

2022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 積雪寒冷地の地域課題解決を目指す大規模電磁界解析に関する研究
3. 研究期間 令和4年5月18日 ~ 令和5年3月31日
4. 研究代表者

氏名	所属機関・部局名	職名	備考
大島 功三	旭川工業高等専門学校・電気情報工学科	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	
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	
村本 充	苫小牧工業高等専門学校・創造工学科	教授	
奈須野 裕	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	
小渡 眞守	旭川工業高等専門学校専攻科・生産システム工学専攻	専攻科2年	
飛沢 瑠伽	秋田工業高等専門学校専攻科・生産システム工学専攻	専攻科2年	
保坂 真志	秋田工業高等専門学校専攻科・グローバル地域創生工学専攻	専攻科1年	
大宮 学	北海道大学・情報基盤センター	教授	

6. 共同研究の成果

積雪寒冷地において、融雪・除雪が非常に大きな問題となっており、マイクロ波導波管を用いた融雪方法が提案されている。さらに北海道地域では、5G・IoTのスマート漁業、スマート農業への適用が期待される一方で、道路や水道管の凍結による劣化など地域特有の課題がある。また、カーボンニュートラル、脱炭素社会の実現に向けたエネルギーの安定供給の確保やエネルギーコスト低減などに向けた取り組みが進められている。本研究では、大規模電磁界解析技術を応用することによる寒冷地地域特有課題の解決を目的とし、以下の検討を実施した。

マイクロ波融雪の効率化

北海道大学情報基盤センターが開発した電磁界解析ソフト JetFDTD を用いて、マイクロ波導波管のスロット形状最適化の検討[1][2]、パッチアレーアンテナの検討[3]を実施した。融雪に用いるモルタルブロックの最適な位置について解析的に検討し、マイクロ波導波管からの最適な距離を明らかにした[4][5]。一つの給電装置で広いエリアを均等に融雪するため、従来の直線型導波管に変えて、サーキット型導波管を提案している。このサーキット型導波管について、給電点の位置を短手方向の中央に置いた場合と、長手方向の中央に置いた場合の電磁界分布を求め比較を行った。JetFDTD を用いた過渡解析により、給電点から放射された電波が導波管に内部を伝搬する様子を観測した結果、長手方向で給電した場合は電波が対称に進む部分で電磁波の相殺が発生しスロットからの漏れ波が小さくなるのに対して、短手方向で給電した場合は、相殺される領域が小さく、長手方向に回り込んだ後、両側で同相に電波が進むことを明らかにし、その結果を報告した[6][7]。この発表で学生が Best Research Presentation Award を受賞した。電波が給電点の両側に進むと、管内を半周したところで電磁波が衝突してしまう。これを回避し、電磁波が導波管内を同じ方向に一周し、再び給電点に戻って再び給電されるような構造として、左手系導波管と右手系導波管を組み合わせた右手左手系サーキット型導波管を提案し、Jet FDTD を用いて過渡応答を求めた。左手系導波管は通常分散曲線を計算できる有限要素法が用いられる。このため、左手系導波管の過渡解析はあまり行われていなかった。Jet FDTD を用いてこれを解析し、給電点から放射された電波がスタブを通ったのちに反対方向に進む様子を明らかにした[8]。次に、この設計したスロット付き左手系導波管と、スロット付き右手系導波管を、サーキット型導波管の二つの長手方向にそれぞれ配置した結果、電磁波が管内を同じ方向に進むことを明らかにした[9][10]。また、本構造を設計の容易な CRLH 導波管で構成した場合の、曲線部分での零次共振の発生方法について基礎検討を実施した[11][12][31]。これら導波管上に発生するマイクロ波を用いたワイヤレス電力伝送によって、除雪ロボットを動作駆動させることを目的とし、ワイヤレス電力伝送効率を Jet-FDTD 法を用いて解析した。受電側のダイポールアレーの配置と特性については[13]-[15]で、送電側のサーキット型導波管に対するワイヤレス電力伝送効率については[16][17]で報告した。

下水道管内の電磁界分布解析

北海道特有の凍結が一因ともなる下水道管の老朽化が急速に進んでいるが、その調査に無線通信による遠隔操作が可能な簡易ロボットを行う取り組みも進められているが、下水道管内部では電波伝搬特性が自由空間中とは異なる振る舞いをするため、安定した調査を行うためには最適な無線環境を確立する必要がある。電磁界解析ソフト JetFDTD を用いて様々なモデルの下水道管内部の電波伝搬特性について評価を行った[18][19]。

エネルギーハーベスティングによる電力不足の解消

八木宇田アンテナの導波器の原理をレクテナに応用することにより、複数の素子に電力を伝搬させる手法が申請者らにより報告されている。提案手法を用いることにより、受電素子を増やす程、遠くまで電力を伝送することが可能となる。しかし、八木宇田アンテナは素子の形状と構造に制約が生じる。この問題に対処するため、ループ型八木宇田レクテナアレー、集中定数装荷による小型八木宇田アレーを考案し、ワイヤレス電力伝送効率を電磁界解析によって明らかにしその結果を発表した[20]-[24][32][33]。このように、無給電素子を中継器として用いる効果は、半波長型の素子だけでなく、磁界結合ワイヤレス電力伝送で用いるコイルの場合も有効であることを明らかにし、報告した[25]-[28]。また、本結果は ATS2022 において優秀学術賞を受賞した。

5G で用いる高い周波数帯のエリア改善

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波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)を用いて推定手法の改善を試みた[29]。76GHz 帯のミリ波アンテナに装荷する薄型誘電体レンズについてトポロジー最適化を行い、波長の 1/4 程度の厚みでも利得が改善することを確認した[30]。

研究成果

- [1] 外崎楓子, 村本充, 大島功三, ”融雪用導波管スロット最適化における評価関数の改善“, 令和4年度電気・情報関係学会北海道支部連合大会, 67 (2022.11)
- [2] 関口敬大, 大島功三, 村本充, ”マイクロ波融雪用導波管スロットの最適設計における評価関数の検

- 討”, 第 28 回高専シンポジウム in Yonago, 5-16 (2023.1)
- [3] 笹原侑翔, 村本充, 大島功三, “マイクロ波融雪のためのパッチアレーアンテナの提案”, 令和 4 年度電気・情報関係学会北海道支部連合大会, 68 (2022.11)
- [4] 飛沢瑠伽, 伊藤桂一, 丸山珠美, 中津川征士, 中村尚彦, 村本充, 奈須野裕, 大島功三, 山本綱之, 大宮学, 玉山泰宏, “Altair FEKO を用いたアンテナ用誘電体レドームの設計”, 第 31 回 MAGDA コンファレンス in 鹿児島 (MAGDA2022) ~電磁現象及び電磁力に関するコンファレンス~, PS-15, pp.159-160(2022.11)
- [5] 飛沢瑠伽, 伊藤桂一, “Altair FEKO を用いたアレーアンテナ用誘電体レドームの設計”, 令和 4 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,T22-5-03(2022.11)
- [6] Kota Unyu, Tamami Maruyama, Masashi Nakatsugawa, Manabu Omiya, Yasuhiro Tamayama, “Visualization of the transient response of electromagnetic fields propagating inside circuit-type waveguides for microwave snow melting, STI-4-4, 7th STI-Gigaku 2022 (Best Research Presentation Award 受賞).
- [7] K. Unyu, T. Maruyama, M. Nakatsugawa, M. Omiya, Y. Tamayama: “Transient response of circuit type slotted waveguides for microwave snow melting,” Chitose International Forum on Science & Technology (CIF 2022) Session 2(RR1) 1-1 2022 年 9 月.
- [8] Kota UNYU, Tamami MARUYAMA †, Masashi NAKATSUGAWA †, Manabu OMIYA ‡, Yasuhiro Tamayama: “Left-Handed Slotted Waveguide Analysis Using FDTD method,” 2022 Asian Wireless Power Transfer Workshop 1(1) pp. 98-101 2022 年 12 月.
- [9] 鶴入宏太, 丸山珠美, 中津川征士, 大宮学, 玉山泰宏: “マイクロ波融雪のためのサーキット型右手左手系導波管の過渡応答,” 信学技報, vol. 122, no. 411, MW2022-172, pp. 88-91, 2023 年 3 月.
- [10] 鶴入宏太, 丸山珠美, 中津川征士, 大宮学, 玉山泰宏: “サーキット型右手左手系導波管の過渡応答,” IEICE2023 年総合大会通信講演論文集 1, B-20-004, p.483, 2023.
- [11] Keito Togawa, Takeo Kobayashi, Tsunayuki Yamamoto, Tamami Maruyama, Masashi Nakatsugawa, Takahiko Nakamura, Keiichi Ito, Mitsuru Muramoto, Yutaka Nasuno, Kohzoh Ohsima, Manabu Omiya, Yasuhiro Tamayama: “Research on Characteristics of Arc-Shaped CRLH Waveguide for a Snow Melting System,” 2022 Asian Wireless Power Transfer Workshop 1(1) pp. 102-106 2022 年 12 月.
- [12] 小橋健生, 戸川慶人, 山本綱之, 丸山珠美, 中津川征士, 中村尚彦, 伊藤桂一, 村本充, 奈須野裕, 大島功三, 大宮学, 玉山泰宏: “マイクロ波融雪システムに利用する CRLH 導波管の曲線形状部が電磁波伝搬特性に与える影響に関する研究,” 信学技報, vol. 122, no. 411, MW2022-173, pp. 92-97, 2023 年 3 月.
- [13] Tamami Maruyama, Masashi Nakatsugawa, Takahiko Nakamura, Yasuhiro Tamayama, Manabu Omiya: “The Rectenna Array for Minecart Fed by Leaky Wave Waveguide for Microwave Snow Melting,” 2022 IEEE-APS Topical Conference on Antennas and Propagation in Wireless Communications (APWC), DOI 10.1109/APWC49427.2022.9899900, pp.65-66., 2022. Aug. (Invite).
- [14] Tamami Maruyama, Masashi Nakatsugawa, Takahiko Nakamura, Yasuhiro Tamayama, Tsunayuki Yamamoto, Manabu Omiya, Keiichi Ito, Kouzoh Ohshima, Mitsuru Muramoto, Yutaka Nasuno: “Wireless Power Transmission Efficiency of Rectenna Array Connected in Parallel,” 2022 IEEE International Symposium on Antennas and Propagation and USNC-URSI Radio Science Meeting (AP-S/URSI). pp. 1744-1745, DOI: 10.1109/AP-S/USNC-URSI47032.2022.9886607.
- [15] Tamami Maruyama, Koki Shibata, Masashi Nakatsugawa, Yasuhiro Tamayama, Manabu Omiya, Tsunayuki Yamamoto, Takahiko Nakamura, Kouzoh Ohshima, Mitsuru Muramoto, Yutaka Nasuno, Keiichi Ito: “Wireless Power Transmission Efficiency of Dipole Array Antenna using a Left-Handed Waveguide Slot Antenna as a Feeder,” ELEKTRIKA- Journal of Electrical Engineering, DOI10.11113/elektrika.v21n2.410, .vol. 21, no2.410, pp.86-89.
- [16] Yuga SASAKI, Masashi NAKATSUGAWA, Tamami MARUYAMA, Manabu OMIYA, Yasuhiro TAMAYAMA: “WPT Performance Dependency on the Circumference Length of the Circuit Shape Waveguides,” 2022 Asian Wireless Power Transfer Workshop 1(1) pp. 137-140 2022 年 12 月.
- [17] 佐々木悠雅, 中津川征士, 丸山珠美, 大宮学, 玉山泰宏: “サーキット型導波管と半波長ダイポールアンテナ間の無線電力伝送特性の周長依存性”. IEICE2023 年総合大会通信講演論文集 1, B-20-3, p.482, 2023.
- [18] 小渡眞守, 大島功三, 村本充, “土砂の侵入を考慮した下水道管内部における電波伝搬特性に関する研究”, 第 28 回高専シンポジウム in Yonago, 5-24 (2023.1)
- [19] 小渡眞守, 大島功三, 村本充, “アンテナの角度変更を考慮した下水道管内部の電波伝搬特性に関する研究”, 令和 4 年度 IEICE 北海道支部学生会インターネットシンポジウム, 1-01 (2023.2)
- [20] Noa EBITA, Tamami MARUYAMA, Masashi NAKATSUGAWA, Masaya TAMURA: “Wireless Power Supply for LED Accessories Based on the Principle of the Looped Yagi-Uda Antenna,” 2022

Asian Wireless Power Transfer Workshop 1(1) pp. 31-32 2022 年 12 月.

- [21] 丸山珠美, 海老田のあ, 柴田紘希, 中津川征士, 村田政隆: “レクテナアレーの導波作用によるワイヤレス電力伝送効率改善測定,” 電子情報通信学会ソサイエティ大会 2022 1(B-20-012) 369-369 2022 年 9 月.
- [22] 柴田紘希, 鎌田 緋莉, 島田 昂幸, 丸山珠美, 中津川征士: “インピーダンス装荷と中継コイル挿入による磁界結合 WPT 効率改善に対する実験的検討,” 電子情報通信学会ソサイエティ大会 2022 1(B-1-82) 82-82 2022 年 9 月.
- [23] 海老田のあ, 丸山珠美, 中津川征士, 田村昌也: “C 型ループレクテナアレーによる LED アクセサリの点灯実験と特性解析 “、信学技報, vol. 122, no. 443, WPT2022-60, pp. 129-132, 2023 年 3 月.
- [24] 石黒大翔, 丸山珠美, 中津川征士, 田村昌也: “インピーダンス装荷小型レクテナアレー,” IEICE2023 年総合大会通信講演論文集 1, B-20-005, p.484, 2023.
- [25] Tamami Maruyama, Koki Shibata, Masashi Nakatsugawa: “Experimental Study of Efficiency with Inductance Load and Relay Coil for Magnetic Field Coupling WPT,” ISAP 2022 The 2022 International Symposium on Antennas and Propagation, DOI 10.1109/ISAP53582.2022.9998765, pp353-354.
- [26] Akari Kamada, Tamami Maruyama, Masashi Nakatsugawa, Masaya Tamura: “Analysis on the wireless power transmission efficiency of the moving objects simultaneously fed by a single coil for the magnetic field coupled WPT.” 2022 Asian Wireless Power Transfer Workshop 1(1) 134-136 2022 年 12 月.
- [27] 鎌田 緋莉, 丸山珠美, 中津川征士, 田村昌也: “負荷装荷磁界結合 WPT による LED 点灯実験 “、信学技報, vol. 122, no. 443, WPT2022-37, pp. 37-40, 2023 年 3 月.
- [28] 島田昂幸, 丸山珠美, 中津川征士, 田村昌也: “複数同時給電磁界結合 WPT の負荷装荷による効率改善”. IEICE2023 年総合大会通信講演論文集 1, B-20-11, p.490, 2023.
- [29] 船木聖仁, 大島功三, 村本充, “近傍波の到来方向推定における染色体数減少法に関する一考察”, 第 28 回高専シンポジウム in Yonago, 2-6 (2023.1)
- [30] 伊藤桂一, 戸賀瀬駿, 佐藤潤弥, 田中将樹, 五十嵐一, “高誘電率材料を用いたミリ波アンテナ用薄型誘電体レンズの設計”, 電子情報通信学会技術研究報告, EST2022-84, pp.53-57(2023.1) (電子情報通信学会エレクトロニクスシミュレーション研究会優秀論文発表賞受賞) .

発表予定業績

- [31] Kota Unyu, Tamami Maruyama, Masashi Nakatsugawa, Manabu Omiya, Yasuhiro Tamayama, "Transient Response of Circuit Shape Right- and Left-handed Waveguide," IEEE AP-S 2023 (Accept).
- [32] Tamami Maruyama, Hiroto Ishiguro, Noa Ebita, Akari Kamada, Masashi Nakatsugawa, Masaya Tamura, "Miniaturization of Yagi-Uda rectenna by impedance loading ," IEEE AP-S 2023 (accepted).
- [33] Tamami MARUYAMA, Noa EBITA, Masashi NAKATSUGAWA, Masaya TAMURA: “Novel C-shaped loop rectenna arrays for LED accessories,” IEEE URSI GASS 2023 (accepted).