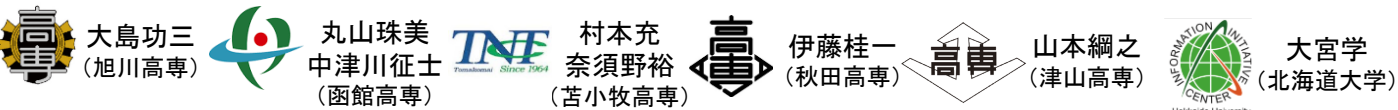


EX21101 (北海道大学推薦課題)

課題代表者氏名(所属) 大島 功三 (旭川工業高等専門学校)



超スマート社会における地域課題解決へ向けた大規模電磁界解析に関する研究



研究概要

本研究の背景

超スマート社会 (Society5.0) の実現へ向けて、IoT化による電力不足への懸念からエネルギーの多様化による安定供給、低炭素化を進めていく必要がある中で、クリーンなエネルギーである水素生成の効率化、エネルギーハーベスティングの実現に対する期待も高まっている。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、第5世代移動通信 (5G) のサービス開始とともに高い周波数帯 (28GHz帯) の活用が期待されている。

本研究の目的

- 下水道管内における無線LANの電磁界分布解析
- メタヒューリスティクスを活用した到来方向推定の確立
- 5GおよびIoT対応ミリ波アンテナの最適設計の高性能化と大規模モデル設計
- ダイオード装荷メタサーフェスの最適設計
- 八木宇田アンテナ応用レクテナの最適設計
- マイクロ波融雪装置最適設計

研究内容

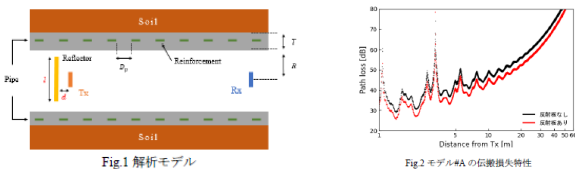
下水道管内における無線LANの電磁界分布解析

概要

近年、全国で下水道管の老朽化が急速に進行しており、下水道管内部を効率よく調査するために無線通信によって操作することができるロボットを導入することが検討されている。下水道管内部は自由空間と異なり多重反射環境であるため、電波伝搬特性について解析を行った。

主な成果

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[1][2]。また、反射板を設置した場合の特性改善について検討した[3]。



発表文献

- [1] 小渡眞守, 大島功三, 村本充, 大宮学, “5 GHz帯における下水道管内部の伝搬モデルパラメータの推定”, 令和3年度電気・情報関係学会北海道支部連合大会, 58 (2021.11)
- [2] 脇修平, 大島功三, 村本充, “アンテナ配置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3年度電気・情報関係学会北海道支部連合大会, 59 (2021.11)
- [3] 脇修平, 大島功三, 村本充, “反射板を用いた下水道管内部における伝搬損失の低減”, 2022年電子情報通信学会総大会, B-1-45 (2022.3)

メタヒューリスティクスを活用した到来方向推定の確立

概要

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電波の到来方向推定手法の確立のため、染色体数可変GAのGA部分により自由度の高いGAとしてパラメータフリーGAを用いて推定精度の改善を試みた。

主な成果

パラメータフリーGAを導入することにより、計算負荷の軽減ができた[4]。また、分散型PGAを導入し、精度を向上させることができた[5]。

発表文献

- [4] 林優太, 大島功三, 村本充, “パラメータフリーGAによる近傍波の到来方向推定精度向上の一検討”, 令和3年度電気・情報関係学会北海道支部連合大会, 56 (2021.11)
- [5] 林優太, 大島功三, 村本充, “分散型PGAによる近傍波の到来方向推定に関する一検討”, 2022年電子情報通信学会総大会, B-1-161 (2022.3)

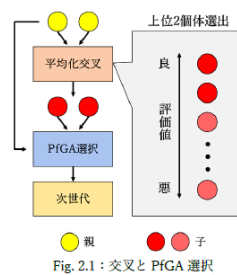


Fig. 2.1 : 交叉とPGA選択

Table 3.2 : シミュレーション結果
信号1: 60[deg], 1[m] 信号2: 0[deg], 1[m]

FCGA(通常のGA)			
	信号1	信号2	
電力[W]	1.0	1.0	
方向[deg]	59.9	0.0	
距離[m]	0.98	1.00	
FCGA(PGA導入)			
電力[W]	1.0	1.0	
方向[deg]	60.0	0.0	
距離[m]	1.00	1.00	

Table 3.3 : シミュレーション結果
信号1: 10[deg], 5[m] 信号2: 0[deg], 5[m]

併分岐化		分散化	
信号1	信号2	信号1	信号2
電力[W]	0.9	1.0	1.0
方向[deg]	9.4	2.4	10.1
距離[m]	4.08	14.15	5.24

EX21101 (北海道大学推薦課題)

課題代表者氏名(所属) 大島 功三 (旭川工業高等専門学校)



超スマート社会における地域課題解決へ向けた大規模電磁界解析に関する研究

5GおよびIoT対応ミリ波アンテナの最適設計の高性能化と大規模モデル設計

概要

IoTにおけるセンシング用途を目的としたミリ波アンテナの最適設計を行った。アプリケーションを想定したアンテナ設計に対してトポロジー最適化を用いたアンテナ用レンズの設計および超薄型化、FSSと組み合わせた高機能化に取り組んだ。設計はFDTD法ベースで行い、比較的規模の大きいモデルでも最適化できることを確認した。

主な成果

NGnetを用いたトポロジー最適化により76GHz帯導波管スロットアレーアンテナの設計を行った[6]、薄型誘電体レンズ[7]やFSSを搭載した導波管スロットアンテナ[8]、79GHz帯ミリ波導波管スロットアンテナ用薄型誘電体レンズ[10]の設計を行い、有効性を確認した。また、導波管分波器の整合法に関する検討を行い、設計方法の改善を試みた[8]。

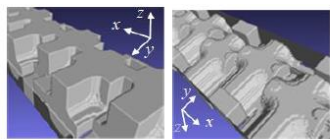


図3 誘電体カバー設計結果 (左:上面, 右:背面)

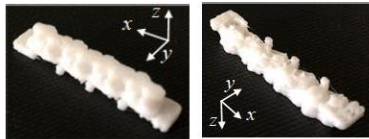


図4 試作した誘電体カバー (左:上面, 右:背面)

発表文献

- [6] 滝田和真, 伊藤桂一, 田中将樹, 松田英昭, 五十嵐一, “NGnetを用いたトポロジー最適化によるミリ波導波管スロットアレーアンテナの誘電体カバー設計”, 電子情報通信学会論文誌, Vol. J105-C, No. 1, pp. 55-56 (2022. 1)
- [7] 戸賀瀬駿, 田中将樹, 伊藤桂一, “ミリ波導波管スロットアンテナ用薄型誘電体レンズのトポロジー最適化”, 第27回高専シンポジウムオンライン, P-069 (2022. 1)
- [8] 船木誠哉, 田中将樹, 伊藤桂一, “FSSを搭載した導波管スロットアンテナの設計と試作”, 第27回高専シンポジウムオンライン, P-067 (2022. 1)
- [9] 鈴木裕野, 松田英昭, 伊藤桂一, “FDTD法を用いた導波管分波器の整合法に関する検討”, 令和4年東北地区若手研究者研究発表会, YS-20-P21, pp. 215-216 (2022. 2)
- [10] 戸賀瀬駿, 田中将樹, 伊藤桂一, “79GHz帯ミリ波導波管スロットアンテナ用薄型誘電体レンズの設計”, 令和4年東北地区若手研究者研究発表会, YS-20-P22, pp. 217-218 (2022. 2)

ダイオード装荷メタサーフェスの最適設計
八木宇田アンテナ応用レクテナの最適設計

概要と主な成果

八木宇田構造を応用したレクテナアレーにおいて、反射器、導波器、励振器が直線状に配置されない場合について、ダイオード装荷メタサーフェスを八木宇田アンテナの反射器とすることにより、ワイヤレス電力伝送効率を上げられることを解析によって明らかにした[11]-[14]。

八木宇田アンテナ応用エネルギーハーベスト用レクテナを任意の形状の素子に拡張する検討を実施した。その結果、誘電体埋め込み折り曲げダイポールレクテナのワイヤレス電力伝送距離が、送電部との間に導く波器を設置することで拡張できることを明らかにした[15], [16]。また、レクテナアレーの導波素子設置の効果をネットワークアナライザを用いたSパラ測定結果からワイヤレス電力伝送効率を求めることにより明らかにした[17]。

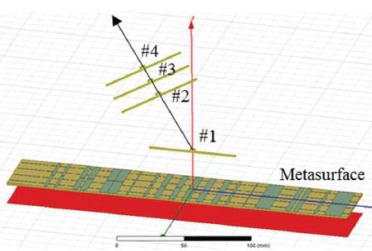
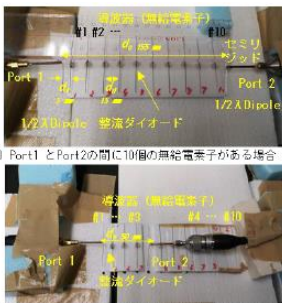


Fig.1 Yagi-Uda type rectenna with metasurface



(a) Port1とPort2の間に10個の無電容素子がある場合

(b) Port1とPort2の間に1個の無電容素子がある場合

図2 試作した八木宇田型レクテナアレーの構造

発表文献

- [11] Tamami Maruyama, Masashi Nakatsugawa, Noriharu Suematsu, Mizuki Motoyoshi, Qiang Chen, Hiroyasu Sato, Manabu Omiya: “Novel Design of Rectenna Array Using Metasurface for IoT,” 2021 IEEE-APS Topical Conference on Antennas and Propagation in Wireless Communications (APWC) 1 (21231263) 165-167 2021年8月9日。
- [12] 丸山珠美, 柴田紘希, 中津川征士: “メタサーフェス応用八木宇田レクテナ,” 信学技報, vol. 121, no. 414, WPT2021-19, pp. 1-4, 2022年3月。121 (414) 1-4 2022年3月。
- [13] 柴田紘希, 丸山珠美, 中津川征士: “インダクタンス装荷と中継コイル挿入による磁界結合WPTに対する実験的検討,” 信学技報, vol. 121, no. 414, WPT2021-23, pp. 17-20, 2022年3月。121 (414) 17-20 2022年3月。
- [14] Tamami Maruyama, Tai Kimura, Masahi Nakatsugawa: “Magnetic Coupling WPT Efficiency Improvement by Inserting Relay Coil with Optimized Load Impedance,” 2021 IEEE International Symposium on Antenna and Propagation (IEEE AP-S 2021) 1 (1) 455-456 2021年12月。
- [15] Tamami Maruyama, Koki Shibata, Tai Kimura, Masashi Nakatsugawa: “Extension of WPT Distance for Folded Dipole Rectenna by Using Parasitic Elements as Directors,” 2021 IEEE Conference on Antenna Measurements & Applications (CAMA) 1 (1) 5-6 2021年11月。
- [16] 丸山珠美, 柴田紘希, 木村太, 中津川征士: “導波作用によるワイヤレス電力伝送距離改善法,” 2021年電子情報通信学会通信ソサイエティ大会 通信講演論文集 1BS-2-1 1 (1) S-10-S-11 2021年9月。
- [17] 丸山珠美, 柴田紘希, 中津川征士, 村田政隆: “八木宇田構造応用レクテナアレーのワイヤレス電力伝送効率測定,” 2022年電子情報通信学会総合大会, B-1-75 (2022. 3)

EX21101 (北海道大学推薦課題)

課題代表者氏名(所属) 大島 功三 (旭川工業高等専門学校)



超スマート社会における地域課題解決へ向けた大規模電磁界解析に関する研究

マイクロ波融雪装置最適設計

概要と主な成果

マイクロ波融雪装置の最適設計を目的として、マイクロ波導波管のスロット形状の検討[18][19]、最適化手法を用いた最適化に関する検討[20]を実施した。また、導波管に装荷するモルタルブロックの形状最適化を行った[21]。

マイクロ波を用いた融雪装置として、従来の直線導波管を、サーキット型にすることにより、広いエリアを少ない設備で融雪する手法を提案した。導波管をサーキット型にすることが有効に働けば、波源から放射された電波が管内を一周して波源に戻り増幅されることが期待できる。しかし、終端板を設置しない構造にすれば、電波は両側に同時に放射されるため、中央で衝突してしまうなどの不具合も考えられる。そこで本研究では、FDTD法を用いてサーキット型導波管を解析し、波源をサーキットの長手方向に置いた場合は、給電点の両側に電波が逆向きに放射されることにより、電磁界が相殺され、給電点側の導波管上の電界が0に近くなるのに対して、波源を短手方向に置いた場合は電波の相殺される範囲が小さくなり、サーキット導波管上全般に渡り電界がほぼ均等に分布することを明らかにした。次に、導波管上のスロット間隔を変化させた解析を行い、 0.5λ とした場合はエンドファイア方向、すなわち導波管に対して水平方向に電界が強くなるのに対して、 1.0λ とした場合はブロードサイド方向、すなわち導波管に対して鉛直方向に電界が強くなり、導波管上の融雪には 1.0λ とすることが有効であることを明らかにした[22][23]。サーキット導波管のマイクロ波加熱およびワイヤレス電力伝送効率向上のため左手系導波管の導入を検討している。本研究では右手系と左手系の入れ替えが容易な右手/左手系複合メタマテリアル(CRLHメタマテリアル)の導入について検討し、使用周波数2.4GHz、スロット付き導波管、モルタルブロック設置の条件で0次共振を得るための解析を行い、条件を満たすCRLH構造が得られる見通しを得た。また、左手系導波管を送電部とし、半波長ダイポールアンテナを受電部とした場合のワイヤレス電力伝送効率を求め、基本特性[24]に、アレー化した場合の特性を配置や向きを変えて検討した[25]-[27]。サーキット導波管を送電部としたときの $1/2$ 波長ダイポールアンテナが受電するワイヤレス電力伝送効率をFDTD解析によって求めた。その結果、直線導波管の場合は給電点から離れるにつれて、距離の二乗で効率が減衰するのに対して、サーキット導波管の場合は導波管上どの位置もほぼ同様の効率が得られることを明らかにした[28][29]。次に $1/2$ 波長ダイポールアンテナの導波管上に設置する高さに対する効率の変化を解析した[30][31]。設計に基づいてサーキット導波管を試作し完成させた。



図3 スロット最適化の一例

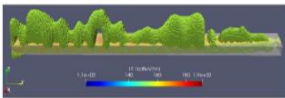
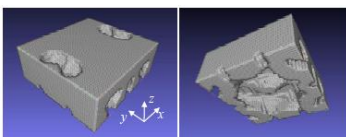


図4 最適化されたスロットの電界強度分布



(a) 上から見た図 (b) 下から見た図

図10 レドーム形状の最適化結果

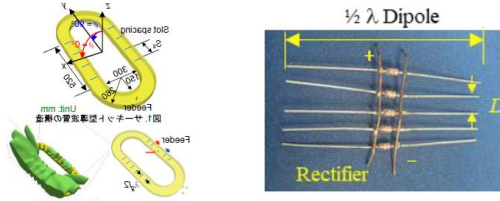


図1 受電用レクテナアレーのプロトタイプ

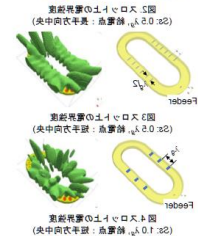
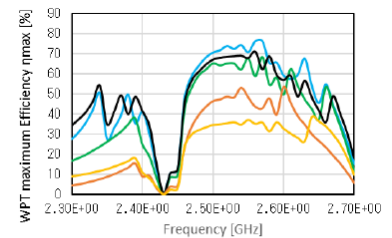


Fig. 2. Electric field strength with off-set feeding point.



発表文献

- [18] 有働明未, 大島功三, 村本充, “マイクロ波融雪のためのサーキット型導波管のスロット形状の一検討”, 令和3年度電気・情報関係学会北海道支部連合大会, 57 (2021.11)
- [19] 有働明未, 大島功三, 村本充, 大宮学, “マイクロ波融雪のための導波管のスロット形状と配置に関する考察”, 第27回高専シンポジウムオンライン, E-14 (2022.1)
- [20] 大島功三, 有働明未, 村本充, 奈須野裕, 丸山珠美, 中津川征士, 中村尚彦, 伊藤桂一, 山本綱之, 大宮学, 玉山泰宏, “マイクロ波融雪のための導波管スロット最適化に関する一検討”, 2022年電子情報通信学会総大会, B-20-5 (2022.3)
- [21] 伊藤桂一, 飛沢瑠加, 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, “融雪を目的とした導波管スロットアンテナ用レドームの形状最適化”, 電子情報通信学会技術研究報告, EST2021-78, pp. 104-109 (2022.1)
- [22] 丸山珠美, 柴田 紘希, 葛西俊太, 大宮学, 中津川征士, 玉山泰宏, “サーキット型導波管によるマイクロ波融雪法提案とそのFDTD 解析”, 2021年電子情報通信学会通信ソサイエティ大会, B-20-019 p. 385, (オンライン) (2021年9月17日).
- [23] T. Maruyama, S. Kasai, K. Shibata, M. Omiya, M. Nakatsugawa, and Y. Tamayama, “Novel circuit-shape leaky wave waveguide for microwave snow melting,” in Proc. 2021 International Symposium on antennas and propagation, ISAP 2021, Taipei, Taiwan, Oct. 2021. (2021年10月22日)
- [24] K. Shibata, T. Maruyama, M. Nakatsugawa, T. Nakamura, Y. Tamayama, “Analysis of Wireless Power Transmission Efficiency for a Left-Handed Waveguide Slot Antenna Used as a Feeder,” STI-9-72, 6th STI-GIGAKU (長岡) (2021年10月22日)
- [25] K. Shibata, T. Maruyama, M. Nakatsugawa, Y. Tamayama, T. Yamamoto, M. Omiya, K. Ohshima, M. Muramoto, K. Ito, T. Nakamura, Y. Nasuno, “F Wireless Power Transmission Efficiency of dipole array antenna using a Left-Handed Waveguide Slot Antenna as a Feeder,” in Proc. ASIAN WIRELESS POWER TRANSFER WORKSHOP 2021, AWPT2021, S4-07, Kuala Lumpur, Malaysia, Dec. 2021. (2021年12月13日)
- [26] 柴田 紘希, 丸山珠美, 中津川征士, 中村尚彦, 玉山泰宏, 大宮学, 大島功三, 村本充, 伊藤桂一, 山本綱之, 奈須野裕, “マイクロ波融雪用導波管を送電部とする融雪ロボット用レクテナ・アレー”, 2022年電子情報通信学会総大会, B-20-8 (2022.3)
- [27] 丸山珠美, 柴田 紘希, 中津川征士, 中村尚彦, “並列接続レクテナアレーのワイヤレス電力伝送効率”, 電子情報通信学会アンテナ・伝播研究会, 信学技報, vol. 121, no. 435, AP2021-195, pp. 73-75, 2022年3月, 121(435) 73-75 2022年3月.
- [28] Y. Kanaya, M. Nakatsugawa, T. Maruyama, M. Omiya, Y. Tamayama, “FDTD Analysis on WPT Efficiency for Power Transmission between Circuit-Shape Leaky Waveguide and Dipole Antenna,” STI-9-57, 6th STI-GIGAKU (長岡) (2021年10月22日)
- [29] Y. Kanaya, M. Nakatsugawa, T. Maruyama, M. Omiya, Y. Tamayama, “FDTD Analysis on WPT Efficiency Between Circuit-Shape Leaky Waveguide and $\cdot/2$ Dipole Antenna for Snow Melting Application,” in Proc. ASIAN WIRELESS POWER TRANSFER WORKSHOP 2021, AWPT2021, S5-06, Kuala Lumpur, Malaysia, Dec. 2021. (2021年12月13日)
- [30] 金谷雄翔, 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効率におけるアンテナ高さ依存性”, 2022年電子情報通信学会総大会, B-20-7 (2022.3)
- [31] 金谷雄翔, 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から受電する半波長ダイポールアンテナに対する無線電力伝送特性の設置条件依存性”, 電子情報通信学会マイクロ波研究会, vol. 121, no. 400, MW2021-115, pp. 24-29, 2022年3月.