

マイクロ波帯における材料定数測定技術の導入

○草間 裕介

1 まえがき

マイクロ波-ミリ波に代表される高周波帯の誘電率, 透磁率, 導電率の3つの電気材料定数は, 電気回路のCLR受動素子値に相当し, 高周波回路特性を知る上で必要不可欠な物理定数である。学生実験において, このような材料定数測定に関する基本的な測定方法や推定原理を学習しておく意義は大きいと考えられる。本報告では, 次の理由から導波管定在波法による誘電率測定を検討する。①5T 学生実験で導波管型定在波測定を実習しており, 最低限必要な測定装置が揃っている。②専門科目で高周波インピーダンスについて学習済みである。③導波管型定在波法による誘電率測定では, ①②に加えて誘電率を逆算するプロセスを付加するだけである。このような背景から, 材料定数測定を取り入れた学生実験の導入可否を検討することを目的とし, 既存の 10GHz 帯の導波管型定在波測定器を用いて, 材料定数が既知の空気とテフロン二つの複素比誘電率推定を行った。

2 複素比誘電率の推定原理

本報告では, 誘電率推定方法としてニュートン法とチャートによる方法の二つについて検討する。ニュートン法は, サンプル表面から見込んだインピーダンスの理論計算値と測定値との残差が一定値に収束するまで数回の反復計算を行う高速な推定方法である。しかし, 測定誤差に対して敏感であり, 初期値の与え方等によって解が得られない場合がある。一方, チャートによる方法は, 予め誘電率と反射係数の関係を示す図を準備しておく必要があるが, 測定した反射係数をチャート上にプロットするだけで誘電率を視覚的に求めることができる。この方法はインピーダンスと反射係数の関係を示すスミスチャートと類似している。

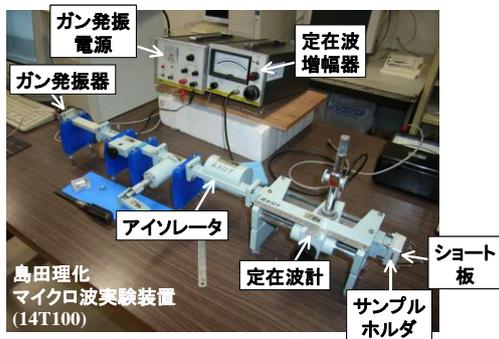


図1. 定在波測定器。ガン発振器から約 10 GHz の高周波が入力され, 終端が短絡されたサンプル表面の定在波パターンから VSWR と L_{min} を求め, サンプル表面から見込んだ負荷インピーダンスまたは, 複素反射係数を測定する。

3 定在波測定方法とサンプル形状

図1に定在波測定器を示す。用意したサンプルは A, B, C3種類であり, それぞれ, A:6 mm ホルダに空気を充填, B:6 mm ホルダにテフロン 6 mm を充填, C:9 mm ホルダにテフロン 3 mm を充填である。

4 複素比誘電率の推定結果

図2に誘電率推定チャートを示す。横軸が比誘電率の実部, 縦軸が虚部を示す。円形の等高線が反射係数の大きさ, 放射状の等高線が反射係数の位相角度である。下図は上図の左下の点線部分を拡大したものである。このチャート上に測定で得られた複素反射係数をプロットした結果, 空気: $1.27-j0.04$, テフロン B: $2.25-j0.56$ の推定結果が得られた。また, 誘電率の推定結果を表1にまとめる。上段から空気, テフロン(2サンプル)の順で, 左列がニュートン法, 右列がチャートによる推定結果を示す。ニュートン法では解が得られない場合でもチャートであれば容易かつ確実に解が得られることがわかり, 学生実験への導入に見通しを得ることができた。

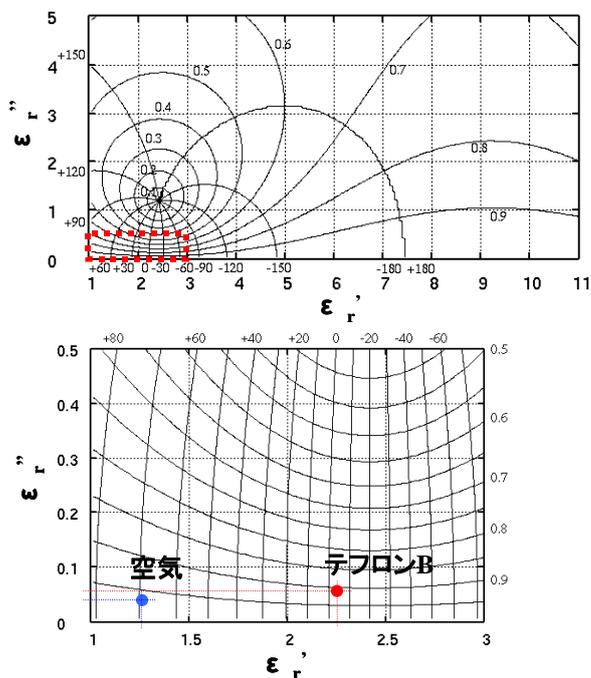


図2. 誘電率推定チャート。下は上図の点線部分の拡大図。

表1. 誘電率の推定結果。

	ニュートン法	チャート
空気	$1.234 - j 0.039$	$1.27 - j 0.04$
テフロンB	解なし	$2.25 - j 0.06$
テフロンC	$2.711 - j 0.334$	$2.73 - j 0.32$