

海中構造物を用いた無線電力伝送における 海水・空気境界面の影響評価

松本 太智[†] 袁 巧微[†] 石井 望^{††} 高橋 応明^{†††} 陳 強^{††††} 吉田 弘^{††††}

[†]東北工業大学 〒982-8577 仙台市太白区八木山香澄町 35-1

^{††}新潟大学 〒950-2181 新潟市西区五十嵐 2 の町 8050

^{†††}千葉大学 〒263-8522 千葉市稲毛区弥生町 1-33

^{††††}東北大学 〒980-8579 仙台市青葉区荒巻字青葉 6-6-05

^{†††††}海洋研究開発機構 〒237-0061 横須賀市夏島町 2-14

E-mail: [†]qwuyan616@tohtech.ac.jp, ^{††}nishii@eng.niigata-u.ac.jp, ^{†††}omei@faculty.chiba-u.jp,

^{††††}qiang.chen.5@tohoku.ac.jp, ^{†††††}yoshidah@jamstec.go.jp

あらまし 海水中では電磁波の減衰が大きく、その対策として環状コンクリート柱等の海洋構造物を活用した無線通信手法が提案されている[1][2]。しかし、環状コンクリート柱を介した海水・空気間の電波伝搬においては、送受信アンテナ間の透過係数 $|S_{21}|$ が低下することが、電磁界解析により確認されている。本研究では、この現象が海面を伝搬する波(ラテラル波)によるものであると仮定し、3次元モデルを用いた電磁界解析を実施した。解析では、支柱近傍に設置した送受信アンテナにおいて、受信アンテナを移動させて $|S_{21}|$ 空間分布を取得した。解析結果にて、支柱外周に沿った海面で $|S_{21}|$ の減衰が小さい領域が見られ、支柱外の海面付近に電磁波が伝搬していることを確認した。

キーワード 海水, 電磁波, 透過係数, 電磁界解析ソフト, $|S_{21}|$ の空間分布

Evaluation of the influence of the seawater-air interface on wireless power transmission using underwater structures

Taichi Matsumoto[†] Qiaowei Yuan[†] Nozomi Ishii^{††} Masaharu Takahashi^{†††}

Qiang Chen^{††††} and Hiroshi Yoshida^{†††††}

[†]Tohoku Institute of Technology, 35-1 Yagiyama Kasumicho, Taihaku-ku, Sendai-shi, Japan

^{††}Niigata University, 8050 Ikarashi2-cho, Nishi-ku, Niigata 950-2181 Japan

^{†††}Chiba University, 1-33 Yayoiho, Inage-ku, Chiba, 263-8522 Japan

^{††††}Tohoku University, 6-6-05 Aramaki-Aza-Aoba, Aoba-ku, Sendai 980-8579 Japan

^{†††††}JAMSTEC, 2-15 Natsushima-cho, Yokosuka-shi, 237-0061 Japan

E-mail: [†]qwuyan616@tohtech.ac.jp, ^{††}nishii@eng.niigata-u.ac.jp, ^{†††}omei@faculty.chiba-u.jp,

^{††††}qiang.chen.5@tohoku.ac.jp, ^{†††††}yoshidah@jamstec.go.jp

Abstract Electromagnetic waves are significantly attenuated in seawater, and as a countermeasure, wireless communication methods that utilize marine structures such as circular concrete pillars have been proposed[1][2]. However, electromagnetic field analysis has confirmed that the transmission coefficient $|S_{21}|$ between the transmitting and receiving antennas decreases when radio waves propagate between seawater and air through a circular concrete pillar. In this study, we assumed that this phenomenon is caused by waves propagating on the sea surface (lateral waves) and performed an electromagnetic field analysis using a 3D model. In the analysis, the receiving antenna was moved around the transmitting and receiving antennas installed near the pillar to obtain the spatial distribution of $|S_{21}|$. The analysis results showed that there were areas of low attenuation of $|S_{21}|$ on the sea surface along the outer periphery of the pillar, confirming that electromagnetic waves were propagating near the sea surface outside the pillar.

Keywords Seawater, Electromagnetic wave, Transmission coefficient, Electromagnetic field analysis software, Spatial distribution of $|S_{21}|$

文 献

[1] 石川魁人, 高橋応明, 石井望, 袁巧微, 陣強, 吉田弘, "海中環状コンクリート柱を利用した電波伝搬の周波数解析," 信学技報, vol.123, no.441, pp.105-108, March 2024.

[2] Jialu Wang, Qiang Chen, Nozomu Ishii, Qiaowei

Yuan, Masaharu Takahashi, "Utilizing Floating Wind Turbine Foundations for Underwater-to-Air Radio Wave Propagation," ISAP 2024, Wep_22, Song do Convensia, Incheon, Republic of Korea, November 2024.

東北工業大学大学院 通信工学専攻 袁研究室

海中構造物を用いた無線電力伝送における 海水・空気境界面の影響評価



松本 太智(東北工業大学), 袁 巧微(東北工業大学), 陳 強(東北大学), 石井 望(新潟大学), 高橋 応明(千葉大学), 吉田 弘(海洋研究開発機構)

1. 背景と目的

- 背景
 - 洋上風力発電等の海洋構造物の点検に海中ドローンの活用が期待される。
 - 海中では電磁波の減衰が大きく、海中ドローンで取得した映像等のデータを地上に直接送信することは難しい。
 - コンクリート支柱を伝送路として利用することで、海水の大きな減衰を回避した無線通信が実現できる可能性がある。
- 問題
 - コンクリート支柱が海面を跨ぐ場合(図1), アンテナ透過係数(|S₂₁|)が低下することが確認されている。

支柱が完全に水没している場合の|S₂₁| > 支柱が海面を跨ぐ場合の|S₂₁|

- 目的
 - 海面を跨ぐ場合の|S₂₁|の低下は、支柱外部の海面を伝搬する波(ラテラル波)の成分が存在することによって起こると仮定する。
 - 電磁界解析ソフトにて、受信アンテナを海面付近で移動させながら|S₂₁|を取得し、電磁波が支柱外部の海面付近を伝搬しているか確認する。

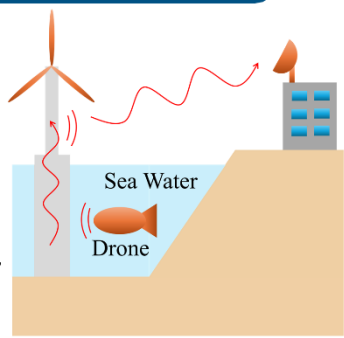


図1 海中無線電力伝送イメージ図

2. 解析モデルと解析条件

パラメータ	値	
d [m]	25, 26, 27	
L [m]	0.5	
r [mm]	2	
H [m]	30	
H _{air} [m]	5	
R _{in} , R _{out} [m]	3.4, 3.9	
D [m]	0.05	
f [MHz]	10	
媒質	ε _r	σ [S/m]
Free Space	1.0	0.0
Sea Water	72	4.8
Concrete	6.2	5.1 × 10 ⁻⁴

- 送信アンテナはZ方向, 受信アンテナはX方向と平行な向きに設置する。
- 送信アンテナの位置
 - Tx (0, R_{out} + D, -(H - H_{air}))
- 受信アンテナの位置(x, y, z) [m]
 - 下記の範囲で移動する
 - x: 0 ~ 5
 - y: R_{out} + D ~ R_{out} + D + 5
 - z: 0 ~ 2
 - 走査間隔: 1
- コンクリート支柱の設置有無によって解析ケースを分ける。

図3 解析モデルの上面図

3. 送受信アンテナ間の|S₂₁|解析結果

コンクリート支柱なし

図4(a) Z = 0 [m]

コンクリート支柱あり

図5(a) Z = 0 [m]

図4(b) Z = 1 [m]

図5(b) Z = 1 [m]

図4(c) Z = 2 [m]

図5(c) Z = 2 [m]

- 支柱なし
 - |S₂₁|は、Z方向の位置に関わらず最低値-230 dB以下となっている。
- 支柱あり
 - Z = 0の|S₂₁|は、受信アンテナが海面から浮かんでいる図5(b), (c)と比較して大きな減衰が見られる。
 - 図5(b)(Z = 1): Y方向の減衰が大きく(Y = 2で約-220 dB), X方向はX = 0~2付近で比較的減衰が小さい領域が見られる。
 - 図5(c)(Z = 2): 図5(b)と似た分布となっているが、減衰の小さい領域はX = 0~1付近と縮小している。
 - 図5より支柱ありの場合において、Txが放射した電磁波がX方向の海面付近を広く伝搬していることが確認できる。
 - ▶ 支柱外部の海面付近を伝搬する電磁波成分が存在することが示唆される。

4. まとめ

- 電磁界解析ソフトにて、コンクリート支柱近傍に送受信アンテナを設置し、海面付近の領域の|S₂₁|を取得した。また、コンクリート支柱の有無で解析の場合分けを行った。
- コンクリート支柱ありの場合、支柱の外周に沿った方向(X方向)の|S₂₁|減衰が小さく、電磁波が支柱外部の海面付近を伝搬していることが確認できた。

今後の課題

- 海面(Z=1 [m])での|S₂₁|がZ=1,2 [m](海面から離れた場合)の|S₂₁|と比較して減少している原因の調査。

謝辞
本研究の一部はJSPS 科研費JP23H01407と JP25K07753により実施されたものである。