

ネットワーク・アナライザ の基礎

ローデ・シュワルツ・ジャパン株式会社
マーケティング部
井部 環奈

ROHDE & SCHWARZ

Make ideas real



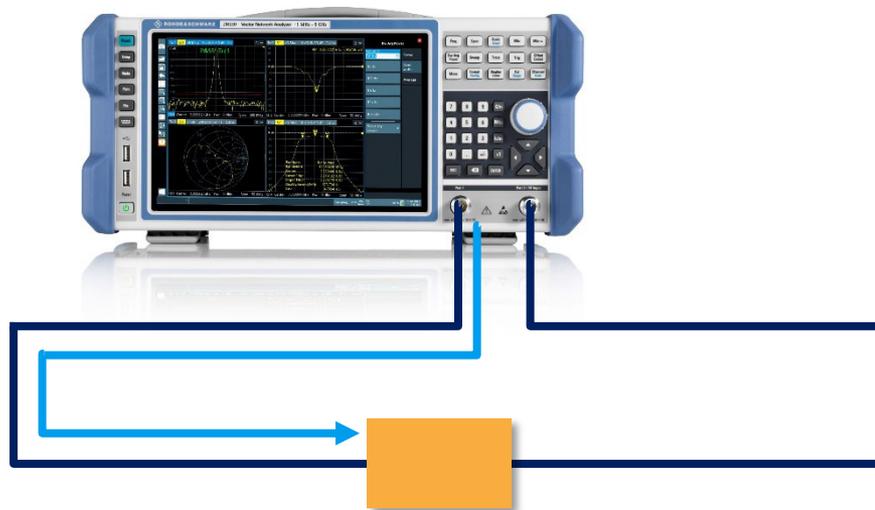
本日の内容

- ▶ ネットワーク・アナライザの概要
- ▶ Sパラメータ
- ▶ ネットワーク・アナライザの動作原理
- ▶ 校正
- ▶ 測定における注意点
- ▶ さまざまな測定

ネットワーク・アナライザの概要

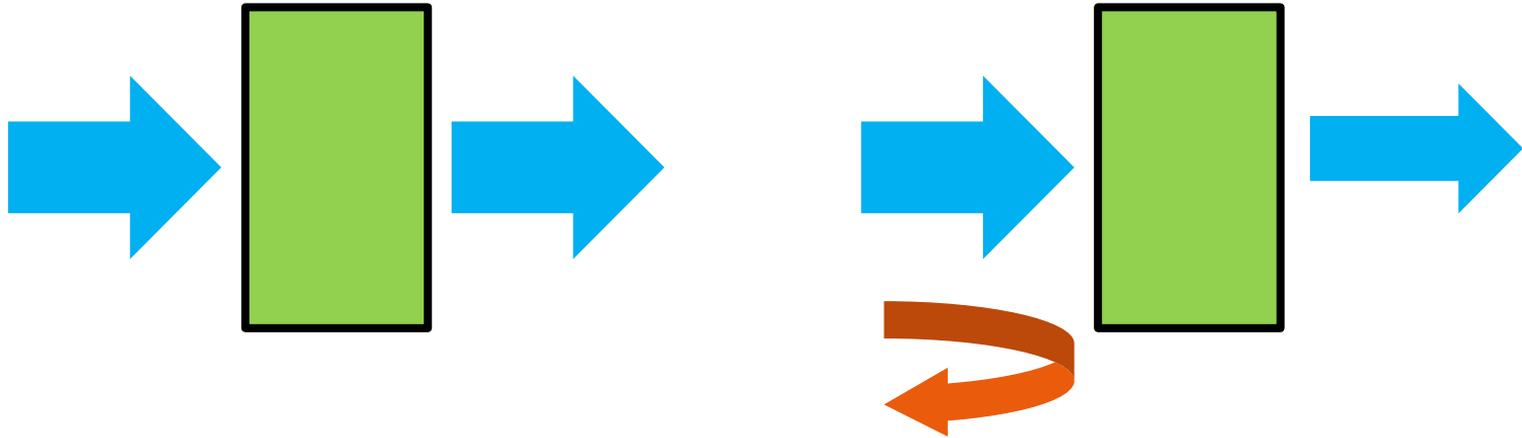
ネットワーク・アナライザって何？

- ▶ 内部にCW信号源とレシーバを持っている
- ▶ 信号をDUT(被測定物)に入力して、DUTの電気特性を測る



ネットアナで測定する電気特性とは

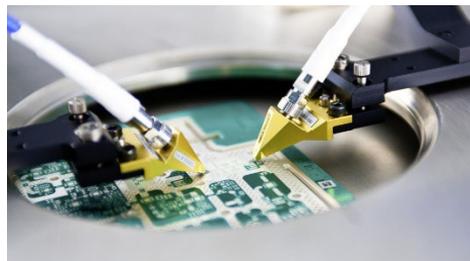
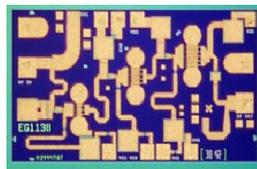
- ▶ 信号を入力したとき、どのくらい反射するか、どのくらい伝送するかを測定することで、そのDUTの特性がわかる



どんなものを測定するの？

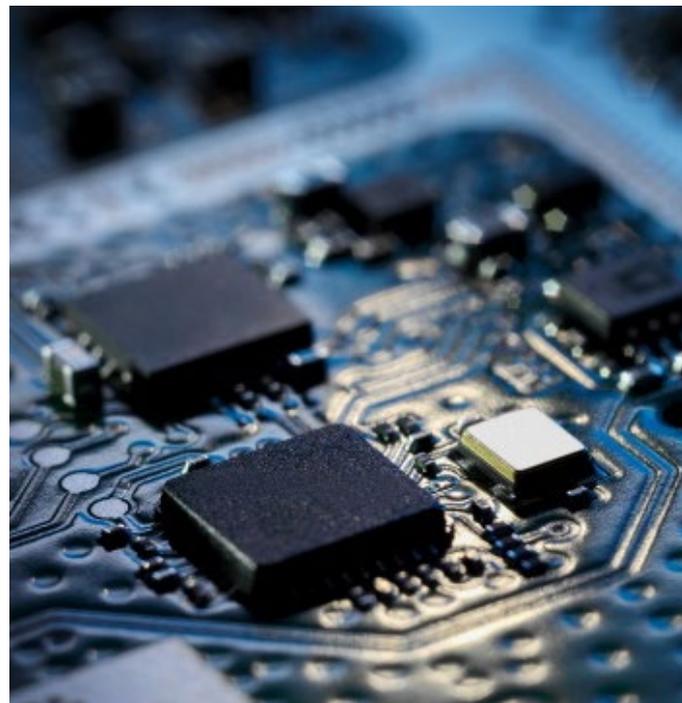
- ▶ 高周波部品(コンポーネント)測定がメイン
- ▶ 幅広いアプリケーションで使われる

- フィルタ
- スプリッタ
- アンプ
- ミキサ
- ケーブル
- 基板
- アンテナ
- etc



高周波の特長

- ▶ データレート的高速化
 - クロックレートが高い方がより大容量の情報を送れる
- ▶ 部品の小型化
 - コイルやコンデンサ、アンテナの小型化が実現できる



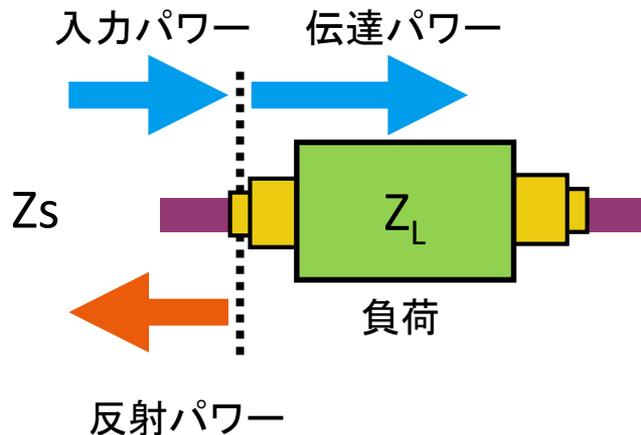
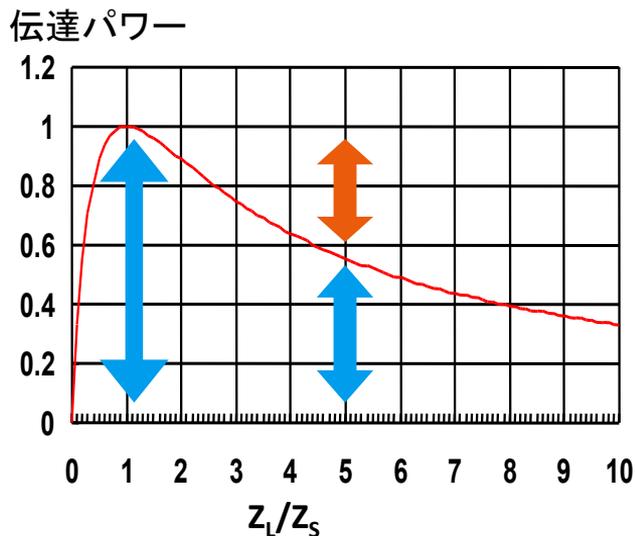
高周波の注意点

- ▶ 直進性が高いため、障害物があると到達できない
- ▶ 遠くに届かない
 - 電気損失が大きい
- ▶ 反射が大きい

インピーダンス整合 放射
誘電損失 クロストーク
群遅延 寄生リアクタンス
誘導性結合

インピーダンス整合

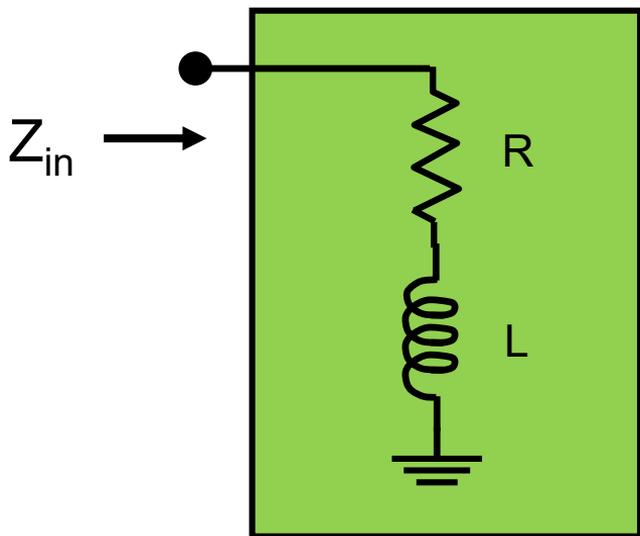
- ▶ インピーダンスが同一であれば、信号は最大限伝わる



$$\text{最大伝達パワー} = (\text{入力パワー}) - (\text{負荷でのエネルギー消費})$$

リアクタンスの影響

▶ インピーダンスは周波数によって変化する



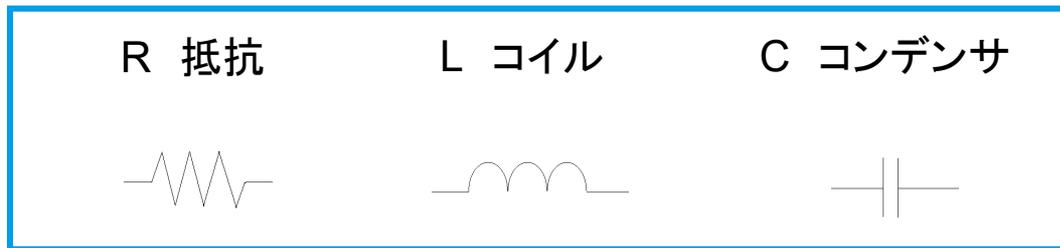
$$Z = R + j (\omega L - 1 / \omega C)$$
$$= R + jX$$

低周波: $Z_{in} \doteq R$

高周波: Z_{in} はインダクタンス
の影響を受ける

回路素子モデルの寄生リアクタンス

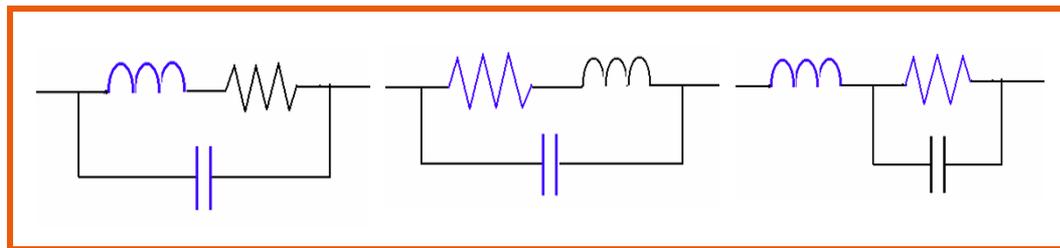
低周波



ひとつの素子として考えることができる



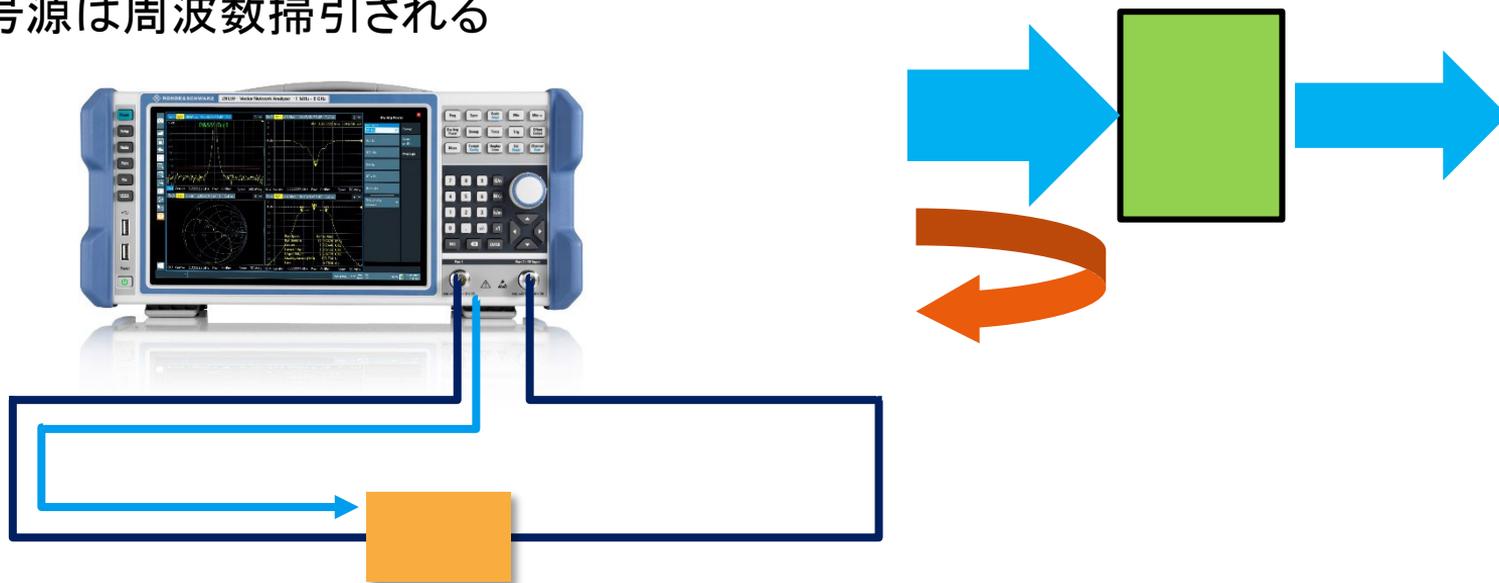
高周波



寄生素子を見視できない

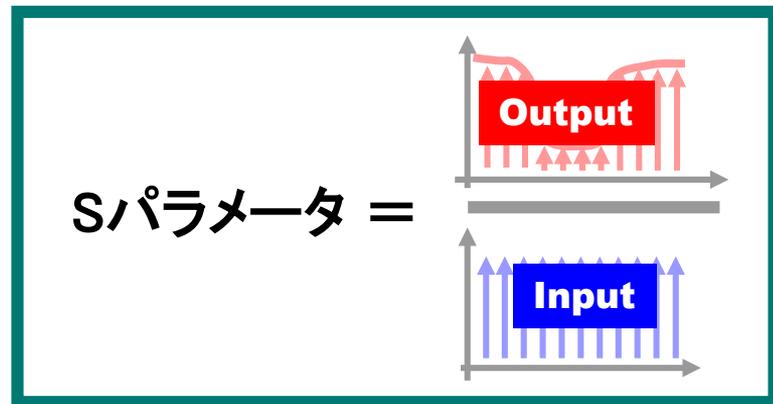
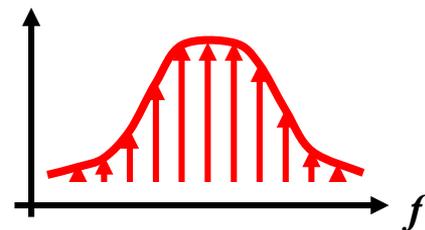
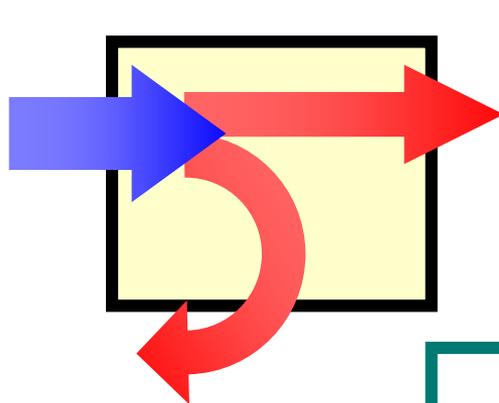
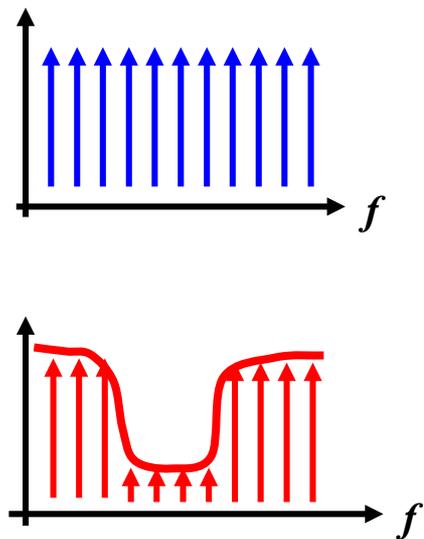
ネットワーク・アナライザとは

- ▶ 内部にCW信号源とレシーバを持っている
- ▶ 信号をDUT(被測定物)に入力して、DUTの電気特性を測る (Sパラメータ測定)
- ▶ 内部信号源は周波数掃引される

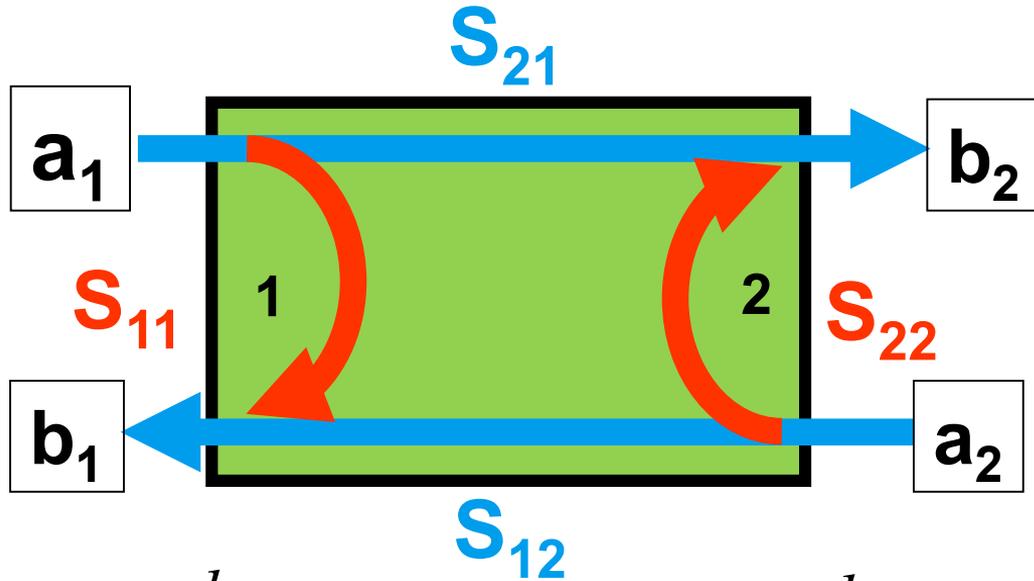


Sパラメータ

Sパラメータとは



Sパラメータの表記



$$S_{xy}(\text{dB}) = 10 \frac{P_{bx}}{P_{ay}}$$
$$= 20 \frac{V_{bx}}{V_{ay}}$$

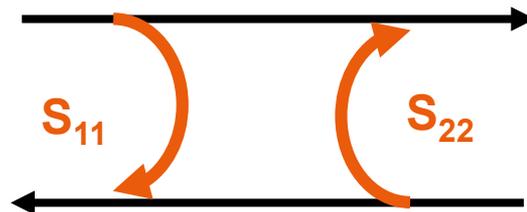
$$\underline{s}_{11} = \frac{\underline{b}_1}{\underline{a}_1} \Big|_{a_2=0}$$

$$\underline{s}_{21} = \frac{\underline{b}_2}{\underline{a}_1} \Big|_{a_2=0}$$

Sパラメータから評価できるもの

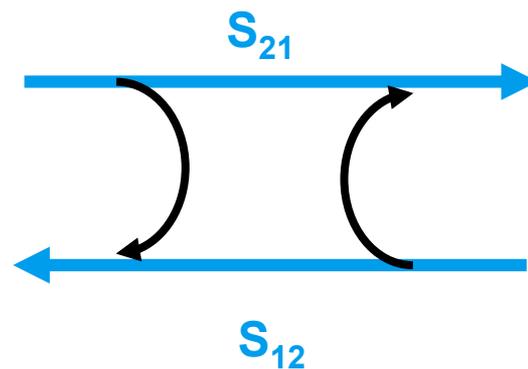
▶ 反射のSパラメータ (S_{11} 、 S_{22})

- リターンロス
- VSWR(定在波比)
- 複素インピーダンス



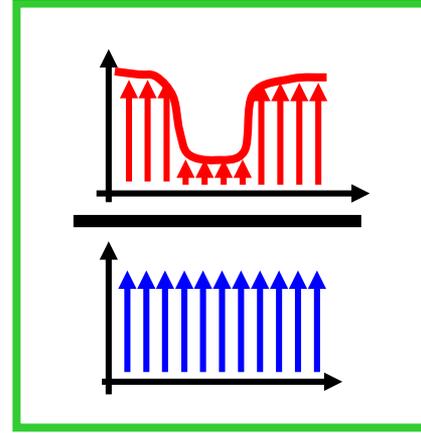
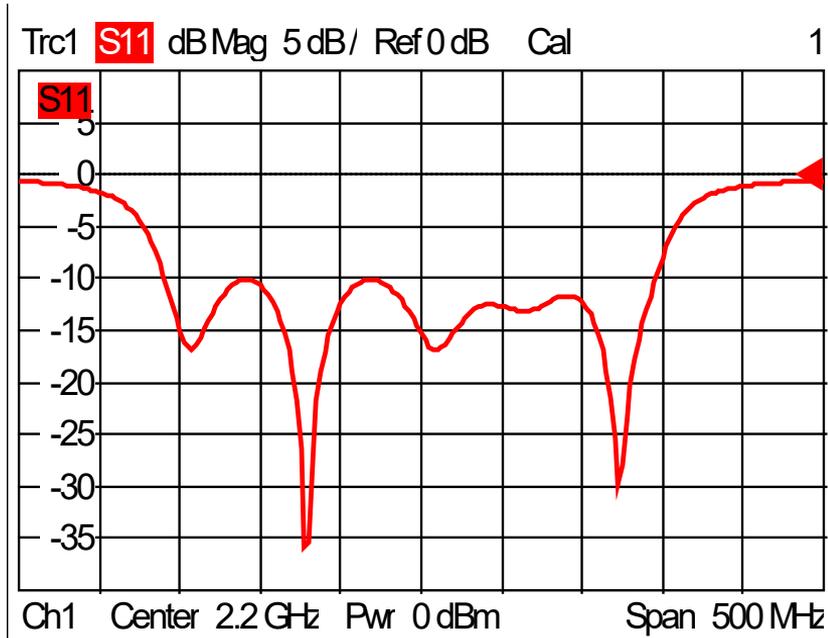
▶ 伝送のSパラメータ (S_{21} 、 S_{12})

- 伝送損失
- 挿入位相
- 群遅延



リターンロス

▶ 信号の反射量の大きさをデシベルで表す

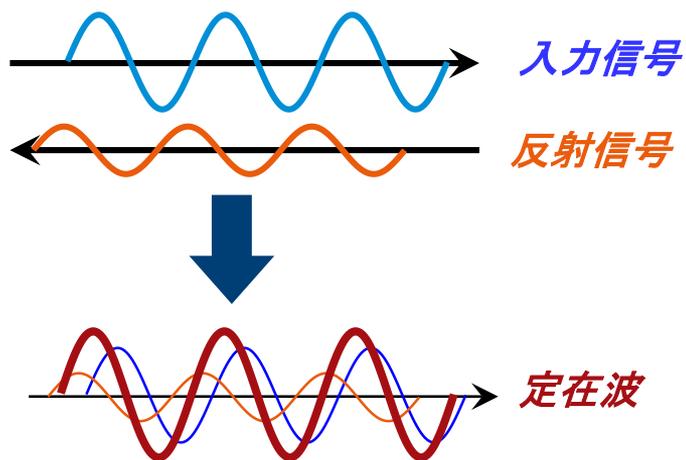


$$\text{Return Loss(dB)} = 10 \frac{P_{\text{反射}}}{P_{\text{入力}}}$$

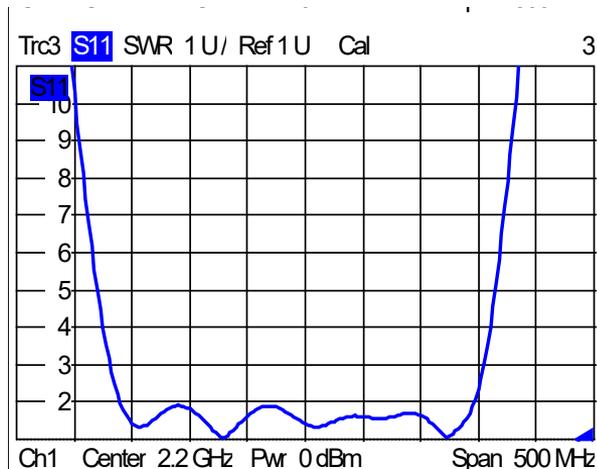
$$= 20 \frac{V_{\text{反射}}}{V_{\text{入力}}}$$

VSWR

▶ 反射の大きさを振幅比で表したものの



元の信号から、振幅、位相がずれる



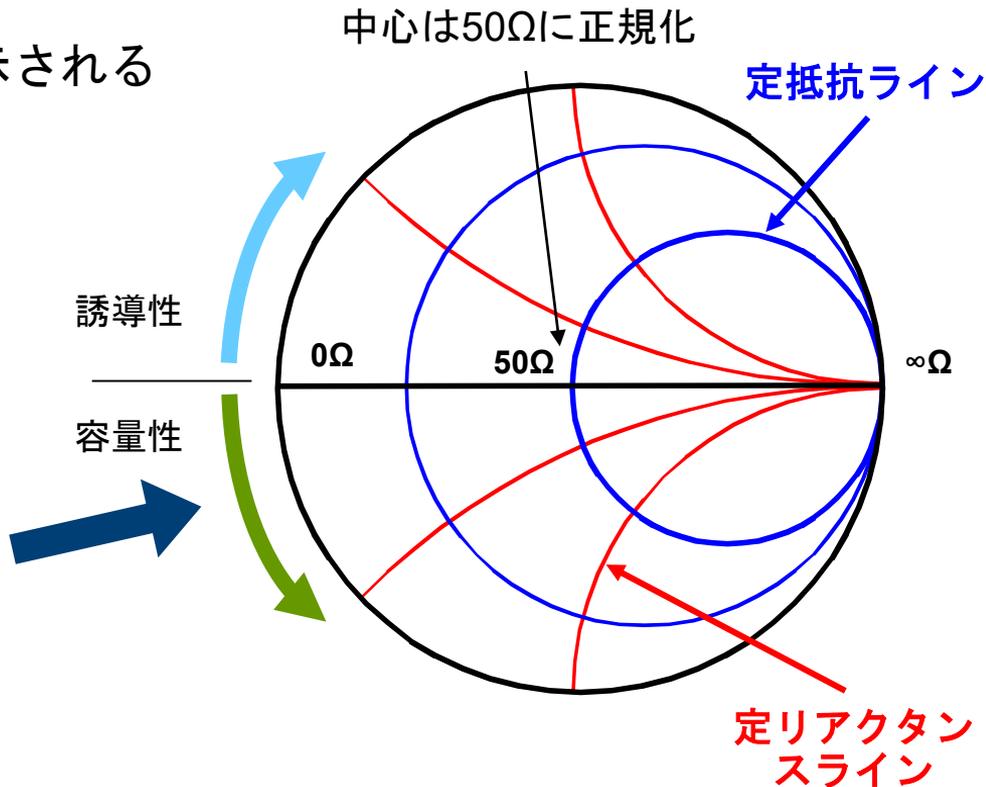
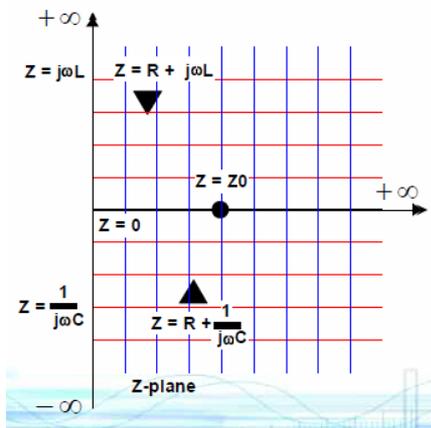
$$\text{VSWR(定在波比)} = \frac{\text{定在波の最大振幅}}{\text{定在波の最小振幅}}$$

反射信号が大きいほど、VSWRは大きくなる

複素インピーダンス

▶ スミスチャートで表示される

$$Z_{in} = R + j(\omega L - 1/\omega C) \\ = R + jX$$

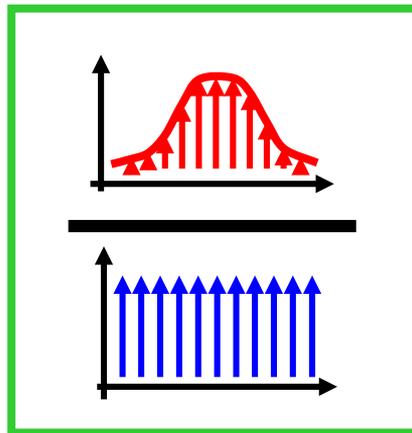
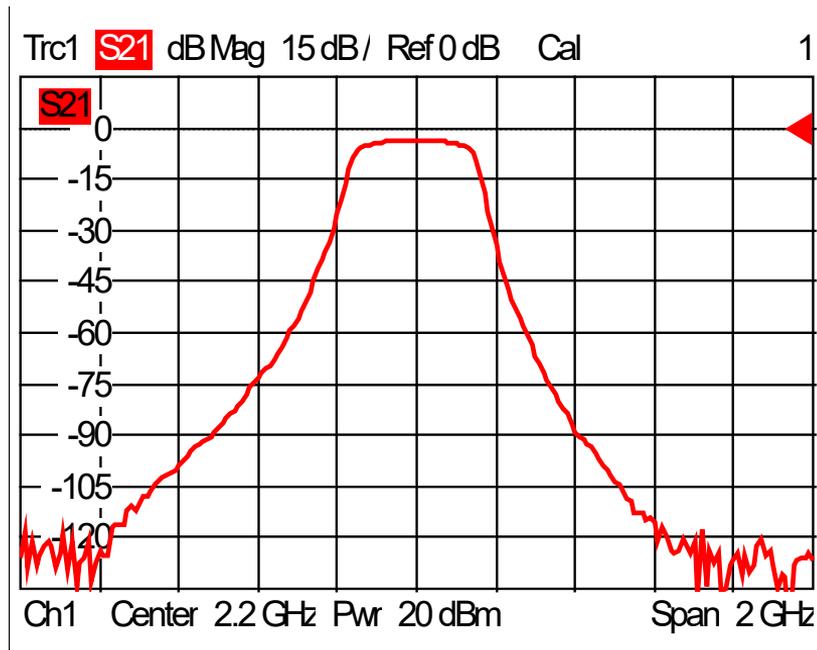


各パラメータの関係

| | | |
|-----------------|---------------|---|
| 0 | r (反射係数) | ± 1 |
| $Z_0(50\Omega)$ | Z_L インピーダンス | オープン($\infty\Omega$) ショート(0Ω) |
| $-\infty$ dB | リターンロス | 0 dB |
| 1 | VSWR | ∞ |

伝送損失

▶ 信号の通過減衰量を表す

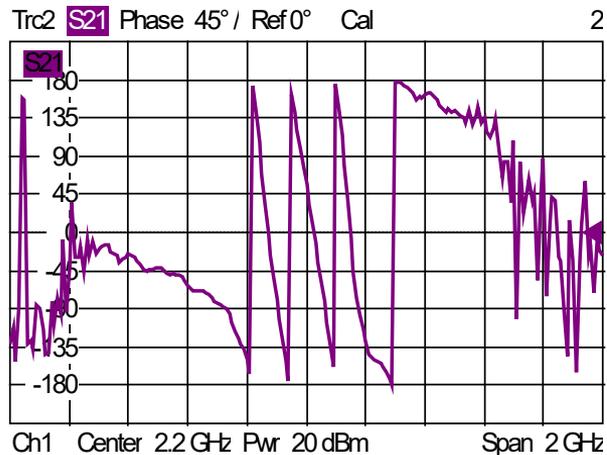
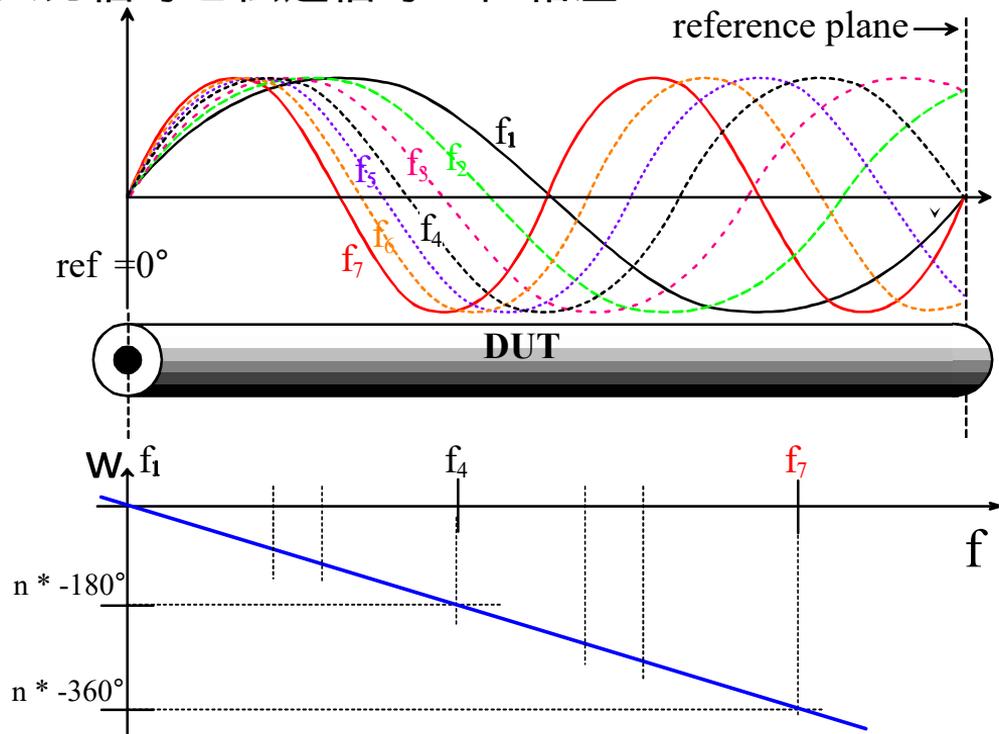


$$\text{伝送損失(dB)} = 10 \frac{P_{\text{伝送}}}{P_{\text{入力}}}$$

$$= 20 \frac{V_{\text{伝送}}}{V_{\text{入力}}}$$

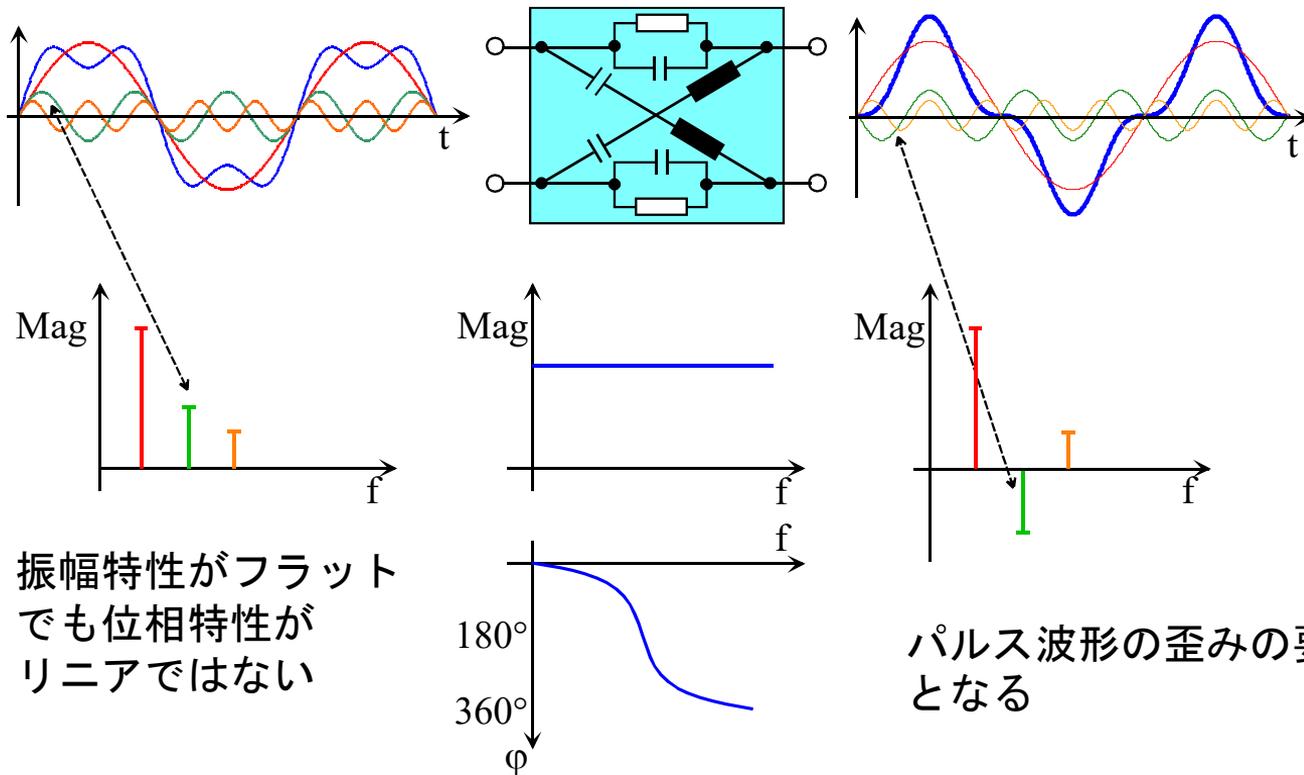
挿入位相

▶ 入力信号と伝送信号の位相差



信号が被測定物を通過
→ 位相遅延が生じる

位相応答によるパルス信号の変化

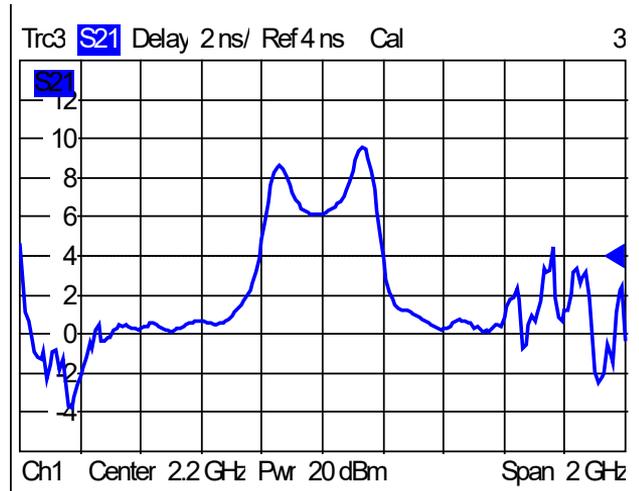
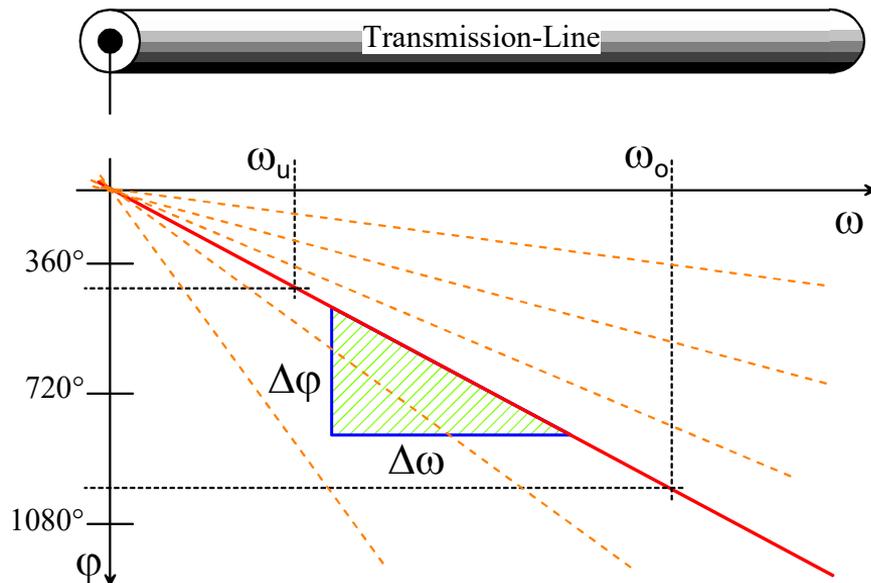


振幅特性がフラットでも位相特性がリニアではない

パルス波形の歪みの要因となる

群遅延

▶ 信号が被測定物を通過する時間

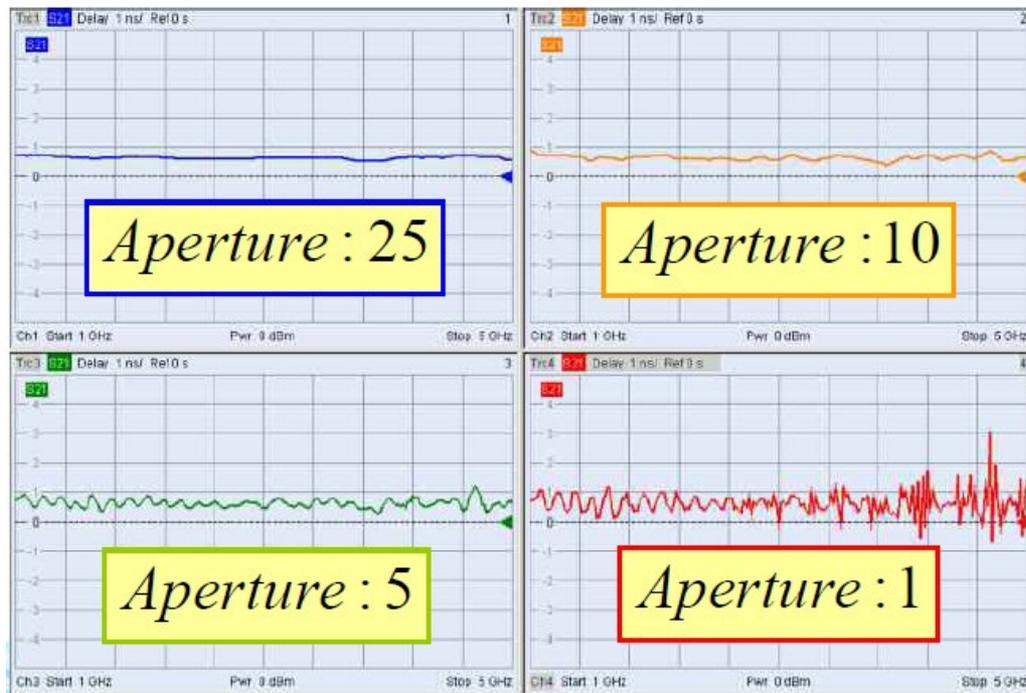


$$\tau = -\frac{1}{360^\circ} \cdot \frac{\Delta \varphi}{\Delta f}$$

挿入位相の微分
で計算される

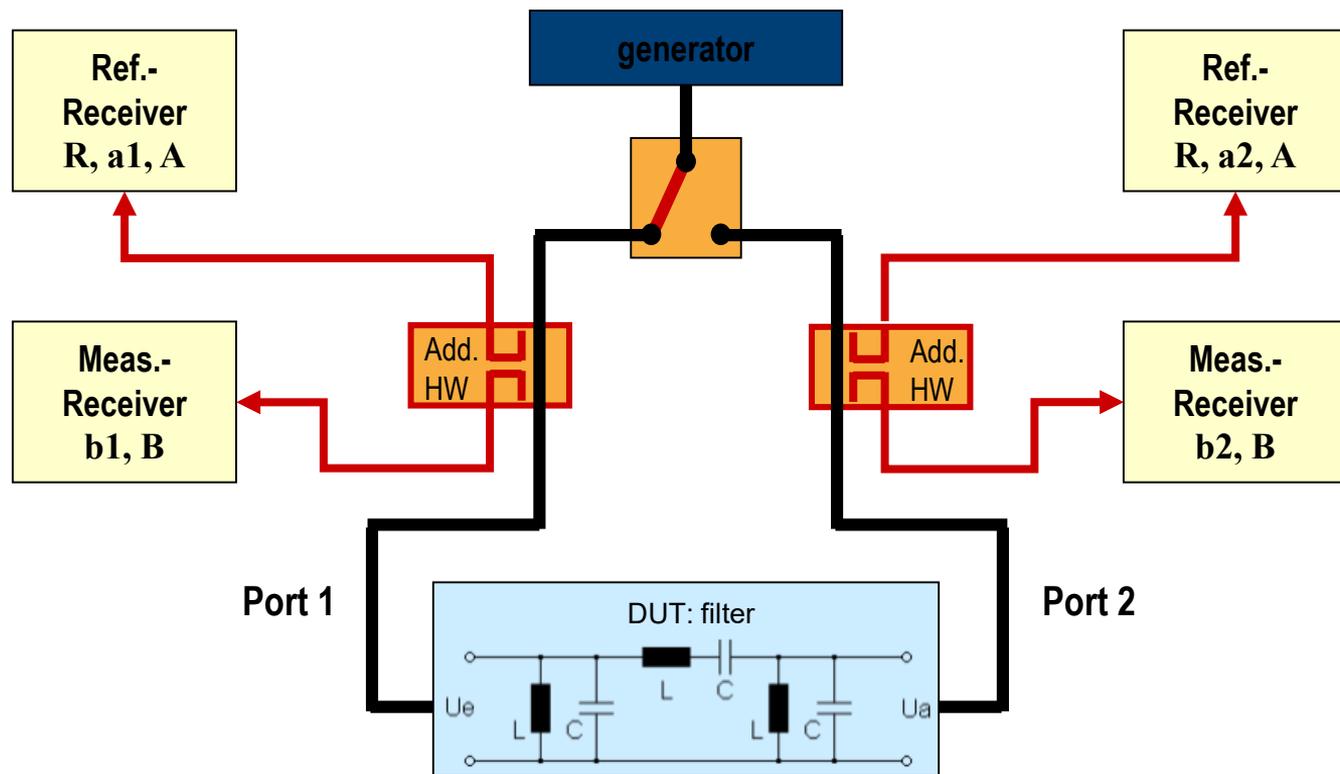
群遅延特性がフラットでないと
パルス波形の歪み要因となる

APERTUREによる影響

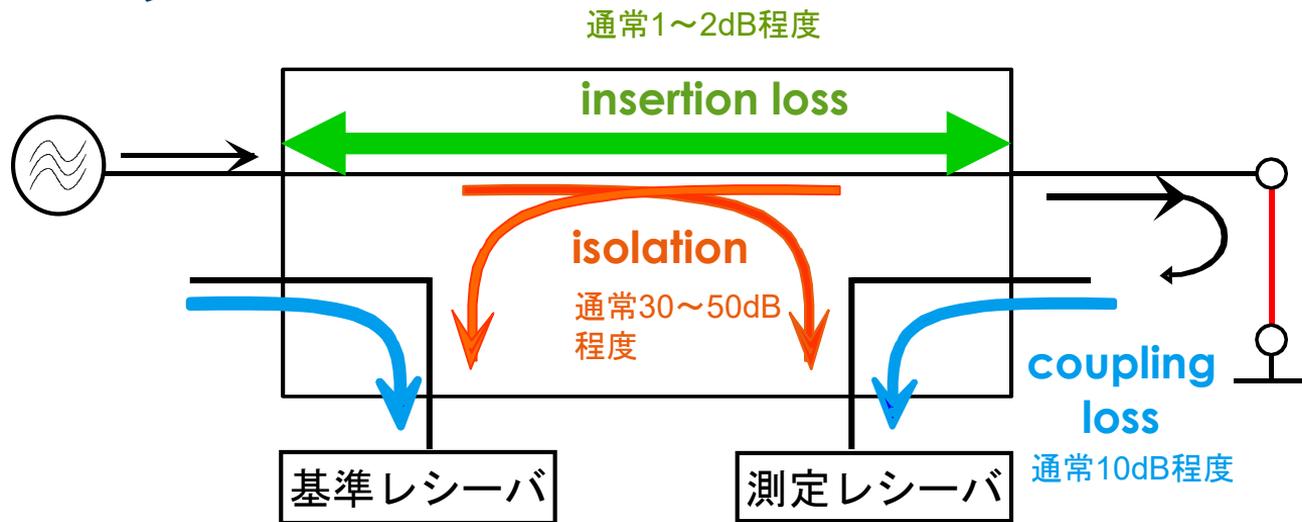


ネットワーク・アナライザの動作原理

ネットワークアナライザブロック図



双方向カプラ

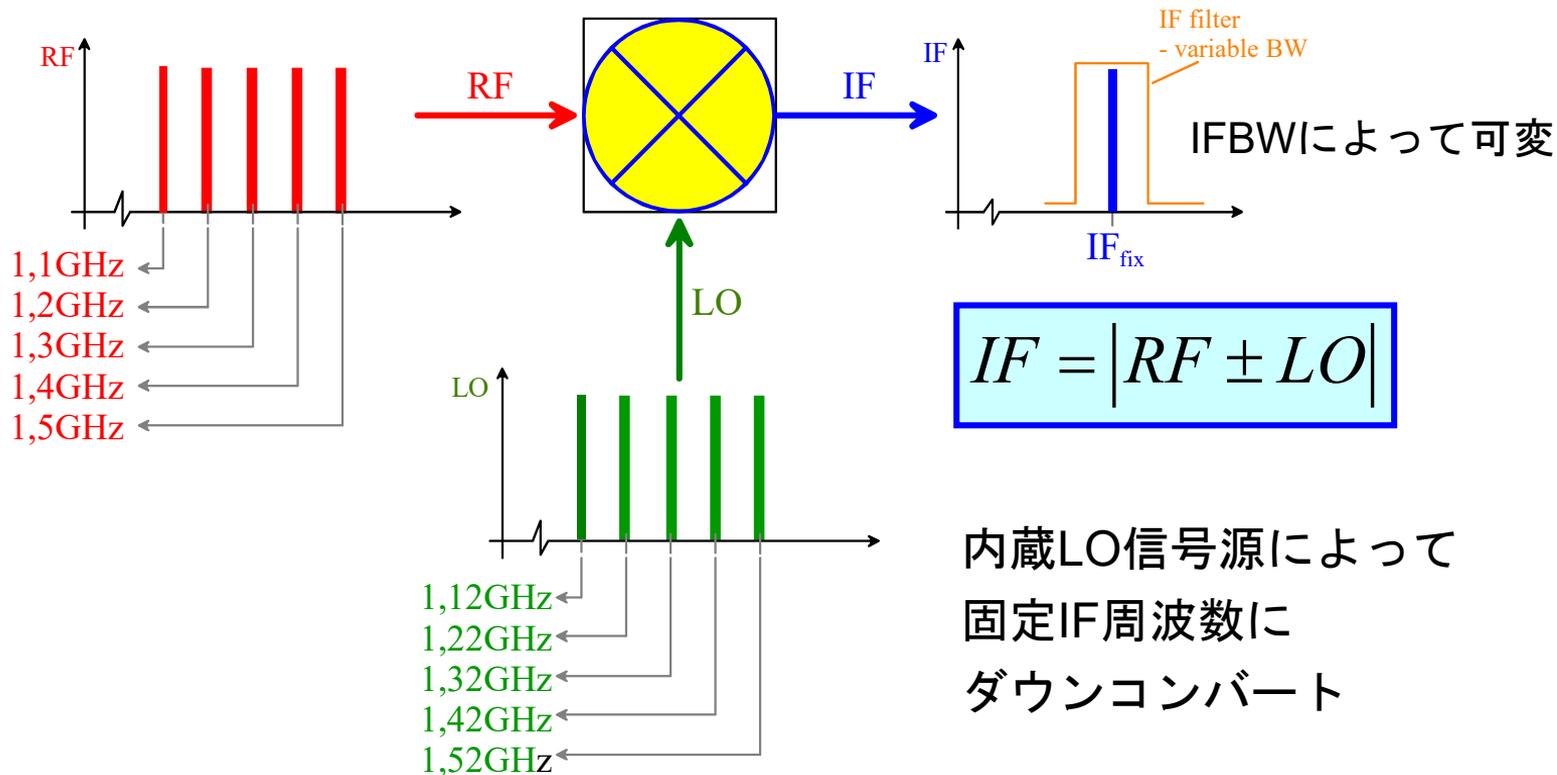


ネットアナのスペックのひとつであるdirectivityは、カプラの性能を表す

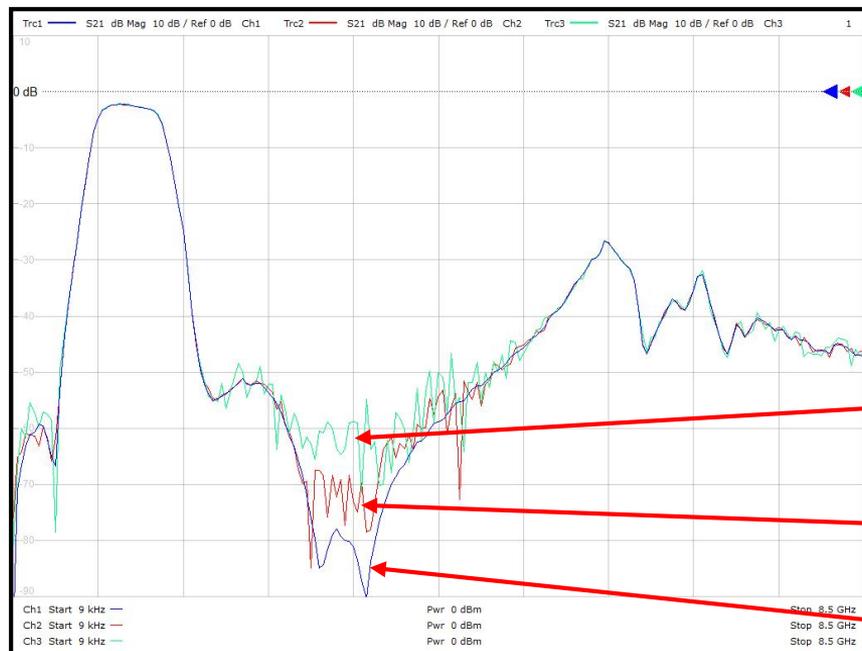
$$\text{directivity} = \text{isolation} - \text{coupling loss} - \text{insertion loss} *$$

**all units in [dB]*

測定レシーバ



IFBWによるレシーバの感度の違い



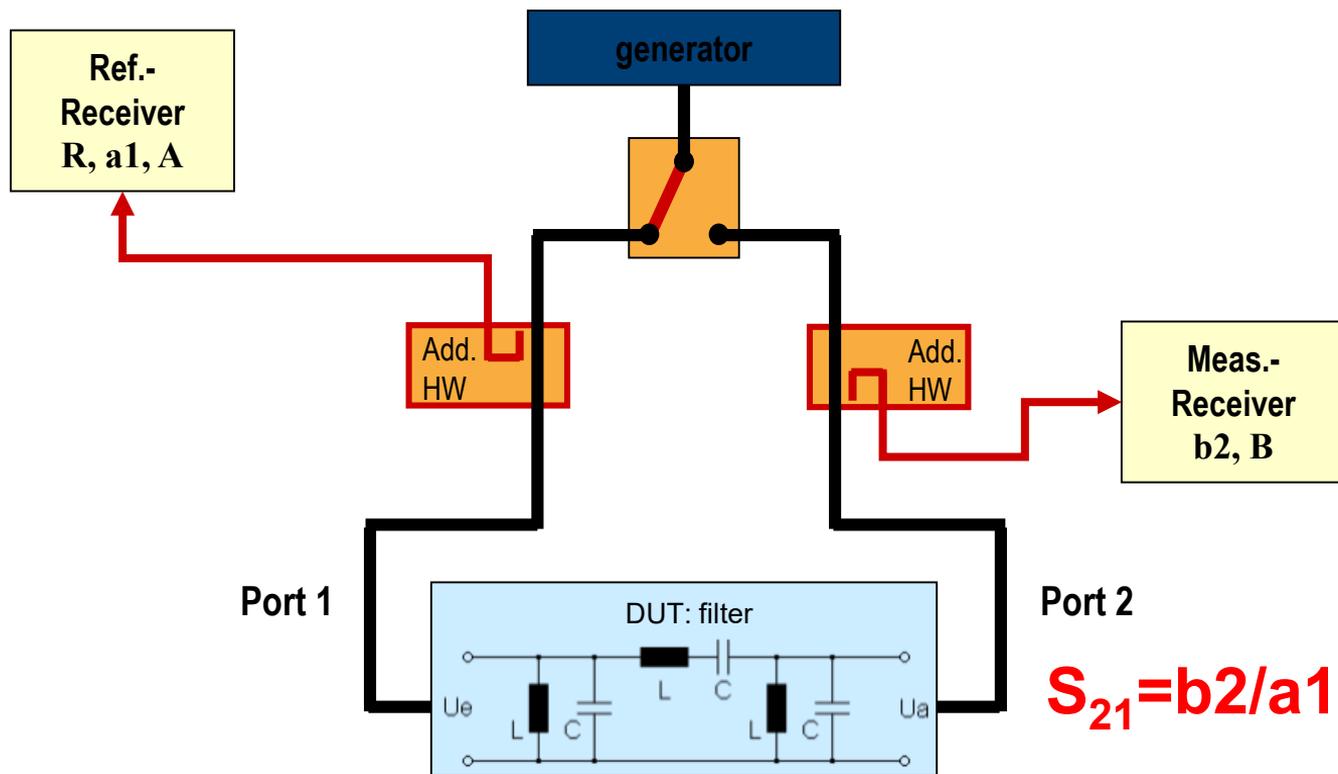
ダイナミックレンジ
(測定感度)とスピード
はトレードオフの関係

IFBW : 1 MHz
Sweep Time : 172.734 ps

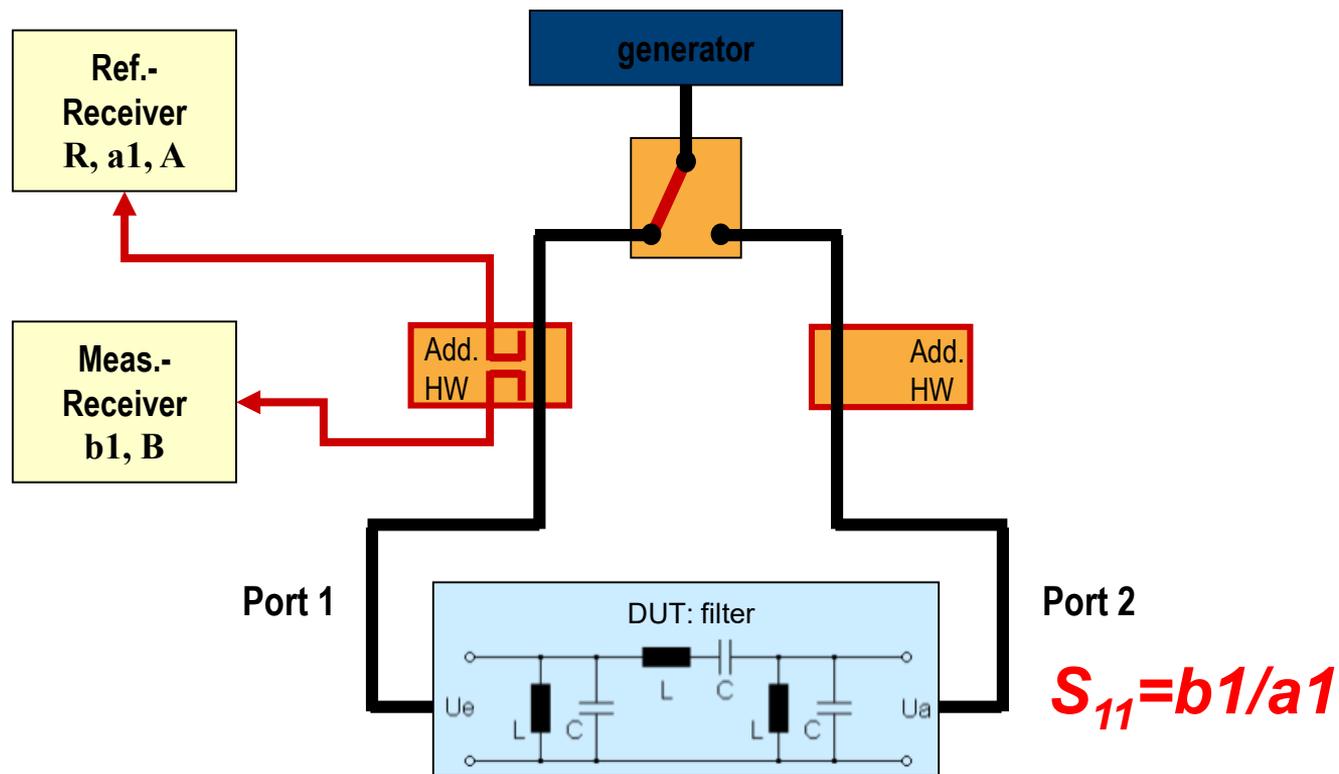
IFBW : 100 kHz
Sweep Time : 1.759 ms

IFBW : 10 kHz
Sweep Time : 17.587 ms

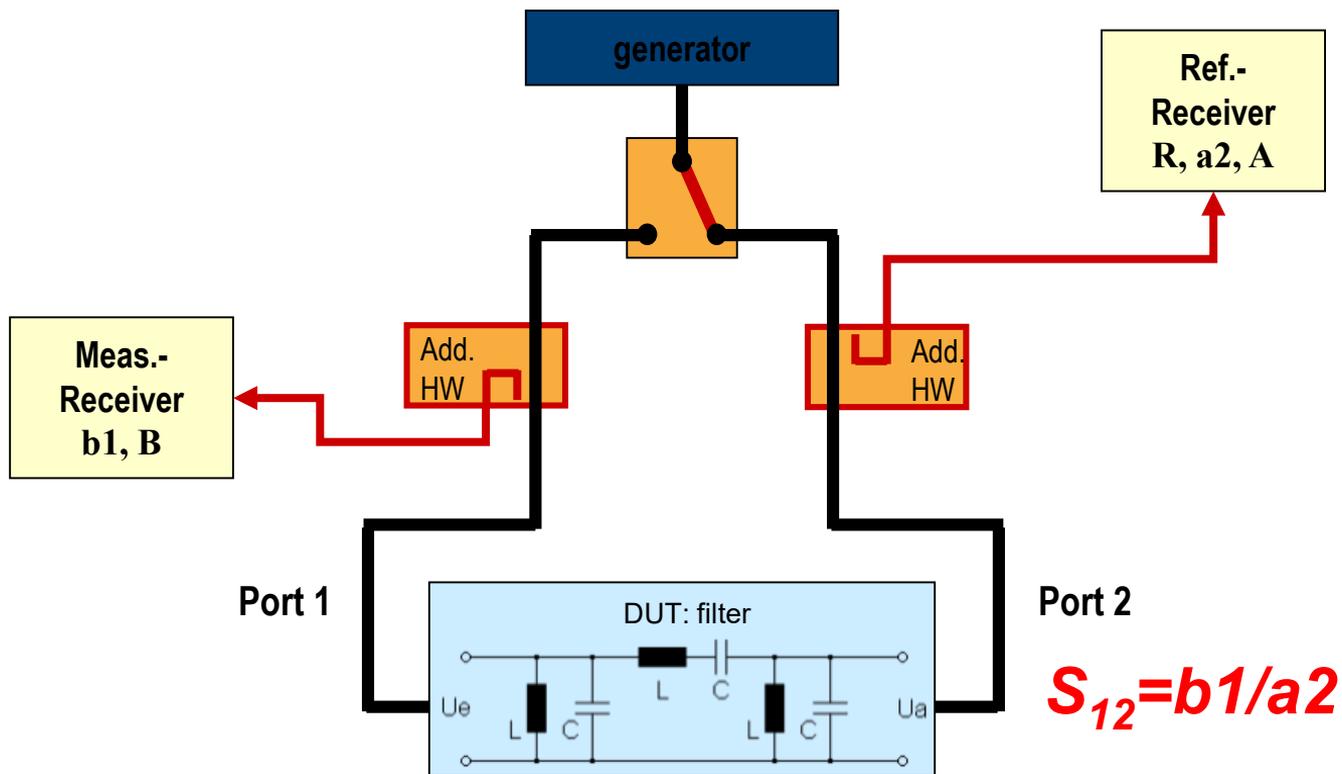
ネットワーク・アナライザ ブロック図



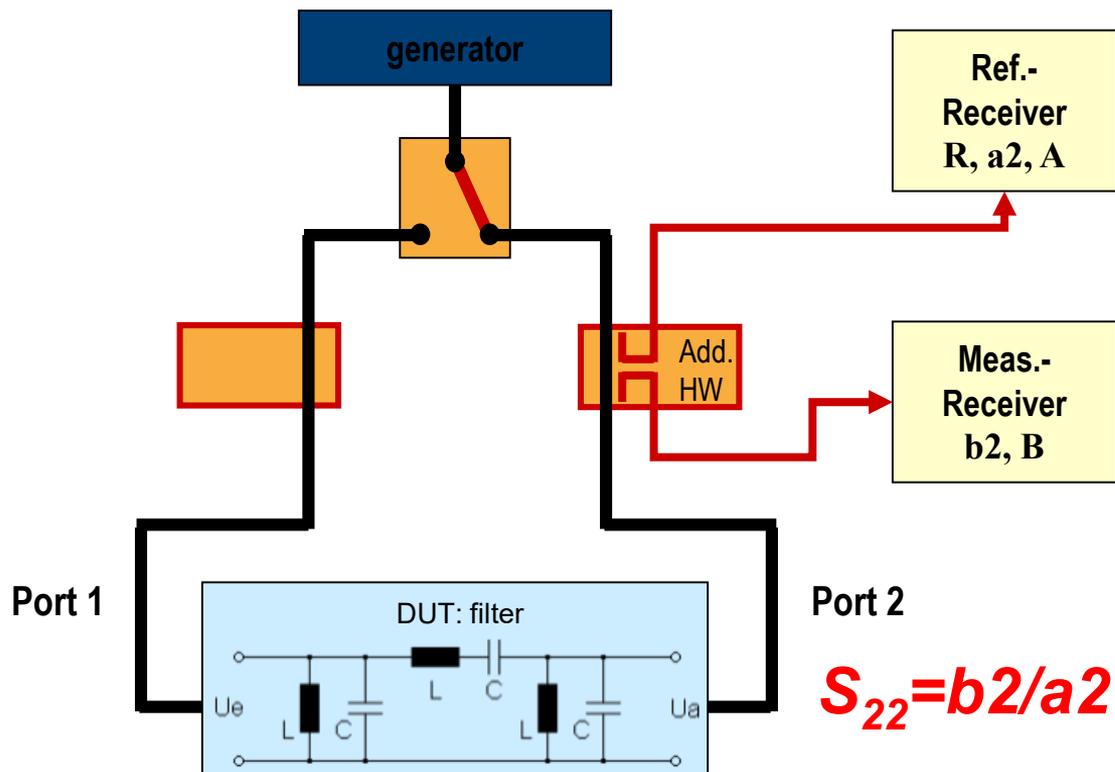
ネットワーク・アナライザ ブロック図



ネットワーク・アナライザ ブロック図



ネットワーク・アナライザ ブロック図



掃引タイプ

▶ リニア掃引

- 設定した周波数範囲で、周波数を変化させる(横軸は周波数)
- 一般的なSパラメータ測定で使用される

▶ パワー掃引

- 固定周波数でパワーを変化させる(横軸はパワー)
- アンプのコンプレッション評価で使用される

▶ CW掃引

- 固定周波数、固定パワーで掃引する(横軸は時間)

▶ セグメント掃引

- 各セグメント毎に、周波数範囲やポイント数、パワー等を独立して設定、掃引する(横軸は周波数)
- DUTの特性にあわせ、高精度で測定したい部分と、荒くていい部分の測定条件を変えることが出来る。製造ラインでの測定に使用される。

校正

なぜ校正が必要なのか

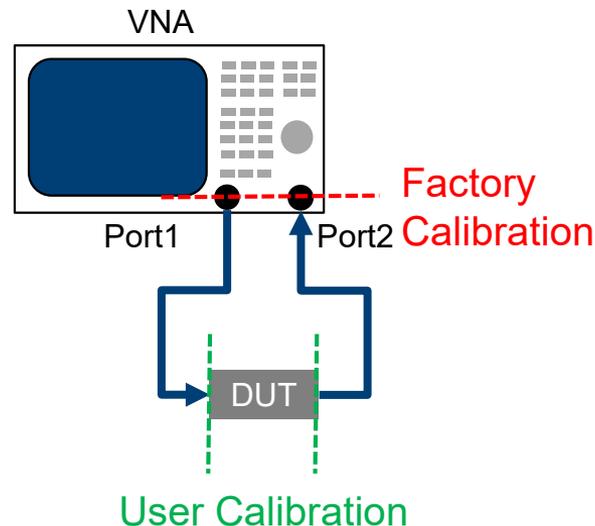
- ▶ 測定器自体が誤差を持つ
- ▶ 外部のケーブルやコネクタによる影響を取り除く

ユーザー校正

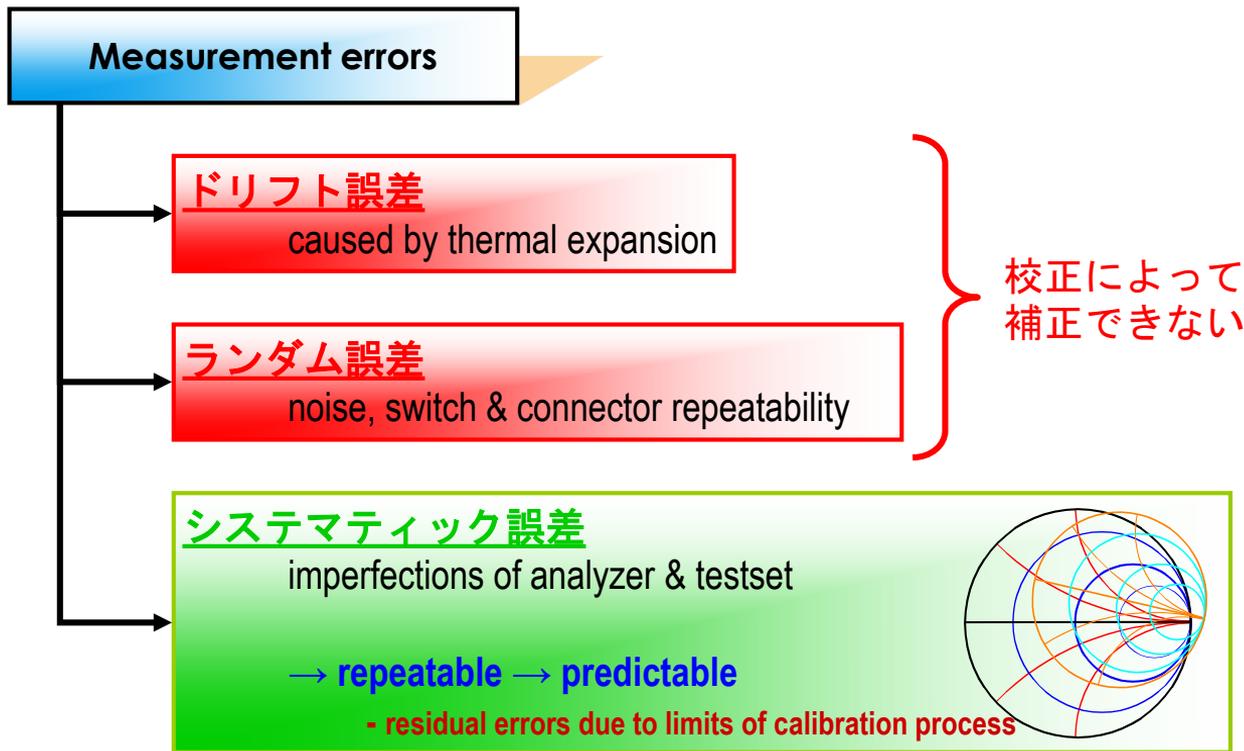
- ユーザーが実行する
- 測定前に校正することで誤差補正を行う

ファクトリー校正

- 指定校正機関(R&Sサービスセンター)が実行する
- 納品時、または定期的に測定器本体の規格(出力レベルや周波数確度など)をチェックし、調整を行う

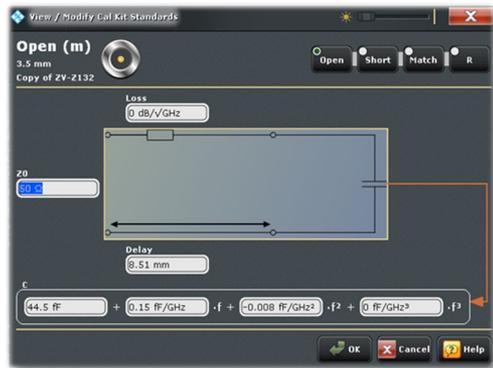
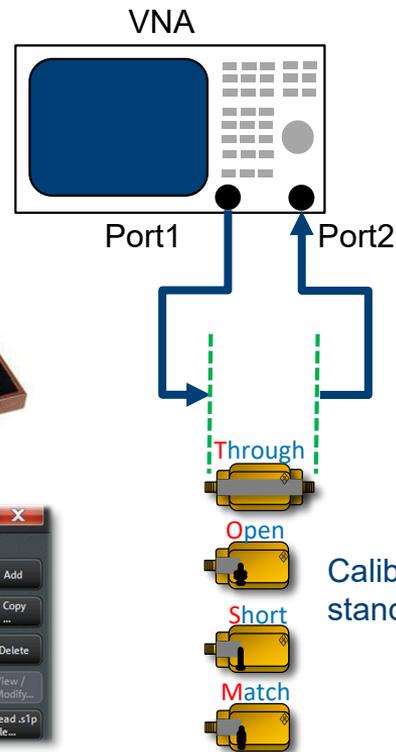


測定誤差とは



メカニカル校正キットを用いた基本の校正プロセス

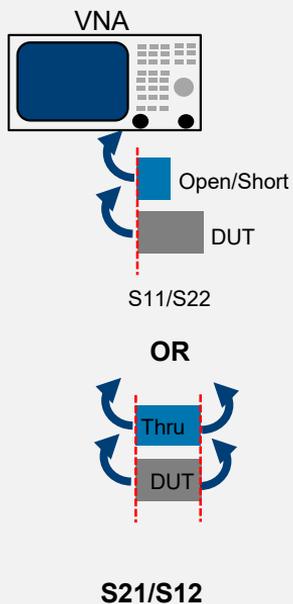
- ▶ 既知の校正スタンダードを順番に校正面に接続し測定する
- ▶ 各校正スタンダードは回路モデルもしくはSパラメータで値付けされている
- ▶ Sパラメータベースの方がより高確度



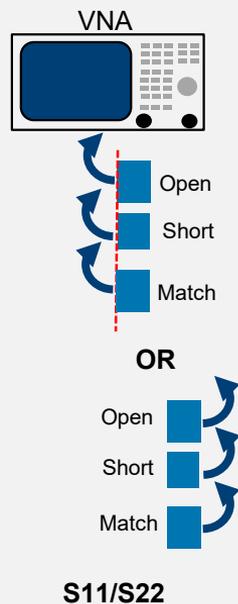
| | Type | Gender | Label | Min Freq | Max Freq | .s1p File | Port |
|---|-------|--------|--------|----------|----------|-------------------------------------|------|
| 1 | Match | m | 101852 | 0 Hz | 26.5 GHz | <input checked="" type="checkbox"/> | any |
| 2 | Match | f | 101850 | 0 Hz | 26.5 GHz | <input checked="" type="checkbox"/> | any |
| 3 | Open | m | 101864 | 0 Hz | 26.5 GHz | <input checked="" type="checkbox"/> | any |
| 4 | Open | f | 101847 | 0 Hz | 26.5 GHz | <input checked="" type="checkbox"/> | any |
| 5 | Short | m | 101856 | 0 Hz | 26.5 GHz | <input checked="" type="checkbox"/> | any |
| 6 | Short | f | 101847 | 0 Hz | 26.5 GHz | <input checked="" type="checkbox"/> | any |

様々な校正手法

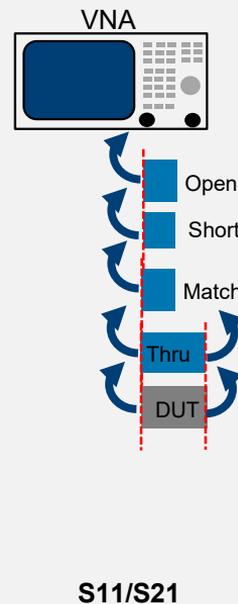
Normalization



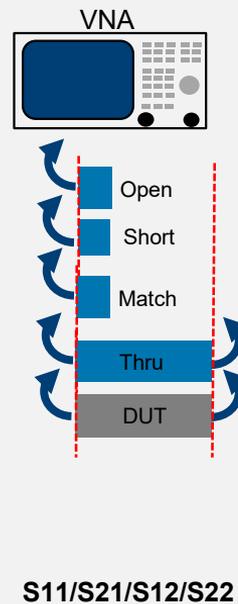
Full 1-Port (OSM)



One Path 2-Port



Full 2-Port TOSM



校正ユニット

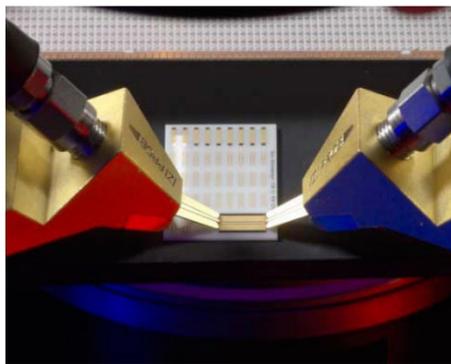
- ▶ 繋ぎ替えが最小限で済む
- ▶ フルポート校正を実行
- ▶ 高速で校正
- ▶ マルチポート校正に最適
- ▶ ヒューマンエラーを回避



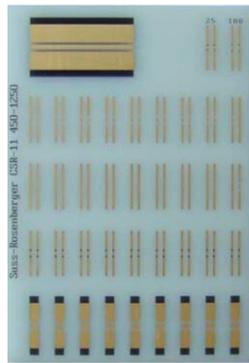
同軸以外の校正キット

▶ プローブ用校正基板

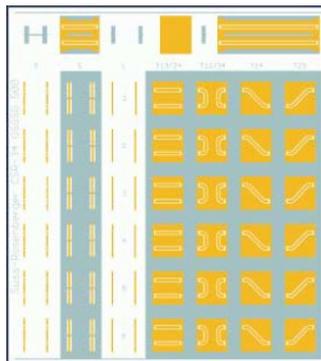
- プローブごとに形状、ピッチ（ピンとピンの間隔）が異なっているため、プローバ・メーカーに仕様を確認する必要がある



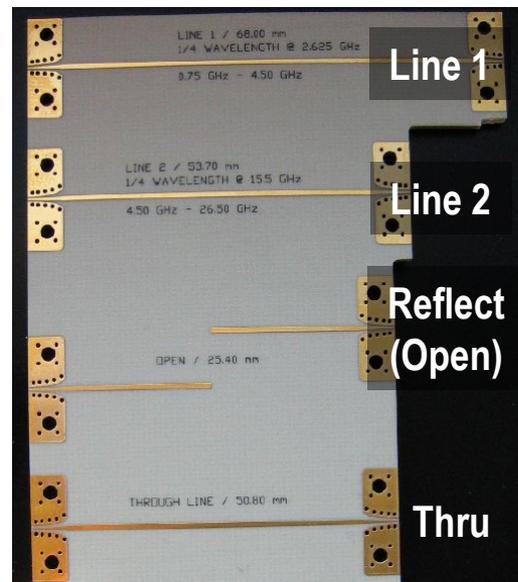
プローバ・ステーションでの校正



校正基板

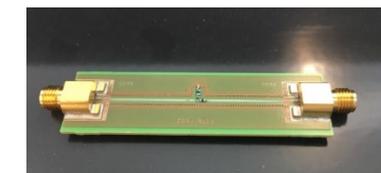
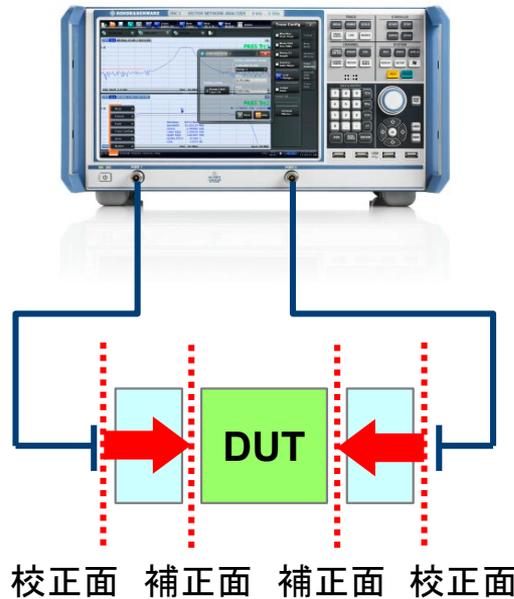
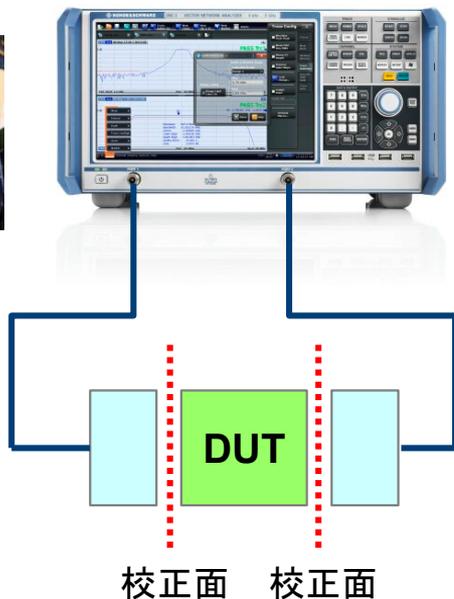
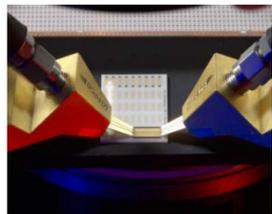


▶ カスタム校正キット



非同軸環境での校正と補正

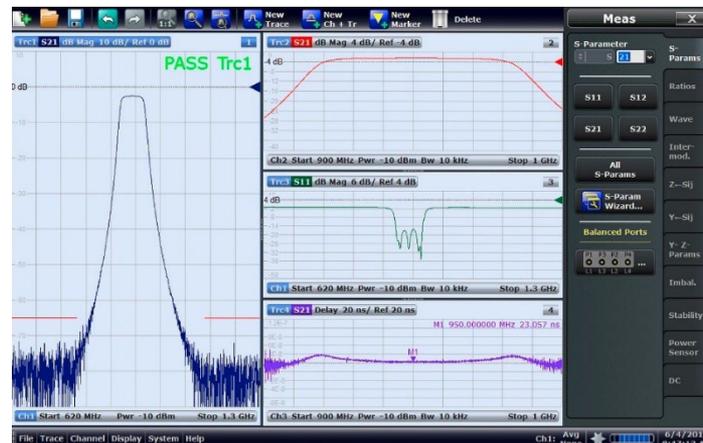
▶ DUT端面で校正か、同軸端で校正後、補正



測定における注意点

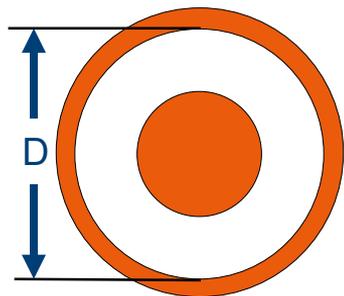
測定前の設定

- ▶ 周波数範囲
 - DUTに合わせる
- ▶ 測定ポイント数
 - 多ければ表示分解能は上がるが測定スピードが遅くなる
- ▶ 入力パワーレベル
 - レベルを上げれば測定のダイナミックレンジが改善する
 - アンプは出力レベルに合わせ、入力レベルを下げる必要がある
- ▶ IFBW(帯域幅)
 - 必要なダイナミックレンジに合わせ設定する
 - 感度と測定スピードはトレードオフとなる



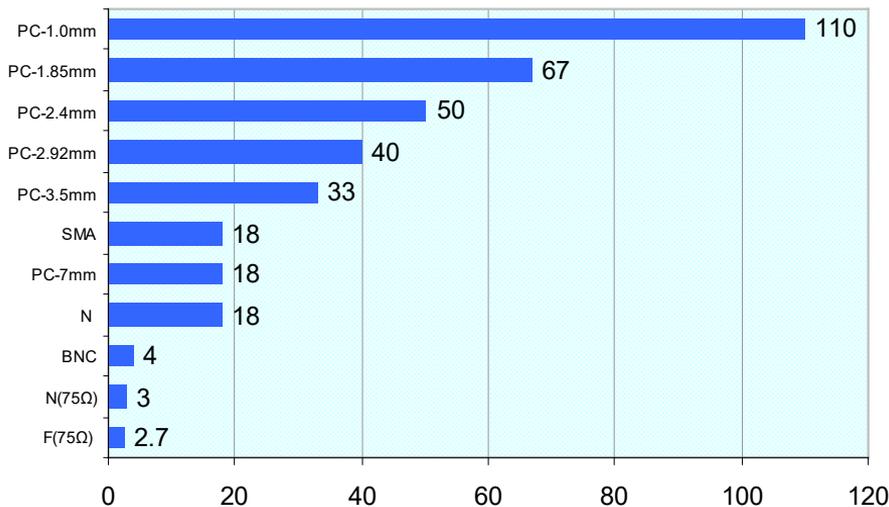
コネクタの種類と対応周波数

コネクタの周波数対応



外部導体の内径がコネクタ名称になることが多い

コネクタ・タイプ

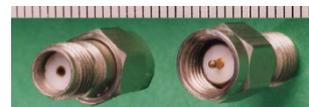


| | F(75Ω) | N(75Ω) | BNC | N | PC-7mm | SMA | PC-3.5mm | PC-2.92mm | PC-2.4mm | PC-1.85mm | PC-1.0mm |
|------------|--------|--------|-----|----|--------|-----|----------|-----------|----------|-----------|----------|
| ■ 周波数(GHz) | 2.7 | 3 | 4 | 18 | 18 | 18 | 33 | 40 | 50 | 67 | 110 |

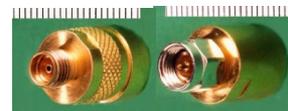
メス (female, jack) オス (male, plug)



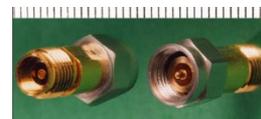
Nコネクタ



SMAコネクタ



PC-3.5mmコネクタ



PC-2.92mmコネクタ

コネクタ接続時の注意

- ▶ 手で締められるところまでは手で締める
- ▶ オスのナット側のみを回し、メス側は動かさない
- ▶ 最後にトルクレンチで締める



どれくらいのトルクなのか？



コネクタの規格によって異なる

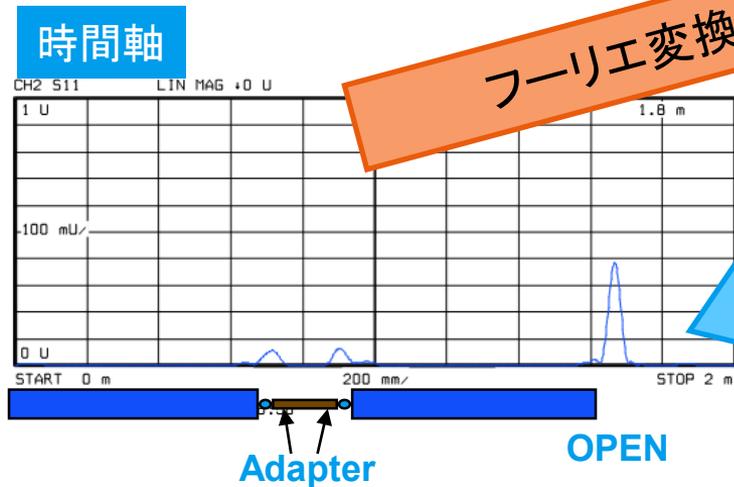
PC-7mm、N: 100~135N・cm

SMA、PC-3.5 / 2.92 / 2.4 / 1.85mm: 90~100N・cm

さまざまな測定

タイムドメイン測定

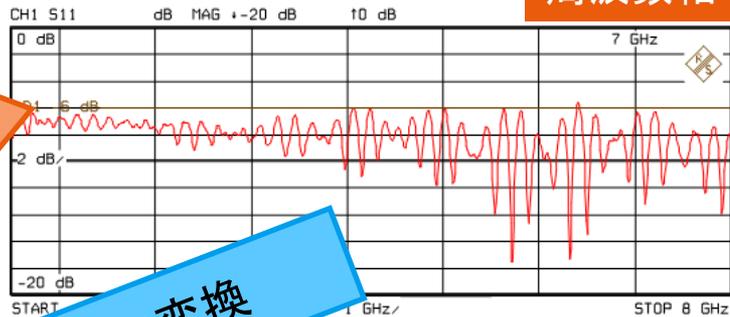
▶ 測定したSパラメータを時間軸波形に変換



フーリエ変換

逆フーリエ変換

周波数軸

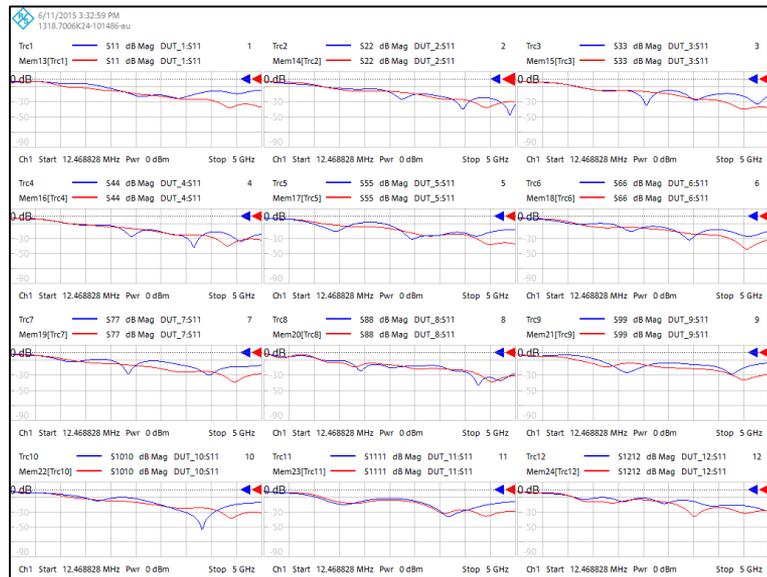


ネットワークアナライザの
オプション機能として実装

インピーダンスの不連続ポイントがどこかを知ることができる

マルチポート測定

- ▶ 多ポートDUTの伝送反射特性やクロストークを一度に測定



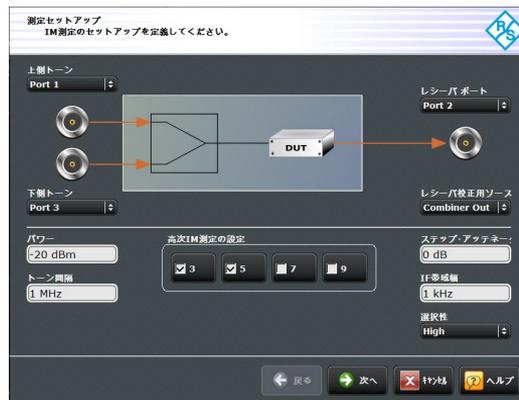
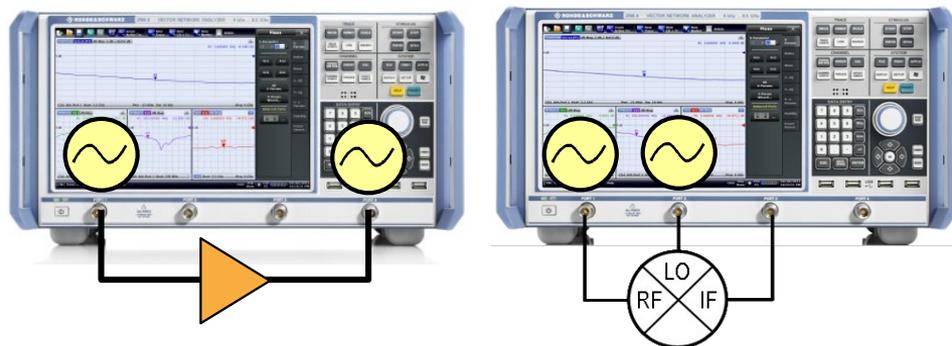
アクティブデバイス測定

線形領域

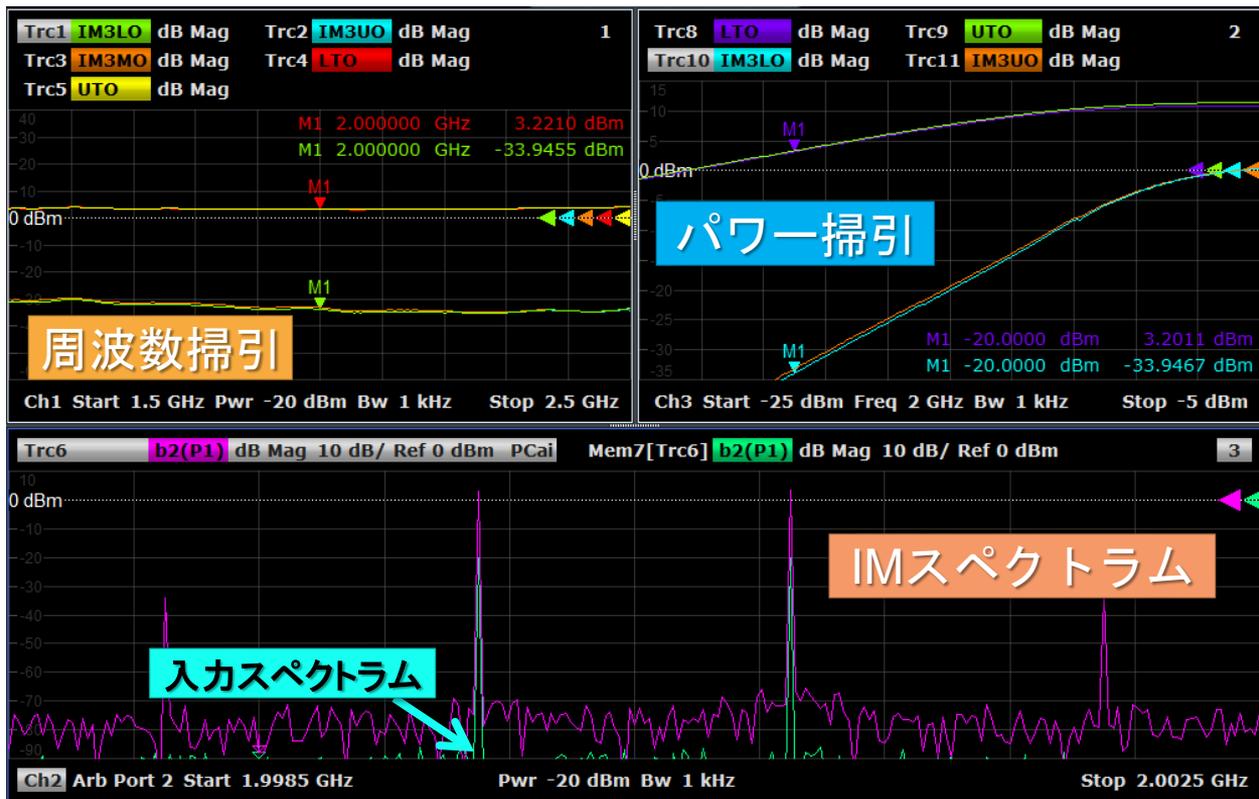
- ▶ 利得/リターンロス
- ▶ 安定度 など

非線形領域

- ▶ ゲインコンプレッション(P1dB)
- ▶ 高調波
- ▶ ホットSパラメータ(HotS22)
- ▶ IMD(相互変調歪み)
- ▶ コンバージョンゲイン など



アンプ測定例



ミリ波測定

- ▶ ネットワーク・アナライザ単体では67 GHzまでサポート
- ▶ さらに、ミリ波コンバータを追加することで周波数拡張が可能
- ▶ シンプルな構成
 - 外部コントローラユニット不要
 - ファームウェアから制御
- ▶ トータルスペックを保証
- ▶ ファンレス設計



最大 1100 GHz をサポート



4ポートミリ波
測定も可能



thank
YOU
)

ご清聴ありがとうございました