

## 戦略的国際共同研究プログラム(SICORP)

## EIG CONCERT-Japan 共同研究

## 終了報告書 概要

1. 研究課題名：「スマートグリッドサービスを提供するモジュール式メガワット級ワイヤレス EV 充電インフラストラクチャ」
2. 研究期間：2018年4月～2021年12月
3. 主な参加研究者名：  
日本側チーム

	氏名	役職	所属	研究分担
研究代表者	藤本 博志	教授	東京大学	分散モジュラコンバータの制御設計・ワイヤレス給電装置の設計
主たる共同研究者	伊東 淳一	教授	長岡技術科学大学	大型駐車場を用いたV2G, V2H
研究期間中の全参加研究者数			2名 (他, 学生含む5名)	

## 相手側チーム

	氏名	役職	所属	研究分担
研究代表者	Giuseppe Guidi	Research Scientist	SINTEF Energy Research	全体のとりまとめ
主たる共同研究者	Antonello Monti	Professor	RWTH Aachen University	エネルギーマネジメントシステム
主たる共同研究者	Salvatore D'Arco	Research Scientist	SINTEF Energy Research	モジュラマルチレベルコンバータ
主たる共同研究者	Jon Are Suul	Research Scientist	SINTEF Energy Research	仮想同期発電機制御 (VSM)
研究期間中の全参加研究者数			4名 (他, 学生含む4名)	

## 4. 国際共同研究の概要

本プロジェクトは日本側の東京大学と長岡技術科学大学、欧州側のシンテフエネルギー研究所（ノルウェー）とアーヘン工科大学（ドイツ）による国際共同研究である。カーボンニュートラルな社会の実現に重要となる電気自動車の普及のため、本プロジェクトではモジュラコンバータに基づくワイヤレス給電大型駐車場の実証を目的とした。本プロジェクトの成果として、ワイヤレス給電大型駐車場のミニスケールモデルの作成に成功するなど、電気自動車の課題である充電設備の研究を通じて持続可能な開発目標に貢献した。日本側としては、特にワイヤレス給電とモジュラコンバータのモデル化と制御を担当した。本プロジェクトでは国際共同研究を円滑に進めるため、全体ミーティングを定期的に開催し、各研究機関の研究状況を共有した。研究者の相互派遣も実施し、共同で実験を行って論文を発表できたことは、国際共同研究の相乗効果である。また、本プロジェクトは人材育成に貢献した。本プロジェクトに参加した学生が留学を経験し、学位論文や国際会議論文につながったことも成果である。今後の展望としては、国際共同研究を継続し、本プロジェクトの研究成果を電気自動車の走行中ワイヤレス給電やモジュラコンバータを利用し

たメガソーラー発電所など、大型駐車場以外の用途にも発展させる予定となっている。

## 5. 国際共同研究の成果

### 5-1 国際共同研究の学術成果および実施内容

カーボンニュートラルな社会の実現のキーとなる電気自動車の普及のため、モジュラコンバータに基づくワイヤレス給電大型駐車場の提案・開発・実証を行った。国際共同研究全体としては、大型駐車場向けのワイヤレス給電設備と電気自動車の充電管理の最適化手法を提案し、ワイヤレス給電大型駐車場のミニスケールモデルの作成に成功した。日本側の研究成果としては、ワイヤレス給電のモデル化と過渡特性の改善、分散型モジュラコンバータのモデル化と系統連系のための系統平衡制御と負荷制御を行った。プロジェクト全体として、14件の原著論文を発表した。

### 5-2 国際共同研究による相乗効果

本プロジェクトの全体ミーティングを年1回開催し、参加機関それぞれの研究計画や進捗を共有した。また、最終年度にはIEEEの国際会議でワークショップを開催し、本プロジェクトの成果を発表した。研究者の相互派遣を積極的に行い、ワイヤレス給電のコイル設計やモデル化、分散型モジュラコンバータの実験機のセットアップや動作確認を共同で行い、国際会議での論文発表につながった。新型コロナウイルス流行後は一部研究交流ができなかったものの、オンラインで交流し、研究進捗の共有やオンライン実験を行った。

### 5-3 国際共同研究成果の波及効果と今後の展望

電気自動車の充電設備の国際共同研究を推進し、持続可能な開発目標に貢献した。今後の研究の発展としては、ワイヤレス給電に関して、東大が本プロジェクトを発展させた電気自動車の走行中ワイヤレス給電の研究に取り組んでいる。また、長岡技大では本プロジェクトで提案したモジュラコンバータの制御方式のメガソーラー発電所への応用も目指している。また、モジュラコンバータの性能向上のための設計方式についても検討を進めている。本プロジェクトには東大・長岡技大の学生も関わった。留学を経験し、得られた成果が学位論文や国際会議での論文発表、学術論文誌の掲載につながった。

今後の展望として、国際共同研究の継続を希望している。東大とシンテフエネルギー研究所は、東大が現在進めている電気自動車の走行中ワイヤレス給電でも共同研究を継続し、本プロジェクトで提案したワイヤレス給電のモデル化や過渡特性の制御をベースに、走行中ワイヤレス給電の実用化を目指す。長岡技大とシンテフエネルギー研究所についても共同研究を継続し、本プロジェクトのモジュラコンバータの制御方式をメガソーラー発電所などに適用するために検討を進めていく予定である。新型コロナウイルスの流行に伴う渡航規制などが解除され次第、研究者の交流も再開する予定である。

Strategic International Collaborative Research Program (SICORP)  
EIG CONCERT-Japan Joint Research Program  
Executive Summary of Final Report

1. Project title : 「Modular Megawatt-range Wireless EV Charging Infrastructure Providing Smart Grid Services」
2. Research period : 04/2018 ~ 12/2021
3. Main participants :  
Japan-side

	Name	Title	Affiliation	Role in the research project
PI	Hiroshi Fujimoto	Professor	The University of Tokyo	Control of distributed modular converter, design of wireless power transfer device
Co-PI	Jun-ichi Itoh	Professor	Nagaoka University of Technology	V2G and V2H using large parking lot
Total number of participants throughout the research period: 2 (other members including students: 5)				

## Partner-side

	Name	Title	Affiliation	Role in the research project
PI	Giuseppe Guidi	Research Scientist	SINTEF Energy Research	Overall coordination
Co-PI	Antonello Monti	Professor	RWTH Aachen University	Energy management system
Co-PI	Salvatore D'arco	Research Scientist	SINTEF Energy Research	Modular multi-level converter
Co-PI	Jon Are Suul	Research Scientist	SINTEF Energy Research	Control of virtual synchronous generator
Total number of participants throughout the research period: 4 (other members including students: 4)				

## 4. Summary of the international joint research

This project is an international collaboration between The University of Tokyo and Nagaoka University of Technology on the Japanese side, and SINTEF Energy Research (Norway) and RWTH Aachen University of Technology (Germany) on the European side. This project aimed to develop a wirelessly powered large parking lots based on modular converters to promote electric vehicles, which is important for realizing a carbon-neutral society. In this project, we successfully designed and created a mini-scale model of the wirelessly powered large parking lot. Through our achievements, we contributed to the Sustainable Development Goals. As for the Japanese side, we were mainly in charge of the modeling

and control of wireless power transfer and modular converters. To facilitate this international collaboration, we shared the research plans and progress of each research group through annual meetings. Moreover, we conducted exchange programs to collaborate experiments and publish academic papers together. This is a synergistic effect of the international collaboration. This project also contributed to the development of human resources. Some students participated in this project. They experienced studying abroad, which led to their dissertation and academic papers. As for the future perspective, we plan to continue the international collaboration and develop the research results of this project into other advanced research such as dynamic wireless power supply for electric vehicles and mega solar power plants using modular converters.

## 5. Outcomes of the international joint research

### 5-1 Scientific outputs and implemented activities of the joint research

To promote electric vehicles, which are the key to realizing a carbon-neutral society, this project aimed to develop a wirelessly powered large parking lot based on modular converters. We proposed a wireless power transfer system for the large parking lot and an optimization method for electric vehicle charging management. As a result, we created a mini-scale model of a wirelessly powered large parking lot. As for the research results of the Japanese side, we achieved modeling and improvement of the transient characteristics of wireless power transfer, modeling of distributed modular converters, and grid balance control and load control for grid interconnection. In this project, 14 peer-reviewed papers were published.

### 5-2 Synergistic effects of the joint research

We held annual meetings to share the research plans and progress of each participating group. In the final year of the project, the final workshop was held at the IEEE international conference to present the project results. In addition, we actively engaged in researcher exchanges, jointly designed and modeled wireless power transfer systems, and checked the experimental setup of distributed modular converters, which led to the publication of some papers at international conferences. Although some research exchanges were not possible after the outbreak of the COVID-19, we exchanged online, shared research progress, and conducted online experiments.

### 5-3 Scientific, industrial or societal impacts/effects of the outputs

We contributed to the Sustainable Development Goals by promoting the international collaboration on charging facilities for electric vehicles. As the future development of the research of this project, The University of Tokyo is currently working on the study of dynamic wireless power transfer for electric vehicles while driving. Nagaoka University of Technology aims to improve the performance of the modular converters and apply the modular converters to other applications such as mega solar power plants. This project also contributed to the development of human resources. Some students from The University of Tokyo and Nagaoka University of Technology were also involved in this project. They stayed at the foreign research institutes and published some academic papers, including dissertations.

We hope to continue the international collaboration in the future. The University of Tokyo and SINTEF Energy Research will continue their joint research on dynamic wireless power transfer for electric vehicles, which the University of Tokyo is currently working on. The achievements of this project, such as modeling and control of the transient characteristics of wireless power transfer, will be helpful in the realization of dynamic wireless power transfer. Nagaoka University of Technology and SINTEF Energy Research Institute will also continue their joint research to apply the control method of the modular converters to mega solar power plants. The exchange of researchers will be resumed as soon as the travel restrictions due to COVID-19 are relaxed.

## 国際共同研究における主要な研究成果リスト

### 1. 論文発表等

\*原著論文 (相手側研究チームとの共著論文) 発表件数 : 計 7 件

・査読有り : 発表件数 : 計 7 件

1. Hiroshi Fujimoto, Takuma Takeuchi, Kensuke Hanajiri, Katsuhiro Hata, Takehiro Imura, Motoki Sato, Daisuke Gunji, Giuseppe Guidi, "Development of Second Generation Wireless In-Wheel Motor with Dynamic Wireless Power Transfer", EVS31 & EVTeC2018, 2018.
2. Giuseppe Guidi, Salvatore D'Arco, Jon Are Suul, Ryosuke Iso, Jun-Ichi Itoh, "A Modular Multilevel Interface for Transformerless Grid Integration of Large-Scale Infrastructure for Wireless Electric Vehicle Charging", 2019 10th International Conference on Power Electronics and ECCE Asia (ICPE 2019 - ECCE Asia), 2019, DOI: 10.23919/ICPE2019-ECCEAsia42246.2019.8797340.
3. Takumi Yasuda, Mitsuru Miyashita, Takahiro Kumagai, Keisuke Kusaka, Jun-ichi Itoh, Giuseppe Guidi, "Input Current Balancing Control Method under Imbalanced Load for Three-phase Multi-port Converter based on Modular Multilevel Converter", 2020 IEEE 9th International Power Electronics and Motion Control Conference (IPEMC2020-ECCE Asia), 2020, DOI: 10.1109/IPEMC-ECCEAsia48364.2020.9368061.
4. Keiichiro Tokita, Sakahisa Nagai, Toshiyuki Fujita, Hiroshi Fujimoto, Yoichi Hori, Giuseppe Guidi, "Optimal Transient Control of In-Motion Wireless Power Transfer for Receiving Energy Maximization Using Envelope Model", The 7th IEEJ international workshop on Sensing, Actuation, Motion Control, and Optimization (SAMCON2021), 2021.
5. Giuseppe Guidi, Jon Are Suul, Hiroshi Fujimoto, "Conditions for maximum energy transfer in inductive road-powered electric vehicle applications taking system limitations into account", 5th International Electric Vehicle Technology Conference 2021 (EVTeC2021), 2021.
6. Giuseppe Guidi, Salvatore D'Arco, Koudai Nishikawa, Jon Are Suul, "Load Balancing of a Modular Multilevel Grid Interface Converter for Transformer-Less Large-Scale Wireless Electric Vehicle Charging Infrastructure", IEEE Journal of Emerging and Selected Topics in Power Electronics, vol. 9, no. 4, pp. 4587-4605, 2021, DOI: 10.1109/JESTPE.2020.3043211.
7. Takumi Yasuda, Jun-ichi Itoh, Giuseppe Guidi, "Power Distribution Control between Cells with Imbalanced Load for Modular Multilevel Multiport Converter", 2021 IEEE 12th Energy Conversion Congress & Exposition - Asia (ECCE-Asia), 2021, DOI: 10.1109/ECCE-Asia49820.2021.9479109.

・査読無し : 発表件数 : 計 0 件

\*原著論文 (相手側研究チームを含まない日本側研究チームの論文) : 発表件数 : 計 4 件

・査読有り : 発表件数 : 計 4 件

1. Keiichiro Tokita, Kensuke Hanajiri, Katsuhiro Hata, Takehiro Imura, Hiroshi Fujimoto, Yoichi Hori, "Feedforward Transient Control for In-motion Wireless Power Transfer using Envelope Model", 2019 IEEE International Conference on Mechatronics, 2019, DOI: 10.1109/ICMECH.2019.8722883.
2. Keiichiro Tokita, Katsuhiro Hata, Hiroshi Fujimoto, Yoichi Hori, "Sensorless Vehicle Detection Using Voltage Pulses with Envelope Model for In-motion Wireless Power Transfer System", IECON 2019 - 45th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society, pp.4189-4194, 2019, DOI: 10.1109/IECON.2019.8927594.

3. 時田圭一郎, 畑勝裕, 居村岳広, 藤本博志, 堀洋一「走行中ワイヤレス給電システムにおける送電側電流包絡線モデルに基づく過渡応答制御」電気学会論文誌 D, vol.140, no.5, pp.356-363, 2020, DOI: 10.1541/ieejias.140.356.

4. Keiichiro Tokita, Hiroshi Fujimoto, Yoichi Hori, Feedforward Transient Control under Varying Coupling Condition for In-motion Wireless Power Transfer using Envelope Model, 2020 IEEE MTT-S Wireless Power Transfer Conference (WPTC2020), pp.166-169, 2020, DOI: 10.1109/WPTC48563.2020.9295602.

・査読無し：発表件数：計 0 件

\*その他の著作物 (相手側研究チームとの共著総説、書籍など)：発表件数：計 0 件

・該当なし

\*その他の著作物 (相手側研究チームを含まない日本側研究チームの総説、書籍など)：発表件数：計 0 件

・該当なし

## 2. 学会発表

\*口頭発表 (相手側研究チームとの連名発表)

発表件数：計 6 件 (うち招待講演：1 件)

\*口頭発表 (相手側研究チームを含まない日本側研究チームの発表)

発表件数：計 8 件 (うち招待講演：0 件)

\*ポスター発表 (相手側研究チームとの連名発表)

発表件数：計 0 件

\*ポスター発表 (相手側研究チームを含まない日本側研究チームの発表)

発表件数：計 0 件

## 3. 主催したワークショップ・セミナー・シンポジウム等の開催

1. キックオフセミナー, 主催者: 伊東淳一 (長岡技術科学大学・教授), 新潟, 日本, 2018 年 5 月 21 日~22 日, 参加人数 7 名ほど。

2. 第 2 回セミナー, 主催者: Marco Cupelli (アーヘン工科大学・研究員), アーヘン, ドイツ, 2019 年 5 月 10 日, 参加人数 10 名ほど。

3. 最終ワークショップ "Workshop on Charging Solutions for Electro-mobility of the Future" in IEEE International Conference on Communications, Control, and Computing Technologies for Smart Grids, 主催者: Guidi Giuseppe (シンテフエネルギー研究所・ノルウェー), アーヘン, ドイツ, 2021 年 10 月 28 日, 発表者 10 名ほど+聴講者。

## 4. 研究交流の実績 (主要な実績)

### 【合同ミーティング】

・2018 年 5 月 28 日: キックオフミーティング, 新潟, 日本

・2019 年 5 月 10 日: 全体ミーティング, アーヘン, ドイツ

・2020 年 5 月 21 日: 全体ミーティング, オンライン

・2020 年 11 月 6 日: 全体ミーティング, オンライン

・2021 年 4 月 19 日: 全体ミーティング, オンライン

- ・その他, 複数回の Zoom ミーティング

**【学生・研究者の派遣、受入】**

- ・2018年9月: 日本から研究者が1名相手研究機関を訪問し, 実験設備見学や研究打ち合わせを実施。
- ・2018年10月~2019年2月: 日本から学生1名が相手研究機関に4ヶ月間留学し, 電力変換回路の研究に従事。
- ・2018年11月~12月: 日本から研究者1名が相手研究機関に1ヶ月間留学し, ワイヤレス給電の研究に従事。
- ・2019年1月: 日本から研究者が1名相手研究機関を訪問し, 電力変換回路に関する打ち合わせを実施。
- ・2019年8月~9月: 日本から学生1名が相手研究機関に1ヶ月間留学し, ワイヤレス給電の研究に従事。
- ・2019年8月: 日本から学生1名が相手研究機関を訪問し, 電力変換回路に関する打ち合わせを実施。
- ・2020年1月~2月: 日本から学生1名が相手研究機関に2週間留学し, 電力変換回路に関する研究を実施。
- ・2018年10月: 相手国側研究員1名を日本側研究機関に1週間受け入れ, 共同研究を実施。
- ・2018年11月: 相手国側研究員2名を日本側研究機関に2週間受け入れ, 共同研究を実施。
- ・2019年1月~3月: 相手国側研究員1名を日本側研究機関に1ヶ月間受け入れ, 共同研究を実施。
- ・2019年7月: 相手国側研究員4名を日本側研究機関に2週間受け入れ, 共同研究を実施。
- ・2020年2月~3月: 相手国側研究員1名を日本側研究機関に1ヶ月間受け入れ, 共同研究を実施。

**5. 特許出願**

研究期間累積出願件数: 0 件

**6. 受賞・新聞報道等**

**【受賞】**

- ・2019年3月26日: 平成30年度学科長特別賞 (東京大学工学部電気電子工学科), 時田圭一郎。
- ・2019年3月31日: 電気学会東京支部 電気学術奨励賞, 時田圭一郎。
- ・2020年8月25日: 2019年電気学会産業応用部門大会優秀論文発表賞 A (本部表彰), 時田圭一郎。
- ・2020年11月17日: Best Student Paper Award (2020 IEEE MTT-S Wireless Power Transfer Conference), 時田圭一郎。
- ・2022年2月17日: 2020年電気学会産業応用部門大会優秀論文発表賞 (部門大会), 安田匠。

**【報道等】**

- ・本プロジェクトを発展させた走行中ワイヤレス給電については, 「2020年10月18日: サイエンス ZERO (NHK E テレ)」など他多数。

**7. その他**

**【市民向けアウトリーチ活動】**

- ・2021年6月23日~25日: テクノフロンティア 2021 など他多数で, ワイヤレス給電用コイルなどを展示。