

2024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 次世代高速通信向けアンテナ設計と大規模電磁界解析に関する研究

3. 研究期間 2024年5月22日 ～ 2025年2月28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	函館工業高等専門学校・生産システム工学科	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	
船木 聖仁	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	
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1年	
鎌田 緋莉	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	
海老田 のあ	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	
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1年	
小橋 健生	津山工業高等専門学校・電子・情報システム工学専攻	専攻科1年	
柴田 勝成	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	
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1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、高周波化する通信機器や通信インフラの設計に対応できるスパコン用コードを開発し、アンテナおよび周辺デバイスの最適設計および大規模電磁界解析を行うとともに地域課題を解決することを目的として、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い、以下の研究成果が得られた。

A) マイクロ波融雪の効率化

マイクロ波を直接雪に照射することによって素早い融雪を実現する手法を本研究グループで提案している。本研究ではマイクロ波を照射するための雪と排水のための水は通過させるが電磁波は通過させない手法を確立するために EBG 構造適用導波管を提案しその効果を明らかにし査読付き国際会議 IEEE AP-S2024 で報告した[1]。さらに、今年度は EBG 構造の内部に雪および水が入った場合の電磁界特性の変化について、JeTFDTD を用いた解析を行い、雪、水それぞれを媒質とした場合に有効となる EBG の構造を明らかにした[2][3]。また、電波漏洩防止用 EBG 装荷導波管によるマイクロ波融雪実験結果、およびワイヤレス電力伝送効率の測定結果をまとめ電子情報通信学会総合大会で報告した[4]。マイクロ波融雪用に考案した装置のうち、融雪アイロンタイプと、雪の上から融雪するタイプの2種類の装置を用いてフィールド実験を実施し、その結果を総務省が管轄している高専ワイヤレステックコンテストで発表し NTT コミュニケーションズ賞を受賞した。サーキット型導波管のスロットからの漏れ波の分布を無線伝送特性を用いて実験的に評価しその結果を報告した[5]–[7]。

B) エネルギーハーベスティングによる電力不足の解消

海洋ワイヤレス給電など水中における無線伝送を実現するため基礎検討を実施した。これまで本研究グループでは、磁界が送電コイルの両側に発生することを利用し送電コイルの両側に同時にワイヤレス給電する手法について報告してきた。今年度は一つの給電コイルで空中と水中を同時に給電する手法について検討を行った。送電コイルを、空中、水中、境界面にそれぞれ置いた場合について比較した結果、境界面に置いた場合がもっとも効率良く水中と空中に同時給電できることを明らかにした[8]–[10]。この両側給電磁界結合ワイヤレス給電に対するコイルの向きについて検討した結果、二つの受電コイルと、送電コイルの向きを逆にすることが有効であることを明らかにした[11]。送受コイルが離れた場合の解析を実現するため、解析空間を必要としないモーメント法を採用し、水中における磁界結合ワイヤレス給電のための電気特性に関する基礎検討を実施した[12]。磁界結合ワイヤレス給電の誘電体媒質影響に対するフィルタ理論解析を実施した[13]。

これまで検討してきたレクテナアレーは、整流ダイオードをそのままダイポールアンテナとして用いることを基本としてきた。本研究では、さらに、このレクテナで点灯させるダイオードもまた、ダイポールアンテナとして用いるクロスダイポール型レクテナを提案し、その設計、解析を行い、テザリングモードで、従来の2倍のLEDの点灯に成功した。その結果を査読付き国際会議 IEEE WPTCEなどで報告した[14][15]。また、整流ダイオードで構成したダイポールと、2つのLEDで構成したループを組み合わせてレクテナを構成し二つのLEDを同時に点灯させる手法を提案し国際会議で報告した[16][17]。本結果は Student award contest の finalist となった。これらの結果を応用し、Wi-Fiなどの電波によるエネルギーハーベストで光るアクセサリについて検討しその結果を WPT 研究会で報告した[18][19]。

C) メタヒューリスティクスを活用した到来方向推定

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、より自由度の高い GA として提案されているパラメータフリーGA (PfGA) や粒子群最適化 (PSO) を用いて推定手法の改善を試みた[20]–[22]。成果[22]においては北海道支部学生ブランチ顧問表彰(発表賞)を受賞している。

D) 5G など通信技術の高周波化、高度化

ミリ波帯アンテナ用薄型誘電体レンズの構造設計にトポロジー最適化を用いた。3D プリンタの PLA フィラメントを想定した場合の設計および試作を行い、76GHz 帯において誘電体レンズによる利得改善を確認した[23]–[25]。成果[25]においては特別賞(ユニークアイディア)を受賞している。

また、ミリ波帯誘電体線路の設計を行い、誘電体だけで構成した線路でも伝送および分波可能であること

を示した[26][27]。3D プリンタを用いたミリ波部品の設計ではプリント基板用フィルタの設計を行い、ターゲットとなる周波数帯に合わせてバンドパス特性が得られることを示した[28][29]。

研究成果

- [1] Koyo Hatazawa, Tamami Maruyama, Masashi Nakatsugawa, Takahiko Nakamura, Tsunayuki Yamamoto, Manabu Omiya, “Novel Microwave Snow Melting Waveguide Utilizing EBG to Prevent Electromagnetic Leakage,” IEEE International Symposium on Antennas and Propagation and USNC-URSI Radio Science Meeting, AP-S 2024, pp.2061-2062, DOI: 10.1109/AP-S/INC-USNC-URSI52054.2024.10687108 (2024.7)
- [2] 畑沢公陽, 丸山珠美, 中津川征士, 山本綱之, 大宮学, “マイクロ波融雪用電波漏洩防止 EBG 導波管に対する雪の影響解析,” 信学技報, vol. 124, no. 96, MW2024-58, pp. 137-140 (2024.7)
- [3] 畑沢公陽, 丸山珠美, 中村尚彦, 中津川征士, 山本綱之, 大宮学, “マイクロ波融雪用電波漏洩防止 EBG 導波管に対する水および雪の影響解析,” 信学技報, vol. 124, no. 342, WPT2024-34, pp. 7-11 (2025.1)
- [4] 畑沢公陽, 丸山珠美, 大宮学, 山本綱之, 中村尚彦, 伊藤桂一, 中津川征士, 玉山泰宏, 村田政隆, “電波漏洩防止用 EBG 装荷導波管によるマイクロ波融雪実験および WPT 伝送効率測定,” 2025 年電子情報通信学会総合大会, B-1B-57 (2025.3)
- [5] Masashi Nakatsugawa, Yuga Sasaki, Tamami Maruyama, Mamoru Omiya, Yasuhiro Tamayama, “Experimental evaluation of the transmission performance between a circuit-shape slotted waveguide and a $\lambda/2$ dipole antenna,” IEEE-APS Conference on Antennas and Propagation for Wireless Communications, IEEE APWC 2024 proceeding, p.84, DOI: 10.1109/APWC61918.2024.10701834 (2024.9)
- [6] 中津川征士, 佐々木悠雅, 丸山珠美, 大宮学, 玉山泰宏, “スロット開口サーキット型導波管と $\lambda/2$ ダイポールアンテナ間の伝送特性に関する実験的評価,” 信学技報, vol. 124, no. 96, MW2024-59, pp. 141-145 (2024.7)
- [7] Takuto Goto, Yuga Sasaki, Masashi Nakatsugawa, Tamami Maruyama, Mamoru Omiya, Yasuhiro Tamayama, “Comparison between S-parameter Characteristics of the Circuit-Shape Leaky-Waveguide Obtained by the FDTD Simulation and Experimental Measurements,” 9th STI-Gigaku 2024, Nagaoka, Japan, STI-9-35 (2024.11)
- [8] Tamami Maruyama, Olan Heinen, Masashi Nakatsugawa, Katsuya Nakahira, Masayuki Okamoto, Ikuo Awai, “Study on Simultaneous Wireless Power Transfer in Air and Underwater Using Magnetic Field Coupling,” IEEE-APS Conference on Antennas and Propagation for Wireless Communications, IEEE APWC 2024, pp. 165-168, DOI 10.1109/APWC61918.2024.10701898 (2024.9)
- [9] 丸山珠美, OLAN HEINEN, 中津川征士, 中平勝也, 岡本昌幸, 栗井郁雄, “磁界結合ワイヤレス電力伝送における送受異なる媒質の影響解析,” 信学技報, vol. 124, no. 77, WPT2024-9, pp. 7-11 (2024.6)
- [10] Heinen Olan, 鎌田緋莉, 丸山珠美, 中津川征士, 中平勝也, 岡本昌幸, 栗井郁雄, “磁界結合 WPT による水中空中同時給電のための効率解析,” 2024 年電子情報通信学会ソサイエティ大会, B-20-06 (2024.9)
- [11] Akari Kamada, Tamami Maruyama, Noa Ebita, Masashi Nakatsugawa, Masaya Tamura, Noriharu Suematsu, “Coil Orientation Impact on Efficiency in Double-Sided WPT with Magnetic Field Coupling,” IEEE International Symposium on Antennas and Propagation and USNC-URSI Radio Science Meeting, AP-S 2024 pp. 1605-1606, DOI: 10.1109/AP-S/INC-USNC-URSI52054.2024.10686242 (2024.7)
- [12] 鎌田緋莉, 丸山珠美, 中津川征士, 田村昌也, 栗井郁雄, “水中における磁界結合ワイヤレス給電のための電気特性に関するモーメント法電磁界解析を用いた基礎検討,” 信学技報, vol. 124, no. 301, WPT2024-25, pp. 6-11 (2024.12)
- [13] 丸山珠美, 鎌田緋莉, 中津川征士, 栗井郁雄, 岡本昌幸, 中平勝也, “磁界結合ワイヤレス給電の誘

- 電体媒質影響に対するフィルタ理論解析,” 信学技報, vol. 124, no. 427, WPT2024-50, pp. 56-60 (2025.3)
- [14] Tamami Maruyama, Olan Heinen, Noa Ebita, Masashi Nakatsugawa, Masaya Tamura, Noriharu Suematsu, “Analysis and LEDs Illumination Using Wi-Fi Tethering of Novel Crossed Dipole Rectenna Array,” 2024 IEEE Wireless Power Technology conference and expo (WPTCE 2024) pp.124-127, DOI: 10.1109/WPTCE59894.2024.10557445 (2024.5)
- [15] Olan HEINEN, 丸山珠美, 海老田のあ, 鎌田緋莉, 中津川征士, 田村昌也, 末松憲治, “Experiment of Simultaneous Illumination of Multiple LEDs by Receiving the Radio Waves of Wi-Fi Tethering with Rectenna Array,” 信学技報, vol. 124, no. 4, WPT2024-2, pp. 7-11 (2024.4)
- [16] Olan Heinen, Noa Ebita, Tamami Maruyama, Masashi Nakatsugawa, Masaya Tamura, Noriharu Suematsu, “Analysis and Measurement of a Novel Rectenna Array Crossing a Loop and Dipole Antennas,” 2024 International Symposium on Antennas and Propagation (ISAP 2024), Songdo Convensia, Incheon, Republic of Korea, FrH2_06(06), pp.1-2 (2024.11)
- [17] 丸山珠美, Heinen Olan, 海老田のあ, 中津川征士, 田村昌也, 末松憲治, “ダイポールとループをクロスさせたレクテナアレーの解析と測定,” 2024 年電子情報通信学会ソサイエティ大会 B-1B-27 (2024.9)
- [18] 海老田のあ, 丸山珠美, 中津川征士, 田村昌也, 末松憲治, “複数同時ワイヤレス給電のための誘電体埋め込みループ型レクテナアレーの特性解析,” 信学技報, vol. 124, no. 301, WPT2024-24, pp. 1-5 (2024.12)
- [19] 海老田のあ, 丸山珠美, 中津川征士, 田村昌也, 末松憲治, “複数同時ワイヤレス給電のための誘電体埋め込みループ型レクテナアレーによるアクセサリの試作と実験,” 信学技報, vol. 124, no. 427, WPT2024-48, pp. 48-52 (2025.3)
- [20] 船木聖仁, 大島功三, 村本充, “近傍波到来方向推定における性能向上に関する一考察”, 令和 6 年度電気・情報関係学会北海道支部連合大会, 33 (2024.11)
- [21] 船木聖仁, 大島功三, 村本充, “メタヒューリスティクスを用いた到来方向推定法に関する一考察”, 第 30 回高専シンポジウム in Okayama, H-04 (2025.1)
- [22] 船木聖仁, 大島功三, 村本充, “近傍波到来方向推定における推定精度と演算量の比較検討”, 令和 6 年度 IEICE 北海道支部学生会インターネットシンポジウム, 2-06 (2025.2)
- [23] 田村祐太, 伊藤桂一, 田中将樹, “ミリ波アンテナ用薄型誘電体レンズの試作に関する検討”, 令和 6 年度電気・情報関係学会北海道支部連合大会, 27, p.48 (2024.11)
- [24] 田村祐太, 伊藤桂一, 田中将樹, 菅原英子, 古市朋之, 末松憲治, “ミリ波アンテナ用誘電体レンズの FDM 方式 3D プリンタによる設計と試作”, 令和 7 年東北地区若手研究者研究発表会, YS-23-P24, pp.175-176 (2025.3)
- [25] 田村祐太, 田中将樹, 伊藤桂一, “3D プリンタによるミリ波アンテナ用誘電体レンズの試作”, 2025 年電子情報通信学会総合大会ジュニア&学生ポスターセッション予稿集, TPO-1-16, p.JSPO-16 (2025.3)
- [26] 加藤航雅, 田中将樹, 松田英昭, 伊藤桂一, “ミリ波給電線路一体型誘電体共振器アンテナアレーの設計”, 令和 6 年度電気・情報関係学会北海道支部連合大会, 23, p.42 (2024.11)
- [27] 加藤航雅, 田中将樹, 菅原英子, 松田英昭, 伊藤桂一, 古市朋之, 末松憲治, “トポロジー最適化を用いた誘電体導波管一体型ミリ波誘電体アンテナアレーの設計”, 令和 7 年東北地区若手研究者研究発表会, YS-23-P23, pp.173-174 (2025.3)
- [28] 柴田勝成, 伊藤桂一, 野村政宗, 武居周, “トポロジー最適化を用いたミリ波プリント基板用フィルタの設計”, 令和 6 年度電気・情報関係学会北海道支部連合大会, 26, p.47 (2024.11)

- [29] 柴田勝成, 伊藤桂一, 野村政宗, 菅原英子, 武居周, 古市朋之, 末松憲治, “3D プリンタで試作可能なミリ波プリント基板用フィルタ素子の設計”, 令和 7 年東北地区若手研究者研究発表会, YS-23-P21, pp.169-170 (2025.3)

受賞一覧

- [1] 高専ワイヤレステックコンテスト 2025 (WiCON2025), NTT コミュニケーションズ賞(2025.3)
- [2] 令和 6 年度 IEICE 北海道支部学生会インターネットシンポジウム, 北海道支部学生ランチ顧問表彰(発表賞) (2025.3)
- [3] 2025 年電子情報通信学会総合大会ジュニア & 学生ポスターセッション, 特別賞(ユニークアイディア) (2025.3)