

重水の広帯域誘電率測定とその応用の可能性

○鈴木 敬久^{*1)}、菅野 喜伊^{*1)}、キック アルフレード^{*1)}

1. 背景及び目的

近年、生体安全性・生命分野への応用に関連して、ミリ波・THz 帯電磁波と生体物質の相互作用メカニズムについての関心が高まっている。電磁波と生体物質の相互作用を解明するためには、生体物質の構成要素レベルの構造に起因する電磁界の力学的応答を特徴付ける複素比誘電率（または電気定数）の測定が必要である。構成要素レベルとは、分子構造、分子における電荷の分布状態、原子核構造に起因する質量などを示す。また、生命分野では、H/D 交換法（水素/重水素交換法）を用いたタンパク質の構造解析が行われており、我々はミリ波帯の誘電率測定をこのような解析手法に適用することができるのではないかと期待している。こうした応用のためには、重水（Deuterium Oxide、以下D₂Oという）の誘電率をあらかじめ広帯域で取得しておくことが必要となる。本研究の目的は、D₂Oの100MHzから110GHzまでの超広帯域な複素誘電率の周波数分散特性の測定を行うことである。また、測定データから今後期待できる応用について検討する。

2. 研究内容

(1) 実験方法

複素誘電率の測定には、100MHz-33GHz の範囲で同軸プローブ法、そして 33GHz-110GHz の範囲で図 1 に示す導波管貫通法（以下 WP 法という）を用いた。WP 法は、導波管広壁面に穴をあけてガラス製の毛細管を貫通させて測定を行う手法である。毛細管を貫通させた導波管は、同軸導波管変換器、テストポートケーブルを介してベクトルネットワークアナライザ（以下 VNA という）に接続されている。ミリ波帯における WP 法の測定の特徴は、外径が 1 mm 以下、容量が数 μl の毛細管を用いることで、極少量のサンプルによる測定が行える点である。これは、生体材料などの誘電率測定において重要な利点となる。複素誘電率は、VNA (E8361A, Agilent 製) で測定した S パラメータから導出する。

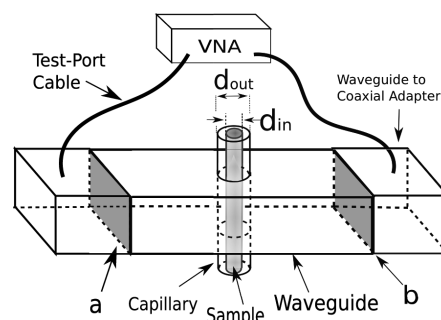


図 1. 導波管貫通法測定システムの概略図

(2) 結果及び考察

D₂O の複素比誘電率の周波数特性を測定した結果を図 2 に示す。測定結果から、30-110GHz のミリ波帯において D₂O の誘電率は、H₂O の誘電率に比べて小さくなっていることが分かった。また、D₂O の緩和時間は 8.81×10^{-12} s であり、H₂O の緩和時間 7.69×10^{-12} s に比べて 1.12×10^{-12} s 長くなっていることが分かる。これは、D 原子中の中性子 1 個分の質量増加による配向分極の緩和時間の増大を観測していると考えられる。この同位体の質量変化による緩和周波数のシフトとタンパク質の質量を対応付けることで、ミリ波・THz 帯における誘電率測定をタンパク質の構造解析技術に応用することができると期待している。

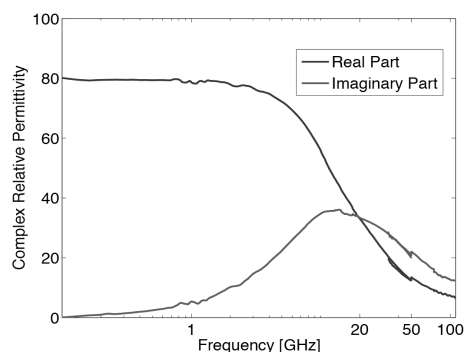


図 2. 100MHz-110GHz の重水の複素比誘電率の周波数特性

3. 今後の展開

本研究では、同軸プローブ法と導波管貫通法を使用し、100MHz から 110GHz までの超広帯域な周波数範囲で D₂O の複素誘電率を測定した。結果として、H₂O と比較して高周波側の誘電率と緩和周波数に差が出ることを確認できた。このような基本的な測定結果から、生体分子の一部を同位体で置換することにより、誘電率の周波数特性の違いを観測すれば、その分子に関しての動的及び静的な情報を得られる可能性があり、応用への発展が期待できる。

*1)首都大学東京