

TRMM 降雨レーダ能動型校正装置の開発

熊谷 博^{*1} 古津 年章^{*2} 岡本 謙一^{*3}

(1996年5月17日受理)

DEVELOPMENT OF AN ACTIVE RADAR CALIBRATOR FOR TRMM PRECIPITATION RADAR

By

Hiroshi KUMAGAI, Toshiaki KOZU, and Ken'ichi OKAMOTO

Design consideration and development of a prototype of the active radar calibrator (ARC) for the first spaceborne rain radar, TRMM Precipitation Radar (PR), are discussed. The active radar calibrator has the following three functions to conduct calibration measurement for TRMM-PR in the orbit: the radar receiver, the beacon transmitter, and the transponder. A function applying a time delay to the radar signal in the transponder operation is implemented to help discriminate the ARC calibration signal from the ground surface echo. Techniques for the TRMM-PR calibration in the orbit using the ground-based ARC are being studied.

[キーワード] 熱帯降雨観測衛星, 能動型校正装置, レーダ校正.

TRMM (Tropical Rainfall Measuring Mission), Active radar calibrator, Radar calibration.

1. はじめに

能動型校正装置 (active radar calibrator) は, 衛星搭載や航空機搭載の合成開口レーダ等の校正用として広く用いられており, その有効性が示されている⁽¹⁾. 能動型校正装置は, 内部に増幅器を備えたレーダ反射器であり, アンテナビーム幅に関わらず, レーダ断面積を大きくすることができる点が, 受動的な反射器に比べ大きな特長といえる. さらに, 能動型校正装置では, 装置内でレーダ信号に対し各種の処理を施すことができる. 例えば, レーダ信号に遅延を与えたり, 周波数をずらすこと等が報告されている⁽²⁾.

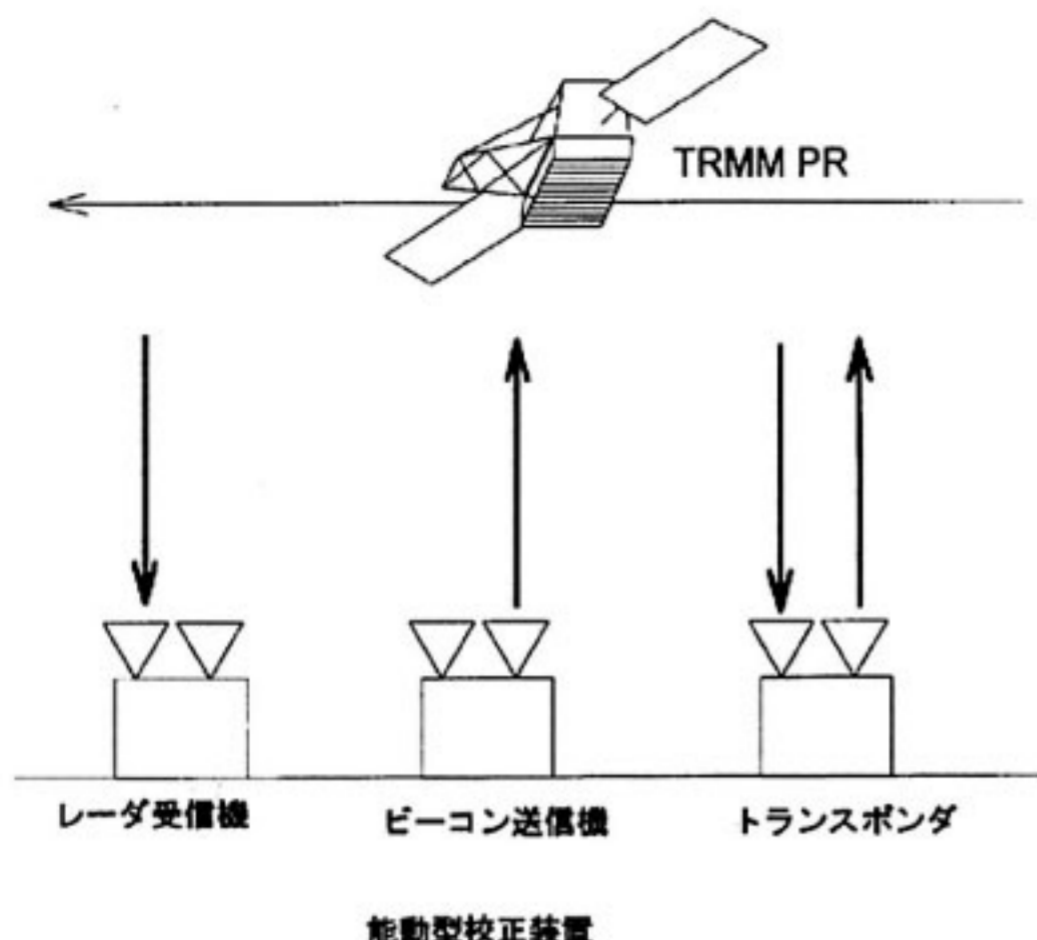
世界で初めて実現される衛星搭載降雨レーダである TRMM-PR (Precipitation Radar) に対しても, 軌

道上の校正には能動型校正装置の使用が計画されている. TRMM-PR の軌道上での校正のうち, 主要な外部校正手段として能動型校正装置が使用される. この他の外部校正源としては, 自然の対象であるアマゾンの熱帯雨林等が基準として使用される予定である⁽³⁾. 外部校正は, TRMM-PR の絶対校正として重要である. 本報告では, TRMM-PR 校正用能動型校正装置の設計のための検討や, 通信総合研究所で開発したプロトタイプ of 校正装置の特性等を説明する.

2. TRMM-PR 校正の回線設計

地上に設置した能動型校正装置による軌道上の TRMM-PR の校正の概念図を第1図に示す. 左から, 校正装置をレーダ波の受信機として使用する場合 (レーダ受信機モード), レーダに対してビーコン波を送信する場合 (ビーコン送信モード), 及びレーダからの信号を折り返しトランスポンダとして使用する場合 (トランスポンダモード) の3通りの測定方法が示されている.

*1 関東支所 地球観測技術研究室
*2 地球環境計測部 電波計測研究室
*3 地球環境計測部



第1図 地上に設置した能動型校正装置を用いた軌道上のTRMM-PRの校正の概念図。能動型校正装置はレーダ受信機、ビーコン送信機、トランスポンダの3つの機能を持つ。

レーダ受信機モードでは、レーダ側の送信機能の診断が可能である。ビーコン送信モードではレーダ側の受信機能の診断が可能である。さらにトランスポンダモードでは、レーダ側の送受全体としての診断が可能である。このような3通りの測定を行うことにより、レーダ側の各部の診断が可能となる。

次に、地上に設置した校正装置と軌道上のTRMM-PR間の校正における回線設計の検討を行う。能動型校正装置の相手となるTRMM-PRのシステムパラメータの設計値を第1表に示す。校正装置をレーダ受信機として動作させる場合、両者が正確に対向しているとすると、校正装置における受信レベルは、

$$P_r = \frac{P_t G_t a}{4\pi(h \sec \Theta)^2} \dots\dots(1)$$

で与えられる。ここで、 P_t 、 G_t はそれぞれTRMM-PR

第1表 TRMM降雨レーダ (PR) のシステムパラメータ (設計値)

周波数	13.796 GHz, 13.802 GHz*
衛星高度	350 km
アンテナビーム走査角	±17° (真下を0° とする)
アンテナビーム幅	0.71° x 0.71°
アンテナ利得	47.7 dBi
送信電力	577 W
高度分解能	250 m (パルス幅: 1.67 μs)
水平分解能	4 km
受信ダイナミックレンジ	70 dB以上

*周波数アジリティ機能が採用されており、6 MHz離れた2周波が使用される。

側のピーク送信電力と送信アンテナ利得である。 h と Θ はそれぞれ衛星高度とPRのアンテナビームの走査角(鉛直下方となす角度)である。ここで、地球表面の曲率は考慮していない。 a は校正装置受信アンテナの実効面積であり、下式で与えられる。

$$a = \frac{g_r \lambda^2}{4\pi} \dots\dots(2)$$

ここで、 g_r と λ は校正装置の受信アンテナ利得と電波の波長である。なお、本報告ではPR側の物理量は大文字で表し、校正装置側は小文字で表す。第1表に示されているPRのシステムパラメータを(1)式に代入し、デシベル値で表すと、

$$P_r = g_r - 20 \log \sec \Theta - 60.84 \text{ (dBm)} \dots\dots(3)$$

となる。PR信号の受信において、PRアンテナのサイドローブレベルまで記録するためには、ピーク値から30 dB以上のダイナミックレンジの確保が必要である。

次に、校正装置からビーコン波を送信する場合、PRで受信される信号強度は、

$$P_r = \frac{p_t g_t G_r \lambda^2}{(4\pi h \sec \Theta)^2} \dots\dots(4)$$

で与えられる。ここで、 p_t 、 g_t 及び G_r はそれぞれ校正装置の送信電力、送信アンテナ利得及びPRの受信アンテナ利得である。PRのシステムパラメータ(第1表)を代入し、デシベル値で表示すると以下のとおりである。

$$P_r = e.i.r.p. - 20 \log \sec \Theta - 118.4 \text{ (dBm)} \dots\dots(5)$$

ここで、 $e.i.r.p.$ は校正装置の等価等方放射電力である。ここで、 P_r はPRの約70 dBのダイナミックレンジのなかで、ノイズレベルよりも30 dB程度以上高いところに設定することが必要であろう。

トランスポンダ折り返しによる校正では、PRで受信される信号強度は、

$$P_r = \frac{P_t G_t G_r \lambda^2}{(4\pi)^3 (h \sec \Theta)^4} \sigma_c \dots\dots(6)$$

で与えられる。ここで、 σ_c は校正装置のレーダ断面積であり、以下のように表される⁽¹⁾。

$$\sigma_c = \frac{\lambda^2}{4\pi} g_a g_t g_r \dots\dots(7)$$

ここで、 g_a は、校正装置内部での増幅器利得である。PRのシステムパラメータを代入すると、(6)のデシベル表示は以下のように表される。

$$P_r = \sigma_c - 40 \log \sec \Theta - 135.0 \text{ (dBm)} \dots\dots(8)$$

なお、これまでの3通りの回線計算では、PRと能動型校正装置は正確に対向していると仮定した。実際の測定では、両者のアンテナの指向誤差や大気中の伝搬に伴う減衰の効果を考慮する必要がある。

3. 構成および性能

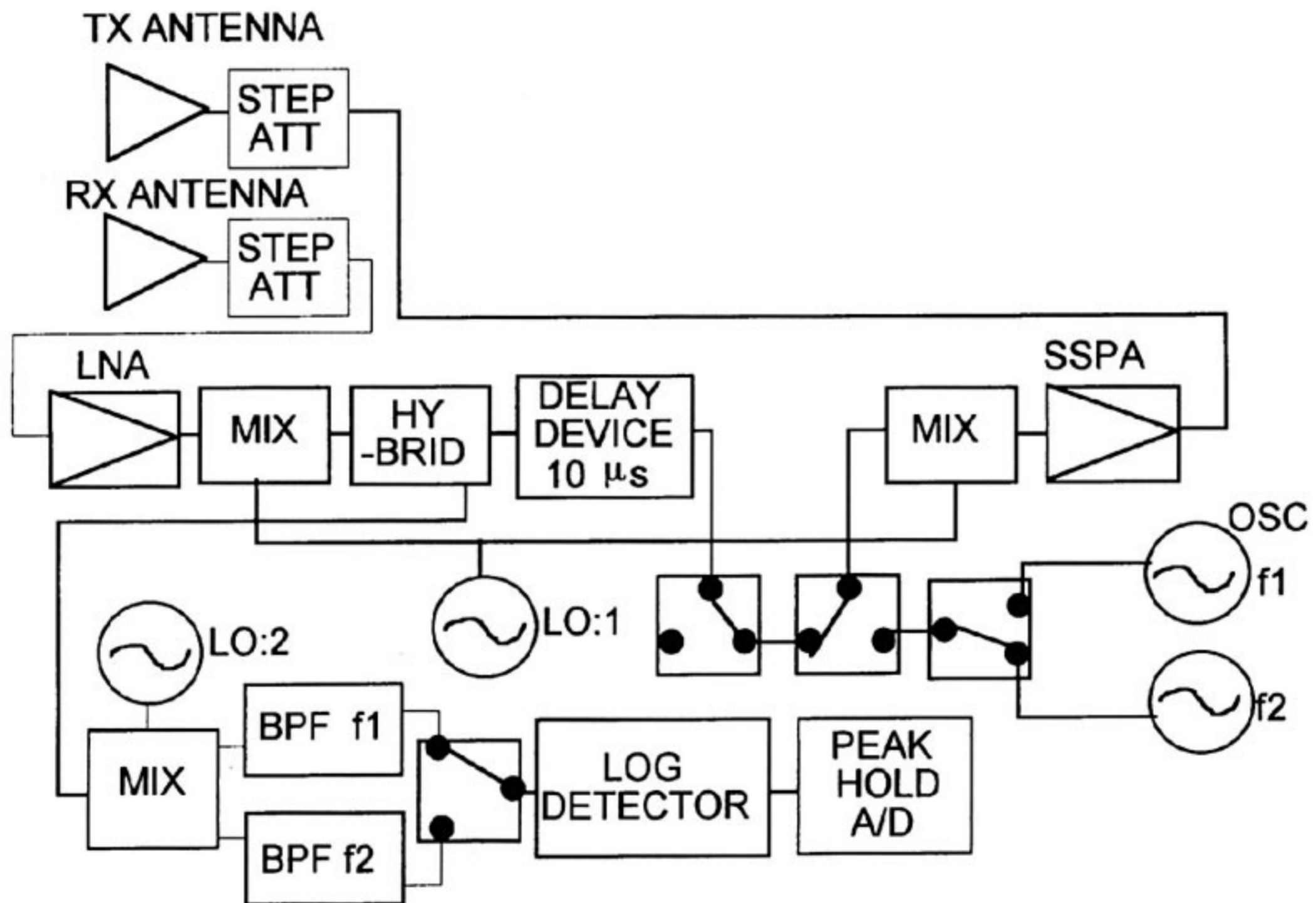
以上の回線検討をもとに、軌道上でのTRMM-PR校正を実施するために必要な能動型校正装置のシステムパラメータを求め、第2表に示す。また、プロトタイプとして開発した能動型校正装置のブロック図を第2図に示す。また、同装置の外観図を第3図に示す。送信及び受信用のアンテナは、2個の同一の標準ホーンを使用する。これらの特性は、利得は24 dBi、ビーム幅は約10度である。TRMM-PRでは、レーダとしての独立サンプル数を確保するために、周波数アジリティ方式を採用している。これは、同一体積中の降雨からのエコーの時間変化が独立とみなせる6 MHz離れた2周波数で送受信を行うものである。これに対応するために、校正装置側も、ビーコン波送信のために2周波数の原振を切り替えて使用する。ビーコン信号の送信レベルは、*e.i.r.p.*で50 dBmである。送信レベルは、出力側のステップ

第2表 能動型校正装置 (プロトタイプ) のシステムパラメータ (設計値)

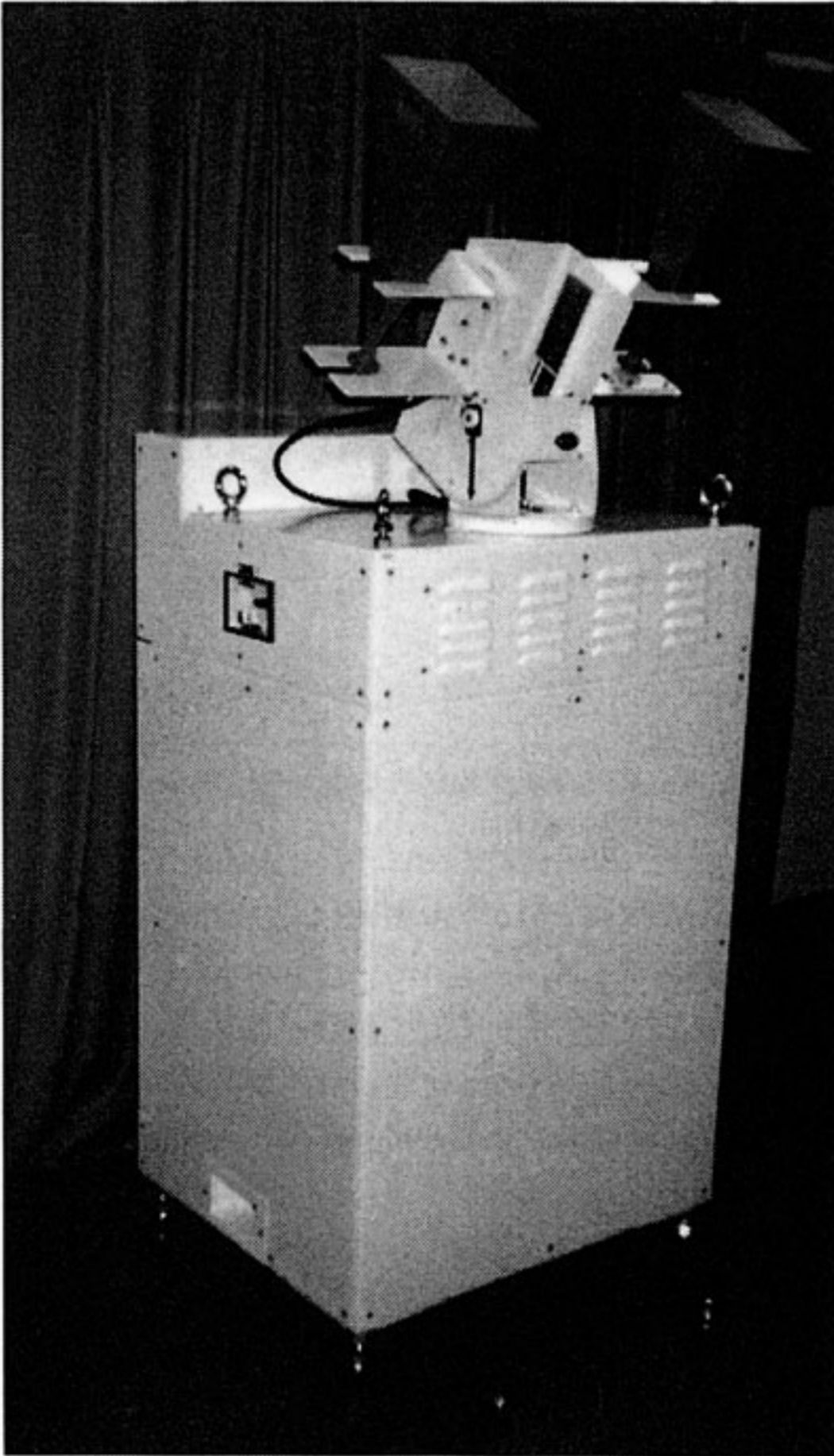
周波数*	f1: 13.796 GHz f2: 13.802 GHz
送信アンテナ利得	24 dBi
受信アンテナ利得	24 dBi
アンテナビーム幅 (半値幅)	10 degrees
e. i. r. p.	50 dBm
受信雑音指数	3.5 dB
レーダ断面積 (0dBm ² = 1 m ²)	61 dBm ²
遅延時間	10 μs

*送受信とも各々2周波数を切り替えて行う。

減衰器により、60 dBの範囲にわたり調節可能である。受信側でも2周波成分が切り替えにより受信される。受信波は、対数検波後、パルスピークレベルを検出するためのピークホールド回路を経て記録される。トランスポンダの運用では、信号ルートは、周波数アジリティの2周波数に対して十分な帯域を持っており、両周波数は同時に通過する。校正装置のレーダ断面積は61 dB以上確保されており、かつ送信信号は入力レベルに対し線形



第2図 能動型校正装置 (プロトタイプ) のブロック図



第3図 能動型校正装置（プロトタイプ）の外観図

動作が必要である。

トランスポンダ機能により軌道上の TRMM-PR の校正を行う場合に必要機能として、遅延機能がある。地表面のエコー強度は大変強く、PR 側で地表面エコーと同じタイミングで校正装置の信号が受信されると識別が困難である。そのため、校正装置を経由する折り返し信号には時間的に遅延を与え、地表面エコーと異なるタイミングで受信されるようにして、両者の分離を可能にする。現在のプロトタイプの校正装置には、バルク弾性波デバイスにより 10μ 秒の遅延が与えられている。これにより、校正装置経由の折り返し信号は、地表面からさらに 1.5 km 遠方で受信される。実際の TRMM-PR の校正において、入射角が 17° に近い場合は、アンテナフットプリントの広がり（水平方向約 4 km ）のために、地表面エコーは時間的に広がって受信される。この場合、地表面エコーと校正装置の信号との識別には 30μ 秒程度の遅延時間が必要であろう。

TRMM-PR の実運用における能動型校正装置としては、さらに以下のような機能も考慮する必要がある。1 回の TRMM の通過時間の中に、2 周波数ともに、送信、受信の測定を行うためには、送信側は高速の周波数切り替え機能が必要であり、受信側では両波を同時に記録する機能が必要である。さらに長期的に高精度な校正を行うために、校正装置自体の特性の長期的安定度を高め、かつ特性のモニタ機能が必要であろう。

4. おわりに

TRMM-PR の軌道上での校正に使用することを目的として、能動型校正装置を設計し、プロトタイプの装置を開発した。能動型校正装置は、TRMM-PR の送信、受信および送受信全体の機能の診断ができるように、それぞれ、レーダ受信機、ビーコン送信機、トランスポンダの3通りの機能を備えている。また、トランスポンダ機能においては、TRMM-PR 校正において、地表面エコーと校正信号を識別するために、校正装置内部に遅延回路を設けている。

開発した能動型校正装置は、TRMM-PR 機能確認モデルと対向させ、TRMM-PR 校正のための予備的な測定を行った。実験結果から、能動型校正装置が TRMM-PR のようなアクティブアレイレーダの校正に有効であることが示された。これらの実験結果については、本特集の中の別の報告等⁽⁴⁾⁽⁵⁾を参照されたい。

謝 辞

能動型校正装置を製作された株式会社東芝関係各位に深謝いたします。

参 考 文 献

- (1) D. R. Brunfeldt and F.T. Ulaby, "Active reflector for radar calibration", IEEE Trans. Geosci. Remote Sensing, vol. GE-22, pp. 165-169, 1984.
- (2) M. Fujita, "An active reflector for SAR calibration having a frequency shift capability", IEICE Trans. Commun., vol. E75-B, pp. 791-793, 1992.
- (3) T. Kawanishi, H. Takamatsu, T. Kozu, K. Okamoto, and H. Kumagai, "TRMM Precipitation radar", IGARSS'93, pp. 423-425, Tokyo, 1993.
- (4) 佐竹誠, 花土弘, 佐藤健治, 堀江宏昭, 熊谷博, 井原俊夫, 古津年章, 岡本謙一, "TRMM降雨レーダ機能確認モデルの開発と実験", 通信総研季, 42, 3,

pp. 277-285, Sept. 1996.

- (5) H. Kumagai, T. Kozu, M. Satake, H. Hanado, and K. Okamoto, "Development of

an active radar calibrator for the TRMM precipitation radar", IEEE Trans. Geosci. Remote Sens. vol. GE-22, pp. 1316-1318, 1995.



熊谷 博
Hiroshi KUMAGAI
鹿島宇宙通信センター
地球観測技術研究室
大気のリモートセンシング
E-Mail: kumagai@crl.go.jp



古津 年章
Toshiaki KOZU
地球環境計測部 電波計測研究室
マイクロ波リモートセンシング
E-Mail: kozu@crl.go.jp



岡本 謙一
Ken'ichi OKAMOTO
地球環境計測部
電波リモートセンシング
E-Mail: okamoto@crl.go.jp

