

水中光無線通信に向けた FDTD 法による海水中の電磁波伝搬解析  
 -海水の温度・塩分濃度変化による影響-

Analysis of Electromagnetic Wave Propagation for Underwater Optical Wireless Communication by FDTD  
 -Effect of Temperature and Salinity Variation of Dielectric Constant in Seawater-

○梅田雅史<sup>1</sup>, 岸本誠也<sup>2</sup>, 大貫進一郎<sup>2</sup>

Masashi Umeda<sup>1</sup>, Seiya Kishimoto<sup>2</sup>, Shinichiro Ohnuki<sup>2</sup>

Abstract: Underwater optical wireless communications have been realized to mariculture and coastal equipment inspections. On the other hand, light attenuates significantly in water. It is necessary to consider the placement of the transmitter and receiver from the simulation. To simulate optical wireless communication in the sea, electromagnetic field analysis is performed. In this report, we describe the representation of seawater in FDTD (Finite-Difference Time-Domain) as an electromagnetic field analysis.

養殖漁業や沿岸設備点検などで水中光無線通信が実用化されている<sup>[1]</sup>。一方で光は水中で著しく減衰し、送受信機の配置は、減衰を考慮したシミュレーションから検討する必要がある。海中での光無線通信を模擬するには一般的に電磁界解析を用いるが、温度、水圧、通信周波数に対応した誘電率等、電気的な定数を適用した誘電体モデルにより海水をモデル化する必要がある。本報告では電磁界解析を FDTD(Finite-Difference Time-Domain) 法を用いて行い、海水のモデル化について検討する。

FDTD<sup>[2]</sup>法は、Maxwell 方程式の微分式を差分式に近似し、以下の式(1)~(3)の更新式によって計算を行う。

$$E_x^n = \frac{2\varepsilon - \sigma_e \Delta t}{2\varepsilon + \sigma_e \Delta t} E_x^{n-1} + \frac{2\Delta t}{2\varepsilon + \sigma_e \Delta t} \frac{\partial H_z^{n-0.5}}{\partial y} \quad (1)$$

$$E_y^n = \frac{2\varepsilon - \sigma_e \Delta t}{2\varepsilon + \sigma_e \Delta t} E_y^{n-1} + \frac{2\Delta t}{2\varepsilon + \sigma_e \Delta t} \frac{\partial H_z^{n-0.5}}{\partial x} \quad (2)$$

$$H_z^{n+0.5} = \frac{2\mu - \sigma_m \Delta t}{2\mu + \sigma_m \Delta t} H_z^{n-0.5} - \frac{2\Delta t}{2\mu + \sigma_m \Delta t} \left[ \frac{\partial E_y^n}{\partial x} - \frac{\partial E_x^n}{\partial y} \right] \quad (3)$$

ここで、 $\varepsilon$ :誘電率、 $\mu$ :透磁率、 $\sigma_e$ :導電率、 $\sigma_m$ :磁気伝導率、 $\Delta t$ :時間ステップ、 $E$ :電界、 $H$ :磁界とする。

本研究では海中での通信を想定したシミュレーションを行う。解析モデルは図1であり、両端に PML(Perfectly-Matched Layer)<sup>[2]</sup>層、中央に海水層、その他の空間には真空層を設けたモデルである。PML層を用いることで、境界面からの反射や回折などの影響を抑えた理想的な開空間でのシミュレーションを実現することが可能となる。海水層は温度や塩分濃度により誘電率が変化する誘電体層とする。真空層には平面波形の光を波源として設置する。誘電体層内に設けた観測点において電界の周波数波形を取得し、海水の表現変化に対する伝搬特性を検証する。

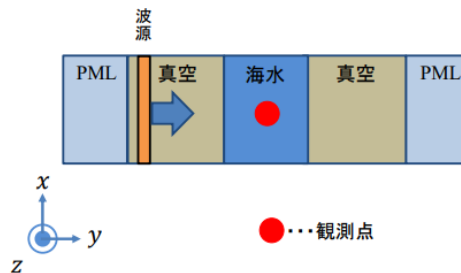


Figure 1. 海水内の伝搬解析モデル

参考文献

[1] 吉田 弘：「最新の水中無線通信の研究動向と将来展望」, 電子情報通信学会 通信ソサイエティマガジン, Vol. 15, No. 4, pp.262-270, 2022.

[2] 宇野 亨, 何 一偉, 有馬 卓司：「数値電磁界解析のための FDTD 法-基礎と実践-」, コロナ社, 第1版, 2016.

1 : 日大理工・学部・電気 2 : 日大理工・教員・電気