

はじめに

このデモ・ガイドでは、TTR500A シリーズ Tektronix USB VNA (ベクトル・ネットワーク・アナライザ) の使い方をご紹介します

- VNA の設定
- 1 ポート / 2 ポート校正
- バンドパスフィルタの 1 ポート / 2 ポート測定

校正データの保存 / 呼び出し	6
1 ポート測定	7
リターン・ロス	7
VSWR.....	7
スミス・チャート / インピーダンス測定	8
2 ポート校正	10
Stimulus セットアップ	10
2 ポート校正: 2 ポート 2 パス SOLT	11
校正データの保存	12
ポート・エクステンションの適用	13
2 ポート測定	15
通過特性 / 挿入損失 (インサーション・ロス).....	15
帯域幅 / カットオフ周波数	16
Touchstone SnP ファイルを用いた オフライン解析	17
SnP ファイルの保存 / 呼び出し	17

測定する個体や環境によって、本テキスト中の測定結果画像と実際の測定結果は異なります。

デモ・キット チェックリスト

内容

デモ・キット チェックリスト	1
セットアップ	3
1 ポート校正	4
Stimulus セットアップ	4
1 ポート校正 (反射測定)	5

€ テクトロニクス **TTR500A** シリーズ
ベクトル・ネットワーク・アナライザ



€ **4-in-1 OSLT 校正キット (N-オス)**
(015-0802-00)



€ **60 cm N(オス) – N(オス) ケーブル**
(012-1768-00)



€ **N(メス) – N(メス) アダプタ**
(013-0410-00 INMET 5003)



□ **N(オス) – N(メス) アダプタ**
(013-0411-00 INMET 5005)



□ **1560 to 1620 MHz バンドパス・フィルタ**
(119-8723-00 Mini-Circuits NBP-1560+)



€ **タイプ B USB 2.0 ケーブル**
(174-6150-00)



セットアップ

1 TTR500A VNA 本体のセットアップ

- AC アダプタを介し、TTR500A を電源コンセントに接続します。
- USB 2.0 ケーブルを介し、TTR500A 本体と PC を接続します。
ドライバが自動的にインストールされます。

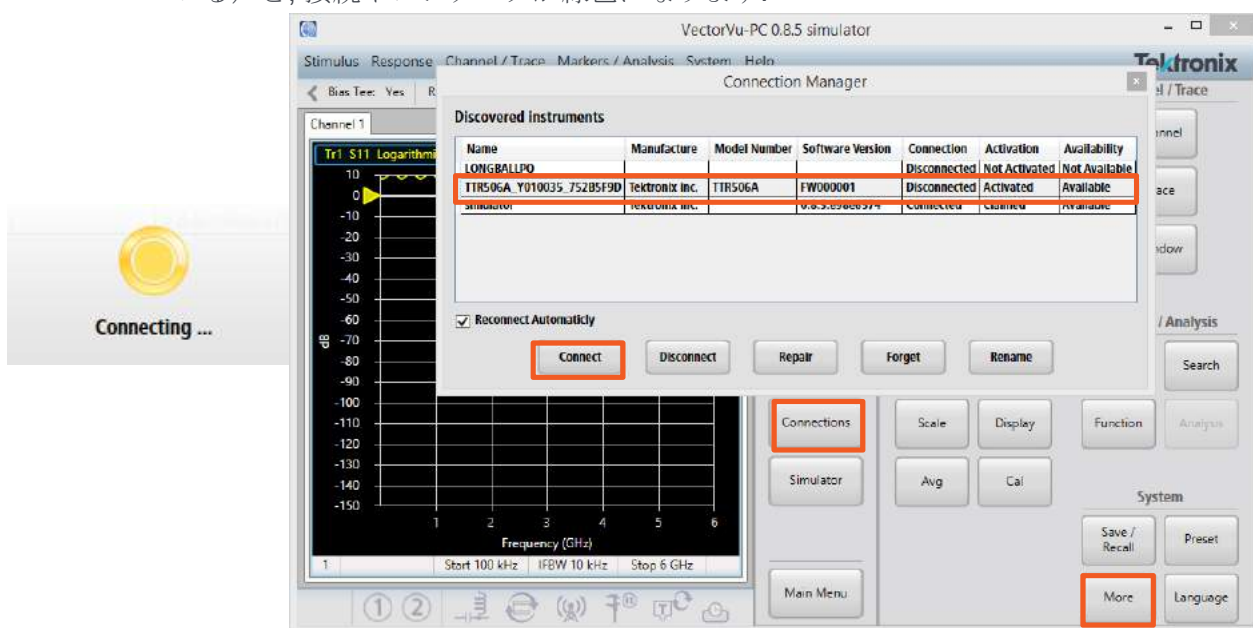


2 VectorVu-PC ソフトウェアのインストール

- VectorVu-PC ソフトウェアは www.Tek.com からダウンロードできます。
VectorVu-PCの利用にはTekVISAのインストールは必要ありません。

3 VectorVu-PC ソフトウェアと VNA 本体の接続

- VectorVu-PC ソフトウェアを起動します。
- ソフトウェアが、PC に接続されている TTR500A を自動認識します。もし何も起こらない場合は、Connection Manager (System > More > Connection)を開き、手動で接続を行います。
- TTR500A との接続が確立されている（あるいは、シミュレータモードになっている）と、接続インジケータが緑色になります。

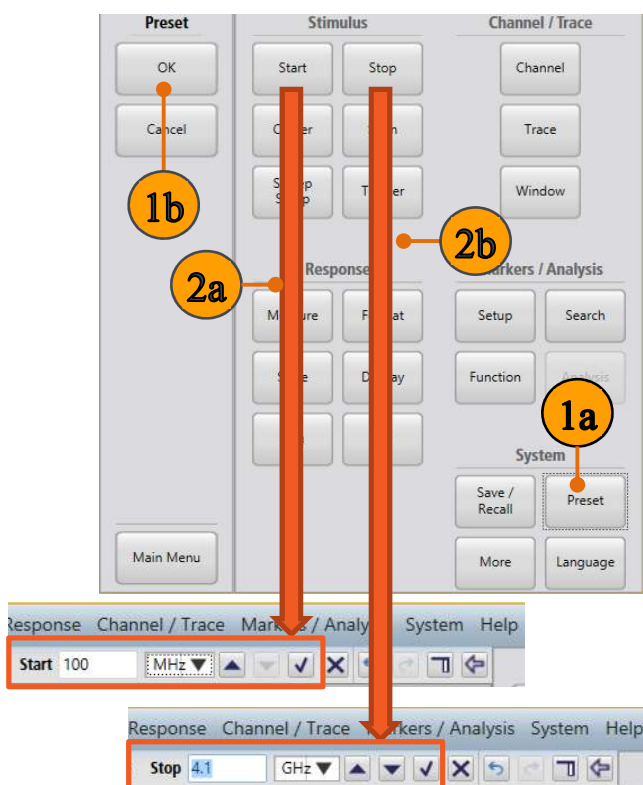


1 ポート校正

測定誤差を取り除き、測定確度を最大限まで高めるために、測定前には校正を行います。

Stimulus セットアップ

1. **Preset > OK** をクリックします。
2. **Stimulus** メニューにて、**Start** を 100 MHz に、**Stop** を 4.1 GHz に設定します。設定は、数値を入力した後、☒ をクリックします。



Quick tip: 周波数レンジ

広い周波数レンジだと校正に時間がかかりますが、周波数レンジが狭すぎると正確な測定ができないおそれがあります。

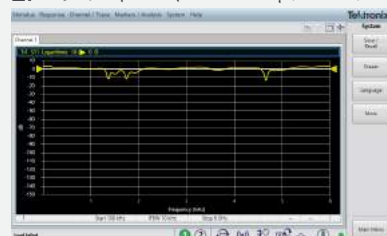
Quick Tip: VectorVu-PC のユーザ・インタフェース

VectorVu-PC は様々な手順で操作可能です。アイコンをクリックすると、ソフト・キー・パネルの展開・格納が可能です。

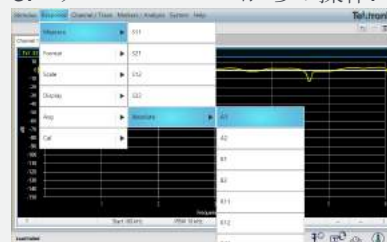
1. ソフト・キー・パネルフル表示



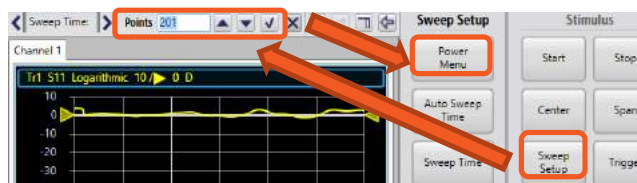
2. ソフト・キー・パネルコンパクト表示



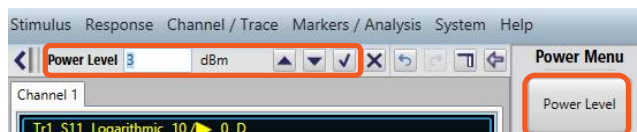
3. メニュー・バーからの操作。



3. **Stimulus** メニュー内、**Sweep Setup > Points** をクリックし、**201** であることを確認します。



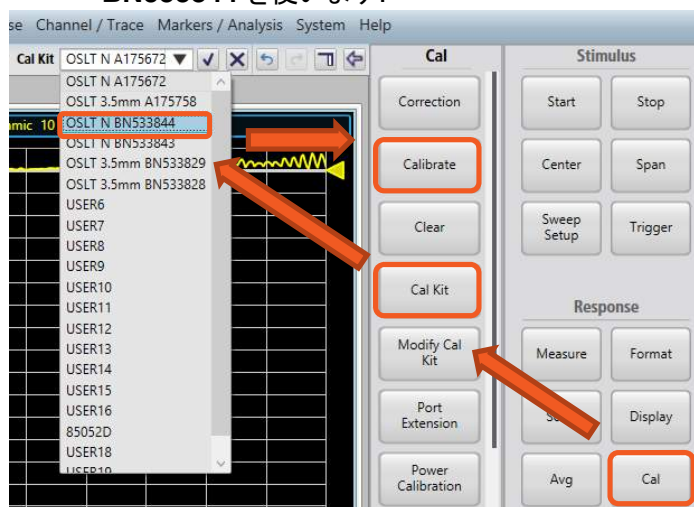
4. **Stimulus** メニュー内、**Sweep Setup > Power Menu > Power Level** とクリックし、**Power level** を **3 dBm** に設定します。



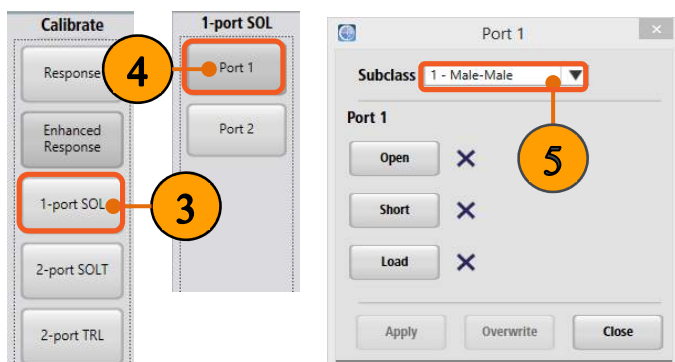
1 ポート校正 (反射測定)

校正は, 校正キット (Spinner 4-in-1 校正キット) を基準として, VNA 測定の基準値を決める手順です。
すべての VNA で, 校正は重要なステップです。

1. Responseメニュー内, **Cal > Cal Kit** をクリックします。
2. 校正キットを選びます。このデモでは **OSLT N BN533844** を使います。



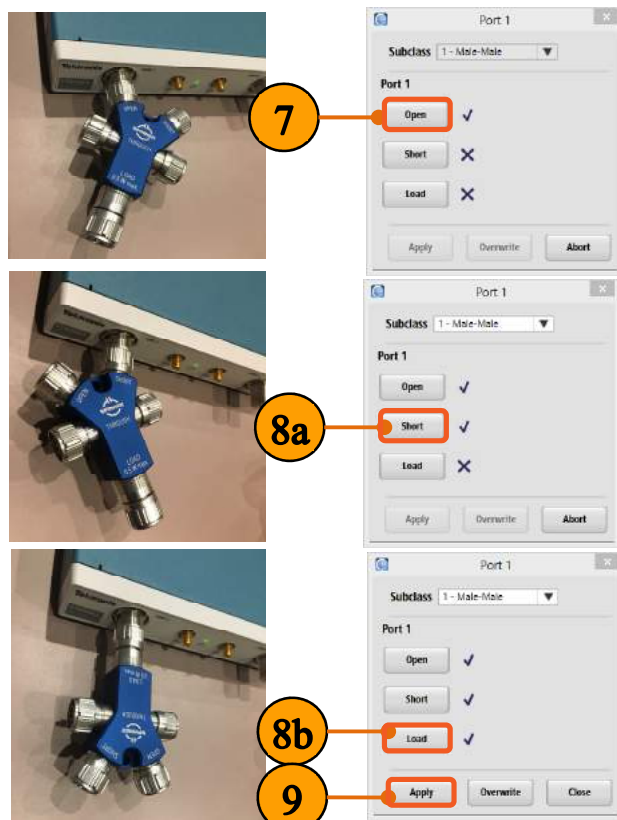
3. Responseメニューの **Cal > Calibrate > 1-port SOL** をクリックします。
4. 校正対象のポートを選択します。今回は **Port 1** を選びます。
5. 1-port SOL ダイアログ・ボックスで, subclassメニューから **1 - Male-Male** を選びます。



6. 校正キットの **Open** ポートを Port 1 に接続します。ステップ 7-8 の画像を参照ください。
7. 1-port SOL ダイアログ・ボックスの **Open** をクリックします。

8. **Short** と **Load** についても, 同様に接続→該当ボタンクリックを行います。

9. **Apply** をクリックし, 校正データを適用します。この校正操作により, TTR500A 用の補正係数が求まり, 誤差補正機能がはたらきます。



10. 校正キットを取り外し, S11 (ポート 1 の反射特性) が 0 dB であることを確認します。



校正データの保存 / 呼び出し

校正データ・ファイルの保存:

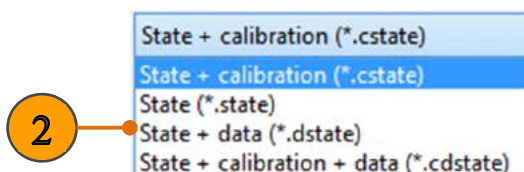
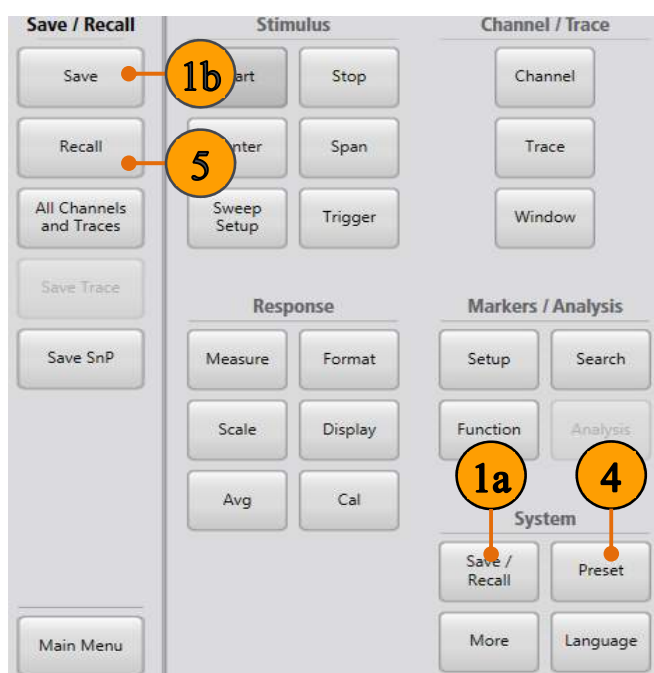
1. Systemメニュー内, **Save/Recall > Save**をクリックします。
2. 保存ダイアログ・ボックス内, プルダウン・メニューから**State + calibration (*.cstate)**を選びます。
3. ファイル名と保存場所を決め, **Save**をクリックします。

校正データ・ファイルの呼び出し:

4. **Preset > OK** をクリックします。
5. Systemメニュー内, **Save/Recall > Recall**をクリックします。
6. 呼び出しダイアログ・ボックスに従い, セーブした .cstate ファイルを開きます。

Quick Tip: データ呼び出しの制限

- 校正およびステート・データは VNA 個体や測定時刻, 環境ごとに固有のものです。決して, 他の TTR500A と校正データ (*.cstate files) を共有しないでください。



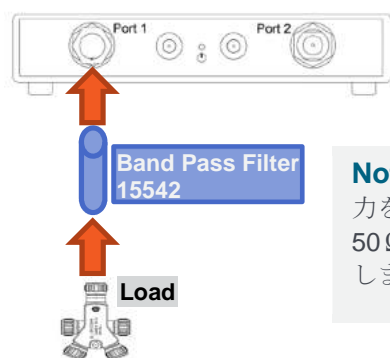
1 ポート測定

リターン・ロス

リターン・ロスは反射特性の測定です。効率的な信号伝送においては、リターン・ロスは低い方が良くとされます。今回はバンドパス・フィルタ(Mini-Circuits 15542)を使います。

1. 前の手順から続けるか、以下の [One_Port_Cal.state](https://danahertm.box.com/v/TTR500DemoFiles) 設定ファイルを用います：
<https://danahertm.box.com/v/TTR500DemoFiles>

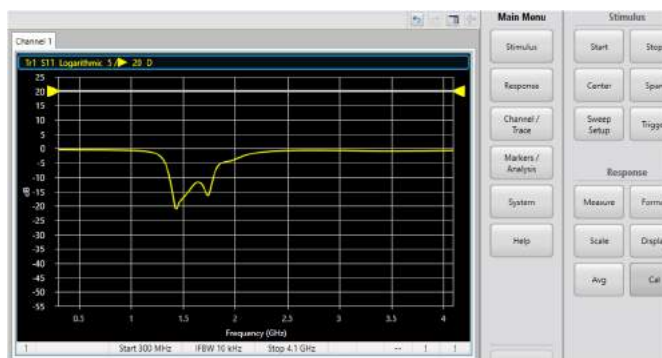
2. バンドパス・フィルタを下図のように Port 1 に接続します：



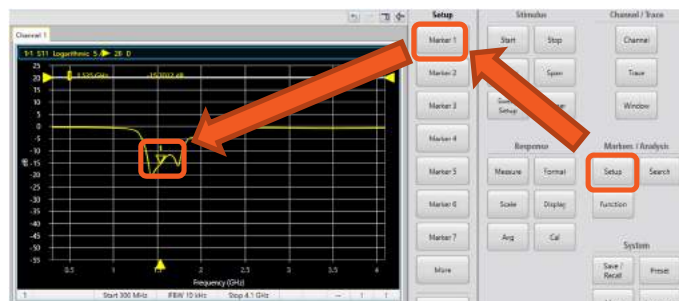
Note: フィルタ出力を校正キットの 50 Ω Load に接続します。

3. Responseメニュー, **Scale > Auto Scale** をクリックします。

フィルタのリターン・ロス (S11 Log Mag) がTrace 1 に表示され、下図のように通過帯域がおおよそ1.3-1.8 GHz であることが確認できます：



4. Markers/Analysis, メニュー内, **Setup > Marker 1** をクリックします。



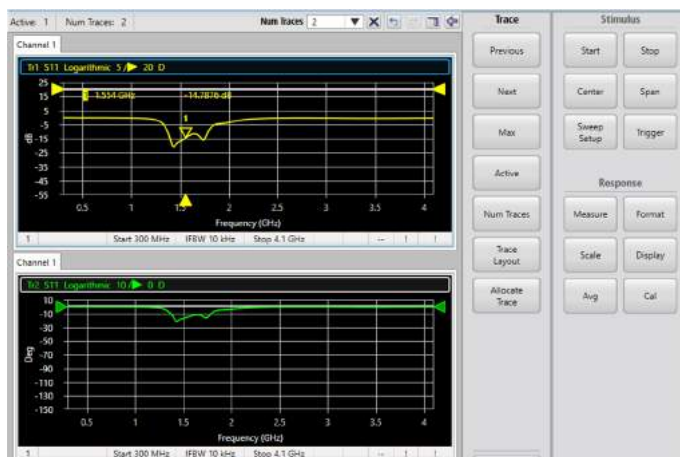
5. クリック&ドラッグで、マーカを動かします。以下の質問の答えは何でしょうか？：

- 通過帯域でのリターン・ロスはおおよそいくらでしょうか？
- どの周波数で、リターン・ロスの値が最小になるでしょうか？

VSWR

1ポート測定データは、VSWR(Voltage Standing Wave Ratio, 電圧定在波比)で表示することもできます。VSWRとは、入射波と反射波によって発生する定在波の振幅の最大値と最小値の比を表し、リターン・ロスが大きいほど値は大きく、リターン・ロスが小さいほど1に近い値となります。

1. 前の手順から続けるか、以下の [Return_Loss.state](https://danahertm.box.com/v/TTR500DemoFiles) 設定ファイルを用います：
<https://danahertm.box.com/v/TTR500DemoFiles>
2. Channel/Traceメニューの **Trace > Trace Layout** をクリックし、レイアウトからD1_2を選択します。
3. Channel/Traceメニューの, **Trace > Num Traces** をクリックし、Num Tracesの設定を2にします。2番目のトレースが次ページの図のように表示されます：



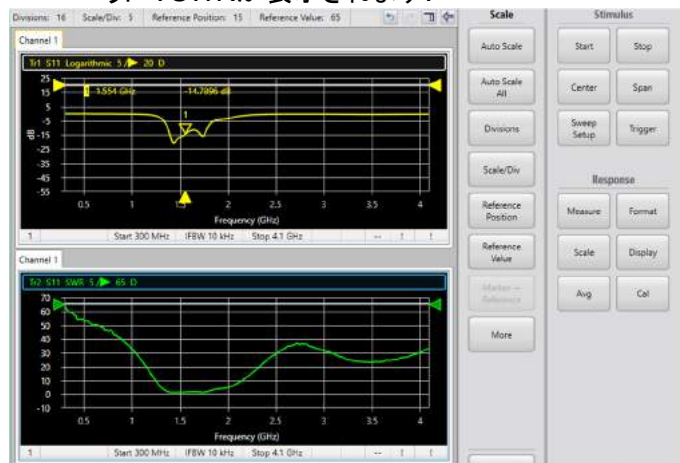
4. **Trace 2** タイトルをクリックし, **Trace 2** が選択されている状態にします. 選択されるとタイトルが青枠で囲われます.



5. **Response**メニュー内, **Format > SWR** をクリックします.



6. **Scale > Auto Scale**. をクリックすると, 以下のよう
にVSWRが表示されます.



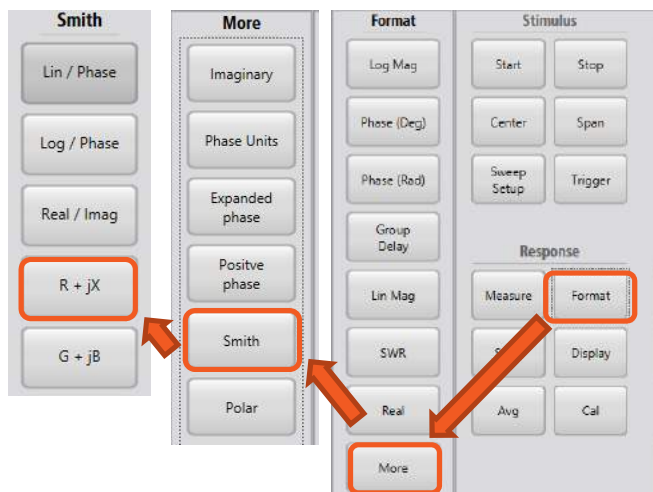
7. **Trace 2** が選択されている状態で, **Markers/Analysis** メニュー内の **Setup > Marker 1** を選択します.
8. クリック&ドラッグで **marker** を **Trace 2** 上で動かし, 以下の質問の答えを確認ください:
- 通過帯域での **SWR** はいくらでしょうか?
 - リターン・ロスが-3 dB の点での **SWR** はいくらでしょうか?

スミス・チャート / インピーダンス測定

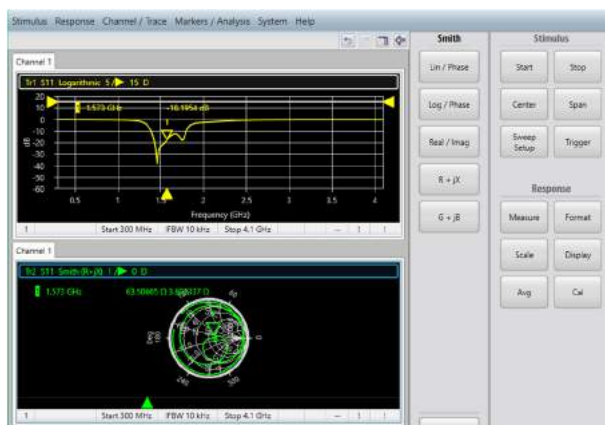
スミス・チャート 表示では, 反射特性をインピーダンスの値で確認することができます. 周波数はマーカで確認します.

1. 前の手順から続けるか, 以下の [VSWR.state](https://danahertm.box.com/v/TTR500DemoFiles) 設定ファイルを用います:
<https://danahertm.box.com/v/TTR500DemoFiles>

2. **Trace 2**のタイトルをクリックした後、Responseメニュー内、**Format > More > Smith > R+jX**の順にクリックします。



Trace 2 のスミス・チャートとインピーダンス表示が確認できます。



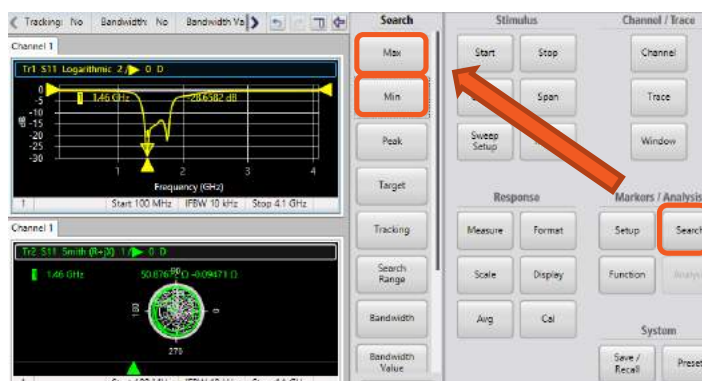
3. **Trace 1** のタイトルをクリックします。タイトルの周りが青枠で囲われます。
4. マーカを trace 1 の上で動かすと、連動して Trace 2 のマーカ位置およびインピーダンス表示が変わるのが確認できます。



5. Trace 1 が選択されているとき、Markers/Analysisメニュー内、**Search** をクリックします。

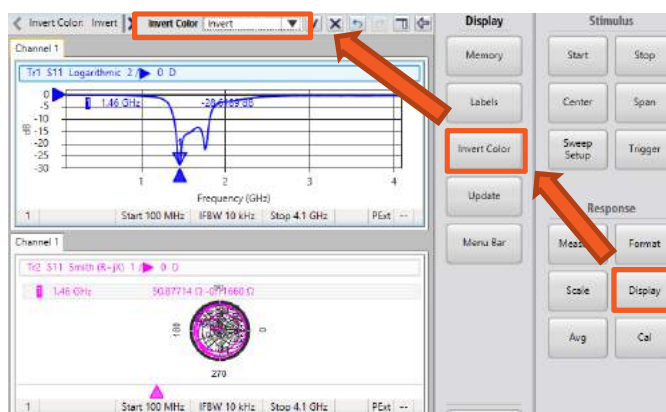
6. **Max** をクリックし、リターン・ロスが最大の点を自動でサーチします。そのときのインピーダンスを、Trace 2で確認できます。

7. Click **Min** をクリックすると、リターン・ロスが最小の点にマーカが移動し、そのときのインピーダンスをTrace 2のスミス・チャートで確認できます。



Quick Tip: Invert Color/ インク・セーバ・モード

背景色を黒から白に変え、印刷時のインクの節約ができます。Responseメニュー内の **Display > Invert Color** をクリックすることで、変更可能です。

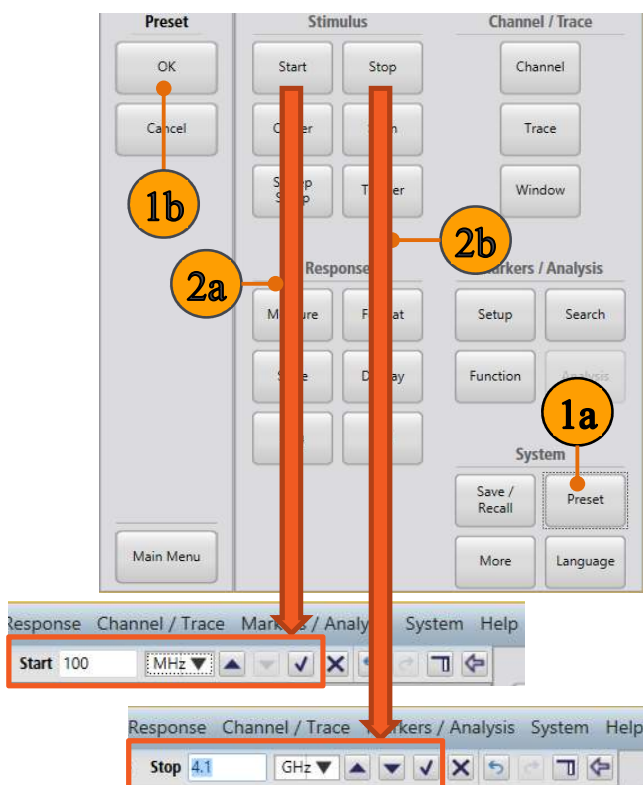


2 ポート校正

測定誤差を取り除くため、ポート1とポート2の両方に対して校正を行います。

Stimulus セットアップ

1. 初めに工場出荷時セットアップを呼び出します。Systemメニュー内、**Preset > OK** をクリックします。
2. **Stimulus** メニューにて、**Start** を 100 MHz に、**Stop** を 4.1 GHz にセットアップします。入力値は、数字を入力後エンターキーを押すか、チェックマーク ☒ をクリックします。



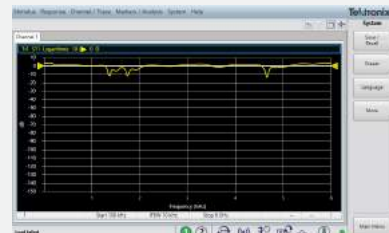
Quick Tip: VectorVu-PC のユーザ・インタフェース

VectorVu-PC は様々な手順で操作可能です。アイコンをクリックすると、ソフト・キー・パネルの展開・格納が可能です。

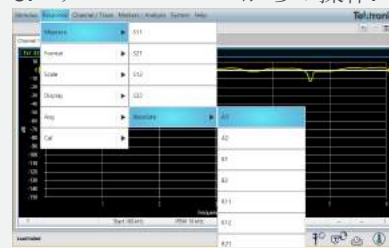
4. ソフト・キー・パネルフル表示



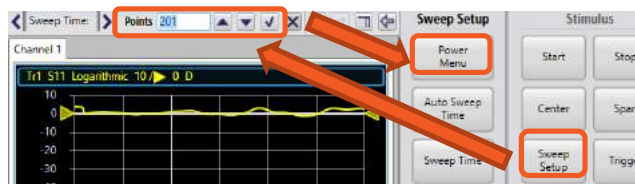
5. ソフト・キー・パネルコンパクト表示



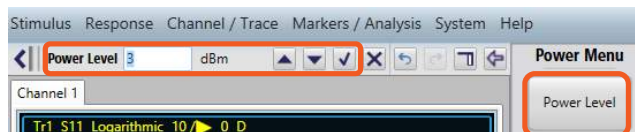
6. メニュー・バーからの操作。



3. Stimulus メニュー内 **Sweep Setup > Points** をクリックし、**201** と入力します。



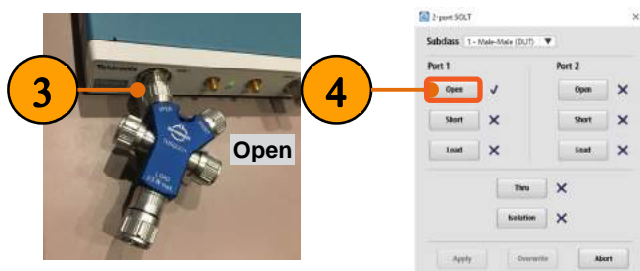
4. Sweep Setup メニュー内、**Power Menu > Power Level** をクリックし、**3 dBm** に設定します。



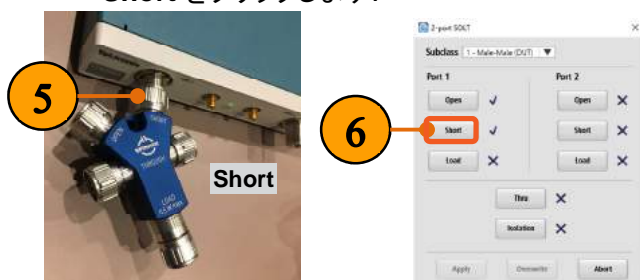
2 ポート校正: 2 ポート 2 パス SOLT

2 ポート校正では、両ポートにて Open, Short, Load に加えて Thru 校正を行います。

1. Response メニュー内, **Cal > Cal Kit** の順にクリックし、**OSLT N BN533844** 校正キットを選択します。
2. Response メニュー内, **Cal > Calibrate > 2-port SOLT** を選択し、2-Port SOLT ダイアログ・ボックスを表示させます。
3. 校正キットの **Open** ポートを TTR500A の Port 1 に接続します。
4. 2-Port SOLT ダイアログ・ボックスで、Port 1 の **Open** をクリックします。

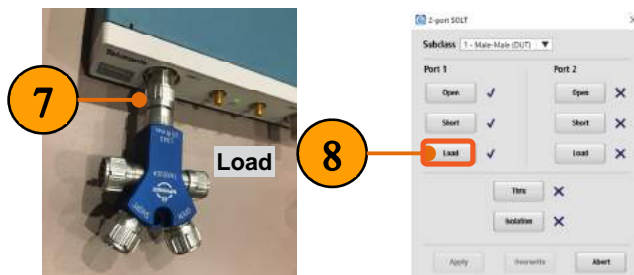


5. 続いて、校正キットの **Short** ポートを Port 1 に接続します。
6. 2-Port SOLT ダイアログ・ボックスにて Port 1 の **Short** をクリックします。

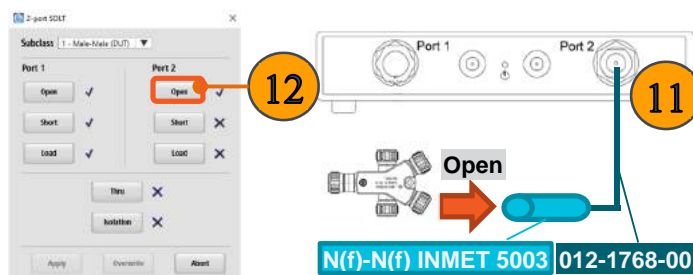


7. 校正キットの **Load** ポートを Port 1 に接続します。

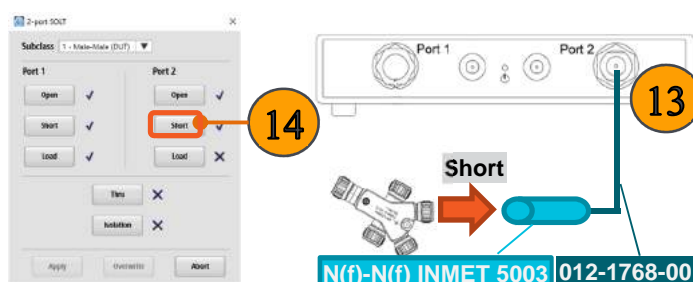
8. 2-Port SOLT ダイアログ・ボックスで、Port1 の **Load** をクリックします。



9. N-タイプ ケーブル の片側を TTR500A の Port 2 に接続します。
10. N-タイプ ケーブル のもう一方に、**N(メス) - N(メス) アダプタ (INMET 5003)** を取り付けます。
11. 校正キットの **Open** ポートを、N(メス) - N(メス) アダプタの端に取り付けます。
12. 2-Port SOLT ダイアログ・ボックスで、Port 2 下の **Open** をクリックします。

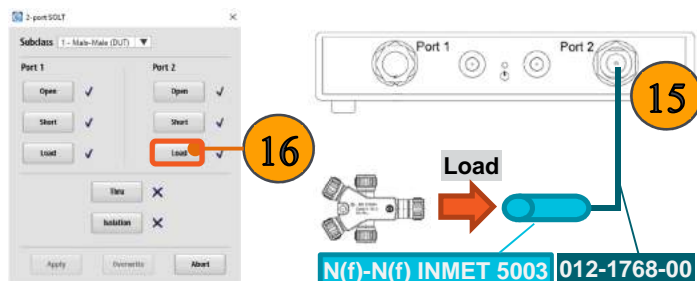


13. 校正キットの **Short** ポートを、N(メス) - N(メス) アダプタの端に取り付けます。
14. 2-Port SOLT ダイアログ・ボックスにて Port 2 の **Short** をクリックします。



15. 校正キットの **Load** ポートを N(メス) - N(メス) アダプタに取り付けます。

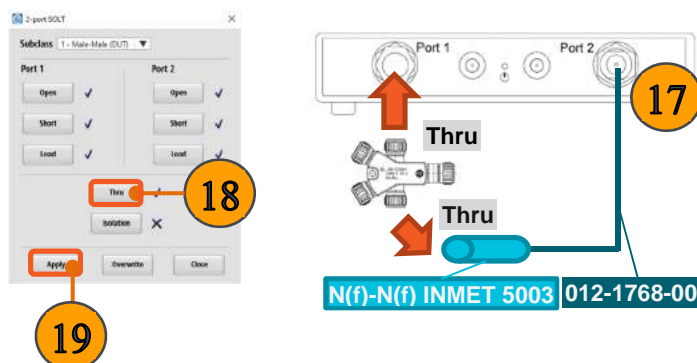
16. 2-Port SOLT ダイアログ・ボックス Port 2 の Load をクリックします。



17. 校正キットの Thru コネクタを, TTR500A の Port 1 と, N(メス) - N(メス) アダプタに接続します。

18. 2-Port SOLT ダイアログ・ボックスにて, Thru をクリックします。

19. Apply をクリックします。2 ポート SOLT 校正はこれで完了です。



Isolation 校正

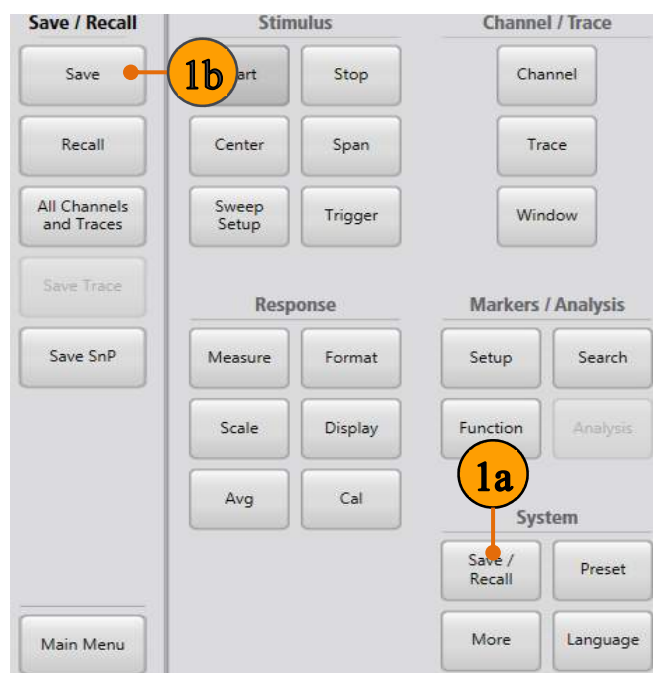
Isolation 校正は通過特性測定時(S21/S12), ポート間のクロストークによる誤差を取り除く校正です。高いダイナミック・レンジを必要とする測定で, クロストークは問題となります。Isolation 校正はオプションで, 省略することもできます。その為デモ・キットには Isolation 校正に必要な分の校正キットが用意されていません (Isolation 校正では校正キットの Load ポートを同時に 2 つ使用します)。

詳しい情報は TTR500 User Manual をご覧ください。

校正データの保存

校正データの保存:

1. Systemメニュー内, **Save/Recall > Save** をクリックします。
2. 保存ダイアログ・ボックスで, ファイル形式選択プルダウン・メニューから **State + calibration (*.cstate)** を選びます。
3. ファイル名と保存場所を決め, **Save** をクリックします。



2

State + calibration (*.cstate)
 State + calibration (*.cstate)
 State (*.state)
 State + data (*.dstate)
 State + calibration + data (*.cdstate)

ポート・エクステンションの適用

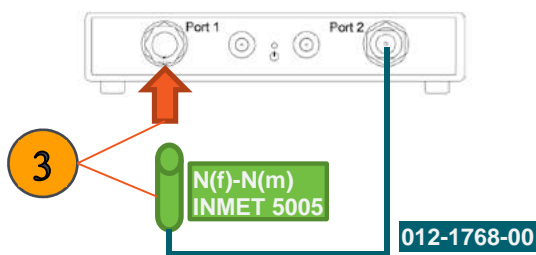
例えば以下のようなケースでは、校正から接続が変わっている為、「ポート・エクステンション」操作を行う必要があります:

- テスト・フィクスチャを接続するとき.
- 校正キットのポートのオス/メスが、DUTへの接続と合わないとき(変換アダプタを用いて接続するとき).
- 校正後にトランスミッション・ライン分の補正を行いたいとき.

ポート・エクステンションは通常ユーザ校正の後に行われます. 校正面が異なることによる位相レスポンスの違いを補正します.

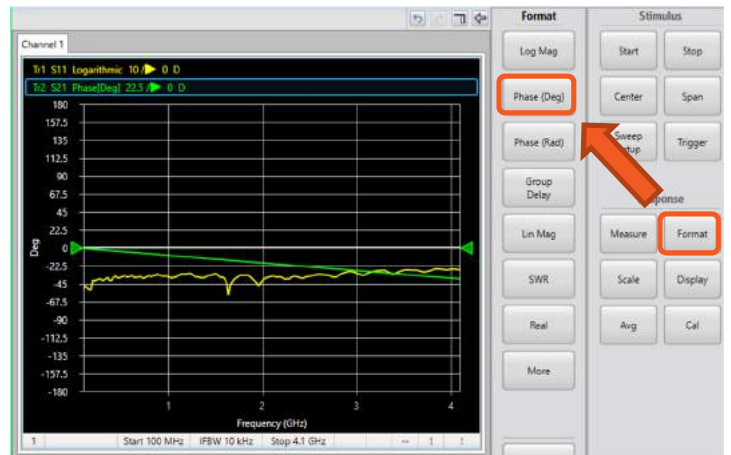
このデモでは、校正はN(メス)-N(メス)アダプタを使って行われましたが、実際のDUT測定では、代わりにN(メス)-N(オス)アダプタを使うため、その分の補正が必要です.

1. 前の手順から続けます.
2. 校正キットとN(メス) - N(メス) アダプタを取り外します.
3. N(メス) - N(オス) アダプタ用いて、TTR500A本体のport 1 とNケーブルを接続します.

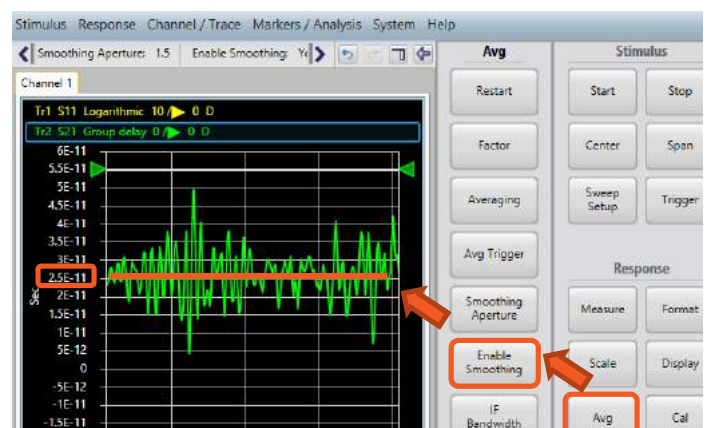


4. Channel/Traceメニューの、**Trace > Num Traces** をクリックし、Num Tracesの設定を2にします.
5. **Trace 2** のタイトルをクリックします. Trace 2が選択され、タイトルが青枠で囲われます.

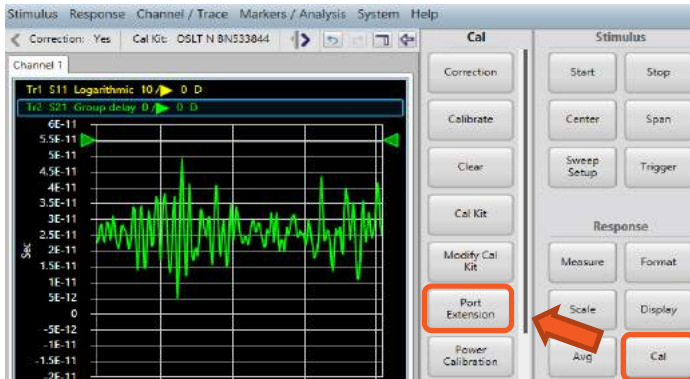
6. Responseメニュー内、**Format > Phase (Deg)** をクリックし、S21の位相 (Deg) を表示させます. DUTが無いにもかかわらず、S21 の位相レスポンスが0°でないことを確認します.



7. Trace 2 が選択された状態で、**Format > Group Delay** をクリックします.
8. Responseメニュー内、**Scale > Auto Scale** をクリックします.
9. Responseメニュー内、**Avg > Enable Smoothing** をクリックします.
10. 群遅延(Group Delay)の値を画面から読み取ります. この例では、およそ25 psです.

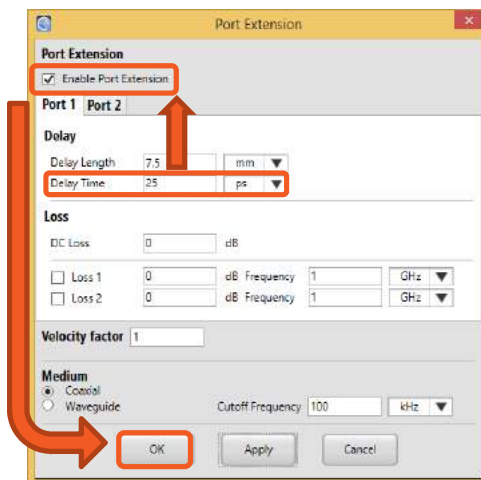


11. Responseメニュー内、Cal > Port Extension をクリックします。

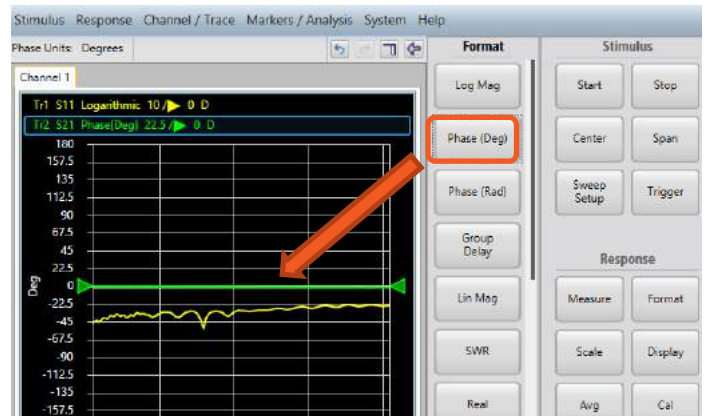


12. Step 9 で読み取った群遅延の値を、Port 1タブ、Delay Time に入力します

13. Enable Port Extension にチェックを入れ、OK をクリックしてポート・エクステンションを適用します。



14. Format > Phase (Deg) をクリックし、S21 の位相レスポンスがほぼ0° でフラットなことを確認します。



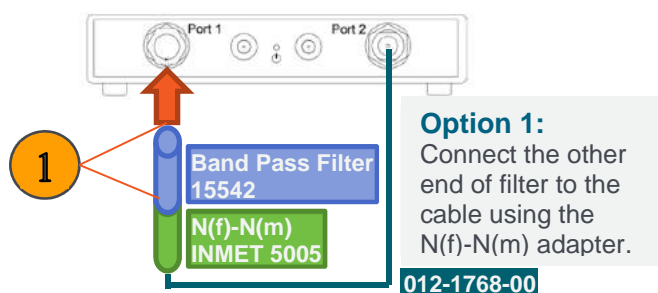
Note: ポート・エクステンションが適用されたことにより、S21の群遅延は0に近づきます。

2 ポート測定

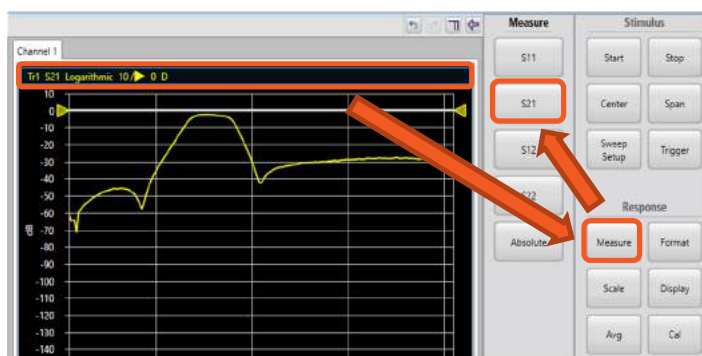
通過特性 / 挿入損失 (インサーション・ロス)

挿入損失(インサーション・ロス) はフィルタ特性を示すのによく用いられます。通常挿入損失は正の値で表される為、今回の測定結果は正負を逆にしたのになります。

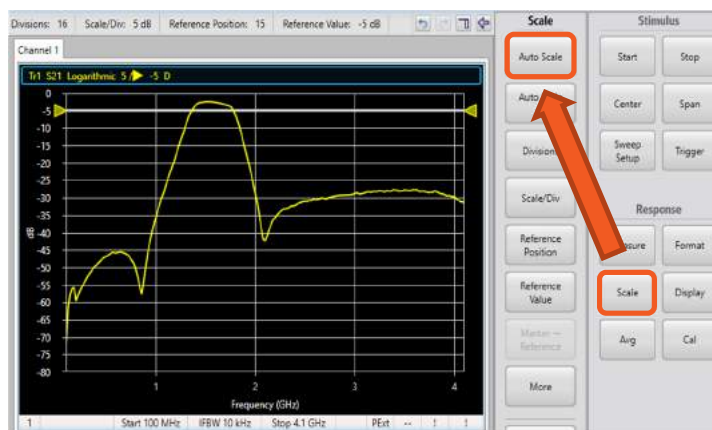
1. 前の手順から続けます。
2. フィルタのオス側を Port 1 に接続し、メス側を N(オス)-N(メス)アダプタとケーブルを介して Port 2 に接続します。



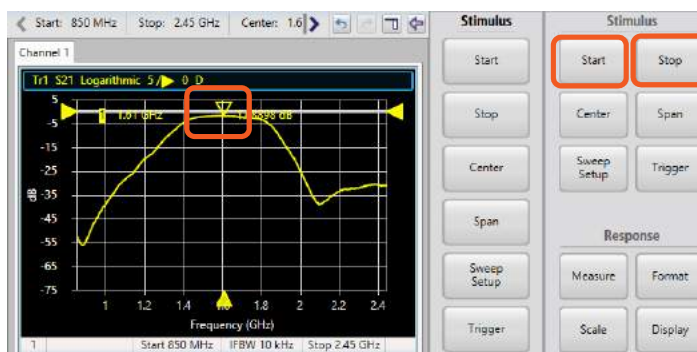
3. Channel/Traceメニュー内、Trace > Num Traces をクリックし、Num Traces を 1 に設定します。
4. Trace 1のタイトルをクリックします。
5. Responseメニュー内、Measureをクリックし、S21 を選択します。



6. Responseメニューにて、Scale > Auto Scale をクリックします。



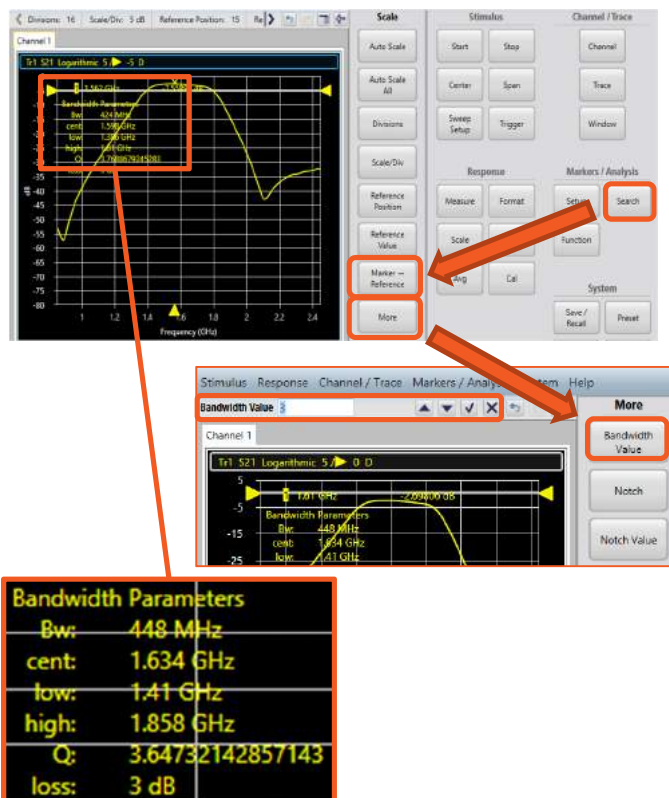
7. Markers/Analysisメニューから、Setup > Marker 1 をクリックします。
8. Marker を用いて、パスバンドの挿入損失を確認することができます。
9. Start 周波数を850 MHz に、Stop 周波数を 2450 MHz に設定します。



帯域幅 / カットオフ周波数

VectorVu-PCソフトウェアでは、帯域幅サーチ機能や、フィルタのストップバンドやパス・バンドのサーチ機能があります。

1. 前の手順から続けます。
2. Markers/Analysis以下、**Search** をクリックします。
3. **Bandwidth** をクリックし、帯域幅の自動測定を行います。



4. **More > Bandwidth Value**, をクリックし、帯域幅の設定を確認します。今回は**3 dB**の設定になっています。

トレース表示の右上に、帯域幅、中心周波数、ロー/ハイ周波数、Q値が表示されます。

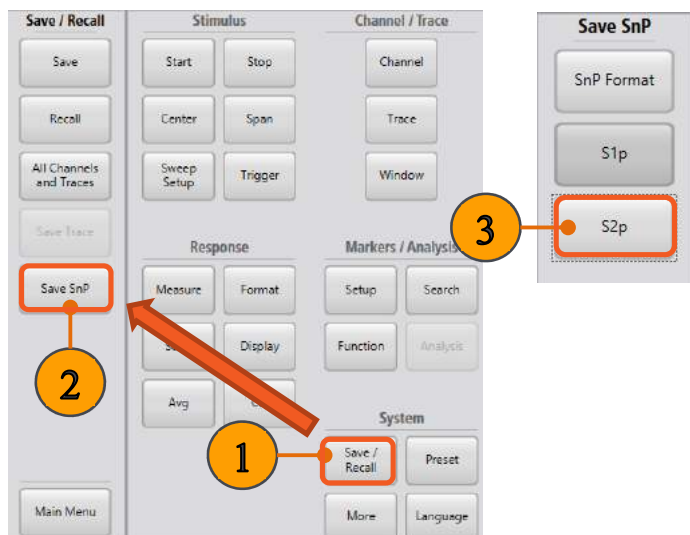
Touchstone SnP ファイルを用いた オフライン解析

SnP ファイルの保存 / 呼び出し

VectorVu-PC ソフトウェアでは、測定された S-パラメータの結果を、Touchstone フォーマットで保存することができます。

SnP ファイルの保存

1. Systemメニュー内、**Save / Recall** をクリックします。
2. **Save SnP** をクリックします。
3. タッチストーン・ファイルのフォーマットを選択します (S1P もしくは S2P)。今回は**S2P**で保存します。



4. 保存されたファイルをテキスト・エディタ・ソフトウェアで開くと、以下のように、ヘッダとS-パラメータを確認できます。

```
I TTR506A,Tektronix Inc.,Y010035,Application version 0.8.5.e986574 Firmware version FW000001
# Hz S R1 R 50
```

```
1e+08 -0.88134299 0.41131586 -0.00020497254 8.1289492e-05 -0.00015339653 6.281492e-05 0.97815482 -0.21887555
1.2e+08 -0.84168298 0.48305842 -0.00019281752 8.2453511e-05 -0.00028159097 0.00014733778 0.96955561 -0.26070847
1.4e+08 -0.79594163 0.55893175 -0.00032380463 0.0001745596 -0.00039967446 0.00018842088 0.95781634 -0.30213987
1.6e+08 -0.74512816 0.61573548 -0.00041263159 0.00026617078 -0.00048011616 0.0003074561 0.94336505 -0.34172828
1.8e+08 -0.68999771 0.67371642 -0.00051047453 0.00035026116 -0.00052384155 0.00041164302 0.92887159 -0.38054155
2e+08 -0.63681774 0.73567049 -0.00060709812 0.0004402039 -0.00061221331 0.00050095298 0.91473918 -0.41972889
2.2e+08 -0.57329061 0.78568207 -0.00073489385 0.00054722877 -0.00076795533 0.0006006754 0.89594187 -0.45672246
2.4e+08 -0.50344563 0.82739514 -0.0011347078 0.0010742682 -0.000897067 0.00096411434 0.87096432 -0.49320964
2.6e+08 -0.43025095 0.86074842 -0.0011825868 0.0010799182 -0.0010031134 0.001216853 0.85520589 -0.52783866
2.8e+08 -0.3567496 0.89808751 -0.0011680133 0.0013159754 -0.00096820516 0.0014794815 0.83387279 -0.56032684
3e+08 -0.27989569 0.92442836 -0.0012266248 0.0016586644 -0.001351898 0.0017439059 0.81296603 -0.59146519
3.2e+08 -0.20651205 0.94699901 -0.001199088 0.0017927959 -0.0009952156 0.0018778198 0.79370195 -0.62215476
3.4e+08 -0.12891698 0.95525793 -0.0010182971 0.0021128893 -0.0011254843 0.0021488068 0.76847296 -0.65083654
3.6e+08 -0.039369304 0.96246819 -0.00092932757 0.0026548023 -0.0012178849 0.0027891754 0.74587843 -0.67633443
3.8e+08 0.041131932 0.96286589 -0.0008547498 0.0027463171 -0.00099388514 0.0027234156 0.72268772 -0.70214295
4e+08 0.1231488 0.95439704 -0.00039571096 0.003293369 -0.001140286 0.003034774 0.69697815 -0.7256813
4.2e+08 0.20282299 0.94022564 -0.0006261264 0.003397091 -0.00078123952 0.0031631645 0.67166985 -0.74893686
4.4e+08 0.2817167 0.9183774 -0.0006864974 0.003931378 -0.0004941017 0.0036585629 0.64611463 -0.77073803
4.6e+08 0.35878357 0.89195084 -0.0006802893 0.0042963412 -0.0004569667 0.0038316473 0.61578086 -0.79049943
4.8e+08 0.43287912 0.85864837 -0.00055982052 0.0046389458 -0.00036290471 0.0040563526 0.59540113 -0.81017674
5e+08 0.50343272 0.81860422 -0.000383562 0.0045757918 0.00027156 -0.0042751633 0.57181241 -0.82858887
5.2e+08 0.57122244 0.77197372 0.0002838843 0.0044923263 0.0004526691 0.0040626091 0.54779796 -0.84470482
5.4e+08 0.63654332 0.72058221 0.0005128889 0.004437048 0.0002920254 0.00404080198 0.52378615 -0.86031388
5.6e+08 0.69481075 0.66313162 0.0004864592 0.0047786781 0.0006810053 0.0047275744 0.50028516 -0.87288273
```

SnP ファイルの呼び出し

5. Systemメニュー内、**More** をクリックします。
6. **Connections** をクリックします。
7. Connection Manager で、**simulator** を選択し、**Connect** をクリックします。
8. Systemメニュー内、**More** をクリックします。
9. **Simulator** をクリックします。
10. **Load SnP** をクリックし、先ほど保存した S2P ファイルを開きます。

