

## 海中ドローンと陸上局間の電波伝送路の構築

陳 強<sup>†</sup> 六名 壮太<sup>†</sup> 佐藤 弘康<sup>†</sup> 石井 望<sup>††</sup> 高橋 応明<sup>†††</sup>

袁 巧微<sup>††††</sup> 吉田 弘<sup>†††††</sup>

<sup>†</sup> 東北大学 大学院工学研究科

<sup>††</sup> 新潟大学 自然科学系

<sup>†††</sup> 千葉大学 フロンティア医工学センター

<sup>††††</sup> 東北工業大学 工学部

<sup>†††††</sup> 国立研究開発法人海洋研究開発機構

E-mail: <sup>†</sup>qiang.chen.a5@tohoku.ac.jp

## Construction of Radio Transmission Lines between Underwater Drones and Ground Stations

Qiang CHEN<sup>†</sup>, Sota MUTSUNA<sup>†</sup>, Hiroyasu SATO<sup>†</sup>, Nozomu ISHII<sup>††</sup>, Masaharu TAKAHASHI<sup>†††</sup>,

Qiaowei YUAN<sup>††††</sup>, and Hiroshi YOSHIDA<sup>†††††</sup>

<sup>†</sup> School of Engineering, Tohoku University

<sup>††</sup> Niigata University

<sup>†††</sup> Chiba University

<sup>††††</sup> Tohoku Institute of Technology

<sup>†††††</sup> Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology

E-mail: <sup>†</sup>qiang.chen.a5@tohoku.ac.jp

日本がかかげる「2050 年カーボンニュートラル」の実現には、CO<sub>2</sub> を排出しない再生可能エネルギーの導入拡大が必要となる。洋上風力発電は、海上に設置した風車で発電する再生可能エネルギーで、陸上よりも強く安定した風を利用でき、大型化も可能なため、自然エネルギーの主要な電源として期待されている。洋上風力発電は着床式と浮体式があるが、いずれも海中に大型な構造体が設置されているため、構造体の定期的な点検と保守などの海中作業が必要である。近年、水中ドローンが大きく進化しており、無人の水中ドローンによる海中構造体の保守と点検は、洋上風力発電設備の維持コストを低減するために欠かせない手段となる。ドローンによる水中の撮影映像を陸上局に送信したり、陸上局からドローンに対して作業プロセスを指示したり、ドローンの走行を制御したりするため、水中ドローンと陸上局間の無線接続の確立が重要である。海中における電波伝搬の損失が非常に大きく、海中伝搬を用いたドローンと陸上局間の無線通信は困難である。一方、海中に洋上風車の

ブレード（羽根）を支えるタワーがコンクリートの材料で作られているため、海中と海面間の電波伝送路として利用できないかと考えている（図 1）。

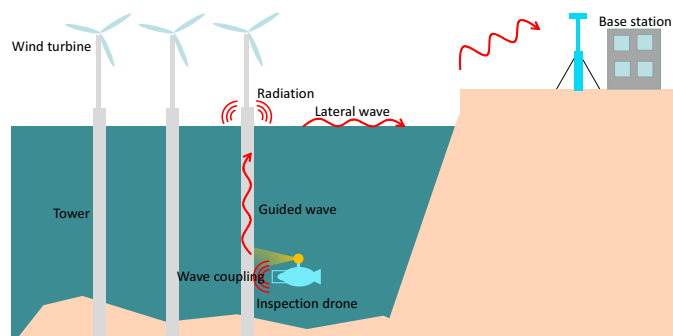


図 1 洋上風車タワーの点検用海中ドローンと陸上局間の無線通信の構想

本研究では、海中におけるコンクリートの洋上風車のタワーを電波伝送路として取り上げ、伝送路導波メカニズムを解明する。また、海中ドローン搭載型アンテナと伝送路との結合技術として、海中のコンクリートタワーに高効率で電波を結合できるアンテナを開発する。さらに、大気と海水の間に差し込まれた海中・海上混合伝送路を介する通信系のリンクバジェット計算に基づく伝送路伝搬の優位性の確認し、アンテナと電波伝搬の視点から本提案技術の実現の可能性を探る。

本発表では、私たちの研究グループにおける本研究の研究成果をご紹介します。まず、海中用のアンテナとして、海水から絶縁体で遮蔽するアンテナ、いわゆるシースアンテナの試作と評価から、海中伝送に適したアンテナについて検討する[1]。次に、低周波、高誘電率、高損失媒体における電波伝搬の測定技術として、物理モデル寸法を  $1/n$  に縮小し、動作周波数を  $n^2$  に高めることで、同等の減衰特性を再現可能な疑似スケールモデルを提案すると共に、疑似スケールモデルを用いた水槽内でのアンテナ間の伝送特性の測定結果を示す[2]-[4]。さらに、高伝導性媒体と空気との界面で発生するラテラルウェーブ (lateral wave) を考慮した海水中の電波発信器の配置推定の高精度化手法を述べる[5]-[9]。最後に、水中ドローンのアンテナ設計例、及び水中ドローンと地上局間のリンクバジェットの数値シミュレーター結果を示す[10],[11]。

**謝辞** 本研究は JSPS 科研費 23H01407 の助成を受けたものである。This work was financially supported by JSPS KAKENHI Grant Number 23H01407.

## 文 献

- [1] H. Sato, N. Fujii, Q. Chen, N. Ishii, M. Takahashi, R. Suga, K. Uesaka, and H. Yoshida. Dipole antenna with sheath-cover for seawater use. *Proc. 2017 International Symposium on Antennas and Propagation (ISAP)*, Phuket, Thailand, 2017.
- [2] R. Sase, N. Ishii, M. Takahashi, Q. Chen, and H. Yoshida. Verification of Underwater Position Estimation Using Received Power Profile Through Pseudo-Scale Model. *Proc. 2020 International Symposium on Antennas and Propagation (ISAP)*, on-line, 2021.
- [3] N. Ishii, M. Goto, M. Takahashi and Q. Chen, "Validation of Pseudo-Scale Model for the Air-Sea Two-Layer Near-Field Problem by Using FDTD Simulations and Measurements in a Tank," *Proc. 2024 18th European Conference on Antennas and Propagation (EuCAP)*, Glasgow, United Kingdom, 2024, doi: 10.23919/EuCAP60739.2024.10501191.
- [4] N. Ishii, K. Funayama and H. Mimura, "Pseudo-Scale Model for Air-Freshwater Two-Layer Problem," *Proc. 2024 International Symposium on Antennas and Propagation (ISAP)*, Incheon, Korea, Republic of, 2024, doi: 10.1109/ISAP62502.2024.10845989.
- [5] S. Sakaya and M. Takahashi, "Investigation of VLF Electromagnetic Undersea Positioning System Using Receiving Antenna Array in a Simulation," *IEEE Access*, vol. 13, pp. 133958-133970, 2025, doi: 10.1109/ACCESS.2025.3593248.
- [6] R. Kato, M. Takahashi, N. Ishii, Q. Chen, and H. Yoshida, "Investigation of a 3-D Undersea Positioning System Using Electromagnetic Waves," *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 69, no. 8, pp. 4967-4974, 2021. DOI: 10.1109/TAP.2020.3048584.
- [7] R. Kato, H. Kobayashi, M. Takahashi, N. Ishii, Q. Chen and H. Yoshida, "Undersea Positioning Using Electromagnetic Wave in Consideration of Sea Wave Effects," *Proc. 2020 International Symposium on Antennas and Propagation (ISAP)*, Osaka, Japan, 2021, pp. 133-134, doi: 10.23919/ISAP47053.2021.9391441.
- [8] H. Yoshida, T. Yonekura, M. Takahashi, N. Ishii, Q. Chen, and R. Suga, "Electromagnetic Under-the-Ice Localization and Communication," *Proc. OCEANS 2022*, Hampton Roads. 2022, doi: 10.1109/OCEANS47191.2022.9977045.
- [9] H. Yoshida et al., "Underwater LF wave propagation study for positioning," *Proc. OCEANS 2017*, Aberdeen, UK, 2017, pp. 1-5, doi: 10.1109/OCEANSE.2017.8084829.
- [10] 六名壮太, 佐藤弘康, 陳強, "洋上風力発電機の基礎構造体を伝送路とするアンテナ・伝搬の研究," 東北大学電気通信研究所伝送工学研究会, 2025 年 2 月.
- [11] 佐藤弘康, 六名壮太, 陳強, 石井望, 高橋応明, 袁巧微, "洋上風力タービンを伝送線路として利用する水中ドローン搭載用アンテナ," 信学総大, BI-8-07, 2025 年 3 月.