

令和 4 年 6 月 20 日現在

機関番号：14603

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2019～2021

課題番号：19K04376

研究課題名（和文）平行二線路を用いた複数機器への同時無線給電技術

研究課題名（英文）Parallel Transmission Line based Wireless Power Transfer for Multiple Terminals

研究代表者

岡田 実（Okada, Minoru）

奈良先端科学技術大学院大学・先端科学技術研究科・教授

研究者番号：10252587

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）：産業ロボットや電気自動車等走行中受電対象向けの低コスト、高効率かつ安定な無線給電技術の構築するため、路面に敷設した平行二線伝送線路を用いたワイヤレス給電システムを用いて走行中ワイヤレス給電を実現するために必要な給電効率の向上と安定化に関する検討を行った。また、ワイヤレス給電システム周辺の漏洩電磁界の問題は、実用化を進めるにあたり解決しなければならない課題である。この問題についても、伝送線路の構造を検討することにより低減する手法を検討した。その結果、セグメント化やN-1構成ワイヤレス給電を提案し、安定した給電が可能であることを明らかにした。漏洩電磁界の低減手法を明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

産業用搬送ロボットや電気自動車に対する要求が急速に高まっている。しかし、搭載される蓄電池は、充電時の電流に制限があるため、急速充電に限界があり、充電時間が長時間になる。このことから、車両の稼働率が低下するという問題がある。また、長時間走行を可能にする大容量蓄電池を搭載するためには、蓄電池費用が高額になる。本研究課題は、走行中または、短時間の停車中に車両に電力を供給し、蓄電池への充電を走行中に安定して可能にするものであり、今後のゼロカーボンエミッション社会の実現に向けて有効な技術の一つとなりえるものである。

研究成果の概要（英文）：This research project aims to develop low-cost, high-efficiency, and highly stable wireless power transfer systems for electric and automated guided vehicles. First, we have proposed a segmented parallel line feeder-based wireless power transfer system capable of stabilizing the power transfer efficiency despite the motion of the vehicle receiver. Then, N-1 structure wireless power transfer is proposed by extending the segmented scheme. The N-1 method outperforms the stability and efficiency performance. Furthermore, we have investigated the spurious emission nearby the wireless power transfer system. We can reduce the emission by employing the symmetric parallel line structure.

研究分野：無線技術

キーワード：ワイヤレス給電 伝送線路 給電効率 受電側補償回路 走行中給電 漏洩電磁界

1. 研究開始当初の背景

産業用搬送ロボットや電気自動車に対する要求が急速に高まっている。これらの車両は、搭載する蓄電池からの電力でモーターを動作させ、走行を可能にしている。しかし、搭載される蓄電池は、充電時の電流に制限があるため、急速充電に限界があり、充電時間が長時間になる。このことから、車両の稼働率が低下するという問題がある。また、電気自動車用蓄電池として主流であるリチウムイオンバッテリーは高価であることから、長時間走行を可能にする大容量蓄電池を搭載するためには、蓄電池費用が高額になる。これらの問題を解決するために、走行中または、短時間の停車中に車両に電力を供給し、蓄電池への充電及び走行を行う手法が必須とされ、様々な研究開発が進められている。

この中で、特に、ワイヤレス給電技術を用いて、走行する車両へ給電を行う走行中ワイヤレス給電が注目されている。路面や壁に埋め込まれた送電器から車両に搭載された受電器に向けてワイヤレス給電を行うもので、充電のために停止する必要がなく、小型蓄電池での長距離走行と稼働率の向上が見込める優れた技術である。しかし、走行中ワイヤレス給電の実現にあたっては、路面コスト削減や複数受電器への安定した電力供給など、様々な問題を解決する必要がある。

2. 研究の目的

本研究では、産業ロボットや電気自動車等走行中受電対象向けの低コスト、高効率かつ安定な無線給電技術の構築することを目的とする。そのため、路面に敷設した平行二線伝送線路を用いたワイヤレス給電システムを用いて走行中ワイヤレス給電を実現するために必要な給電効率の向上と安定化に関する検討を行う。また、ワイヤレス給電システム周辺の漏洩電磁界の問題は、実用化を進めるにあたり解決しなければならない課題である。この問題についても、伝送線路の構造を検討することにより低減する手法を検討する。

3. 研究の方法

平行二線路式無線給電の設計の最適化を施し、計算機シミュレーションにより性能評価を行う。まずは、安定したワイヤレス給電を可能にするために、送電コイルの役割を担う2本の導線をセグメント化し、定在波を削減する手法を検討する。セグメント方式を複数のコイルと結合する1受電コイルで構成されるN対1構成でモデル化し、さらに、共振回路および整合回路を受電側にまとめることで電圧安定化を行う手法を提案する。この手法について、計算機シミュレーション及び実験を行い、給電効率の向上と効率化を図れることを明らかにする。

4. 研究成果

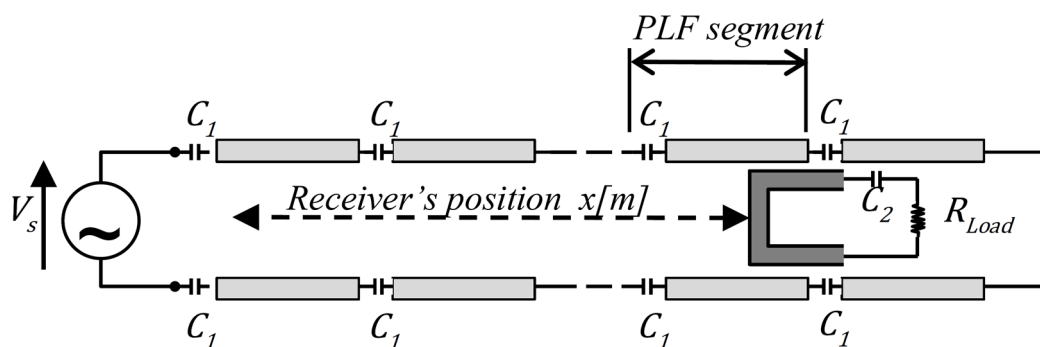


図 1 セグメント方式伝送線路を用いたワイヤレス給電の構成

伝送線路ワイヤレス給電は、伝送線路上であれば受電器位置にかかわらずワイヤレス給電を可能にすることを目的としているが、伝送線路長が波長に比べて無視できない長さになると、伝送線路上の定在波の影響により効率的な給電ができないという問題があった。そこで、伝送線路をセグメントに分割し、各セグメントをキャパシタにより結合するセグメント方式伝送線路を用いることで定在波の影響を軽減する手法を提案する。図 1 にセグメント方式伝送線路を用いる走行中ワイヤレス給電システムの構成を示す。図のように伝送線路を複数のセグメントに分割し、それぞれのセグメントをキャパシタにより結合した構造を持つ。図 2 にセグメント方式伝送線路における受電器位置と給電効率の関係を示す。セグメント構造を持たない従来方式

(Single)では、受電器位置が電源から離れるにつれ大きく低下していることがわかる。一方、セグメント方式(Multiple)では、電源から離れた位置でも効率が低下せず、安定して電力供給が可能である。

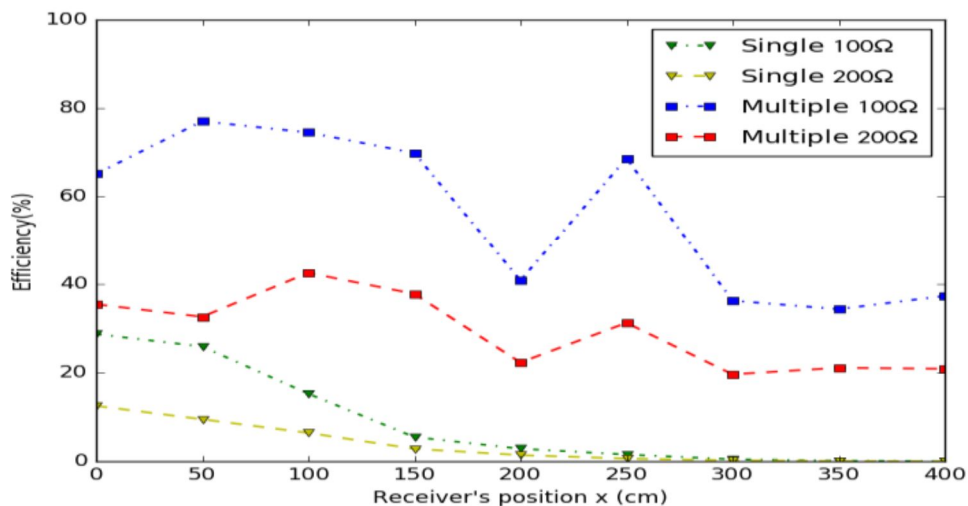


図 2 セグメント方式伝送線路における受電器位置と給電効率の関係

セグメント化をさらに推し進め、複数の送電コイルを伝送線路で接続し、1つの電源で高周波電源を供給するシステムについて検討した、図 3 に N 個の送電コイルと 1 つの受電コイルから構成されるワイヤレス給電システムを想定し、ワイヤレス給電効率の改善と、安定性の改善を行う手法を検討する。

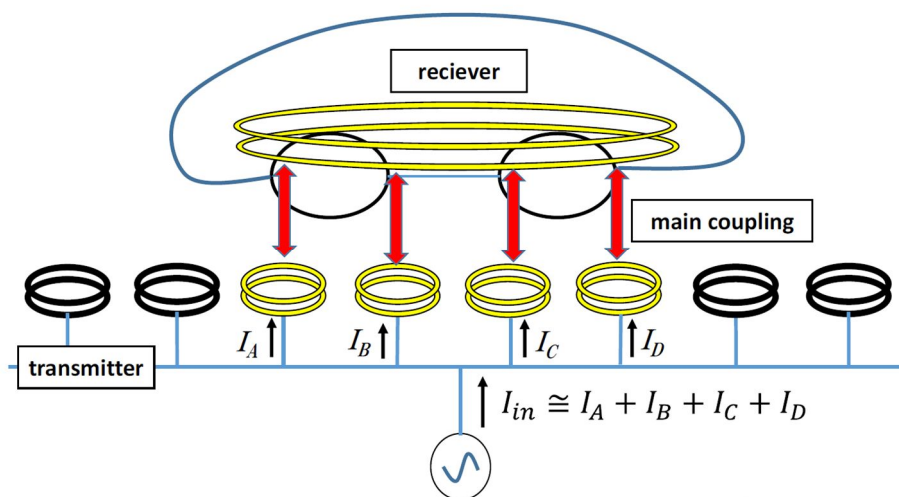


図 3 N-1 構成によるワイヤレス給電効率の改善手法

まず、送電側は非共振とし、受電側補償回路により共振条件およびインピーダンス整合を図る構成を提案した。図 4 に受電側補償回路の構成を示す。図に示すキャパシタによる T 型回路を構成することで、送電側は非共振のまま、受電側補償回路のみで共振およびインピーダンス整合を行うことが可能となる。

本手法の有効性を確認するため、計算機シミュレーションを行った。その結果を図 6 に示す。図より、受電器位置にかかわらず、伝送効率 93%と極めて高いワイヤレス給電効率を得られることが示された。また、さらなる検証を行うため、スケールモデルによる実験を行っている。実験の様子を図 5 に示す。紙面の都合上省略するが、実験においてもシミュレーションと同様に受電器位置によらず安定したワイヤレス給電が可能であることが示さ

れている。

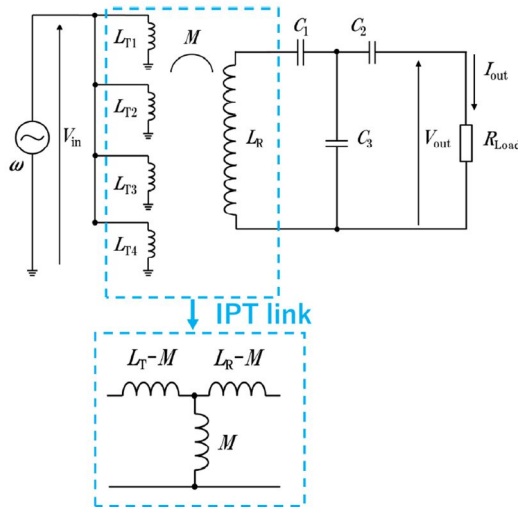


図 4 受電器側補償回路の構成

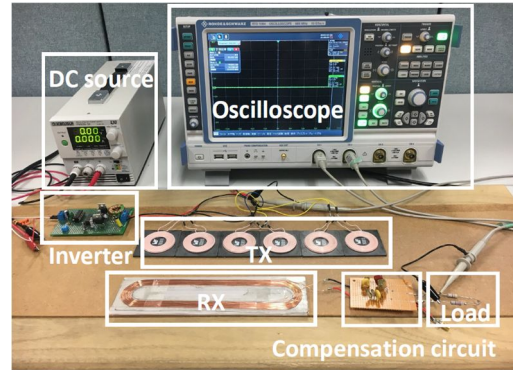


図 5 実験系の構成

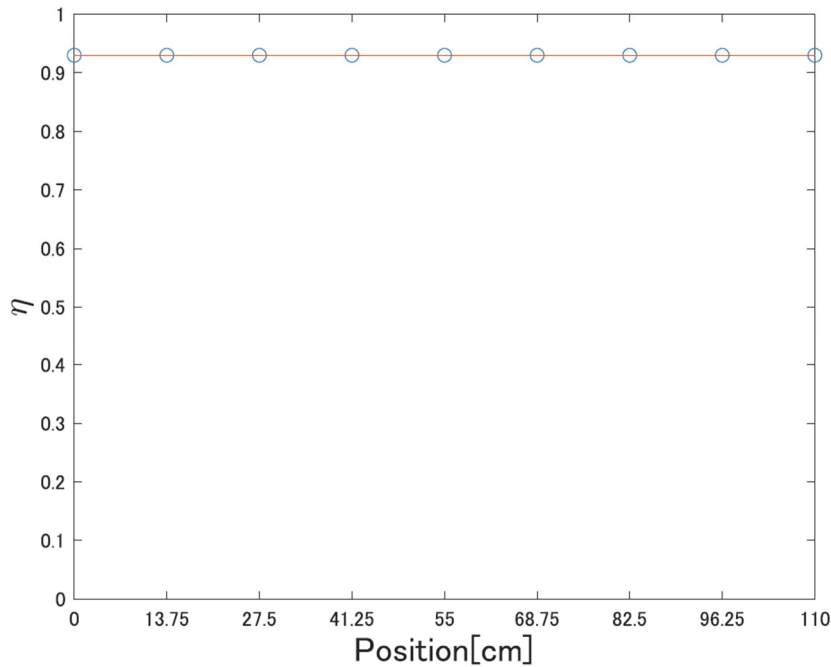


図 6 N-1 構成によるワイヤレス給電効率の安定化

走行中ワイヤレス給電の実現にあたってはワイヤレス給電システム周囲への漏洩電磁界を低減し、防護指針で定められる基準以下に抑える必要がある。そこで、伝送線路の構造と漏洩電磁界の関係について検討を行った。図 7 および図 8 にそれぞれ三線構造および四線構造を持つ伝送線路を示す。三線式では、両側の線路と中央の線路が逆相になっている。一方、四線式では、右 2 本と左 2 本の線路の組となり、伝送を行っている。この構造について電磁界シミュレーションを行った。その結果を図 9 および図 10 にそれぞれ示す。三線と四線を比較すると四線伝送線路では伝送線路の漏洩磁界は伝送線路周囲に広範囲に広がっている。この漏洩磁界の大きさは従来の平行二線伝送線路の漏洩磁界と同等の大きさである。一方、三線伝送線路では、伝送線路周囲の漏洩磁界を低減することができている。このことから、伝送線路電流分布を対称にすることで漏洩磁界の影響を現象可能であることが分かった。

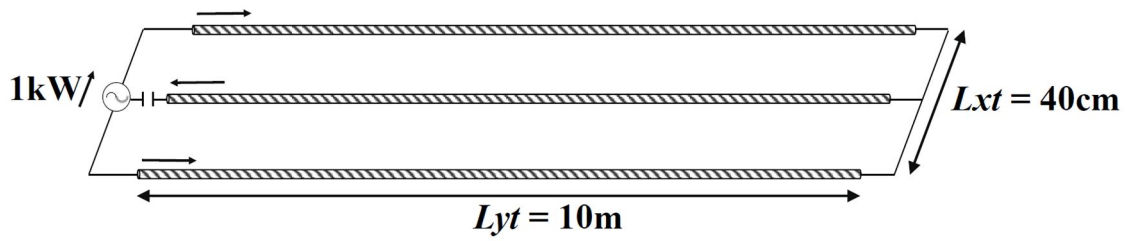


図 7 三線平行線路の構造

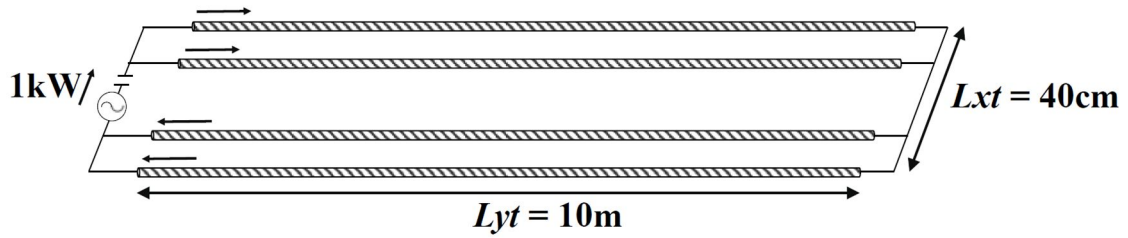


図 8 四線伝送線路の構造

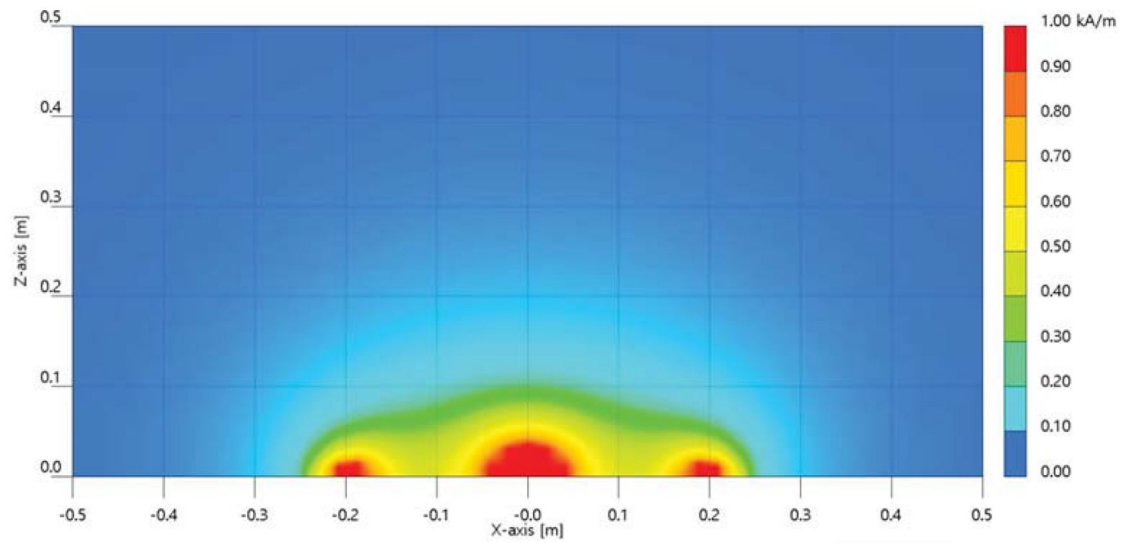


図 9 三線伝送線路の漏洩磁界強度

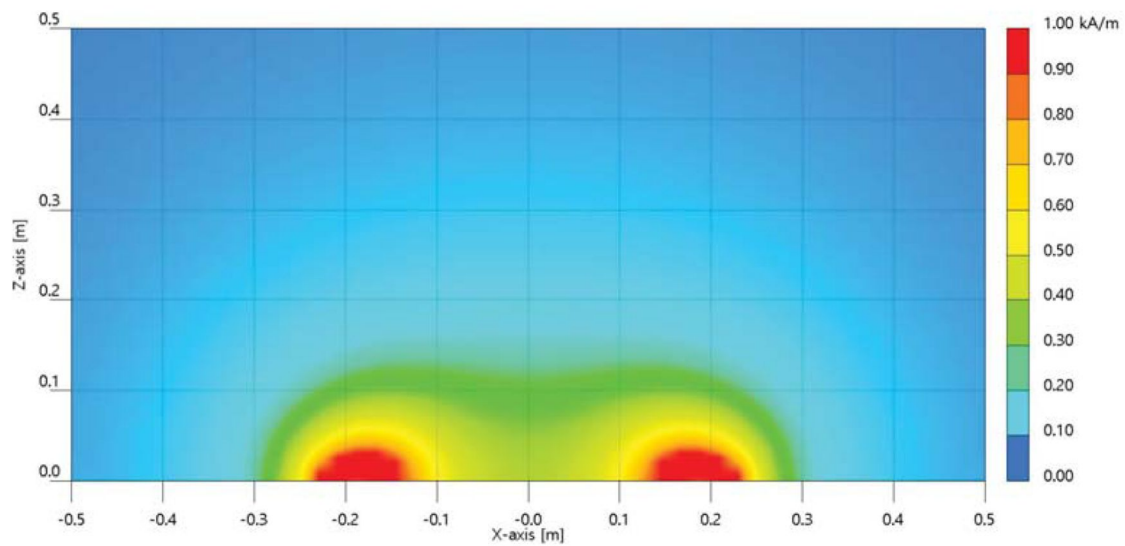


図 10 四線伝送線路の漏洩磁界強度

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 2件 / うち国際共著 1件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Nguyen Bach Long, Ngo Duy Trong, Dao Minh N., Duong Quang-Thang, Okada Minoru	4. 巻 69
2. 論文標題 A Joint Scheduling and Power Control Scheme for Hybrid I2V/V2V Networks	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 IEEE Transactions on Vehicular Technology	6. 最初と最後の頁 15668 ~ 15681
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1109/TVT.2020.3031553	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 該当する

1. 著者名 Takahiro Ono, Duong Quang Thang, Yuya Kaneko, Takeshi Higashino and Minoru Okada	4. 巻 15
2. 論文標題 Positioning Using Hybrid Inductively-Capacitively Coupled Parallel Line Feeder	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 IEEJ Transactions on Electrical and Electronic Engineering	6. 最初と最後の頁 304-310
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1002/tee.23057	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6件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 6件）

1. 発表者名 Kohei Kawabata, Takeshi Higashino, Minoru Okada
2. 発表標題 Experimental Investigation of Receiver-location Dependency in Parallel Line Fed WPT System
3. 学会等名 2020 14th International Symposium on Medical Information Communication Technology (ISMICT) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Shogo Isogai, Duong Quang Thang and Minoru Okada
2. 発表標題 Receiver-side Compensation Circuits Based on T and Pi equivalent models for Constant Voltage IPT
3. 学会等名 16th IEEE Asia Pacific Wireless Communications Symposium 2019 (APWCS2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Tatsuya Ohashi, Duong Quang Thang and Minoru Okada
2. 発表標題 A Study on Dynamic Charging Using Off-Resonant Coil Array With Receiver-side Compensation
3. 学会等名 Wireless Power Week 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Vo Quoc Trinh, Duong Quang Thang, and Minoru Okada
2. 発表標題 Efficiency Improvement for Three-coil Cooperative Inductive Power Transfer Systems
3. 学会等名 Wireless Power Week 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Vo Quoc Trinh, Duong Quang Thang and Minoru Okada
2. 発表標題 Resonance in Two-receiver Inductive Power Transfer Systems with Two Co-planar Transmitters
3. 学会等名 The 12th International Conference on Advanced Technologies for Communication (ATC 2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Shudai Kawai, Duong Quang Thang, Minoru Okada and Takeshi Higashino
2. 発表標題 The 12th International Conference on Advanced Technologies for Communication (ATC 2019)
3. 学会等名 2019 Asian Wireless Power Transfer Workshop (国際学会)
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔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	D U O N G Q u a n g T h a n g (Thang Duong Quang) (40757811)	奈良先端科学技術大学院大学・先端科学技術研究科・助教 (14603)	
研究 分担者	C h e n N a (Chen Na) (80838342)	奈良先端科学技術大学院大学・先端科学技術研究科・助教 (14603)	

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
---------	---------