

電波天文用広帯域フィードの開発

氏原 秀樹[†] 長谷川 豊 木村 公洋 小川 英夫[‡] 川口 則幸^{††}大田 泉^{††} 貴島 政親^{†††} 三谷 友彦^{†††}[†]情報通信研究機構 時空標準研究室/鹿嶋宇宙技術センター 〒314-8501 茨城県鹿嶋市平井893-1[‡]大阪府立大学大学院理学系研究科物理科学専攻 〒599-8531堺市中区学園町1-1^{††}国立天文台水沢VLBI観測所 〒023-0861 岩手県奥州市水沢区星が丘町2-12^{†††}甲南大学 〒658-0072 兵庫県神戸市東灘区岡本8-9-1^{†††}和歌山大学宇宙教育研究所 〒640-8510 和歌山県和歌山市栄谷930番地^{†††}京都大学生存圏研究所 〒611-0011 京都府宇治市五ヶ庄E-mail: [†]ujihara@nict.go.jp

あらまし 鹿島34mアンテナ用広帯域フィードを開発し、試作と測定を行った。VGOS, SKAなどの広帯域測地VLBI, 電波天文など広帯域受信システムを必要とする他のプロジェクトへの応用も可能である。

キーワード VGOS, VLBI, SKA, 電波天文

Development of Wideband Feed for Radio Astronomy

Hideki UJIHARA[†], Yutaka HASEGAWA, Kimihiro KIMURA, Hideo OGAWA[‡]Noriyuki KAWAGUCHI^{††}, Izumi Ota^{††}, Masachika KIJIMA^{†††} and Tomohiko MITANI^{†††}[†]Space-Time Standards Group, National Institute of Information and Communications Technology ,
893-1 Hirai, Kashima, Ibaragi, 314-8501 Japan[‡]Graduate School of Science, OSAKA Prefecture University, 1-1 Gakuen-cho, Nakaku, Sakai, Osaka, 599-8531 Japan^{††}Mizusawa VLBI Observatory, National Astronomical Observatory, 2-12 Hoshigaoka-cho, Mizusawa-ku, Oshu, Iwate
023-0861^{†††}KONAN University, 8-9-1, Okamoto, Higashinada, Kobe, 658-0072 Japan^{†††}Institute for Education on Space, Wakayama University, 930 Sakaetani, Wakayama, 640-8510 Japan^{†††}Research Institute for Sustainable Humanosphere, Kyoto University. Gokasho, Uji City, Kyoto, 611-0011 JapanE-mail: [†]ujihara@nict.go.jp

Abstract Wideband feeds for Kashima 34m antenna was developed and their beam patterns were measured at METLAB. VGOS and SKA needs wideband feeds for their receiver systems. Thus these feed will be arranged for these projects.

Keyword VGOS, VLBI2010, SKA, Radio Astronomy

1.鹿島における広帯域フィードの開発

現在、測地VLBIでは従来のS/X帯(2GHz/8GHz)による観測から2-14GHzへ大幅に受信帯域を広げたVGOS/VLBI2010への移行が始まっていて、各国でVGOS仕様のアンテナの建設が進められている。電波天文においても1平方kmの大集光力を目指すSKAの建設地が決まり計画が具体化してきた。SKAでは1-10GHzが受信可能な広帯域フィードが望まれている。また、NICTの鹿島ではVLBIによる時刻比較実験のために広帯域フロントエンドの開発を進めており、アンテナ周辺のRFI環境と周波数配列の0冗長性、フィードの実現可能性を考慮して実験目的に特化した仕様を策定し、Gala-Vと名付けて技

術開発を進めている。これに対応した鹿島34mアンテナ用フィードはイグアナフィードと名付けられ、現在制作が進められている。受信帯域が広いために入れ子構造とした(図1)。低域側と広域側で出力ポートも分かれLNAも独立しているが、これらはLNAで増幅後に合成されて観測室まで伝送される。

開発初期の周波数帯域に比べ現在の周波数帯域は大幅に拡張されている(表1)が、これはシミュレーション用計算機の性能向上により帯域拡張の目処がたったためである。測地VLBIで使われているS/X帯だけでなく、メタノール・メーザの6.7GHz/12.2GHz帯の同時観測も可能となり、電波天文用としても成果もおおいに期待される。

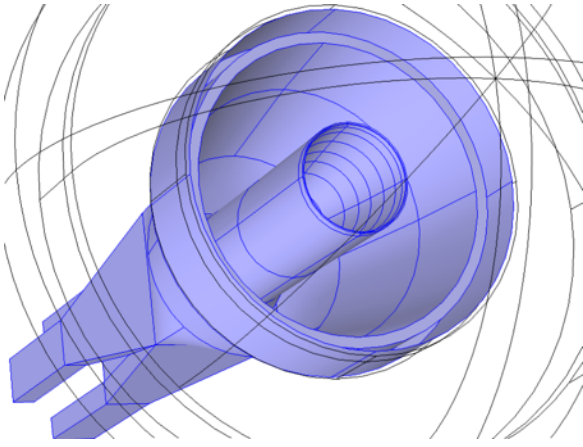


図1. イグアナフィードのCOMSOLでの3次元モデル

	母フィード	娘フィード
初期仕様	3.2-6.4GHz	9.6-11.2,12.8-14.4GHz
現状仕様	2.2-6.4GHz	6.4-16GHz(WRD580)

表1. イグアナフィードの受信周波数

2. 試作フィードの設計

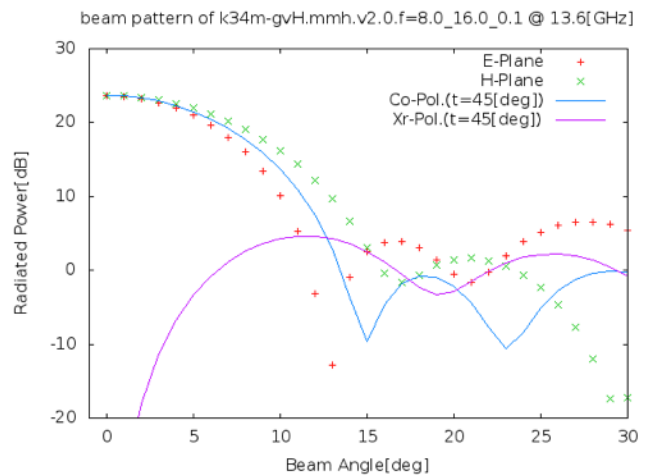
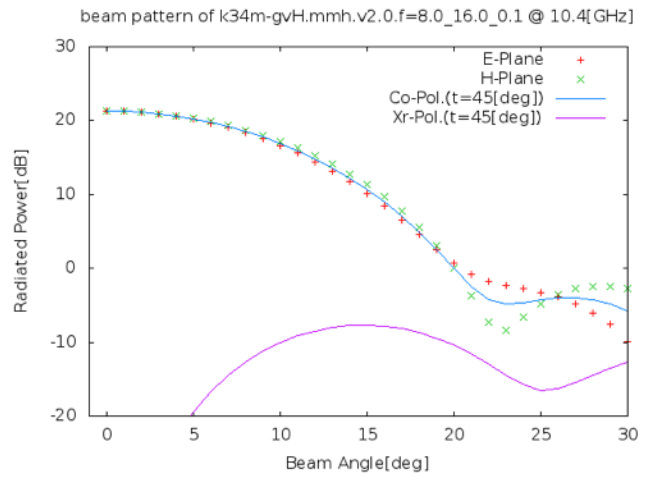
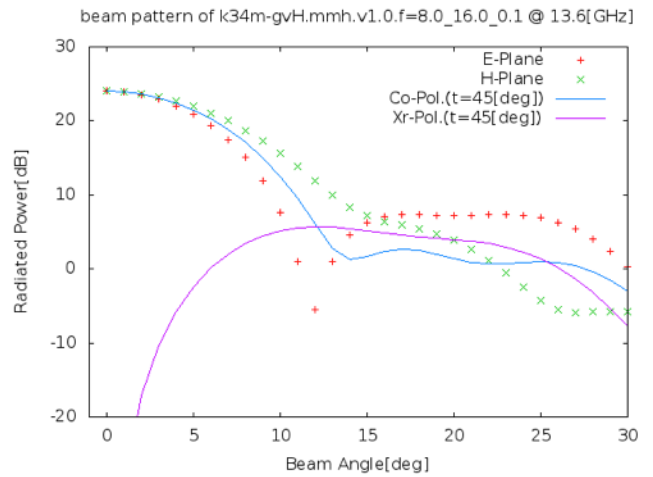
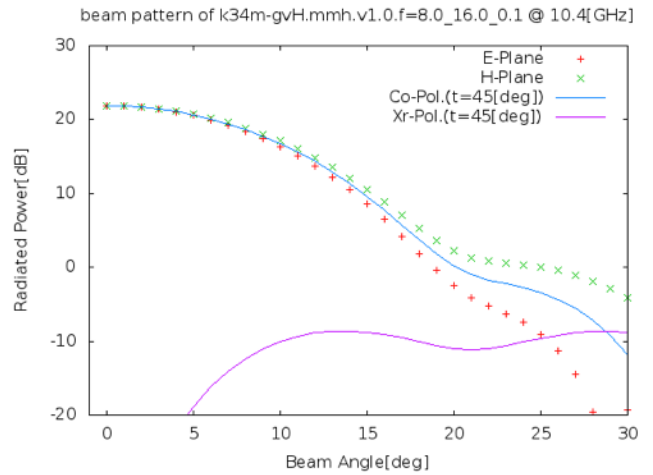
開発中のイグアナフィードは同軸の入れ子構造であり、外側のフィードは母フィード、中のフィードは娘フィードと呼ばれている。娘フィードは肉厚を薄くでき、コルゲートホーンに比べて簡素な構造で低交差偏波で軸対称性の良いビームが実現できる多モードホーンとした。これまで開発してきたASTOR-G/VSOP-2, VERA, 上海天文台用の多モードホーンは6.7/8GHz帯に対応していたが、これらの設計をもとに帯域を拡張した。しかし、これまでよりも格段に帯域が広がったためビームの軸対称性や交差偏波特性は犠牲になっている。

図2に測定中の試作娘フィード、図3にCHAMPで計算したビームパターンのシミュレーションの結果の一部を示す。



図2. METLABで測定中の試作娘フィード

図3. 上からVer.1:10.4GHz,13.6GHz,Ver2:10.4GHz,13.6GHz



今年度は開口径の違う2本の試作娘フィード(Ver1,2)の性能評価を行った。Ver1の開口径は132mm, Ver2は120mmとし開口径を若干小さくしてビームを太めにした。周波数が高くなるほど鏡面精度の誤差による開口能率の低下があるが、フィードのビーム形状を高域側で最適化して能率低下を補償することを狙った。ビーム幅は34mアンテナにかつて搭載されていたC-Band:5GHz,10GHz用コルゲートホーンのビームパターンを参考にして決定した。

3. 試作フィードの測定結果

直線2偏波受信が最終的なフィードの仕様だが34mアンテナから観測庁舎までの広帯域RF信号伝送系は現在1偏波分しかない。もう1偏波分の伝送系が整備されるまでは片偏波のみで観測するので、直線片偏波用の導波管変換器を制作してビーム形状の測定を行った。測定結果を図4に示す。

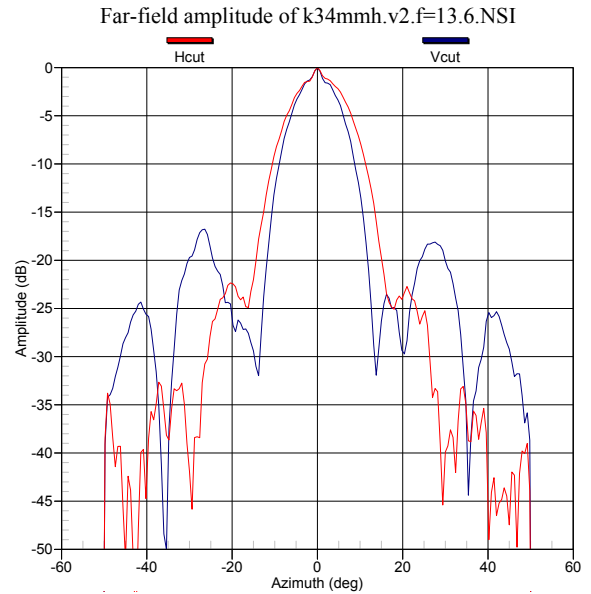
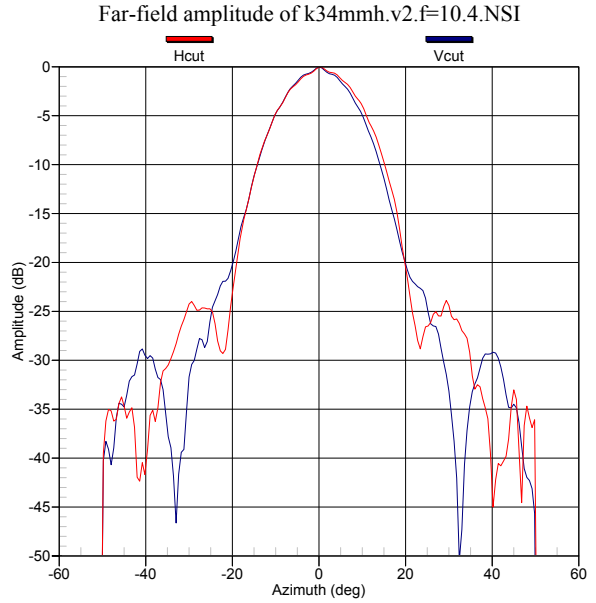
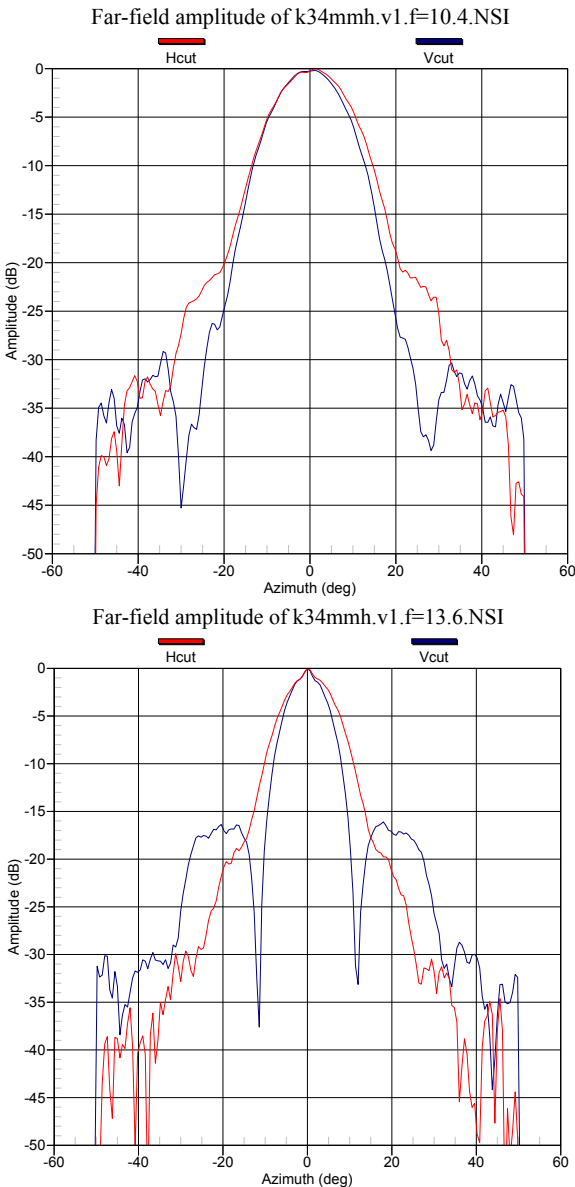


図4. 左列はVer.1:10.4GHz,13.6GHz,
右列はVer2:10.4GHz,13.6GHz

導波管変換器は6.7GHzに対応するものを作成し、測定に使用したが、どちらのフィードも高域側でビームのピークに変形が見られる。遮断周波数を8GHzとした変換器と組み合わせた場合の測定結果を次項の図5に示すが、こちらでは変形が見られない。よって図4に見られるビームの変形は6.7GHz用変換器内での意図せぬ高次モードに起因すると考えられ、将来的には設計の改良が必要である。現時点ではGala-Vでもメタノールメーザ観測でも支障はないので、当面は変換器の交換で対処することにする。

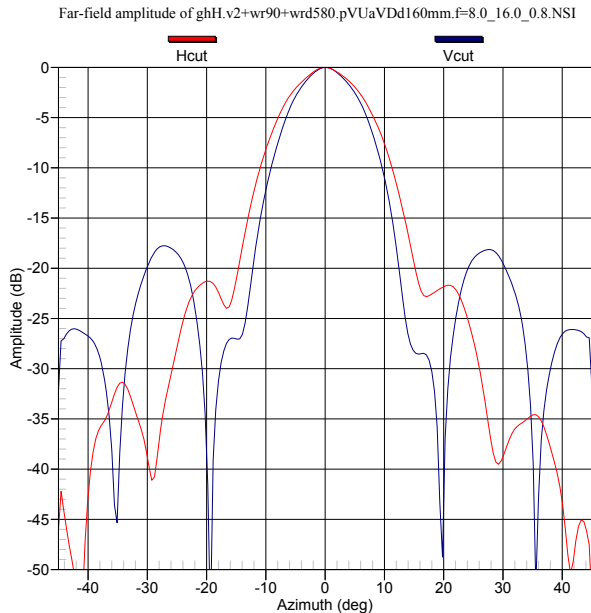


図5. 遮断周波数8GHzの導波管変換器を使用したときのVer2フィードのビームパターン。周波数は13.6GHz

4.今後の予定

試作娘フィードは2013年末に鹿島34mアンテナに搭載され(図6)、試験観測を行い、メタノールメーザの6.7GHz/12GHz同時受信に成功した。時刻比較実験、VGOS対応、及び、国内VLBI網への参加など幅広い応用を目指して広帯域受信システムの開発を進めていきたい。

フィードに関しては片偏波用の導波管変換器の帯域拡大とともに、両偏波対応のための偏波分離器を開発する予定である。また、現状は娘フィードの同軸導波変換器にWRD580を使用しているが、娘フィードは6.4GHz以下を通さないことにしたのでWRD650に交換するとともに変換器の構造を見直して、まずは高域側でシミュレーション通りのビーム形状が得られるようにしたい。大型カセグレンアンテナの広帯域化は世界初の頃恋である。鹿島の34mアンテナで十分な性能が確認できれば、国内外を問わず他の大型カセグレンアンテナへの応用も期待される。

7.謝辞

メタノール同時受信対応化においては国立天文台共同開発経費(代表:藤沢健太)のサポートを受け、性能測定にはMETLABを利用しました。

娘フィード、導波管変換器の制作はNICT試作室に依頼しました。

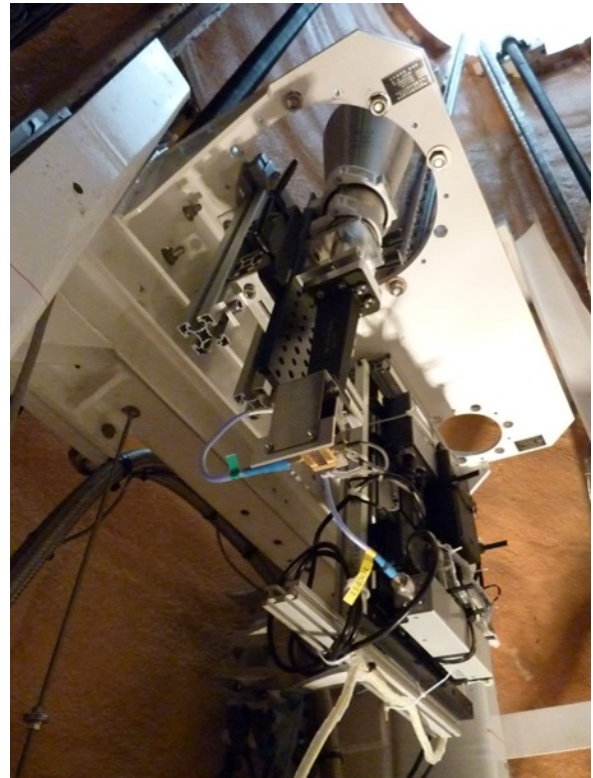


図6. 鹿島34mアンテナに搭載された試作娘フィード(Ver1.)

文献

1. 氏原秀樹ほか, “電波天文用広帯域フィードの基礎開発”, 電子情報通信学会技術報告, SPS-2010-24(2011-3) pp.5-11, Mar., 2011.
2. Nobuhiro KUDO, “Analysis of Microstrip Taper Baluns by FDTD Method”
3. S.N.Pasad and S.Mahapatra, ”Anew MIC slot-line aerial” IEEE, pp.525-527,May 1983
4. Ichikawa, R., A. Ishii, T. Takiguchi, Y. Koyama, T. Kondo, K. Kokado, S.Kurihara, and S. Matsuzaka (2009): “Present Status and Outlook of Compact VLBI System Development for Providing over 10 km Baseline Calibration”, IVS TDC-News October 2009., 30, 22-25.
5. 高木由紀子, 佐藤弘泰, 新井直人, 我妻嘉彦, 沢谷邦男, 水野皓司 “コルゲート構造付広帯域対せき形フェルミアンテナの高利得化” 学技報2003/07
6. Jwo-Shim Sun and Guan-Yu Chen, “The Tapered Slot Antenna”, 2004 4th International Conference on Microwave and Millimeter Wave Technology Proceedings
7. P.J.Gibson, “The Vivaldi aerial,” Proc.9th European Microwave Conf. pp101-105, Brighton,U.K.,Sept. 1979.
8. 佐藤弘泰, 新井直人, 我妻嘉彦, 沢谷邦男, 水野皓司 “コルゲート構造付ミリ波フェルミアンテナの設計”, 電子情報通信学会論文誌pp.1851-1859,2003年9月