

令和 4 年 6 月 22 日現在

機関番号：31303

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2018～2021

課題番号：18K04116

研究課題名(和文)AR技術を用いたワイヤレス給電システムの可視化に関する研究

研究課題名(英文)A Study on Electromagnetic Field's Distribution Visualization of WPT system

研究代表者

袁 巧微 (YUAN, Qiaowei)

東北工業大学・工学部情報通信工学科・教授

研究者番号：80509729

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円

研究成果の概要(和文)：無線通信より遙かに大きな数ワットから数千ワットの電力を扱うワイヤレス給電システムの実用化に当たり、その安全面に関する社会からの懸念は強い。本研究ではワイヤレス給電の安全面に関する社会の懸念を払拭する観点で、電磁界解析及び測定技術と拡張現実AR(Augmented Reality)技術を組み合わせることで、ワイヤレス給電システムの近傍電磁界の可視化を試み、ワイヤレス給電システム周辺の電磁界分布をリアルタイムで把握することで、無線電力伝送システムの安全性を確認しながら、システム普及の加速とユーザの安心感の向上を図ることを目的とする。

研究成果の学術的意義や社会的意義

無線通信より遙かに大きな数ワットから数千ワットの電力を扱うワイヤレス給電システムの実用化に当たり、その安全面に関する社会からの懸念は強い。本研究ではワイヤレス給電の安全面に関する社会の懸念を払拭する観点で、電磁界解析及び測定技術と拡張現実AR(Augmented Reality)技術を組み合わせることで、ワイヤレス給電システムの近傍電磁界の可視化を試み、ワイヤレス給電システム周辺の電磁界分布をリアルタイムで把握することで、無線電力伝送システムの安全性を確認しながら、システム普及の加速とユーザの安心感の向上を図ることを目的とする。

研究成果の概要(英文)：Usually, the practical application of a wireless power transfer (WPT) system handles power of several watts to several thousand watts. The power used in WPT is much larger than that in wireless communication, therefore there are strong concerns from society regarding WPT applications' safety. In this research, from the viewpoint of dispelling social concerns about the safety of WPT system, we attempted to visualize the electromagnetic field of the WPT system by combining electromagnetic field analysis, measurement technology and augmented reality AR (Augmented Reality) technology. At last, this research will help to grasp the distribution of electromagnetic fields around the WPT system in real time to accelerate the spread of the WPT technology and make the users to confirm the safety of the WPT system.

研究分野：電波工学

キーワード：無線電力伝送 アンテナ 電磁界測定 AR技術 可視化

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

2008年のMITによる磁界共鳴方式のワイヤレス給電(WPT: Wireless Power Transfer)の発表以来、WPTの研究が再び盛んになり、ガイドライン制定や国際標準化が進んでいる[http://www.soumu.go.jp/main_content/000475014.pdf]。しかし、無線通信より遙かに大きな数ワットから数千ワットの電力を扱うワイヤレス給電システムの実用化に当たり、その安全面に關する社会からの懸念は強い。

本研究ではワイヤレス給電の安全面に関する社会の懸念を払拭する観点で、電磁界解析及び測定技術と拡張現実AR(Augmented Reality)技術を組み合わせることで、ワイヤレス給電システムの近傍電磁界の可視化を試み、ワイヤレス給電システム周辺の電磁界分布をリアルタイムで把握することで、無線電力伝送システムの安全性を確認しながら、システム普及の加速とユーザの安心感の向上を図ることを目的とする。

2. 研究の目的

本研究は、電磁界解析技術、電磁界測定技術及びAR技術を組み合わせて、送受電素子の位置が固定されている無線電力伝送システム、および送受電素子の相対位置が変化する移動体用無線電力伝送システムの電磁界分布をリアル空間・時間で可視化することで、基準値を超える範囲と超えない範囲を示し、無線電力伝送システムへの恐怖を払拭することを目的とする。

3. 研究の方法

研究を以下のように進めいた。

KHz/MHz帯の固定/移動体無線電力伝送システムの構築。

電磁界解析技術または測定技術を用いた、システム周辺の電磁界分布の取得。

電波測定技術とAR技術の融合で、空間電磁界分布の可視化。

4. 研究成果

この研究は当初2018年から2020年度実施予定だったが、2020年からコロナ感染症の流行並び代表者袁が2020年度に所属の変更で、一年間を延長され、4年間で実施することになり、主に下記の結果が得られた。

KHz/MHz帯の固定/移動体無線電力伝送システムの構築。(2018年度)

電磁界解析技術または測定技術を用いたワイヤレス給電システム周辺の電磁界分布の取得。(2019年度)

電波測定技術とAR技術の融合による空間電磁界分布の可視化。(2020年度-2021年度)

下記各結果について述べる。

KHz/MHz帯の固定/移動体無線電力伝送システムの構築。(2018年度)

2018年度には図1と図2に示すKHz/MHz帯無線電力伝送システムを構築し、それに関連する結果が下記の通りである。

ア. 独自に開発した効率評価プログラムを用い、金属及びフェライトなどの異物がワイヤレス給電システムの効率に及ぼす影響を評価し、効率が低下しにくいワイヤレス給電システムの構築に成功した[1]。

イ. 多送電多受電を有するシステムにおける最大伝送効率及び最大伝送効率を達成する条件の導出に成功した[2][8][11][13][17][18][21-23]。

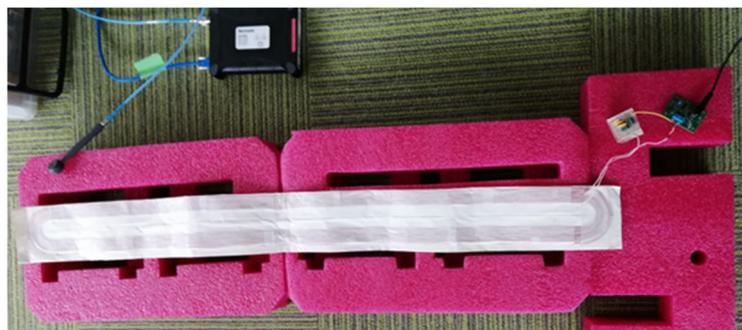
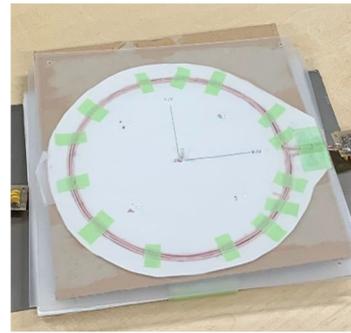


図1 150KHz ミニ四駆走行用ワイヤレス給電システム



a) ワイヤレス給電様子

b) フェライト付き送受電素子

図2 6.78MHz 卓上 LED のワイヤレス給電システム

電磁界解析技術または測定技術を用いたワイヤレス給電システム周辺の電磁界分布の取得。(2019年度)

2019年度には電磁界解析技術を用い、ダイポール、ループそしてドローン給電用コイルの近傍界電磁界分布を解析し、データを蓄積した。しかし、プロジェクト代表の転職で、結局自作の磁界センサの作成を諦め、市販のセンサに切り替えた。得られた研究結果は下記通りである。

ア. MIMO-WPT 伝送効率算出手法を用い、従来曖昧な無線電力伝送周辺の近傍界と遠方界の境界基準を明確化した[6][7][16]。

イ. 市販の磁界センサにより静磁場データの取得とARでの描画プログラムの作成、アンドロイド環境でリアル空間・時間にて電磁界分布を可視化するシステムを試みた。

ウ. また小型磁界センサを作成した際に、平衡・不平衡バランの影響を取り除く対策を行った。

他関連研究発表は[4-5][9-10][12][15][19-20]に参考されたい。

電波測定技術とAR技術の融合による空間電磁界分布の可視化。(2020年度-2021年度)

2020年度-2021年度には磁界プローブ、スペクトラムアナライザ、PCとアンドロイドスマートフォン環境でリアル空間・時間にて電磁界分布の可視化アプリを作成し、ワイヤレス給電システムの周囲磁場を可視化した。また測定した磁界分布が解析で得られたデータと比較し、その有効性が確認された[24][25]。

図3は測定システムの構成図であり、図4は155kHz WPT給電システムの送電コイルの構造である。図5には送電コイル近辺の磁界分布解析値を示し、図6には磁界分布の測定値を示している。解析データと実験データからコイルから4cmと14cm離れた平面上の磁界分布ほぼ均一で分布されていることが分かった。また観測面が送電コイルから離れていくと磁場の強さが減少していることも観測された。しかし、解析環境が理想的な自由空間で、測定環境は一般の研究室であり、また使用しているプローブが30MHz-3GHzに適しているので、解析磁場分布と測定磁場分布の絶対値が異なっていて、電波暗室での測定及びプローブの改善と校正が今度の課題になる。

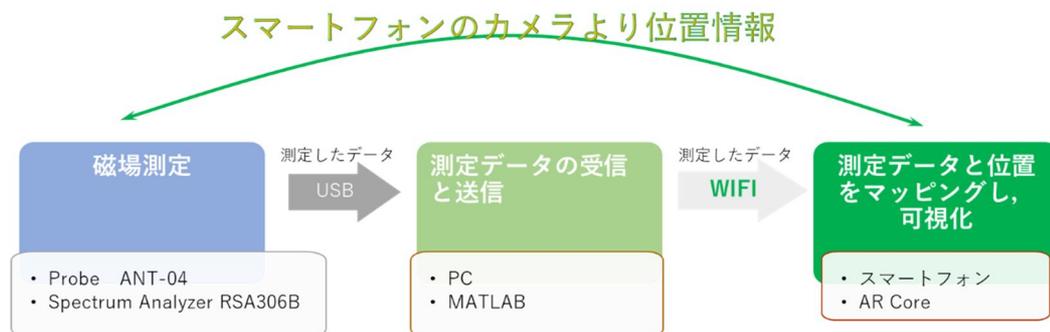


図3 構築したワイヤレス給電システム周辺電磁波可視化システム

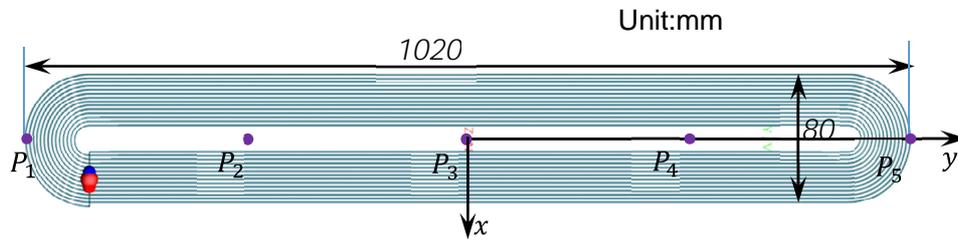
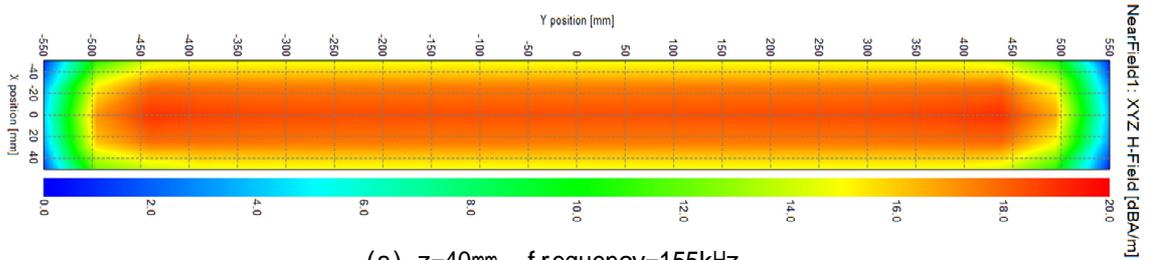
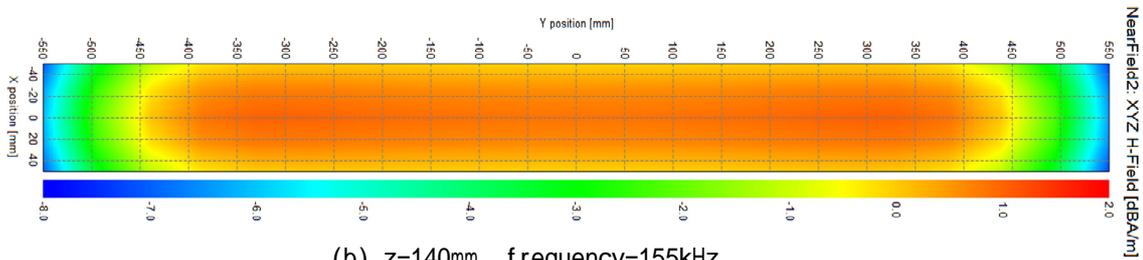


図4 送電コイル構造

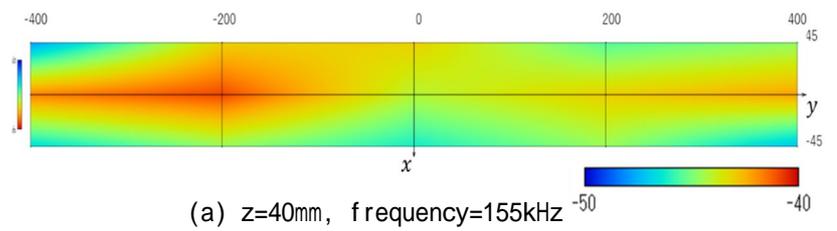


(a) $z=40\text{mm}$, frequency=155kHz

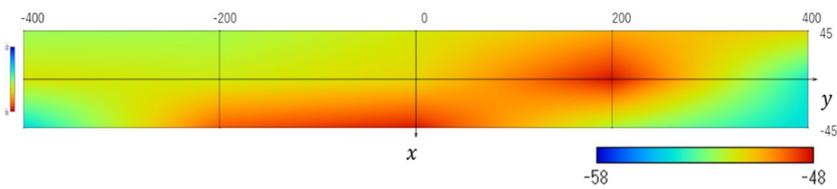


(b) $z=140\text{mm}$, frequency=155kHz

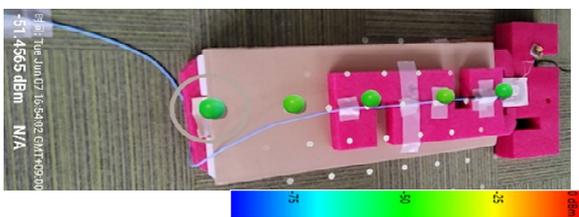
図5 送電コイルから 40mm と 140mm 離れた xy 面における磁場の分布図(解析値)



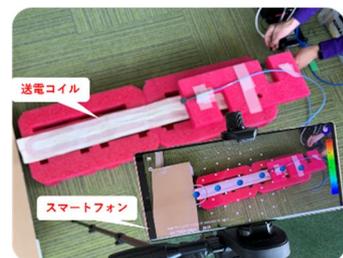
(a) $z=40\text{mm}$, frequency=155kHz



(b) $z=140\text{mm}$, frequency=155kHz



(c) $z=140\text{mm}$, frequency=155kHz(スマートフォンでの表示)



(d) 実測様子

図6 送電コイルから 40mm と 140mm 離れた xy 面における磁場の分布図(測定値)

今後の展望

構築した電磁界強度分布の可視化システムはリアルタイムで電磁場分布が携帯端末で表示することができ、大変利便性が良い測定システムである。将来的に、PC部分がマイコンに置き換えで、より小型化が可能となる。従って、ワイヤレス給電システム周辺の電磁界分布をリアルタイムで把握することで、無線電力伝送システムの安全性を確認しながら、システム普及の加速とユーザの安心感の向上を期待できる。今後の商品化も目指す。

発表論文及び特許リスト

- [1] Hiroshi Satake, Qiaowei Yuan, "Ferrite's Effect on Wireless Power Transfer Efficiency Between Coils," Proceedings of AWPT2018, FR-2-03, November, 2018, Sendai. 【査読なし】
- [2] Takumi Aoki, Qiaowei Yuan, Duong Quang-Thang, Minoru Okada, Heng-Ming Hsu, "Maximum Transfer Efficiency of MIMO-WPT System," Proceedings of WPTC2018, No. 570438467, June, 2018, Montreal. 【査読あり】
- [3] 袁 巧微, 青木拓海, "無線電力システム", 特願 2018-174545
- [4] Yudai Hashimoto, Qiaowei Yuan, "Drone Driven by Microwave," FR1-IF-39, Proceedings of APMC2018, November, 2018, Kyoto. 【査読あり】
- [5] Keisuke Konno, Qiang Chen, Qiaowei Yuan, "Scattering and Radiation Performance of Ninja Array Antennas," FR3-IF-30, Proceedings of APMC2018, November, 2018, Kyoto. 【査読あり】
- [6] Qiaowei Yuan, "[Invited] Boundary of the Near and Far Field Region of Large-Scale Array Antenna," AWPT2019, November, 2019, Xi'an, China. 【査読あり】
- [7] Qiaowei Yuan, "[Invited] Array Source Excitation Synthesis Using Approach of MIMO Maximum Power Transfer Efficiency," Proceedings of ISAP2019, October 2019, Xi'an, China. 【査読あり】
- [8] Qiaowei Yuan, "Maximum Power Transfer Efficiency of Various MIMO Systems," Proceedings of APMC2019, December, 2019, Singapore. 【査読あり】
- [9] Yukina ONO, Qiaowei YUAN, "Self-resonant element design for wireless power transfer system," AWPT2020, Dec. 2020. 【査読あり】
- [10] K. Konno, Q. Yuan, Q. Chen, K. Yokokawa, J. Goto and T. Fukawasa, "Efficient Method of Moments for Numerical Analysis of Antennas with Variable Load Impedance," IEEE Trans. Antennas Propag., vol. 68, April, 2020 (doi: 10.1109/TAP.2020.2985979.). 【査読あり】
- [11] Qiaowei Yuan, Takumi Aoki, "Practical applications of universal approach for calculating maximum transfer efficiency of MIMO-WPT system," Wireless Power Transfer, Volume 7, Issue 1, March 2020, pp. 86-94 (<https://doi.org/10.1017/wpt.2020.7>) 【査読あり】
- [12] 青木 拓海, 袁 巧微, "MHz帯におけるC級動作型を用いた高効率整流回路の検討," 電子情報通信学会 2020年総合大会, B-20-11, 2020年3月. 【査読なし】
- [13] 佐竹 裕, 青木 拓海, 袁 巧微, "MISO技術を用いた移動体向けWPTシステムの検討," 電子情報通信学会 2020年総合大会, B-20-11, 2020年3月. 【査読なし】
- [14] 青木 拓海, 袁 巧微, "ドローン離陸時の無線給電方式最適化に関する研究," 信学技報, 2020年3月. 【査読なし】
- [15] 小野佑希菜, 袁巧微, "卓上無線電力伝送システムにおけるアンテナ設計", 2020年度電気関係学会東北支部連合大会, AB08, Aug. 2020. 【IEEE Sendai WIE Encouragement Prize 受賞】 【査読なし】
- [16] 青木 拓海, 佐竹 裕, 袁 巧微, 今野佳祐, 陳 強, "アンテナの電力伝送効率から求めた近傍領域と遠方領域の境界," 電子情報通信学会論文誌 B, Vol. J103-B, No.11, pp.551-558. 【査読あり】
- [17] 袁巧微, "MIMO-WPTシステム最大電力伝送によるアレーアンテナのビームフォーミング", IEICE Technical Report WPT2020-36(2021-03), pp.14-19, March, 2021. 【査読なし】
- [18] 加藤 陽向, 袁 巧微, "MISO-WPTシステムにおける電力伝送効率に関する検討," YS-20-P19, 令和4年東北地区若手研究者研究発表会, Feburay, 2022. 【査読なし】
- [19] 石川悠介, 袁 巧微, 陳 強, "マルチターンループアンテナによる無線電力伝送," 2022年電子情報通信学会総合大会, B-20-11. 【査読なし】
- [20] K. Konno, Q. Yuan, Q. Chen, K. Yokokawa, J. Goto and T. Fukasawa, "Application of An Efficient Method of Moments to Numerical Analysis of 1-bit Transmitarrays," Proc. ISAP2020, Jan. 2021. 【査読あり】
- [21] Qiaowei Yuan, "Maximum Transfer Efficiency of MIMO-WPT," 2021 Taiwan Wireless Power Transfer International Workshop, Sept. 29, 2021. 【査読なし】
- [22] Qiaowei Yuan, "[Invited] Effect of Transmitting Element's Structure on Power Transfer Efficiency," IWEM2021, Nov.28-30, 2021. 【査読あり】
- [23] Hiroshi SATAKE, Keisuke KONNO, Qiaowei YUAN, Qiang CHEN, "Enhancement of Power Transfer Efficiency of MIMO-WPT System by Optimal Load Impedance," AWPT2021, Dec. 12-13, 2021. [Student Best Paper Award(3rd Best)] 【査読あり】
- [24] Yunchong Tang, Qiaowei YUAN, "AR Based Magnetic Field Visualization," ICBIR2022, May, 2022. 【査読あり】
- [25] Yunchong Tang, Qiaowei YUAN, "Visualize the Electromagnetic Field Strength Combining Spectrum Analyzer and AR Technology," , 2022年度電気関連学会東北支部連合大会, 8月, 2022. 【査読なし】

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計5件（うち査読付論文 5件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 K. Konno, Q. Yuan, Q. Chen, K. Yokokawa, J. Goto, and T. Fukawasa	4. 巻 Vol.68
2. 論文標題 Efficient Method of Moments for Numerical Analysis of Antennas with Variable Load Impedance	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 IEEE Trans. Antennas Propag.	6. 最初と最後の頁 8233-8237
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 X. Wang, K. Konno, and Q. Chen	4. 巻 -
2. 論文標題 Diagnosis of Array Antennas Based on Phaseless Near-Field Data Using Artificial Neural Network	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 IEEE Trans. Antennas Propag.	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1109/TAP.2020.3044593	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 青木 拓海, 佐竹 裕, 袁 巧微, 今野佳祐, 陳 強	4. 巻 J103-B
2. 論文標題 アンテナの電力伝送効率から求めた近傍界領域と遠方界領域の境界	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 電子情報通信学会論文誌B	6. 最初と最後の頁 551-558
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Konno Keisuke, Yuan Qiaowei, Chen Qiang, Yokokawa Kei, Goto Jun, Fukawasa Toru	4. 巻 2
2. 論文標題 Efficient Method of Moments for Numerical Analysis of Antennas with Variable Load Impedance	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 IEEE Transactions on Antennas and Propagation	6. 最初と最後の頁 1~1
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1109/TAP.2020.2985979	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Yuan Qiaowei, Aoki Takumi	4. 巻 1
2. 論文標題 Practical applications of universal approach for calculating maximum transfer efficiency of MIMO-WPT system	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Wireless Power Transfer	6. 最初と最後の頁 1~9
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1017/wpt.2020.7	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計13件 (うち招待講演 3件 / うち国際学会 8件)

1. 発表者名 T. Susuga, K. Konno, and Q. Chen
2. 発表標題 A Study on Fast Method of Moments for Large-Scale Reflectarrays
3. 学会等名 ICETC 2020 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 K. Konno, Q. Yuan, Q. Chen, K. Yokokawa, J. Goto and T. Fukasawa
2. 発表標題 Application of An Efficient Method of Moments to Numerical Analysis of 1-bit Transmitarrays
3. 学会等名 ISAP2020 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 袁 巧微
2. 発表標題 MIMO - WPT システム最大電力伝送によるアレーアンテナのビームフォーミング
3. 学会等名 IEICE, 無線電力伝送研究会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 青木 拓海, 袁 巧微
2. 発表標題 MHz帯におけるC級動作型を用いた高効率整流回路の検討
3. 学会等名 電子情報通信学会2020年総合大会, B-20-11
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 佐竹 裕, 青木 拓海, 袁 巧微
2. 発表標題 MISO技術を用いた移動体向けWPTシステムの検討
3. 学会等名 電子情報通信学会2020年総合大会, B-20-11
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 青木 拓海, 袁 巧微
2. 発表標題 ドローン離陸時の無線給電方式最適化に関する研究
3. 学会等名 信学技報, 2020年3月
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Qiaowei YUAN
2. 発表標題 Maximum Power Transfer Efficiency of Various MIMO Systems
3. 学会等名 APMC2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Qiaowei
2. 発表標題 Boundary of the Near and Far Field Region of Large-Scale Array Antenna
3. 学会等名 AWPT2019 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Qiaowei Yuan, Takumi Aoki, Hiroshi Satake
2. 発表標題 Array Source Excitation Synthesis Using Approach of MIMO Maximum Power Transfer Efficiency
3. 学会等名 ISAP2019 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Takumi Aoki, Qiaowei Yuan, Duong Quang-Thang, Minoru Okada, Heng-Ming Hsu
2. 発表標題 Maximum Transfer Efficiency of MIMO-WPT System
3. 学会等名 IEEE WPTC2018
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Keisuke Konno, Qiang Chen, Qiaowei Yuan
2. 発表標題 Scattering and Radiation Performance of Ninja Array Antennas
3. 学会等名 APMC2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Qiaowei Yuan
2. 発表標題 Applications of Generalized Approach of Calculating Maximum Efficiency for Arbitrary MIMO-WPT System by Using S or Z Matrix
3. 学会等名 AWPT2018 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Hiroshi Satake, Qiaowei Yuan
2. 発表標題 Ferrite's Effect on Wireless Power Transfer Efficiency Between Coil
3. 学会等名 AWPT2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計0件

〔出願〕 計1件

産業財産権の名称 無線電力伝送システム	発明者 13. 袁 巧微, 青木 拓海	権利者 袁 巧微
産業財産権の種類、番号 特許、特願2018-174545	出願年 2018年	国内・外国の別 国内

〔取得〕 計0件

〔その他〕

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	今野 佳祐 (Kono Keisuke) (20633374)	東北大学・工学研究科・准教授 (11301)	
研究分担者	陳 強 (Chen Qiang) (30261580)	東北大学・工学研究科・教授 (11301)	

6. 研究組織（つづき）

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	佐藤 拓 (Sato Taku) (30451545)	仙台高等専門学校・総合工学科・准教授 (51303)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関