

## 2025年度北海道大学情報基盤センター萌芽型共同研究成果報告書

1. 研究類型 A) 計算資源利用型
2. 研究課題名 FDTD法を用いたアンテナ設計およびアンテナ応用に関する大規模電磁界解析
3. 研究期間 2025年7月18日 ~ 2026年3月31日

## 4. 研究代表者

氏名	所属機関・部局名	職名	備考
伊藤 桂一	秋田工業高等専門学校・創造システム工学科	教授	

## 5. 研究分担者

氏名	所属機関・部局名	職名	備考
丸山 珠美	広島工業大学・電気システム工学科	教授	
中津川 征士	函館工業高等専門学校・生産システム工学科	教授	
大島 功三	旭川工業高等専門学校・電気情報工学科	教授	
村本 充	苫小牧工業高等専門学校・創造工学科	教授	
山本 綱之	津山工業高等専門学校・総合理工学科	准教授	
長谷川 遙香	旭川工業高等専門学校・生産システム工学専攻	専攻科2年	
畑沢 公陽	函館工業高等専門学校・生産システム工学専攻	専攻科2年	
阿部 遥貴	広島工業大学・電気システム工学科	大学3年	
河島 悠人	広島工業大学・電気システム工学科	大学3年	
菊川 優希	広島工業大学・電気システム工学科	大学3年	
白石 迅人	広島工業大学・電気システム工学科	大学3年	
高藤 直大	広島工業大学・電気システム工学科	大学3年	
加藤 航雅	秋田工業高等専門学校・グローバル地域創生工学専攻	専攻科2年	
田村 祐太	秋田工業高等専門学校・グローバル地域創生工学専攻	専攻科2年	
藤田 グリーシャ	秋田工業高等専門学校・グローバル地域創生工学専攻	専攻科1年	
原田 蒼	秋田工業高等専門学校・グローバル地域創生工学専攻	専攻科1年	

深谷 猛	北海道大学情報基盤センター	准教授	
------	---------------	-----	--

## 6. 共同研究の成果

本研究では、スパコンを適した FDTD 法を用いたアンテナ設計およびアンテナ応用に関する大規模電磁界解析技術の開発を行った。地域課題の解決を通して解析技術の有用性を確認するため、プログラム開発とアンテナ設計・解析、電波伝搬解析への応用を相互に行った。応用分野ごとの研究成果を以下にまとめる。

### A) アンテナの最適設計 (伊藤, 大島, 村本, 丸山)

誘電体材料のミリ波応用について構造最適化を行い、アンテナ用誘電体レンズの設計ではトポロジー最適化による誘電体の材料分布設計だけでなく、金属も含めた複合材料の設計まで拡張することができた[1]-[3]。誘電体線路一体型アンテナの設計では効率は良くないものの誘電体だけでビームチルト可能な指向性アンテナを設計できる見通しを立てることができた[4]-[7]。導波管フィルタについて 3D プリンタによる試作まで行うことができ[8]、プリント基板用フィルタへの応用について検討している。

### B) 到来方向推定法の確立 (大島, 村本)

5G 移動通信環境において、メタヒューリスティクスを用いた到来方向推定手法の確立のため、ウィルス進化型遺伝的アルゴリズム (VEGA) を用いた到来方向推定を提案し、その基礎特性について検討を行うとともに近接 2 波の場合の特性劣化の改善を試みた。これらの成果を電気情報関係学会北海道支部連合大会、高専シンポジウム、IEICE 北海道支部学生会インターネットシンポジウムで発表を行った[9]-[12]。

### C) マイクロ波融雪の効率化 (中津川, 大島, 山本, 丸山, 伊藤, 村本)

サーキット型導波管のスリット配置の最適化について、局所値に陥る傾向があったため、アルゴリズムの改善を行い、その特性の検討を行い、高専シンポジウムで発表を行った[13]。また、サーキット型漏洩導波管についてスロット開口の場所が電磁界分布に与える影響についての解析を推進し、スロット配置と放射特性を評価した[14]。この結果、導波管の端部に設置されたスロットからはそのスロットから放射されるマイクロ波のみによって概ねの電磁界分布が決定されるが、隣接するスロットを持つスロットからの電磁界は単独のスロットからのマイクロ波照射に対して隣接スロットからのマイクロ波放射が重畳し、場合によっては位相が逆転して相殺され重ね合わせられることによって電磁界強度が低下する現象を確認した[15]。さらに、電力分布の均一化およびマイクロ波の効率的利用を目的として、CRLH 導波管におけるゼロ次共振を用いた給電構造についても検討し、ラケット型導波管において効率的な電力供給が可能であることを確認した[16]。また、EBG 構造を活用したマイクロ波の閉じ込め構造として、雪の取り込み・融解・排水が可能な複合型の EBG 組み込み導波管構造の検討を遂行した。具体的には、JetFDTD 解析により雪および水を媒質とした場合に有効な EBG 構造を設計し、これらの組み合わせによる漏洩電磁界低減効果を確認した[17][18]。加えて、製造誤差や EBG 高さ・土台厚さの影響を評価し、EBG 構造を構成する四角柱形状のポストの一片の大きな誤差よりそれらの高さに関する誤差の影響が支配的であることを明らかにした。これらの結果を踏まえ、空気用 EBG 構造を樹脂 3D プリンタに金属箔を貼り付けて、および雪用 EBG 構造を金属 (ステンレス) 3D プリンタによって試作し、融雪実験を実施した[19]。

### D) エネルギーハーベスティング技術の開発 (丸山, 中津川)

エネルギーハーベスティング技術の開発を目指して、以下の検討を実施した。

#### (1) 受電・導波素子一体化レクテナアレーの研究開発

通信用電波を電力に変えるワイヤレス電力伝送において、八木宇田アンテナの動作原理を、レクテナに応用し、受電素子を導波素子として動作させることにより、受電可能な素子が増えるほど送電可能距離を拡張する研究を行っている。今年度はこのレクテナアレーと従来の八木宇田アンテナの最適設計後の構造と特性の違いについて検討を行い国際会議 ISAP2026 で報告した[20]。また、素子をキャパシタンス装荷ループアンテナとして FR4 基板を用いて作成し、その特性解析、およびワイヤレス電力伝送実験の結果を、MW 研究会において報告した[21]。また、これらの一連の研究に関して招待講演を依頼され、IEEERFM において報告した[22]。

## (2) 水中海中における磁界結合ワイヤレス電力伝送

従来水中における無線伝送は損失が大きく困難とされてきた。これに対して、近年スマート水産や、水中ドローンを用いた探索などにおいて、水中ワイヤレス電力伝送のニーズが高まっており、様々な検討がされている。本研究では、磁界結合を用いたワイヤレス電力伝送の実現を目指して以下の検討を実施した。先ず、空中に送電部を設置し、水中に向けて送電する場合のワイヤレス電力伝送効率をモーメント法を用いて実施した。この場合、空間そのものを空気ではなく水として扱う方法と、水を有限の誘電体として扱う二つの手法が考えられる。そこで、本研究ではこれら2種類の解析モデルを作成し、比較した結果を、PIERS2025において報告した[23]。水は、比誘電率が81と極めて大きく、波長は空中の1/9と小さくなる。導電率も海中では4 S/mと大きい。このため単に無線伝送において効率を上げるのが困難となるだけでなく、特性を把握すること自体も難しい。これまでは、解析および実験で求めたSパラメータからk $\rho$ 積理論を用いてワイヤレス電力伝送効率を求めてきた。これに対して今年度は、フィルタ理論を応用し、結合係数kと $\rho$ 値にわけて特性を抽出する試みを行った。その結果、蒸留水のように導電率がほぼ0となるものに対する結合係数と比誘電率の関係は、水中と空中での違いが少なくなること、一方導電率を考慮すると結合が極めて小さくなり、フィルタ理論が適用しにくくなることを明らかにし、その結果をIEEEAPWC2025で報告した[24]。水中、雪中など比誘電率が大きい媒質における磁界結合WPTに関するこれまでの成果について、講演依頼を受けWPT研で報告した[25]。電磁波の媒質中における伝搬速度は、比誘電率が大きくなるにつれて遅くなる。このため、空気と水の境界付近では、高いレベルで最初に届く電磁波が、必ずしも送電部から受電部に直進する経路をとるとは限らない。本研究では、FDTD法を用いた過渡解析によって、水面においた半波長ダイポールアンテナの伝搬経路を明らかにし、WPT研究会およびMW研究会で報告した[26][27]。

## 研究成果

- [1] 田村祐太, 田中将樹, 伊藤桂一, 佐々木友之, “ミリ波スロットアンテナ用平面レンズの開発に関する研究”, 第34回MAGDAコンファレンス in 松本(MAGDA2025)～電磁現象及び電磁力に関するコンファレンス～, PS-10, pp.163-164(2025.11)
- [2] 田村祐太, 田中将樹, 伊藤桂一, “ミリ波スロットアンテナ用平面レンズの新規構造の提案”, 令和7年東北・北海道地区高等専門学校専攻科産学連携シンポジウム, T25-P2-10(2025.11)
- [3] 田村祐太, 田中将樹, 伊藤桂一, 佐々木友之, “高誘電率材料を用いたミリ波アンテナ用誘電体レンズの試作”, 令和8年東北地区若手研究者研究発表会, YS-24-P79, pp.323-324(2026.3)
- [4] 加藤航雅, 田中将樹, 松田英昭, 伊藤桂一, 佐々木友之, “ミリ波誘電体アンテナアレーの設計に関する研究”, 第34回MAGDAコンファレンス in 松本(MAGDA2025)～電磁現象及び電磁力に関するコンファレンス～, PS-9, pp.161-162(2025.11)
- [5] 加藤航雅, 田中将樹, 松田英昭, 伊藤桂一, “3素子アレー構造を用いたミリ波誘電体アンテナの設計に関する研究”, 令和7年東北・北海道地区高等専門学校専攻科産学連携シンポジウム, T25-P2-09(2025.11)
- [6] 加藤航雅, 田中将樹, 松田英昭, 伊藤桂一, 佐々木友之, “誘電体を用いたミリ波アンテナのトポロジ最適化に関する研究”, 令和8年東北地区若手研究者研究発表会, YS-24-P78, pp.321-322(2026.3)
- [7] Keiichi Itoh, Koga Kato, Hideaki Matsuda, Masaki Tanaka, Eiko Sugawara, Hajime Igarashi, “Design of Millimeter-wave Dielectric Antenna Array Integrated with Dielectric Waveguide Using Topology Optimization,” 25th International Conference on the Computation of Electromagnetic Fields (Compumag2025), Naples, MB4B-8 (2025.6) (査読あり)
- [8] Keiichi ITOH, Yuma HORI, Hideaki MATSUDA, Hajime NOZAKA, Tomomichi NISHINO, Masaki TANAKA, Tomoyuki FURUICHI and Noriharu SUEMATSU, “Design of Millimeter Wave Waveguide Bandpass Filter for Prototyping with 3D Printer,” International Journal of Applied Electromagnetics and Mechanics, Vol.78, Issue 1-3, pp.85-89(2025.7) (査読あり)
- [9] 長谷川遙香, 大島功三, 村本充, “ウィルス進化型遺伝的アルゴリズムを用いた到来方向推定に関する一検討”, 令和7年度電気・情報通信学会北海道支部連合大会, 59 (2025.11)
- [10] 島田翔, 大島功三, 村本充, “近傍波の到来方向推定における近接2波特性に関する一考察”, 第31回高専シンポジウム in Amagasaki, D-14 (2026.1)
- [11] 長谷川遙香, 大島功三, 村本充, “ウィルス進化型遺伝的アルゴリズムを用いた到来方向推定における最適パラメータの検討”, 第31回高専シンポジウム in Amagasaki, D-15 (2026.1)
- [12] 長谷川遙香, 大島功三, 村本充, “ウィルス進化型遺伝的アルゴリズムを用いた到来方向推定における推定精度と計算時間に関する考察”, 2025年度IEICE北海道支部学生会インターネットシンポジウム, 1-03 (2026.2)

- [13]加藤悟, 大島功三, 村本充, “融雪用導波管スリットの最適化における局所値を避ける PfGA の検討”, 第 31 回 高専シンポジウム in Amagasaki, C-05 (2026.1)
- [14]M. Nakatsugawa, T. Goto, T. Maruyama, M. Omiya, “Location dependence of WPT efficiency characteristics between a circuit-shaped leaky waveguide and a  $\lambda/2$  dipole antenna due to electric field distribution,” IEEE APWC 2025 proceeding 1(517) pp.206–211 (2025.9) (招待講演) (査読あり)
- [15]T. Fukagawa, M. Nakatsugawa, T. Goto, T. Maruyama, M. Omiya, Y. Tamayama, “Electric Field Distribution and Interference Effects on Wireless Power Transfer Between a Circuit-Shaped Leaky-Waveguide and a  $\lambda/2$  Dipole Antenna,” 10th STI-Gigaku 2025, Nagaoka, Japan, STI-9–59 (2025.11)
- [16]Tsunayuki Yamamoto, Peerawit Tararam, Tamami Maruyama, “Efficient Feeding Method of a Zeroth-order Resonance in a CRLH Racetrack-shaped Waveguide for a Microwave Snow Melting System,” 2025 PhotonIcs & Electromagnetics Research Symposium Abstracts, Chiba, Japan, PIERS 2025 1(1) pp.1–2 (2025.11) (招待講演) (査読あり)
- [17]K. Hatazawa, M. Nakatsugawa, T. Maruyama, T. Nakamura, T. Yamamoto, M. Omiya, N. Suematsu, “Analysis of Snow and Water Effect on EBG Waveguides for Microwave Snow Melting to Prevent Electromagnetic Wave Leakage,” 2025 PhotonIcs & Electromagnetics Research Symposium Abstracts, Chiba, Japan, PIERS 2025 pp.1–6 (2025.11) (査読あり)
- [18]Tamami Maruyama, Koyo Hatazawa, Kota Unyu, Masashi Nakatsugawa, Tsunayuki Yamamoto, Keiichi Ito, Manabu Omiya, Noriharu Suematsu, “Metamaterial Applications for Snow Melting Using Microwaves,” IEEE RFIT Proceedings 1(1) pp.85–87 (2025.8) (招待講演) (査読あり)
- [19]畑沢公陽, 中津川征士, 中村尚彦, 丸山珠美, 山本綱之, 大宮学, “マイクロ波融雪用電波漏洩防止 EBG 導波管に対する影響解析,” 2026 年電子情報通信学会総合大会, B-20–12 (2026.3)
- [20]Tamami Maruyama, Noa Ebita, Masashi Nakatsugawa, Masaya Tamura, Noriharu Suematsu, “A Novel Rectenna Array Inspired by the Yagi-Uda Loop Antenna for Extended Wireless Power Transmission Distance,” Proceedings of ISAP2025 1(1) pp.844–845 (2025.10) (査読あり)
- [21]丸山珠美, 海老田のあ, 中津川征士, 田村昌也, 末松憲治, “八木・宇田ループアンテナに着想を得たレクテナアレイによる無線電力伝送距離の拡張,” 信学技報, vol.125, no.109, MW2025–39, pp.88–92 (2025.7)
- [22]Tamami Maruyama, Masashi Nakatsugawa, Noriharu Suematsu, “Design Explorations of Yagi-Uda-Inspired Rectenna Arrays for Wireless Power Transmission,” IEEE RFM Proceedings D1(1) (2025.9) (招待講演) (査読あり)
- [23]T. Maruyama, A. Kamada, M. Nakatsugawa, M. Tamura, I. Awai, N. Suematsu, “Method of Moments Analysis of Wireless Power Transfer from Air to Underwater via Magnetic Coupling,” 2025 PhotonIcs & Electromagnetics Research Symposium Abstracts, Chiba, Japan, PIERS 2025 1(1) pp.1–2 (2025.11) (査読あり)
- [24]T. Maruyama, A. Kamada, M. Nakatsugawa, I. Awai, M. Oamoto, K. Nakahira, “Analysis of the effects of dielectric media on magnetic coupling WPT using filter theory,” IEEE APWC 2025 proceeding 1(636) pp.276–280 (2025.9) (招待講演) (査読あり)
- [25]丸山珠美, 鎌田緋莉, 中津川征士, 田村昌也, 末松憲治, 粟井郁雄, “(依頼講演) 磁界結合 WPT における複数コイル応用と水中・雪中伝送 — 研究成果と課題 —,” 信学技報, vol.125, no.193, WPT2025–26, pp.22–24 (2025.10) (招待講演)
- [26]菊川優希, 丸山珠美, 白石迅人, 大宮学 “異なる媒質境界においた半波長ダイポールの電磁界分布の過渡応答,” 信学技報, vol.125, no.373, WPT2025–64, pp.37–40 (2026.3)
- [27]丸山珠美, 菊川優希, 白石迅人, 大宮学 “高誘電媒質と空気の境界に配置した送受信ダイポールの過渡応答に基づく伝搬特性解析,” 信学技報, vol.125, no.394, MW2025–214, pp.97–101 (2026.3)