

# 高周波誘電率測定入門

## Introduction of High-frequency permittivity measurement

清水 隆志, 戸高 嘉彦

Takashi SHIMIZU and Yoshihiiko TODAKA

宇都宮大学大学院工学研究科, キーサイト・テクノロジー合同会社

### 概要

本基礎講座では、マイクロ波帯からミリ波帯に至る誘電率等の材料評価の理論・解析を解説し、計測方法の実例について紹介する。一言で材料評価といっても、用途によって要求される材料特性はさまざまであり、それぞれの材料特性に適した測定方法を選択する必要がある。そして、測定原理を理解することで、測定可能な範囲や測定結果の精度や信頼性を総合的に判断することが可能となる。

### Abstract

In this basic course, the theory and analysis of the material evaluation of the dielectric constant are described ranging from the microwave to the millimeter wave bands, and examples of the measurement are introduced.

In the measurements of electromagnetic characteristics of material, it is necessary to select a measuring method suitable for the respective material properties required by the different applications. Then, by understanding the measurement principle, it is possible to comprehensively evaluate the accuracy and reliability of the measurable range and measurement results.

### はじめに

高周波エンジニアにとって、材料の誘電特性を把握することは極めて有用である。しかしながら、一言で誘電体材料といっても、用途ごとに要求される材料特性は様々である。このため、材料の複素誘電率を正確に計測するには、材料の用途、使用する周波数帯、測定精度、サンプル形状、異方性の有無など、利用目的に適合した評価方法を選択することが重要である。

本入門講座では、高周波帯における誘電率計測法の大まかな分類とその特徴、測定上の注意点について紹介する。

## 1. 測定法の分類

高周波帯における代表的な複素誘電率測定方法の適用範囲を図 3 に示す。大きく分けて、MHz 帯に適した「集中定数素子法」、中損失から高損失材料に適した「伝送線路法」、中損失から低損失材料に適し、高精度測定が得意な「共振器法」に分類できる。

### 1.1 集中定数素子法

集中定数素子法の取り扱いがシンプルかつ容易である。しかしながら、適用周波数範囲は DC~MHz 帯程度までである。この測定法の一つに図 4 に示す静

電容量法[1]がある。

静電容量法では、電極面積  $A$  の電極間に厚さ  $t$  の誘電体試料を挟み、平行平板コンデンサを構成する。この時のキャパシタンス  $C$ 、コンダクタンス  $G$  を LCR メータやインピーダンスアナライザ等を用いて測定することで、式(1)より比誘電率  $\epsilon_r$  と誘電正接  $\tan\delta$  が求められる。

$$\epsilon_r = C \left/ \left( \epsilon_0 \frac{A}{t} \right) \right. \quad \tan \delta = G / \omega C \quad (1)$$

### 1.2 伝送線路法

伝送線路法は、広帯域測定を行うときに特に威力を発揮し、導波管法[2]、同軸線路法[3]、自由空間法[4]といった多くの測定方法が開発されている。しかし、その測定精度は共振器法より一般に低く、測定装置の校正状態にも左右されやすい。

伝送線路法の一例として、導波管法を図 5 に示す。なお、 $10^{-2}$ ~ $10^2$  程度の誘電正接をもつ誘電体材料の広帯域計測に適している。

導波管に装荷された厚さ  $t$  の誘電体試料の複素誘電率  $\epsilon$  は、ベクターネットワークアナライザにより測定された S パラメータ  $S_{11}$  と  $S_{21}$  より、式(2)と Nicolson-Ross-Weir アルゴリズムなどを用いて求められる。