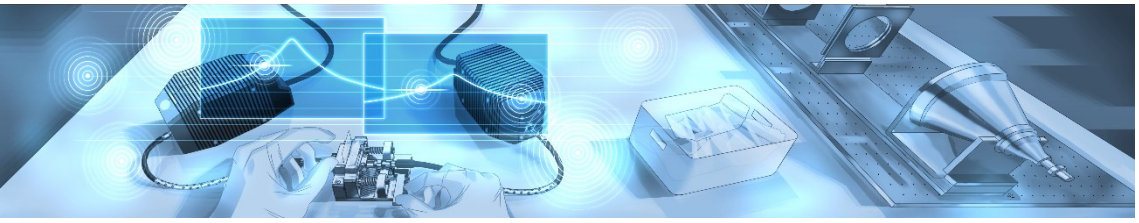
マイクロ波・ミリ波
誘電率・透磁率測定

EM labs

製品カタログ



ごあいさつ

EMラボ株式会社の柳本吉之です。

EM = Electro-Magneticな世界で、EM = εμ（誘電率・透磁率）をミリ波帯で正確に測定することが私たちの使命です。

どんな晴れ舞台にも、それを支えている裏方がいます。「材料測定」は究極の裏方かと思っております。

5G/6G無線通信、自動運転、高速デジタル通信などが「晴れ舞台」に登場しますが、それらはすべて「部品」でできており、「部品」は「材料」でできています。その「材料」の基本特性を測定する「材料測定」は究極の裏方として、 よりよい「材料」を開発・製造する方たちの大きな助けとなっており、遠くに「晴れ舞台」を臨んでいます。

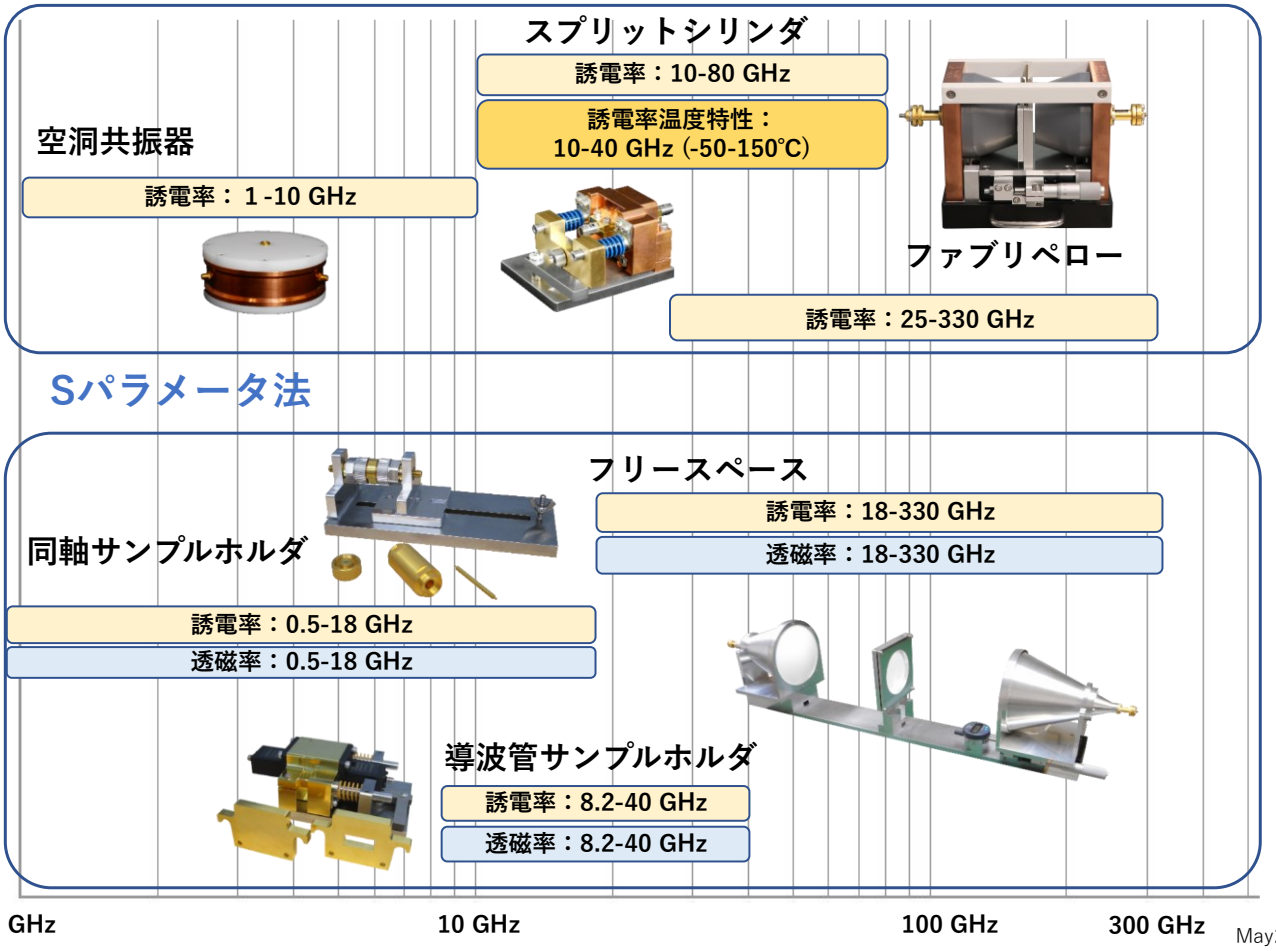
EMラボ株式会社は多種ある「材料測定」の中でも、誘電率・透磁率測定に特化しております。 先に挙げたような「晴れ舞台」ではすでにミリ波が用いられており、性能向上のために今まで以上に精度のよい測定が求められています。 過去において、ミリ波帯での誘電率・透磁率測定はとても難しい測定だと言われていました。 EMラボ株式会社はその困難に正面から挑み、克服し、手軽な操作で正確な測定値を得られる装置を提供しております。 回路基板、半導体基板、レドーム、シールド材、パッケージ、ガラス、フィルム、紙などの固体はもちろん、 接着剤、充填剤、液晶、粉体、液体の測定でもお役に立てる技術を確立し、「晴れ舞台」を応援しております。

代表取締役CEO　柳本吉之

正しい誘電率・透磁率測定のためのご提案

マイクロ波・ミリ波帯の誘電率・透磁率測定は目的に応じて適切な方法を使用する必要があります。 EMラボでは、下記の測定法について、治具やシステムの開発、製造、販売および受託測定を行っております。

共振器法



May2023

測定治具とサポートの品質へのこだわり

高確度で再現性の高い材料測定のためには、信頼性の高い治具を使用することが必須です。EMラボは、設計から製造の細部にわたり、30年以上の経験から築いてきたノウハウをつぎこんで、高い品質の治具を提供しています。 ソフトウェアは、作業者を選ばず確実に効率よく測定できることを目的に開発しています。また、お客様が製品を導入してすぐに、そして 永年にわたって、安心して正しい測定を行えるための技術サポートにも力を注いでおります。

目次

正しい誘電率・透磁率測定のためのご提案 2

共振器法製品紹介

空洞共振器 4

スプリットシリンダ共振器 5

誘電率温度特性評価システム 6

ファブリペロー共振器 7

共振器法技術概要 8

Sパラメータ法製品紹介

フリースペース法 9

導波管サンプルホルダ 11

同軸サンプルホルダ 12

Sパラメータ法技術概要 13

誘電率・透磁率 受託測定サービス 14

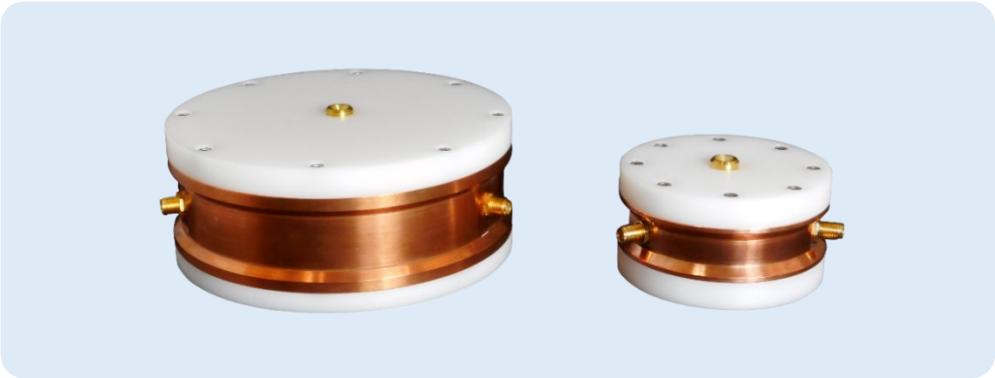
試料加工の重要性について 15

共振器法
誘電率測定用 空洞共振器

CPシリーズ
1 GHz - 10 GHz

低損失誘電材料測定の定番ソリューション

- **Tanδ 0.01以下の低損失誘電材料の評価に最適**
- **棒状の試料を上部の挿入孔から入れて測定するだけの簡単操作**
- **誘電率測定ソフトによる効率的で確実な測定**
- **堅牢なハードウェアが長年にわたり再現性の高い測定を提供**
- **粉体の測定に対応（オプション）** New!



弊社が日本で初めて販売を開始して以来四半世紀以上にわたり多くの企業や研究機関で幅広くご利用いただき、改善を重ねてきた非常に信頼性の高いソリューションです。共振器自身の極めて高いQ値（10,000以上、代表値）により、tanδ0.01以下の低損失材料の正確な評価が可能です。

さらに、測定手順がシンプルなので、効率よく再現性の高い測定が可能です。共振器上部の試料挿入孔から、棒状に加工した試料を入れて測定するだけです。測定用ソフトウェアのステップバイステップの説明にしたがって作業することで、初めて使う方でも確実に正しい測定結果を得ることができます。

システム構成例

- Keysight StreamlineシリーズUSBネットワーク・アナライザ　P5003B (14 GHz)
- 空洞共振器用 誘電率測定ソフトウェア　CP-MA
- 空洞共振器用 スターターキット　CP-ST
- 空洞共振器 1 GHz　CP-001
- Windows 10 PC
- スタートアップ

製品ラインナップ

型番	品名	共振モード	Q値（無負荷）	試料挿入孔内径	接続用コネクタ
CP-001	空洞共振器　1 GHz	TM010	10,000以上	φ2.6 mm	2.92 mm (f)
CP-002	空洞共振器　2 GHz				
CP-245	空洞共振器　2.45 GHz	TM020			
CP-003	空洞共振器　3 GHz				
CP-005	空洞共振器　5 GHz		7,000以上		
CP-580	空洞共振器　5.8 GHz				
CP-010	空洞共振器　10 GHz		6,000以上		

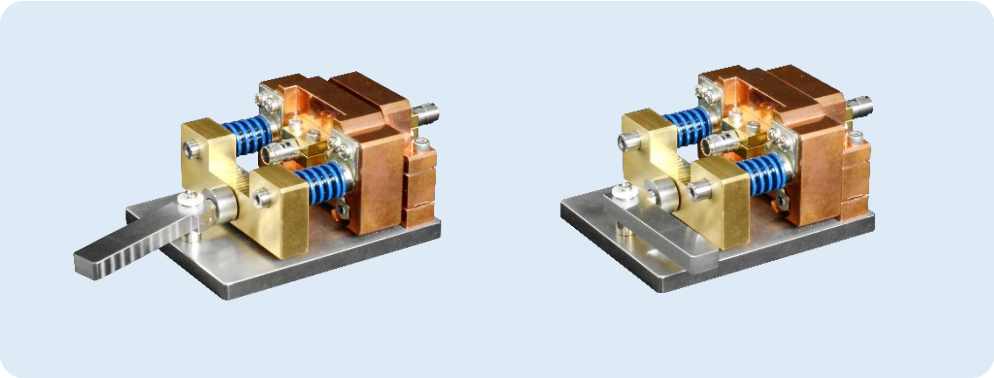
共振器法

誘電率測定用 スプリットシリンダ共振器

CRシリーズ
10 GHz - 80 GHz

ミリ波低損失誘電体フィルム測定の決定版

- **Tan δ 0.01以下の低損失誘電材料の評価に最適**
- **優れた治具構造によりミリ波帯でも簡単で再現性の良い誘電率測定を実現**
- **誘電率測定ソフトによる効率的で確実な測定**



5Gや自動車レーダーによってミリ波帯の材料市場は大きく変化しています。この市場で成功していくための重要なツールとして、優れた材料を精度良く評価できる測定系が必要とされています。

スプリットシリンダ共振器はこの市場要求に応え、使いやすく正確な誘電材料測定を提供します。加工が楽な平板試料を用いて、10 GHzから80 GHzまで広い周波数範囲において、簡単に再現性の良い測定を行えるようになりました。試料をバネで押さえるため、作業者が変わっても測定結果に影響はありません。

システム構成例

- Keysight StreamlineシリーズUSBネットワーク・アナライザ　P5007B (44 GHz)
- スプリットシリンダ用誘電率測定ソフトウェア　CR-MA
- 2.4 mm テストケーブル
- スプリットシリンダ共振器 40 GHz　CR-740
- Windows 10 PC
- スタートアップ

製品ラインナップ

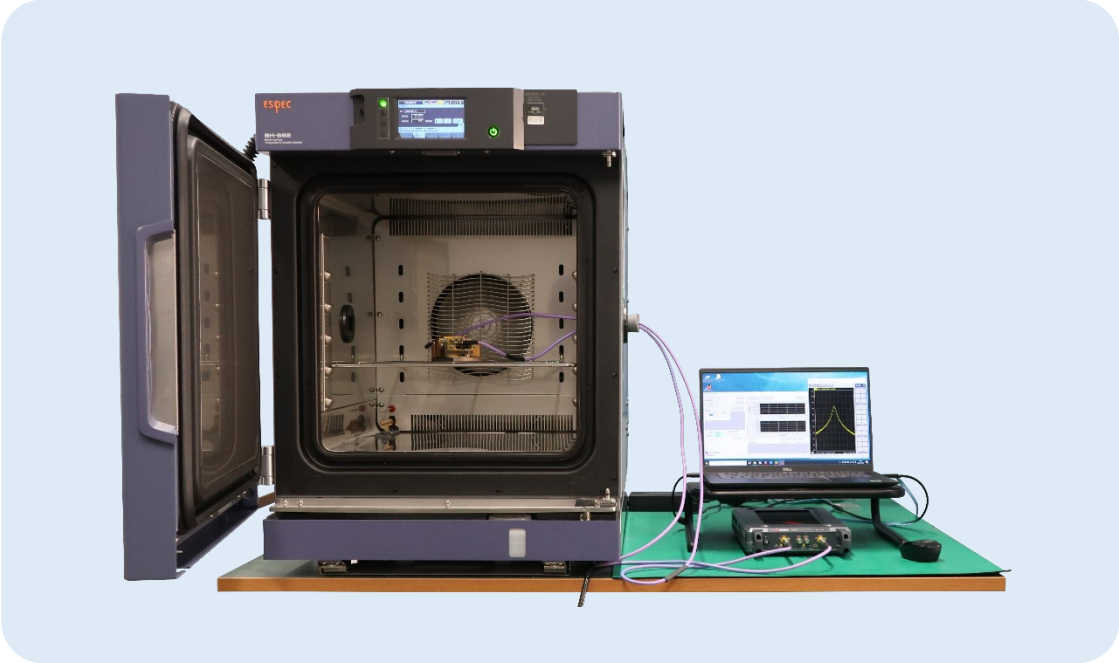
型番	品名	共振モード	Q値（無負荷）	接続用コネクタ
CR-710	スプリットシリンダ共振器 10 GHz	TE011	20,000以上	2.92 mm (f)
CR-720	スプリットシリンダ共振器 20 GHz		14,000以上	
CR-724	スプリットシリンダ共振器 24 GHz			
CR-728	スプリットシリンダ共振器 28 GHz			
CR-735	スプリットシリンダ共振器 35 GHz		1 0,000以上	
CR-740	スプリットシリンダ共振器 40 GHz			
CR-750	スプリットシリンダ共振器 50 GHz		7 ,000以上	2.4 mm (f)
CR-760	スプリットシリンダ共振器 60 GHz		6 ,000以上	1.85 mm (f)
CR-780	スプリットシリンダ共振器 80 GHz			1 mm (f)

CR-TCシリーズ
10 GHz - 40 GHz

誘電率温度特性評価システム

- **10～40 GHzのスプリットシリンダを使用して -50℃～150℃の範囲で評価可能**
- **測定条件を入力すれば、あとはPCがアナライザと環境試験器を制御して自動測定**
- **初めてでも結果が出せる、温特測定のノウハウをつぎ込んだハードとソフト**

材料に対する性能要求が厳しくなることにともない、実動作状態での性能確認がますます重要になっています。 その一方で、広い温度範囲で信頼性の高い誘電率評価を行うことは非常に困難でした。50種類以上のサンプル評価を通して 得られた測定ノウハウをつぎ込んで、装置導入後すぐに有用な結果が出せるシステムを開発しました。



システム例

注意：標準のスプリットシリンダは使用できません。（アップグレード可能です。）

- Keysight StreamlineシリーズUSBネットワーク・アナライザ　P5007B (44 GHz)
- スプリットシリンダ温特評価ソフトウェア　CR-TC
- 温特システム用同軸ケーブルセット　CR-TC-CB
- スプリットシリンダ共振器 40 GHz　温特対応　CR-740-TC
- Windows 10 PC
- エスペック社 環境試験器　SH-662
- スタートアップ

製品ラインナップ

型番	品名	共振モード	Q値（無負荷）	接続用コネクタ
CR-710-TC	スプリットシリンダ共振器 10 GHz　温特対応	TE011	20,000以上	2.92 mm (f)
CR-720-TC	スプリットシリンダ共振器 20 GHz　温特対応		14,000以上	
CR-724-TC	スプリットシリンダ共振器 24 GHz　温特対応			
CR-728-TC	スプリットシリンダ共振器 28 GHz　温特対応			
CR-735-TC	スプリットシリンダ共振器 35 GHz　温特対応		1 0,000以上	
CR-740-TC	スプリットシリンダ共振器 40 GHz　温特対応			

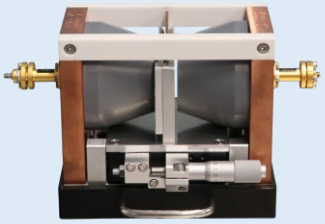
共振器法
誘電率測定用 ファブリペロー共振器

FPシリーズ
25 GHz - 330 GHz

330 GHzでも驚くほど簡単で再現性の高い測定

- **tanδ 0.01以下の低損失誘電材料の評価に最適**
- **自動測定でバンド内の周波数特性を一気に取得**
- **1周波数あたりわずか4秒の高速測定**
- **簡単設置：通常の実験室内・作業台上で測定可能**

FP-BB 25-110 GHz
ブロードバンド・モデル



FP-E/W/D/G/J
60-330 GHz
バンデッド・モデル

ファブリペロー共振器法は、スプリットシリンダ共振器ではカバーできない80 GHzを超える周波数における低損失誘電材料の評価に最適です。一部の専門家のための特殊装置のイメージが強かったファブリペロー共振器ですが、EMラボが、実アプリケーションでの使いやすさと再現性の高さに注力して開発した結果、これまでの常識を覆すソリューションが生まれました。

330 GHzという高周波でも、作業者や設置環境を選ばず、再現性の高い測定結果が得られます。除振台などは必要とせず通常の作業台に設置可能です。軽量設計（約4 kg、FP-BBは約9 kg）により移動も容易です。

どのバンドでも40 μmのポリエチレンフィルムを5回繰り返し測定（毎回試料挿抜）した時ε'およびtanδのバラツキはそれぞれ±0.5%、±0.00005におさまります。試料が小さくて済むことも特長です。25 GHzで70 x 70 mm、Eバンドでも50 x 50 mmの試料を測定可能です。また試料を鉛直に設置する構造なので柔らかいフィルムでもたわみの影響を抑えることができます。

システム構成例

- Keysight PNAミリ波テストシステム(110 GHz) N5290A
- ファブリペロー用誘電率測定ソフトウェア FP-MA
- ファブリペロー共振器ブロードバンド (25 – 110 GHz) FP-BB
- 接続用ケーブル 1 mm
- Windows 10 PC
- スタートアップ

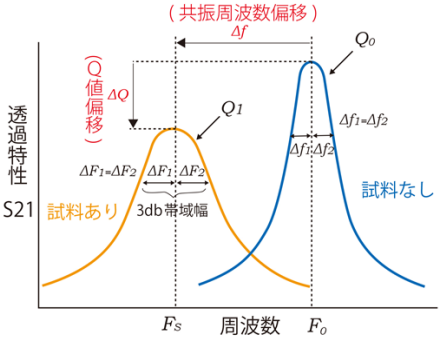
製品ラインナップ

型番	品名	共振モード	Q値	接続用コネクタ
FP-BB	ファブリペロー共振器ブロードバンド (25 - 110 GHz)	TEM	100,000以上	1mm(f)
FP-E	ファブリペロー共振器　Eバンド (60-90 GHz)			WR12
FP-W	ファブリペロー共振器　Wバンド (75-110 GHz)			WR10
FP-D	ファブリペロー共振器　Dバンド (110-170 GHz)			WR 6.5
FP-G	ファブリペロー共振器　Gバンド (140-220 GHz)			WR 5.1
FP-J	ファブリペロー共振器　Jバンド (220-330 GHz)			WR 3.4

共振器法 誘電率測定 技術概要

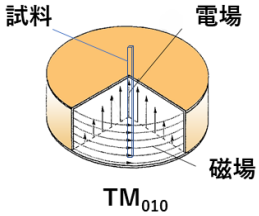
共振器法では、測定試料を共振器に入れたことによる共振の変化から材料パラメータを求めます。周波数の変化から誘電率が、Q値の変化から誘電損が求まります。低損失試料の挿入によるわずかな損失変化も、大きなQ値の変化をもたらすため、正確に評価できることが大きなメリットです。

共振器法は、測定周波数に応じてさらにいくつかの手法に分類されます。以下に、弊社が提供する各種共振器を特徴づける要素技術を説明します。



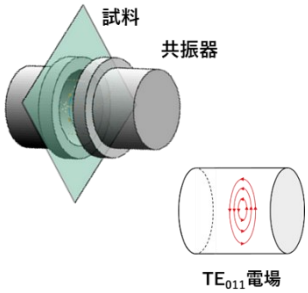
1 GHz測定のスタンダード空洞共振器 CPシリーズ

CPシリーズでは空洞共振器に生じるTM010/020モード共振を用いて1 GHzから10 GHzの誘電率を測定します。この共振では円筒の中心部が電界最大部にあたり、そこに棒状の試料を入れることにより試料に沿った直線の電束を使用して誘電率を測定します。試料を切り出す方向を変えることで異方性を評価することが可能です。



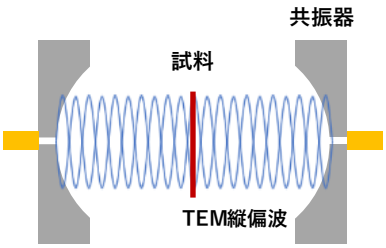
高周波に強いスプリットシリンダ CRシリーズ

共振器を中央で分割（スプリット）して、板状の試料を挟んで測定する方法は、スプリットシリンダ共振器法として知られています。CPシリーズと比べて高周波の特性に優れており80 GHzまでをカバーします。CPシリーズの場合、試料内の電束の両端に生じる不完全さにより測定誤差を生じます。この影響は試料が小さくなる高周波でより顕著です。スプリットシリンダではTE011モードの共振を使用しますが、電束が試料面内を循環するため「端」による悪影響がなく高周波まで正確な測定が可能です。



330 GHzまで周波数多点測定を可能にするファブリペロー共振器FPシリーズ

FPシリーズでは開放型の共振器に生じる直線偏波のTEMモードを使用します。330 GHzというような高周波でも実用的な大きさの治具で実現できることが第一のメリットです。（CRシリーズの延長戦上でこの周波数を実現するためには直径1mmたらずの円筒共振器を精度よく作る必要があります。）誘電率測定に好適な共振が幅広い周波数範囲に複数生じることも重要な特徴です。これをうまく活用することで一つの治具で誘電率の周波数特性を評価することが可能になります。また、直線偏波を使用していますので、試料を回転させることにより異方性が評価できます。



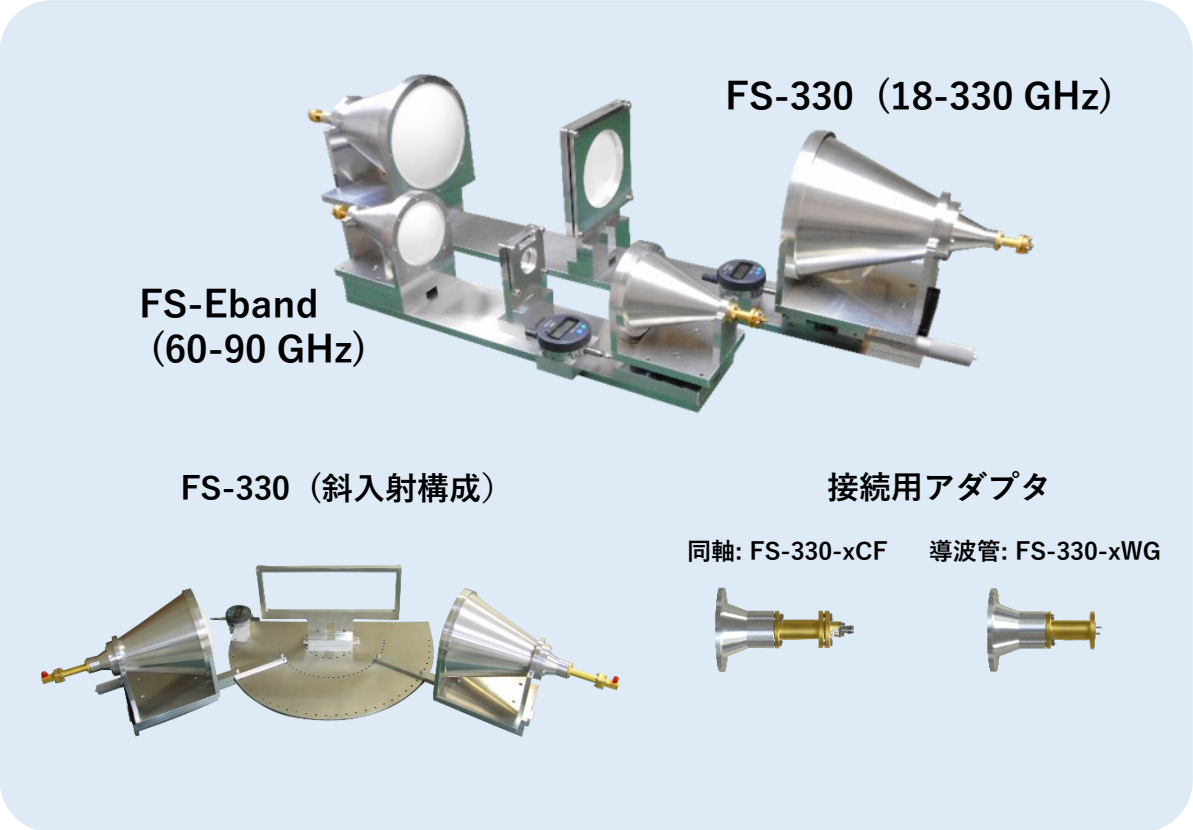
Sパラメータ法

フリースペース法 測定装置

FSシリーズ
18 GHz - 330 GHz

測定再現性の高い汎用ソリューション

- 電波暗室や吸収体なしで正確な測定が可能
- 移動や設置が楽な軽量設計
- 正確な測定を可能にする1 μm 精度のアンテナポジショナー



試料に信号を垂直入射したときのSパラメータ測定を基本としそこから計算される誘電率・透磁率の評価、更に斜入射反射特性など幅広い用途に柔軟に対応できるフリースペース法は、マイクロ波の材料評価になくてはならないものです。サイドローブが極めて小さい誘電体アンテナを用いて不要反射を抑え、電波暗室や電波吸収体なしで正確な評価を可能にした画期的なソリューションです。

また、従来は大掛かりになりがちだったメカ機構を大幅に見直し、軽量化（総重量20 kg以下）と測定精度の改善に成功しました。シンプルな構造にすることでアンテナの位置決め精度があがり、誘電率・透磁率測定に不可欠のTRL校正をより正確に実施できるようになりました。Keysight材料測定スイートN1500Aと組み合わせて効率的で信頼性の高い材料測定が行えます。

周波数バンドを切り替えても測定値にギャップが生じないこともこの装置の特長です。たとえばRバンドとUバンドでポリエチレンなど低誘電率の試料を測定した場合、ε'の最大値と最小値の差は0.05以下になります。

システム構成例

• Keysight PNA ミリ波テストシステム	N5290A (110 GHz)
• Keysight材料測定スイート	N1500A
• 1 mm テストケーブル	
• フリースペース 330 GHz	FS-330
• Wバンド1 mm (f) 接続	FS-330-WCF
• Windows 10 PC	
• スタートアップ	

製品ラインナップ

型番	品名	周波数範囲	測定ビーム径（3dB幅）	測定ビーム サイドローブ	アンテナ焦点距離
FS-330	フリースペース 330 GHz	18-330 GHz	3 λ	-30 dB	280 mm
FS-Eband	フリースペース 60-90 GHz	60-90 GHz	3 λ	-30 dB	150 mm

FS-330 主要オプション

- FS-330-OR　　斜入射反射測定対応
- 接続オプション

周波数バンド	同軸コネクタ接続	導波管接続
Kバンド (18-26.5GHz)	FS-330-KCF 2.4 mm (f) 接続	FS-330-KWG WR42 接続
Rバンド (26.5-40GHz)	FS-330-RCF 2.4 mm (f) 接続	FS-330-RWG WR28 接続
Qバンド (33-50GHz)	FS-330-QCF 2.4 mm (f) 接続	FS-330-QWG WR22 接続
Uバンド (40-60GHz)	FS-330-UCF 1.85 mm (f) 接続	FS-330-UWG WR19 接続
Vバンド (50-75GHz)	FS-330-VCF 1 mm (f) 接続	FS-330-VWG WR15 接続

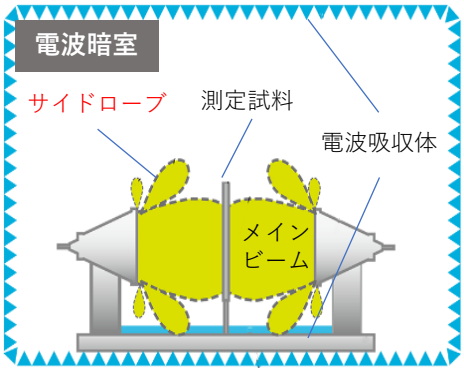
周波数バンド	同軸コネクタ接続	導波管接続
Eバンド (60-90GHz)	FS-330-ECF 1 mm (f) 接続	FS-330-EWG WR12 接続
Wバンド (75-110GHz)	FS-330-WCF 1 mm (f) 接続	FS-330-WWG WR10 接続
Dバンド (110-170GHz)	——	FS-330-DWG WR6接続
Gバンド (140-220GHz)	——	FS-330-GWG WR5接続
Jバンド (220-330GHz)	——	FS-330-JWG WR3接続

誘電体レンズアンテナのメリット

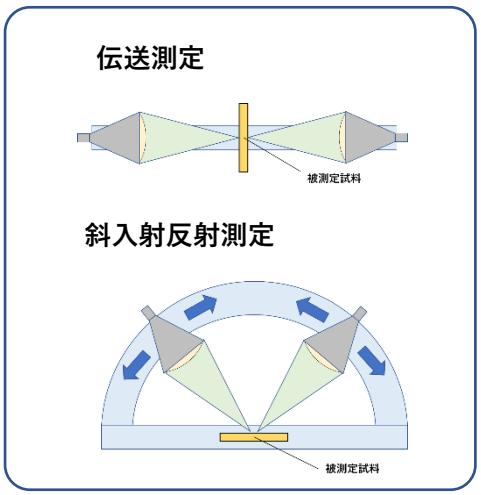
独自設計の誘電体アンテナが信号の直径を試料面で約3波長まで絞り、サイドローブを-30 dB以下に抑えます。アンテナの同軸部分から誘電体レンズまでが閉空間でつながれており電磁波の不要反射がほとんど発生しないため、周囲の電磁環境を気にすることなく材料測定に専念できます。また信号が絞られているため、試料のサイズを小さくできるメリットもあります。たとえばRバンドであれば直径35 mmの穴の開いた金属板を試料部分に置いた場合でも信号の減衰量は3dB以下におさまります。従来のように、電波暗室や電波吸収体を必要としないため、大幅なコストダウンとエンジニアリング工数の削減につながります。

斜入射反射測定においても共通のプラットフォームを使用して、不要反射の影響を受けにくい再現性の高い測定が可能です。たとえばEバンドでの不要反射はアンテナ角45度の時わずか-60dB以下です。（アンテナ正対時比）

従来技術



新技術



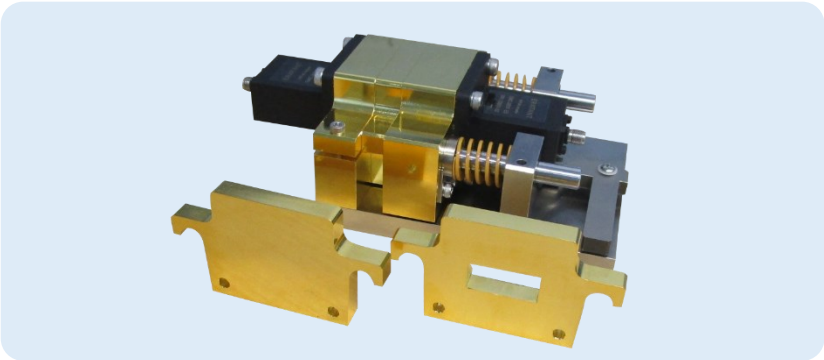
Sパラメータ法

誘電率・透磁率測定用 導波管サンプルホルダ

WSFシリーズ
8.2 GHz - 40 GHz

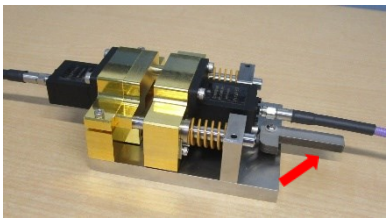
常識を打破する使いやすさと高精度！

- 少ない投資で誘電率・透磁率測定の両方を広い周波数範囲で実現
- ホルダーのワンタッチ固定で手間と誤差をカット

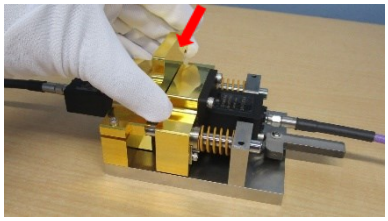


WSFシリーズサンプルホルダでは、TRL校正と試料の取り付けの全工程で、同軸コネクタ部分の移動距離は1 cm以内です。これによって、これまでにない再現性が得られます。また、ホルダーやSHORT板の固定はレバー一本の操作でできるため、効率的で作業者による値のバラツキもありません。

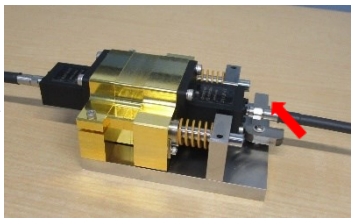
レバー解放



ホルダを挿入



レバーを締めて固定



システム構成例

- Keysight StreamlineシリーズUSBネットワーク・アナライザ　P5007A (44 GHz)
- Keysight材料測定スイート　N1500A
- 導波管サンプルホルダ　WSF-R (26.5 – 40 GHz)
- 接続用ケーブル 2.92 mm
- Windows 10 PC
- スタートアップ

製品ラインナップ

型番	WSF-X	WSF-P	WSF-K	WSF-R
周波数 (GHz)	8.2-12.4	12.4-18	18-26.5	26.5-40
導波管規格	WR90	WR62	WR42	WR28
ホルダ内寸（横 x 縦 mm）	22.86 x 10.16	15.80 x 7.90	10.67 x 4.32	7.11 x 3.56
ホルダ長 (mm)	7.5	5	3.5	2.5
接続用コネクタ	2.92 mm (f)			

Sパラメータ法

誘電率・透磁率測定用 同軸サンプルホルダ

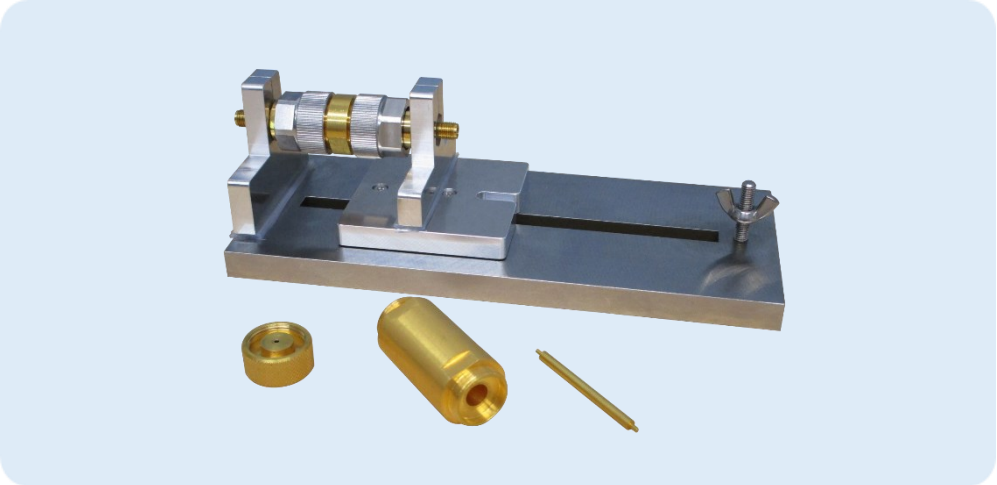
CSFシリーズ
0.5 GHz - 18 GHz

広帯域・低価格ソリューション

- **1台で0.5～18 GHzまでカバー**
- **高精度の機械加工による高い治具品質**
- **ホルダ固定用のスタンドにより作業性と再現性が大幅に向上**

比較的少ない投資で誘電率・透磁率測定の両方を広い周波数範囲で実現できます。
Keysight材料測定スイート N1500Aと組み合わせて効率的で信頼性の高い材料測定が行えます。

装置の取り扱いにより誤差や不具合を生じる可能性が高いため、 高周波におけるケーブルやコネクタの扱いに慣れた方向けの装置です。



システム構成例

- Keysight StreamlineシリーズUSBネットワーク・アナライザ　P5004A (20 GHz)
- Keysight材料測定スイート　N1500A
- Keysight 校正キット　7 mm　85050D
- 同軸サンプルホルダ　CSF-APC7 (0.5 – 18 GHz)
- 接続用ケーブル 3.5 mm
- Windows 10 PC
- スタートアップ

製品ラインナップ

型番	CSF-APC7
周波数 (GHz)	0.5-18
ホルダ外導体内径 (mm)	7.00
ホルダ中心導体外径 (mm)	3.04
ホルダ長 (mm)	10, 40
接続用コネクタ	3.5 mm (f)

注：別途7 mm校正キットを用意してフル 2 ポート校正を実行する必要があります。

Sパラメータ法 誘電率・透磁率測定 技術概要

測定対象の材料を含む伝送路のSパラメータを元に誘電率・透磁率を求めることができます。材料を自由空間に設置して測定するフリースペース法と、同軸線路や導波管などの閉じた空間に材料を挿入して測定するサンプルホルダー法に大別されます。いずれも材料の周波数特性を評価するのに最適です。また、損失の比較的大きい試料やフィルム状に加工することが難しい試料の測定に有効です。

一方で、損失測定の精度がネットワーク・アナライザの測定精度に直接依存するため低損失材料の評価には制限があります：Tan δ 0.01あたりが測定限界の目安です。（低損失材料の評価には共振器法が有効です。）

Keysight材料測定スイート N1500Aと組み合わせることで、効率的で信頼性の高い材料測定が行えます。N1500Aは、さまざまなアルゴリズムに対応していますが、その中でも代表的なものを以下に示します。

N1500A	モデル名	測定Sパラメータ	材料パラメータ	概要
Reflection/ Transmission Mu and Epsilon	Nicholson-Ross-Weir (NRW)	S11, S21, S12, S22	ε_r μ_r	NicholsonとRossによって開発され、のちにWeirによって、Sパラメータから誘電率と透磁率を計算するためにネットワーク・アナライザに適用されました。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。フェライトや電波吸収体などの磁性材料の評価に最適です。
Reflection/ Transmission Epsilon Precision	NIST Precision	S11, S21, S22	ε_r	Sパラメータ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。比較的厚みのある低損失誘電材料サンプルに最適です。
Transmission Epsilon Fast	Fast Transmission	S21, S12	ε_r	誘電率を予測し、その予測値から計算されるSパラメータと実測値の差が、所定の値より小さくなるまで最小化を繰り返します。S21とS12、またはその平均値を使用します。比較的厚みのある低損失誘電材料や、反射測定の顕著な誤差が避けられない場合に最適です。

誘電率・透磁率受託測定サービス

- 測定要求に応じて最適な測定方法を提案
- 330 GHzまで最新の測定系を完備
- エキスパートによる確実な測定

お気軽にお問い合わせください

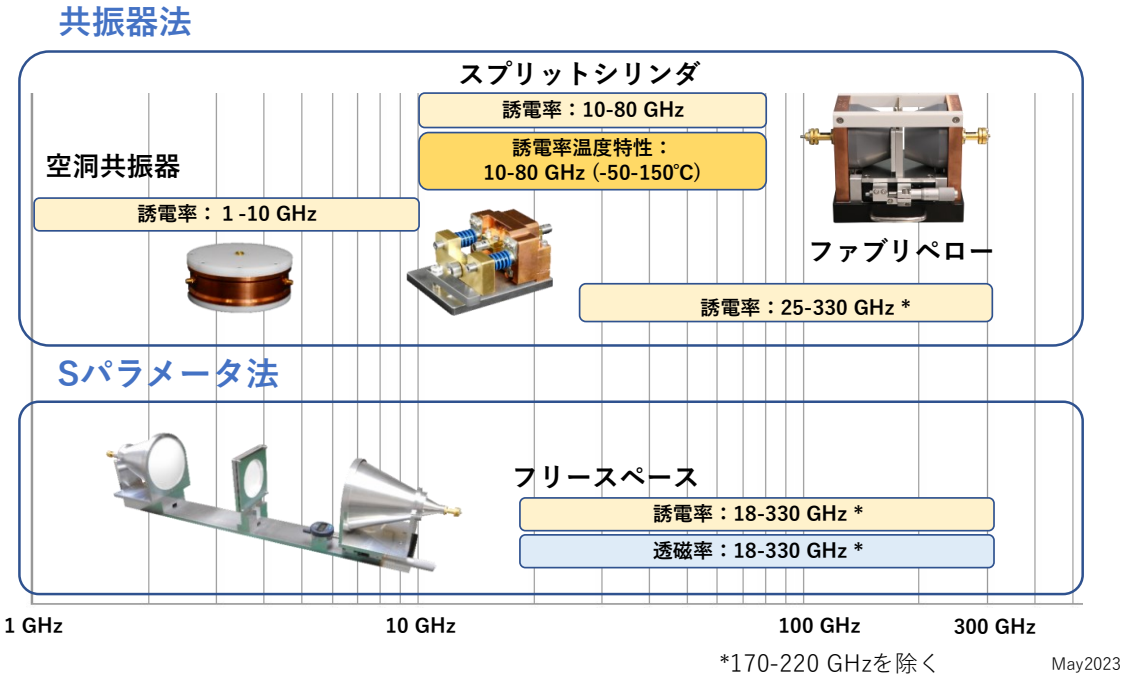
電話：050-5370-0262
メール：info@emlabs.jp

豊富な測定ラインナップ

周波数と評価パラメーターに応じて以下の２つの測定方法を提供しております。
共振器法を用いた誘電率測定は測定確度が高く、特に低損失材料（tan δ <0.01が目安）の評価になくてはならないものです。ただし、共振周波数での測定に制限されます。

共振器法 測定周波数一覧 (GHz)	**空洞共振器：** 1, 2, 2.45, 3, 5, 5.8, 10 **スプリットシリンダ：**10, 20, 24, 28, 35, 40, 50, 60, 80 **ファブリペロー：**Broadband (25-110), Eband(60-90), Wband(75-110), Dband(110-170), Jband(220-330)

一方、**Sパラメータ法（フリースペース法）**は周波数特性を評価するのに有効です。また、誘電率・透磁率測定だけでなく斜入射による電波吸収体の反射特性などにも対応しています。材料の透過特性の評価にも適しています。液体の評価も行っています。



*170-220 GHzを除く　May2023

10～80 GHz 誘電率の温度・温湿度特性評価

マイクロ波帯でのアプリケーションの広がりに伴い重要度がますます高まる一方で、正確な評価が難しいのが温湿度特性の評価です。スプリットシリンダ共振器法をベースに、正確な測定を実現しています。

誘電率温度特性　対応可能範囲	誘電率温湿度特性の対応可能範囲
周波数： 10, 20, 24, 28, 35, 40, 50, 60, 80 GHz 温度範囲：　-50°C~150°C	周波数： 10, 28, 40 GHz 温度範囲：　詳しくはWebサイトをご覧ください。

粉体・液体の誘電率評価もご相談ください。

試料加工の重要性について

適切な試料加工が正確な測定の第一歩です

共振器法、Sパラメータ法、いずれの方法も測定治具に合わせて試料を加工する必要があります。誘電率・透磁率の計算に試料のサイズを使用するので、試料サイズの計測誤差は誘電率・透磁率の測定値に直接影響します。したがって、材料特性を正確に評価するためには、サイズを正確に把握する必要があります。また、サイズを正確に把握するためには、棒状であれば断面積が均一であること、板状であれば厚さが均一であることが理想です。

空洞共振器用の材料加工概要

試料を棒状に加工することが基本です。推奨サイズは以下の通りです。また、異方性がある試料の場合、試料を切り出す方向を変えることで、異方性による誘電率の違いが評価できます。

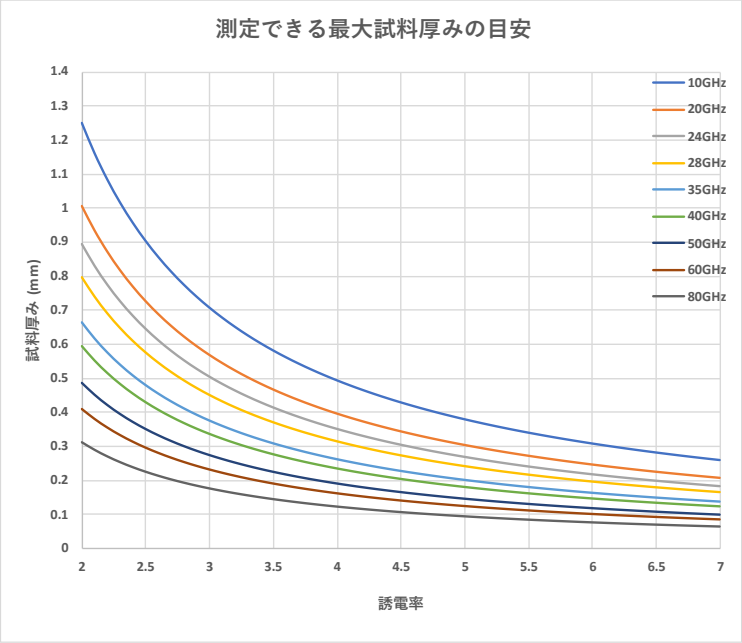
空洞共振器 推奨試料サイズ

共振器	断面 (mm)	長さ (mm)
1- 5.8 GHz	1.5 x 1.5	80
10 GHz		60

スプリットシリンダ用の材料加工概要

試料を板状に加工する必要があります。材料の特性と測定周波数によって適切な厚さと大きさが決まります。

厚さ: 100μm程度を推奨しています。右のグラフはスプリットシリンダで測定できる最大厚みの目安を表しています。誘電率が大きいほど、また、周波数が高いほど試料を薄く加工する必要があります。ロスが0.01程度以上ある場合さらに薄い試料が必要になることがあります。一方、試料が薄くなると（例えば10μm）厚さ測定の誤差が目立つようになり、結果的に誘電率測定の誤差が大きくなることにも注意が必要です。詳細はお問い合わせください。



大きさ：

スプリットシリンダ推奨サイズ

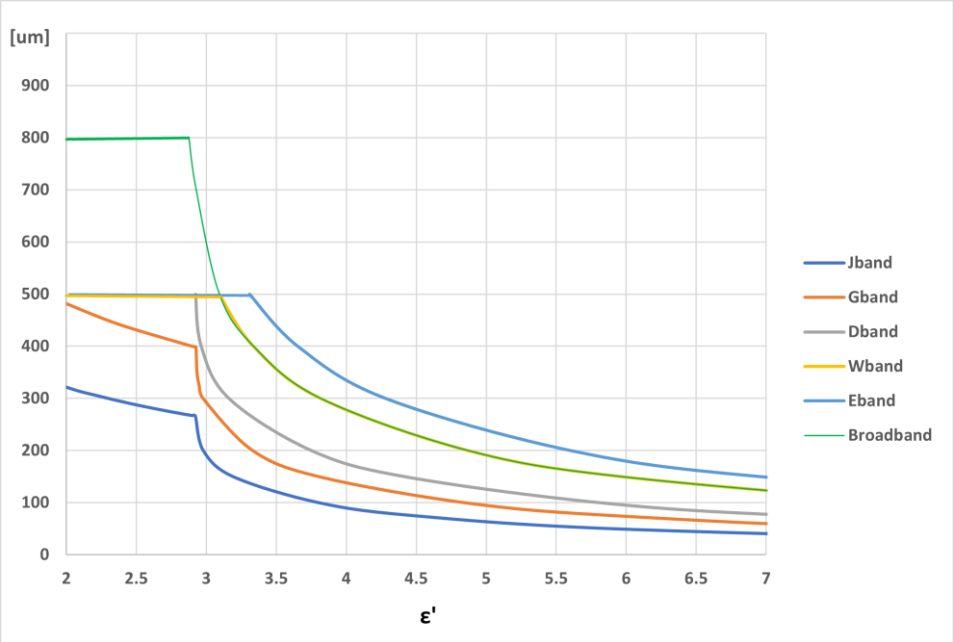
共振器	短辺 (mm)	長辺 (mm)
10 GHz	62	75
20-80 GHz	34	45

ファブリペロー共振器用の材料加工概要

試料を板状に加工する必要があります。材料の特性と測定周波数によって適切な厚さと大きさが決まります。

厚さ: 厚さの適正値は誘電特性と使用する共振器に依存しますが、100μm が 目安になります。周波数が高くなるほど、また、誘電率が高くなるほど試料を薄く加工する 必要があります。 各装置の測定周波数範囲内全域で正しく測定できる最大試料厚をグラフに示します。これより厚い試料についてはお問い合わせください。 また、損失の大きい試料（tanδ>0.01 が目安）の場合は更に薄い試料が必要になります。

測定できる試料厚と誘電率の関係



大きさ：

ファブリペロー推奨サイズ

共振器	正方形 (mm)
E/W/D/G/Jband	50
Broadband	65

フリースペース法の材料加工概要

試料を平坦な板状に加工する必要があります。測定周波数と材料の誘電率・透磁率に応じて推奨サイズが変わります。

厚さ： 誘電率測定の場合は2分の１波長以上を目安に作成しやすい厚さにすることを推奨します。 透磁率測定の場合は4分の１波長が最適です。 試料が厚くなると共振により測定できなくなりますので2分の1波長より十分薄くすることを推奨します。（いずれの場合も試料内の波長短縮*を考慮する必要があります。）

*試料内の波長短縮＝$\frac{1}{\sqrt{\varepsilon'\mu'}}$ （ε'：比誘電率, μ'：比透磁率）

大きさ： 直径6波長以上が推奨されます。また、直径60 mm以上にすると治具への固定が容易です。

会社名	EMラボ株式会社
事業所	〒 653-0842 兵庫県神戸市長田区水笠通1-4-13 TEL050-5370-0262 Mail: info@emlabs.jp　Web site: www.emlabs.jp
代表者	柳本 吉之
資本金	4,100万円
設立	1982年3月1日
事業内容	マイクロ波測定 治具・システム開発製造、受託測定、およびコンサルティング ・誘電材料・磁性材料評価装置 ・ネットワークアナライザ用測定治具 ・インピーダンスアナライザ用測定治具
主な保有設備	ネットワークアナライザ N5290A (10 MHz - 110 GHz) P5007A (100 kHz - 44 GHz) N5262BW06 (周波数拡張モジュール110-170 GHz) N5262BW03 (周波数拡張モジュール220-330 GHz)

記載事項は変更になる場合があります。
ご発注の際にはご確認ください。

© EMラボ、2023

2023年11月