

ベクトルネットワークアナライザを用いたマイクロ波帯域測定における誤差要因 低減に関する調査

内藤丈資*¹ 本多春樹*¹ 戸枝保*²

Study on the Reduction of Error Factor in Microwave Band Measurement using a Vector Network Analyzer

NAITO Takeshi*¹, HONDA Haruki*¹, TOEDA Tamotsu*²

抄録

ベクトルネットワークアナライザ (VNA) による高周波測定において、機械的なセッティングの変化が測定結果にどのように影響するかを調査した。保有するテストポートケーブルについて、アダプタを被測定対象物 (DUT) として接続し、ケーブルの物理的な湾曲状態の変化が反射特性と伝送特性の測定値にどの程度影響するかを調査した結果、各種テストポートケーブルの湾曲状態の変化が測定値に及ぼす影響を把握できた。また、高周波プローブを使用する測定において、その接触状態が測定値にどの程度影響するかについても調査し、影響を把握することができた。

キーワード：ベクトルネットワークアナライザ，テストポートケーブル，プローブ，誤差

1 はじめに

一般に、VNAによる高周波測定では、ケーブルの湾曲状態¹⁾、コネクタの締め付けトルク²⁾及びプローブの接触状態等の測定システムの機械的なセッティングの変化が測定結果に大きく影響するので、確度及び再現性の低下が課題となる。当センターでは平成21年度にVNAと周辺機器によるマイクロ波ネットワークアナライザ測定システムを導入した。このシステムを使用するうえで機械的なセッティングの変化による測定結果への影響について測定精度の向上及び測定の再現性の向上による効率化を目的に本調査を実施した。

コネクタの締め付けトルクについては、トルクレンチで管理していることから影響は小さいと考え、調査対象は、すべての接続において必要とな

るケーブルの湾曲状態の変化並びにプローブの接触状態の変化の影響についてとした。

2 調査方法

ケーブルやプローブの特性は、本来キャリブレーションで補正され、測定結果に影響を与えないものであるが、キャリブレーション後に特性が変化すると、変化分が測定データに加わり誤差となる。

本調査では、まずこの「変化分」の最大値を求める。ケーブルやプローブの「変化分」は、仮のDUTの測定値の変化として測定される。次に、この「変化分」が実際のDUTの測定結果に及ぼす影響について評価する。

本調査で使用した機材を表1及び表2に示す。なお、VNAは共通してAgilent Technologies製PNA-X N5244Aを使用する。

*¹ 技術支援室 電気・電子技術担当

*² 技術支援室

表1 ケーブル接続に使用した機材

機材名	N コネクタケーブルの測定	3.5mm コネクタケーブルの測定	2.92mm コネクタケーブルの測定
ケーブル	85135F	85134F	85133F
DUT	N 型アダプタ 85032-60020	3.5mm アダプタ 1250-1749 83059A	2.92mm CalKit 付属アダプタ (Maury Microwave)
接続アダプタ等	APC7-N 同軸アダプタ 11524A		2.4mm-2.92mm アダプタセット 11904S

() 表記はメーカー名、無記入は Agilent Technologies

表2 プローブ測定に使用した機材

機材名	型番等
プローブステーション	M150 マニュアルステーション
接続ケーブル	2.92mm フレキシブルケーブル (潤工社)
DUT	校正基板 106-682
プローブ	APC40-GSG

() 表記はメーカー名、無記入は CASCADE MICROTCH

測定は、フル2ポート校正を行った後、プラグ-ジャックアダプタまたは校正基板のスルーパターンを DUT として、ケーブルの状態またはプローブの接触状態を変化させて S11 及び S21 パラメータを取得する。

機器の設定を表3に示す。

表3 測定器設定

設定項目	N コネクタケーブルの測定	3.5mm コネクタケーブルの測定	2.92mm コネクタケーブルの測定	プローブの測定
スタート周波数 [GHz]	0.01	0.01	0.01	0.01
ストップ周波数 [GHz]	18	26.5	40	43.5
測定ポイント数	101	101	101	201
測定パワー [dBm]	0	0	0	-5
IFBW [Hz]	10	10	10	100

2.1 ケーブルの湾曲状態

一般に VNA テストポートケーブルは、無理に曲げ伸ばしせず、ケーブルに適した湾曲状態で使用し、測定中は静置して極力変化させないことが推奨されている。しかし、実際は、キャリブレーション時並びに DUT との接続時において必ず移動が発生し状態が変化してしまう。本調査では、ケーブルの湾曲状態の変化が測定結果に及ぼす影響について、ケーブルの移動前後の測定値の変化量のデータを取得する。

データの取得は、まず、VNA のテストポート前に設置した作業机上で、最もケーブルにストレスがかかっていない DUT の位置を原点とする。そして、実際の測定における移動を想定し、VNA フロントパネル正面の机上平面内で、DUT をパネルと垂直に遠近方向 (Y 方向) またはパネルと平行に左右方向 (X 方向) に往復移動させ変化を調べる。(図1)

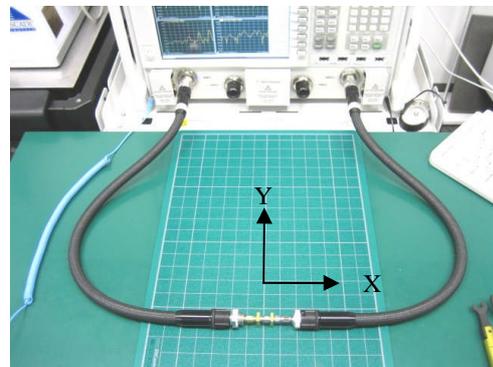


図1 ケーブル湾曲状態の変化測定

データは、各トレースの計測値とその次のトレースの計測値との差を1回の移動による変化量として取得し、10回の移動に対して、その最大値を求める。本調査では3種類のケーブルについての変化量を10回取得するため、次の各状態で11トレースを測定し、直前の計測値との差を求めた。

- ①DUT を静置した状態。
 - ②DUT の位置を Y 方向に 1cm の幅で往復移動。
 - ③DUT の位置を Y 方向に 2cm の幅で往復移動。
 - ④DUT の位置を X 方向に 1cm の幅で往復移動。
- ②～④では1動作 (+方向または-方向) ごとに計測した。また、②については DUT を 1 往復させた前後の同じ位置における差も求め、データが元に戻るかについて調べた。

2.2 プローブの接触状態

プローブステーションで使用する高周波プローブ

ブは、プローブの先端部分が傾いて保持されているため、プローブが接触した状態から基板に向かって垂直にさらに押しさげる（オーバードライブ）ことにより、プローブ先端が基板のパッド上を水平方向にすべる。この移動距離をスケート量と呼ぶ。プローブは、標準接触状態として推奨スケート量がメーカーより示されている。キャリブレーションにおいては校正基板にあるスケート量を調整するためのパターンを用いて目視によりスケート量を調整しているが、実際の DUT の測定時は、マイクロポジショナにより調整する。

本調査では、スケート量が標準の状態（25 μm）、不足の状態及び過剰な状態について調査するため、マイクロポジショナを用いて、スケート量を標準に対して①約-15μm、②約-10μm、③約-5μm、④約±0、⑤約+5μm となるように調整し、各状態の違いを調べる。

スケート量が不足している①の状態から順次スケート量を増やしていき、⑤の状態まで計測したら、順次スケート量を減らして①の状態まで戻る動作を3往復する。

標準状態と不足及び過剰な状態のトレースの計測値を比較するため、④と⑤、④と③、④と②及び④と①についての差を評価する。

2.3 データ処理と影響の評価

それぞれのデータについては、更に測定周波数範囲を表4のとおり5つに分割し、それぞれの範囲における各周波数ポイントの変化量の最大値を求める。

以上のようにして求めたケーブルまたはプローブの特性の変化量が実際の DUT 測定結果に与える影響について、DUT の測定値（性能）を仮定して dB 換算で評価する。

表4 周波数範囲の分割範囲 [GHz]

N コネクタ	3.5mm コネクタ	2.92mm コネクタ	プローブ
0.01~3.6	0.01~5.3	0.01~8	0.01~8.7
3.6~7.2	5.3~10.6	8~16	8.7~17.4
7.2~10.8	10.6~15.9	16~24	17.4~26.1
10.8~14.4	15.9~21.2	24~32	26.1~34.8
14.4~18.0	21.2~26.5	32~40	34.8~43.5

3 結果及び考察

3.1 ケーブルの湾曲状態の変化の影響

図2は、ケーブルを静置した状態で測定を繰り返した場合の S11 及び S21 の最大変化量を変化ベクトルの絶対値としてプロットしたものである。

S11 においては DUT の計測値が -50dB とした場合の影響量の最大値は約 0.8dB に相当し、S21 においては DUT の計測値が-10dB とした場合の影響量の最大値は約 0.02dB に相当することを示している。

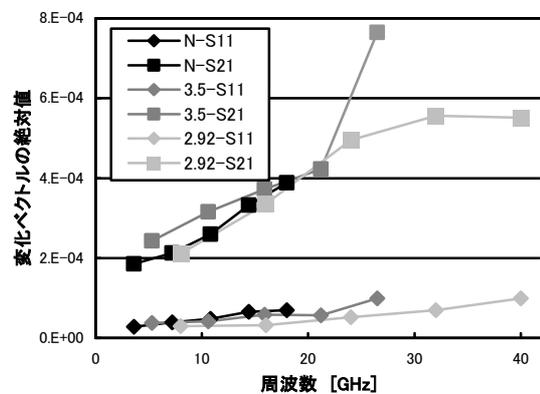


図2 ケーブル静置トレース毎の S11 及び S21 の最大変化量

N コネクタケーブルの移動による S11 及び S21 についての最大変化量を図3及び図4に示す。これらは、ケーブルを移動しない場合と比べて大きいことから、ケーブルの移動の影響であることが分かる。また、図3の S11 の測定における Y 方向 1cm のデータから DUT の測定値への影響を評価した結果を図5に示す。なお図4の S21 については変化量の最大値は DUT の計測値が-10dB とした場合に 0.15dB の影響に相当する。

同様に 3.5mm 及び 2.92mm ケーブルについて図6から図11に示す。

ケーブルの移動量が多い 2cm の方が変化量が大きい場合が多いが、1cm の移動でも変化量が大きい場合も見られた。また、Y 方向の移動と比べて X 方向の移動の方が変化量が少なかった。

ケーブルの湾曲状態を変化させた後、元に戻しても測定値は元に戻らなかった。

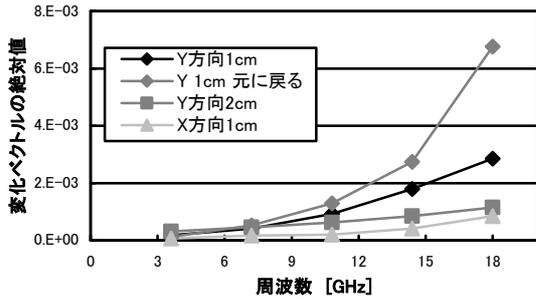


図3 NコネクタケーブルのS11変化量

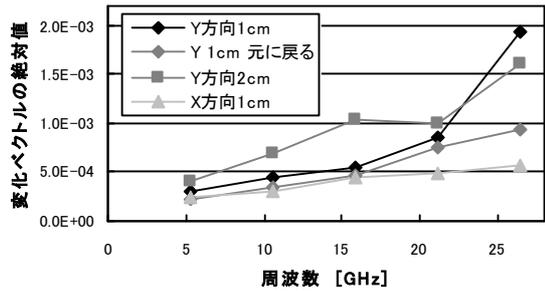


図7 3.5mmコネクタケーブルのS21変化量

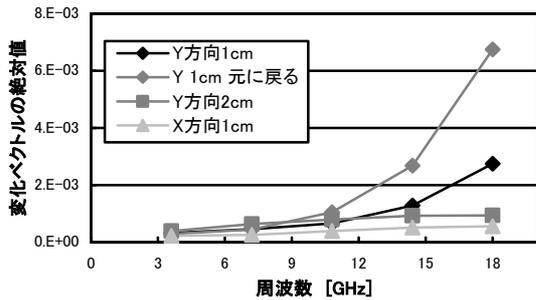


図4 NコネクタケーブルのS21変化量

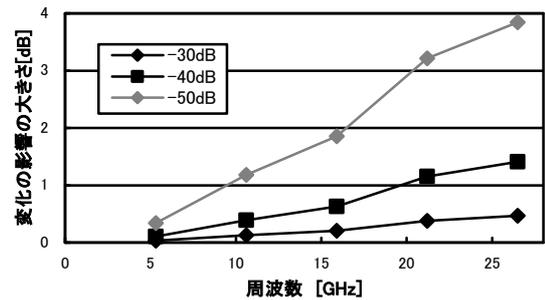


図8 測定に与える影響の評価
(3.5mmコネクタケーブル)

条件：図5と同様。

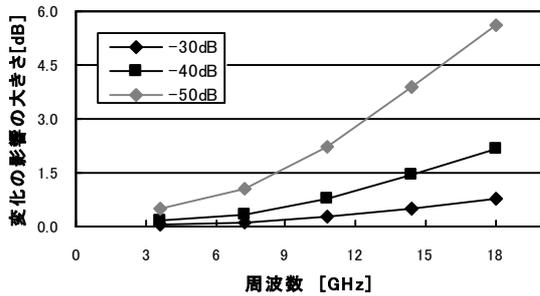


図5 測定に与える影響の評価
(Nコネクタケーブル)

S11のY方向1cmのデータについて、DUTを-30dB、-40dB、-50dBと仮定した場合の影響として評価。

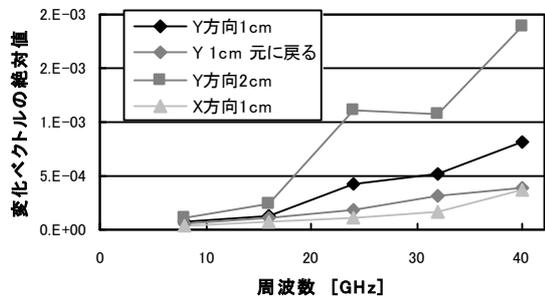


図9 2.92mmmmコネクタケーブルのS11変化量

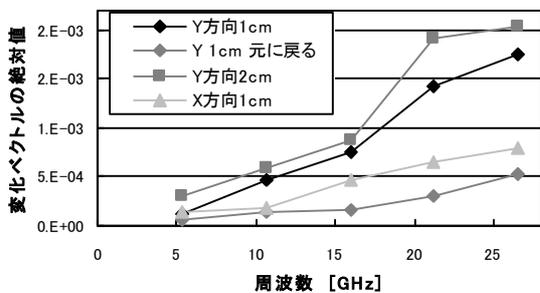


図6 3.5mmコネクタケーブルのS11変化量

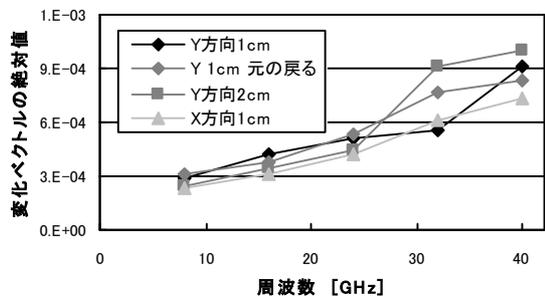


図10 2.92mmコネクタケーブルのS21変化量

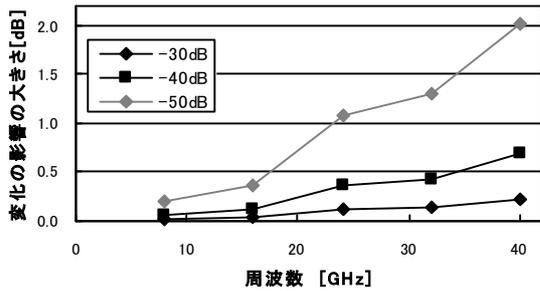


図 11 測定に与える影響の評価
(2.92mm コネクタケーブル)

条件：図5と同様。

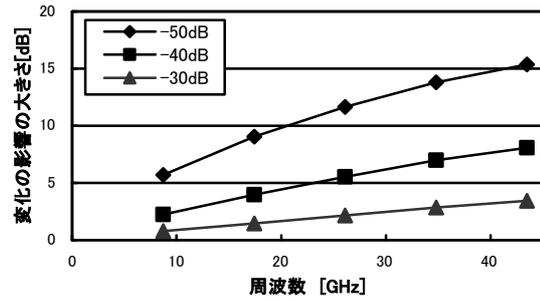


図 14 測定に与える影響の評価
(プローブ)

3.2 プローブの接触状態の変化の影響

スケート量の違いによる S11 及び S21 の変化量の最大値を図 12 及び図 13 に示す。また、S11 について+5 μm と ± 0 のデータをもとに DUT の測定値への影響として評価した結果を図 14 に示す。なお S21 については DUT の計測値が-10dB とした場合の変化量の最大値は 0.31dB の影響に相当する。

プローブによる測定では、スケート量の違いに応じて測定値が変化し、変化の大きさは周波数に比例して大きくなった。

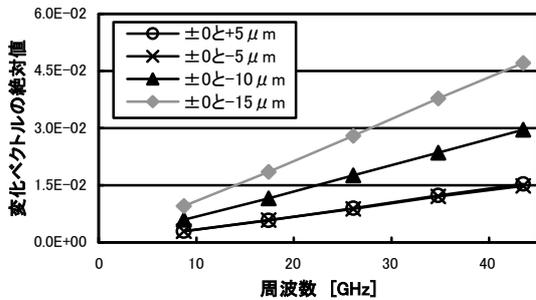


図 12 プローブ 5 μm ごとの S11 変化量

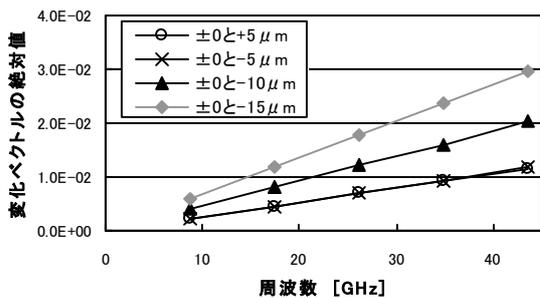


図 13 プローブ 5 μm ごとの S21 変化量

4 まとめ

本調査では、VNA におけるテストポートケーブルの湾曲状態の変化及びプローブのスケート量の違いに伴う接触状態の差による測定値に対する影響を定量的に把握できた。

また、ケーブルを元の状態に戻してもデータは元に戻らない事やプローブのスケート量の差によるデータの変化が周波数に比例して大きくなることがわかった。

参考文献

- 1) CQ 出版社:トランジスタ技術 2010年6月号増刊 RF ワールド No.10 はじめてのネットワークアナライザ 41
- 2) Agilent Technologies : マイクロ波ミリ波同軸コネクタ 2009.10.22 5988-8015JA 11