

双方向性光ファイバリンクモジュールを用いたアンテナ測定システム

黒川 悟[†] 鳥羽 良和^{††} 廣瀬 雅信[†] 飴谷 充隆[†]

[†]産業技術総合研究所 計測標準研究部門 〒305-8563 茨城県つくば市梅園 1-1-1

^{††}株式会社精工技研 〒270-2214 千葉県松戸市松飛台 296 番地の 1

E-mail: [†]{ satoru-kurokawa, masa-hirose, m.ameya }@aist.go.jp, ^{††}{ yoshikazu.toba@seikoh-giken.co.jp

あらまし 送信用, 受信用光ファイバリンクモジュールを一体化し, さらに, 高周波用方向性結合器を組み合わせた双方向性光ファイバリンクモジュールを用いたアンテナ測定システムを提案する. 提案システムは, マイクロ波を送信, 受信することが可能なため, ネットワークアナライザの校正機能を用いてフル 2 ポート校正が可能である. 開発システムは, 10MHz~1GHz 程度で, S_{21} 測定のダイナミックレンジとして 50dB 以上を有することを示す. さらに, 広帯域アンテナを用いた伝送特性, 反射特性測定結果を示す.

キーワード 光ファイバ無線, ベクトルネットワークアナライザ, アンテナ測定, 伝送特性, 反射特性

Antenna Measurement system Using Bi-directional Optical Fiber Link Modules

[†]Satoru KUROKAWA, ^{††}Yoshikazu TOBA, [†]Masanobu HIROSE, [†]Michitaka AMEYA

[†]National Metrology Institute of Japan, National Institute of Advanced Industrial Science and Technology, 1-1-1 Umezono, Tsukuba, Ibaraki, 305-8563 Japan

^{††}SEIKOH GIKEN Co.,Ltd., 296-1,Matsuhidai,Maysudo,Chiba, 270-2214, Japan.

E-mail: [†]{ satoru-kurokawa, masa-hirose, m.ameya }@aist.go.jp, ^{††}yoshikazu.toba@seikoh-giken.co.jp

Abstract We propose a antenna measurement system using bi-directional type optical fiber link module. Our proposed system can measure transmitting microwave signal and receiving microwave signal after full-2-port calibration of vector network analyzer. In this paper, we show the frequency response of bi-directional type optical fiber link module. Dynamic range of our proposed system is more than 50 dB in the frequency range from 10 MHz to 1000 MHz. Further, we show the antenna reflection coefficient and transmitting measurement results using our proposed optical system.

Keyword Broadband antenna, Log-periodic antenna, Antenna gain, Antenna factor, Radio on fiber, Time stability

1. はじめに

アンテナ特性測定は, オープンサイトや電波暗室内で実施する. 測定では, 送信アンテナと受信アンテナそれぞれを同軸ケーブルを用いてベクトルネットワークアナライザ (VNA) に接続して S パラメータ測定を実施し, アンテナの反射係数, アンテナ利得等を測定する. 測定は, VNA に接続された同軸ケーブル先端で電子校正キット等を用いてフル 2 ポート校正を実施した後に実施する. アンテナ測定では, 被測定アンテナの遠方界距離が数十 m 以上になることも多く, 信号減衰や金属である同軸ケーブルからの反射の影響が無視できないことが多い. このため我々は, アンテナとベクトル

ネットワークアナライザを光ファイバ無線(RoF)モジュールを用いて光ファイバで接続し, アンテナ特性を測定するシステムを既に提案し[1], 同軸ケーブルを用いずにアンテナ伝送特性定が測定可能であることを示した. しかしすでに提案した RoF モジュールは, アンテナの反射特性が測定できず, VNA のフル 2 ポート校正機能を用いることも困難であった.

そこで我々は, 光ファイバでの送受信が可能な光送信・受信モジュールとして, 送信用直接変調レーザダイオード(LD)と受信用フォトダイオードを内蔵した 5cm×5cm×1cm 程度のコンパクトな光送受信モジュールとマイクロ波用方向性結合器を組み合わせて用いることにより, VNA のフル 2 ポート

校正機能を用いた校正を可能とし、送受信アンテナを用いた場合の S パラメータ測定を可能としたので、その概要を報告する。

本報告ではまず、光送受信モジュールの概要を述べる。次に、光送受信モジュールを用いた広帯域アンテナの S パラメータ測定結果を示し、アンテナ測定が可能であることを示す。

2. 双方向性 RoF モジュールの概要

2.1 光送信・受信モジュールの周波数特性

光送受信モジュール (RoF モジュール) は、VNA からの出力信号をレーザ光の強度変調に変換し、光ファイバで伝送する送信モジュールと、光ファイバで伝送された強度変調光を電気信号に変換するフォトダイオードで受信する受信モジュールで構成され、光ファイバ 1 本で光送信・受信モジュールを接続して利用することが可能である。図 1 に RoF モジュールの周波数特性測定概念図を示す。測定は、4 ポート VNA を用いて、RoF モジュール間の伝送特性、同一 RoF モジュール内での送信ポートから受信ポートへの漏れ特性の測定を実施した。測定結果を図 2 に示す。測定結果は、 S_{21} 伝送特性として、30 MHz~1500 MHz で約 3 dB のフラットネスを有することを示しており、 S_{31} 漏れ特性として、1500 MHz 以下で 20 dB 以上、2 GHz 以上では、伝送特性と漏れ特性がほぼ同レベルとなった。測定結果は、RoF モジュールが、1.5GHz 程度まで伝送、反特性、反射特性を同時に測定可能であることを示している。なお、VNA ポート出力は 10dBm、IF バンド幅=100 Hz、ポート出力レベル=0 dBm として測定を実施した。

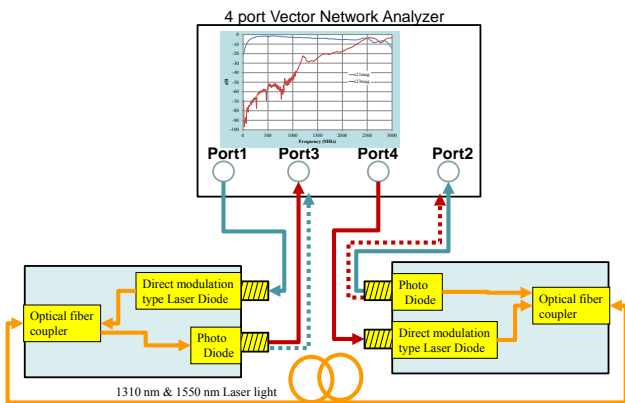


図 1 RoF モジュールの伝送特性、漏れ特性測定概念図

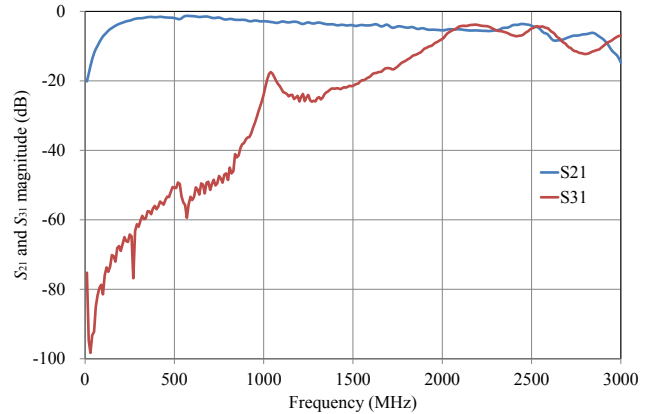


図 2 RoF モジュールの伝送特性、漏れ特性測定結果

2.2 光送受信モジュールと方向性結合器を組み合わせた双方向性 RoF モジュールの周波数特性

RoF モジュールの受信ポートに方向性結合器の出力端子を接続し、RoF モジュールの送信ポートに方向性結合器のカップルポートを接続し、方向性結合器の入力端子を VNA のポートに接続することにより、方向性結合器の入力端子にてフル 2 ポート校正を実施した後に S_{11} 、 S_{21} 、 S_{12} 、 S_{22} の測定が可能である。方向性結合器は、1MHz~2GHz までの結合度=10dB 程度の Minicircuits 社製 ZFDC-10-5 を用いた。図 3 に双方向性 RoF モジュールの周波数特性測定概念図を示し、図 4 に周波数特性測定結果を示す。測定結果は、 S_{11} と S_{22} が、2GHz 程度まで -10dB 以下となった。 S_{21} と S_{12} に 20dB 以上の差がある結果となった。これは、RoF モジュール特性に差があるためである。今後特性の均一化を図る予定である。双方向性 RoF モジュール構成とすることで、ポート 1、ポート 2 それぞれに双方向性 RoF モジュールを用いれば、VNA のフル 2 ポート校正機能を用いて、校正が可能のため、双方向性 RoF モジュールの RF コネクタ先端で校正を行った後に各種デバイス、アンテナの特性などの測定が可能である。

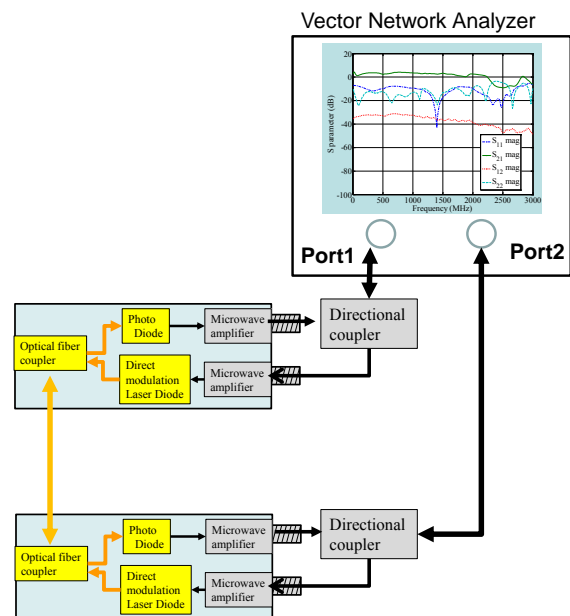


図 3 双方向性 RoF モジュールの周波数特性測定概念図

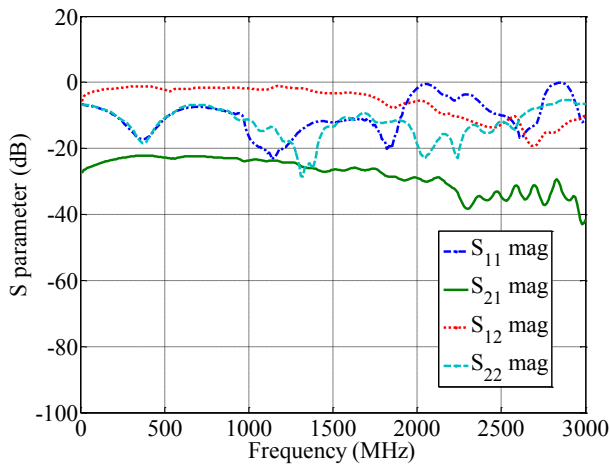


図4 双方向性 RoF モジュールの周波数特性測定結果

2.2 双方向性 RoF モジュールのリニアリティ

双方向性 RoF モジュールを用いてマイクロ波デバイスやアンテナ送受信特性を測定することを想定して、ステップアッテネータを双方向性 RoF モジュール間に挿入して、0 dB から 110 dB まで 10 dB 間隔で変化させて測定を実施した。測定概念図を図 5 に示し、測定結果を図 6 に示す。測定結果は、2GHz まではアッテネータ値 $ATT=60$ dB(-60 dBm 程度)まで測定可能であり、500 MHz までは $ATT=70$ dB(-70 dBm 程度)まで測定が可能であることを示している。

図 7 に双方向性 RoF モジュールのリニアリティ算出結果を示す。リニアリティ $Lin_{ATT}(\omega)$ は、ステップアッテネータの校正値を用いて $ATT=0$ dB の場合の測定結果を基準として (1)式により算出する。

$$Lin_{ATT}(\omega) = S_{21_ATT}(\omega) + ATT(\omega) - S_{21_ATT0dB}(\omega) \quad (1)$$

$ATT(\omega)$ はアッテネータの校正値、 $S_{21_ATT}(\omega)$ はアッテネータ値 = $ATT(\omega)$ の場合の双方向性 RoF モジュールの測定結果、 $S_{21_ATT0dB}(\omega)$ は $ATT(\omega)=0$ dB の際の双方向性 RoF モジュールの測定結果であり、(2)式により算出した、アッテネータでの測定結果 $S_{21_ATT0dB}(\omega)$ を基準とした値である。

$$S_{21_ATT0dB}(\omega) = S_{21_ATT}(\omega) + ATT(\omega) \quad (2)$$

30 MHz ~ 600 MHz の周波数範囲では、入力レベル = -50 dBm 以上でリファレンスとなる $ATT=0$ dB の場合との差は ± 0.5 dB 以下、30 MHz ~ 1 GHz の周波数範囲で入力レベル = -40 dBm 以上での差は ± 0.3 dB 以下となることから、アンテナ間減衰量 40dB 以下であれば、 ± 0.3 dB 以下のリニアリティでアンテナ特性が測定可能であることがわかる。

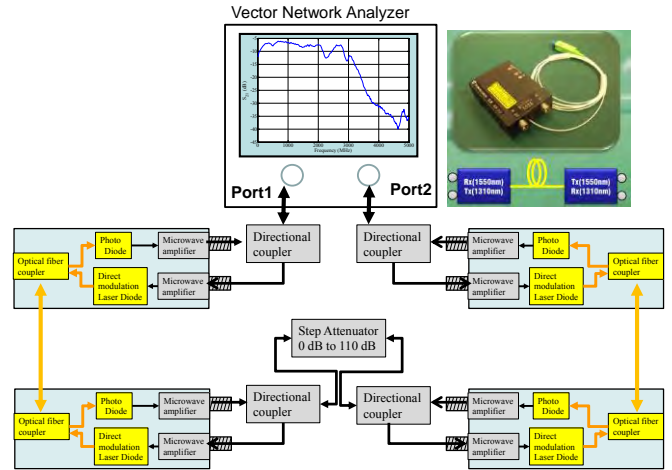


図5 双方向性 RoF モジュールのフル 2 ポート校正後のリニアリティ測定概念図

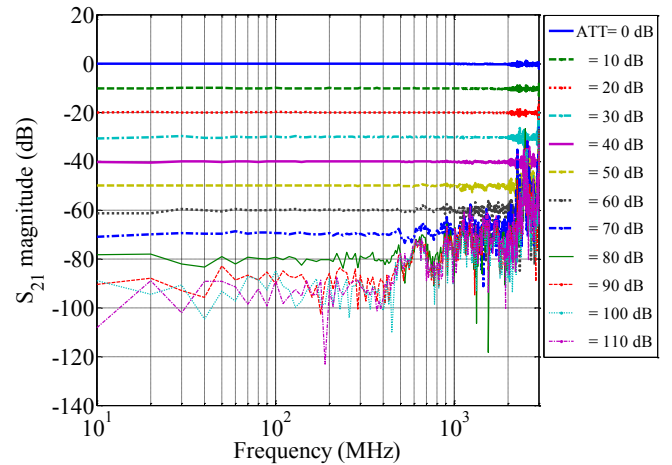


図6 双方向性 RoF モジュールのフル 2 ポート校正後の入力信号による応答特性測定結果

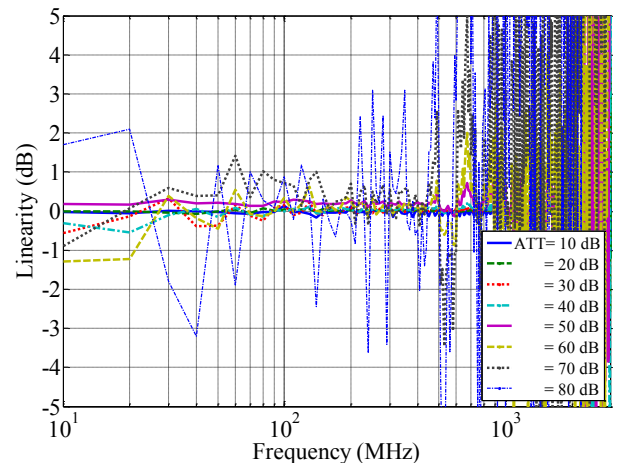


図7 双方向性 RoF モジュールのフル 2 ポート校正後の入力信号による応答特性測定結果

3. 双方向性 RoF モジュールを用いたアンテナ測定

双方向性 RoF モジュールをアンテナ特性測定に用いることを想定して、ソリッドタイプのバイコーンアンテナを送信アンテナ、受信アンテナとして用いて測定を実施した。測定は、電子校正キットを用いて、方向性結合器のコネクタ端にてフル 2 ポート校正を実施した後に反射係数(S_{11})測定と伝送特性(S_{21})測定を実施した。アンテナは、アンテナ給電点間距離=1100 mm, 1500 mm として対向して設置し、電波暗室内で測定を実施した。図 8 に測定概念図を、図 9 にアンテナ測定実施時の写真を示す。

図 10 に、 S_{11} 測定結果を示し、図 11 に S_{21} 測定結果を示す。 S_{11} 測定結果は、被測定アンテナが、300MHz ~2GHz 程度までの広帯域特性を有していることを示す結果となった。同軸ケーブルを用いた反射係数測定結果との比較結果は、双方向性 RoF モジュールを用いた場合の測定結果とほぼ同一であった。 S_{21} 振幅測定結果は、アンテナ間距離=1100 mm, 1500 mm の場合の結果共に、反射波を含むと思われる結果となっているが、 S_{21} 位相測定結果は、アンテナ間距離の差を明確に示す位相遅延が測定可能であることを示す結果となった。

4. まとめ

本報告では、マイクロ波デバイスやアンテナの特性を同軸ケーブルを用いずにベクトルネットワークアナライザのフル 2 ポート校正機能を用いた校正実施後に測定可能な双方向性光ファイバリンクモジュールを提案した。提案モジュールは、マイクロ波を送信、受信可能な光デバイスとマイクロ波方向性結合器で構成し、モジュールを光ファイバ 1 本で接続して用いることにより、同軸ケーブルと同様に、マイクロ波の送信と受信が可能であることから、伝送特性だけでなく、アンテナの反射係数特性も測定可能である。提案システムは、1 GHz 程度まで、-40dBm 以上の信号を±0.3dB 以下のリニアリティで用いることが可能である。

提案システムを用いて、2 本のアンテナを用いた測定を実施し、送受信アンテナ間の伝送特性、反射係数特性として、振幅、位相共に測定することが可能である。今後は、バイコニカルアンテナやログペリオディックアンテナ等の広帯域アンテナのアンテナ係数、アンテナ利得測定に用いることを検討したい。

文 献

[1] 黒川悟, 鳥羽良和, 廣瀬雅信, 飴谷充隆, “簡易型光ファイバリンクモジュールを用いた EMI 測定用アンテナ特性測定,” 電子情報通信学会技術研究報告, PEM2013-10, AMT2013-09, Oct, 2013.

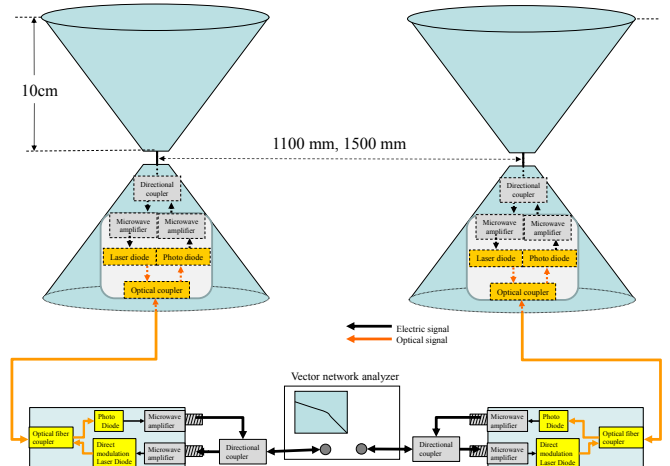


図 8 双方向性 RoF モジュールを用いたアンテナ測定概念図



図 9 電波暗室内でのアンテナ測定の様子

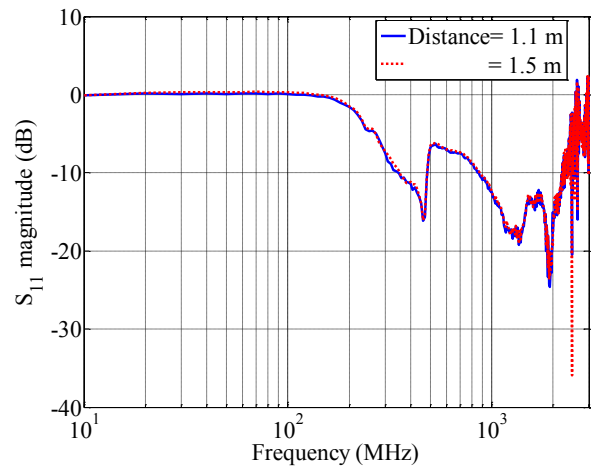


図 10(a) S_{11} 振幅特性測定結果

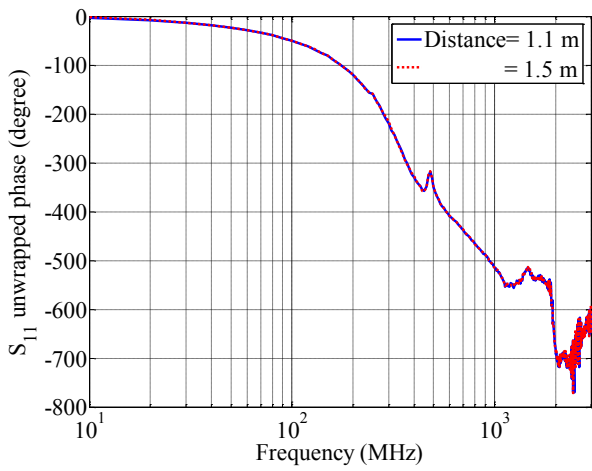


图 10(b) S_{11} 位相特性測定結果

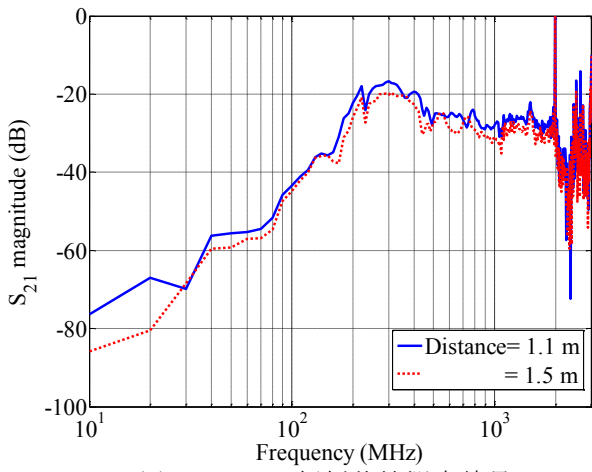


图 11(a) S_{21} 振幅特性測定結果

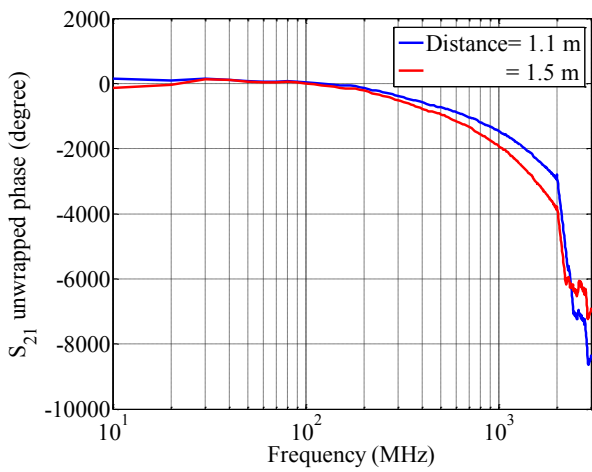


图 11(b) S_{21} 位相特性測定結果