

電磁波の水に対する吸収の研究

高橋 広樹

(指導教員 佐藤 憲史)

1. はじめに

通信の世界は更なる発展を目指している。その中で注目されているのは高周波化による高速通信である。しかし、高周波になればなるほど水に吸収される性質が大きくなり、通信障害を引き起こす。海中通信においてそれは大きな悪影響である。海中で高周波通信が出来れば海底をより探索する事が可能になる。本研究では電磁波の水に対する吸収を評価することを目的とする。

2. 実験

水には誘電緩和といわれる現象があり、水の持つ誘電率が周波数によって変化する。周波数が変わると、損失が変化することから、損失は複素誘電率で表せる。複素誘電率を評価することで損失の評価が出来る。今回は 3GHz まで測定可能なネットワークアナライザ Agilent 8714ES を用いて図 1 のようにプローブを純水、水道水、食塩水に浸し、反射係数を測定することでアドミタンスを計算する。そこから理論式を用いて回帰分析を行い、複素誘電率の実部 ϵ' 、虚部 ϵ'' の比を求めた。その後、LCR メータを用いて低周波の静電容量を測定し、 ϵ' を求めた。3GHz までは ϵ' は一定、 ϵ'' は周波数に比例すると仮定し⁽¹⁾二つの実験より ϵ' と ϵ'' を求めた。

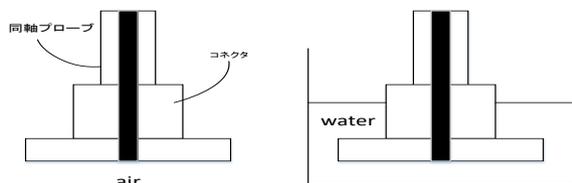


図1 反射係数測定に用いたプローブ

次に計測した反射係数を用いたアドミタンス⁽²⁾を示す。

$$c + jd = \frac{1 - a^2 - b^2 - j2b}{Z_0 \{ (1 + a)^2 + b^2 \}} \quad (1)$$

反射係数の実部を a 、虚部を b 、特性インピーダンスを Z_0 、アドミタンスの実部と虚部を c 、 d とする。アドミタンスを用いたのは低周波の影響を受けにくいからである。また、溶媒の回路モデルを図 2 に示す。この回路モデルからアドミタンスを求め、回帰分析を行い、各値を求めた。アドミタンスの式を(2)に示す。

$$c + jd = \frac{\frac{1}{R} + \omega^2 C_0 k}{(1 - \omega^2 L C_0 \epsilon')^2 + (\frac{\omega L}{R} + \omega^3 L C_0 k)^2} + j \frac{-\frac{\omega L}{R^2} - \frac{2\omega^3 L C_0 k}{R} + \omega C_0 \epsilon'' - \omega^3 L C_0^2 (\epsilon'^2 + (k\omega)^2)}{(1 - \omega^2 L C_0 \epsilon')^2 + (\frac{\omega L}{R} + \omega^3 L C_0 k)^2} \quad (2)$$

抵抗を R 、インダクタンスを L 、静電容量を C_0 、角周波数を ω とする。なお、食塩水は海水と同じ濃度の 3.5% とした。また、純水と水道水では R が大きいので、無視する。

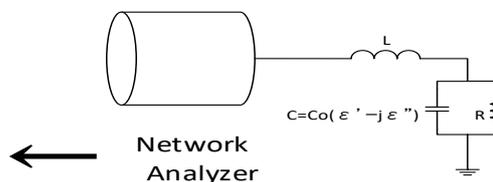


図2 回路モデル

3. 実験結果と考察

純水(pure)、食塩水(NaCl)のネットワークアナライザ解析結果を図 3 に示す。純水と水道水はあまり特性が変わらなかったため、ここでは純水を示す。実部の最大値の周波数が 1.86GHz である。これは LC の共振が起きているためと考えられる。LCR メータの測定と回帰分析より求めた誘電率を図 4 に示す。LCR メータでの測定で、食塩水の静電容量が $-1.3\mu\text{F}$ になり、測定が正確に行えなかった。これはイオン伝導によるものだと考えられる。

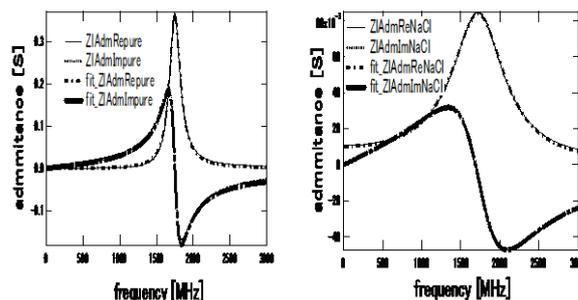


図3 a.純水のアドミタンス b.食塩水のアドミタンス

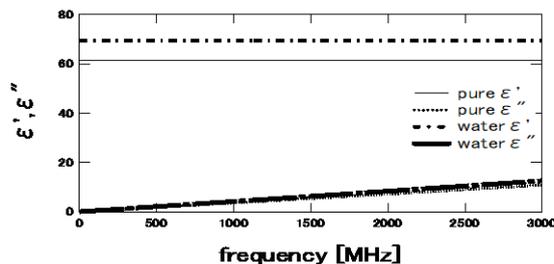


図4 ϵ' と ϵ'' の周波数特性

今回の結果より、純水と水道水の ϵ' と ϵ'' が測定できた。しかし食塩水の ϵ' と ϵ'' は回帰分析より比は確認できたが ϵ' が測定できなかったため、実際の海での損失を比較することが出来なかった。今後は食塩水の低周波での ϵ' を測定する方法を検討する必要がある。

参考文献

- 天羽優子 「マイクロ波領域の誘電緩和で何がわかるか」 <http://www.cml-office.org/atom11archive/ftp/pub/tdr/sansouken2002-01/sansouken.pdf>
- 平田仁 「マイクロ波工学の基礎」 日本理工出版会 p14 (2011)