

電波天文用広帯域フィードの開発(III)

氏原 秀樹 岳藤 一宏[†] 小川 英夫^{††} 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

^{‡‡} 京都大学生存圏研究所 〒611-0011 京都府宇治市五ヶ庄

E-mail: [†]{ujihara,takefuji}@nict.go.jp

あらまし 鹿島 34m アンテナと小型 VLBI 局用広帯域フィードを開発し、性能測定を行った。VGOS/VLBI2010, SKA など広帯域測地 VLBI, 電波天文など広帯域受信システムが必要な他のプロジェクトにも応用可能である。

キーワード VGOS, VLBI2010, SKA, 電波天文

Development of Wideband Feed for Radio Astronomy(III)

Hideki UJIHARA Kazuhiro TAKEFUJI[†] Hideo OGAWA^{††} 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

^{‡‡}Research Institute for Sustainable Humanosphere, Kyoto University. Gokasho, Uji City, Kyoto, 611-0011 Japan

E-mail: [†]{ujihara,takefuji}@nict.go.jp

Abstract Wideband feeds for Kashima 34m antenna and small VLBI stations were developed and their beam patterns and efficiencies were measured. Thus these feed can be arranged for VGOS, SKA and other wide band projects.

Keywords VGOS, VLBI2010, SKA, Radio Astronomy

1. 鹿島における広帯域フィードの開発

測地 VLBI では従来の S/X 帯(2GHz/8GHz)での 2 波のみでの観測から 2-14GHz へ大幅に受信帯域を広げた VGOS/VLBI2010 への移行が始まり、各国で VGOS 仕様のアンテナの建設が進められている。電波天文では総開口面積 1 平方 km の大集光力を目指す SKA の建設が具体化してきた。SKA では 1.0-10GHz あるいは 0.3-3GHz など最小・最大周波数の比が 1:10 程度の広帯域フィードが望まれている。また、NICT の鹿島では VLBI による遠隔地間の原子時計の精密周波数比較のために鹿島 34m アンテナを含めた既存アンテナシステムの広帯域化を進めている。このプロジェクトは、独自性にちなんでガラパゴス VLBI, 略して Gala-V と呼ばれている。アンテナ周辺の RFI 環境と遅延決定における周波数配列の冗長性、フィードの実現可能性を考慮して実験目的に特化した周波数仕様を策定した。このプロジェクトに対応した鹿島 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、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なっている[1]。受信周波数は Gala-V と、これまで測地 VLBI

で使われてきた S/X 帯を含むだけでなく、メタノール・メーザの 6.7GHz と 12.2GHz も受信可能とし、最小・最大周波数は SKA を意識しつつ水メーザ(22GHz)に届かせるのが最終的な目標である。しかしながら構造が複雑なために完成が遅れているので、入れ子の中になる娘フィードの試作品が 34m アンテナに搭載され、受信周波数 6.5-15GHz で Gala-V や電波天文でのメタノール・メーザの 2 波同時受信試験など各種の観測に使用されてきた。

2. 今年度の進展

既に小型局用に開発した 3.2-14.4GHz 用広帯域フィードを設計変更して鹿島 34m アンテナに搭載することにした(図 1)。

これら、以下の一連の広帯域フィードは設計の柔軟性から NINJA フィードと名付けられ、それぞれのフィードのビーム形状などの特性の評価を METLAB で行った(図 2,3)。イグアナフィードの娘フィードは多モードホーンであったが、このフィードはレンズ付きホーンである。レンズには TPX, あるいはテフロンを使用している。TPX は素材単価が高いが、半

透明である。テフロン製の約半分の比重でしかも滑りにくいので、34mアンテナの機器室内での組み付け・交換・保守などの高所作業での安全性の点で好ましい。34mに搭載した際の開口能率の測定結果を図4に示す。3.2-12.5GHzで能率が30-40%程度であった。全体的な能率がイグアナ娘フィードより低いのはレンズ素材が高いために敢えて厚めのレンズ、すなわちビーム幅を細くしたことと、光軸調整が不十分であるためである。高域側での能率低下は同軸出力に用いているWRD350D36の同軸-ダブルリッジ導波管変換器の特性によるものと思われる。

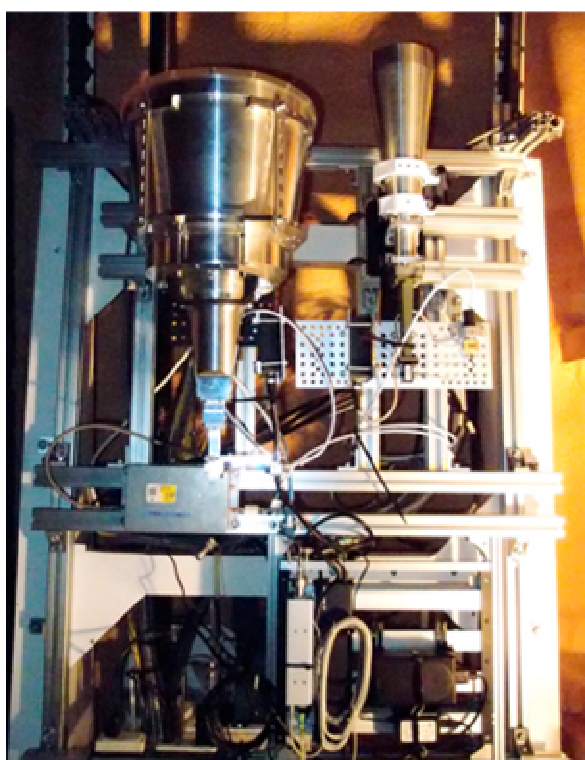


図1. 鹿島34mアンテナ受信機室内のNINJAフィード

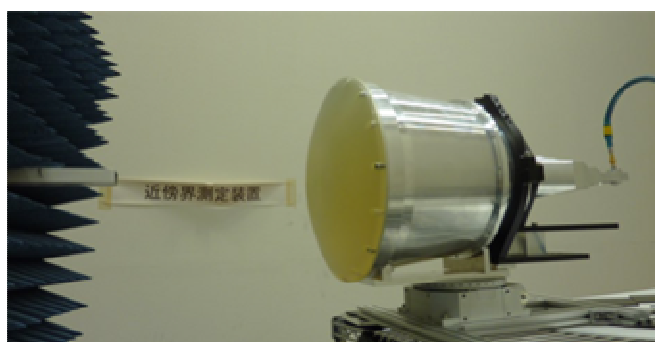


図2. 鹿島34m用NINJAフィード

34mアンテナと共にGala-Vプロジェクトで使用する2台の小型VLBI移動局MARBLEは、現在、口径1.5mと1.6mのパラボラが各1台のみである。これら及びSKAやVGOSなどへの応用のためにパラボラの直焦点で利用できるビーム幅の広い広帯域フィードを2013年度に開発したが、Gala-Vシステム全体の感度向上のために翌2014年度にアンテナ口径を2.4mに拡大できることになった。しかしコストダウンを図る必要があり、既存の型を利用した鏡絞り法で主鏡面を製作することになった。この型に合わせた主鏡曲率は変更できないため、新MARBLEの光学系は双曲面鏡を要するカセグレン式に変更することになり、これに適合するフィードを新たに設計した。これらの改修と設計変更により光学設計は複雑になったが、フィードは主鏡の底に置かれることになり、冷却可能な機器配置となったのは利点である。また、フィードのビーム幅が狭く、ビームの中心と主鏡の縁は回折波などでの結合をしにくいいためVGOSなどのリングフォーカスアンテナに比べてRFI耐性が良いことが期待される。

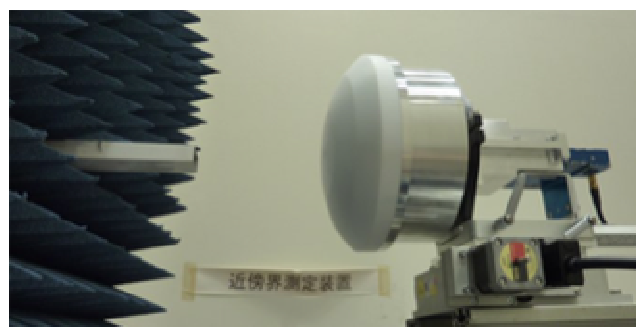


図3. 新MARBLE用NINJAフィード

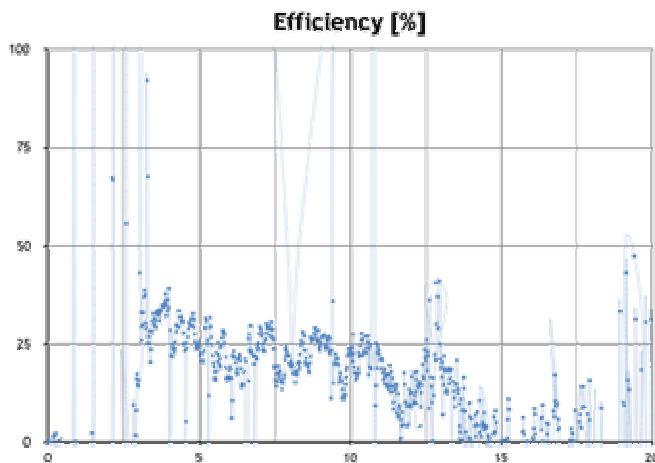


図4. 34m用NINJAフィード
ファーストライト(2015/7/24)での開口能率

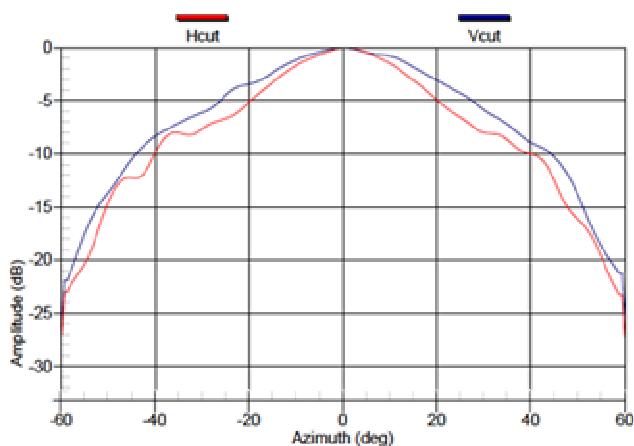


図5. 新MARBLE用NINJAフィードのMETLAB
近傍界スキャナによる遠方界ビームパターン(4.0GHz)

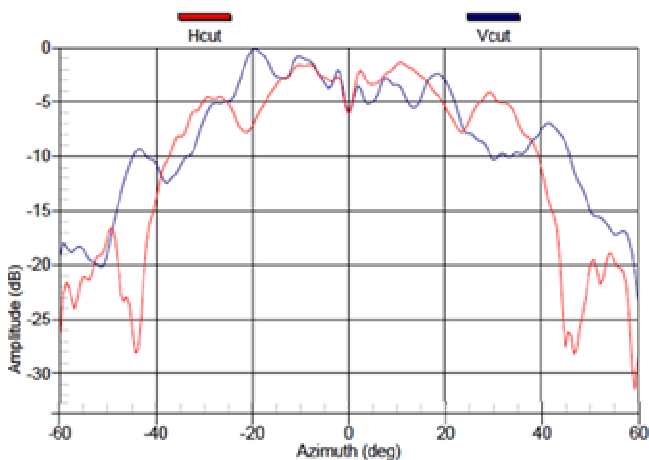


図6. 新MARBLE用NINJAフィードのMETLAB
近傍界スキャナによる遠方界ビームパターン(13.6GHz)

新 MARBLE 用フィードの遠方界ビームパターンの測定値を図 5,6 に示す. フィードから副鏡への中心から縁までの見込み角は 26 度で設計してある. ビーム幅が波長/口径で概算される通常のアンテナに比してビーム幅の変動が少ない.

なお, METLAB での測定時にはダブルリッジ-SMA 変換機を使用しており, 直線 1 偏波のみ受信できる構成であった.

Gala-V での使用帯域は 3.2-5.6GHz, 5.6-6.4GHz, 9.6-10.4GHz, 12.8-14.4GHz の 1.6GHz 幅 4ch となっている. 34m アンテナ用 NINJA フィードではメタノール・メーザの 6.7GHz と 12.2GHz, X バンドなど従来用途も考慮して設計しているが, 集光力が小さくて電波天文には用いない小型局用では Gala-V 帯域外の性能劣化を容認している. しかし, フィードの台座やレンズなどの取り付け形状にも互換性があり, 同軸導波管変換器も共通設計である.

3. 今度

これまでは市販のダブルリッジ導波管-SMA 変換器を使用した直線 1 偏波受信であった. 今年度は 2 偏波対応導波管も完成したので, いよいよ広帯域で直線 2 偏波での観測が開始されることになる(電波天文や衛星通信で一般的な円偏波での広帯域受信は難しいので, 直線 2 偏波から 90 度ハイブリッドなどで円偏波を合成する). 34m アンテナは, その大集光力を活かして, Gala-V だけでなく測地 VLBI や SKA など, 他の国際プロジェクトにもユニークな貢献をしていけるものと期待している.

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.

本稿で述べた各種広帯域フィード及び導波管変換器類は NICT 試作室に製作していただきました.

文 献

- [1] 氏原秀樹ほか,
“電波天文用広帯域フィードの開発(II)”,
電子情報通信学会技術報告, WPT2014-108, vol.114,
no.524, pp. 73-76, 京都, Mar. 24-25, 2015
- [2] 氏原秀樹ほか, “電波天文用広帯域フィードの開発”,
電子情報通信学会技術報告, WPT2013-39(2014-3),
Mar., 2014
- [3] 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.
- [4] Nobuhiro KUDO, “Analysis of Microstrip Taper Baluns by
FDTD Method”
- [5] S.N.Pasad and S.Mahapatra, ”Anew MIC slot-line aerial”
IEEE, pp.525-527, May 1983
- [6] 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.
- [7] 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称形フェルミアンテナの高利得化”
学技報2003/07
- [8] Jwo-Shim Sun and Guan-Yu Chen, “The Tapered Slot
Antenna”, 2004 4th International Conference on Microwave
and Millimeter Wave Technology Proceedings
- [9] P.J.Gibson, “The Vivaldi aerial,” Proc.9th European
Microwave Conf. pp101-105, Brighton,U.K., Sept. 1979.
- [10] 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