

RF 測定ガイド

2018 年 5 月

フォームファクター株式会社
〒240-0004 横浜市保土ヶ谷区神戸町134
横浜ビジネスパークイーストタワー11F
TEL 045-338-1286 FAX 045-338-3958
Email Japan_Sales_Application@formfactor.com
URL <https://www.formfactor.com/>

CONTENTS

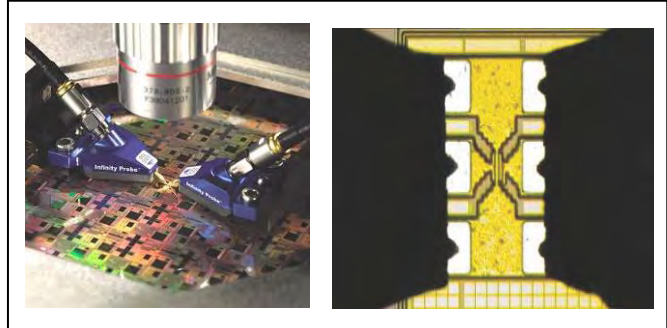
1	高周波プロービング	3
1.1	プローブ	3
1.1.1	プローブのピッチと上限周波数	4
1.2	機械精度と測定精度	5
1.3	ケーブルと接続	5
2	プローブ・ヘッドとプローブ・ステーションの構造と取り扱い	6
2.1	プローブ・ステーションの構造と取り扱い	6
2.1.1	プローブ・ステーションの構成	6
2.2	プローブ・ヘッドの構造と取り扱い	7
3	ネットワーク・アナライザの校正	10
3.1	校正 (キャリブレーション) とは	10
3.2	キャリブレーション・キット (CAL キット)	10
4	オン・ウェーハ校正の準備	12
4.1	インピーダンス基準基板 (ISS)	12
4.2	プローブ・ステーションの準備	14
4.3	プローブ・ヘッドのポジショナへの取付け	15
4.4	プローブのコンタクト方法	16
4.5	平行度の調整	17
4.6	マイクロ波同軸ケーブルとその取り扱い	18
4.7	プローブのオーバードライブとスケート量の調整	21
5	キャリブレーション・キットの入力設定	25
5.1	SOLT の場合	25
5.1.1	AGILENT PNA(VERSION A.06.04.32)シリーズ での SOLT CAL KIT の入力手順	25
5.1.2	AGILENT ENA(VERSION A.08.10)シリーズ での SOLT CAL KIT の入力手順	32
5.2	LRM の場合	37
5.2.1	AGILENT PNA(VERSION A.06.04.32)シリーズ LRM CAL KIT 入力手順	37

6	オン・ウェーハ校正の実際	43
6.1	プローブのコンタクトと裸特性	43
6.2	AGILENT PNA(VERSION A.06.04.32)シリーズの CAL 操作	44
6.2.1	設定	44
6.2.2	CAL(SOLT)の実行	45
6.3	AGILENT ENA(VERSION A.08.10)シリーズの CAL 操作	47
6.3.1	設定	47
6.3.2	CAL(SOLT)の実行	47
6.4	校正の性能確認	49
7	メンテナンス	51
7.1	プローブ・ヘッドのクリーニング	51
7.1.1	クリーニング基板を用いたプローブ・クリーニング	52
7.2	測定系の裸特性の確認	53
7.3	機械的注意事項	53
7.4	電氣的注意事項	55

1 高周波プロービング

1.1 プローブ

高周波の平面回路では、マイクロストリップ伝送線路及びコプレナ伝送線路が主に使用されます(図 1-1)。どちらの伝送線路も、進行方向に垂直に電界及び磁界が発生する TEM モードとなっており、DC (直流) から高周波までの伝送が可能です。高周波の伝送線路では、そのインピーダンスが 50Ω であることが重要ですが、伝送路のインピーダンスは、マイクロストリップ伝送線路の場合、



シグナル・ラインの幅、グランドとの距離、基板の誘電率で決まります。コプレナ伝送線路の場合、シグナル・ラインとグランドの間隔、基板の誘電率で決定されます。正確な測定のためには、できる限り 50Ω のインピーダンスを維持する必要があります(図 1-2)

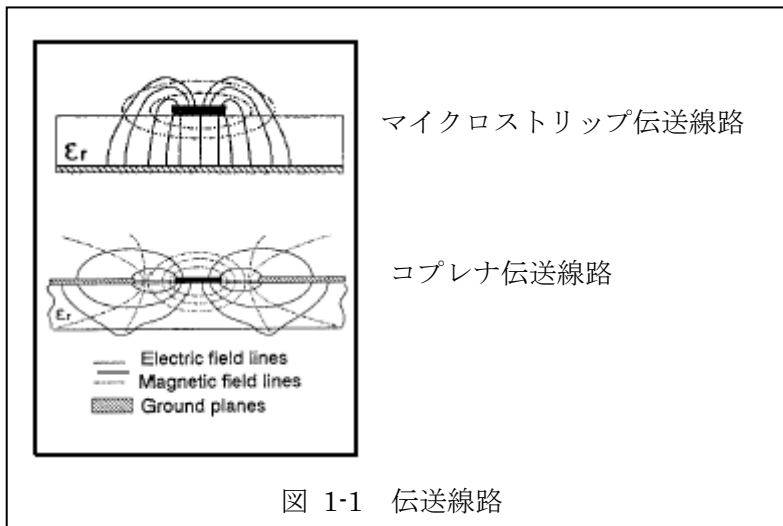


図 1-1 伝送線路

シグナルとグランドの間隔が一定でないプローブや、GS (グランドーシグナル) 構造または SG 間の間隔 (ピッチ) が広いもの ($250\mu\text{m}$ 以上) では、良好な高周波特性が期待できません。GSG 構造でピッチが狭い ($250\mu\text{m}$ 以下) プローブ・ヘッドが最適です。

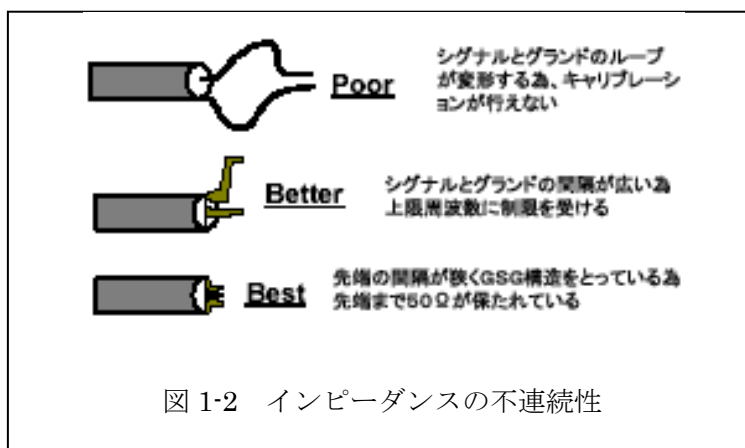


図 1-2 インピーダンスの不連続性

1.1.1 プロープのピッチと上限周波数

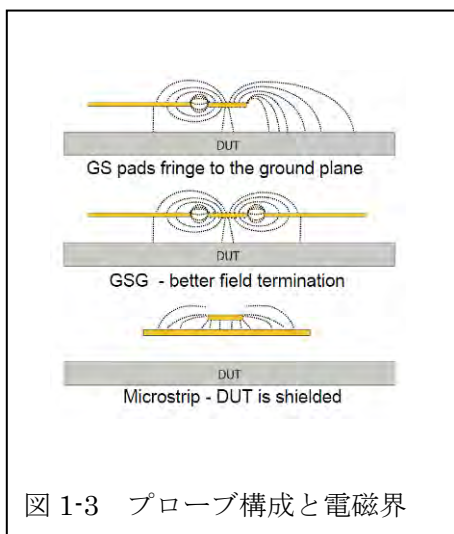


図 1-3 プロープ構成と電磁界

ピッチと使用可能な上限周波数との関係は、経験則上「GS の最大ピッチは波長の $1/50$ 」、「GSG の最大ピッチは波長の $1/20$ 」となります。

また、GS/SG のプローブはシグナルの一方にしかグラウンドがなく電磁界がウェーハやチャックと結合しやすいため、一般的には 10GHz 以下の測定に使用されます。

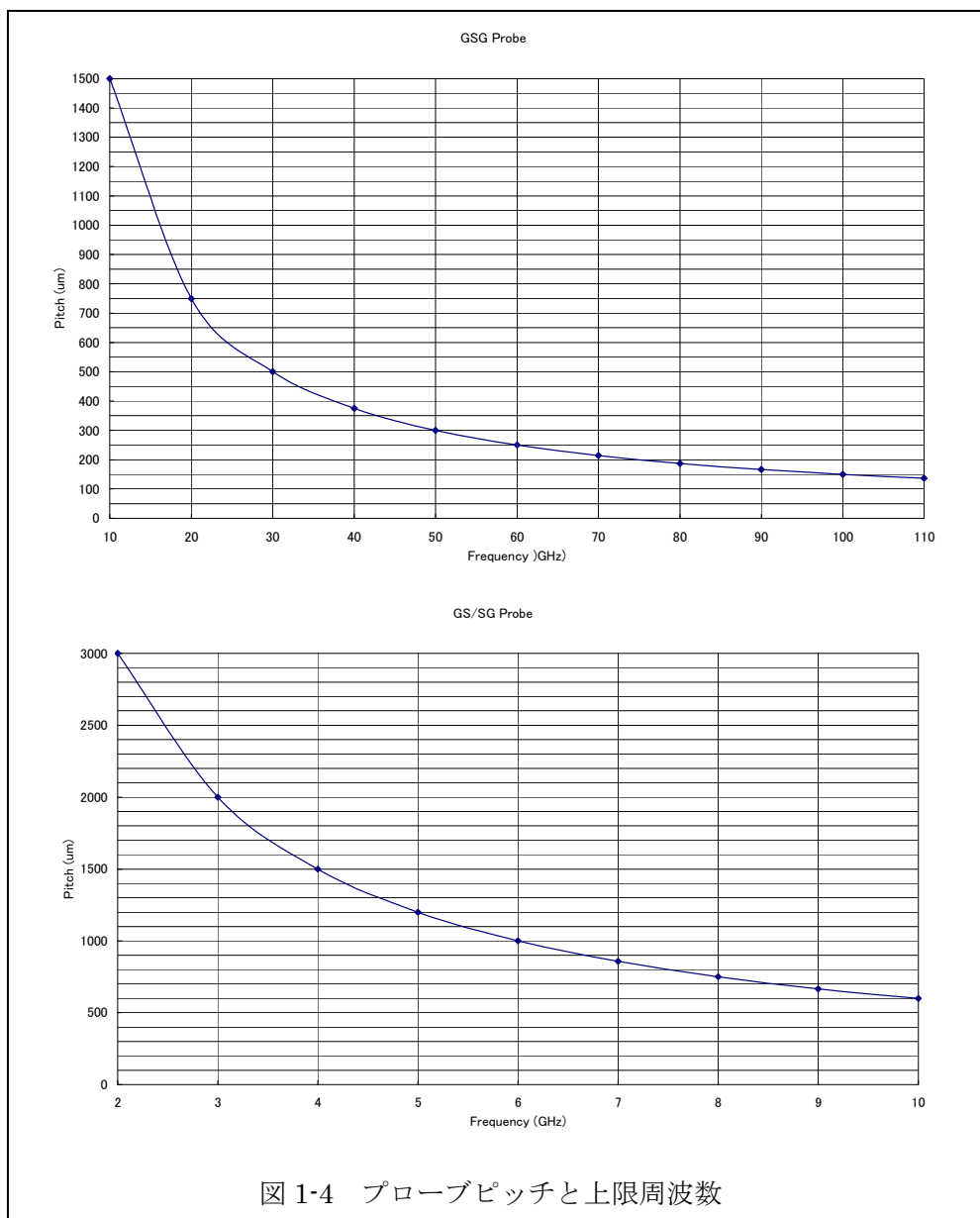
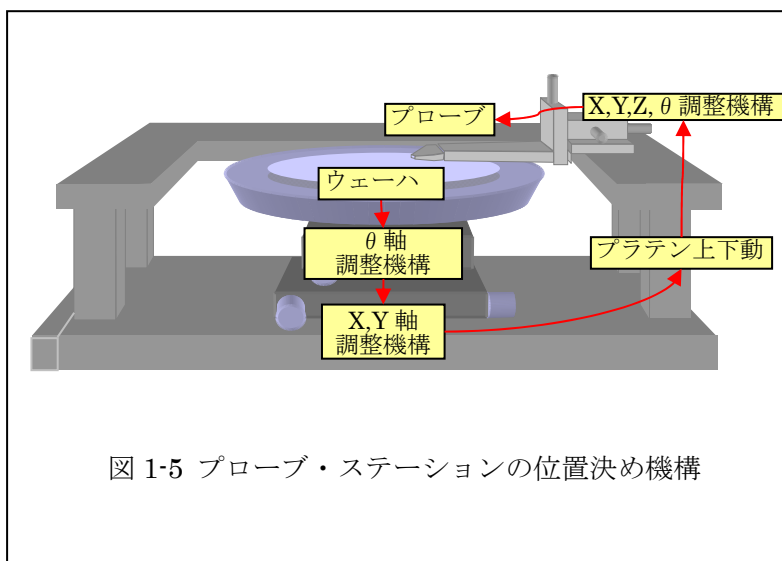


図 1-4 プロープピッチと上限周波数

1.2 機械精度と測定精度

精度の良い測定をするには、ウェーハとプローブ先端にミクロン単位の精度が必要になります。ウェーハとプローブ先端の位置関係を決定するプローブ・ステーションの位置決め機構は、ウェーハのアライメント調整用の θ 回転機構→XY移動機構→プラテンの上下動機構→プローブのXYZ θ 移動機構で構成されます。これらの機械的接続には高い剛性と精度が要求されます。特にプローブの位置決め機構には、測定器との接続ケーブルによる張力やインピーダンスチューナ等の高周波機器の搭載にも耐える必要があります。



ウェーハのアライメント調整用の θ 回転機構→XY移動機構→プラテンの上下動機構→プローブのXYZ θ 移動機構で構成されます。これらの機械的接続には高い剛性と精度が要求されます。特にプローブの位置決め機構には、測定器との接続ケーブルによる張力やインピーダンスチューナ等の高周波機器の搭載にも耐える必要があります。

1.3 ケーブルと接続

測定器とプローブを接続するケーブルは、挿入損失、位相特性が良いものを選んでください。また、ケーブルが曲がるなどして形状が変化した場合に位相特性の変化が少ないこと、曲げをもとに戻したときに特性ももとに戻るものが良いケーブルです。



2 プローブ・ヘッドとプローブ・ステーションの構造と取り扱い

2.1 プローブ・ステーションの構造と取り扱い

プローブ・ヘッドを取りつけるプローブ・ステーションには、マニュアル型、セミオートマチック型があります。マニュアル型は、ウェーハの搭載、移動とも手動で行い、セミオートマチック型はウェーハの搭載は手動、移動は自動的に実行します。どのタイプのプローブ・ステーションも基本的には、ポジショナ、プラテン、ウェーハ・チャックと移動機構、顕微鏡、Z レバー（プラテンの高さ調整機構）などから構成されています。ウェーハ上のデバイスを測定する場合、まずポジショナを操作し、プローブ・ヘッドをウェーハ上の基準デバイスに正確にセットします。その後、ポジショナが搭載されているプラテンの Z レバーと、ウェーハ・チャックの X 軸、Y 軸の移動機構を使い、次のデバイスへと移動します。この方法により、基準のデバイスで一度設定した高さと、各プローブ・ヘッドの間隔は正確に維持されます。

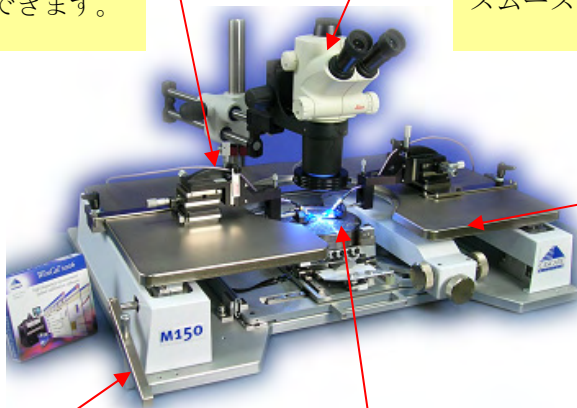
2.1.1 プローブ・ステーションの構成

ポジショナ

プローブ・ヘッドを搭載するポジショナは、X、Y、Z の 3 軸を用いて、セットしたい位置へ μm オーダーの精度でスムーズに移動できなければなりません。そのため 3 軸に対して十分な剛性が必要です。ウェーハ・チャック面とプローブ・ヘッドとの平行度が調整できるタイプであれば、より良い測定が期待できます。

顕微鏡

再現性の高い測定のためには、プローブ・ヘッドとデバイスの接触が始まる正確な点を見つけなければなりません。そのためには、100 倍以上の倍率を持った顕微鏡が必要です。しかし、インピーダンス基準基板 (ISS) 上で各エレメントを探す場合などには 20 倍程度の倍率が最適です。6 倍程度のズーム比で 20~120 倍程度の倍率を備えていれば、スムーズな操作が可能です。



プラテン

ポジショナを搭載するプラテンには十分な剛性が必要です。プローブ・ヘッド用の頑丈なポジショナを複数個搭載しても、十分な平面性を維持できなければなりません。

Z レバー (高さ調整機構)

一般に、高さ調整機構は、マニュアル型ではレバーでプラテンが上下するものが多く、オート型では電気的なコントロールでウェーハ・チャックが上下します。いずれの場合でも、Z 軸の上下を行ってもプラテンとウェーハ・チャックの位置関係が正確に再現されることが重要です。

ウェーハ・チャック

通常のウェーハ・チャックは、X 軸と Y 軸の移動機構を使い、ウェーハを保持しながらウェーハ面内の端から端まで移動できるように設計されています。この移動によってウェーハ面の高さが変わると、プローブ・ヘッドのオーバードライブ量が変わり、再現性の良いデータを取ることができません。このため、ウェーハ・チャックの平面性は非常に重要です。

2.2 プローブ・ヘッドの構造と取り扱い

プローブ・ヘッドは図 2-1 のような形をしています。ボディの上部中央には測定器と接続するための同軸コネクタがあり、先端部分はプローブ先端とデバイスのパッドに接触するための、シグナルとグランドのコンタクト部となっています。プローブ・ヘッドには測定する帯域と用途によって図 2-2 に示すような製品種があります。(2010 年 1 月現在)

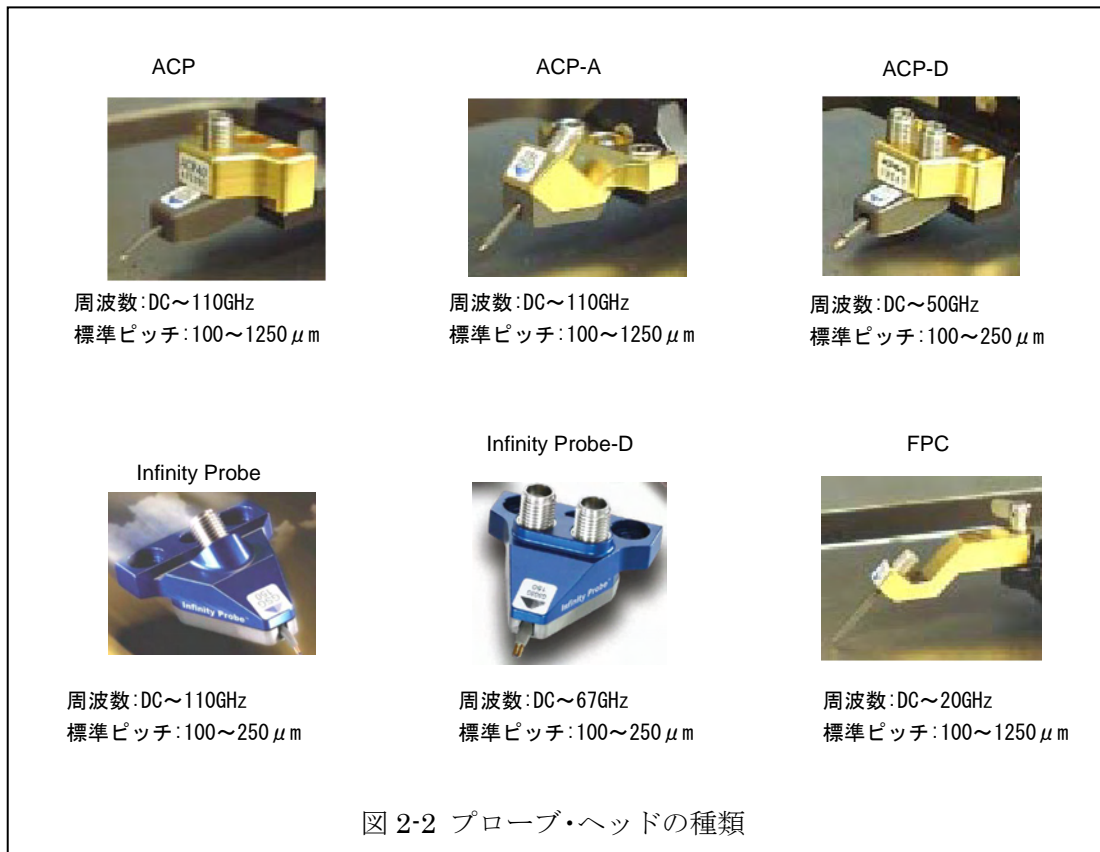


図 2-3 は、ACP および FPC プローブの、GSG タイプのプローブ先端部分を示しています。プローブ先端部はコプレナ伝送線路を形成し、それぞれのコンタクトの間が空気で満たされているので「エア・コプレナ・プローブ (ACP)」と呼ばれ、プローブ先端の視認性に優れています。金パッドに対するプロービングの場合、代表的プローブ寿命は 500,000 回です。デバイスのパッドにコンタクトする部分は約 50 μm 角の面となっており、コンタクトの際にデバイスのパッドに与える損傷を最小限に抑えられます (RC 仕様は約 25 μm 角)。

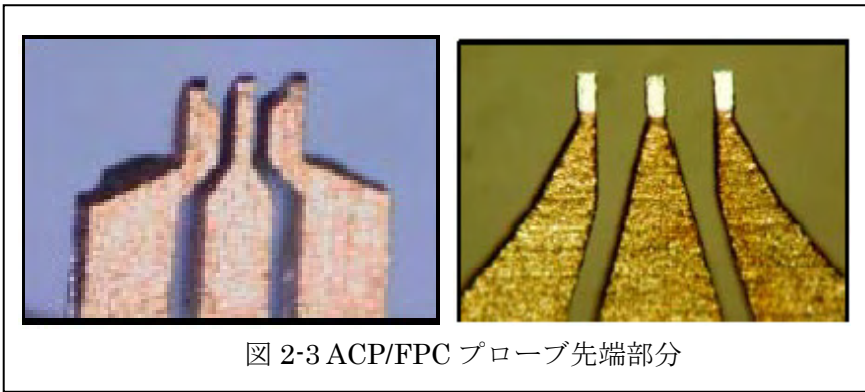


図 2-3 ACP/FPC プローブ先端部分

図 2-4 は Infinity プローブの先端部分を示したものです。Infinity プローブの先端では、薄膜上にマイクロストリップ伝送線路が形成されています。酸化しないニッケル合金のバンパ（先端径：約 12 μm ）でパッドにコンタクトするため、特にシリコン系で使用されるアルミ・パッドに有効で、低い接触抵抗で安定したプロービングをすることができます。プローブ寿命は代表値で 200,000 万回です。

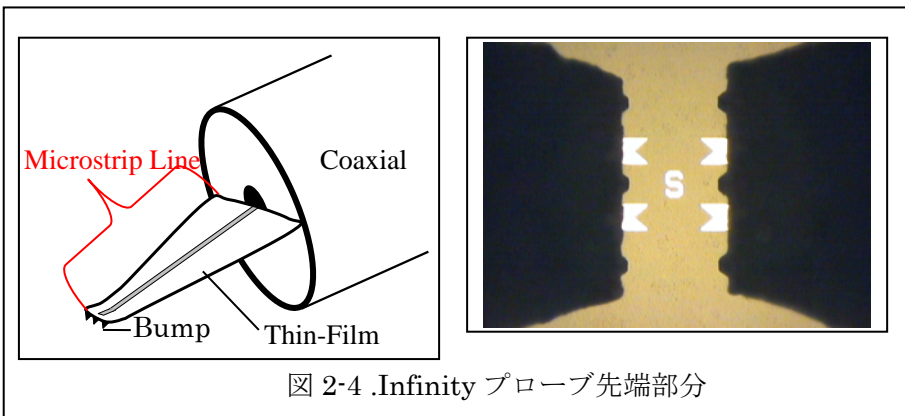


図 2-4 .Infinity プローブ先端部分

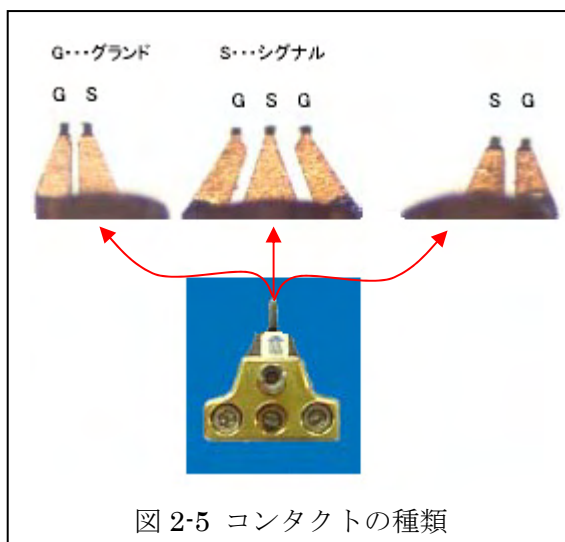


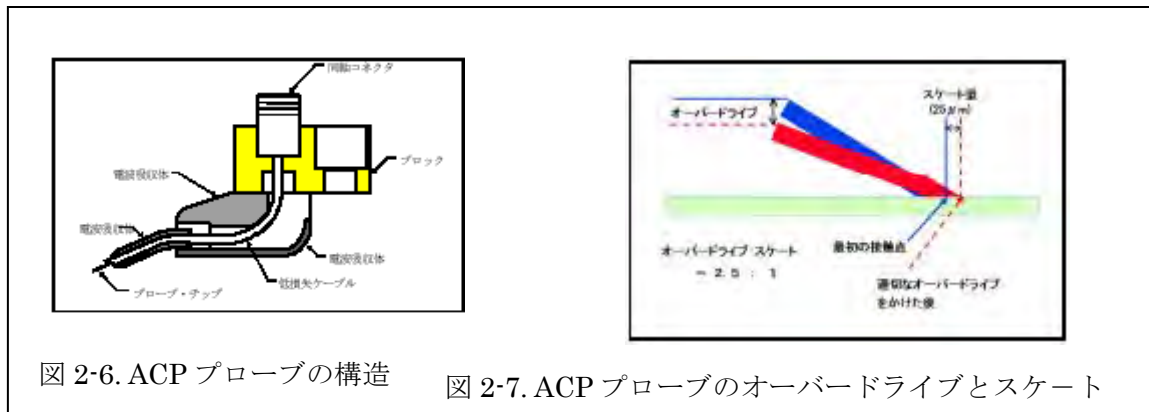
図 2-5 コンタクトの種類

基本的なプローブ先端の構成は図 2-5 のように、GS タイプ、SG タイプ、GSG タイプがあります。（GS とは、プローブを同軸コネクタが上になるように持ち、自分の体に対して外側にプローブ先を向けて見た時に、コンタクトが左から GS の順番になっていることを意味しています。）通常、GS タイプは SG タイプと、GSG タイプは GSG タイプ同士と組合せて使用されます。GSG タイプの方が変換部分の反射損が少なくより高い周波数まで使用できます。シグナル及びグランド・コンタクト部分の中心間距離はコンタク

ト・ピッチと呼ばれ、ACP プローブでは 100 μm ～1,250 μm 、FPC プローブでは \sim 3000 μm 、Infinity プローブでは \sim 250 μm まで、標準で用意されています。

図2-6は、ACPプローブの構造を示しています。同軸コネクタから入力されたRF信号は、低損失ケーブルを通過してプローブ先端に伝わります。同軸コネクタはプローブ・ヘッドの上限周波数を決定する一つの要因で、40GHzまでの測定に使用するACP40プローブ・ヘッドの場合は、2.92mm (K) コネクタが使われます。低損失ケーブルの周りには電波吸収体は不要なモードの発生を抑制し、安定した測定を可能にします。

プローブの低損失ケーブルから先端部分は、およそ2.5 : 1の割合で傾いています。この傾きにより、プローブ先端をデバイスのパッドに接触させた後、さらに押し下げることで(オーバードライブ)、プローブ先端がパッドの上をわずかに滑り(スケート)、プローブ先端がパッドとの重なり(オーバーラップ)を持つので確実な電気的接触が得られます(図2-6)。通常のオーバードライブ量(縦方向の動き)は50~75 μm 、スケート量(横方向)にして20~30 μm です。Infinityプローブでは、最大のオーバードライブ量は150 μm となります。

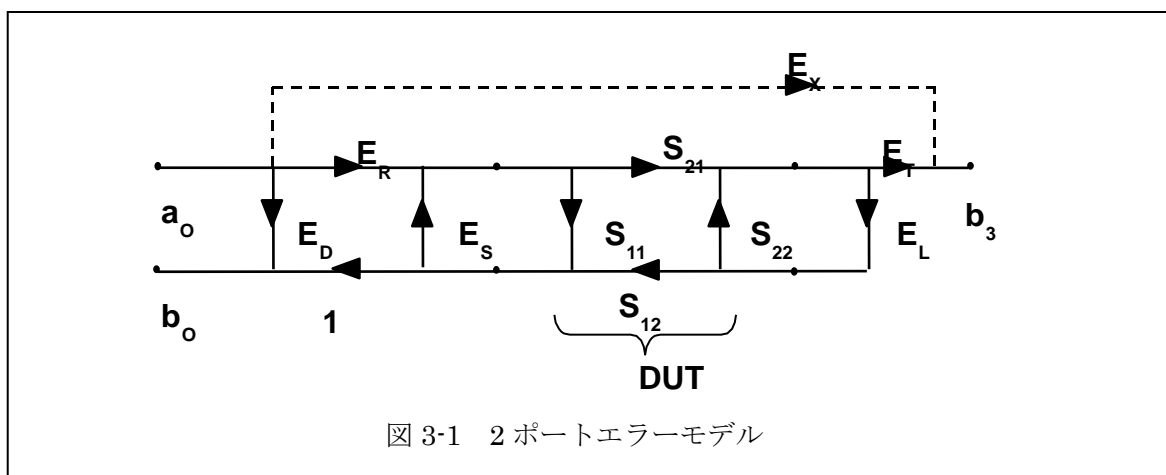


プローブ・ヘッドをポジショナに固定するための3つの穴は、中央がポジショナ側にあるガイドピン用、左右2個がネジでプローブ・ヘッドを固定するためのものです。

3 ネットワーク・アナライザの校正

3.1 校正（キャリブレーション）とは

ネットワーク・アナライザを使用する測定の際に生じる誤差には、システムチック・エラー、ランダム・エラー、ドリフト・エラーの3種類があります。システムチック・エラーは、誤差要因のうち、校正中及び測定中変化しないと考えられるものです（図 3-1）。ノイズのようにランダムに変化するものをランダム・エラーと呼びます。ドリフト・エラーは、時間または温度が変化することによって生じるものです。



これらの内、システムチック・エラーは、測定中に変化しないと考えられるので、測定前にこれらの値を何らかの方法で値付けし、その後の測定でこれらの値を計算上差し引くと、システムチック・エラーを取り除いた測定結果を得ることができます。このシステムチック・エラーの値付け作業を「校正（キャリブレーション）」と呼びます。測定値からシステムチック・エラーを計算で取り除く作業は「誤差補正（エラー・コレクション）」と呼ばれます。

ランダム・エラーとドリフト・エラーは、校正では取り除けないという点に注意が必要です。

ランダム・エラーは、ベクトル・アベレージングにより小さくできます。ドリフト・エラーは、室温の変化を少なくしたり、裸特性の良好なハードウェアを使用することで低減可能です。

3.2 キャリブレーション・キット (cal キット)

校正は、エラーの数と同数の既知の値を持った基準（スタンダード）の測定で実現できません。

既知の値を持った基準として、一般にオープン、ショート、ロード、スルーが使われます

が、理想的な基準の作成は困難です。しかし例えばオープン基準の場合、オープンになった部分では電界が外側にはみ出し容量性となるため、その特性を数学的に記述すれば理想的特性でない基準を使用しても校正が可能です。この基準特性の記述を「キャリブレーション・キット (cal キット)」と呼びます。オープンではオープン容量 (C-open)、ショートではショート・インダクタンス (L-short)、ロードではロード・インダクタンス (L-term)、スルーではスルー・ディレイを定義します。これらの値は、プローブ先端の構成 (GS/SG、GSG)、ピッチ、使用するインピーダンス基準基板により異なりますが、これらの値はプローブ・ヘッドの入っている箱の蓋の裏面に記載してあります。参考のため、表 3-1 に代表的なプローブのスタンダードの設定値を示します。

GSG ^{*1}					GS/SG ^{*2}			
C-Open	L-Short	L-Term	L-Term 500	Pitch	C-Open	L-Short	L-Term	L-Term 500
fF	pH	pH	ps	um	fF	pH	pH	ps
-9.3	2.4	-3.5	-0.007	100	-11.0	33.5	36.5	0.073
-9.5	3.6	-2.6	-0.0052	125	-11.0	41.7	47.2	0.0944
-9.7	4.8	-1.7	-0.0034	150	-11.0	49.8	57.8	0.1152
-10.1	7.2	0.2	0.0004	200	-11.0	66.2	79.2	0.1584
-10.5	9.6	2.1	0.0042	250	-11.0	82.5	100.5	0.201

^{*1} GSG probes use CMI ISS P/N **101-190** for pitch 100-250um

^{*2} GS/SG probes use CMI ISS P/N **103-726** for pitches 100-250um

^{*3} THRU DELAY : 1ps

GSG ^{*3}					GS/SG ^{*4}			
C-Open	L-Short	L-Term	L-Term 500	Pitch	C-Open	L-Short	L-Term	L-Term 500
fF	pH	pH	ps	um	fF	pH	pH	ps
-15.7	11.0	-25.0	-0.05	250	-7.0	27.0	0.0	0
-13.6	15.8	-21.0	-0.042	350	-7.0	28.2	0.0	0
-12.6	18.2	-19.0	-0.038	400	-7.0	28.8	0.0	0
-10.5	23.0	-15.0	-0.03	500	-7.0	30.0	0.0	0
-9.6	28.1	-3.3	-0.0066	650	-6.4	42.9	14.1	0.0282
-9.0	31.6	4.4	0.0088	750	-6.0	51.6	23.4	0.0468
-7.5	40.4	23.6	0.0472	1000	-5.0	73.4	46.6	0.0932
-6.0	49.1	42.9	0.0858	1250	-4.0	95.1	69.9	0.1398

^{*3} GSG probes use CMI ISS P/N **106-682** for pitch 250-1250um

^{*4} GS/SG probes use CMI ISS P/N **106-683** for pitches 250-1250um

^{*3} THRU DELAY : 4ns

ACP 用 Standard の設定値

GSG ^{*1}					GS/SG ^{*2}			
C-Open	L-Short	L-Term	L-Term 500	Pitch	C-Open	L-Short	L-Term	L-Term 500
fF	pH	pH	ps	um	fF	pH	pH	ps
-6.2	5	-0.9	-0.0008	100	-7.5	22.2	12.0	0.024
-6.6	5.7	1.6	0.0032	125	-8.0	28.1	17.9	0.0358
-6.7	8.2	3.7	0.0074	150	-8.5	33.9	23.8	0.0476
-6.8	13.2	7.9	0.0158	200	-9.6	45.6	35.6	0.0712
-7.0	18.2	12.1	0.0242	250	-10.6	57.4	47.3	0.0946

^{*1} GSG probes use CMI ISS P/N **101-190** for pitch 100-250um

^{*2} GS/SG probes use CMI ISS P/N **103-726** for pitches 100-250um

^{*3} THRU DELAY : 1ps

Infinity Probe 用 Standard の設定値

表 3-1 プローブの CAL スタンダード値

4 オン・ウェーハ校正の準備

4.1 インピーダンス基準基板 (ISS)

ISS は、校正に用いる校正基準を提供します。

ISS (図 4-1) は 16mm x 22mm 程のアルミナ基板で、その上にショート、ロード、スルーの基準が形成されています (図 4-2)。オープンは、プローブ・ヘッドを基板面から 250 μ m 以上上げた状態で実現されます。ロード基準は、50 Ω \pm 0.3% (DC) に調整されており、

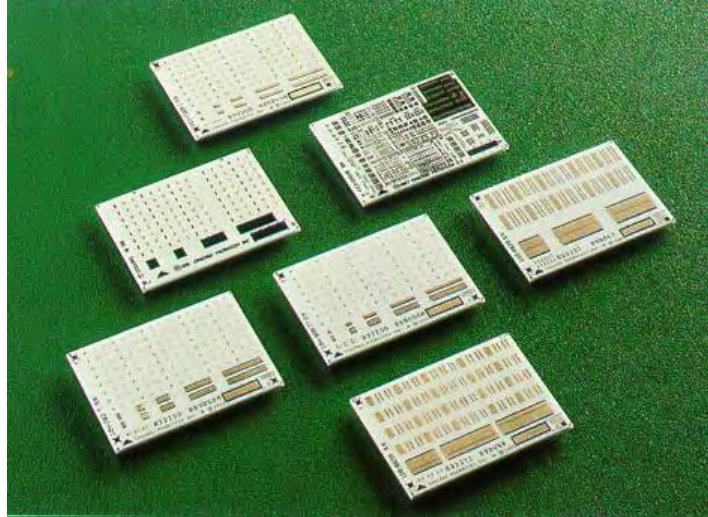


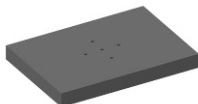
図 4-1 インピーダンス基準基板

ISS と共に供給される ISS の図(図 4-2)にその位置が赤で示されています。ISS は、プローブ・ヘッドの構成 (GS/SG、GSG 等) とピッチにより、数種類が用意されています (表 4-1)。

型名	品名	ピッチ (μ m)
005-016	インピーダンス基準基板 (汎用)	
101-190	LRM インピーダンス基準基板 (GSG 用)	100~250
103-726	インピーダンス基準基板 (GS/SG 用)	100~250
104-783	インピーダンス基準基板 (W バンド用) *アブゾービング ISS ホルダ : 116-344 必須	75~150
104-909	インピーダンス基準基板 (ナロー・ピッチ、GSG, GS/SG 用)	50~150
106-682	インピーダンス基準基板 (ワイド・ピッチ、GSG 用)	250~1250
106-683	インピーダンス基準基板 (ワイド・ピッチ、GS/SG 用)	250~1250
109-531	インピーダンス基準基板 (直交型、GSG 用)	100~500
114-456	インピーダンス基準基板 (ACP-RC プローブ用)	100~150

表 4-1 ISS の品種

* アブゾービング ISS ホルダ : 116-344 は、40GHz 以上の測定を行う場合に有効です。



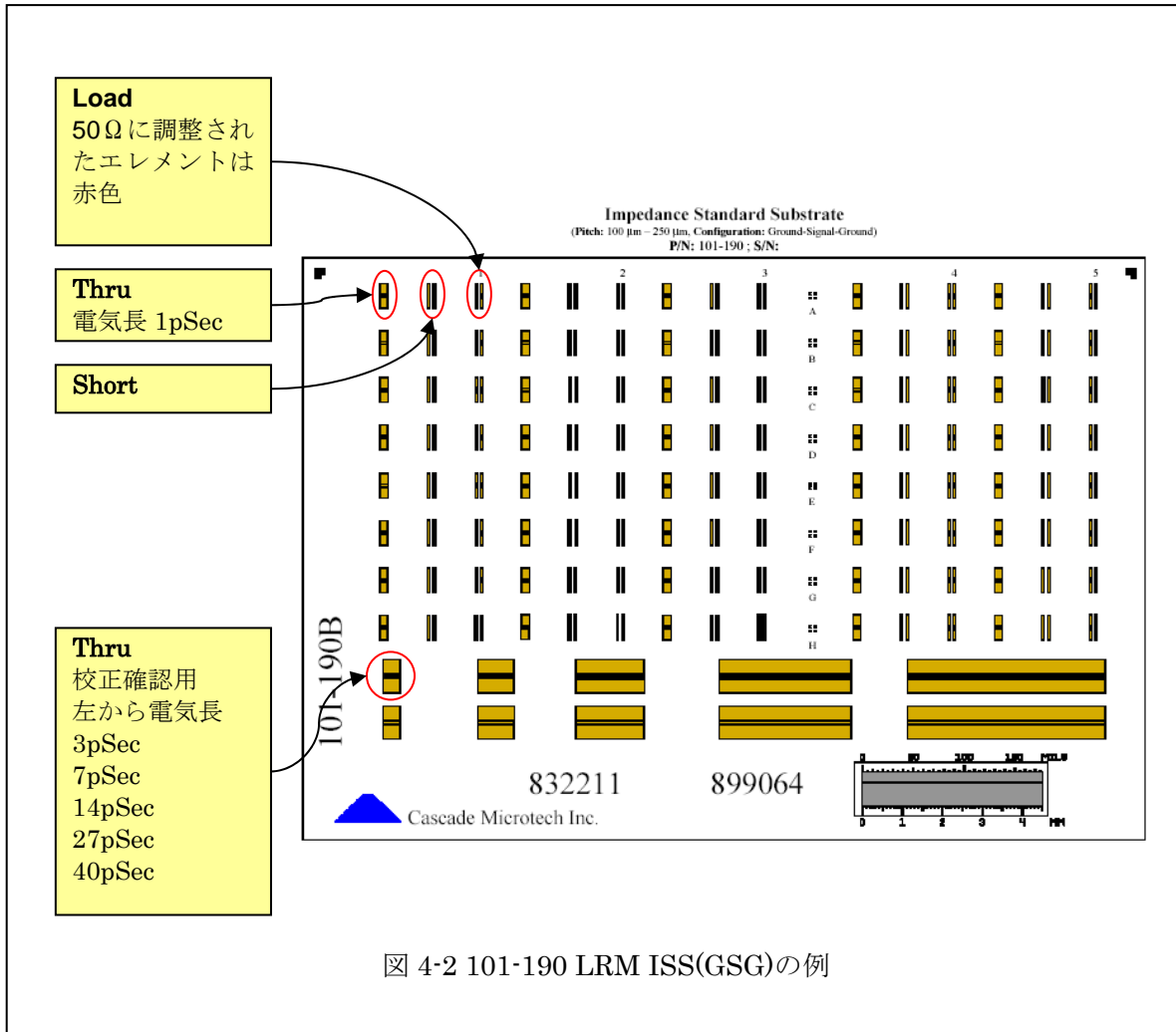


図 4-2 101-190 LRM ISS(GSG)の例

4.2 プロブ・ステーションの準備

お使いになるプロブ・ステーションは、マニュアル、セミオートどちらでも構いませんが、以下の点に注意が必要です。

- *プロブ・ヘッドを取付ける前に、ウェーハ・チャック面は一番高い位置に、ポジショナが搭載されているプラテンは最も低い位置（通常、デバイスを測定する位置）になっているか確認してください。
- *ウェーハ・チャック面に細かいゴミがないか確認してください。ゴミがある場合には、無水アルコール等で洗浄します。

Summit /M150 シリーズ・プロブ・ステーションをご使用の場合は、補助ステージに ISS とコンタクト基板をセットし、真空ポンプを作動させて吸着してください。

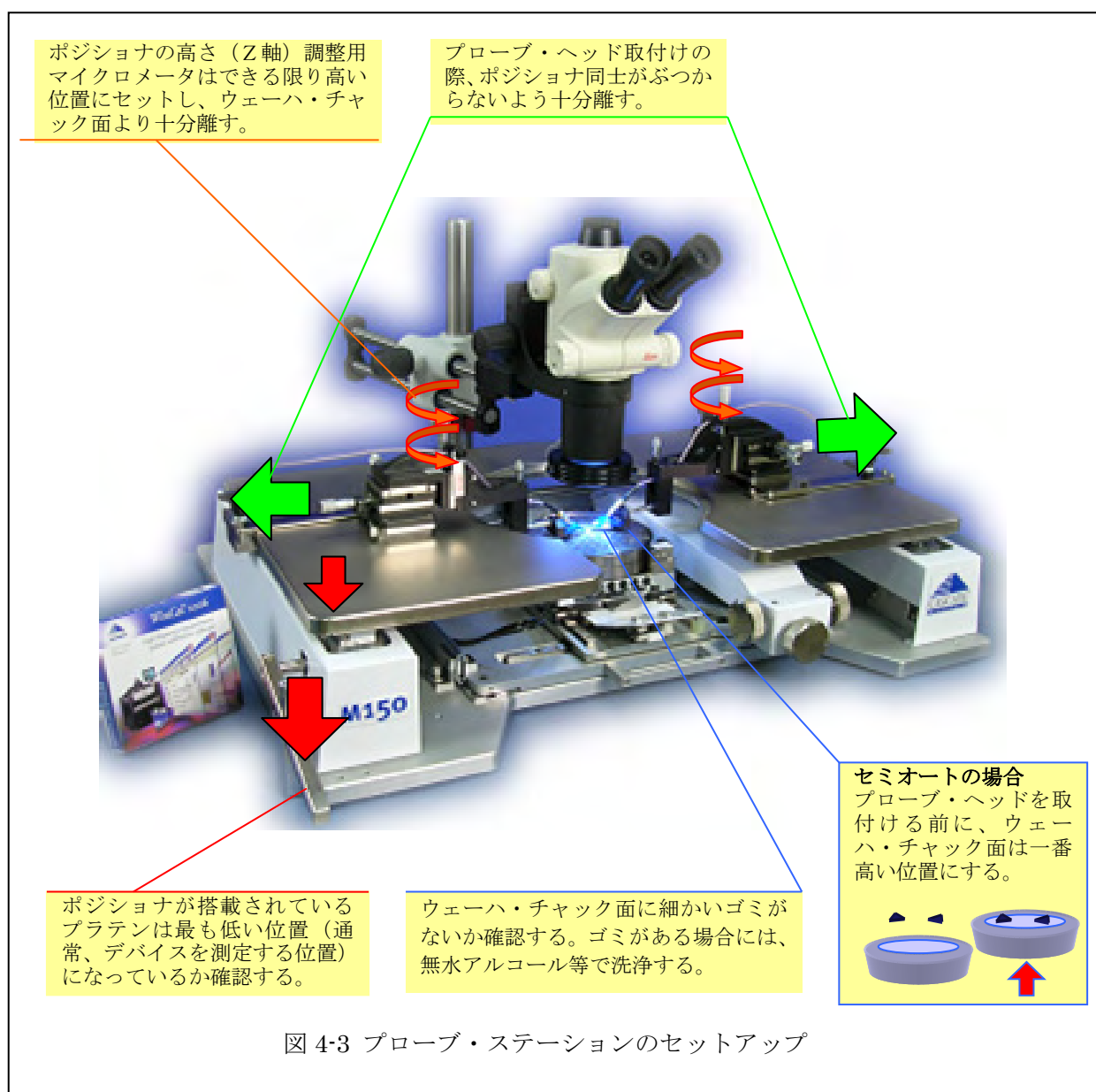


図 4-3 プロブ・ステーションのセットアップ

4.3 プローブ・ヘッドのポジションナへの取付け

ポジションナにプローブ・ヘッドを取付ける際は、以下の点に注意が必要です。

- ポジションナの高さ(Z軸)調整用マイクロメータはできる限り高い位置にセットし、ウェーハ・チャック面より十分離してください。
- プローブ・ヘッド取付けの際、ポジションナ同士がぶつからないよう十分離してください。
- ポジションナのガイドピンや固定面に細かいゴミがないか確認してください（ゴミがあると、ウェーハとプローブ・ヘッドの平行度を損なう原因となります。）。
- プローブ・ヘッドを、2本の留めネジで確実にポジションナに固定してください。



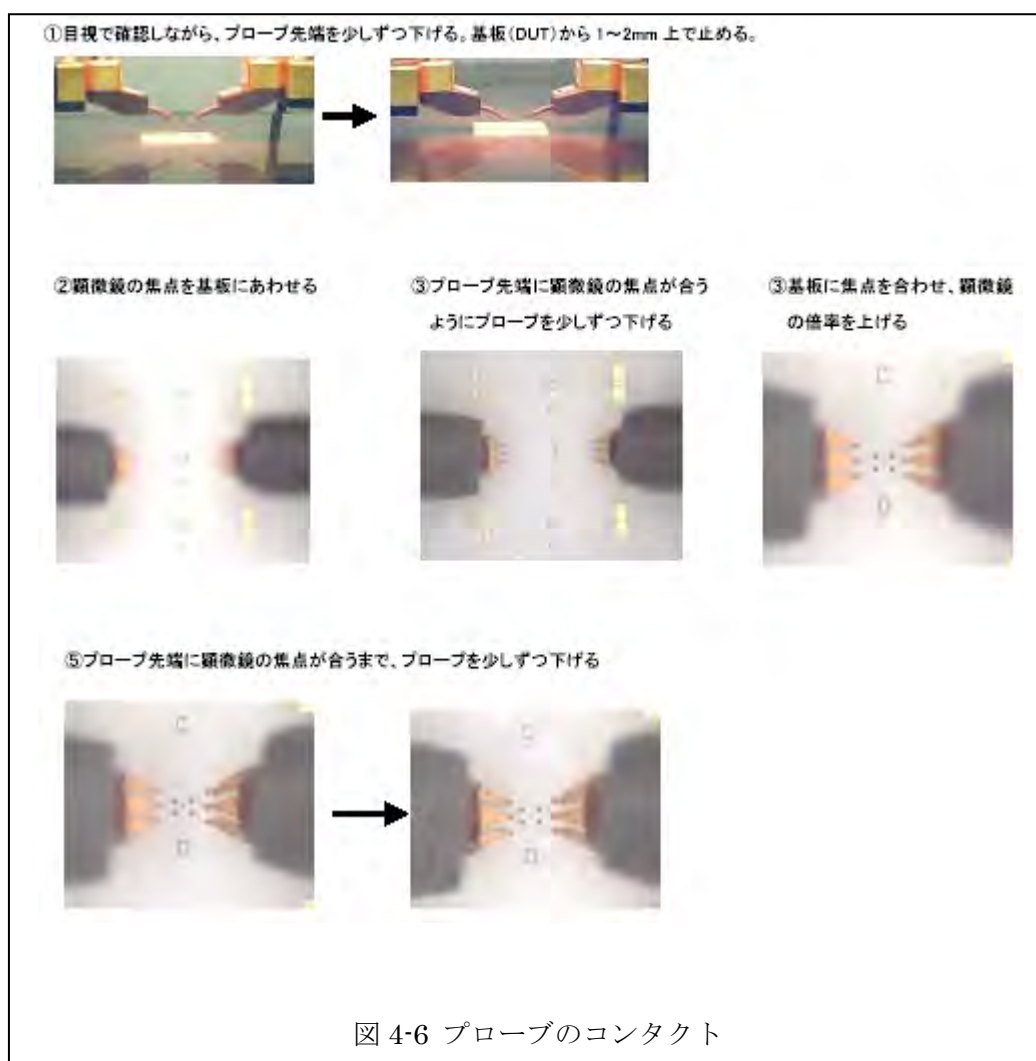
図 4-4 ACP・Infinity シリーズの取り付け



図 4-5 FPC シリーズの取り付け

4.4 プロブのコンタクト方法

- ①ウェーハ・チャックは上げ、プラテンは下げ、実際のデバイス測定と同じ位置にします。
- ②プローブ・ヘッド先端を目視しながらポジショナの高さをゆっくり下げ、基板上約 1mm 程度のところで止めます。
- ③目視から顕微鏡に変え、倍率を 20～30 倍程度とし、焦点を基板に合わせます。ゆっくりとポジショナの Z 軸を下げて行くと、プローブ先端も顕微鏡の被写界深度に入り、焦点が合ってきます。焦点が合ってきたら、倍率を 50～60 倍程度とし、さらに Z 軸をゆっくりと下げます。
- ④顕微鏡の倍率を 100 倍以上にし、Z 軸をゆっくりとさらに下げるとプローブ・ヘッド先端が基板に接触します。さらにわずかに Z 軸を下げると（オーバードライブ）、プローブ・ヘッド先端が基板上を滑ります（スケート）。この滑り始める位置が接触した点です。



4.5 平行度の調整

プローブ・ヘッドの平行度の確認及び調整は、コンタクト基板（005-018）を用いて行います（図 4-7）。「4.2.3. プローブのコンタクト方法」に記述された要領で、コンタクト基板の金の部分にプローブ・ヘッドの先端をコンタクトします。接触後、25～50 μ m程度スケートさせてからプローブ・ヘッドを基板から上げます。スケートにより金の部分に傷跡が付きますが（図 4-8）、GS または GSG の

コンタクトの傷跡が均等に付いていれば正常です。いずれかのコンタクトの傷跡が他より強い場合は、そのコンタクトが他より下がっています。平行度調整機構付きポジションナをご使用の場合は、コンタクトの傷跡が均等に付くように平行度調整用マイクロメータを調整して下さい。

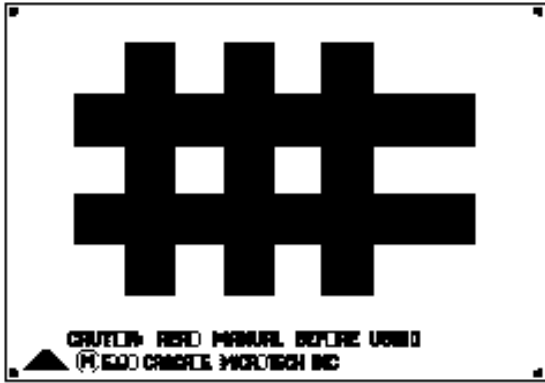


図 4-7 コンタクト基板

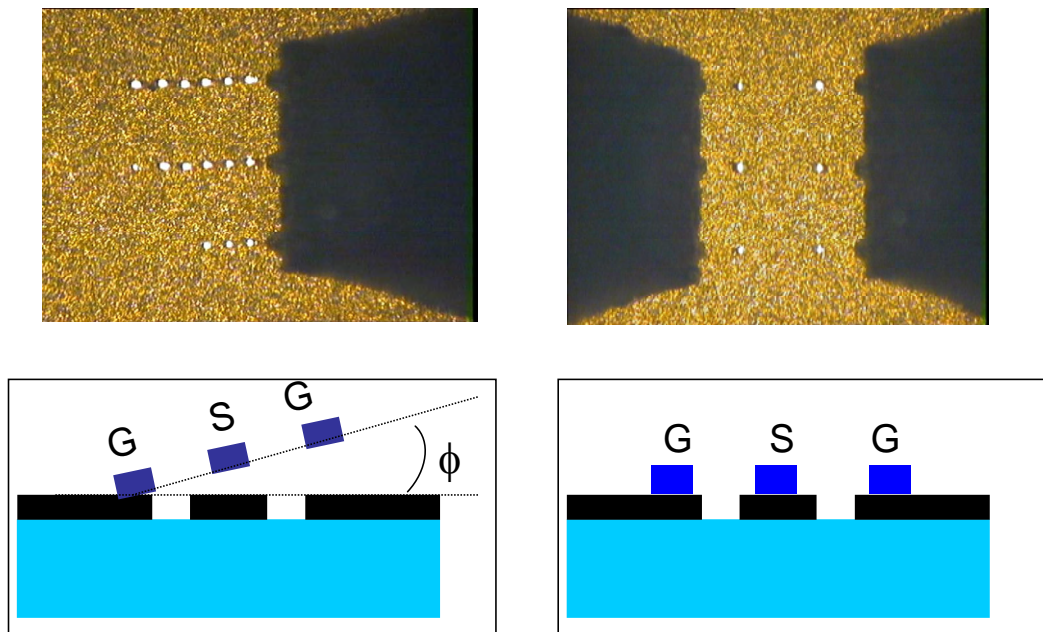


図4-8 プローブの平行度

4.6 マイクロ波同軸ケーブルとその取り扱い

マイクロ波帯で使用される同軸ケーブルには、表 4-2 のような各種の同軸コネクタが付いています。これらの同軸コネクタにより、使用できる上限周波数が決まります。

同軸の直径が小さい程、上限周波数は高くなりますが、機械的強度は弱くなり伝送損失が大きくなるので、不必要に直径が小さい同軸コネクタの使用は避けて下さい。コネクタ同士の接続の際はまっすぐに勘合させ、双方のコネクタが回転しないようにオス・コネクタの外側のネジだけを回します。締め付けトルクを一定にすることも重要なので、適切なトルク・レンチを使用して下さい。これらの同軸コネクタのうち、SMA、3.5mm、2.92mm (K) コネクタは、機械的な接続の互換性があります。2.4mmと 1.85mmの間でも、機械的な接続の互換性があります。しかし、これらの2つのグループ間ではネジのピッチが異なるため、接続の互換性はありません。

同軸コネクタ	上限周波数	適合するプローブ	締め付けトルク
SMA	18GHz	I40/ACP40	5 l b - i n c h
3.5mm	26.5GHz	I40/ACP40	8 l b - i n c h
2.92mm (K)	40GHz	I40/ACP40	8 l b - i n c h
2.4mm	50GHz	I50/ACP50	8 l b - i n c h
1.85mm	67GHz	I67/ACP65	8 l b - i n c h
1.0mm	110GHz	I110/ACP110	4 l b - i n c h

表 4-2. 同軸コネクタ

ネットワーク・アナライザのポートとケーブル、またはプローブ・ヘッドとケーブルのコネクタが異なる場合は、変換アダプタを使用しますが、変換アダプタの使用は測定系の反射特性を劣化させるので、良質の変換アダプタを最小限に使用して下さい。同軸ケーブルは、曲げることによりその特性が変化します。この特性の変化は、ケーブルの種類によっても異なりますので、良質の同軸ケーブルのご使用をお勧めします。校正中または測定中に、ケーブルが動かないように注意する必要がありますが、ケーブルの動きは、ポジションナに付いているケーブル・クランプの使用で最小限に抑えられます。エルボを使用してケーブルの引き出し方向を水平にすると、顕微鏡の視野を妨げたり、対物レンズと接触することが防げます。表 4 はエルボ付きおよびストレートのフレキシブル・ケーブルの例です。

マイクロチャンバー無しのプローブ・ステーション用 RF ケーブル

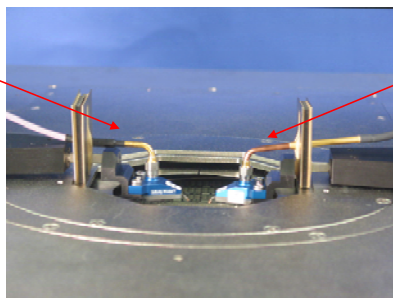
周波数	コネクタ	スタイル	長さ	パーツ番号
40GHz	2.92mm(K))	エルボ付き	48 インチ (約 120cm)	101-162-B
50GHz	2.4mm	エルボ付き	48 インチ (約 120cm)	103-202-B
67GHz	1.85mm	エルボ付き	36 インチ (約 90cm)	124-605-B
40GHz	2.92mm(K))	ストレート	48 インチ (約 120cm)	124-084-B
50GHz	2.4mm	ストレート	48 インチ (約 120cm)	124-085-B
67GHz	1.85mm	ストレート	36 インチ (約 90cm)	124-606-B

マイクロチャンバー付きのプローブ・ステーション用 RF ケーブル

周波数	コネクタ	スタイル	長さ	パーツ番号
40GHz	2.92mm(K))	エルボ付き	48 インチ (約 120cm)	132-420
50GHz	2.4mm	エルボ付き	48 インチ (約 120cm)	132-421
67GHz	1.85mm	エルボ付き	36 インチ (約 90cm)	132-422
40GHz	2.92mm(K))	ストレート	48 インチ (約 120cm)	132-423
50GHz	2.4mm	ストレート	48 インチ (約 120cm)	132-424
67GHz	1.85mm	ストレート	36 インチ (約 90cm)	132-425

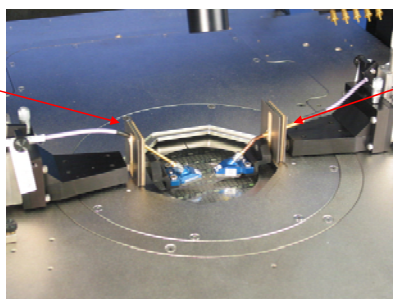
表 4-3.フレキシブル・ケーブル

マイクロチャンバー無しの
プローブ・ステーション用
エルボ付きRFケーブル



マイクロチャンバー付きの
プローブ・ステーション用
エルボ付きRFケーブル

マイクロチャンバー無しの
プローブ・ステーション用
ストレートRFケーブル



マイクロチャンバー付きの
プローブ・ステーション用
ストレートRFケーブル

同軸コネクタの接続の際は、コネクタの接続面が擦れあわないようにコネクタの回転を防ぐ必要があります。そのためには、オープンエンド・レンチを使用します。レンチのサイズは以下のようになっています。



マイクロチャンバー無しのプローブ・ステーション用 RF ケーブル

周波数	コネクタ	スタイル	パーツ番号	レンチ・サイズ
40GHz	2.92mm (K)	エルボ付き	101-162-B	5/16"
50GHz	2.4mm	エルボ付き	103-202-B	7/32"

67GHz	1.85mm	エルボ付き	124-605-B	1/4"
40GHz	2.92mm(K)	ストレート	124-084-B	5/16"
50GHz	2.4mm	ストレート	124-085-B	7/32"
67GHz	1.85mm	ストレート	124-606-B	1/4"

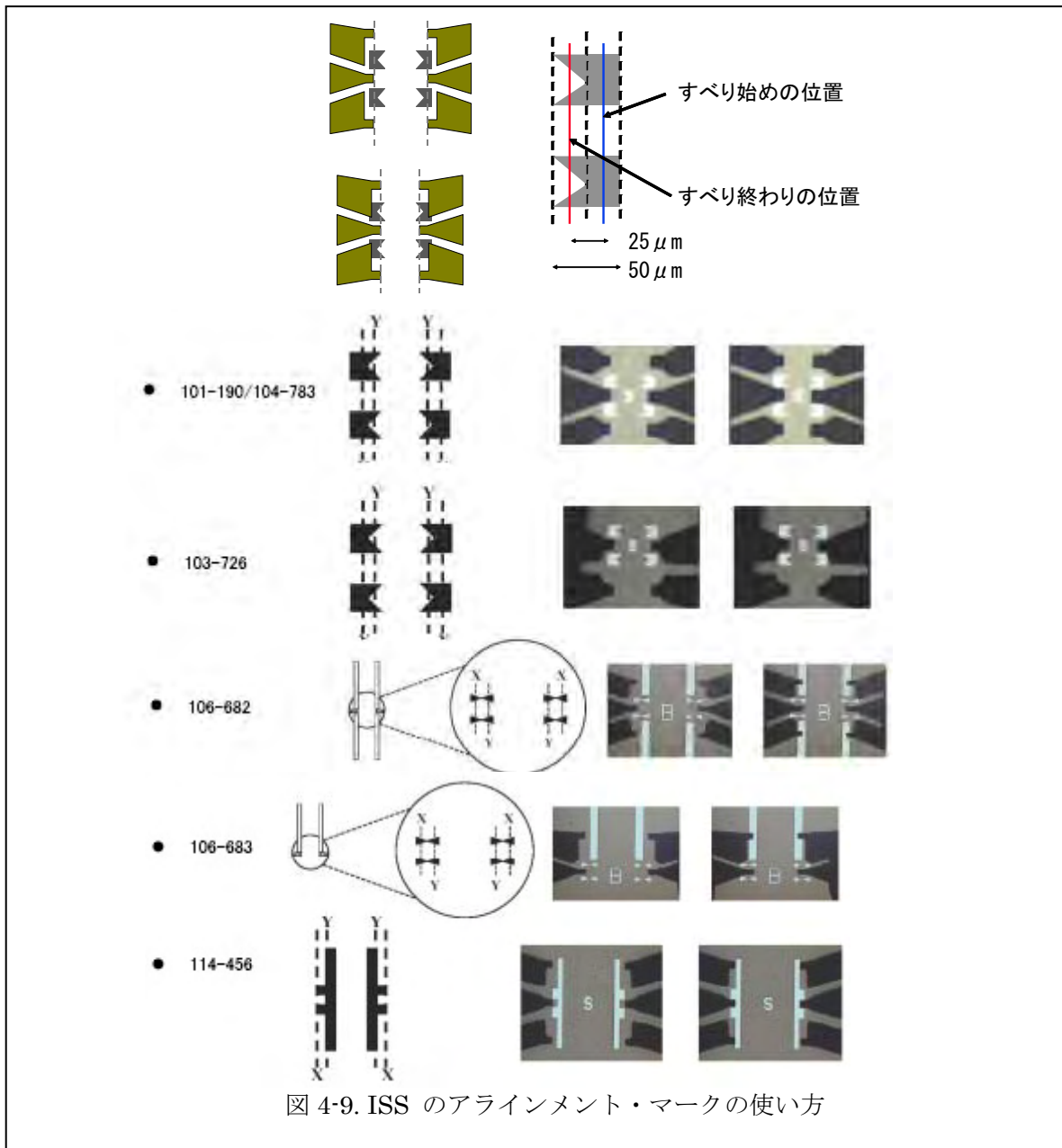
マイクロチャンバー付きのプロープ・ステーション用 RF ケーブル

周波数	コネクタ	スタイル	パーツ番号	レンチ・サイズ
40GHz	2.92mm(K)	エルボ付き	132-420	5/16"
50GHz	2.4mm	エルボ付き	132-421	7/32"
67GHz	1.85mm	エルボ付き	132-422	1/4"
40GHz	2.92mm(K)	ストレート	132-423	5/16"
50GHz	2.4mm	ストレート	132-424	7/32"
67GHz	1.85mm	ストレート	132-425	1/4"

4.7 プロープのオーバードライブとスケート量の調整

プローブのオーバードライブ量が正しくないと、正確なネットワーク・アナライザの校正は不可能なため、オーバードライブ量の調整は重要です。オーバードライブとスケート量の調整は、ISS 中央やや右側にあるアラインメント・マークで行います。このアラインメント・マークの幅は、校正に使用するエレメントの패드幅と同一で、左右の間隔も同じです。

ACP/FPC プロープを使用する場合、アラインメント・マークの平らな部分と切れ込みの先端の真中からプローブ先端がすべり始め、切れ込みの先端と反対側の先端の真中で止まるように、スケートする量を調整して下さい（図 4-9）。標準ピッチ（250 μ m 以下）の場合、これで約 25 μ m のスケート量が実現されます。同時に、左右のプローブを正しい間隔に調整することも実現されます。校正を行う際は、このプローブ間隔とオーバードライブ量を維持したまま、ISS を移動させて行って下さい。



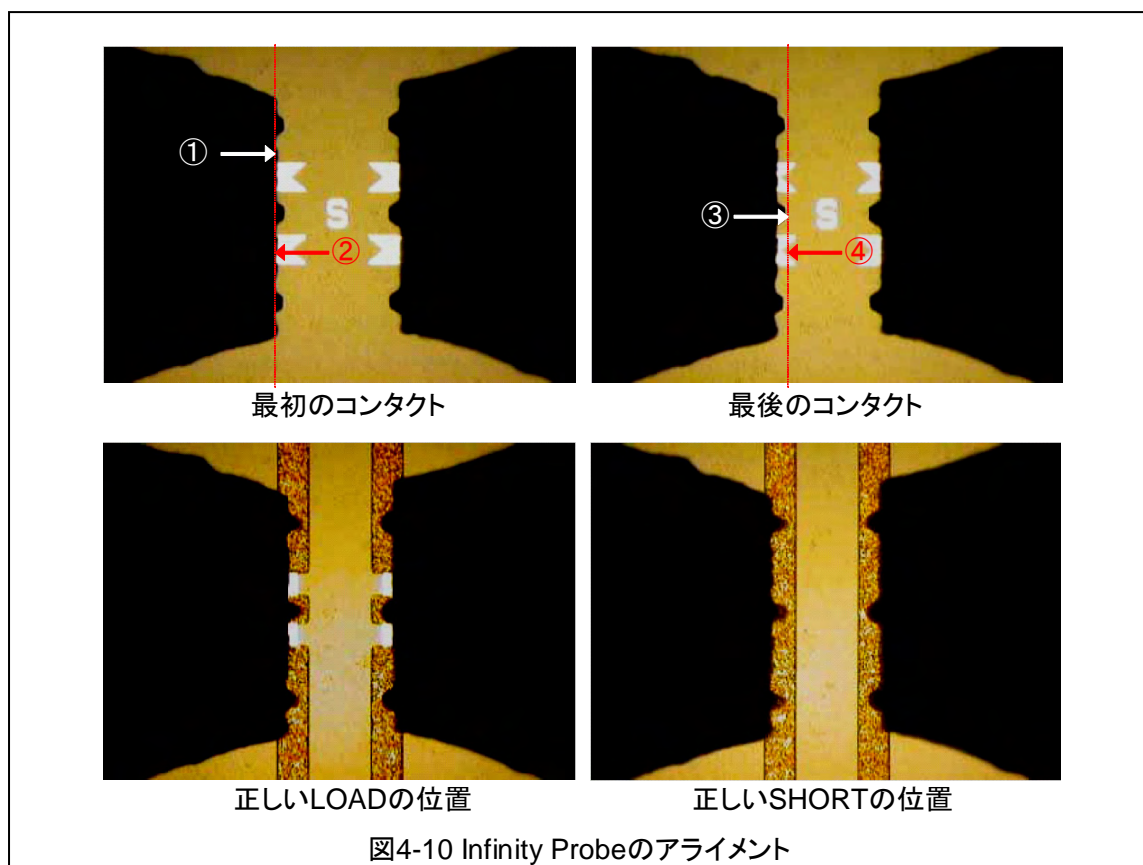
Infinity Probe を使用する場合は、以下の手順でアライメントおこないます（101-190 LRM 用 ISS 使用）。

1. 最初のコンタクト（すべり始めの位置）

オーバードライブをかけずに、プローブ・チップ基盤の先端(①)をアライメント・マークの外側のふち(②)と合わせる。

2. 最後のコンタクト

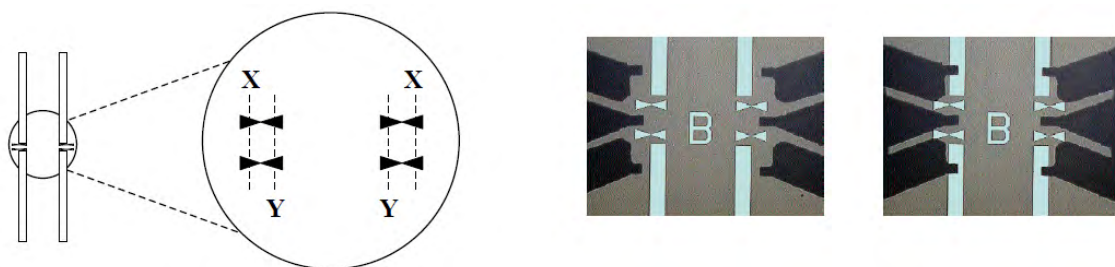
プローブ・チップの先端(③)がアライメント・マークの切れ込み部分(④)へ届くまでオーバードライブをかける。



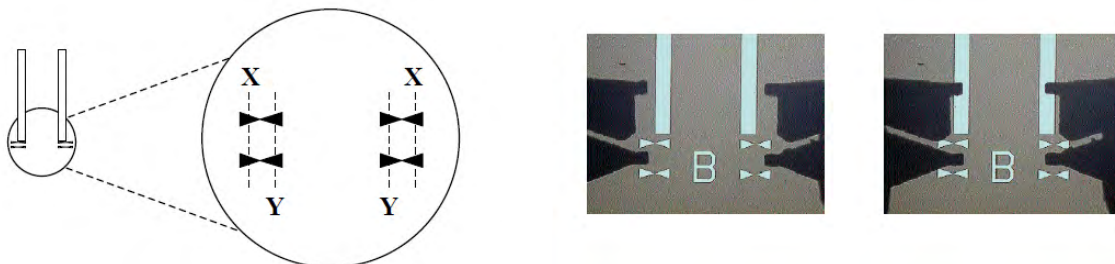
ワイドピッチ用 ISS (106-682&106-683) のアラインメント・マークの使い方について

カスケード・マイクロテック社のインピーダンス基準基板 (ISS) には、プローブの間隔とすべり量を最適にするためのアラインメント・マークが付いています。その使い方については ISS マップに記載されていますが、さらに詳しい内容を解説します。

ISS マップには以下のような図と写真が掲載され、アラインメント・マークの使い方が解説されています。



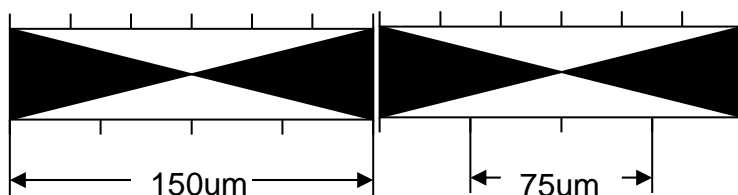
106-682 (ワイドピッチ GSG) のアラインメント・マークと使い方



106-683 (ワイドピッチ GS/SG) のアラインメント・マークと使い方

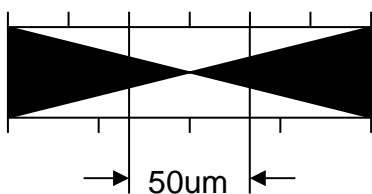
アラインメント・マークは全体で 150um ありますので、上記の調整方法だと 75um ずべる (スケートする) ことになります。

75um のスケートで使用するようにしてください。

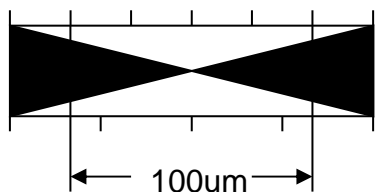


この 75um のスケートについて、もう少し詳しく解説します。

ワイドピッチ (250um を超えるもの) のプローブの場合、最低どの程度のスケートが必要かと言うと、50um となります。



もう一つ考慮しなければならないのは、安全なスケートの最大値です。ACP の場合、最大安全オーバードライブは 250um ですので、最大安全スケートは 100um となります。(オーバードライブ : スケート = 2.5 : 1)



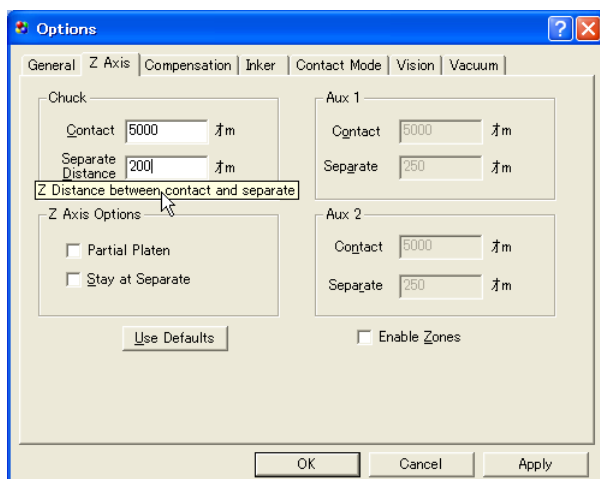
実は 75um のスケートは、これら 2 つの中間の値となっています。

75um のスケートで使用するようになっています。

またチャックが上下するセミオートのプローブステーションを使用している場合は、セパレートの距離にも注意する必要があります。

75um スケートした場合、オーバードライブは 187.5um ($75 \times 2.5 = 187.5$) となります。

デフォルトのセパレート距離は 200um なので、このままの設定ではセパレートしてもプローブがウェーハに接触している可能性がありますので、十分なセパレート距離を設定する必要があります。セミオートのプローブステーションを使用する際には、十分に注意してください。



5 キャリブレーション・キットの入力設定

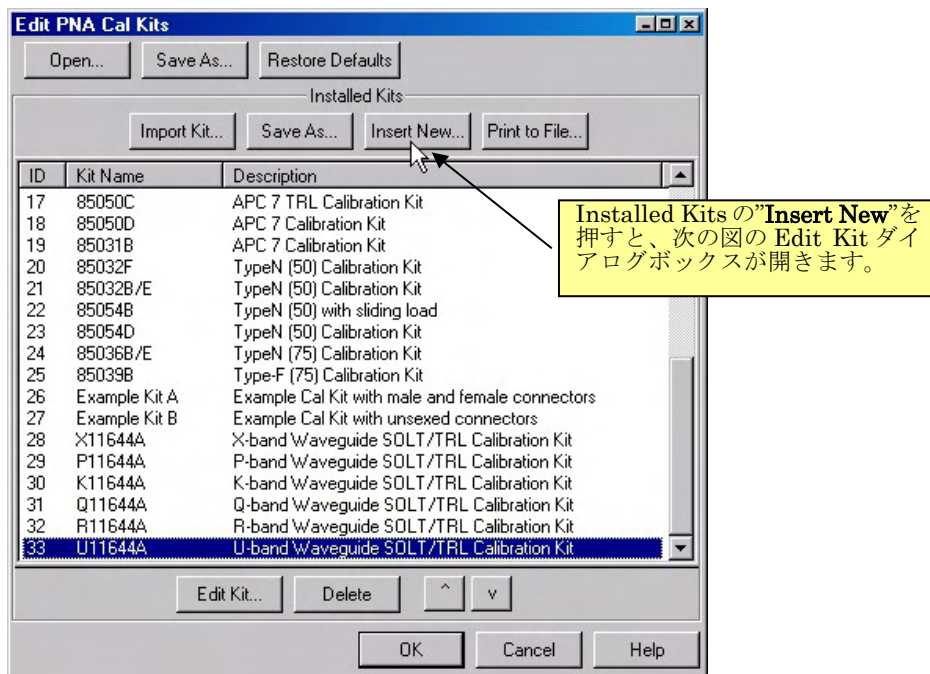
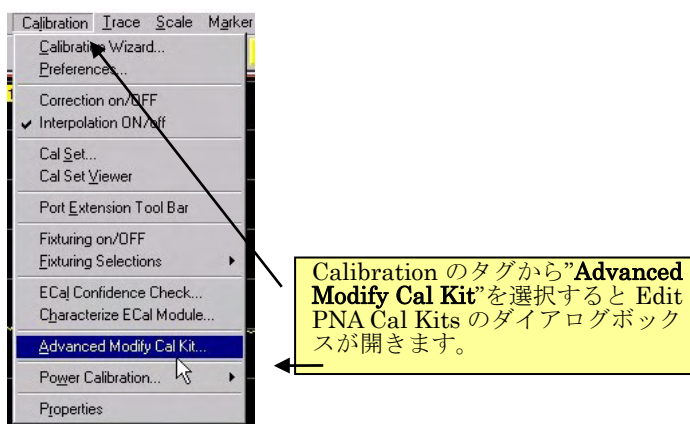
この章では「キャリブレーション・キット」で紹介したキャリブレーションエレメントの特性をネットワーク・アナライザに入力する手順を紹介します。

5.1 SOLT の場合

5.1.1 Agilent PNA(Version A.06.04.32)シリーズ での SOLT CAL KIT の入力手順

入力画面と設定

キャリブレーション・キットを作成する画面を開きます。



キャリブレーション・キットの名前などを設定し、入力します。

Kit Name (例: Infinity-GSG-150)
Kit Description (例: Ixx-GSG-150 on ISS 101-190) を入力します。

Kit Number は、**Insert New** を押した時に「カーソルが当たっていたキットの番号+1」が自動的に入ります。

Connectors の **Add** ボタンを押します。

Connector Family に名前 (例:CMI Probe) を入力します。

Frequency Range を **Min.0MH z**、**Max.999000 MH z** に設定します。

Gender は **No Gender** を選択します。

Impedance は **Z0 50Ω** に設定。Media は **COAX** を選択します。

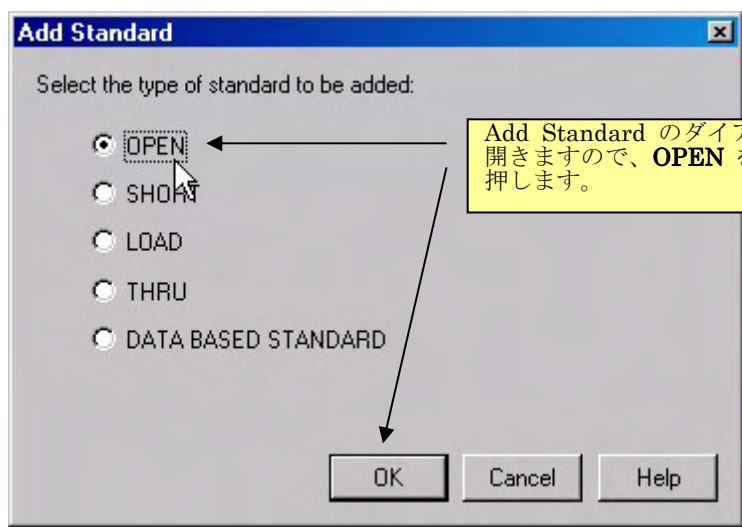
Apply を押して **Error Message** が表示されなければ **OK** を押して終了します。

スタンダードを入力する画面へ移ります。

Add ボタンを押して **Standard** を追加します。

スタンダード入力

まず、Port1 の OPEN を定義します。



Add Standard

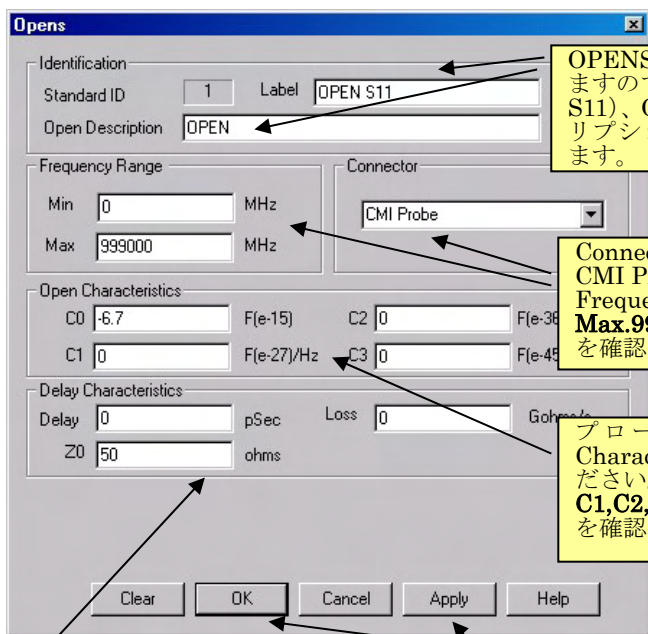
Select the type of standard to be added:

- OPEN
- SHORT
- LOAD
- THRU
- DATA BASED STANDARD

OK Cancel Help

Annotations:

- Add Standard のダイアログボックスが開きますので、**OPEN** を選択し、**OK** を押します。



Opens

Identification

Standard ID: 1 Label: OPEN S11

Open Description: OPEN

Frequency Range

Min: 0 MHz Max: 999000 MHz

Connector: CMI Probe

Open Characteristics

C0: 6.7 F(e-15) C2: 0 F(e-38)

C1: 0 F(e-27)/Hz C3: 0 F(e-45)

Delay Characteristics

Delay: 0 pSec Loss: 0 Gohm/s

Z0: 50 ohms

Clear OK Cancel Apply Help

Annotations:

- Opens のダイアログボックスが開きますので、Label に名前 (例: OPEN S11)、Open Description にディスクリプション (例: OPEN) を入力します。
- Connector が前に入力した名前 (例: CMI Probe) になっていること、Frequency Range が **Min.0MHz**、**Max.999000MHz** となっていることを確認してください。
- プローブの **Copen** の値を Open Characteristics の **C0** に入力してください。**C1,C2,C3** は全て **0** となっていることを確認してください。
- Delay Characteristics の **Delay** は **0pSec**、**Loss** は **0 Gohm/s**、**Z0** は **50ohm** です。
- Apply** を押して Error Message が出なければ **OK** を押してください。

同様の手順で Port1 の SHORT、LOAD、THRU を定義していきます。

SHORT を定義します。

The screenshot shows the 'SHORTS' dialog box with the following fields and values:

- Standard ID: 2, Label: SHORT S11, Short Description: SHORT
- Frequency Range: Min: 0 MHz, Max: 999000 MHz
- Connector: CMI Probe
- Short Characteristics: L0: 8.2 H(e-12), L1: 0 H(e-24)/Hz, L2: 0 H(e-33)/Hz^2, L3: 0 H(e-42)/Hz^3
- Delay Characteristics: Delay: 0 pSec, Loss: 0 Gohms/s, Z0: 50 ohms

Annotations (yellow boxes):

- SHORTS のダイアログボックスを開き、Label に名前 (例: SHORT S11)、SHORT Description にディスクリプション (例: SHORT) を入力します。
- Connector が前に入力した名前 (例: CMI Probe) になっていること、Frequency Range が **Min.0MHz**、**Max.999000MHz** となっていることを確認してください。
- プローブの **Lshort** の値を Short Characteristics の **Lo** に入力してください。L1,L2,L3 は全て **0** となっていることを確認してください。
- Delay Characteristics の **Delay** は **0pSec**、**Loss** は **0 Gohm/s**、**Z0** は **50ohm** です。
- Apply** を押して Error Message が出なければ **OK** を押してください。

LOAD を定義します。

The screenshot shows the 'LOADS' dialog box with the following fields and values:

- Standard ID: 3, Label: LOAD S11, Load Description: LOAD
- Frequency Range: Min: 0 MHz, Max: 999000 MHz
- Connector: CMI Probe
- Load Type: Fixed Load (selected), Arbitrary Impedance, Sliding Load, Offset Load
- Complex Impedance: Real: 50, Imag: 0
- Delay Characteristics: Delay: 0.0074 pSec, Loss: 0 Gohms/s, Z0: 500 ohms
- Offset Load Definition: First Offset Standard, Second Offset Standard, Load Standard: OPEN S11

Annotations (yellow boxes):

- LOADS のダイアログボックスを開き、Label に名前 (例: LOAD S11)、LOAD Description にディスクリプション (例: LOAD) を入力します。
- Connector が前に入力した名前 (例: CMI Probe) になっていること、Frequency Range が **Min.0MHz**、**Max.999000MHz** となっていることを確認してください。
- Load Type は **Fixed Load** を選択します
- ここではプローブの **Lterm** を入力しますが、OPEN や SHORT のように直接入力することができませんので Delay を使って入力します。「 $L = \text{Delay} \times \text{Offset } Z0$ 」でインダクタンスを表すことができますので、Delay Characteristics の **Z0** を **500ohm** に設定し、Delay に **Lterm ÷ 500** で得られる値を入力します。
- Loss** は **0Gohm/s** となっていることを確認してください。
- Apply** を押して Error Message が出なければ **OK** を押してください。

THRU を定義します。

The screenshot shows the 'Thru/Line/Adapter' dialog box with the following fields and values:

- Identification: Standard ID: 4, Label: THRU, Thru Description: THRU
- Frequency Range: Min: 0 MHz, Max: 999000 MHz
- Delay Characteristics: Delay: 1 pSec, Loss: 0 Gohms/s, Z0: 50 ohms
- Connectors: Port: CMI Probe, Port: CMI Probe

Callouts provide the following instructions:

- THRU のダイアログボックスが開きますので、Label に名前 (例: THRU)、Thru Description にディスクリプション (例: THRU) を入力します。
- Frequency Range が **Min.0MHz**、**Max.999000MHz** となっていることを確認してください。
- THRU の長さは使用する ISS により異なりますので、ISS に付属する **ISS Map** に記入されている値を Delay Characteristics の **Delay** に入力してください。(例: 101-190 では 1ps) **Loss** は **0Gohm/s**、**Z0** は **50ohm** となっていることを確認してください。
- Connectors** は、両方 CMI Probe です。
- Apply** を押して Error Message が出なければ **OK** を押してください。

同様の手順で Port 2 側の OPEN、SHORT、LOAD の定義を入力してください。

クラスアサイン

SOLT キャリブレーションを選択します。

The screenshot shows the 'Edit Kit' dialog box with the following fields and values:

- Identification: Kit Number: 34, Kit Name: Infinity-GSG-150, Kit Description: Ixx-GSG-150 on ISS 101-190
- Connectors: Description: CMI Probe, Family: CMI Probe
- Class Assignments: SOLT

A callout provides the following instruction:

- 全ての Standard を入力するとこのような画面となります。Class のアサインをするため Class Assignments で **SOLT** を選択し、**Edit** ボタンを押します。

ID	Standard	Description
1	OPEN S11	OPEN
5	OPEN S22	OPEN
2	SHORT S11	SHORT
6	SHORT S22	SHORT
3	LOAD S11	LOAD
7	LOAD S22	LOAD
4	THRU	THRU

先に入力したスタンダードをアサインしていきます。

Calibration Kit Class
 S11A S22A FWD TRANS REV TRANS
 S11B S22B FWD MATCH REV MATCH
 S11C S22C ISOLATION

Link FWD TRANS, FWD MATCH, REV TRANS, and REV_MATCH

Expanded Calibration (applies to reflection classes)
 Measure all mateable standards in class
 Use expanded math when possible

Unselected Standards

ID	Label	Description
2	SHORT S11	SHORT
3	LOAD S11	LOAD
4	THRU	THRU
5	OPEN S22	OPEN
6	SHORT S22	SHORT
7	LOAD S22	LOAD

Selected Standards

ID	Label	Description
1	OPEN S11	OPEN

Calibration Class Label
 S11A Open

The order of the selected standards is used to determine which standard is used when multiple standards are valid at a given frequency. Standards listed first have priority.

Link FWD TRANS, FWD MATCH, REV TRANS, and REV MATCH lists にチェックをします。(アサインするクラスの数が少なくなります。)

Calibration Kit Class
 S11A S22A FWD TRANS REV TRANS
 S11B S22B FWD MATCH REV MATCH
 S11C S22C ISOLATION

Link FWD TRANS, FWD MATCH, REV TRANS, and REV_MATCH

Expanded Calibration (applies to reflection classes)
 Measure all mateable standards in class
 Use expanded math when possible

Unselected Standards

ID	Label	Description
3	LOAD S11	LOAD
4	THRU	THRU
5	OPEN S22	OPEN
6	SHORT S22	SHORT
7	LOAD S22	LOAD

Selected Standards

ID	Label	Description
1	OPEN S11	OPEN
2	SHORT S11	SHORT

Calibration Class Label
 S11B Short

The order of the selected standards is used to determine which standard is used when multiple standards are valid at a given frequency. Standards listed first have priority.

Calibration Kit Class を選択し、Selected Standards に必要な Standard を << または >> のボタンを押すことで移動させてクラスのアサインを行います。

各 Class のラベルを入力します。

Calibration Kit Class
 S11A S22A FWD TRANS REV TRANS
 S11B S22B FWD MATCH REV MATCH
 S11C S22C ISOLATION

Link FWD TRANS, FWD MATCH, REV TRANS, and REV_MATCH

Expanded Calibration (applies to reflection classes)
 Measure all mateable standards in class
 Use expanded math when possible

Unselected Standards

ID	Label	Description
4	THRU	THRU
5	OPEN S22	OPEN
6	SHORT S22	SHORT
7	LOAD S22	LOAD

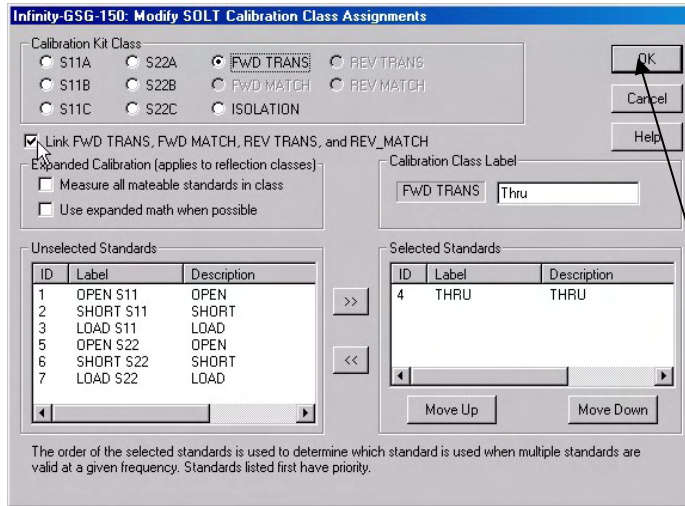
Selected Standards

ID	Label	Description
1	OPEN S11	OPEN
2	SHORT S11	SHORT
3	LOAD S11	LOAD

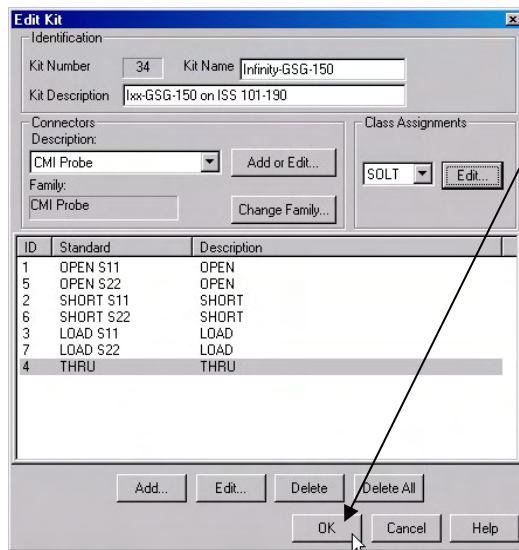
Calibration Class Label
 S11C Load

The order of the selected standards is used to determine which standard is used when multiple standards are valid at a given frequency. Standards listed first have priority.

S11A, S11B, S11C には Port1 の OPEN, SHORT, LOAD をアサインします。S22A, S22B, S22C には Port2 の OPEN, SHORT, LOAD をアサインします。

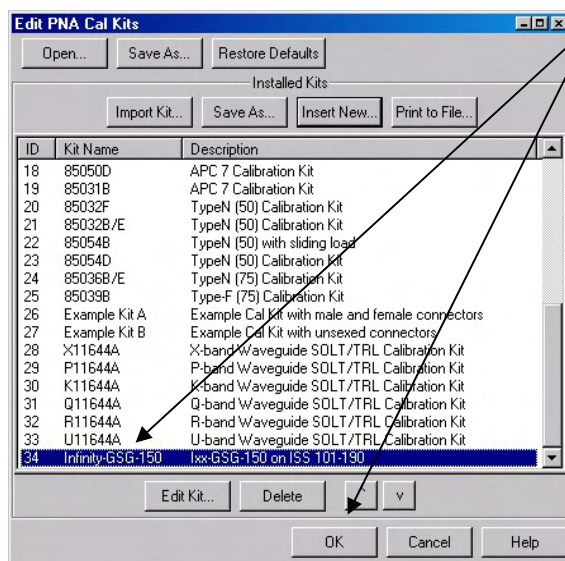


FWD TRANSにはTHRUをアサインし、ISOLATIONには何もアサインしません。全てのクラスをアサインしたら、OKを押して終了します。



Edit Kitに戻るので、OKを押して終了します。

作成したキャリブレーション・キットを確認します。



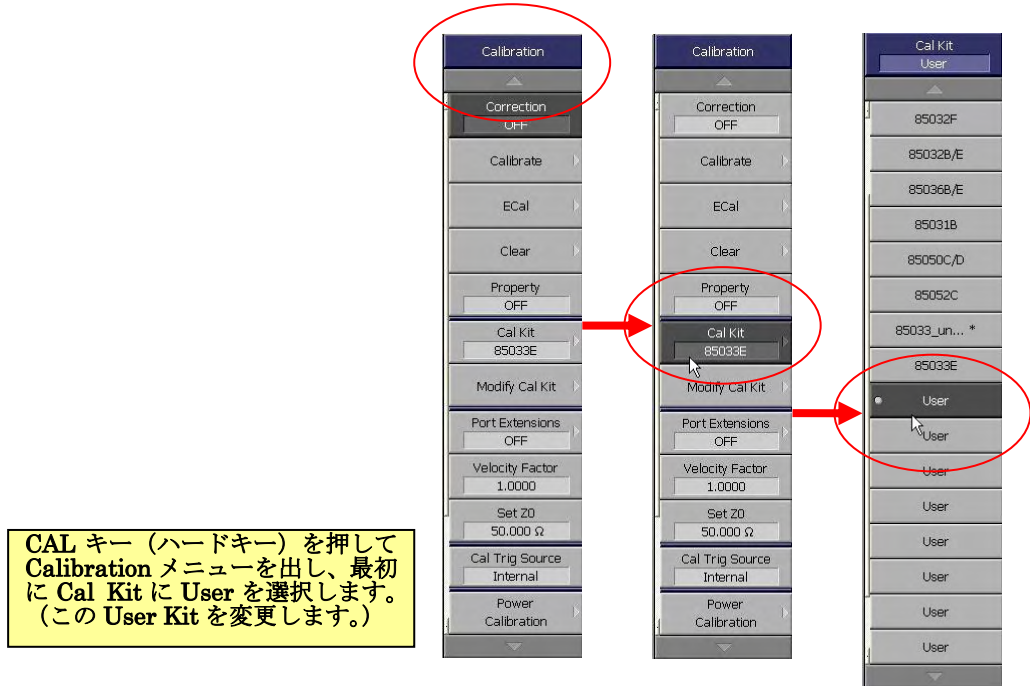
作成した Kit があることを確認し、OKを押して終了します。

これで SOLT CAL KIT の入力は終了です。

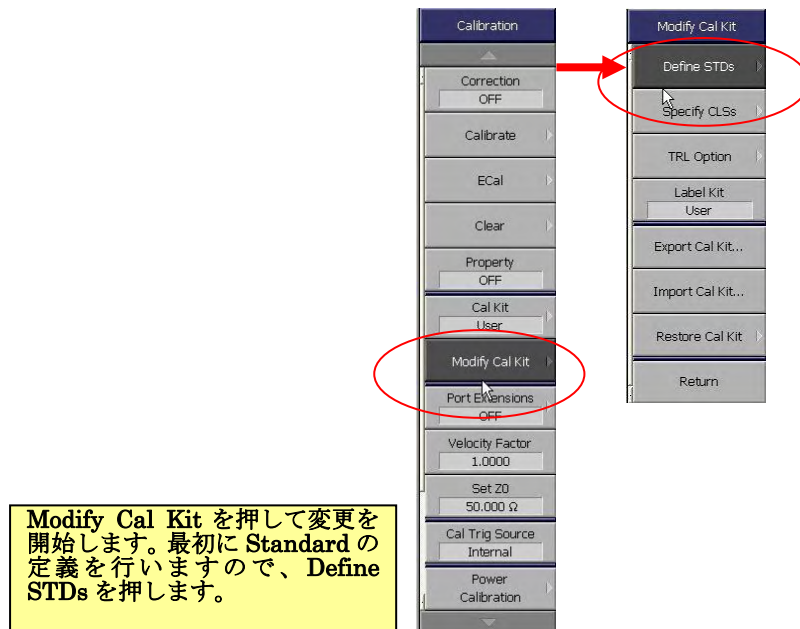
5.1.2. Agilent ENA(Version A.08.10)シリーズ での SOLT CAL KIT の入力手順

入力画面と設定

ユーザーを選びます。

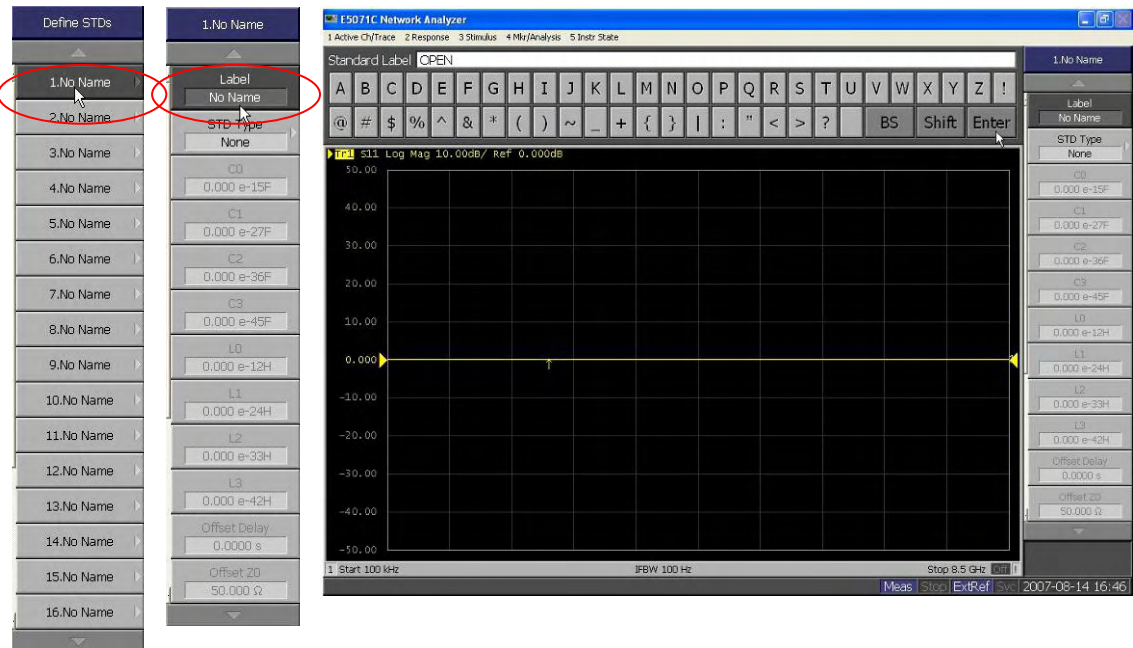


スタンダードを入力する画面へ移ります。



スタンダード入力

まず、Port1 の OPEN を定義します。



1 番の STD を選択し、Label に OPEN と入力します。

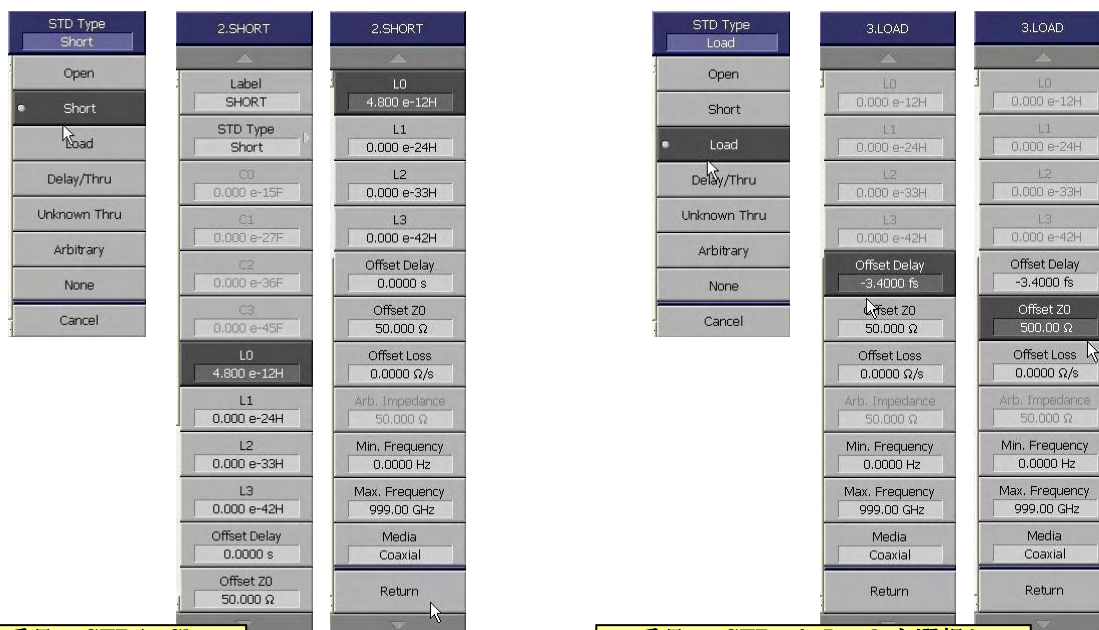
STD Type で Open を選択し、C0 に Copen の値を入力します。

C1,C2,C3 は「0」、
Offset Delay は「0」、
Offset Z0 は「50 Ω」、
Offset Loss は「0」、
Min. Frequency は「0 Hz」、
Max. Frequency は「99.9 GHz」
です。
(C0 以外は初期値です。)

Return を押して、戻ります。



同様の手順で Port1 の SHORT、LOAD、THRU、Port2 の OPEN、SHORT、LOAD を定義していきます。



2番目のSTDにShortを選択し、L0にLshortの値を入力します。

3番目のSTDはLoadを選択し、Offset DelayとOffset Z0を利用してLtermの値を入力します。Offset Z0には「500Ω」を入力し、Offset Delayには、以下の式で得られる値を入力します。
 $Offset\ Delay = Lterm \div 500$



4番目のSTDはDelay/Thruを選択し、Offset Delayには使用するISSのThruの電気長(ピッチ250um以下のプローブ用ISSの場合は、通常「1ps」)を入力します。

同様に5番目はOpen、6番目はShort、7番目はLoadを定義します。(ポート2側のSTDの定義)

全てのSTD(1~7番)の定義が終了したらReturnで戻ります。

クラスアサイン

先に入力したスタンダードをアサインしていきます。まず、OPEN のスタンダードを Port1、Port2 についてアサインします。

Specify Class で Class を設定します。(Sub Class は 1 のみを使用します。)

Open → Port 1 → 1 . OPEN でポート 1 の Open に STD の 1 番の Open を指定します。

同様にポート 2 の Open に STD の 5 番の Open を指定します。

同様に、SHORT、LOAD、THRU をアサインしていきます。

ポート 1 の Short に STD 2 番、ポート 2 の Short に STD 6 番の Short、

ポート 1 の Load に STD 3 番、ポート 2 の Load に STD 7 番の Load、

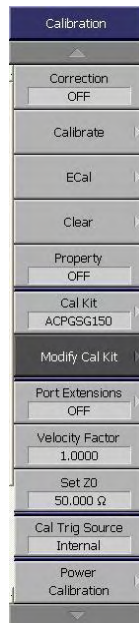
Port 1-2 Thru に STD 4 番の Thru を指定します。

Return を押して、戻ります。

作成したキャリブレーション・キットに名前をつけます。



Label Kit で、この Cal Kit
に名前を付けます。
Return で Modify Cal Kit
を終了します。



これで SOLT CAL KIT の入力は終了です。

5.2 LRM の場合

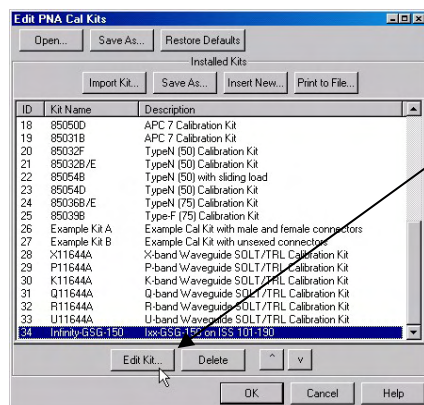
LRM 校正は、内部受信機が 4 つある（4 サンプラー）ネットワーク・アナライザで可能な校正方です。SOLT 校正では、C-open、L-short、L-term の値を定義しましたが、これらの入力した値と実際の校正基準が持つ値が違くと誤差が生じます。LRM 校正は、校正の計算式に内在する冗長性を利用し、C-open と L-short の値を使用せずに校正を解く方法です。オープンまたはショート、ロードとスルーの 3 つの基準を測定するだけで校正を行うことができます。

ただし、反射基準（オープンまたはショート）は、反射が十分大きく、2 つのポートで反射係数が等しくなければなりません。このため、LRM 校正を行うことができるプローブ・ヘッドは、GSG 構成でコンタクト・ピッチが両ポートで同一のものに限定されます。

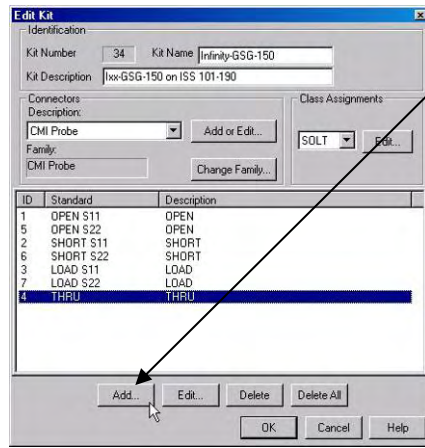
5.2.1 Agilent PNA(Version A.06.04.32)シリーズ LRM CAL KIT 入力手順

入力画面と設定

キャリブレーション・キットを編集する画面を開きます。



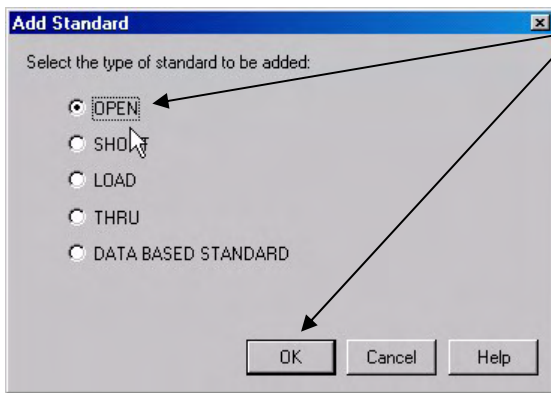
スタンダードを入力する画面へ移ります。



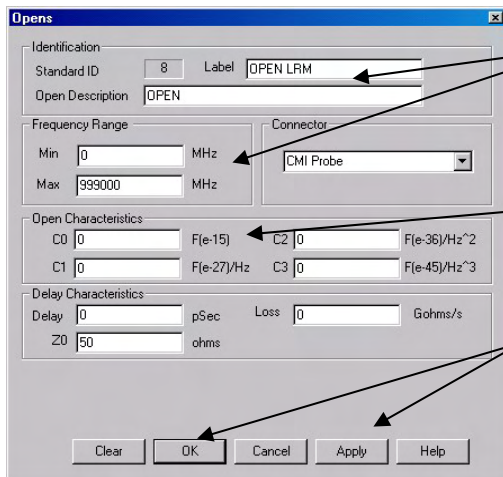
SOLTでの Cal Kit と同様に **Add** ボタンを押して、LRM 用の Standards を追加します。LRM では Port1 と Port2 が対称であることが条件ですので、設定は各 Standard ひとつとなります。

スタンダード入力

まず、Open を定義します。



OPEN を選択し、**OK** を押します。



Open Description にディスクリプション (例: OPEN LRM) を入力し、Connector が前に入力した名前 (例: CMI Probe) になっていること、Frequency Range が **Min.0MHz, Max.999000MHz** となっていることを確認してください。

LRM 用の Cal Kit ですので Open Characteristics の **C0** は **0** のままとします。**C1, C2, C3** は全て **0** となっていることを確認してください。Delay Characteristics の **Delay** は **0pSec**、**Loss** は **0 Gohm/s**、**Z0** は **50ohm** です。

Apply を押して Error Message が出なければ **OK** を押してください。

OPEN と同様に SHORT を定義します。

SHORT Description にディスクリプション (例: SHORT LRM) を入力し、Connector が前に入力した名前 (例: Probe) になっていること、Frequency Range が **Min.0MHz**、**Max.999000MHz** となっていることを確認してください。

LRM 用の Cal Kit ですので Short Characteristics の **L0** は **0** のままとします。**L1,L2,L3** は全て **0** となっていることを確認してください。Delay Characteristics の **Delay** は **0pSec**、**Loss** は **0 Gohm/s**、**Z0** は **50ohm** です。

Apply を押して Error Message が出なければ **OK** を押してください。

LOAD を定義します。

LOAD Description にディスクリプション (例: LOAD) を入力し、Connector が前に入力した名前 (例: CMI Probe) になっていること、Frequency Range が **Min.0MHz**、**Max.999000MHz** となっていることを確認してください。

Load Type は **Fixed Load** を選択します。

ここではプローブの **Lterm** を入力しますが、OPEN や SHORT のように直接入力することができませんので Delay を使って入力します。「 $L = \text{Delay} \times \text{Offset } Z0$ 」でインダクタンスを表すことができますので、Delay Characteristics の **Z0** を **500ohm** に設定し、Delay に **Lterm ÷ 500** で得られる値を入力します。

Loss は **0Gohm/s** となっていることを確認してください。

Apply を押して Error Message が出なければ **OK** を押してください。

THRU を定義します。

Thru/Line/Adapter

Identification
Standard ID: 11 Label: THRU LRM
Thru Description: THRU

Frequency Range
Min: 0 MHz
Max: 999000 MHz

Delay Characteristics
Delay: 1 pSec Loss: 0 Gohms/s
ZO: 50 ohms

Connectors
Port: CMI Probe Port: CMI Probe

Clear OK Cancel Apply Help

THRU Description にディスクリプション (例: THRU) を入力し、左右の Port の Connector がそれぞれ前に入力した名前 (例: CMI Probe) になっていること、Frequency Range が **Min.0MHz**、**Max.999000MHz** となっていることを確認してください。

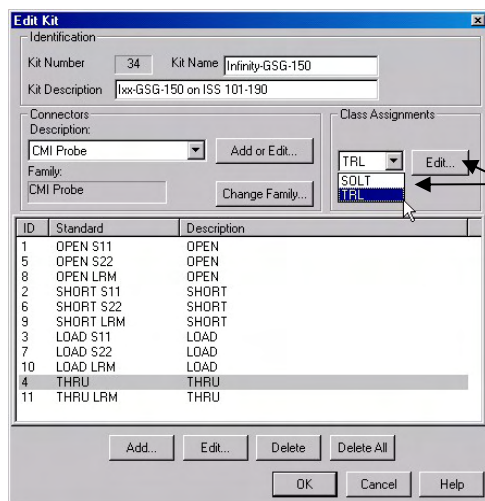
THRU の長さは使用する ISS により異なりますので、ISS に付属する **ISS Map** に記入されている値を Delay Characteristics の **Dealy** に入力してください。(例: 101-190 では 1ps)

Loss は **0Gohm/s**、**Z0** は **50ohm** となっていることを確認してください。

Apply を押して Error Message が出なければ **OK** を押してください。

クラスアサイン

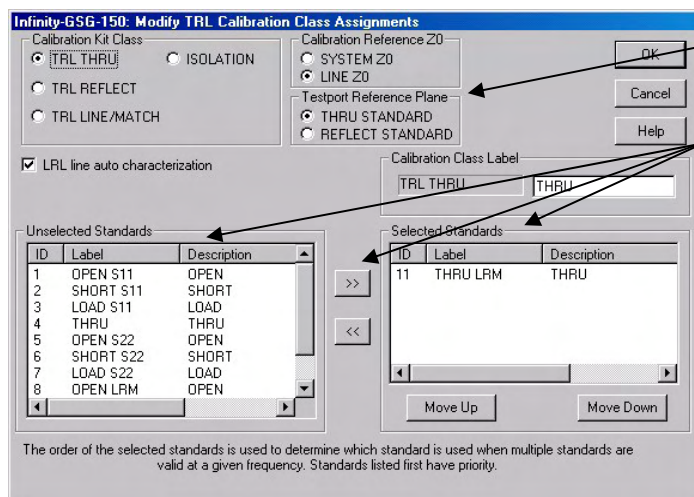
TRL キャリブレーションを選択します。



全ての Standard を入力するとこのような画面となります。

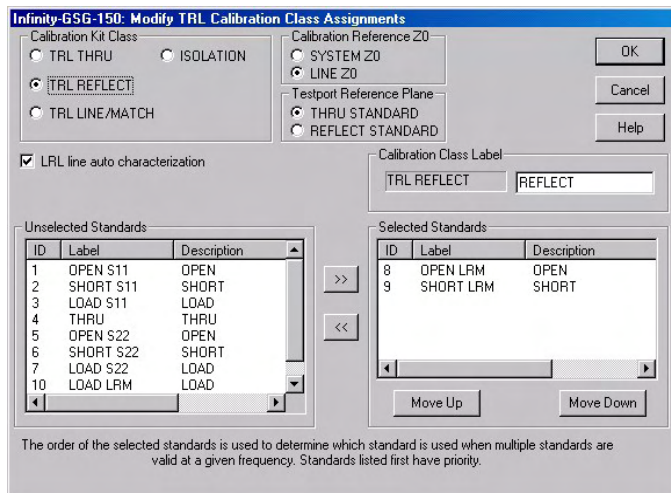
Class のアサインをするため Class Assignments で **TRL** を選択し、**Edit** ボタンを押します。

先に入力したスタンダードをアサインしていきます。

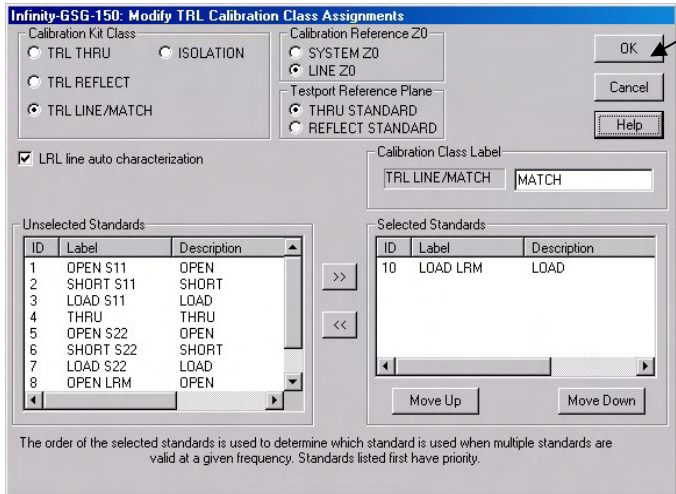


Calibration Reference Z0 は、**LINE Z0** を、Testport Reference Plane は、**THRU STANDARD** を選択します。

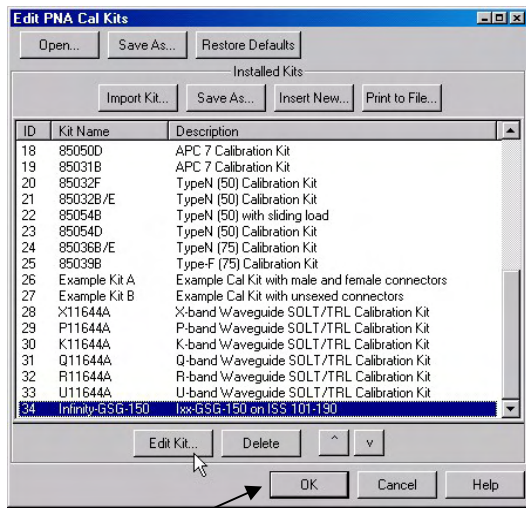
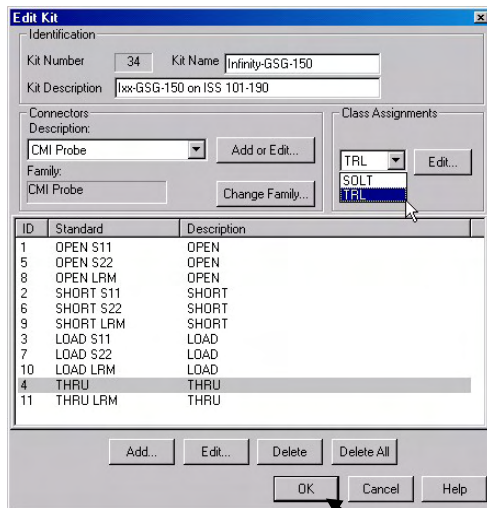
SOLT の場合と同様に、**Unselected Standards** と **Selected Standards** で必要な Standard を選択し、>> または << のボタンを押すことで移動させてクラスのアサインを行います。



TRL THRU には、先程定義した **THRU** を、**TRL REFLECT** には、先程定義した **OPEN** と **SHORT** を、**TRL LINE/MATCH** には、先程定義した **LOAD** をアサインします。**ISOLATION** には、何もアサインしません。



全てのクラスをアサインしたら、OK を押して終了します。



それぞれのウィンドウで OK を押して終了します。

これで LRM CAL KIT の入力は終了です。

6 オン・ウェーハ校正の実際

6.1 プロブのコンタクトと裸特性

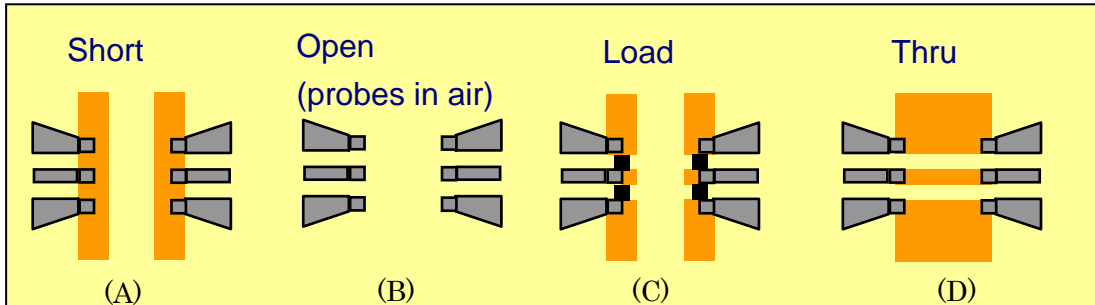


図 6-1 コンタクト

まず、4-4 章の「プローブ・ヘッドのオーバードライブとスケート量の調整」にあるように、ISS のアラインメント・マークを使って、プローブ・ヘッドの間隔とオーバードライブ量を正しくセットします。校正は、プローブ・ヘッドは固定し ISS を移動させながら行います。

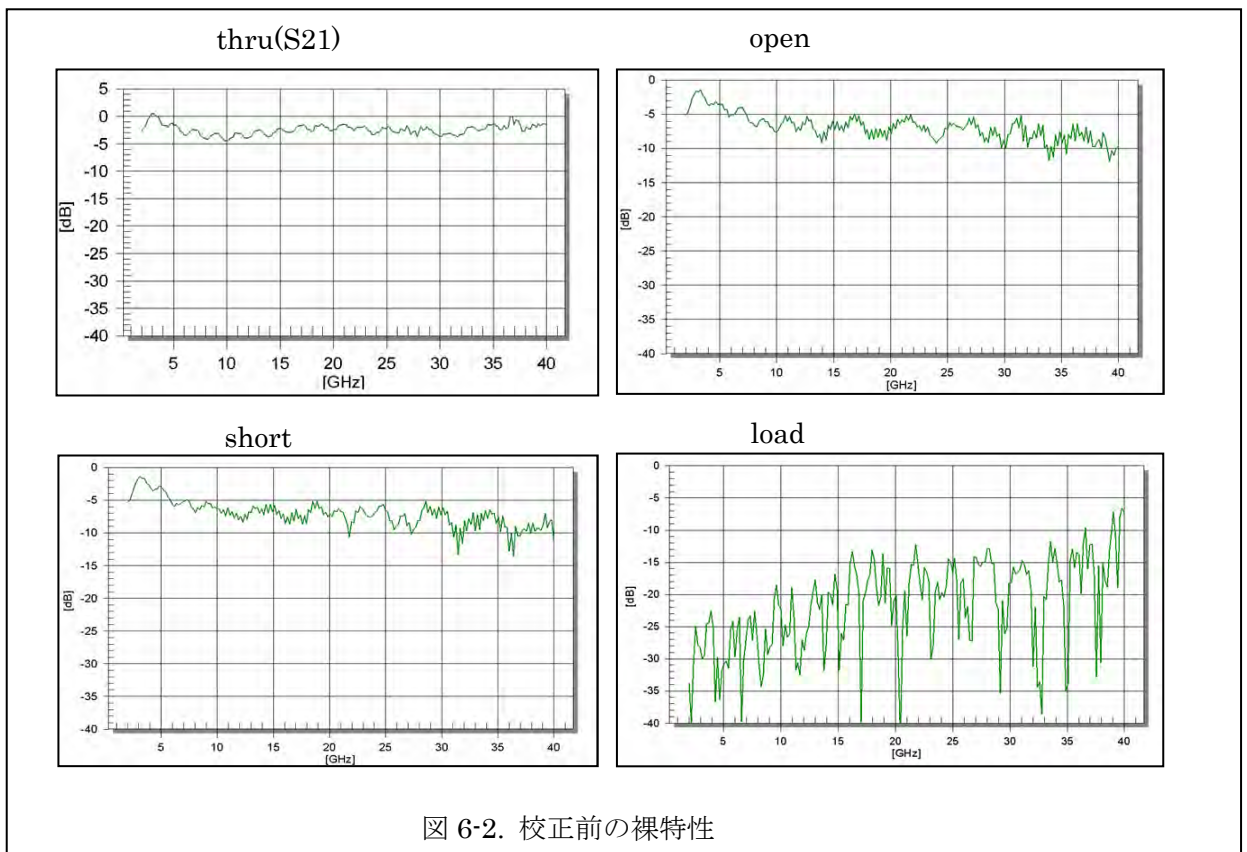


図 6-2. 校正前の裸特性

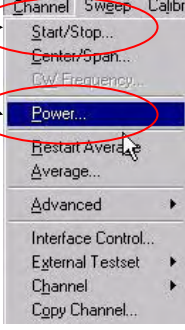
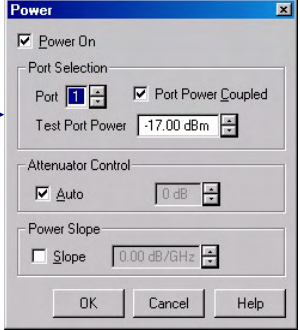
図 6-2 は校正前(CORRECTION OFF の状態)でプローブが ISS の thru,short,load にコンタクトしたときと、open のときの特性例です。thru,open,short のときはケーブルとプローブの伝送損失が、load にコンタクトしたときはリターンロスが表示されます。このとき波形に不自然な不連続点やピークがある場合、ケーブルやプローブの接続をチェックしてください。

6.2 Agilent PNA(Version A.06.04.32)シリーズの CAL 操作


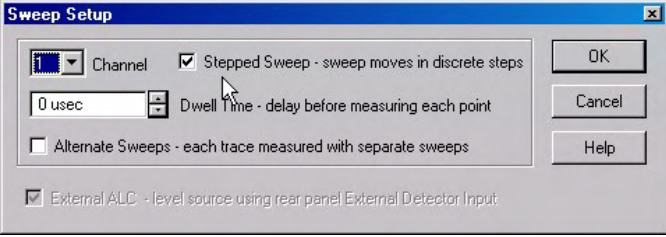

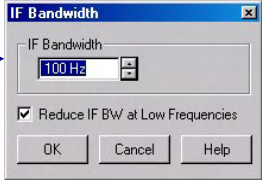
6.2.1 設定

キャリブレーションを始める前に、以下の設定を行います。

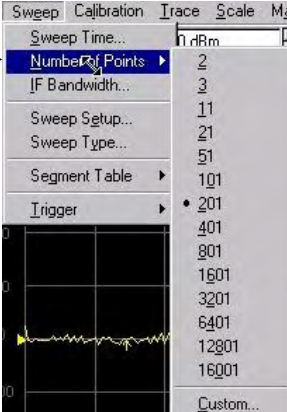
1. 周波数範囲 (測定時と同じ)
2. **Power** (測定時と同じ。LRM を使用する場合は Port1 と Port2 の ATT は同じ)



3. **IF Bandwidth** (測定時と同じ。100Hz 以下を推奨)
4. **Step Sweep** を ON にする

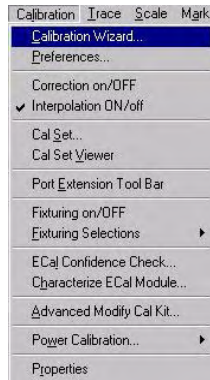


5. IF BW100Hz 以上の場合、**Averaging** を併用してください。

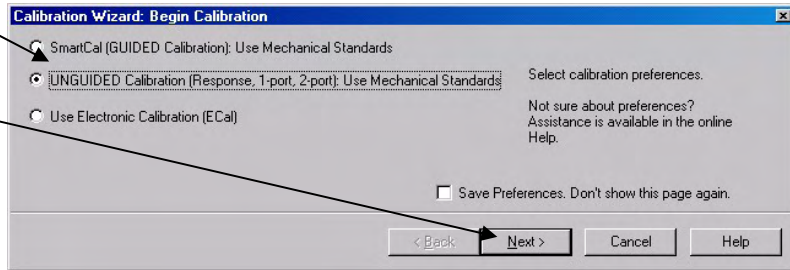


6.2.2 CAL(SOLT)の実行

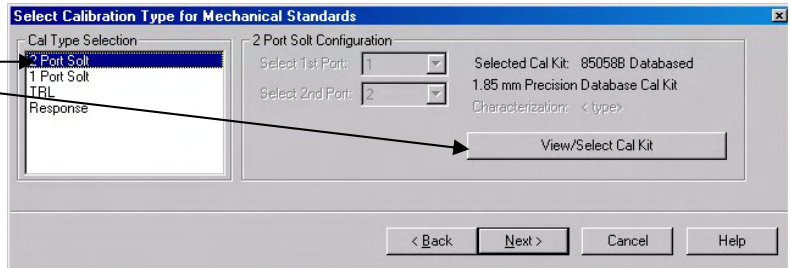
Calibration → Calibration Wizard で
キャリブレーションを始めます。



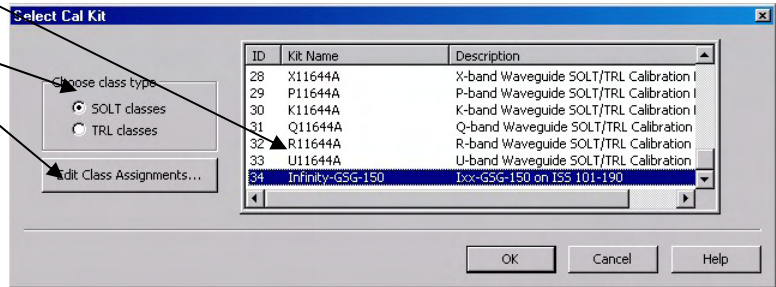
UNGUIDED Calibration
を選択し、Next ボタンを押
します。



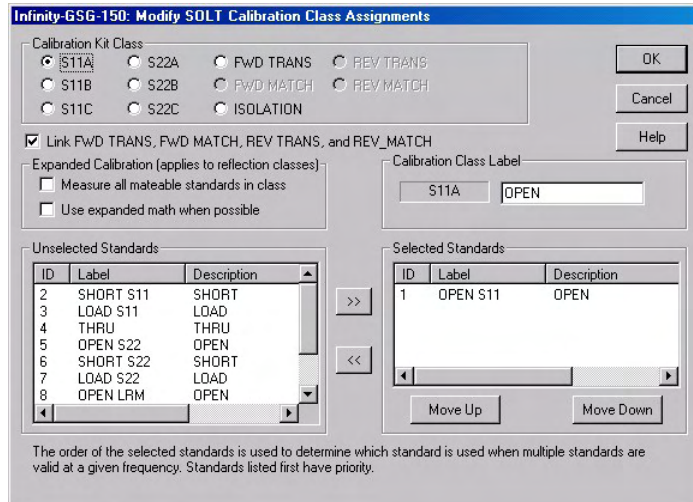
2 Port Solt を選択し、View
Select Cal Kit ボタンを押
します。

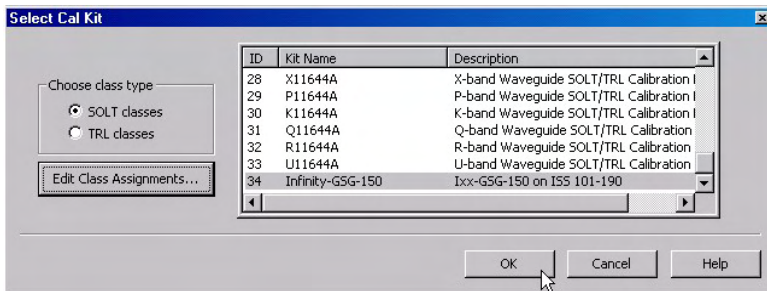


使用する Cal Kit
(Infinity-GSG-150) を選
択し、SOLT Class を選
び、Edit
Class Assignments でクラ
スの確認を行います。

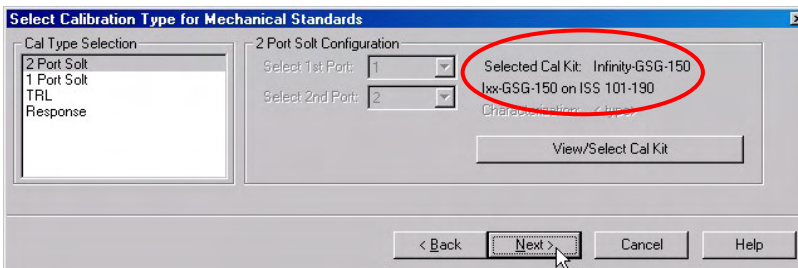


クラスの確認は省略できますが、
一部の Firmware では Modify Cal
Kit での Class Assignment が反映
されない場合があります。その場
合も、初めてその Cal Kit を使用
する場合のみ必要です。(2回目以
降は不要です。)

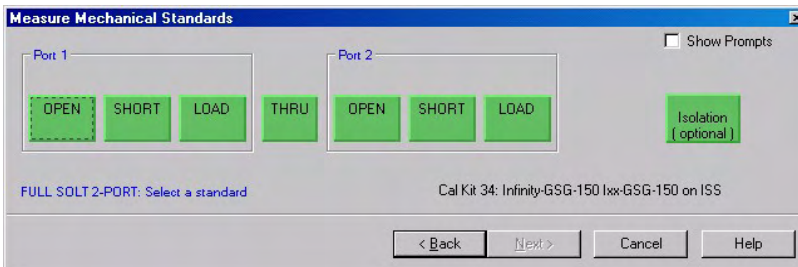




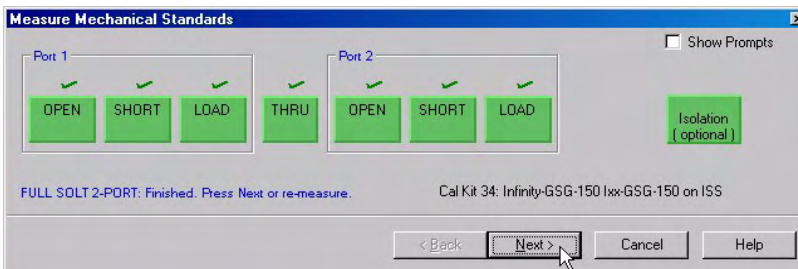
Class の確認が終了したら OK ボタンを押します。



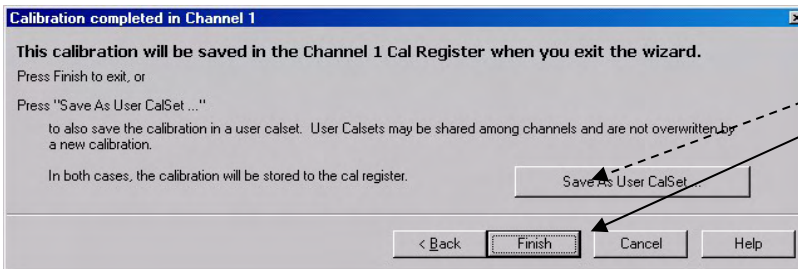
選択した Cal Kit が反映されているのを確認し、Next ボタンを押します。



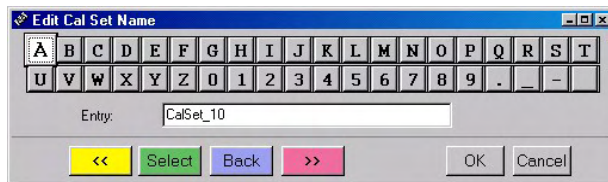
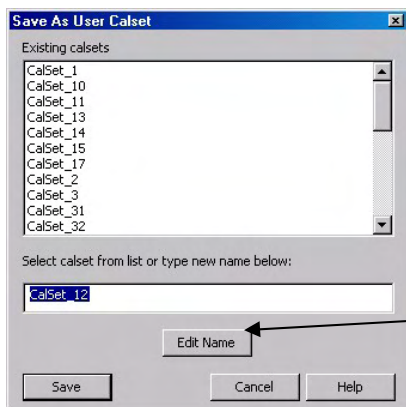
キャリブレーションの画面になるので、ISS 上の各スタンダードにプローブをコンタクトさせ、緑のボタンを押して測定します。



測定が終わると✓が付き、すべての必要なスタンダードの測定が終了すると Next ボタンが有効になるので押します。



Finish または Save As User CalSet を押します。



Save As User Calset を選択した場合は、Edit Name を押して Edit Cal Set Name のウィンドウで名前を入力後、保存して終了します。

6.3 Agilent ENA (Version A.08.10) シリーズの CAL 操作

6.3.1 設定

キャリブレーションを始める前に、以下の設定を行います。

1. 周波数範囲
(測定時と同じ)

2. Power (測定時と同じ)
3. Sweep Mode : Stepped (推奨)

4. IF Bandwidth : 100Hz (推奨)
5. Averaging : OFF (推奨)

6.3.2 CAL(SOLT)の実行

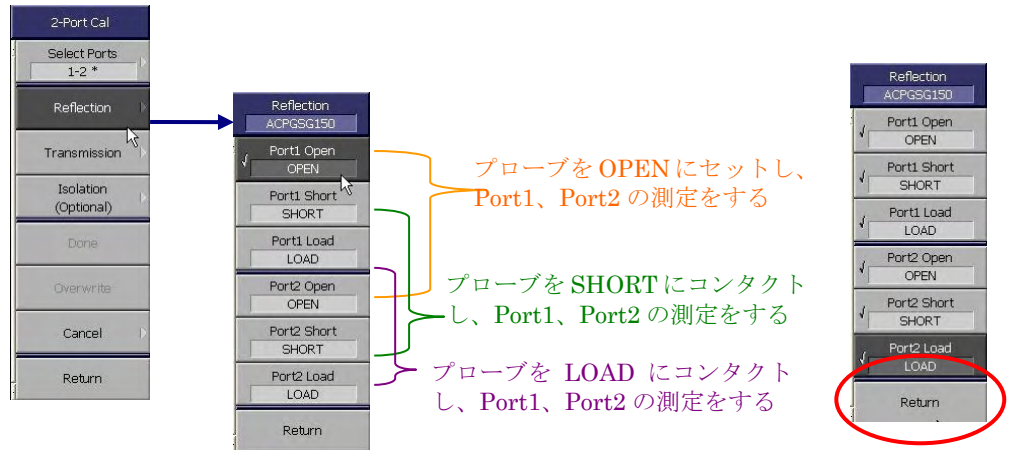
ポート1、ポート2間の2ポート・キャリブレーションを選択します。

CAL キー(ハードキー)を押して Calibration のメニューを出します。先ほど定義したプローブ用の Cal Kit が選ばれていることを確認します。

Calibrate → 2-Port Cal → Select Ports → 1-2 *

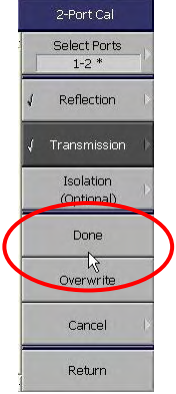
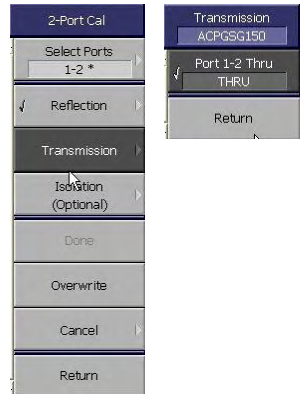
Calibrate → 2-Port Cal → Select Ports → 1-2 で
ポート1、2間の2ポート・キャリブレーションを選択します。

プローブを各スタンダードにコンタクトさせて、測定します。



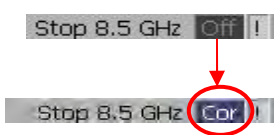
Reflection を選択し、ISS 上の各スタンダードにプローブをコンタクトさせて、ポート1、ポート2の **Open**、**Short**、**Load** を測定します。

測定が終了したら（すべてのボックスに✓が入ります）Return で戻ります。



Transmission を選択し、2つのプローブを **Thru** にコンタクトさせ、Port 1-2 Thru を押して測定します。Return で戻ります。

Reflection と Transmission の測定が終わったら Done で終了します。
(Isolation は行いません。)



Calibration メニューで Correction が ON、または画面右下に Cor が表示されていることで、Calibration が終了し、Correction が ON になっていることが確認できます。



6.4 校正の性能確認

先程スルー・ラインにおりた状態で校正を終了したので、そのままの状態です11 および S22 の反射量が-40dB 以下であることを確認します。S21 および S12 が 0 dB±0.1 dB 以内に入っていることも確認して下さい。プローブ・ヘッドを上げ OPEN にし、S11 および S22 が 0 dB±0.1 dB 以内に入っていることを確認します。SOLT 校正を行った場合は、ISS 下部の長いラインの片側にプローブ・ヘッドをコンタクトさせ(STUB)、S11 または S22 をスミスチャート表示にし、トレースがスミスチャートの外周と同心円状になっているか確認します。

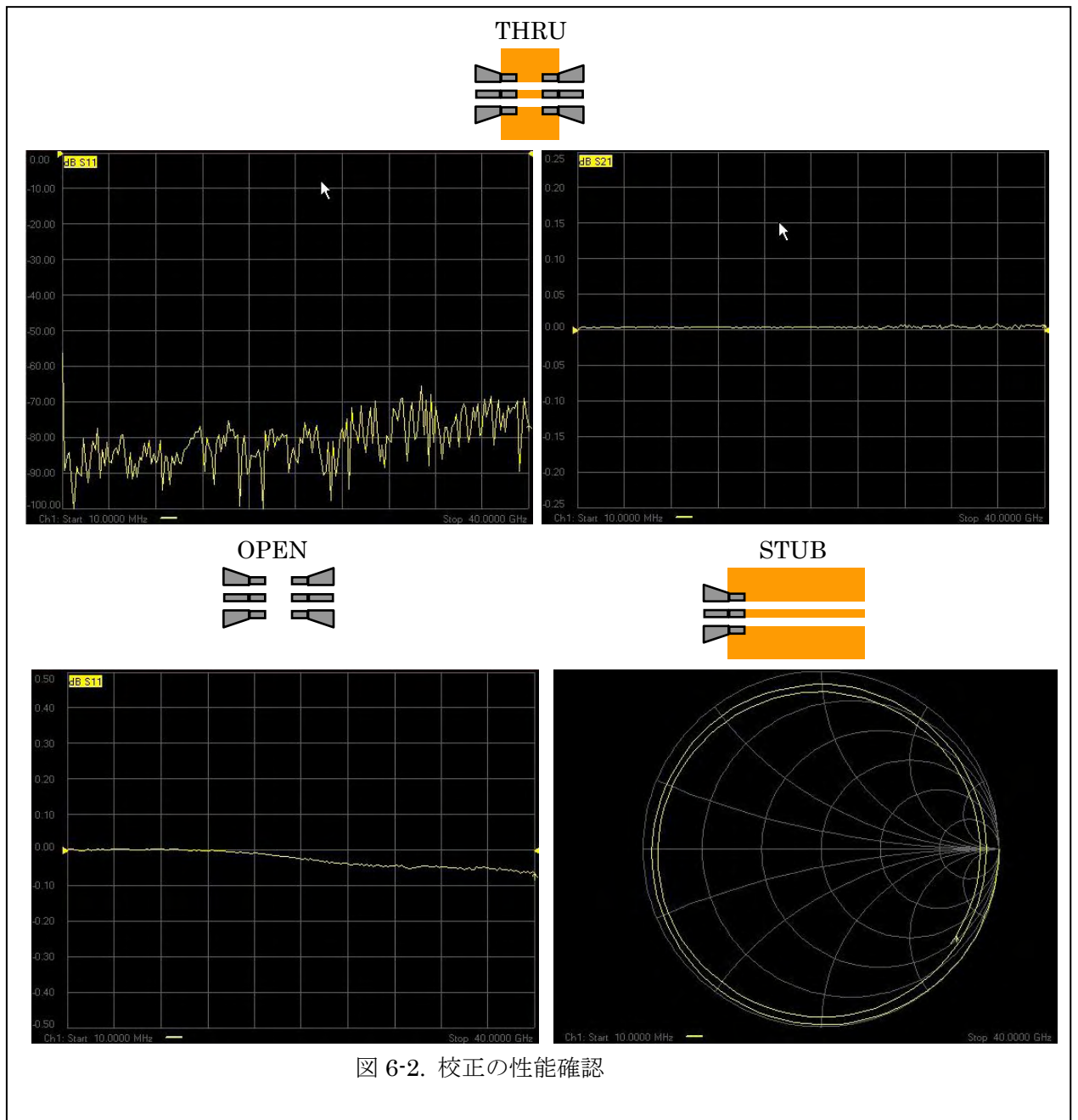
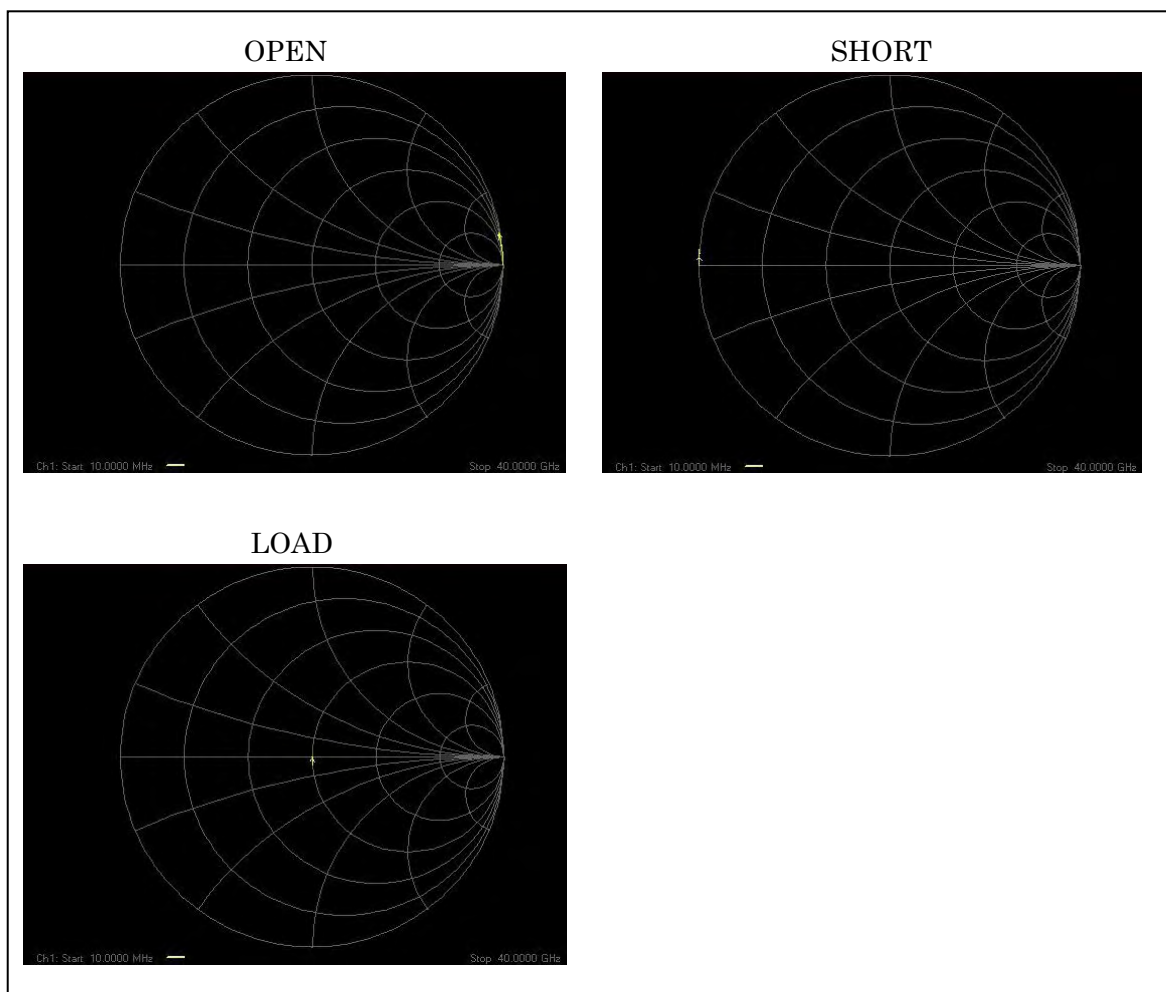


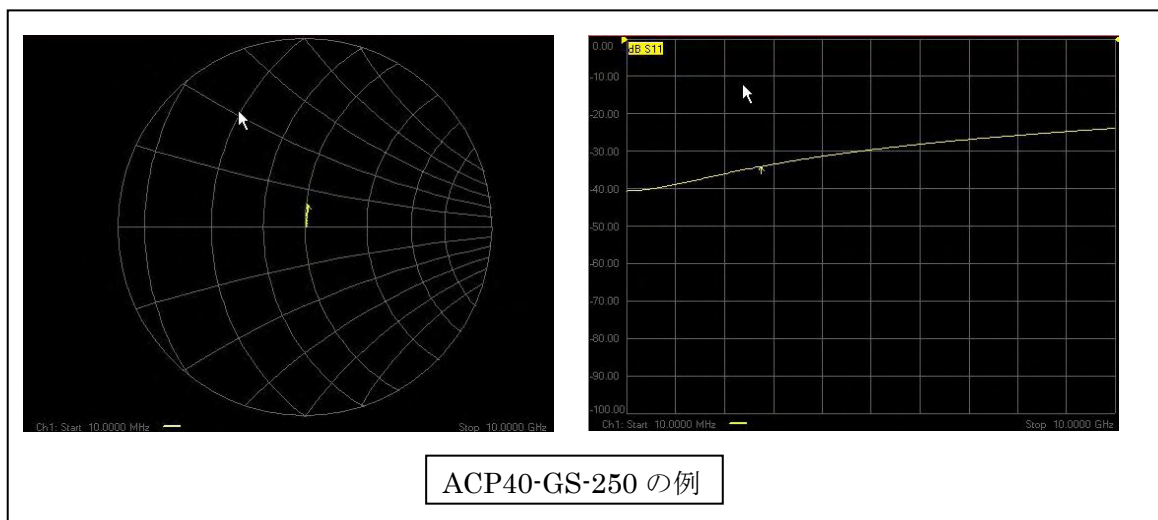
図 6-2. 校正の性能確認

Open、Short、Load をスミスチャートで見ると、下図のようになります。

Open はオープン容量が見えます。通常これは負の値となりますが、これは ISS 基板とオープン（空气中）の誘電率の違いから起こります。Short、Load ではインダクタンスが見えます。



Load の場合注意しなければならないのは、GS プローブ等では L_{term} の値が大きくなりますので、LogMag 表示とすると反射が大きいのに見えてしまいます。



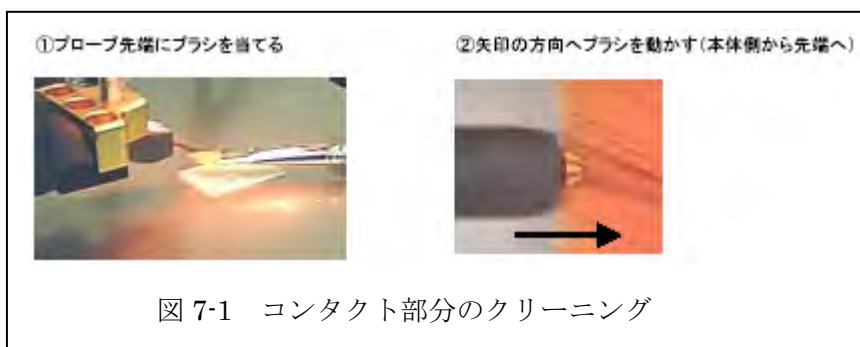
7 メンテナンス

7.1 プロブ・ヘッドのクリーニング

プローブ・ヘッドの定期的クリーニングは、正確な測定を行う上で重要です。デバイス等へのコンタクトに問題が生じたり、校正を行っても特定の周波数で急峻な不連続点が現れてしまったりする場合は、プローブ・ヘッドの汚れが原因である可能性があります。

同軸コネクタのクリーニングに関しては、ご使用のネットワーク・アナライザのマニュアルに記載されている方法に従って下さい。基本的には、まず圧縮空気でゴミを飛ばし、それでも汚れが取れない場合のみ、少量のイソプロピル・アルコールをつけたフォーム・スワブを使って拭き取ります。

プローブ先端のクリーニングも、最初は圧縮空気を使用します。必ず、プローブ・ヘッドの本体側からプローブ先端に



向けて、プローブ先端とほぼ平行に圧縮空気を吹き付けてください。それでも汚れが取れない場合のみ、少量のイソプロピル・アルコールをつけた MP4 ブラシ (PN113 - 477、3,100 円 2010 年 1 月現在) を使って拭き取ります。プローブ・ヘッドの本体側からプローブ先端に向けて、先端部分にダメージを与えないよう十分注意して行ってください。使用する前には十分乾燥させる必要があります。



7.1.1 クリーニング基板を用いたプローブ・クリーニング



Probe Polish (以下、クリーニング基板) は、プローブ・チップに付着したゴミを取除くように作られています。ポリマー層に含まれている研磨剤が堆積したゴミを取除き、プローブ・チップおよびコンタクト面を軽く研磨します。このとき研磨作用によりプローブ・チップが変形することはありません。Probe Polishは-50℃～+200℃の温度範囲で使用することができます。

クリーニングの頻度と回数

クリーニング頻度は使用される環境等により異なりますが、10コンタクト(ex.半田ボールへのプロービング)から4000コンタクト(ex.テスト前に洗浄されたウェーハへのプロービング)ごとに必要となります。

クリーニングを行う際は100μmのオーバードライブで位置を変えながら10回程度押し当てます。(10回で不十分な場合は回数を増やしてください。)

クリーニング手順

***注意: ポリマー表面に指紋等を付けない為にラテックス製手袋をして取り扱ってください。**

1. ラテックス製手袋をしてA u xチャックにセラミック面を下にして置きます。
(カスケードのロゴのある保護テープが付いている面がクリーニングに使用する面です。)
2. バキュームをONにして吸着します。
3. 表面の保護テープを剥がします。
4. 顕微鏡で表面を観察し、ゴミの無いきれいな部分を探します。プローブをきれいな部分にコンタクトさせます。コンタクトはクリーニング基板表面の凹みで確認することができます。
5. ポジショナーのZ軸目盛りで「100μm」のオーバードライブをかけます。
6. チャックを下げる、またはZレバーを上げてプローブをProbe Polishから離し、プローブ・チップの径の2倍以上XY方向に移動させ、再びコンタクトさせます。



保守

定期的クリーニング基板表面の状態を観察し、ゴミや破れ等のダメージが無いか確認してください。ダメージがひどい場合は使用を中止してください。

ポリマー層表面に軽く付着したゴミはIPA(イソプロピル・アルコール)を垂らし、ゴミの出ない布で一方方向に拭くことで取除けます。IPA使用後は1～2時間乾燥させ、完全にIPAを蒸発させます。(可能であれば24時間放置してください。)

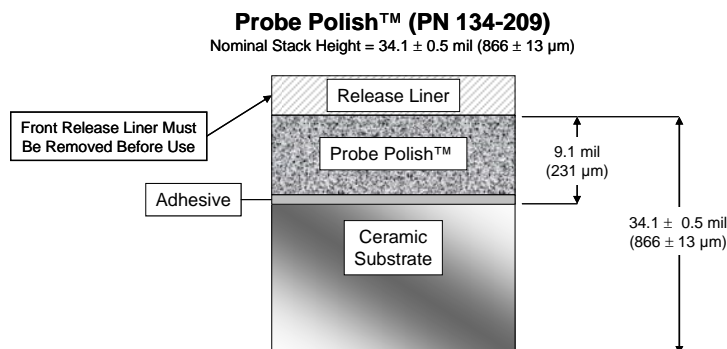
表面に刺さってしまったゴミ(アルミの削りかす等)は細い天然素材のブラシで取除くことができます。

価格: 12,500円(5枚)

2010年1月現在



プローブクリーニング基板断面図



134-209:プローブ クリーニング基板(POLISH)

7.2 測定系の裸特性の確認

校正が上手く行えない場合や、校正後、短時間で特性が劣化してしまう場合、測定系の裸特性が悪いことが原因として考えられます。図 7-3 にあるように、オープンまたはショートにコンタクトした場合のトレースと、ロードにコンタクトした場合のトレースを比較します。ネットワーク・アナライザのディスプレイ・メモリの機能を使うと、比較が簡単です。これは、方向性（ディレクティビティ）の裸特性を示しています。

LogMag 表示で見て、ショートまたはオープンのトレースとロードのトレースの差が 10 dB 以上確保されてい

れば大丈夫です。この

差が 10 dB 以下の場合は、校正が不安定になったり、最悪の場合には不可能になったりします。

方向性を悪化させる原因としては、ネットワーク・アナライザのテストポートと DUT との間のケーブルやアダプタの損失または反射があります。良質なケーブルをアダプタ無しで、もしくは最小限の良質なアダプタを使用して接続するようにしてください。

長すぎるケーブルや、アダプタを複数個つなげて使用すると、測定系の裸特性の劣化につながるので注意が必要です。

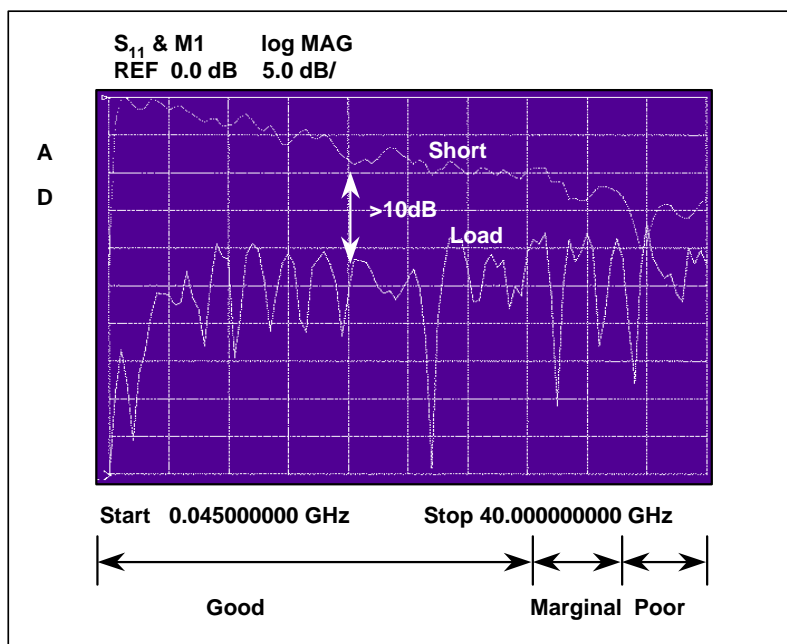
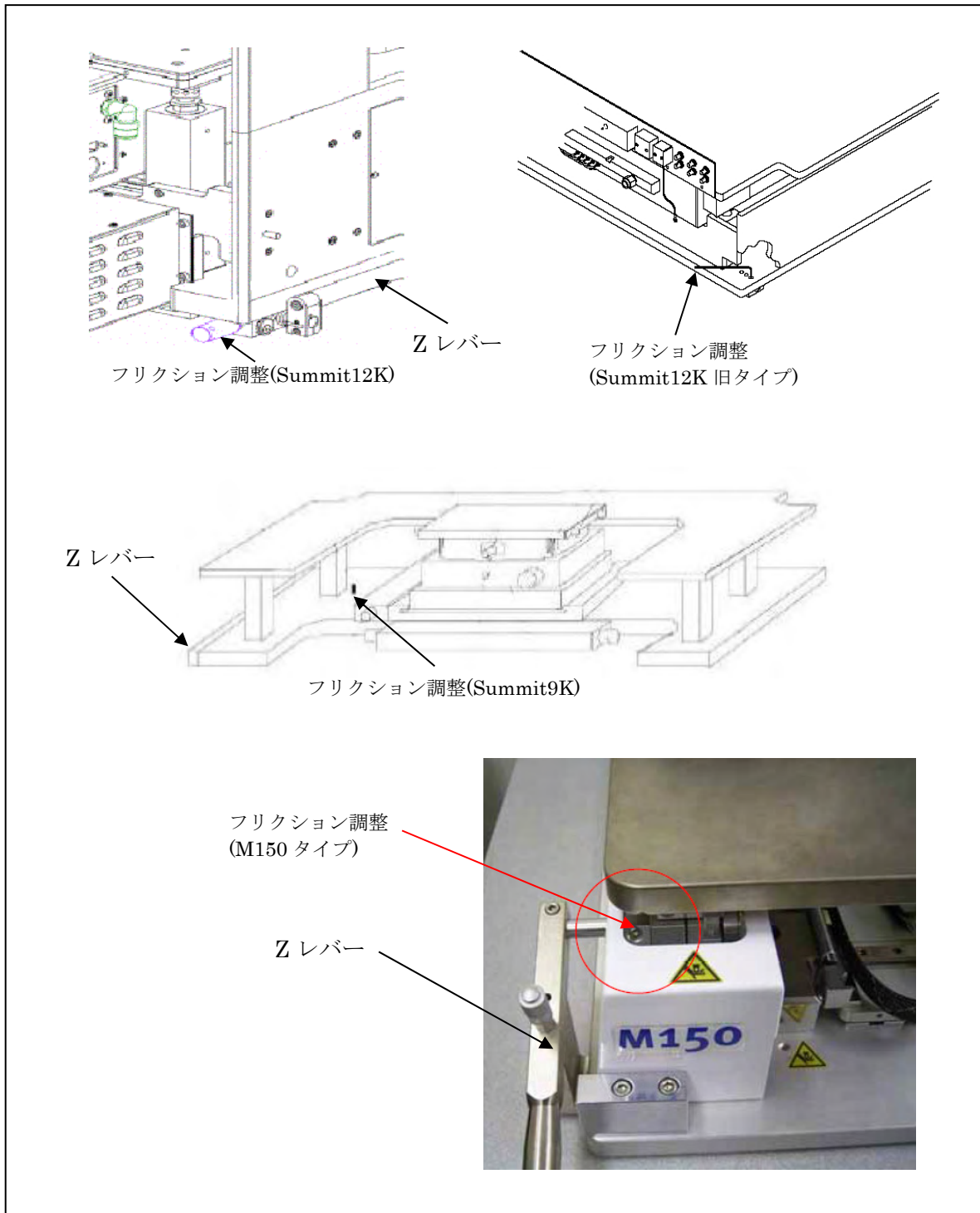


図 7-3 Return Loss Before Connections

7.3 機械的注意事項

- プローブ・ヘッドをデバイスにセットする際は、必ずウェーハ・チャックが上がった状態、プラテンは下がった状態で行ってください。
- プローブ・ヘッドをデバイスにセットする際は、100 倍程度の顕微鏡（できれば 6 倍以上のズーム比をもつもの）を使用し、接触が始まる正確に観察してください。
- プローブ・ヘッドのオーバードライブ量は、ACP の場合は最大 250um、Infinity プローブの場合は最大 150um までとしてください。
- プローブ・ヘッドを対向して狭い間隔（200 μ m 以下）に配置してある時は、オーバードライブによるスケートでプローブ・ヘッド同士が接触しないように注意してください。

- インピーダンス基準基板上のショート、ロード、スルーにプローブ・ヘッドを接触させる際は、常に同じスケート量で行ってください。また、デバイス・パッドへの接触も同じスケート量で行ってください（標準スケート量=25 μ m）。
- 測定途中にその場から離れる際は、必ずプローブ・ヘッドをDUTから上げた状態にしてください。
- プローブ・ステーションのZレバーのフリクションが弱くなり、プラテンをあげた状態ではとめられなくなった場合は、ステーション後部のフリクション調整ネジを締め直してください。



7.4 電氣的注意事項

●デバイス測定の際、バイアスはプローブ・ヘッドがデバイス・パッドに接触した後に印加してください。プローブ・ヘッドを上げる前にはバイアスを切ってください。

●より良い再現性を得るため、プローブ・ヘッドのコネクタは、指定のトルク・レンチで正しく締めてください。

●同軸ケーブルはテンションがかからないように配線し、校正中及び測定中に動かないように注意してください。

●より良い測定結果を得るために、8510 シリーズの場合はステップ・モードを使用してください。精度の高い測定が必要な際は、アベレージングは 128 回以上で校正と測定を行ってください。(PNA/8753/8720 シリーズの場合 IF バンド幅は 100Hz、アベレージングはなし)

●校正後、時間が経過してから測定を行う際は、プローブ・ヘッドを上げてオープン状態とし、その時の S11、S22 の状態 (0 ± 0.1 dB) を確認してから行ってください。必要であれば、校正をやり直してください。



フォームファクター株式会社
〒240-0004 横浜市保土ヶ谷区神戸町134
横浜ビジネスパークイーストタワー11F
TEL 045-338-1286 FAX 045-338-3958
Email Japan_Sales_Application@formfactor.com
URL <https://www.formfactor.com/>