

Date of Submission:

平成 29年 1月 12日

Department 電気・電子情報工学専攻	Student ID Number 学籍番号	第 103422 号	Supervisors 指導教員	大平 孝 上原 秀幸
Applicant's name 氏名	鈴木 良輝			

## Abstract

## 論文内容の要旨 (博士)

Title of Thesis 博士学位論文名	Via-Wheel Power Transfer and Electrified Roadway for Dynamic Powering to Electric Vehicle
----------------------------	---

(Approx. 800 words)

(要旨 1,200 字程度)

This paper presents continuous dynamic powering to a manned electric motor cart using Via-Wheel Power Transfer (V-WPT). We show technical feasibility of dynamic powering using V-WPT. First of all, we created a via-wheel power transfer using 1/32 scaled model toy car. We prototyped a transmitting metal plates and a receiving tire structure with a steel belt. The structure consisting of them is called V-WPT system. The V-WPT system is evaluated with regard to maximum available power efficiency  $\eta_{\max}$ , which means the power transfer efficiency performed by a two-port system in case of perfect conjugate impedance matching with its source and load. From the measured frequency response of  $\eta_{\max}$ , we set the operation frequency at 52-MHz, where  $\eta_{\max}$  was observed as 89%. To make the actual efficiency reach  $\eta_{\max}$ , we next designed LC matching circuits for the V-WPT system. If it were not for matching, the power reflection coefficient  $|S_{11}|$  of the V-WPT system would be 99%, which means the efficiency is quite low. After matching,  $|S_{11}|$  successfully reduced to 0.7% and transfer efficiency achieved 75%. We experimented power transfer from a prototyped RF inverter to an onboard motor through the V-WPT system and a prototyped RF rectifier. We finally confirmed the onboard motor run. This is the proof of power transfer using V-WPT system.

Next, we crated V-WPT to a manned battery-less electric cart from electrified floor panels. We specially remodeled the structure of the cart to receive power by V-WPT. Particularly the metal front uprights were with replaced by insulators made made from MC nylon. Operation frequency is decided as 7.05MHz, where  $\eta_{\max}$  exceeds 80%. We designed and fabricate matching circuits for the V-WPT system. After matching, the exhibited power transfer efficiency of the V-WPT is 67%. We constructed the entire power transfer system, and supplied RF power of 120W to the manned electric cart from an RF inverter. Then, the cart ran by 80cm along the course at 3km/h with total efficiency of 59%. To confirm the driver's safety, we also measured an electromagnetic field (EMF) leakage from the V-WPT system. Measured EMF is lower than the reference value of a radio wave protection guideline suggested by the government of Japan. From these results, we showed the feasibility of V-WPT to a manned electric motor cart running on an electrified floor.

Finally, we worked with a long-haul electrified roadway for continuous dynamic powering to an electric cart. We found some voltage null points where power transfer efficiency severely suffers from unwanted standing waves. These points appear periodically at  $\lambda/4$  and odd-number times  $\lambda/4$  far from the terminal of roadway, where  $\lambda$  designates the wavelength. The cart cannot be well powered in the vicinity of those null points. To solve this problem, we proposed a new electrified roadway structure called Composite Right and Left Handed (CRLH) electrified roadway. We divided the roadway into segments of  $\lambda/10$  in length or shorter, and connected them in cascades by employing left-handed (LH) circuits. They compensate the phase delay caused by a long-haul electrified roadway since the LH circuits are periodically inserted between segments. Thus, the voltage null points standing wave nodes vanish from the roadway because each of the electric length is within  $\lambda/10$  without regard to the total roadway length. We confirmed the viability of the CRLH technique in this experiment. For comparison, an electrified roadway of over  $\lambda/4$  (14 m round) in conventional structure was constructed. Measured  $\eta_{\max}$  ranges between 0% and 47% due to standing waves, where  $\eta_{\max}$  decreased to 0% at  $\lambda/4$  from an end. We then designed and prototyped left-handed circuits and inserted them into electrified track periodically. Measured deviation in  $\eta_{\max}$  was alleviated from 47 point to 5.8 point, and  $\eta_{\max}$  was 55% in average. By this technique, the manned cart ran on the CRLH circuit truck with V-WPT. We successfully performed continuous dynamic powering to a manned electric cart on a long-haul electrified roadway. In conclusion, the developed technologies in this work enable dynamic powering to electric vehicles, and consequently will contribute to our prosperous future life on the low CO<sub>2</sub> blue planet.

Department 電気・電子情報工学専攻	Student ID Number 学籍番号	第 103422 号	Supervisors 指導教員	大平 孝 上原 秀幸
Applicant's name 氏名	鈴木 良輝			

## Abstract

## 論文内容の要旨 (博士)

Title of Thesis 博士学位論文名	電気自動車走行中給電のためのタイヤ集電方式と電化道路
----------------------------	----------------------------

(Approx. 800 words)

(要旨 1,200 字程度)

本論文は、タイヤ集電方式により有人電動車両への長区間の連続走行中給電を達成する。第1に、1/32スケール自動車模型でタイヤを介した電力伝送を実証する。タイヤ集電のための、送電用電極板と受電用のスチールベルト入りタイヤを試作した。これらの送受電極を合わせてタイヤ集電系と呼ぶ。タイヤ集電系の最大有能電力効率  $\eta_{max}$  を測定した。周波数52MHzで  $\eta_{max}$  が89%得られた。周波数52MHzで、電力伝送に必要な整合回路、RFインバータ、RF整流回路を設計・試作した。RFインバータからの高周波電力でタイヤ集電系を介して車載モータが駆動することを実証した。タイヤ集電系 (RF-RF) 効率75%を達成した。

第2に、パネル板と一人乗りバッテリーレス電動カートを使ったタイヤ集電方式電力伝送システムによる有人走行を実証する。まず、タイヤ集電機構を備えた電動カートとその荷重に耐えられる電化パネル床を設計・試作した。タイヤの軸受け部分を絶縁体であるMCナイロンで試作し、タイヤ集電可能な車両構造を実現した。7.05MHzでタイヤ集電系の  $\eta_{max}$  が80%得られた。整合回路を設計試作し、タイヤ集電系の電力伝送効率が67%得られた。RFインバータから120W出力時にモータへの出力70.5W、総合効率59%を達成した。タイヤ集電による電動カートの起動および電動カート0.8m走行を達成した。漏洩電磁界を測定し、搭乗者の安全性を評価した。搭乗者位置の電磁界強度は、総務省「電波防護指針」の指針値以下であった。パネル板と一人乗り電動カートを使ったタイヤ集電方式電力伝送で有人走行が実現できることを示した。

最後に、長区間の電化走行路から電動カートへの連続走行中給電を実現する。電化走行路の終端から1/4波長の奇数倍 (終端から90度位相が遅れた) となる電圧定在波節 (電圧ゼロ点) 付近で電力伝送効率が極めて低くなる問題を発見した。この問題を解決する、定在波節が生じない新しい電化道路構造「右手左手複合系電化走行路」を提案した。埋設した電極板に、通過電圧の位相を進める「左手系回路」を1/10波長程度の間隔で装荷し、電化道路で生じる位相遅れを左手系回路で周期的に打ち消す。これにより、電化走行路の効率低下問題を解決する。全長14m (0.6波長) の周回構造の電化走行路で右手左手複合系走行路の有効性を検証した。左手系回路を装荷しない場合は終端から1/4波長の点で最大効率  $\eta_{max}$  は0となった。左手系回路を装荷すると  $\eta_{max}$  の低下は解消され、道路全周の平均伝送効率55%、振れ幅7ポイントを達成した。時速3kmで有人電動カートの連続周回走行に成功した。本研究の目的である、タイヤ集電方式による有人電動車両への連続走行中給電を達成した。本研究成果は、EVへの走行中給電実現によるEVの利便性向上と普及促進、ひいては、CO<sub>2</sub>削減を達成するグリーンビークル社会実現への第一歩である。