研究論文

ネットワークアナライザを用いた高周波測定技術の育成

石澤　賢太*　牧野　斉*　須田　孝義*

A Study of Super High Frequency Measurement Technology Using a Network Analyzer

ISHIZAWA Kenta*, MAKINO Hitoshi* and SUDA Takayoshi*

抄　　録

高周波技術分野においては回路動作周波数が高速化しており，これに対応するため下越技術支援センターでは，高性能ベクトルネットワークアナライザを平成29年2月に導入した。動作周波数の高速化に伴い，回路動作を評価するためには高い測定技術が求められる。本研究では，測定技術を高度化することを目的とする。そのために無線通信などで使用される高周波部品を例とした特性測定を試み，製品仕様と比較することで測定の妥当性を検証した。また，被測定物の接続状態が測定結果に及ぼす影響について調査した。

1.　緒　　言

無線通信機器や電子機器等の製品開発においては，部品・構成材料・通信用デバイスなどの周波数特性を知る必要がある。第 5 世代移動通信のサービス開始を目前に控え，使用周波数帯域が従来より高い領域へシフトしつつあり，今後もこうした動きは継続するものと考えられる。このような背景から 67GHz までの測定に対応したベクトルネットワークアナライザ（Rohde & Schwarz 社製 ZVA67 [1)]）を平成 29 年 2 月に導入した。測定器の外観を図 1 に示す。測定周波数の高周波化に伴い，より高度な高周波測定技術が求められる。

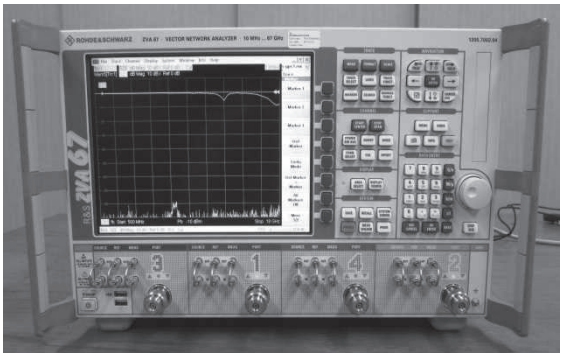

図 1　ベクトルネットワークアナライザ ZVA67

本研究では市販されている高周波部品の周波数特性を測定し，既知の特性データと比較検証することで測定方法の妥当性を確認した。また，その結果を応用してアンテナの設計を試みた。更に，測定結果に影響を及ぼすと考えられる同軸コネクタの接続状態について調べた。

2.　ネットワークアナライザについて

ネットワークアナライザは伝送経路にある電子部品，電子回路網，材料等の周波数特性（透過，減衰，反射）を解析する測定器である。ネットワークアナライザは，スカラ型とベクトル型とに大別される。前者は，被測定物（Device Under Test：DUT）への入射信号に対する反射信号もしくは伝送信号の振幅を測定することで DUT の周波数特性を解析する。一方後者は，振幅に加えて位相の測定も可能で，今回導入したものもこれに該当する。ネットワークアナライザは内部に信号源を持ち，DUT への入射信号を出力する。DUT へ入射した信号と DUT から反射された反射信号及び DUT を通過した伝送信号を解析することで，信号経路に存在する DUT

＊　下越技術支援センター

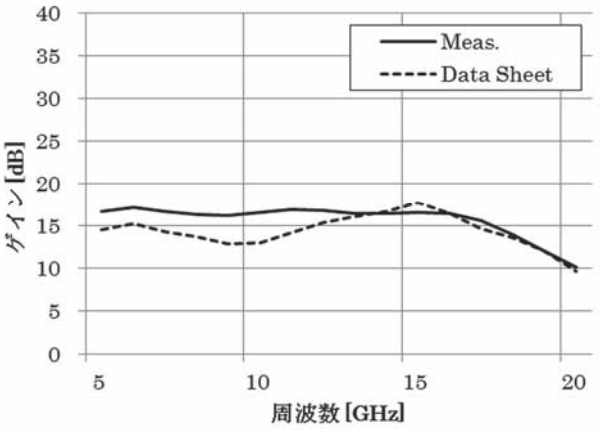

図 2　アンプゲイン

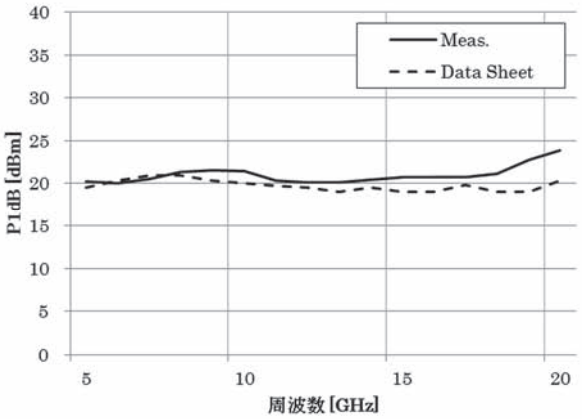

図 3　P1ｄＢ

によって信号の振幅及び位相がどのように変化したかという情報を得る。ネットワークアナライザで DUT の周波数特性を測定する場合，S（Scattering：散乱）パラメータが用いられる。S パラメータは DUT を 2～8 端子数を有する等価回路網に見立て，周波数特性を複素量として散乱行列で表わすものであり，この情報を基にネットワークアナライザ内部で演算し，任意の表示形式による周波数特性としてディスプレイに表示される。ネットワークアナライザはインピーダンスと減衰量の基本測定器であり，測定系が持つ誤差要因をキャリブレーションによって補正するため極めて高い測定確度を持ち，電子計測器の中でも標準器として位置付けられている。

3.　研究内容および結果

本研究では，データシートや仕様書で特性が既知である高周波部品を入手し，S パラメータやインピーダンスを測定した。測定データと既知のデータとを比較することで測定方法の妥当性を検証した。併せて DUT の配置，同軸コネクタの接続方法などを検証することで，測定技術およびベクトルネットワークアナライザの操作方法を習得した。高周波部品は，アンプ，高周波スイッチ，アンテナを選定した。

3.1　アンプ

周波数帯域 5GHz～20GHz に対応した ANALOG DEVICES 社製 HMC451LC3 [2)]を使用した。

3.1.1　アンプゲイン

HMC451LC3 に添付のデータシートと測定結果を図 2 に示す。周波数 5GHz～20GHz において，データシートでは 14～19dB のゲインである。 実測では，15.8～17.2dB のゲインであることが確認できた。このことから，測定方法は妥当であると判断した。

3.1.2　1dB コンプレッションポイント （P1dB）

P1dB はアンプの出力性能を示す指標の一つである。ゲインの周波数特性の線形応答が 1dB 低下する出力レベルを示すもので，dBm（電力）単位で表される。P1dB を超えると出力レベルが飽和すると言われる。図 3 にデータシート値と実測値の比較結果を示す。

8GHz まではデータシート値と合致しているが，更に周波数が高くなると，実測値の方が高くなり，最大 3.5dB（20GHz）の偏差があった。データシートによれば，P1dB の範囲は 16～19.5dBm となっており，実測値はこの範囲にあるので測定方法は妥当と判断した。

3.2　高周波スイッチ

高周波スイッチは高周波回路を切り替える為に使用されるものである。例えば利用周波数に応じてアンテナの入出力を切替える用途として用いられている。本研究では周波数帯域 9kHz から 13GHz に対応した SPDT（Single-Pole, Double-Throw，1 入力 2 出力）スイッチ

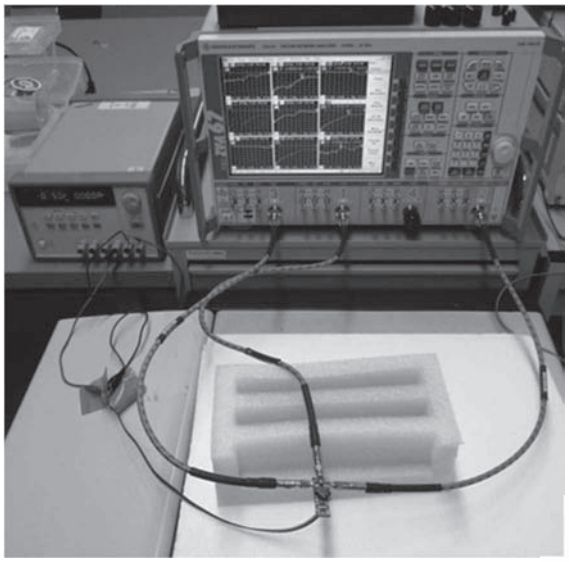

図 4　高周波スイッチの挿入損失測定

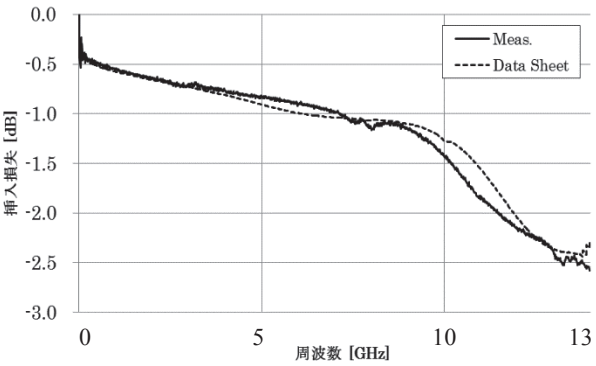

図 5　挿入損失

ANALOG DEVICES 社製 HMC1118 [3]を使用し，挿入損失を測定した。図 4 に測定時の様子を示す。HMC1118 に添付のデータシートと測定結果を図 5 に示す。周波数 13GHz までにおいて，データシートと実測値は概ね一致していた。

3.3　アンテナ

一般にアンテナは，UWB（Ultra Wide Band，周波数：3.1GHz～10.3GHz）のような広い周波数帯域に対応したワイドバンドアンテナと，無線 LAN（周波数：2.4GHz および 5.2GHz）のように幾つかの個々の周波数に対応したマルチバンドアンテナとに大別される。

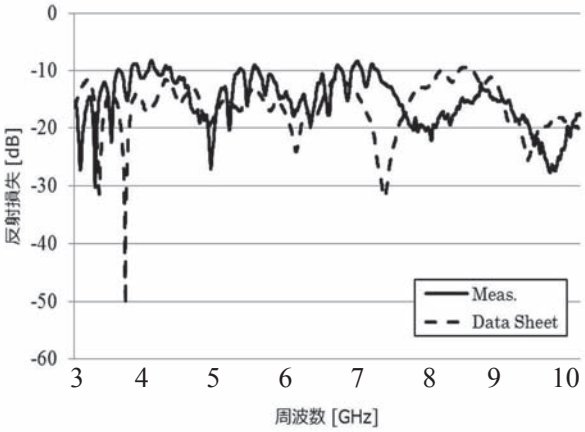

図 6　反射損失

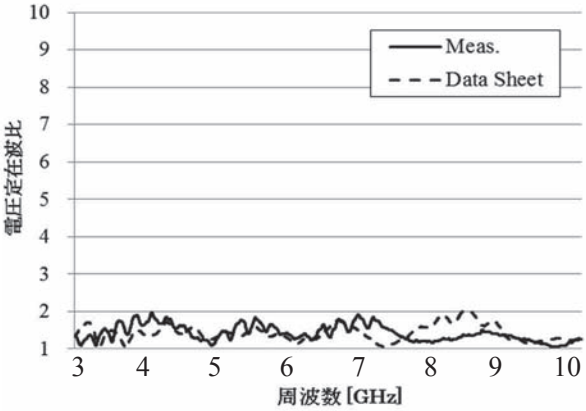

図 7　電圧定在波比

ここでは，市販されている UWB 用チップアンテナと，試作した無線 LAN 用アンテナを使用した。

3.3.1　UWB 用チップアンテナ

3.1GHz～10.3GHz に対応した JOHANSON TECHNOLOGY 社製 3100AT51A7200 [4]を使用した。

アンテナ性能の指標として反射損失，電圧定在波比，アンテナインピーダンスを測定した。

3100AT51A7200 の反射損失の測定結果を図 6 に，電圧定在波比の測定結果を図 7 に，データシートの特性値と共に示す。図 8 にアンテナインピーダンスの測定結果を示す。UWB の周波数帯域において，反射損失と電圧定在波比の実測値はデータシートと概ね一致していた。

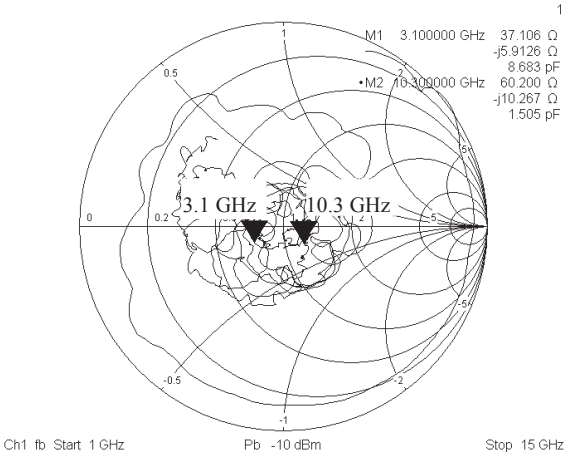

図 8　アンテナインピーダンス

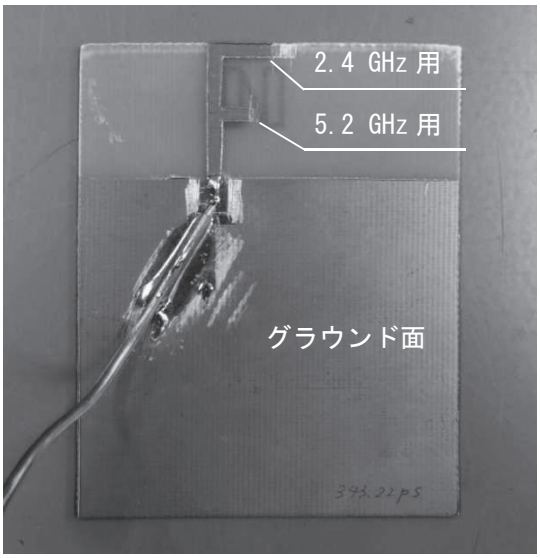

図 9　無線 LAN 用アンテナ

3.3.2　無線 LAN 用アンテナの試作

これまでに妥当性が確認された測定方法を応用し，無線 LAN 用途として広く用いられている 2.4GHz および 5.2GHz の 2 周波に対応したマルチバンドアンテナを試作した。図 9 に試作した無線 LAN 用アンテナを示す。

試作した無線 LAN 用アンテナの構造は分岐素子型 L 字アンテナとした。給電部から最遠部までが 2.4GHz 用，給電部から途中分岐した先端までが 5.2GHz 用として動作するものである。試作アンテナの電圧定在波比と，アンテナインピーダンスを測定した。電圧定在波比を図 10 に示す。

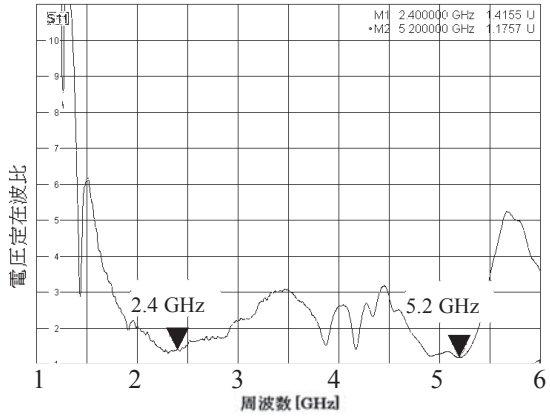

図 10　無線 LAN 用アンテナの電圧定在波比

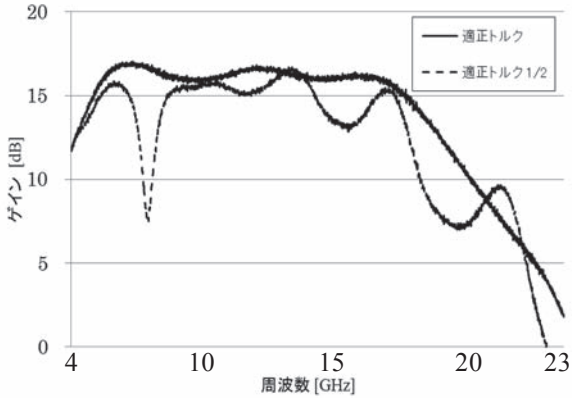

図 11　同軸コネクタ締付けトルクによる DUT 測定結果への影響

電圧定在波比は一般的に 2 以下が設計指標として推奨されている。試作当初 10 以上だった電圧定在波比を，ベクトルネットワークアナライザを用いて調整と測定を繰り返すことにより，設計指標以下になるように試みた。その結果，試作アンテナの 2.4GHz と 5.2GHz における電圧定在波比は 1.4 と 1.2 となった。

3.4　DUT の接続状態の検討

高周波測定において，ベクトルネットワークアナライザと DUT を接続する同軸コネクタは適正トルクで締付けるように注意喚起されている [5]。そこで，締付けトルクが異なる場合に，測定結果に対してどのような影響があるかを検討した。3.1 で述べたアンプの測定環境において， 適正トルクに対しておおよそ半分の締付けとした場合の結果を図 11 に示す。適正トル

クでない場合，複数のリップルが発生し測定再現性が乏しくなることがわかった。

4. 結　　言

（1）新規導入されたベクトルネットワークアナライザを用いて高周波部品の特性を測定し，既知の特性データと比較検証することで測定方法の妥当性を確認した。

（2）妥当性が確認された測定方法を応用し，試作した無線 LAN 用アンテナの特性を測定した。

（3）DUT と同軸コネクタの接続状態に着目し，締付けトルクの違いが及ぼす測定結果への影響を調査した。

参考文献

1）Rohde & Schwarz GmbH & Co.KG, “*R&S ZVA Vector Network Analyzers Getting Started* ”, 2015, https://cdn.rohdeschwarz.com/pws/dl_downloads/dl_common_lirary/dl_manuals/gb_1/z/zva_2/ZVA_GettingStarted_en_13.pdf

2）ANALOG DEVICES , “*HMC451LC3 GaAs PHEMT MMIC MEDIUM POWER AMPLIFIER”*, Data sheet, v06.0514, 2017

3）ANALOG DEVICES, “*HMC1118 High Isolation, Silicon SPDT, Non-reflective Switch”,* Data Sheet, Rev.0, 2015

4）JOHANSON TECHNOLOGY, “*3100AT51A7200 Ultra Wide Band (UWB) Chip Antenna 3.1-10.3 GHz”*, Data Sheet, 2008

5）アジレント･テクノロジー株式会社, “マイクロ波ミリ波同軸コネクタ”, 5988-8015JA, 2012 年