

京都大学若手人材海外派遣事業 ジョン万プログラム
研究者派遣プログラム

成果報告書

提出日：平成 30 年 10 月 1 日

【基本情報】

○申請者

採 択 年 度：平成 29 年度
部 局 名 等：生存圏研究所
職 名：准教授
氏 名：三谷 友彦
研究課題名：災害に強いエネルギー供給・伝送システムの研究

○渡航先

国 名：アメリカ合衆国
研究機関名：フロリダ大学
研究室名等：[研究室名] Radio Frequency Circuits & Systems Research Lab., Department of
Electrical & Computer Engineering
[職名等・氏名] Professor Jenshan Lin
渡 航 期 間：平成 29 年 9 月 24 日～平成 30 年 9 月 21 日（363 日）

○渡航期間中の出張

出 張 先：Monterey, California, USA
目 的：国際会議 19th International Vacuum Electronics Conference に出席し、研究発表（共著者）およびマイクロ波電子管に関する情報収集を行うため
期 間：平成 30 年 4 月 22 日～4 月 27 日

出 張 先：Montreal, Canada
目 的：国際会議 Wireless Power Transfer Conference 2018 に出席し、研究発表（主著者）および無線電力伝送研究に関する情報収集を行うため
期 間：平成 30 年 6 月 3 日～6 月 7 日

出 張 先：Philadelphia, Pennsylvania, USA
目 的：国際会議 International Microwave Symposium 2018 に出席し、無線電力伝送研究に関する情報収集を行うため
期 間：平成 30 年 6 月 10 日～6 月 16 日

京都大学若手人材海外派遣事業 ジョン万プログラム 研究者派遣プログラム

【成果】

○プロジェクトの成果及び今後の展開

・研究概要

本プロジェクトの研究目的は、災害に強いエネルギーの供給あるいは伝送システムを構築することである。目的達成のために、送電線を用いずにマイクロ波帯の電波を用いて無線で電力供給を行う「マイクロ波送電技術」を応用し、災害時における緊急無線電力伝送システムおよび被災者探索システムに関する研究を実施した。

ワイヤレス給電技術は、携帯・スマートフォンへのワイヤレス充電や電気自動車へのワイヤレス給電など、近年様々な期待されている技術であり、マイクロ波送電技術はワイヤレス給電技術の一方式である。マイクロ波送電技術は、スマートフォンへのワイヤレス充電で実装されている技術とは異なり、マイクロ波と呼ばれる電波（周波数：数 GHz、波長 10cm～数 cm）を送電アンテナから空間中に放射し、受電アンテナで受電されたマイクロ波を直流電力に変換して電気エネルギーとして利用する。電波を空間中に伝搬させるという特徴により、送受電アンテナ間距離が遠方になってもエネルギーを送受することができる。この特徴を活かし、我々の研究グループではマイクロ波送電技術を応用した「緊急無線電力伝送システム」や「被災者探索システム」を検討している。「緊急無線電力伝送システム」では、ヘリコプターやドローン等からバッテリーレスセンサに対して無線で電力供給を行い、近距離無線通信と組み合わせて被災状況の把握や被災者の安否確認を行う。「被災者探索システム」では、山岳等の登山者に ID カード端末を持たせ、遭難時にはマイクロ波送電で端末を起動させることにより被災者位置の迅速な特定を目指す。いずれのシステムでも被災者自身は何も操作する必要がないため、被災者がケガ等で操作不能状態であってもシステムは機能する。またバッテリーレスセンサや ID カード端末等の受電装置には電池を搭載しておらず、マイクロ波送電による電力供給によりはじめて装置が起動するため、被災時の電池切れの心配がない。

災害に強いエネルギー供給・伝送システムを構築するための主要技術としては、「軽量・高効率マイクロ波送電器の研究」、「送電マイクロ波を特定の範囲に集中させるアンテナ技術」、「低マイクロ波入力で起動して情報通信を行う受電装置の研究」が挙げられる。これらの要素技術のうち、今回の渡航期間においては受電装置の研究に焦点を絞った。受電装置は、「マイクロ波を受電するアンテナ」、「マイクロ波電力を直流電力に変換する整流回路」および「被災者から外部に無線情報伝送するための通信端末」から構成されるが、本研究では受入機関との親和性の観点から整流回路の研究を重点的に実施した。

研究成果として、整流回路の非線形性を積極的に利用して受電マイクロ波の 2 次高調波を受電アンテナから再放射し、その再放射電波をパイロット信号とみなして受電装置の方向を推定すると共に送電システムから無線でエネルギー供給を行う「高調波再放射型レトロディレクティブシステム」を実現した。レトロディレクティブシステムとは、受電システム側からパイロット信号を発信し、送電システム側でパイロット信号を受信してパイロット信号の到来方向に電波を送り返すシステムである。従来のレトロディレクティブシステムはパイロット信号用の電源や発振器を必要とするが、今回開発したシステムは送電されるマイクロ波がエネルギー源となり、送電マイクロ波の 2 倍の周波数をもつ高調波を発生させることでパイロット信号の代用としている点に特徴がある。これにより、受電装置には電源や発振器が不要となり、バッテリーレスで受電装置の存在する方向を特定することができる。現時点では、電波暗室内でのクリーンな環境において、 $-2.4^{\circ} \sim 4.8^{\circ}$ 以内の誤差で受電装置方向を推定できている。本研究成果は国際会議 Wireless Power Transfer Conference 2018 で発表し、また IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques に論文を投稿した。また関連する研究成果を 19th International Vacuum Electronics Conference で発表した。

今後の展開としては、今回開発した高調波再放射型レトロディレクティブシステムの誤差低減、長距離化および劣悪な電波環境でのシステムの実現である。また本研究を通じて災害に強いエネルギー供給・伝送システムの在り方について考えたい。

京都大学若手人材海外派遣事業 ジョン万プログラム 研究者派遣プログラム

・国際共同研究の立上げ・ネットワークの構築

採択者と同様の立場で滞在先研究室に客員研究員として所属していた台湾・国立交通大学准教授の Prof. Yu-Te Liao と「ドローンからセンサへのワイヤレス給電に関する国際共同研究」を立ち上げつつある。本研究は、滞在時研究課題「災害に強いエネルギー供給・伝送システムの研究」の一形態であり、広範囲に設置されたセンサに対してドローンを用いてワイヤレスで電力供給すると同時に、センサのデータをワイヤレス通信によって取得するものである。Prof. Liao の研究室ではワイヤレス給電で駆動するセンサ開発を担当し、我々のグループではワイヤレス給電システムの全体設計および送電システムの開発を担当する予定である。滞在期間中の研究打ち合わせを経て、台湾・科技部に対して本国際共同研究の予算を現在申請中であり、また採択者所属局内の内部予算を用いて本国際共同研究のスタートアップを実施している。具体的に、帰国直後の9月25日には国立交通大学を訪問し、研究打ち合わせおよび研究室訪問を行った。

・国際共著論文の投稿・発表等の状況、国際学会等での発表状況 [予定を含む]

【論文】

T. Mitani, S. Kawashima, N. Shinohara, “Retrodirective System Utilizing Harmonic Reradiation from Rectenna”, IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, 2018年8月投稿済.

【国際学会発表】

T. Mitani, Shogo Kawashima, and Naoki Shinohara, “Direction-of-Arrival Estimation by Utilizing Harmonic Reradiation from Rectenna”, IEEE MTT-S Wireless Power Transfer Conference 2018, Montreal, Canada, Jun. 3-7, 2018.

B. Yang, T. Mitani, N. Shinohara, “Experimental Study on Frequency Modulation of an Injection-Locked Magnetron Based on Full Wave Voltage Doubler”, 19th International Vacuum Electronics Conference, Monterey, USA, Apr. 24-26, 2018.

・在外研究経験によって習得した能力等

滞在先期間中には、フロリダ大学での学部教育および講義形態を知るために、講師の了解を得て「Electromagnetic Theory (電磁気学)」および「RF Circuits & Systems (RF 回路・システム)」の講義を受講させて頂いた。講義時間は1コマ50分と日本より短いですが、どちらの講義も週に3コマあるため、実質的には毎週150分の講義を受講した。電磁気学の講義は日本と同様に板書を中心とした講義形式であり、2回の間中テストと期末テストに加えて、宿題と最終プロジェクトで成績が評価された。最終プロジェクトは、学生各自が興味を持った電磁気学に関連する論文を調査して講義内で発表するという形式であった。また、各テスト後の次の講義では、テストの答案を返却し回答を解説するという形式をとっていた。RF 回路・システムでは、より実践的な講義形式となっており、RF 回路の構成や通信方式に関する講義に加えて大学がライセンス契約をしている回路シミュレータを利用した RF 回路設計の講義および宿題が提供された。今後はこれらの講義の受講での経験を担当講義に活かし、よりインタラクティブな講義実施を検討したい。

・在外研究経験を活かした今後の展開

今回の在外研究経験で最も感じたことは、人との繋がり的重要性であった。研究以外の生活面において自分一人では解決できないトラブルを体験したことがあり、様々な人々の助けを得て解決できたことがあった。逆に誰かからのトラブルの情報が入った際には、恩返し気持もあり、可能な範囲でサポートすることを心掛けた。日本では何とかなることであっても海外ではそう簡単にはいかないことを体感できたことは貴重な経験であり、今後の研究活動を含めた大学生活にも活かしたい。

京都大学若手人材海外派遣事業 ジョン万プログラム
研究者派遣プログラム

英文成果報告書

○申請者情報

部 局 名 : Research Institute for Sustainable Humanosphere

職 名 : Associate Professor

氏 名 : Tomohiko Mitani

研究課題名 : Study on Energy Supply and Transfer System Resilient to Disasters

渡 航 期 間 : Sept. 24, 2017 – Sept. 21, 2018

○渡航先情報

国 名 : United States of America

研究機関名 : University of Florida

研究室名等 : Radio Frequency Circuits & Systems Research Lab., Department of Electrical & Computer Engineering

受入研究者名 : Professor Jenshan Lin

○渡航報告

My research topic during the visit by the John Mung program was “Study on energy supply and transfer system resilient to disasters”, and I conducted a study on wireless power transfer via microwaves to realize electric energy supply for emergency situations. Wireless power transfer is used in our daily life in these days for charging mobile phones, automatic toothbrushes, etc. Microwave is a sort of electromagnetic waves and it is commonly used for wireless communication, radar, microwave heating etc. My research group is studying on wireless power transfer systems via microwaves to deliver electricity wirelessly over a long distance. Research issues of wireless power transfer systems via microwaves are divided into three parts: transmitting system, antennas and propagation, and receiving systems. I focused on the receiving system during the visit.

Figures 1 and 2 show the building and laboratory at University of Florida I visited. Figure 3 shows a photo of Prof. Jenshan Lin (right), the hosting researcher at University of Florida and me (left). University of Florida is one of the biggest state university in USA. The numbers of students and staffs are more than 52,000 and more than 31,000, respectively. University of Florida has 16 colleges including engineering, agriculture, medicine, dentistry, art, etc. The main campus is quite huge and it takes more than 1 hour to walk from end to end of the campus. One of the most



Figure 1



Figure 2



Figure 3

京都大学若手人材海外派遣事業 ジョン万プログラム 研究者派遣プログラム

surprising experiences was to see gators living in the lakes, ponds, and creeks in the campus, as shown in Figure 4. During the visit, I joined lectures “Electromagnetic theory” and “RF Circuits & Systems” in the fall semester while studying, in order to understand undergraduate education at University of Florida. In addition, I really enjoyed watching college sports, especially football games, as shown in Figure 5.



Figure 4



Figure 5

A study outcome during the visit is development of a retrodirective system utilizing harmonic reradiation from a rectenna (receiving antenna plus rectifying circuit). In the retrodirective system, a pilot signal is transmitted from the receiving system to the transmitting system and the radio waves are transmitted back from the transmitting system to the direction-of-arrival of the pilot signal. Energy transfer efficiency can be improved by applying the retrodirective system to the wireless power transfer systems. The retrodirective system utilizing harmonic reradiation from a rectenna is a new retrodirective system for long-range wireless power transfer applications, such as low-power or battery-less devices. The second harmonic generated by the rectifying circuit is used instead of a pilot signal, and thus an oscillator for creating the pilot signal is not required. From measurement results, the direction-of-arrival errors of the second harmonic was within the range of -2.4° to 4.8° .

The study outcome was presented at the international conference “Wireless Power Transfer Conference 2018” in Montreal, Canada, this June, and submitted to the international journal of IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques (currently under review). Also a related research outcome was presented at the international conference “19th International Vacuum Electronics Conference” in Monterey, CA, this April. As future works, the developed retrodirective system will be applied to the energy supply and transfer system resilient to disasters through improvement of the direction-of-arrival errors and field tests under harsh conditions against wireless power transfer and detection of the second harmonic. In addition, I’m planning to start up an international research collaboration with Prof. Yu-Te Liao, who was also a visiting scholar during my visit at University of Florida, National Chiao Tung University, Taiwan. The research topic will be “Study on wireless power transfer via microwaves from a drone to sensors”. I visited Prof. Liao’s laboratory just after finishing the John Mung program this September. Prof. Liao and I will keep in touch to continue the international research collaboration.

The most important thing I experienced during the visit is to create social connection. Lots of people helped me when I was in trouble in/out of the campus. I will share the experience through the John Mung program to students and young researchers to convey the importance and enjoyment of overseas research.