導波管と異なるフレア角を用いてホーン開口面に高次モードを発生させて合成することにより理想的な開口面電界分布を得るものである（図8）。帯域はコルゲートホーンに及ばないものの、ビームの軸対称性がよく、小型化・軽量化でき、さらに製作費が少なくてすむなど優れた性質がある。

水沢・石垣搭載のホーンは2モードホーンからさらに高次モードを合成する4モードホーンである（氏原、2009年春季年会）。これにより従来のホーンから軸長で約40ミリ、開口直径で約75ミリの小型化に成功した。ホーンの軸長を短くすることで開口面をカセグレン焦点位置に近づけるとともにビームを整形することで能率向上を図っている。物理光学近似による計算では5%の能率向上が見込まれる。また、開口直径を小さくすることで隣にある22GHz帯ホーンへのブロッキング軽減にもつながる。

京大大学生存圏研究所の近傍界測定装置を用い、ホーンのビームパターンを測定した（図9）。4モードホーンの測定結果を図10に示す。

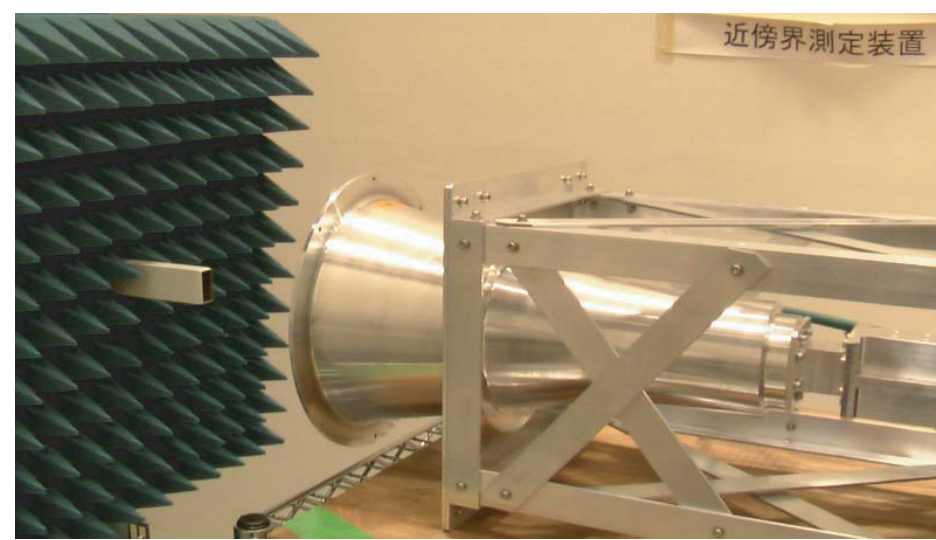


図9 近傍界測定の様子。左にプローブホーンがある。

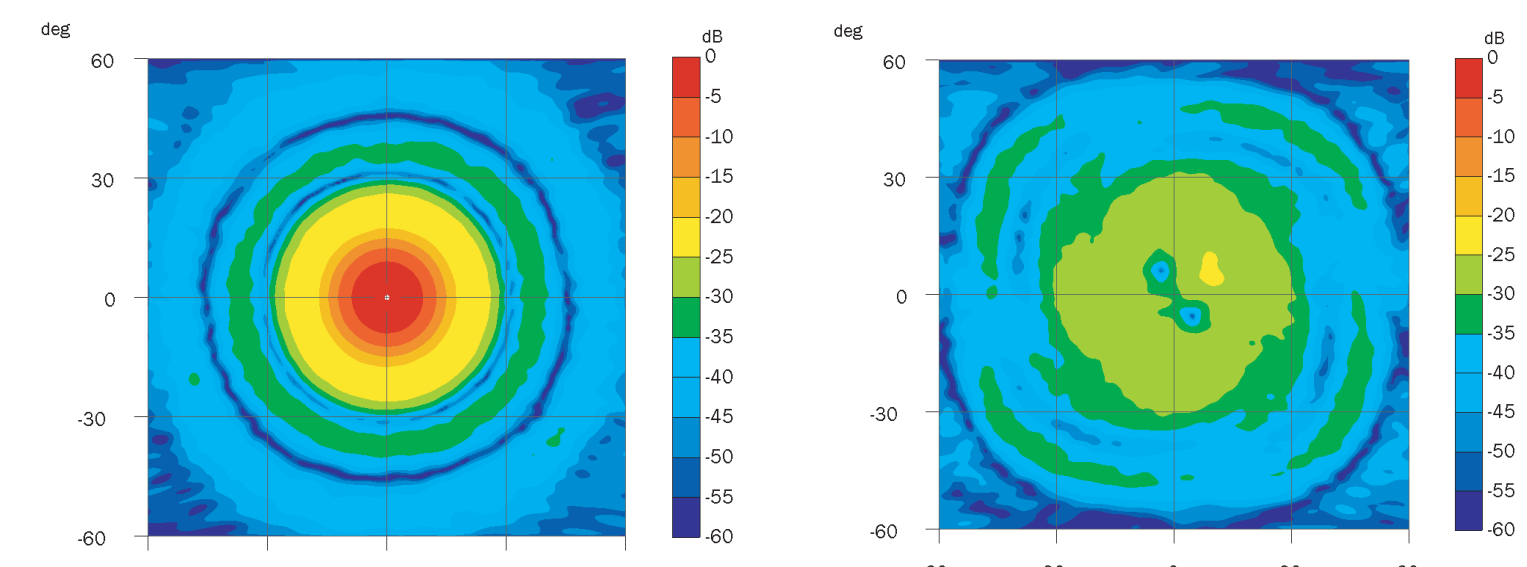


図10 円偏波（LHCP）ホーンパターン。

円偏波ポーラライザー

円偏波分離器は入力される円偏波を左旋偏波と右旋偏波に分離する導波管回路である。本研究で開発した円偏波分離器は3ピース構造で中央に階段状の金属板を挟むセプタム型を採用している。出力導波管サイズはWR-112仕様である。

ポーラライザーは3次元電磁界解析ソフトを用いた有限要素解析によって最適化を行った。

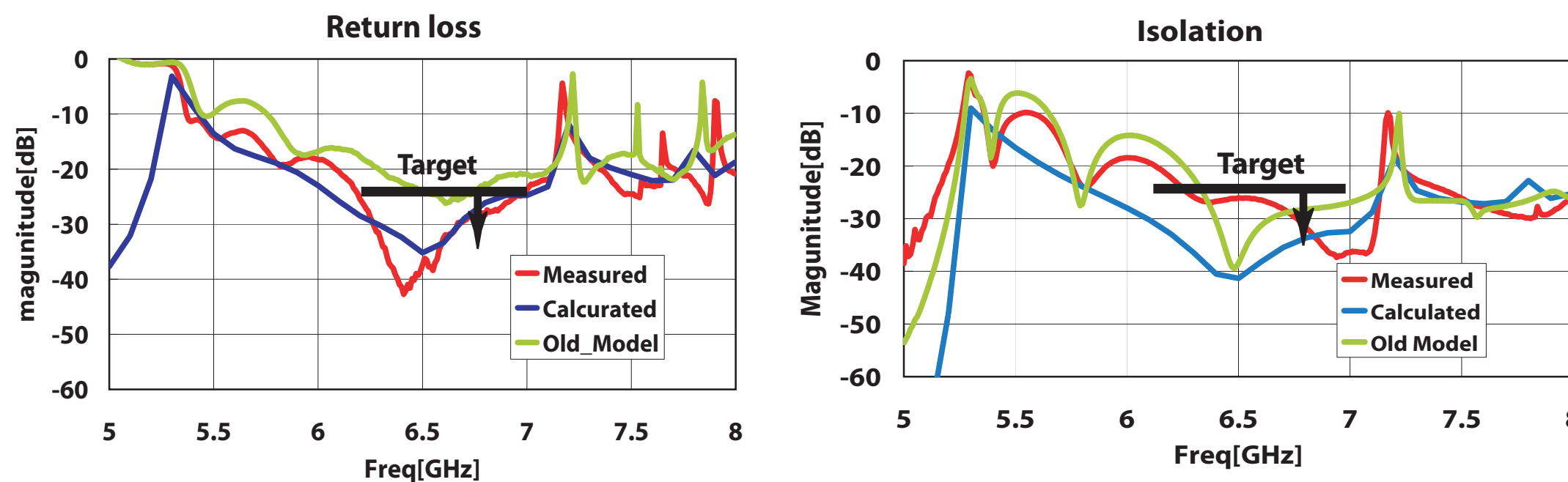


図11 左：入力導波管リターンロス 右：偏波分離度

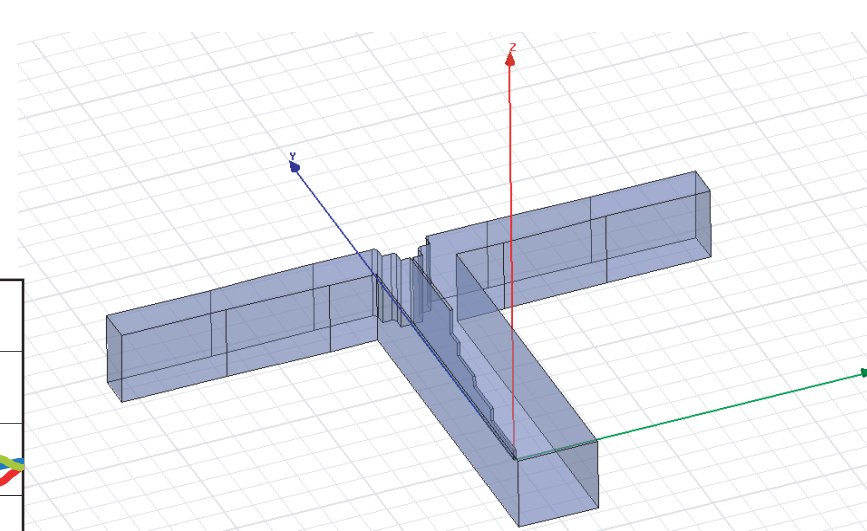


図12 シミュレーションモデル

まとめと今後の課題

・メタノールメーザー用6.7GHz受信機を開発した。入来・小笠原には2モードホーンのものを、水沢・石垣は4モードホーンを採用しさらに小型である。受信機は $T_{sys}=110K$ 、能率53%であり、大幅に性能が向上した。いずれの受信機も導波管切替器が入っており、R-skyを行う時間が短縮され、較正の信頼性も向上した。受信機は現在VERA4局に搭載中である。

・水沢局のみに観測周波数帯に非常に強いスプリアスがみられ、較正に悪影響を及ぼしている可能性がある。現在、IF系に挿入するバンドストップフィルタを製作中であり、テスト予定である。フィルタは集中定数回路で写真と特性を図13に示す。

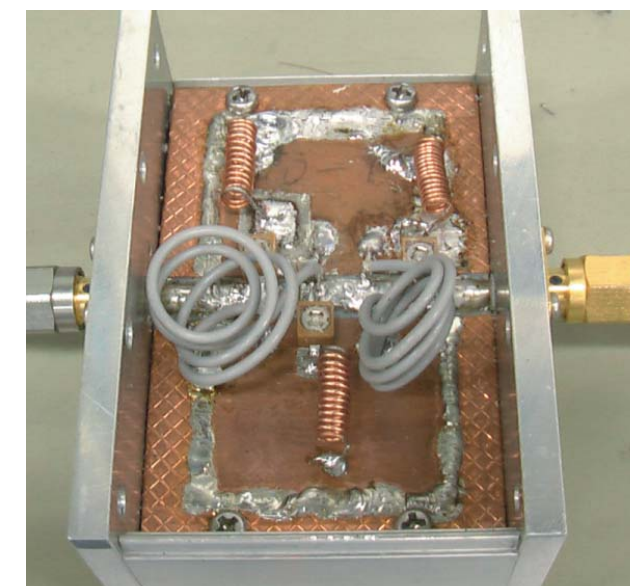
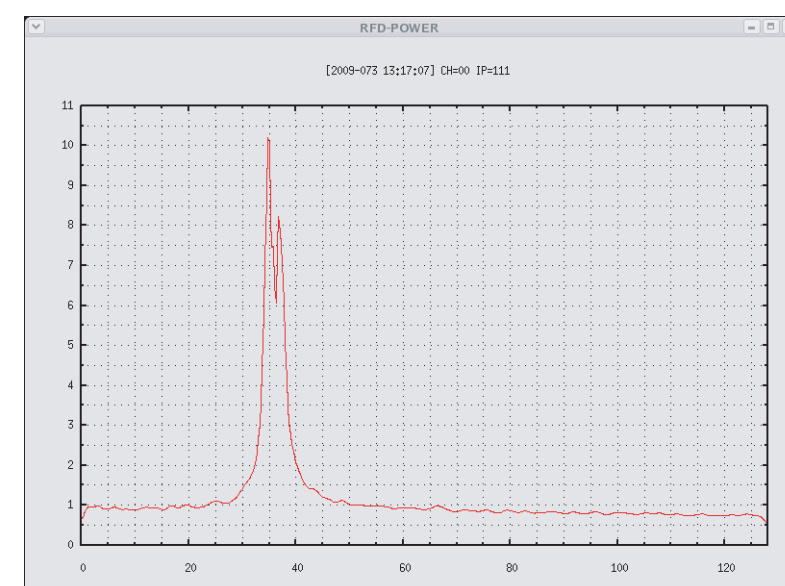


図13 左：スプリアスの現状とフィルタの特性を重ねたもの。右：製作したフィルタ。