

VLBI application for Frequency Transfer and Development of GALA-V System (VI)

#関戸衛¹, 岳藤一宏¹, 氏原秀樹¹, 近藤哲朗¹, 宮内結花¹, 堤正則¹, 川合栄治¹,
長谷川新吾¹, 瀧口博士¹, 市川隆一², 花土ゆう子¹, 小山泰弘¹, 渡部謙一³, 鈴山智也³,
福崎順洋⁴, 小室純一¹, 寺田健次郎¹, 難波邦考¹, 高橋留美¹, 岡本慶大¹, 青木哲郎¹,
池田貴俊¹

1. 情報通信研究機構
2. 総務省情報通信国際戦略局技術政策課
3. 産業技術総合研究所 計量標準総合センター 周波数システム研究室、
4. 国土地理院

Mamoru Sekido¹, Kazuhiro Takefuji¹, Hideki Ujihara¹, Tetsuro Kondo¹, Yuka Miyauchi¹,
Masanori Tsutsumi¹, Eiji I Kawai¹, Shingo Hasegawa¹, Hiroshi Takiguchi¹, Ryuichi Ichikawa²,
Yuko Hanado¹, Yasuhiro Koyama¹, Ken-ichi Watabe³, Tomonari Suzuyama³,
Yoshihiro Fukuzaki⁴, Jun-ichi Komuro¹, Kenjiro Terada¹, Kunitaka Namba¹, Rumi Tkahashi¹,
Yoshihiro Okamoto¹, Tetsuro Aoki¹, Takatoshi Ikeda¹

1. National Institute of Information and Communications Technology
2. The Ministry of Internal Affairs and Communications, Global ICT Strategy Bureau Technology Policy Division
3. National Institute of Advanced Industrial Science and Technology, National Metrology Institute of Japan
4. Geospatial Information Authority of Japan

はじめに

NICT は、遠隔周波数比較技術の一つとして広帯域VLBIを使った周波数比較技術の開発を進めている。このプロジェクト(GALA-V)は、遠距離に置かれた複数の小型アンテナを使って3-14GHzの電波星からの電波を受信し、アンテナ間の原子時計の周波数差を精密に比較する計画である。従来にない広帯域のVLBI観測によって、小型のアンテナの受信感度における不利を補完し、十分高い精度でVLBI観測ができることを実証してきている。この観測システムは国際VLBI事業(IVS)が次世代の測地VLBI 技術として推進しているVGOS(VLBI2010 Global Observing System)と共通の観測帯域をもち、周波数比較だけでなく測地学にも利用できる。VGOSが進める広帯域観測は従来カセグレン

アンテナでは困難とされてきたが、我々はこれを可能にするため独自に設計開発した新型フィードを34mアンテナに搭載し、実証実験を行っている。また、広帯域のデータ取得にダイレクトサンプリング方式を導入し、世界で初めて8GHzの広帯域バンド幅合成に成功した。この方式は、RF周波数を直接A/D変換することにより従来必要であった周波数変換が不要になり、複数の観測帯域の信号を記録する際の帯域間の遅延差・変動が小さいという特徴がある。これにより広帯域観測システムの大きな課題となっ

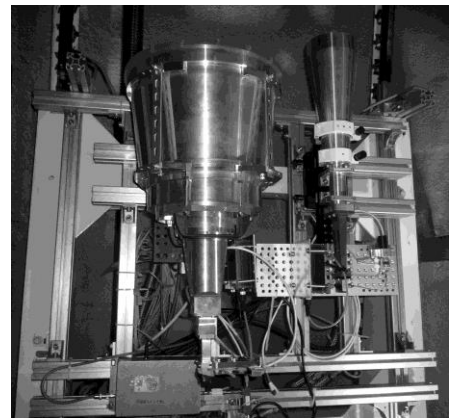


図1 NICTが独自開発した広帯域受信フィード。右が受信周波数6.5-15GHzのIGUANA-Hフィード試作2号機、左側は(受信周波数3.5-14GHzのNINJAフィード本作1号機。

ている位相校正信号 (P-CAL) 装置と遅延校正系 (D-CAL) を必要としない測地 VLBI 観測の可能性がある。

国土地理院石岡局との超広帯域の VLBI 試験観測

国土地理院が2014年にVGOS仕様の口径13mの広帯域VLBIアンテナ(以下「石岡13mアンテナ」)を石岡測地観測局に完成した。NICT鹿島34mアンテナと石岡13mアンテナは、国内で唯一の広帯域VLBI実験が可能な基線となり、2015年1月に広帯域VLBI観測の精度検証のための試験観測を実施した。電波星から来る6GHz～14GHzの周波数帯域の電波を、帯域幅1GHzの6つの周波数帯でデータ取得し、これら全ての信号を合成するバンド幅合成処理によって8GHz帯域幅を使った精密な群遅延計測に成功した。8GHz幅のVLBI計測は世界初であり、その遅延計測精度は理論的には数十フェムト秒(60秒積分)、実際の観測データでもばらつきRMSが0.6ピコ秒(1秒積分)の計測値が得られた。図2は、10分間程度の間計測された遅延変動を、使用する帯域幅を2GHz, 4GHz, 8GHzと変えて処理した結果である。大気の遅延によるものと見られる数ピコ秒オーダーの短期変動が検出され、帯域幅を広げるにしたがって計測精度向上していることがわかる。

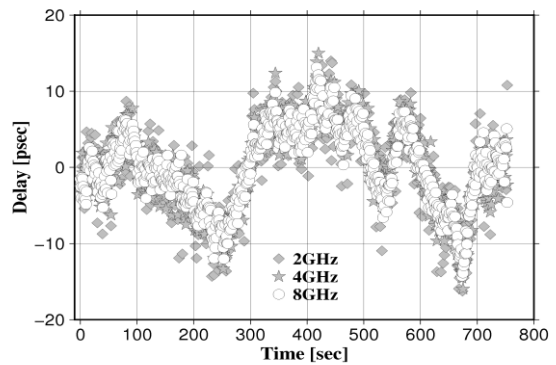


図2. 鹿島 34m アンテナ(IGUANA-H フィード) と石岡 13m アンテナ(Eleven フィード)を使って6GHz～14GHzの周波数で計測された遅延量。◆、★、○のプロットはそれぞれ帯域幅 2GHz, 4GHz, 8GHz の信号を合成して得られた遅延データである。

り、その遅延計測精度は理論的には数十フェムト秒(60秒積分)、実際の観測データでもばらつきRMSが0.6ピコ秒(1秒積分)の計測値が得られた。図2は、10分間程度の間計測された遅延変動を、使用する帯域幅を2GHz, 4GHz, 8GHzと変えて処理した結果である。大気の遅延によるものと見られる数ピコ秒オーダーの短期変動が検出され、帯域幅を広げるにしたがって計測精度向上していることがわかる。

我々の観測では高速サンプラを使ったダイレクトサンプリング方式を導入することで、システムが安定でシンプルとなり、誤差要因とりうる遅延校正装置を省略することを検討している(図3)。この方式を使って2015年8月に鹿島－石岡基線において3-12GHzの周波数帯域の4バンドを使った24時間の測地VLBI実験を実施した。この結果についても報告する。

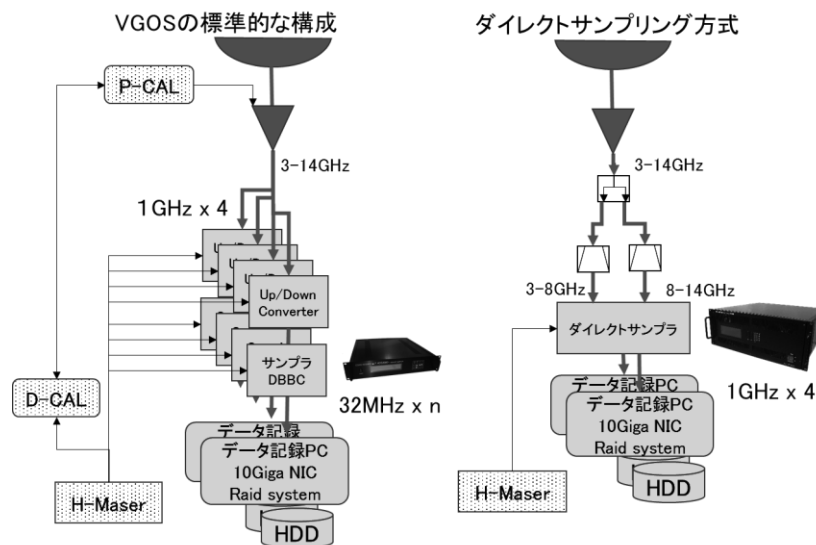


図3標準的な VGOS 観測方式とダイレクトサンプリング方式のデータ取得系ブロック図。ダイレクトサンプリング方式は、周波数変換なしに直接信号を A/D 変換し、デジタル信号処理により周波数分割を行う。そのため異なる帯域の信号の間で位相特性や遅延の差が入る余地が少ない。その結果、P-CAL, D-CAL といった校正信号を使わない VLBI 観測が可能となる。