



取扱説明書

CP シリーズ空洞共振器

EM ラボ株式会社

2020年9月12日

目次

第1章	製品概要	2
	共振器の外観と構造	2
	製品仕様	3
	付属品・アクセサリ	3
第2章	測定	4
	試料の準備	4
	加工サイズについて	4
	サイズの計測について	4
	薄膜の場合	5
	測定手順	5
	測定開始前の確認事項	6
	接続方法	6
	正確な測定のために	7
	測定原理	9
第3章	メンテナンスと修理	10
	特性の安定したサンプルによる測定値の確認	10
	日々のクリーニング	10
	挿入孔チューブのクリーニング手順	10
	おかしいと思ったら	10
	共振器のQ値が低くなった	10
	誘電率測定値のバラツキが大きい	10
	修理	10

初版：2020年4月6日

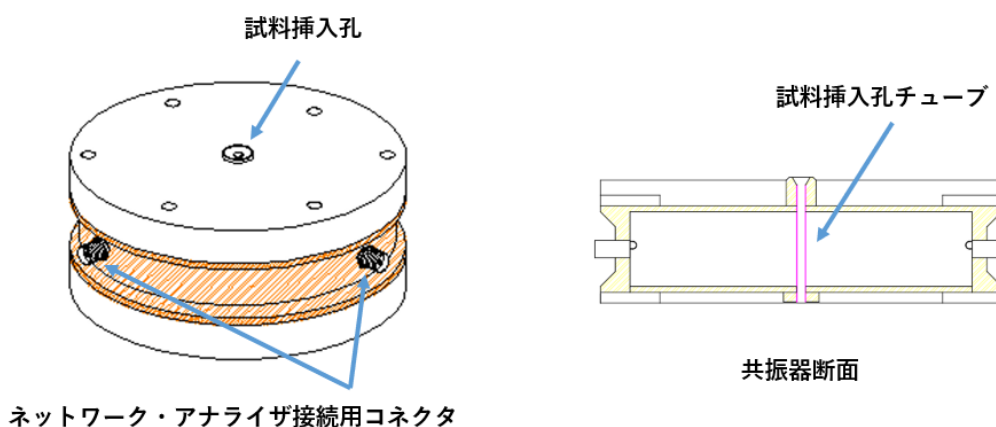
第1章 製品概要

ここでは、製品の概要を説明します。

CP シリーズ空洞共振器は、ネットワーク・アナライザに接続し、摂動法を用いて複素比誘電率を測定するために設計された共振器です。低損失誘電材料を正確に測定するため、本体の損失は極めて小さく抑えられています。また、試料を簡単に挿抜できるため効率良く測定できます。誘電率測定ソフトウェアの指示にしたがって測定を進めることができます。

共振器の外観と構造

共振器は、下図のとおり、上面中央部に円筒形の試料挿入孔があります。また、側面にはネットワーク・アナライザを接続するための同軸コネクタが2個あります。内部は空洞ですが、中央に、試料を挿入するための樹脂製チューブがあります。挿入孔は共振器の下面を貫通していますので、長い試料であっても所定の部分の誘電率を測定できます。



製品仕様

型番	共振特性			試料挿入孔	VNA 接続用コネクタ
	周波数 (MHz)	無負荷 Q	モード		
CP-001	1,000 ± 100	10,000 以上	TM010	φ 2.6 mm	2.92 mm(メス)
CP-002	2,000 ± 150	10,000 以上	TM010		
CP-245	2,450 ± 150	10,000 以上	TM020		
CP-003	3,000 ± 200	10,000 以上	TM020		
CP-005	5,000 ± 300	7,000 以上	TM020		
CP-580	5,800 ± 300	7,000 以上	TM020		
CP-010	10,000 ± 700	6,000 以上	TM020		

付属品・アクセサリ

共振器に付属品はありません。スターターキット (CP-ST) の内容品は以下の通りです。

同軸ケーブル 2.92mm(オス)-(オス) x 2

石英サンプル x 1

第2章 測定

ここでは、主に実際に測定を進める方法について説明します。また、参考情報として章末に測定原理の概要を記載します。

試料の準備

測定治具に合わせて試料を棒状に加工する必要があります。誘電率の計算に試料のサイズを使用するので、サイズを正確に把握することが重要です。また、サイズを正確に把握するためには、断面積が均一であることが理想です。適切に試料を加工することが正確な測定の第一歩です。

加工サイズについて

試料挿入孔に無理なく収まる範囲で出来るだけ太く加工することが基本です。摂動法の原理上、共振器内の試料の体積が大きいほど、測定のバラツキが小さくなります。推奨サイズは以下の通りです。

共振器タイプ	試料挿入孔	断面 (mm)	長さ (mm)
1 - 5.8 GHz	φ 2.6 mm	1.5 x 1.5	80
10 GHz			60

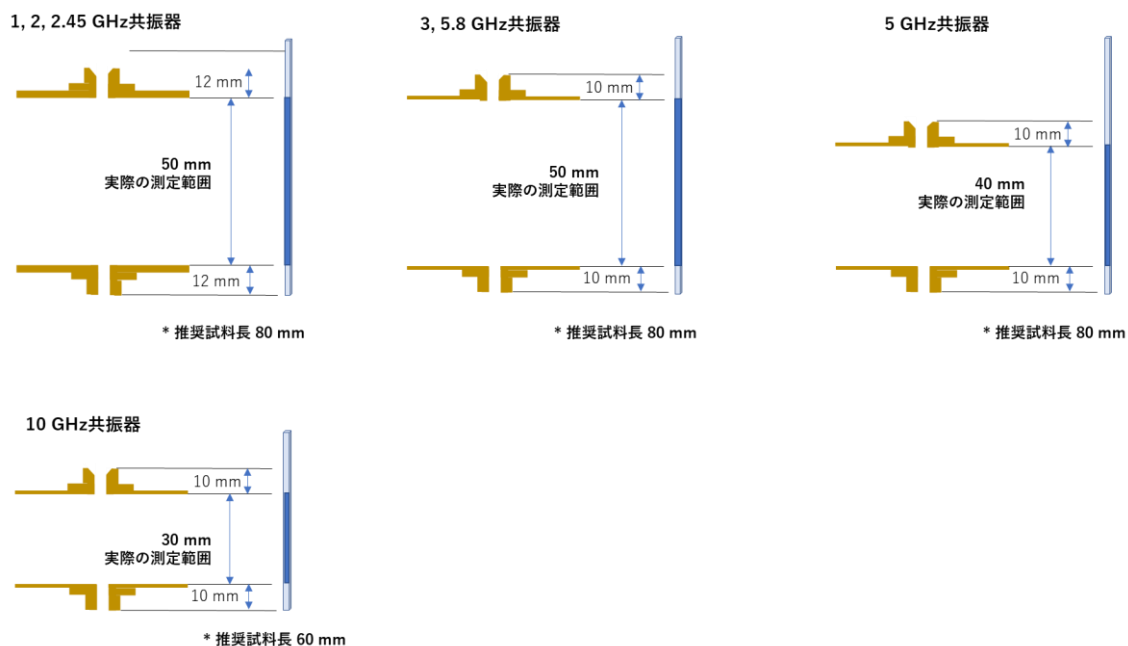
注記

試料が太すぎると、試料挿入孔のチューブを破損する恐れがあります。挿入孔の直径を超えないように試料を加工してください。

サイズの計測について

実際に誘電率測定を行う際には、測定ソフトの指示にしたがって、試料断面のサイズを長方形（縦・横）または円形（直径）として入力します。そのために試料のサイズを事前に計測する必要があります。入力値の誤差が、そのまま誘電率測定の誤差になりますので、正確な計測が必要です。

試料の加工状況にもよりますが、一般的には3～5カ所をマイクロメータなどで計測して平均値を用いることを推奨します。その際、実際に誘電率測定に使用される部分のサイズを計測することが重要です。使用される部分の具体的な位置は以下の図を参照ください。（図は、共振器の断面と対応する試料を表しています。試料中の赤斜線部分が誘電率測定に寄与する範囲です。）



薄膜の場合

薄膜状の試料をそのまま測定すると、試料の体積が小さいため、誘電率測定値のバラツキが大きくなる可能性があります。バラツキが許容できない場合は、以下の方法で体積を増やして測定してみてください。

- ・ 薄膜を適切な幅に切り棒状に丸めて測定する：試料が柔軟な場合に有効です
- ・ 薄膜を複数枚まとめて測定する：試料が硬質な場合に有効です

いずれの場合も、計測ソフトに試料サイズを入力する場合は、1本の角棒もしくは丸棒に換算した値を入力してください。その際、材料間の空気の間隙は無視して、材料の体積のみを計算してください。

また、柔らかい薄膜はそのままでは挿入孔に入れることが困難な場合があります。多くの場合、試料下部におもりを付けることで解決できます。その際、おもりが測定部分にかからないように注意が必要です。挿入孔は共振器下面を貫通していますので、おもりを共振器の外に出すことができます。

測定手順

誘電率測定ソフトウェアを開始し、画面の指示に従って、測定を実施します。詳しい手順については、ソフトウェアのマニュアルを参照してください。ここでは、測定中の共振器および試料の取り扱いに関する注意を中心に、正しく測定するために知っておくべきことを説明します。

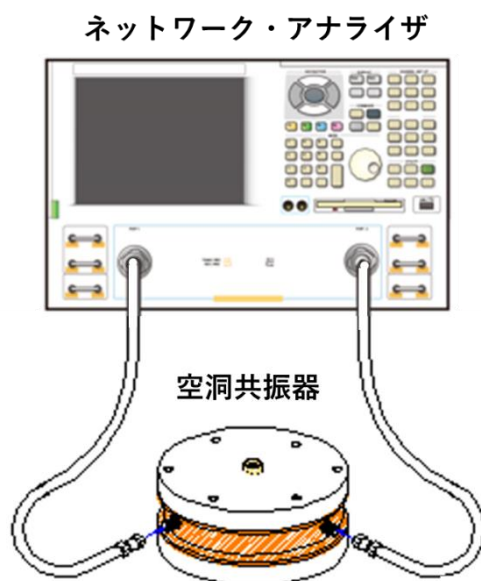
測定開始前の確認事項

誘電率測定ソフトを開始して実際の測定を始める前に、以下の準備が整っていることを確認してください。

- ・ 共振器の温度が安定していること。少なくとも実際の測定環境に設置後 30 分以上経ってから測定開始することを推奨します。
- ・ ネットワーク・アナライザは十分ウォームアップされていること。(各ネットワーク・アナライザの推奨時間に準拠)
- ・ 試料のサイズが計測・記録されていること。
- ・ コネクタ接続のためのトルクレンチ、スパナが用意されていること。必要に応じて、試料を扱うためのピンセットや手袋が用意されていること。

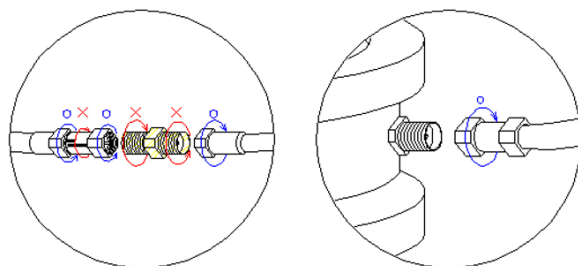
接続方法

ネットワーク・アナライザのテストポートと空洞共振器を 2 本の測定ケーブルを用いて接続し、誘電率測定を行います。



注記

コネクタを接続において、ネジを締め付ける際にトルクレンチを使用して適正なトルクをかけることが重要です。過剰なトルクはコネクタの破損につながります。トルク不足は測定誤差を生じます。また、オス型コネクタのナット部分だけを回転するように注意してください。中心導体が回転するとコネクタの摩耗や破損につながります。



正確な測定のために

空洞共振器摂動法は、高い精度で誘電率を測定できる方法です。その性能を十分生かすためにはいくつか気を付けるべきポイントがあります。

温度について

空洞共振器は温度によって共振特性が変化するため、測定中の大きな温度変化を避ける必要があります。主な注意点を示します。

- 共振器本体に触れない：測定中は共振器に触れないように注意してください。体温による温度変化が大きな誤差を生じます。試料の挿抜の際にも、共振器に手が触れないように注意してください。
- 空調の吹き出し口に注意：空調が直接共振器にあたらないように注意してください。空調の変化が測定誤差を生じる可能性があります。
- 共振器を測定環境になじませる：保管場所と測定場所が異なる場合、測定の 30 分前には測定場所に設置することを推奨します。

測定ケーブルについて

測定中はケーブルを動かさないように注意してください。共振器をネットワーク・アナライザに接続してから測定終了まで、ケーブルに触れないことを推奨します。また、共振器本体の移動も避けるようにしてください。

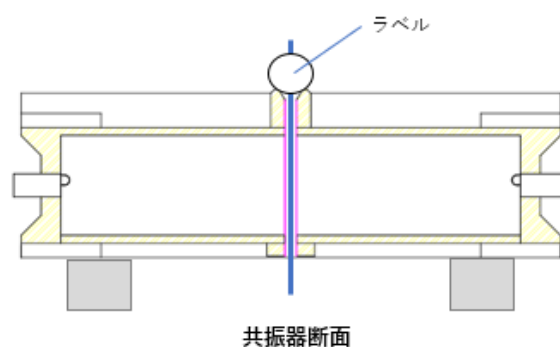
振動について

1 GHz, 2.45 GHz, 3 GHz の 3 機種については、測定中に共振器に機械的な振動を与えないように注意する必要があります。体を感じるレベルの振動はできるだけ避けてください。共振器を置いた机から伝わる振動への注意も必要です。ネットワーク・アナライザの測定波形が機械振動によって揺れないことが目安になります。

さらに再現性を向上するために

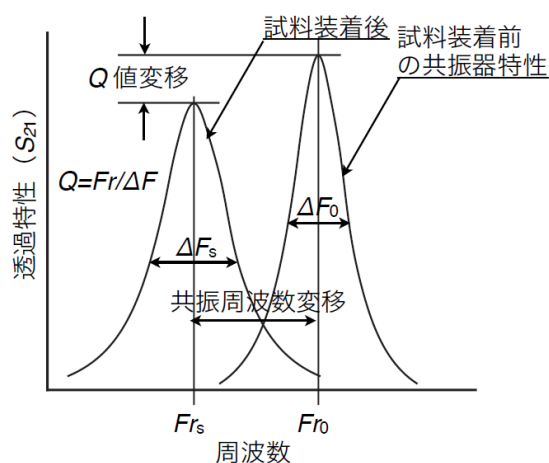
通常の測定においては、挿入孔内の試料の位置を気にする必要はありません。上記の諸注意（温度・ケーブル・振動）などに十分配慮した上で、さらに再現性を向上させる必要がある場合、試料の位置にも配慮が必要ことがあります。測定条件にもよりますが、誘電率 0.1% 以内、 $\tan \delta$ 0.00001 以内のバラツキを目指す場合には、試料の位置にも配慮する価値があります。試料の位置決めによって、このような高い再現性が保証されるわけではない点をご理解ください。

位置決めの具体的な方策は以下のとおりです。下図のとおり、試料に丸い円盤状のラベルを張り付け、挿入孔から試料を吊るすことで自動的に挿入孔の中央に試料が位置決めされます。必要に応じて共振器の下に台を使用してください。



測定原理

ここでは空洞共振器摂動法による誘電率測定原理を概説します。この測定方法では、空洞共振器内に測定対象となる誘電材料を挿入することによる共振状態の変化（すなわち摂動）から複素比誘電率を測定します。誘電材料が入ったことにより、共振器は等価的に大きくなり、共振周波数が低くなります。この変化から試料の誘電率が求まります。また、誘電材料の損失分により共振器の損失が増加し、Q 値が低くなります。この変化から試料の誘電損が求まります。（下図参照）



具体的には、比誘電率の実数部 (ϵ') と虚数部 (ϵ'') は次の摂動公式で与えられます。

$$\epsilon' = 1 + \frac{S_c}{\alpha \cdot S_s} \cdot \frac{Fr_0 - Fr_s}{Fr_0}, \quad \epsilon'' = \frac{S_c}{2\alpha \cdot S_s} \cdot \left(\frac{1}{Q_s} - \frac{1}{Q_0} \right)$$

$$\tan \delta = \frac{\epsilon''}{\epsilon'}$$

Fr_0 、 Q_0 : 共振器単体の共振周波数と無負荷 Q

Fr_s 、 Q_s : 試料挿入時の共振周波数と無負荷 Q

S_c : 共振器の断面積

S_s : 試料の断面積

α : 共振モードによって決まる定数

共振周波数 (F) および Q 値は、いずれもネットワーク・アナライザによる伝送特性 (S_{21}) の測定結果から求めることができます。これらの式から、試料の断面積が大きいほど、共振周波数や Q 値が大きく変化することが分かります。つまり、材料の断面積が大きいほど測定は容易になります。また、試料サイズの計測誤差が誘電率の測定結果に大きな影響を与えることも明らかです。

第3章 メンテナンスと修理

ここでは日々のメンテナンスと異常が発生したときの対応について説明します。

特性の安定したサンプルによる測定値の確認

定期的に特性の安定したサンプルを測定して、測定系を確認することを推奨します。スターターキット（CP-ST）の石英サンプルはこの用途に好適です。

日々のクリーニング

試料の一部が試料挿入孔のチューブに付着することがあります。材質によっては、共振器の特性を悪化させ測定に影響が出る場合があります。Q 値の低下が見られたら、以下の手順でチューブをクリーニングしてください。

また、共振器本体は銅製です、汚物などにより腐食しないよう清潔に保ってください。なお、経時変化による酸化で本体表面がくすんだ茶色に変色してきますが、測定に支障はありません。

挿入孔チューブのクリーニング手順

不織布を適当なサイズに切り、チューブを無理なく通る程度のこより状にします。少量のアルコールを付けてから、挿入孔の上部から下に向かってこよりを通してクリーニングしてください。この時、かならず上から下に向かって作業してください。上向きに動かした場合、こよりが引っ掛かるとチューブが抜けてしまう可能性があります。チューブが抜けると、分解修理が必要になる場合があります。

おかしいと思ったら

測定値に異常が発生したときの対応方法について説明します。

共振器の Q 値が低くなった

製品出荷時と比べて Q 値が低くなった場合には、試料挿入孔のチューブが汚れていることが考えられます。「日々のクリーニング」を参照してクリーニングしてください。

誘電率測定値のバラツキが大きい

このマニュアルの「正確な測定のために」を参照して、測定方法を見直してみてください。薄膜試料の場合、合わせて「薄膜の場合」を参照してください。

修理

修理が必要な場合、弊社 Web サイトから直接お問い合わせください。

<https://www.emlabs.jp>