

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 5 月 25 日現在

機関番号：24403

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2013～2014

課題番号：25800110

研究課題名(和文) 20～50GHz帯クワッドリッジアンテナを用いた超広帯域フロントエンドの開発

研究課題名(英文) Development of a 20 - 50 GHz band quad ridged horn antenna for radio telescope

研究代表者

木村 公洋(KIMURA, Kimihiro)

大阪府立大学・理学(系)研究科(研究院)・非常勤研究員

研究者番号：10565328

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,100,000円

研究成果の概要(和文)：電波天文学に用いる広帯域受信機の開発を進めた。この受信機の広帯域化を行うために、電波望遠鏡ではほとんど使用されていなかったクワッドリッジアンテナと呼ばれる広帯域アンテナに着眼した。本研究では、20-50GHz帯のクワッドリッジアンテナの設計・製造を行った。また、開発したクワッドリッジアンテナの単体試験を進め、性能の良いアンテナの開発に成功した。さらに望遠鏡に搭載しての総合試験を行うことで、実用化に目処を立てた。

研究成果の概要(英文)：We aimed at development of a wide band receiver for radio astronomy. In order to develop this receiver, we considered to use a quad ridged horn antenna for the primary horn. In this study, we designed and produced a new 20 - 50 GHz band quad ridged horn antenna. The measurement results of this horn beam pattern indicated good performances. Furthermore, we load this horn on a radio telescope and examined it. In these results, we made a prospect of its practical use for radio telescope.

研究分野：電波天文学

キーワード：クワッドリッジアンテナ 電波 広帯域

1. 研究開始当初の背景

近年、低雑音な初段 HEMT 増幅器の開発が進んでおり、~100GHz 帯では十分に実用化が進んでいる。従来は高性能な高周波帯増幅器がなく、給電した天体からの微弱な RF 信号は、超伝導 SIS ミクサで低周波数帯(数 GHz 帯)にダウンコンバートされ、低周波数帯で増幅されていた。この SIS ミクサを用いたヘテロダイン受信方式では、どうしても基準信号に対して upper band と lower band の両サイドバンドが混合して出力されていた(DSB ミクサ)。これを解決するためにサイドバンドセパレーションミクサ方式が開発され ALMA などでは採用されてきた(S.Asayama, 2004, IJIRMW)。しかし、この方式では、二つの DSB ミクサの性能を揃える必要があるため開発が難しく、また経年劣化による受信機性能劣化(特にサイドバンド分離度)が問題になる場合がある。

そこで、給電した信号を最初に SIS ミクサでダウンコンバートするのではなく、RF 帯で性能が向上した高周波数帯 HEMT 低雑音増幅器を用いて増幅することにより、周波数フィルター等の回路を RF 帯に挿入することが可能となり、低雑音かつ高サイドバンド分離性能を持つ受信機が実現できる。さらに HEMT 増幅器のメリットは SIS ミクサ(30%)に対して非常に広い比帯域特性(>100%)を持っていることである。その為、100GHz 以下では従来の SIS 受信機より、低雑音で良サイドバンド分離特性を持った広帯域 HEMT 受信機の実現が期待できる。

しかし、この広帯域 HEMT 受信機を開発するには一つのブレイクスルーが必要となる。従来電波天文学受信機に用いられてきた給電アンテナは一般的にコルゲートホーンやコニカルホーン、マルチモードホーン等のホーンアンテナである。これらのホーンアンテナは比帯域が約 30%以下である。また、広帯域コルゲートホーンや複数の周波数帯に対応した給電システムも存在するが、反射特性が VSWR3 程度(リターンロス 6dB)と悪かったり、装置が大きくなってしまったりと、既存の望遠鏡に搭載するには非常に不都合である。

このコンパクトかつ広帯域を達成するアンテナとして、近年 VLBI2010 や SKA などでも検討されていたクワッドリッジアンテナ(図 1)(Vicente Rodriguez, 2011, EMC DIRECTORY & DESIGN GUIDE 2011 など)に注目して、広帯域受信機システムを目指す。



図1 既存のクワッドリッジアンテナ (OrientMicrowave 製)

2. 研究の目的

20GHz~50GHz 帯には、水メーザー(22GHz) や SiO メーザー(43GHz)などの重要な輝線が多数存在する。これらのメーザーはブラックホールや星形成領域等の解明 (James O. Chibueze, 2012, AJ)に重要な役割をもっている。また、位置天文学としても一般的に用いられている(N. Sakai, 2012, PASJ など)。現在、VERA20m 電波望遠鏡にはこれらのメーザーを観測するために、20GHz 帯と 40GHz 帯の受信機がそれぞれ搭載されている。これらの受信機以外にも VERA20m 電波望遠鏡には様々な受信機が搭載されているため、新たに受信機を設置するスペースが限られている(図 2)。



図2 VERA 20m鏡内部の受信機の配置

よって、超広帯域受信機の実現を行い従来 2 台の受信機で行われていた観測を 1 台で行うことは、受信機設置スペースの節約であり、観測効率の向上に加えて、運用面でも非常に効果的である。また、この開発は野辺山 45m 電波望遠鏡にも応用が可能であり、受信機設置場所がほぼ埋まっている野辺山 45m 鏡の受信機設置スペースを節約することは、他目的(他周波数帯)のユニークな受信機の実現および設置にも繋がることが予想される。この 20GHz~50GHz 帯をカバーする広帯域受信機を実現するため、クワッドリッジアンテナを用いた広帯域受信機の実現を進める。

このクワッドリッジアンテナは、2 対のリッジアンテナから構成されており、リッジの根元において RF 信号を給電し、同軸系で出力している。特長としては、広帯域(比帯域 100%以上)であり、直交 2 偏波を分離して出力できることである。その為、直交偏波分離器(OMT)を用いなくても両偏波同時観測が可能である。また直交両偏波を観測することで、バックエンドの処理により右旋、左旋の両円偏波へと変換することも可能である。よって、VLBI 観測にも十分使用することがで

きる。このクワッドリッジアンテナは既に民生品として実用化されており、広帯域特性が示されている。しかし、反射特性 VSWR が 2(リターンロス約 10dB)程度と宇宙からの微弱な信号を給電するアンテナとしては非常に悪い(例: コルゲートホーン VSWR1.1 以下(リターンロス-26dB 以下など))。そこで、反射特性を特に考慮したクワッドリッジアンテナの設計および開発を進める。

次に、この開発したクワッドリッジアンテナを用いた受信機の開発を進める。初段の低雑音増幅器には民生品を用いて迅速に開発を進め、また IF 系の開発の設計を工夫し多周波数同時観測や広帯域連続波によるファラデーローテーション観測等に対応した受信機を開発する。

これらの受信機は、VERA 以外の電波望遠鏡にも応用可能であるため、VERA に限らず多くの望遠鏡への搭載を検討する。

3. 研究の方法

(1)20-50GHz 帯クワッドリッジアンテナの開発。

OrientMicrowave 社のクワッドリッジアンテナのアンテナビームパターン測定を行い、また、同形状のアンテナモデルを電磁界シミュレーターを用いて解析を行い、比較検討を行った。この作業により、クワッドリッジアンテナのシミュレーション方法の確立を行った。次に、実際に開発を行う 20-50GHz 帯クワッドリッジアンテナの仕様検討を進め、リターンロス-20dB 以下を目指すことを決定した。これらを踏まえて、電磁界解析による 20-50GHz 帯クワッドリッジアンテナの設計を進めた。

(2)クワッドリッジアンテナの近傍界領域における回折・反射の影響の検討。

低雑音な受信機システムを達成するためには、受信機は冷却する必要がある。電波天文用受信機等では、Dewar と呼ばれる真空断熱容器に受信機全体を入れて冷却する。そして、電波信号の取り入れには、Dewar 側面にあけた窓を通じて行う。しかし、この窓は、Dewar 内の真空を保つために、カプトン等が貼られており、大気圧に構造的に耐える必要がある。また、窓に張ったカプトンが真空の力で引っ張られ、たわんでしまう。その為、窓ぎりぎりにアンテナを設置することができない。これに対して、クワッドリッジアンテナは、その形状からアンテナ放射パターンが比較的広角になる。よって、電波伝搬的には窓の近辺にクワッドリッジアンテナを設置したいが、構造的には窓から少し離れた位置に設置するしかない。そこで、窓の位置を変えられるジグを製作して、窓や Dewar 側面の反射や回折の影響を測定した。この実験の結果は、今後の Dewar 設計にフィードバックされる。

(3)アンテナに搭載してのクワッドリッジアンテナの評価。

電波望遠鏡に開発したクワッドリッジアンテナを搭載して評価を進める。既存の電波望遠鏡に搭載する準備として、まず、口径 1.5m のパラボラ光学系のアンテナの開発を行った。このパラボラ焦点位置に開発したクワッドリッジアンテナを 1 次放射器として設置し、天体や人工衛星の信号を受信し、アンテナおよび受信機の性能評価等を進める。

4. 研究成果

(1)20-50GHz 帯クワッドリッジアンテナの製作。

シミュレーションおよび作図した 20-50GHz 帯クワッドリッジアンテナの開発を行い、製造に成功した(図 3)。



図 3 20-50GHz 帯クワッドリッジアンテナ

開発したクワッドリッジアンテナのビームパターン測定を行った結果を図 4 にしめす。

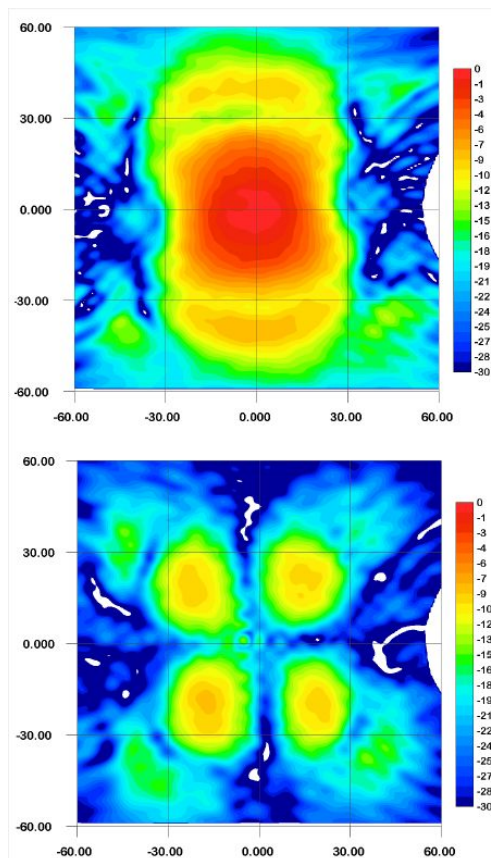


図 4 20GHz におけるアンテナビームパターン実測(上: 主偏波、下: 交差偏波)

(2) クワッドリッジアンテナの近傍界領域における回折・反射の測定。
クワッドリッジアンテナを Dewar に模した筒内に設置して、筒の開口とホーンの開口の距離を変えながら、ビームパターン測定を行い、その反射や回折の影響を実測した。この測定には、既存の低周波帯のアンテナを使用した。また、測定と並行してシミュレーションも行い、電磁界伝播の様子を確認した。図5には電磁界解析による電磁伝播の様子を示し、図6には、電波暗室での近傍界ビームパターン測定の様子を示す。それらの結果から、Dewar 内部の反射の影響等の検討が進んだ。

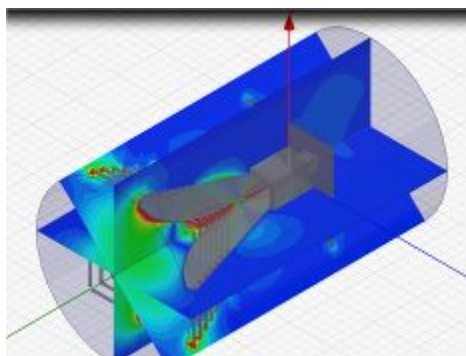


図5 クワッドリッジを Dewar 内に挿入した場合の放射パターンの有限要素解析のシミュレーション結果

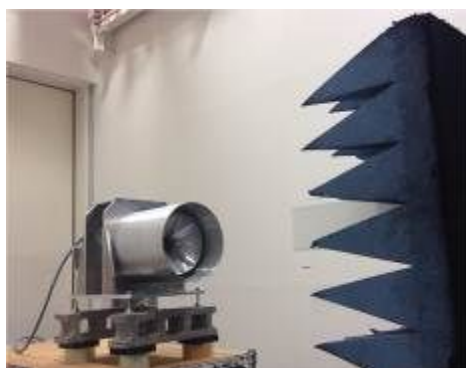


図6 電波暗室内においての、近傍界平面スキャンによる、クワッドリッジアンテナビームパターン測定の様子。左側の Dewar に模した筒内に比測定物であるクワッドリッジアンテナを設置し、反対側のプローブホーンを平面状に走査することでビームパターンを測定した

(3) 1.5m 電波望遠鏡の開発およびクワッドリッジアンテナ搭載試験。
開発を行った 20-50GHz 帯クワッドリッジアンテナを府大構内の 1.5m 電波望遠鏡に設置し、電波望遠鏡としての評価を進めた。まずは、太陽強度(連続波)の観測を行い、システムとして機能していることを確認した。今後は、20GHz 帯に強度が強い信号がある人工衛

星の輝線の観測を進める。また増幅系、中間周波数系の整備を進め、微弱な天体からの観測を行い、電波望遠鏡システムとして成立することを確認したい。これらの成果を元に、実際に天体観測を行っている電波望遠鏡搭載を目指す。

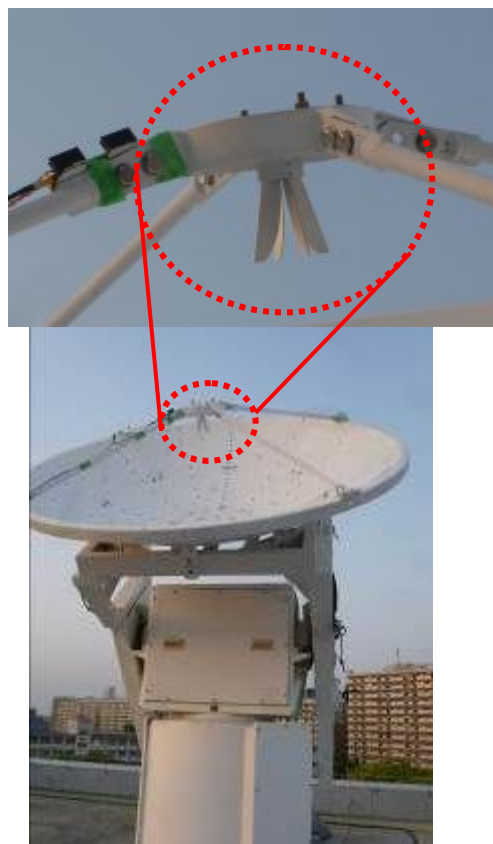


図7 1.5m 電波望遠鏡のパラボラ焦点位置に開発した 20-50GHz 帯クワッドリッジアンテナを搭載しての、電波観測実験

5. 主な発表論文等

[学会発表](計 1件)

木村公洋(大阪府立大学/KEK)ほか、VLBI2010 用光学系の計算および広帯域クワッドリッジアンテナの近傍界測定、日本天文学会 2013 年秋季年会、2013/9/11、東北大学(宮城・仙台)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

木村 公洋 (KIMURA, Kimihiro)
大阪府立大学・理学系研究科・非常勤研究員

研究者番号：10565328