

## RF光伝送干渉系の基礎実験（その3）

雨谷 純、国森裕生（第6研究チーム）

木内 等（時空計測研究室）、近藤哲朗（関東支所総括主任研究官）、

M. R. Sankararaman（タタ基礎研究所、国立電波天文物理センター）

### はじめに

電波干渉計のRF信号を光搬送波にのせて直接主局に伝送する電波干渉計に関して、その構成および基礎実験の結果を一昨年11月と昨年11月に報告した[1],[2]。この中で、

- ・ 使用しうる光ファイバーケーブルの最大長は約40kmであること、
- ・ 基礎実験から、8GHz帯におけるコヒーレンスの低下が無視しうること、
- ・ 温度環境をコントロールすれば安定に動作すること、
- ・ 遅延校正方法が有効であること、

を示した。

今回、インド・タタ基礎研究所(Tata Institute for Fundamental Research)・国立電波天文物理センター(National Center for Radio Astro-physics)のGiant Meter-wave Radio Telescope (GMRT) [3]に雨谷、近藤が出張し(2/16-2/22)、GMRT施設を用いた実験を行った。初期解析の結果、約20kmの光ファイバーを往復した遅延校正信号が検出され、ケーブル遅延の決定に成功したので、報告する。

### GMRT

ムンバイ(旧ボンベイ)東方200kmのプーナ市から北方に80kmの盆地状の土地に位置し、直径45mのアンテナ30基からなる干渉計。電波干渉の少ないインドの特徴を活かした、世界に類を見ない低周波数帯の大規模電波干渉計である。

干渉計の各素子は、中央部に12素子、北東、北西、南方向に伸びたアームにそれぞれ6素子ずつが配置されている。アームの長さは約15km、最大の基線長は約25kmである。

観測可能な周波数帯は50、153、233、327、610、1000-1430 MHz。バンド幅は1GHz以下の周波数帯は40MHz他は120MHzとなっている。

干渉計各素子と解析局の間には、それぞれ2本ずつ光ファイバーがはられ、解析局から各素子に対し、第1局発、第2局発(2系統)用の基準信号とアンテナ制御信号が送られる。各素子から解析局には、2系統のIF信号、第2局発(2系統)のモニター信号、アンテナのステータス信号が戻る。第2局発はクローズドループ位相制御できるようになっている。

### 実験

日本から、解析局および観測局2局分の光リンク関係のモジュールを現地に持ち込み、GMRT受信系、信号処理系と図1に示すように接続した。

実験に用いた干渉計素子はS4、S6と呼ばれる素子で、GMRTの南端に位置する2アンテナである(S5と呼ばれる素子は計画縮小により存在しない)。この2素子を使用した理由は、GMRTの中で最も長い光ファイバーを使用したかったこと(S6の選定)と、できるだけ強い天体電波源を使用するため分解能の低い短い基線を使用したかったこと(S4の選定)による。GMRT職員からの情報によると、各素子の位置、解析局までのファイバー長は、以下のとおり。

		S4	S6
素子位置 WGS84	(緯度)	19° 0′ 26.9546″	18° 57′ 55.3542″
〃	(東経)	74° 3′ 33.4696″	74° 2′ 49.3453″
〃	(高度)	567.0483 m	610.6363 m
解析局までのファイバー長		13.75 km	19.94 km

観測周波数帯は、装置の関係から 327 MHz 帯に設定した。アンテナ一次焦点で受信された信号は低雑音増幅されアンテナ直下の部屋まで低損失の同軸ケーブルで送られてくる。アンテナ直下の部屋で、CRL から持ち込んだ光リンク系と接続し、光に変換された信号を GMRT の光ファイバーケーブルで解析局に伝送した。

解析局では、CRL の光リンク系を用いて電気信号に戻した後、GMRT の施設を使って、IF 帯 (70 MHz 帯)、ビデオ帯に変換し、バンド幅 20 kHz の汎用デジタルデータレコーダ (以下、汎用 DDR: 日本から持ち込んだ) または S2 データレコーダ (以下 S2DR: GMRT 所有) に接続した。それぞれの受信系に与えるローカル信号は、1 つの発振器で発生させた信号をパワーデバイダで分岐したものを用いた。ビデオ信号の帯域幅は S2DR 記録時は 2 MHz、汎用 DDR 記録時は、64 kHz (設定可能な最小幅) に設定した。

遅延校正信号には通常、comb tone を用いるが、今回は搬出器材の制限から、GMRT 所有の発振器を用いて発生させた単一の tone 信号を用いた。tone 信号の発振周波数は、ビデオ変換部のローカル周波数と連動させて、マニュアルで帯域内をスキャンさせた。

今回の実験の目的は以下の 3 項目である。

### 1) リンク・ロスの確認

遅延校正信号を解析局ー観測局で往復させた際のリンク・ロスをスペクトラムアナライザを用いて測定した。

### 2) 遅延校正信号の確認

往復して戻ってきた遅延校正信号の位相、遅延の確認。信号は汎用 DDR で記録した。位相は 311.01 MHz から 343.01 MHz まで帯域の両端に重みを持たせた周波数配列で測定した。最小周波数間隔は 100 kHz としたので、測定される遅延のアンビギュイティは 10  $\mu$ sec である。予想される遅延の決定精度は、位相の測定精度を 10 deg (室内実験での実績値)、測定周波数点数 14、RMS 周波数 14 MHz として、群遅延で 530 psec、位相遅延で 23 psec である。

ケーブル長差 (6190 m) から見積もられる遅延を下表に示す

波長 [nm]	屈折率	往復遅延 [ $\mu$ sec]
1310	1.44692	-59.75
1550	1.44402	-59.63

ケーブル長が 10 m 単位でしか測られていないこと、両者の差をとること、往復であることを勘案すると、誤差は約 0.1  $\mu$ sec 程度と見積もられる。

### 3) 干渉計実験

実際に天体を受信し、遅延校正が行えることの確認。データは汎用 DDR および S2DR に記録した。観測したのは、3C123、3C147、3C161、3C295、3C390.3、3C452 で、いずれも 300 MHz 帯でのフラックスが 10~100 Jy の強い天体電波源である。

遅延決定精度は、電波源強度 1Jy、アンテナ開口効率 50%、システム雑音 110K、バンド幅 32 MHz、積分時間 100 秒として、群遅延で 41 psec、位相遅延で 1.2 psec となる。この実験結果を解析して得られる局内遅延 (クロックオフセット) と、遅延校正信号から見積もられる局内遅延差を比較することにより、遅延校

正法の有効性を示す。

## 結果

### 1) リンク・ロスの確認

光コネクタの接触不良が多く、期待される信号レベルを得ようとして多くの時間を費やした。

表 1 に S6 の電気信号レベルの予測値と観測値を示す。反射校正信号も通常校正信号の往路信号も、1~2dB 低いだけでほぼ予測通りの信号レベルを得ることができた。通常校正信号の復路に関しては、10.5 dB と予測と比べてロスが大きかった。電気信号の減衰量が光信号の蒙った減衰の二乗で効くことから、これらの減衰は主として光コネクタ等の接続部分のロスによるものと考えられる。

S4 に関しては、解析局の WDM (波長分岐マルチプレクサ) が不調で、レベルが安定しなかったため、ここでは述べていない。

### 2) 遅延校正信号の確認

帰国後、汎用 DDR に記録された信号を再生し、K4 入力インターフェースの位相校正信号検出器で、各周波数の位相を測定した。

バンド幅合成法から求めた群遅延を下表に示す。

	遅延推定値[nsec]	ambiguity 補正後[nsec]	位相残差
通常校正信号	691.73 +/- 0.65	-59,308.27 +/- 0.65	12.4 deg
反射校正信号	785.77 +/- 0.93	-59,214.23 +/- 0.93	17.3 deg

位相残差が、室内実験の実績値より大きいのは、WDM の不調により信号レベルが安定していなかったためと考えられる。

反射校正信号の遅延は、波長 1550 nm の光の往復遅延に該当する。また、通常校正信号の遅延時間は、波長 1310 nm の光の片道遅延時間と波長 1550 nm の光の片道遅延時間の和と考えられるから、1310 nm の往復遅延時間は、59,402.31 nsec と見積もられる。これらの値は、ケーブル長差から見積もられる値と比べ約 0.2  $\mu$ sec ほど小さい。この差については、光ケーブル以外の部分の遅延差等調査し検討していきたい。

### 3) 干渉計実験

GMRT の S2DR データ処理施設がまだ完成していないこと、CRL に S2DR データの処理施設がないことから、まだ S2DR データの解析は行なわれていない。汎用 DDR でも観測しているので、こちらのデータを先行して処理することを考えている。

## まとめ

インド GMRT を用いた RF 光伝送干渉計の実験を行った。リンクロスの測定では、ほぼ予想通りの値が得られたが、一部の回線で光関係の接触不良からくると思われるロスが認められた。

遅延校正信号の遅延確認実験では、ケーブル長から計算される値とほぼ一致した遅延量が測定された。

実際の天体電波源の観測も行ったが、処理はまだ行っていない。

今回の実験では、光ファイバー以外の部分の遅延校正を行っていないため、絶対遅延測定や位相遅延測定は行えないが、遅延校正信号往復による遅延校正方法が 20 km のケーブル長に対しても適用可能であることは確認できた。

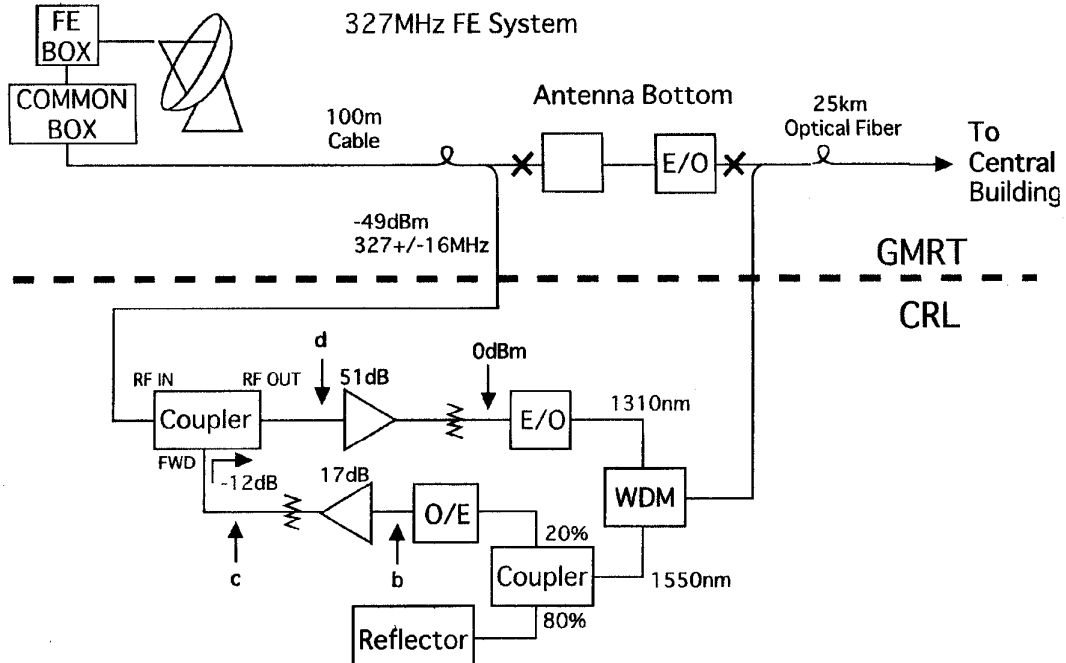
## 参考文献

[1] 雨谷他、「RF 光伝送干渉計の基礎実験」、標準計測部談話会資料

[2] 雨谷他、「RF 光伝送干渉計の基礎実験 (その 2)」、標準計測部談話会資料

[3] Ananthakrishnan, "Giant Meterwave Radio Telescope," Proc. of TWAA, pp90-94, 1996

# Antenna Site



# Central Building

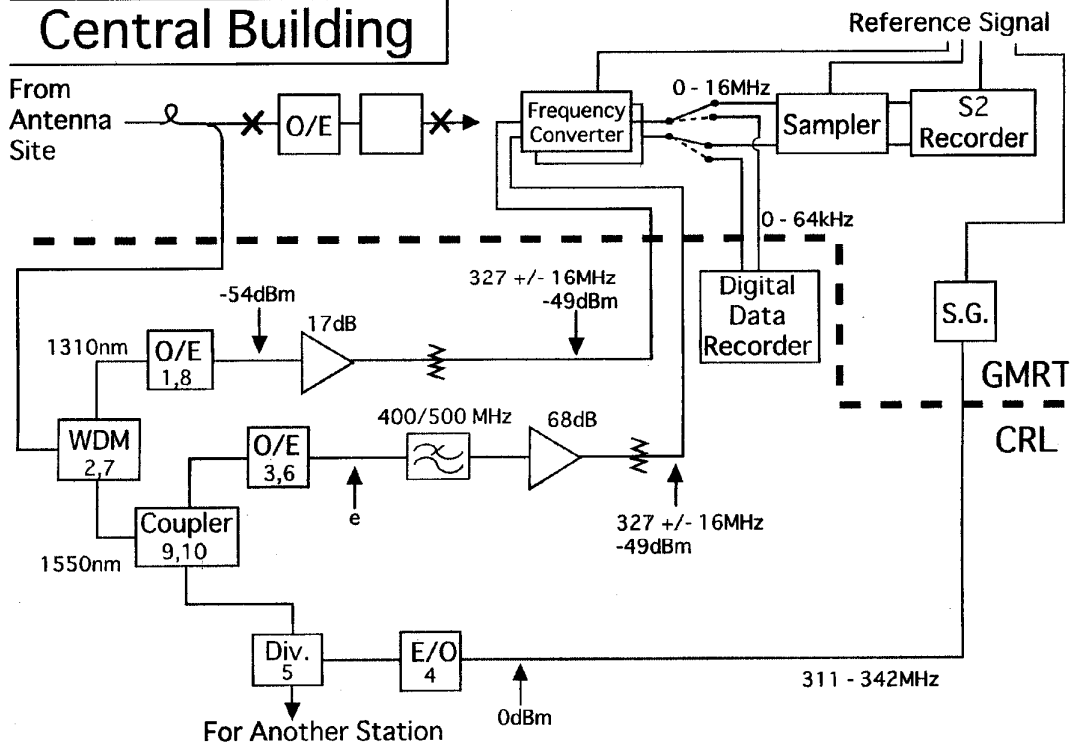


図1 実験システム

表 1

Link budget for S6 antenna

	Reflected cal				Normal cal (forward)			
	Optical loss dB	power dBm	loss dB	power obs'd dBm	Optical loss dB	power dBm	loss dB	power obs'd dBm
pcal out		5.0		0.0		5.0		0.0
3dB divider	-3.5	1.5	-7.0	-7.0	-3.5	1.5	-7.0	-7.0
coupler	-3.5	-2.0	-7.0	-14.0	-3.5	-2.0	-7.0	-14.0
WDM	-0.5	-2.5	-1.0	-15.0	-0.5	-2.5	-1.0	-15.0
cable	-8.0	-10.5	-16.0	-31.0	-8.0	-10.5	-16.0	-31.0
WDM	-0.5	-11.0	-1.0	-32.0	-0.5	-11.0	-1.0	-32.0
unequal coupler(*)	-1.5	-12.5	-2.9	-34.9	-7.5	-18.5	-15.0	-47.0
reflector	-0.5	-13.0	-1.0	-35.9				
unequal coupler(*)	-1.5	-14.4	-2.9	-38.9				
WDM	-0.5	-14.9	-1.0	-39.9				
cable	-8.0	-22.9	-16.0	-55.9				
WDM	-0.5	-23.4	-1.0	-56.9				
coupler	-3.5	-26.9	-7.0	-63.9				
opt system			-34.5	-98.4				
filter			-0.5	-98.9				
amp			68.0	-30.9				
<b>Cable Loss</b>								
WL		1550 nm						
length		20.0 km						
loss/km		-0.40 dB/km						
total loss		-8.0 dB						
amp				-32.0				
attenuator								
WDM								
cable								
WDM								
opt system								
amp								
unequal coupler(*)								
opt system								
amp								
attenuator								
WDM								
cable								
WDM								
opt system								
amp								
unequal coupler(*)								
opt system								
amp								
attenuator								
WDM								
cable								
WDM								
opt system								
amp								
Coupler(*)								
ratio								

5/5