

VSI-HとCRL2ギガビットVLBI

(付録: VSI-H入門)

中島潤一、小山泰弘、関戸衛、近藤哲朗(通信総研 鹿島)
鈴山智也(鹿児島大学) 木村守孝(東京大学)
他、国内VSI関係者、ギガビットVLBI開発グループ

アブストラクト

CRLでは1998年から1ギガビットVLBI観測を行い、2ギガビットVLBI実現の目処が立ったのでその方針を報告する。2ギガビットシステムはすでに安定運用を実現している1ギガビットVLBIの延長として構築する。またファーストフリンジは2001年度内を目指している。2ギガビットVLBIシステムは本格的にVSIを取り入れる一方、すでに実現したftp-VLBIの手法を踏襲、リアルタイム相関の実現、IP-VLBIとの融合、VLBI多メディア展開等の可能性を有するシステムであり、将来的に期待される国際結合型VLBIへの第一歩となる。

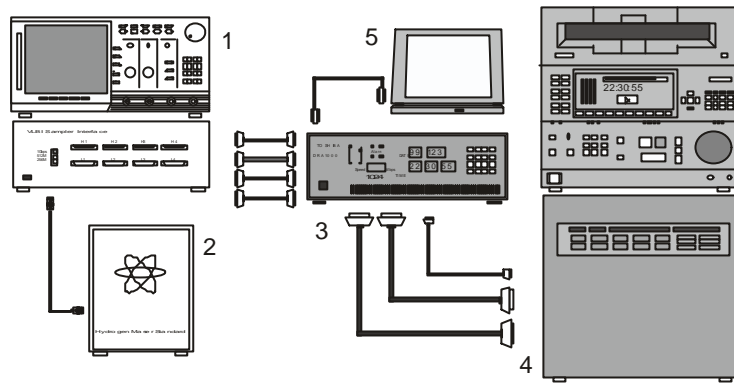
ギガビットVLBIの可能性

観測がギガビットになればより電波天文においては広帯域な観測、高感度な観測が既存のアンテナで達成される。また測地観測においてはこれまで観測には用いにくかった小型アンテナが活用できる一方、中型アンテナでは観測時間を短縮し観測数を増やして統計的に精度向上を果たすことが出来る。望遠鏡受信帯域に比べて充分大きいギガビットでのデータ取得帯域は、高価なローカル・ビデオコンバータなどアナログバックエンド装置を簡素化する可能性を持つ。

日本のVLBIシステム(K4,VSOP-T)は256Mbpsの範囲で測地・天文観測を可能とし、ロボット交換を備えて世界の中で最も使いやすいシステムとなっている。しかしインターフェースがレコーダというものに特化されて製作されてしまったために、長らく256Mbps以上へのモチベーションが働きにくいものであった。これはレコーダが唯一高速記録できる媒体であった時代が長く続いていた弊害でもある。一方、VLBIの目的は書くまでもなく遠方にある電波望遠鏡のデータを相関させることである。これをテープレコーダに保存することは手段の一つではあるが本質ではない。このような視点に基づいて1ギガビットのシステムは特定の機種に依存しない並列伝送(ECL)と1PPSの信号で完結するように構成されている。図1にギガビットVLBI観測時の構成図を示す(参考文献[1])

1Gbpsのシステムとこれまでの観測成果、VSIへのステップ

これまでに構築された1ギガビットシステムはテクトロニクスサンプラー、GBR100Q、UWBC-GICOといった機器を核に構成されている。表1にこれまで行われた1ギガビット実験の一覧を示す。臼田、野辺山、KSPの各アンテナを用いて既存のVLBI機器と性能を比較しながら観測を行っている。



(図1: 現在までの1ギガビットVLBIシステム。サンプラ[1]はHメーザ[2]に準拠してサンプル、1 PPSに同期した時間管理は[3]のUTCコントローラが行ないレコーダ[4]にデータが記録される。観測制御はパソコン [5]が行なう)

(Table1.これまでに行なわれたギガビット実験一覧、)

実験名	観測時期	アンテナ	目的
GEX - 1	98,Jul.	KSP11m-KSP11m	初期実験
GEX - 2	99,Mar.	UDSC64m-CRL34m	長基線実験
GEX - 3	99,Jun.	GSI26m-CRL34m	短基線実験
GEX - 5	99,Sep.	GSI26m-CRL34m	リアルタイム実験
GEX - 6	99,Oct.	KSP11m-KSP11m	測地8時間実験
JNET - 1	99,Dec.	NRO45m-CRL34m	Hi-z QSOs
GIFT - 1	00,Jan.	GIFU3m-CRL-34m	小型アンテナ24時間
GIFT - 2	00,Feb.	GIFU3m-CRL-34m	小型アンテナ24時間
JNET - 2	00,Mar.	NRO45m-CRL34m	Hi-z QSO(PLO不安定)
GEX - 8	00,May.	KSP11m-KSP11m	測地24時間
GEX - 9	00,Jul.	KSP11m-KSP11m	測地24時間(高精度化)

電波天文的にはJNETにおいてHi-zのQSO観測が行なわれ、測地的には小型アンテナの有効性が示され、解析結果は既存の256Mbpsシステムに迫っている。これら結果はそれぞれの研究成果報告にゆずる参考文献[2] [3]。

我々のギガビット観測実用化と同時期にしてVSI(VLBI Standard Interface)の制定作業が始まった。VSIでは最大2Gbpsまでのデータ伝送をサポートする、日本のみが1Gbps-VLBIで実績を上げており、標準化制定に当たっては大きく貢献することとなった。これは今まで常にVLBIで互換性が問題とされ、引いてはレコーダー等を丸抱えのしてのシステムの覇権争いという次元の低い状況から、各国の開発したコンポーネントで最もコストパフォーマンスが高い物がサイエンスのために残っていくという自由競争が科学観測機器に当てはめられるきっかけとなった、また後に述べる世界型干渉計への足がかりとなるであろう。

2Gbpsのシステムの設計と拡張性

今回CRLでは1ギガビットシステムの発展として図2に示すような2ギガビットシステムの製作を開始した。この2GbpsのシステムはVSIを導入するとともに、これまで実績を持つftp-VLBI、リアルタイム相関に対応し、将来的にはIP-VLBIとの融合、VLBI多メディア展開が可能なように構成され、表のような性能を持つ。

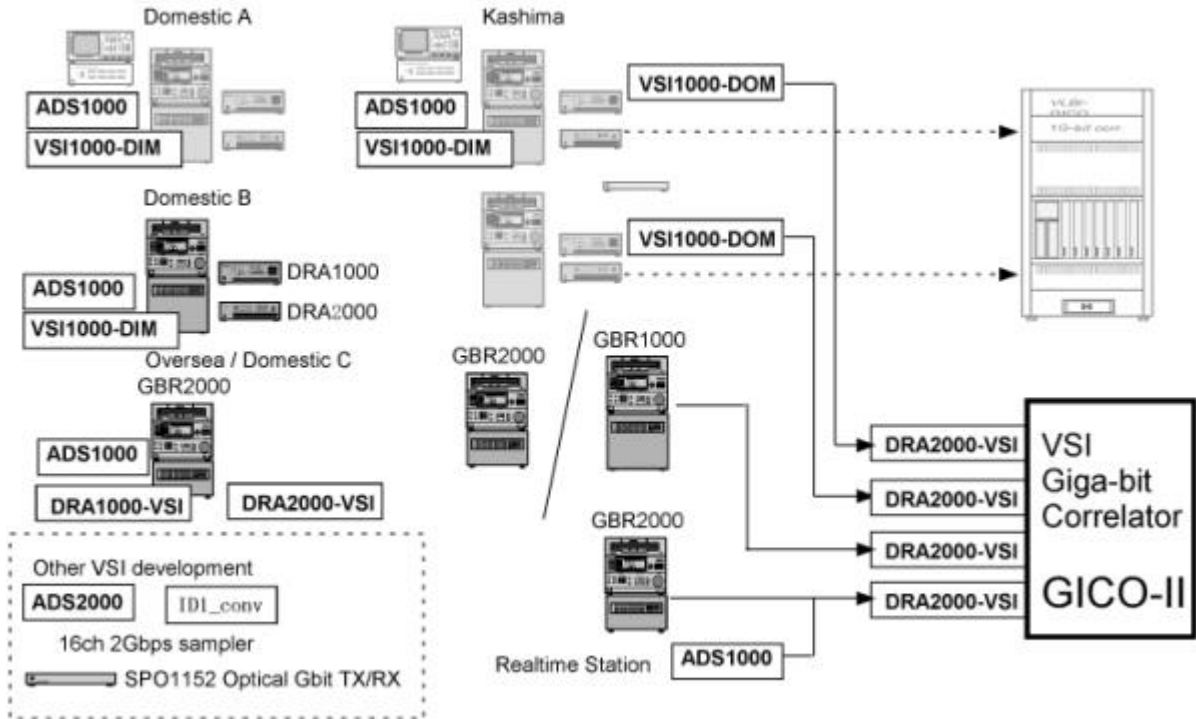
Table . Evolution of VLBI system performance

	K-4	1 G-bps	2 G-bps (K-5)
data rate	256 M-bps	1024 M-bps	2048 M-bps
interface	ID-1(ECL)	32x32MHz(ECL)	32x32/64MHz(VSI)
channels	16	1	1/2/4/8/16
quantization	1	1	1/2
control	GPIB	GPIB	Ethernet
new aspect		ftp-VLBI	ftp-VLBI, (IP-VLBI)

従来のVLBIスキームとされるサンプラー レコーダ テープ輸送 相関処理という構成はここ当分中心的是はあるが、将来的にはその一部になる。VSI自体にもレコーダは定義されておらず、DIM/DOMといった概念化がはかられていて、取ったデータは何らかの方法でVLBI相関処理のために伝送されれば良い。以下にこれから我々が目指す主なVLBIの発展形態と科学的、技術的な意義を箇条書きにする。

- ・ ftp-VLBI: 今回開発される ADS1000/1ch サンプラと DRA2000/VSIメモリをPCと組み合わせたパッケージ単体でFRINGEテストが行なえる。これは手荷物で運搬できるサイズであり、ネットワークさえあればサイト調査をかねてFRINGEテストまでがおこなえるコンパクトなVLBI環境を提供する。昔から計算機関連のVLBIは多数提案されたが、実用パッケージ化されたのは今回が初めてである。FRINGEテストを超えるデータの伝送も検討中である。
- ・ リアルタイムVLBI: 今回開発される UWBC-GICO2 という相関器ではリアルタイム相関処理があらかじめ可能なように作られる初めてのギガビット相関器である。ネットワーク遅延を取り除く大型メモリはここでも活用される。この場合ギガビットレコーダはリアルタイムVLBI時にはノードでのバックアップとして存在することになる。臨機応変に変更可能なVLBI観測は変光天体の観測などに対応できるようになる。
- ・ IP-VLBIとの融合: IP-VLBIは現在まず64/256Mbpsの伝送～分散相関処理を目標としているが参考文献[4]、その先にはギガビットetherを用いたシステムの拡張が検討されている。これに対応してADS-2000というギガビット多チャンネルサンプラーが開発中であり、やはりVSIに適合する。IP-VLBIの場合、相関処理は分散されソフト的に行なえばDOMはVLBIシステム内に無くなる可能性も有る。
- ・ 単周波VLBI: Sバンドなどの周波数は通信のリソースに奪われ、混信が増加し、今後ますます使いにくくなる。測地VLBIを単周波で行なうことは、システムの簡素化や小型アンテナ、通信用アンテナでのVLBI使用も促すものであり推し進めなければならない。GPSを使った電離層遅延の補正が当所では試みられている参考文献[5] [6]。
- ・ 小型アンテナVLBI: 常温デバイスの低雑音化、バックエンドのギガビット化により小型アンテナでのVLBIが再び脚光をあびることになる。小型アンテナは大学などでも運用が可能なので、大型アンテナとの連携観測で独立した研究テーマを設定できる。

VSI expansion of current GBR system



(図2：今回整備するギガビット関連機器の一部)

- ・ VLBI多メディア展開: 現在多種のメディアの併用が検討されている。ギガビット記録は可能だが、時間的にはまだ足りないHDD並列化VLBI記録装置、128Mbps程度は容易に達成するがこれ以上の記録速度にはまだ至らないDVD記録装置などは注目に値する。これらをいずれもVSI化し、適材適所に配置することによりVLBIの可能性を広げることが出来る。

開発完了した2ギガビットVLBI用機器の紹介

ここまでに完成したVLBI関連機器の説明を簡単行なう。



(図3: ADS1000次世代型ギガビットサンプラー) 小型で低消費電力、電波望遠鏡内に設置することも可能なギガビットサンプラーである。世界で初めてVSIを実現したVLBI機器である。内部にPLOを持ち1Gサンプル、2bit量子化までが可能である。VSIに準拠しetherネットでの制御が基本となる。これまでのサンプラ同様UTC時系を管理、コンパクトながらサンプリングデータのビット分布を表示するなどの使いやすい機能を付加した。



(図4: GBR2000次世代型ギガビットレコーダー)
 左側のGBR1000と比べることにより小型化が判る。さらにこのレコーダーではVSIインターフェースがデッキ下側の箱に入り、そのままVSIのデータが入出力可能になる。レコーダーに外付けのVLBI用インターフェースを付けることは無くなった。さらなる小型化計画が行なわれる予定である。

まとめ

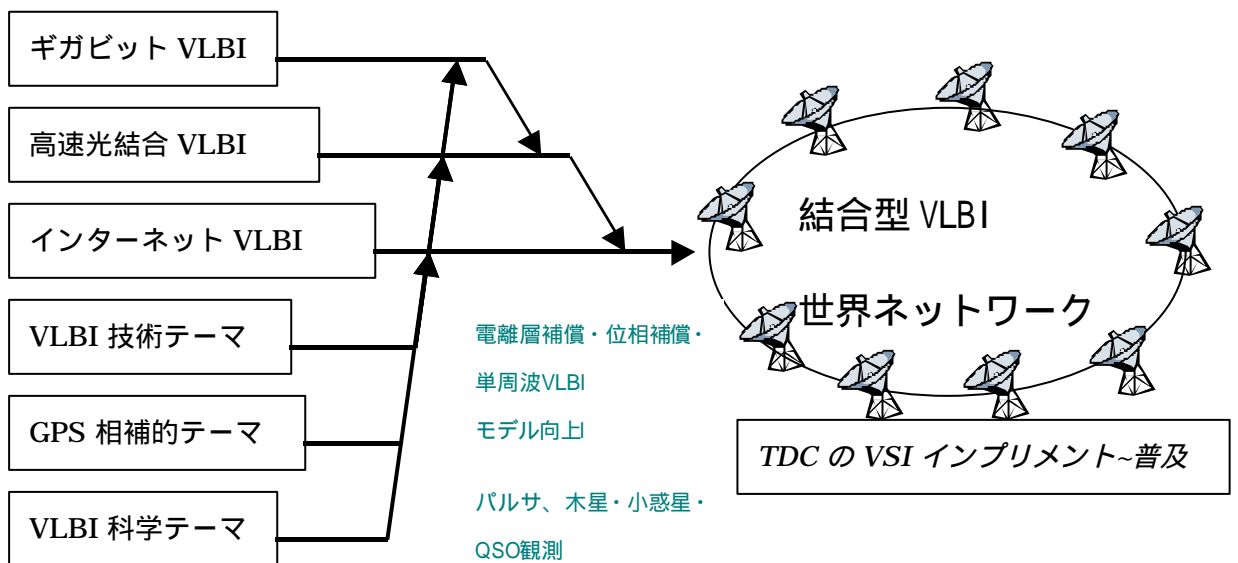
2ギガビットVLBIのプロジェクトが開始された。2001年の具体的目標は次の項目である。

- ・ VSI (VLBI標準インターフェース) の実現。
- ・ 2ギガビットVLBIの達成 (2001年内)
- ・ グローバル基線観測による高感度・高分解能観測の検討。

今後関係機関と協力し開発や観測成果を共有したいと考えている。

21世紀のVLBIビジョン

これら技術開発を通じCRLでは図5のようなビジョンを21世紀にむけて提案する。この中でVLBIはネットワーク技術の導入とVSI(あるいはその発展形を)を核にして、グローバル結合型の電波干渉計になることを目指す。世界VLBIネットワークはより柔軟なものになり、またシングルディッシュ観測用のアンテナや、通信用アンテナでのVLBIなど、リソース拡大が計られる。果てにはVLBI観測モードがポピュラーとなり、VLBI専門家の存在すら希薄なものになるほど、それほどにVLBIが普及すれば成功であろう。



(図5: CRLにおけるVLBI開発の方向性)

参考文献

- [1] Nakajima et. al, Experimental Astronomy 2001,in press.
- [2] Kimura, M., Nakajima, J., Koyama, Y., Sekido, M., Suzuyama, T., Kondo, T., and Kawaguchi,N., in : Proc. of the VSOP Symposium, Astrophysical Phenomena Revealed by Space VLBI, p. 273, ISAS, 2000
- [3]Koyama, Y., in General Meetings Proc. of International VLBI Service for Geodesy and Astrometry, NASA, CP-2000-209893, p. 98, 2000
- [4]関戸、近藤、川合、今江、GPSによる電離層推定の評価、信学技報、A・P2000-191、SANE2000-142 (2001-01)
- [5]関戸、近藤、川合、今江、電離層補正の精度評価、VLBI懇談会2000、本収録
- [6]近藤、小山、関戸、中島、川合、大崎、大久保、中川、市川、インターネットプロトコルによる多ch方式実時間VLBIシステムの開発、VLBI懇談会2000、本収録

(付録)

VSI-H入門

ここではVS (国際VLBI事業)のもとにある世界各国のVLBI - TDC (技術開発センター) で取り決められたVSI (VLBI標準インターフェース)の説明を入門者向けに簡単におこなう。このインターフェースがVSでエンドースされたことにより、今後の世界のVSIに関連する機関のVLBI機器はこの規格に最善の努力で合致させ、国際間の互換性を維持するようにしなければならない。但し電波天文専用アレイVLBAなどでは曲折もありうる。なおVSIは議論の過程で電気的接続 (VSI-H) とチェンネライゼーション、コントロールシーケンス等の部分 (VSI-S) を分離した。VLBIはGPSなどに比べ有利な点もあるが、サイエンスとしてのC/P改善を目指さないと今後苦しい局面に立つ可能性がある。VSIはこれを解決するキーになるかもしれない。

必修用語は以下のとおり、

DAS (Data Acquisition System) ADコンバータ, DFC,TDS,ADSなどのサンプラーを差す

DIM (Data Input Module) VSIデータの入口(その先何でも有り)

DOM (Data Output Module) VSIデータの出口(その先何でも有り)

DTS (Data Transmission System) DIM+DOMの総称

DPS (Data Processing System) 相関器

これらはVLBIの観測スキームを概念化した用語であるので覚えるしかない。紛らわしくなるDIM/DOMに関してはVSIデータが入るものがD“ I”M 出てくるものがD“ O”Mと覚える。

(付録図: VSIの伝送概念の説明図)

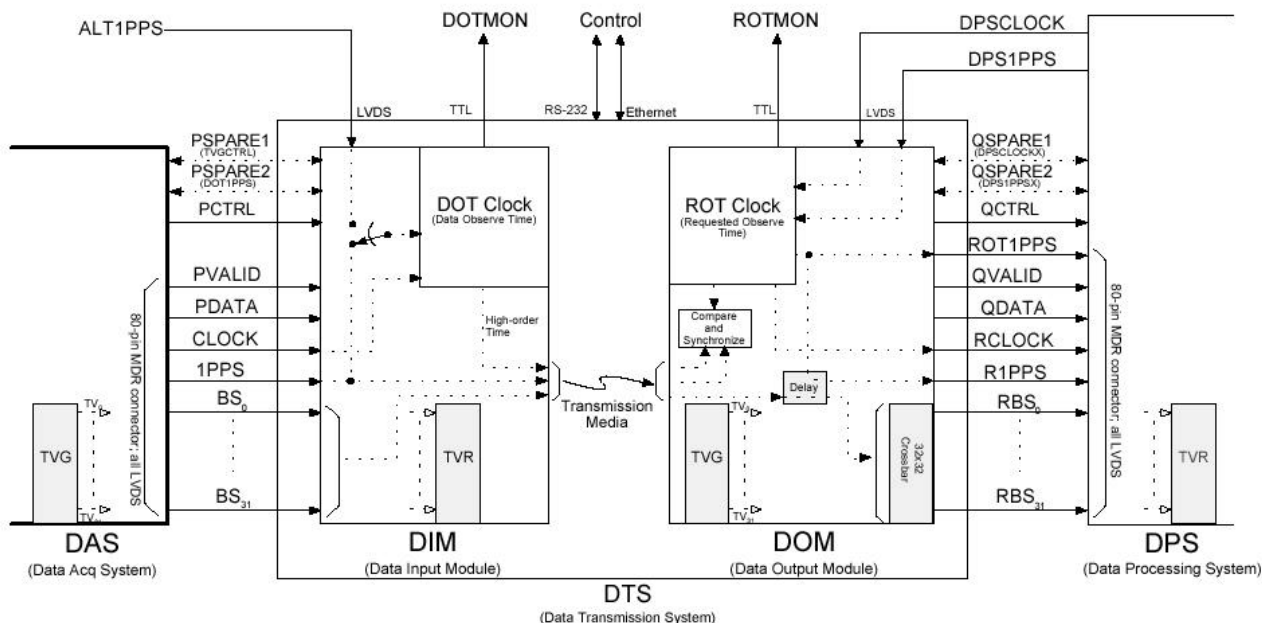


Figure 1: VSI-H Functional Block Diagram

VSI6.DRW
ARW 10 May 2000

次に知っておいた方がよいキーワード群は、

LVDS (Low Voltage Differential Signal) ホストECLの低電圧差動信号を意味する

TVG/TVR (Test Vector Generator) 検査用擬似ランダム信号で各国機器結線を確認できる

P/QDATA (serial Information by 1PPS) アトリビューション、シリアル信号でUTC等を送る

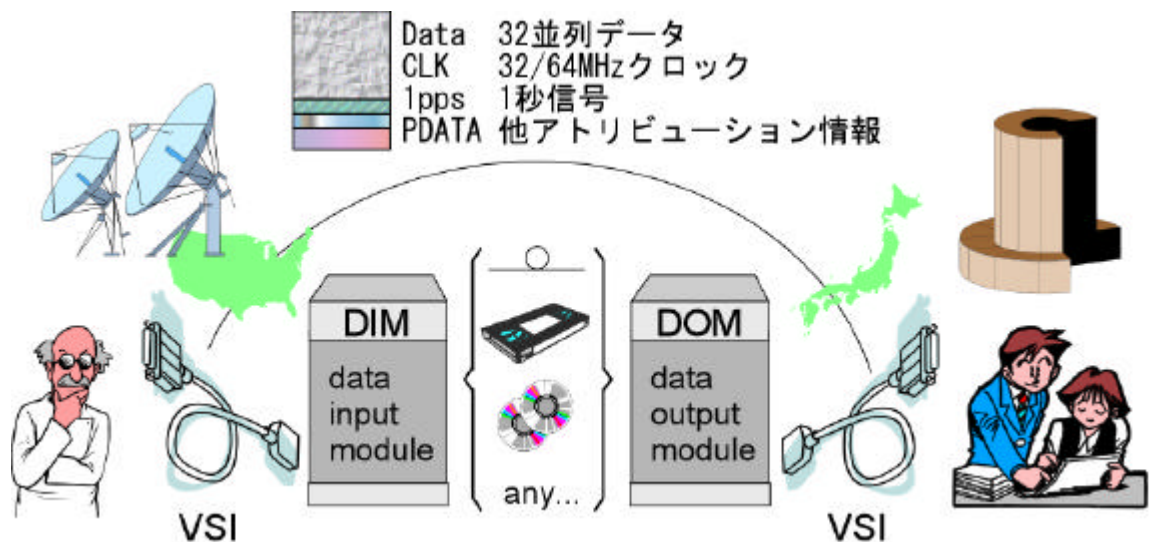
RS232/ether DIM/DOMの制御はこれまで使われてきた GPIBを排す形となる

MDR80 コネクタ

VSIにおいて接続ポイントとして厳密に決められる唯一のハード、

MDR80コネクタ内の概要は以下のようなものになる。

- ・2Gbps(2048Mbps)
- ・LVDS低電圧差動
- ・32並列度、32MHz(64MHz)クロック伝送
- ・1PPS(1秒信号)
- ・VALIDステータス
- ・シリアル情報ライン有り(PDATA)
- ・メタルケーブルで20mまで延長可能



(付録図2: より一般向けのVSI概念図)

VSIに関しては今後決定される部分も多く、詳細はVLBI技術開発センターのホームページ

<http://www2.crl.go.jp/ka/radioastro/tdc/index-j.html>

を参照頂ければ幸いです。