

広帯域 VLBI システム Gala-V の開発

関戸衛、岳藤一宏、氏原秀樹、堤正則、宮内結花、長谷川新吾、川合栄治、小山泰弘、市川隆一
情報通信研究機構 時空標準研究室

1 プロジェクトの概要

時間・周波数の計量標準の分野では、遠隔地にある周波数標準器の周波数を高精度で比較する技術が求められており、我々のグループでは VLBI 技術を使って周波数比較を行うプロジェクトを進めている。VLBI 観測に使用するアンテナは、計量標準の研究所に移設・設置可能な小型のアンテナと、小型アンテナの感度低減をカバーするための大型アンテナを組み合わせたシステムで構成する。観測周波数帯域は、次世代の測地 VLBI システムとして国際的に開発・整備が進められている VGOS システムに部分準拠して 2-14GHz の周波数帯域から 4 つの 1GHz 幅の信号を取得し、これまでに比べて 1 桁高い遅延計測精度を目指す。このシステムを Gala-V と名づけており、3 つの観測局（小型 2 局、大型 1 局）で 1 偏波の広帯域観測ができる準備が整った。2014 年より、以下に述べる新に開発したフィードやサンブラなどの運用も含めた試験とさらなる研究開発を進める。

2 アンテナ・受信系

3.4 m アンテナの広帯域化 広帯域フィードを搭載した VGOS 対応のアンテナは既に、米国、ドイツ、スペイン、オーストラリア、日本などで建設が進んでいるが、これらはどれも 1 次焦点のパラボラアンテナか、または副反射鏡と 2 次焦点の距離が極めて近い特殊な 2 次焦点の光学系を採っている。これは一般に知られている広帯域観測が可能なフィード (Quadridge Horn Antenna[1] やイレブンフィード [2]) は、ビーム幅が約 90 度程度と広いためであり、2 次焦点位置から副反射鏡の見込み角が小さいカセグレンアンテナには搭載が困難である。我々のプロジェクトで使用する 34m アンテナではこの角度が 34 度であるため、ビーム幅の細い広帯域フィード (コードネーム:Iguana Feed) を新規に設計開発し [3]、34m アンテナに搭載している。2013 年末に試作機が完成して 34m アンテナに搭載し、現在 6.2-14GHz の観測が可能な状態となっている。更に性能を向上させた、2.2-18GHz の

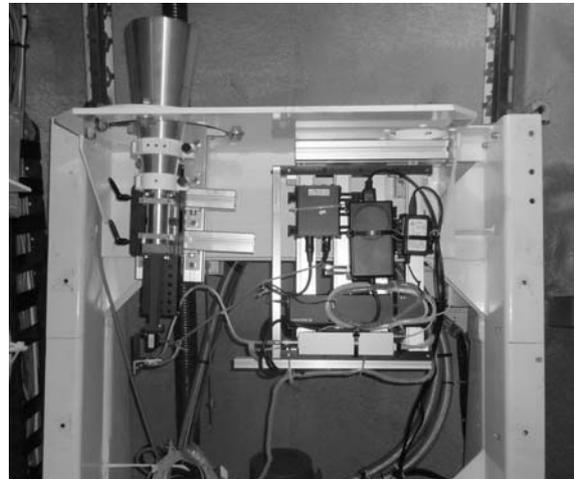


図 1: 34m アンテナに搭載した Iguana Feed 試作機。

帯域を持つ Iguana フィード本作機的设计も進んでおり、2014 年内に試作機と交換して 34m アンテナに搭載する計画である。

小型アンテナ 距離基準の計測プロジェクトで開発された可搬型小型アンテナ MARBLE[4] は VGOS 仕様を念頭にクワッドリッジホーンアンテナ (EST-LINDGREN 社 3164-05) を装備しており、距離基準のプロジェクトでは円偏波合成して 2/8GHz を同時受信していたが、これを改造して 3.5-18GHz の広帯域の電波を直線偏波で受信し、周波数変換なしに RF 信号のまま観測室まで伝送するように変更した。従来の受信帯域幅 (1-2GHz) に比べて約 1 桁 (10GHz) の帯域幅の信号を受信するため、トータルパワーは帯域幅の分だけで 10dB 増加した。更に広帯域のため RFI (Radio Frequency Interference) の影響を受けやすいため、安易に増幅するとサンブラ入力点までの各増幅器が飽和する危険がある。一方、受信後の信号増幅率が低い場合には、増幅器の雑音指数が受信機雑音温度を増加させる危険がある¹。特に光伝送装置には NF が悪い (40-50dB) 程度のものもあり、こ

¹一般に、増幅器の入力点までの信号増幅率を G 、増幅器の雑音指数を NF とするとこの増幅器による雑音温度増加の寄与は $T_{add} = T_{amb}(NF - 1)/G$ であり、従来の電波天文観測では多段の増幅器により十分大きな G があるため後段の増幅器の NF を気にする必要がない。

の影響による雑音温度の増加は無視できない。我々は、日本の住友大阪セメントが開発した低雑音の広帯域信号伝送装置を使用して、雑音を増加させることなく広帯域の信号を観測室まで伝送することが実現している。図2に使用している広帯域光信号伝送装置の写真と周波数-ゲイン特性を示す。

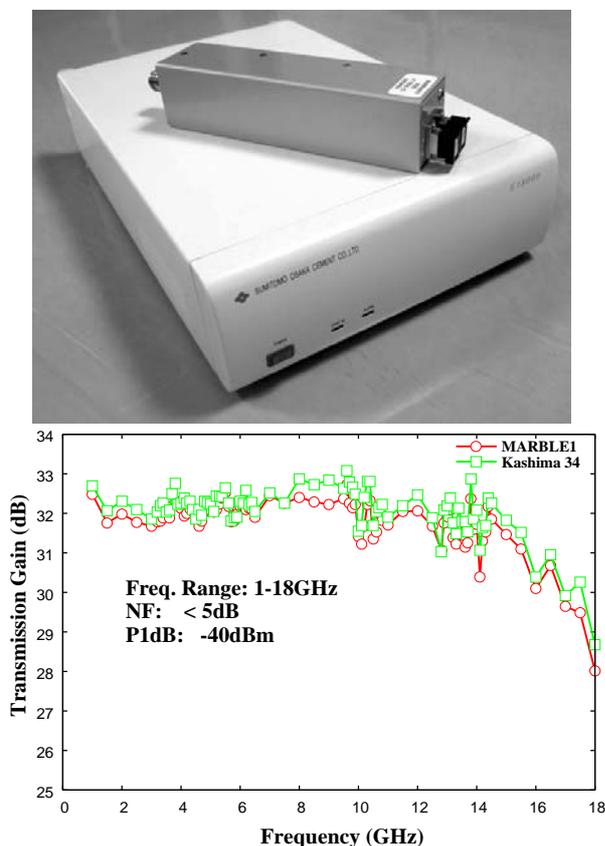


図2: 広帯域光信号伝送装置の送受信機写真(上)と実際の伝送ゲインの周波数特性(下)

観測周波数 VGOS仕様は2-14GHzのうち任意の1GHz周波数帯域幅の信号を4バンド取得するものであるが、我々のGala-Vシステムでは4つの固定周波数帯域(1024MHz帯域幅取得の下端周波数: 3.5GHz, 5.1GHz, 9.9GHz, 13.1GHz)を選定し、これに合わせてフィードやデータ取得系の設計・開発を進めている。この周波数は間隔が1.6GHzの整数倍で比率が1:3:2となっており、(1)RFI調査、(2)バンド幅合成による遅延分解関数の最適性、(3)34m用広帯域フィードの設計条件から決定したものである。

3 データ取得・相関処理・遅延計測

前節で述べた周波数配列の信号のデータ取得には、(1)フィルタとミキサーを使ってアナログ信号として周波数変換し、これをサンプリングするダウンコンバータ方式と、(2)周波数変換を行わず帯域制限されたRF信号を直接サンプリングし、サンプラ内蔵のデジタルフィルタにより所望の周波数帯域の信号を取得する、新しいデータ取得方式を併用し、試験している(図3)。(1)ではデータ取得系として既に開発済みのADS3000+とPC-VSIによる記録を行う。(2)のダイレクトサンプリング方式は、周波数変換器なしに1台で4つの1024MHz帯域幅のデータを取得できるため(1)に比べてシステムを大幅に簡略化できる。これまでにサンプラのジッタ特性($rms=0.2ps$)を測定し、20GHzでのコヒーレンスロス $1.e-4$ 以下と見積もられている。取得した広

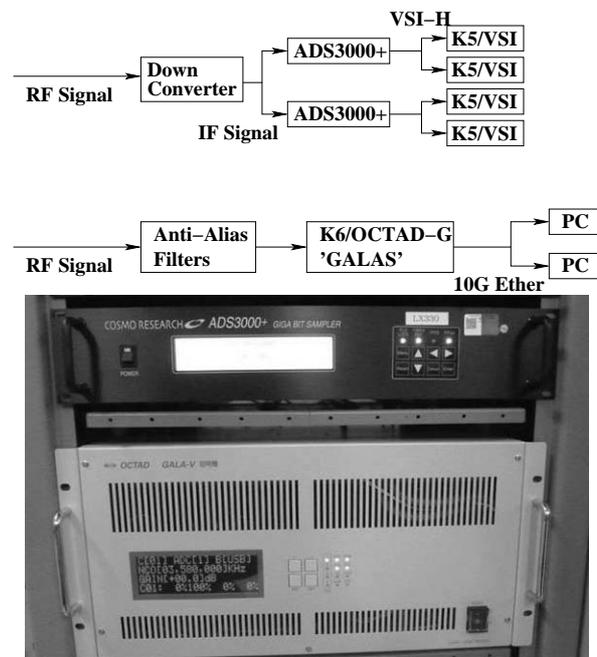


図3: Gala-Vシステムのデータ取得系のブロック図(上)。とADS3000+とGALAS サンプラの写真(下)

帯域のデータの相関処理には、ソフトウェア相関器GICO3[5]を使用する。相関出力結果をバンド幅合成するためのソフトウェアについては、2014年度に開発を進める計画である。従来にない超広帯域の信号を合成するため、電離層の周波数分散性の遅延を推定し、同時に広帯域の信号合成を行う必要があり、新しいアルゴリズムの開発が必要となる。

4 評価実験・周波数比較実験の計画

VLBI による周波数比較の評価実験を行うため、NICT と同様に光周波数標準器の開発を行っている産業技術総合研究所 (AIST) と協力し、NICT 小金井本部 (2号館屋上) と AIST つくばセンター (3-7 棟屋上) にそれぞれ小型広帯域アンテナを設置した。2014 年内に、34m アンテナと合わせた 3 局で国内初となる超広帯域 VLBI 観測を実施する予定である。また、VGOS 仕様に準拠した観測システムを持つ国土地理院の石岡局が 2014 年から運転を開始すると期待されており、広帯域観測が可能な貴重な相手局として、共同観測を実施していきたい。

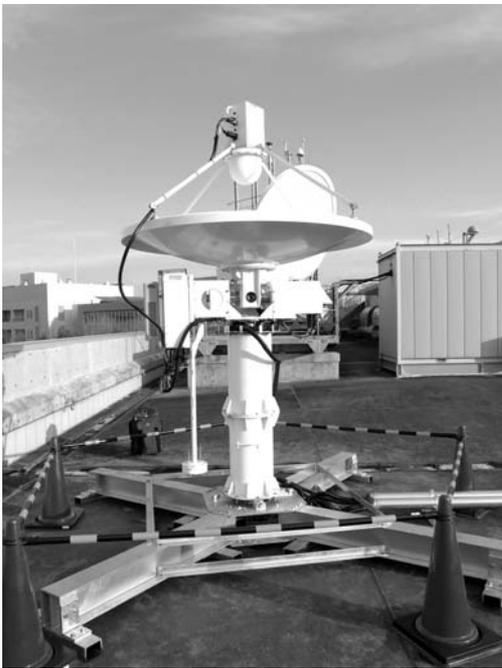


図 4: 2014 年 1 月に産業技術総合研究所の建物屋上に設置された小型アンテナ MABLE1 号機

参考文献

- [1] Akgiray, A., et al., Circular Quadruple-Ridged Flared Horn Achieving Near-Constant Beamwidth Over Multioctave Bandwidth: Design and Measurements, IEEE Trans., AP, Vol.61, pp.1099-1108, 2013.
- [2] Yang, J., et al., Cryogenic 2-13 GHz Eleven Feed for Reflector Antennas in Future Wide-band Radio Telescopes, IEEE Trans. AP, Vol. 59, pp.1918-1934, 2013.
- [3] 氏原秀樹、広帯域フィードの開発, 2013 年度 VLBI 懇談会シンポジウム集録, 2014.
- [4] Ishii, A., Current status of development of a transportable and compact VLBI system by NICT and GSI, IVS NICT-TDC News No.31, pp.2-5, 2010.
- [5] Kimura, M., 2-Gbps PC Architecture and Gbps data processing in K5/PC-VSI, IVS NICT-TDC News, No.23, pp.12-13, 2003.