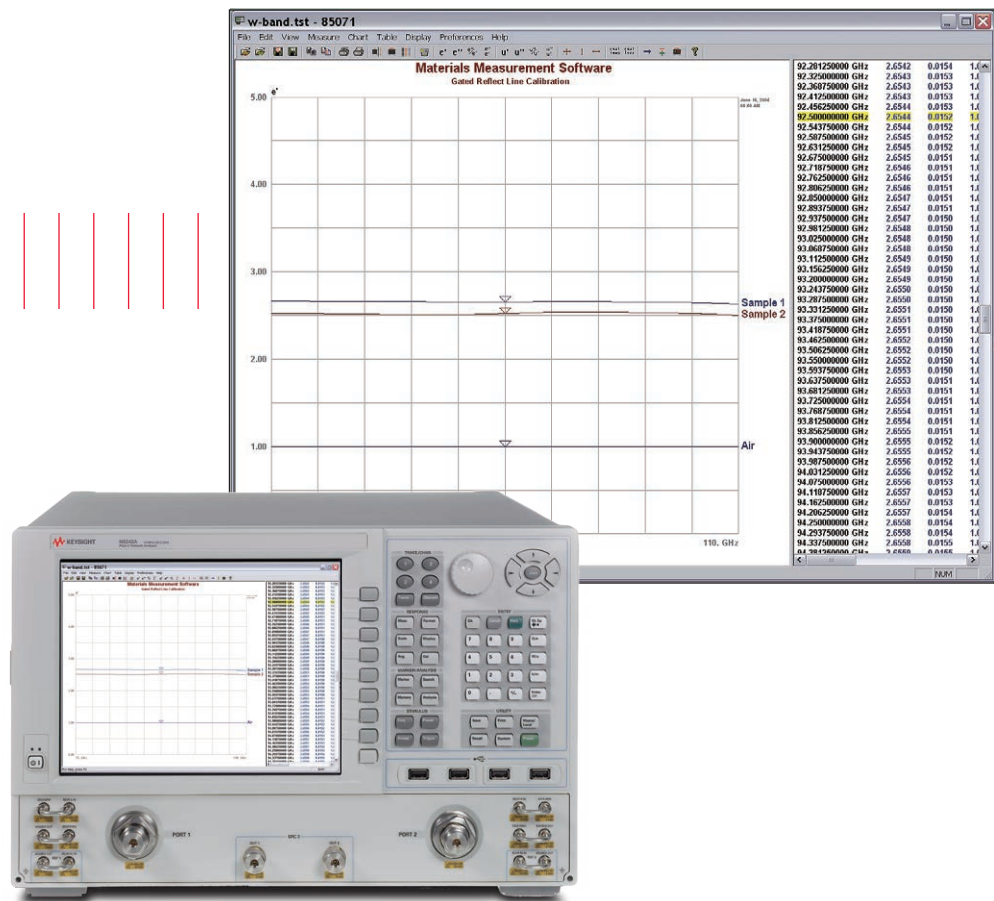


Keysight 85071E

材料測定ソフトウェア

Technical Overview



はじめに

85071Eの特長

- 複雑な誘電率や透磁率の測定を自動化
- さまざまなフォーマット(ϵ_r' 、 ϵ_r'' 、 $\tan \delta$ 、 μ_r' 、 μ_r'' 、 $\tan \delta_m$ 、Cole-Cole)でグラフ表示が可能
- 他のWindowsベースのプログラムとの間でのデータの共有やCOMインタフェースによるデータの共有が可能
- アプリケーションのニーズに最適なさまざまな測定手法および数学モデルを提供

新しいコネクション・マネージャは、Keysight Connection Expertで動作し、ソフトウェアとアナライザの間の柔軟で使いやすいインタフェースを実現します。ほとんどのPNA/ENAネットワーク・アナライザで、GPIBとLANの両方がサポートされています。

デモ版をWebサイトから無料でダウンロードできます:

www.keysight.co.jp/find/materials

Keysightの85071E材料測定ソフトウェアによる 複素誘電率／透磁率測定自動化

広い周波数範囲での ϵ_r^* / μ_r^* の測定

Keysight 85071E材料測定ソフトウェアを使用すれば、多くの誘電材料や磁性材料に固有の電磁気学的特性を求めることができます。このシステムは、RF/マイクロ波エネルギーに対する材料の応答を測定するKeysightネットワーク・アナライザをベースにしています。

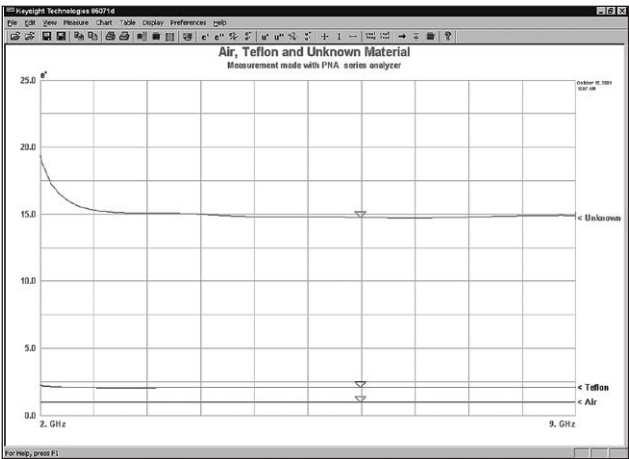


図1. RF/マイクロ波周波数スペクトラムでの材料特性テスト。

85071Eソフトウェアは、ネットワーク・アナライザを制御して、誘電損失や誘電正接を含む、複素誘電率 ϵ_r^* や透磁率 μ_r^* の計算を行います。結果は周波数の関数として1 ~ 2 % (代表値)の確度で表示することができます。Keysightネットワーク・アナライザやフィクスチャによっては周波数をミリ波／サブミリ波まで拡張することができます。

解析が容易なデータ表示

分割画面ウィンドウとマーカにより簡単にデータ解析が行えます。グラフや表内でポイントをクリックして、マーカをオンにして移動するだけです。 ϵ_r' 、 ϵ_r'' 、 $\tan \delta$ 、 μ_r' 、 μ_r'' 、 $\tan \delta_m$ 、Cole-Coleなどのさまざまなフォーマットのグラフを作成できます。

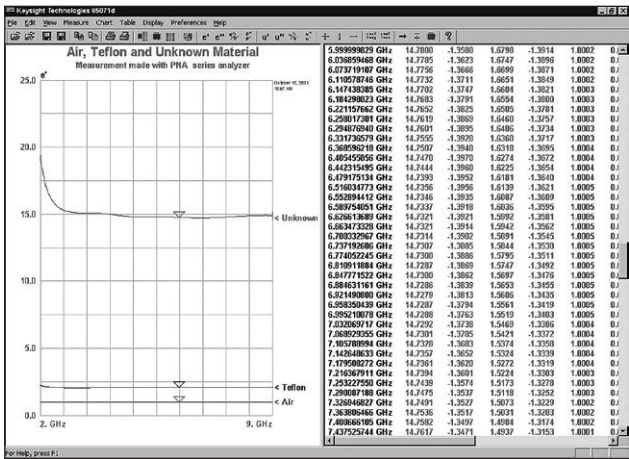


図2. データをグラフと表形式の両方で表示！

他のプログラムとの接続

データのグラフや表は簡単にコピーでき、Windowsベースのアプリケーションに貼り付けて、解析やレポートの作成が可能です。

コンポーネント・オブジェクト・モデル(COM)インタフェースを使用すれば、測定のセットアップ、トリガ、ユーザが記述したプログラムからの読み込みが可能です。これは、材料の経時変化を解析する場合に特に便利です。プログラム開発時に利用できるVisual Basic®およびC++のプロジェクトのサンプルが付属しています。

測定手法

伝送ライン法

サンプル・ホルダとして、同軸エア・ラインや方形導波管の伝送ラインを使用します。伝送ライン法は、機械加工してサンプル・ホルダの内側にぴったり合わせることが可能な材料に適しています。85071Eには、サンプルとホルダ間のエア・ギャップの影響を補正するアルゴリズムが搭載されているので、伝送ライン法による最大の誤差の原因を大幅に低減することができます。

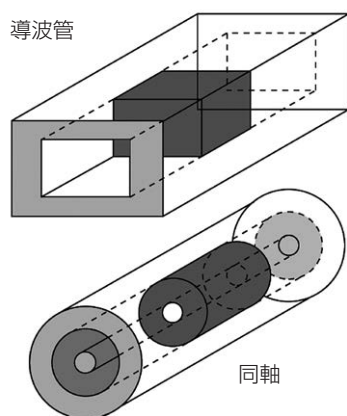


図3. 同軸または導波管伝送ラインで被試験材料のサンプルをホールド。

フリースペース法

この方法では、非接触で測定するために、材料はアンテナの間に置かれます。フリースペース法は大型で平らな固体に適していますが、粒状や粉末の材料もフィクスチャ内で測定することができます。これは非破壊試験を始めとする多くのアプリケーションで非常に便利です。非常に高温まで加熱する必要がある材料を測定したり、ハニカム構造や複合物などの不均一な材料の大きな領域を測定できます。また、ネットワーク・アナライザで実行される校正やゲーティングを使用して測定誤差を低減できます。

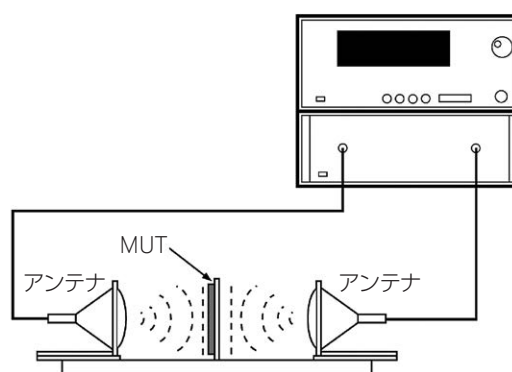


図4. アンテナからのマイクロ波エネルギーのビームを材料に投射または貫通(材料をフィクスチャに入れる必要がありません)。

フリースペース校正(オプション100)

フリースペース校正オプションにより使いやすさが向上し、TRM校正やTRL校正に伴うコストを削減できます。ゲーティッド反射ライン(GRL)校正法は同軸／導波管2ポート校正をフル2ポート・フリースペース校正に変換します。このオプションを使用するには、タイム・ドメイン・オプション付きの8510またはPNAシリーズ ネットワーク・アナライザ、フリースペース・フィクスチャ、金属製の校正プレートが必要です。また、このオプションにはゲーティッド・アイソレーション／レスポンス校正機能も備わっており、サンプルの両端での回折効果やアンテナ間の複数の残留反射による誤差を低減することができます。

高価なスポット・フォーカス・アンテナを使用したり、マイクロ・ポジショニング・フィクスチャを作成したり、直接レシーバをアクセスしなくても、正確なフリースペース測定が行えるようになりました。このソフトウェアでは、フリースペース校正の定義およびネットワーク・アナライザのパラメータをすべて自動で設定できるため、時間も節約できます。また、PNAではECal(電子校正)を用いることにより、さらに使いやすくなります。Ecalでは、ガイド付き校正ウィザードにより、校正プロセスも簡単になります。

表1. 85071E材料測定ソフトウェアのモデル

85071Eでの名称	別名	測定されるSパラメータ	結果	概要
Reflection/Transmission Mu and Epsilon	Nicholson-Ross-Weir (NRW)	S11、S21、S12、S22	ϵ_r 、 μ_r	最初にNicholsonとRossによって開発され、後にWeirによって、伝送／反射係数から誘電率と透磁率を計算するためにネットワーク・アナライザに採用されました。半波長を超える厚さの低損失サンプルでは、不連続部が生じる可能性があります。
Reflection/Transmission Epsilon Precision	NIST Precision	S11、S21、S12、S22	ϵ_r	伝送／反射係数から誘電率を計算するために、NISTによって開発されました。
Transmission Epsilon Fast	高速伝送	S21、S12	ϵ_r	誘電率を予測し、予測した誘電率に基づいて計算されたSパラメータ値と測定値の差を、誤差が期待されるシステム性能の値を下回るまで最小化する反復手法です。伝送パラメータS21、S12、またはS21とS12の平均値だけが使用されます。
Reflection/Transmission Mu and Epsilon Polynomial Fit	Poly Fit、Bartley-Begley、BB	S11、S21、S12、S22	ϵ_r 、 μ_r	反復手法を用いて材料特性を多項式でフィッティングし、多項式に基づいて計算されたSパラメータと測定されたSパラメータの差が、期待されるシステム性能の値を下回るまで、またはユーザが指定する最大次数に達するまで、多項式の次数を増やしていきます。磁性サンプルに最適です。メタ材料や左手系材料には推奨できません。
Transmission Epsilon Polynomial Fit	Poly Fit、Bartley-Begley、BB	S21、S12	ϵ_r	Reflection/Transmission Mu and Epsilon Polynomial Fitと同様に、反復手法を用いて材料特性を多項式でフィッティングし、多項式に基づいて計算されたSパラメータと測定されたSパラメータの差が、期待されるシステム性能の値を下回るまで、またはユーザが指定する最大次数に達するまで、多項式の次数を増やしていきます。非磁性材料には適していますが、メタ材料や左手系材料には推奨できません。
Stack Transmission Mu and Epsilon	Stack Two Transmission	S21、S12 (2つのサンプル)	ϵ_r 、 μ_r	2つの伝送測定を使用する反復手法。1つは既知の誘電体の(オプションでバックリングした)サンプルの測定で、もう1つは別の既知の誘電体をバックリングしたサンプルの測定です。このモデルは、フリースペース測定に有用です。フル2ポートまたは2ポート伝送レスポンス／アイソレーション校正が必要です。
Reflection Only Epsilon Short-Backed	Short Backed	S11	ϵ_r	ショートでバックリングした材料の反射係数の測定値と計算値の差を最小化する反復手法。ショートでバックリングした材料を測定するという理論は、Von Hippellによって発表されましたが、Von Hippellは、反復法ではなく、テーブルを用いて誘電率の値を求めています。
Reflection Only Epsilon Arbitrary- Backed	Arbitrary Backed	S11	ϵ_r	バックリング状態で個別に測定することにより、バックリングした材料の反射係数の測定値と計算値の差を最小化する反復手法。このモデルは、Von Hippelが提案した方法を進化させたもので、ショートでバックリングした場合に材料全体の電圧が事実上ゼロになるような、材料が電氣的にショートしている場合に有用です。
Reflection Only Mu and Epsilon Single/Double Thickness	Single/Double Thickness	S11 (2つのサンプル)	ϵ_r 、 μ_r	2つの反射係数測定を用いて、材料のS11とS21を計算します。サンプルと元の2倍の長さのサンプルの測定です。その後、Nicolson Rossモデルを使用して材料特性を計算します。

数学モデル

85071Eには、それぞれ、固有の特長を備えた8つの異なるアルゴリズムがあります。従来の手法は、NicolsonとRossによるもので、フェライトや電波吸収体のような磁性材料に最適です。この手法では、単一サンプルを2ポート測定することで、 ϵ_r^* と μ_r^* の両方を迅速に計算できます。

この他に、85071Eには非磁性材料($\mu_r^*=1$)用の2つの2ポート・アルゴリズムがあります。これらのモデルはサンプル長が半波長の整数倍となる周波数で、不連続性の影響を受けることはなく、長い低損失の材料に最適です。

2ポート・アルゴリズムが固体材料に最適な一方で、1ポート・アルゴリズムはシンプルな校正および測定を実現していて、液体や粉末状の材料測定に適しています。例えば、ショートされた導波管は端を開いて1ポート測定用に材料を詰めることができます。また、1ポート・フィクスチャは、高温での測定にも適しています。フィクスチャの一端を加熱することができ、もう一方の端では冷却メカニズムによりネットワーク・アナライザを保護することができます。

1ポート・フィクスチャでは通常、ショート回路により終端しますが、85071Eでは、薄いサンプルに対して信頼性の高い測定結果を得るために、任意の終端抵抗を使用することができます。

新機能：ディエンベディング

ディエンベディングにより、誘電率バックキングでサンプルをバックキングすることができます。バックキングの影響が数学的に除去され、サンプルだけの電気／磁気特性が得られます。これは、単独で立たせておけるほどサンプルが強固でない、または厚くない、あるいはサンプルをサブストレートから除去できない場合に有効です。バックキング状態の誘電率と厚さが既知でなければなりません。バックキング状態の誘電率が既知でない場合は、最初に誘電率を測定します。バックキング状態の材料が磁性を持っているはずはなく、バックキング状態の材料を経由してマイクロ波信号が伝送されるので、S21とS12を測定できます。

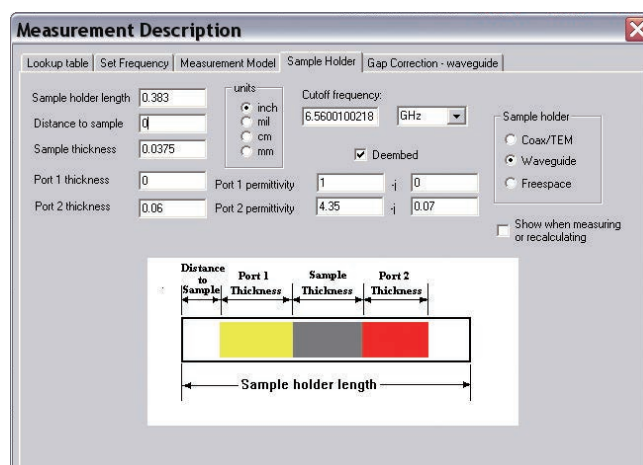


図5. ポート2側でバックキングしたサンプルのディエンベディング・ユーザ・インタフェースの例。

ディエンベディング機能は、以下の伝送モデルで使用できます：

- Reflection/Transmission Mu and Epsilon
- Transmission Epsilon Fast
- Polynomial Fit

性能特性

仕様は、0 ～ 55 °C の温度範囲で保証されている性能です。補正特性は、保証されていませんが製品を利用する上で有用な代表的な性能パラメータです。これらの値は「代表値」、「公称値」、「近似値」と記述されています。

周波数レンジ(代表値)

100 MHz ～ 325 GHz。ネットワーク・アナライザ、フィクスチャ、材料によって異なります¹。

確度(代表値)

1 ～ 2 %

伝送ライン・フィクスチャ

同軸フィクスチャ(ビードレス・エアライン)は広帯域ですが、サンプルは平らな表面のトーラス形状をしている必要があります。導波管フィクスチャは帯域幅の制限がありますが、高周波で動作し、単純な長方形にも対応できます。

フィクスチャの壁面に隙間ができないように伝送ラインの断面にサンプルを完全に詰めます。両端の面は平らで、滑らかで、長軸に対して垂直でなければなりません。

フリースペース・システム

アンテナの間に、大きく、平坦で、薄く、平行な面のあるサンプルを置いて、フリースペース条件下で測定します。アンテナは、サンプルに対して遠方界の平面波を維持するように設置してください²。

試験材料の条件

材料は、層状構造を持たない均質な材料(均質な化合物)です³。非等方性(均一な配向性)材料は導波管で測定できます。

1. 最小周波数は最大実用サンプル長(L)によって設定されます：f(単位はGHz) > $\frac{1}{\sqrt{\epsilon_r \mu_r}} \frac{30 \text{ cm}}{L(\text{in cm})} \frac{20}{300}$
2. アンテナはサンプルから約 $2d^2/\lambda$ 離れた箇所に配置してください。ただし、dはアンテナまたはサンプルの直径の大きい方の値です。
3. 材料がサンプル長に渡って均質でない場合(層状構造の場合など)は、前面(S11)および背面(S22)からの反射が異なり、誤差を含む可能性の高い結果が生じます。材料がサンプルの面全体で均一でない場合は、結果は電磁界の影響を受ける断面全体での(強度で重み付けられた)平均値となります。

ソフトウェアのメニュー

File

測定条件の設定内容や測定結果の保存や呼出しを行います。測定結果のコピーを表形式やグラフィック形式でプリントできます。

Edit

測定結果をクリップボードにコピーします。グラフや表形式のリストをコピーできます。これにより、測定結果の他のアプリケーションへの貼り付けが可能です。

View

表示対象を選択します。ツール・バー、ステータス・バー、測定データの表および測定データのグラフの中から選択できます。

Measure

測定を実行します。MUTの再測定を行わない再計算、測定モデルの設定、サンプル・ホルダの定義、測定属性の設定およびGRL校正の実行。

Chart

グラフ表示する際のフォーマットを選択します。 ϵ_r' 、 ϵ_r'' 、 $\tan \delta$ 、 μ_r' 、 μ_r'' 、 $\tan \delta_m$ 、Cole-Coleの中から選択できます。スケール・ファクタの設定または「オートスケール」。リニア、片対数、両対数表示のいずれかを選択できます。

Table

表形式について、実数と虚数または実数と $\tan \delta$ のいずれかを選択できます。

Display

現在の測定データの表示、最大3メモリ・トレースの保存／表示、トレース演算によるデータと基準トレースとの比較を行います。マーカをオン／オフします。

Preferences

測定データをプロットおよびリストするために使用するフォント、色、注釈のプリファレンスを選択できます。

Help

製品マニュアルを含むオンライン・ヘルプです。

ToolBar

主要なメニューに1クリックでアクセスできます。

その他の測定方法

NRLアーチ・フリースペース法

米国海軍研究試験所で最初に開発されたNRLアーチ測定法は、材料の角度依存吸収特性をテストするのに有効な手法です。代表的なセットアップでは、ネットワーク・アナライザを、フラットな被試験材料の上(または下)のアーチ状のアーマチュアに固定された2つのホーン・アンテナに接続します。1つは送信アンテナとして動作し、もう1つは反射信号を受信して1ポート測定を実現します。サンプルは「遠方界」条件で設置する必要があります。

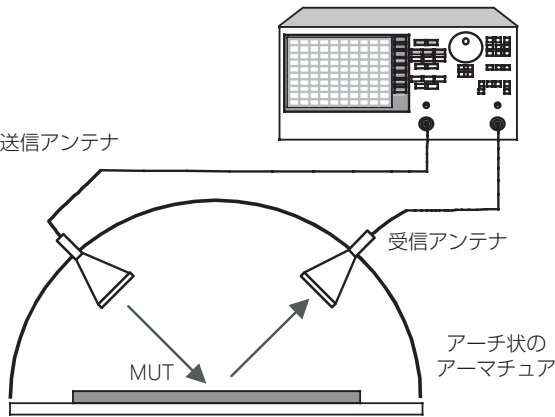


図6. NRLアーチ法では、1つのアンテナがMUT上にエネルギーを放射し、もう1つのアンテナが反射信号を受信します。

Arch Reflectivityソフトウェア(オプション200)

Arch Reflectivityソフトウェアの追加により、NRLアーチ測定を自動化できるようになりました。

オプション200は、NRLアーチ測定を自動化するソフトウェア・プログラムです。このプログラムは、材料の吸収率の設定／校正／測定プロセスの全手順をガイドします。測定はグラフィック形式と表形式の両方で表示されます。最大4つの測定を同時に実行して、比較することができます。このソフトウェアは、測定の解析に役立つマーカ機能を備え、測定結果や設定をすべてセーブ／リコールすることができます。また、データをスプレッドシートと互換性のあるファイル・フォーマットで保存したり、他のアプリケーションにコピーして、詳細に解析することができます。

KeysightのArch Reflectivityソフトウェアを使用すれば、NRLアーチ・システムを、最先端のハードウェア／測定手法に合わせて瞬時にアップデートすることができます。

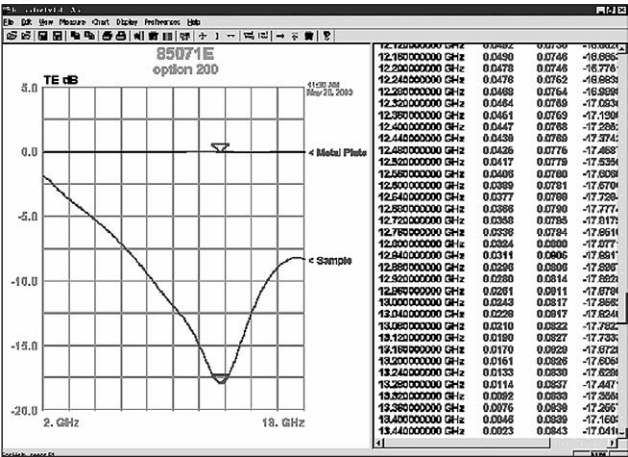


図7. アーチ反射率測定の結果。

その他の測定方法 (続き)

共振キャビティ法

共振キャビティ法薄膜やサブストレート材料などの低損失の材料には、共振キャビティ法を選択します。共振キャビティ法では、ネットワーク・アナライザを使用して、共振キャビティ・フィクチャの共振周波数とQ値を、最初に空の状態、次に被試験サンプルを搭載して測定します。これらの測定から誘電率を計算して、共振キャビティのサンプルの量やその他のパラメータを求めることができます。共振法なので、求められるのは1つの周波数ポイントだけです。ただし、他の手法より、はるかに感度が高く、分解能が優れています。この手法の分解能が 10^{-4} (代表値)であるのに対して、広帯域法は 10^{-2} です。

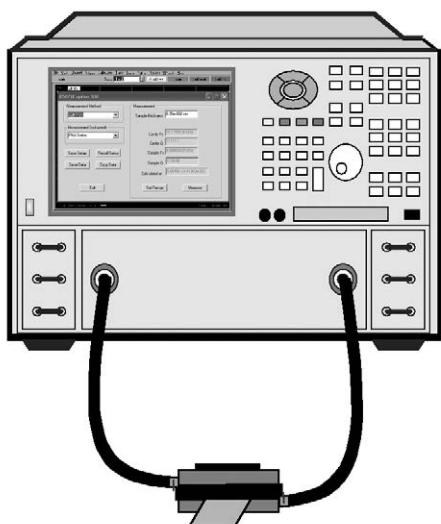


図7. ポート間に接続された共振キャビティ。

新機能！ Resonant Cavityソフトウェア (オプション300)

Keysightの新しいResonant Cavityソフトウェアは、Keysightベクトル・ネットワーク・アナライザを制御して、負荷時／無負荷時の共振キャビティの共振周波数を測定します。Q値の計算には最小2乗法による円フィッティングが用いられますが、振幅と位相の両方の情報が用いられるので、他のQ値計算法よりも再現性が高くなります。このソフトウェアは、 ϵ_r' 、 ϵ_r'' 、ロス・タンジェントを計算して、使いやすいインタフェースに表示します。

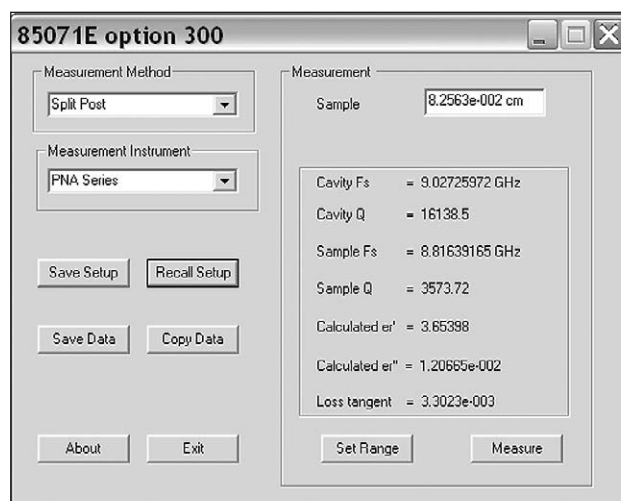


図8. Resonant Cavityソフトウェアのユーザ・インタフェース。

Resonant CavityソフトウェアのCOMアプリケーション・インタフェースを使用すれば、測定を簡単に自動化できます。

Resonant Cavityソフトウェアは、QWED社のスプリット・ポスト誘電体共振器をサポートしています。これらの共振器は高品質で、1 GHz ~ 20 GHzの周波数レンジで使用できます。詳細については、電子メールでお問い合わせになるか(info@qwed.com.pl)、Webサイトをご覧ください(<http://www.qwed.com.pl/hardware.html>)。

Resonant Cavityソフトウェアは、ASTM D2520規格に準拠した共振器およびKeysight 85072Aスプリット・シリンダ共振器もサポートしています。

オーダ情報

85071E

材料測定ソフトウェア

以下が必要ですが、付属していません：

- ネットワーク・アナライザ(「対応ネットワーク・アナライザ」を参照)
- PC(「PCの要件」を参照)
- 選択した測定手法に適したフィクスチャ

必要なセキュリティ・キー

- オプションUL8 USBソフトウェア・セキュリティ・キー

オプション100¹

フリースペース校正オプション：フリースペース測定法用のゲートッド反射ライン校正手法を実現します。

オプション200¹

Arch Reflectivityソフトウェア：NRLアーチ測定を自動化するソフトウェア・プログラム。

オプション300

Resonant Cavityソフトウェア：共振キャビティ測定を自動化するソフトウェア・プログラム。

アップグレード

85071EU-071

旧バージョンの85071ソフトウェアからのアップグレード

85071EU-100¹

既存のソフトウェアへのフリースペース校正オプションの追加

85071EU-200¹

既存のソフトウェアへのArch Reflectivityソフトウェアの追加

85071EU-300

既存のソフトウェアへのResonant Cavityソフトウェアの追加

対応ネットワーク・アナライザ

対応ネットワーク・アナライザのリストについては、以下のPDFファイルをご覧ください：

<http://na.tm.keysight.com/materials/SupportedVNAs.pdf>

PC要件

- Windows XP、Windows 7
- Keysight IOライブラリ
- DVDドライブまたはインタフェース接続(ソフトウェアのロード用)

PNAおよび新しいENAシリーズのネットワーク・アナライザでは、ソフトウェアをアナライザに直接インストールできるので、PCはオプションです。他のアナライザはすべて、 GPIB/LANインタフェース・カードを装着したPCが必要です。LANは、PNA、新しいENA、FieldFoxモデルでサポートされています。GPIBは、新しいPNAおよびENAモデルでサポートされています。モデル番号およびファームウェア要件については、以下のPDFファイルをご覧ください：

<http://na.tm.keysight.com/materials/SupportedVNAs.pdf>

1. タイム・ドメイン・オプションをネットワーク・アナライザにインストールする必要があります。

オーダ情報

(続き)

伝送ライン法のサンプル・ホルダ

導波管

Keysight 11644Aシリーズ 導波管校正キットには、1/4波長のラインとサンプル・ホルダとして使用可能なストレート・セクションが含まれています。サード・パーティ・サプライヤも多数あります。導波管サンプル・ホルダの選択については、Keysightにお問い合わせください。

同軸

Keysight 8505xシリーズ ベリフィケーション・キットには、サンプル・ホルダとして使用可能なエア・ラインが付属します。サード・パーティ・サプライヤも多数あります。同軸サンプル・ホルダの選択については、Keysightにお問い合わせください。

フリースペース法/NRLアーチ法のアンテナとフィクスチャ

フリースペース法のアンテナとフィクスチャのサード・パーティ・サプライヤに関する情報は、Keysightにお問い合わせください。

ケーブルとアダプタ

サンプル・ホルダやアンテナをネットワーク・アナライザに接続するにはケーブルとアダプタが必要です。Keysightではさまざまなケーブルやアダプタを取り揃えています。詳細については、www.keysight.co.jp/find/accessories をご覧ください。

校正キット

85071E-100フリースペース校正オプション付きのPNAシリーズネットワーク・アナライザには、電子校正(ECal)モジュールをお勧めします。ECalの詳細については、www.keysight.co.jp/find/ecal をご覧ください。また、Keysightではさまざまなメカニカル同軸および導波管校正キットを提供しています。これらの詳細や適切な校正手法を選択するためのアドバイスが必要な場合は、Keysightにお問い合わせください。

無料のトライアル・デモ

85071E材料測定ソフトウェアのデモ・バージョンを2週間、評価のためにお試しいただけます。KeysightのWebサイトのwww.keysight.co.jp/find/materials から、このデモ・プログラムをダウンロードしてください。

誘電体プローブ・キットなどの材料測定製品の詳細については、www.keysight.co.jp/find/materials をご覧ください。

myKeysight

myKeysight

www.keysight.co.jp/find/mykeysight

ご使用製品の管理に必要な情報を即座に手に入れることができます。



www.keysight.com/go/quality

Keysight Electronic Measurement Group

DEKRA Certified ISO 9001:2008

Quality Management System

契約販売店

www.keysight.co.jp/find/channelpartners

キーサイト契約販売店からご購入頂けます。

お気軽にお問い合わせください。

www.keysight.co.jp/find/materials

www.keysight.co.jp/find/na

www.keysight.co.jp/find/ecal

キーサイト・テクノロジー合同会社

本社 〒192-8550 東京都八王子市高倉町9-1

計測お客様窓口

受付時間 9:00-18:00 (土・日・祭日を除く)

TEL ☎ 0120-421-345 (042-656-7832)

FAX ☎ 0120-421-678 (042-656-7840)

Email contact_japan@keysight.com

ホームページ www.keysight.co.jp

記載事項は変更になる場合があります。

ご発注の際はご確認ください。