

令和 2 年 7 月 3 日現在

機関番号：16101

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2017～2019

課題番号：17K06302

研究課題名（和文）超電導磁気浮上式鉄道の地上コイル絶縁劣化診断のための車載型電磁波センシング技術

研究課題名（英文）On-Board Radio Sensing Techniques for Diagnosing Insulation Deterioration of Ground Coils of Superconducting Maglev Systems

研究代表者

川田 昌武（KAWADA, Masatake）

徳島大学・大学院社会産業理工学研究部（理工学域）・教授

研究者番号：00303686

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,600,000円

研究成果の概要（和文）：超電導磁気浮上式鉄道では車両側面に超電導磁石、ガイドウェイ側壁に地上コイルが設置されており、その電磁力により車両を浮上、案内し、推進させている。地上コイルの絶縁樹脂の劣化予兆現象の一つとして部分放電が上げられ、部分放電は広帯域電磁波を放射することから、これまでに地上コイル内で発生する部分放電の位置を特定するための電磁波センシングシステムの開発を進めてきた。

本研究では、ベクトル型電波干渉計システムを開発し、部分放電電流と放射電磁波との関係を示した。また、ベクトル型電波干渉計システムを試験台車に搭載し、時速200kmで走行中に模擬推進コイル中で発生させた部分放電を検出できることを示した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

超電導磁気浮上式鉄道の地上コイルは、車両の推進、浮上、案内を実現するための設備であり、実運用では膨大な数の地上コイルが使用される。地上コイルには長期間の機械的、電気的、環境的負荷が複合的に加わることから、地上コイルの絶縁破壊事故を未然に防ぐために、絶縁劣化予兆現象（部分放電）の早期発見が必要となる。

本研究では超電導磁気浮上式鉄道の走行車両から地上コイル（推進コイル）の絶縁劣化の予兆現象である部分放電を検出するためのベクトル型電波干渉計システムを開発した。同システムを試験台車に搭載し、試験台車の時速200km走行中において部分放電を検出することができることを示した。

研究成果の概要（英文）：In superconducting magnetic levitation (Maglev) systems, superconducting magnets are located on both sides of the vehicles and ground coils are attached to sidewalls of the guideway; the vehicles are levitated, guided, and propelled over the guideway by the electromagnetic force between them. Because a partial discharge (PD), which is a degradation symptom of insulating resin of the ground coils, emits wideband electromagnetic (EM) waves, a radio sensing system for locating the PD source by receiving the EM waves has been developed. In this study a radio interferometer system with a vector-antenna was developed. The experimental results showed the relationship between the PD current and the EM waves emitted from it. Partial discharges generated in a mock-up of propulsion coil could be detected from a test bogie running at the speed of 200km/h using the radio interferometer system with a vector-antenna.

研究分野：電気電子工学

キーワード：超電導磁気浮上式鉄道 地上コイル 推進コイル 浮上・案内コイル 絶縁劣化診断 部分放電 電磁波センシングシステム ベクトル型アンテナ

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

超電導磁気浮上式鉄道の地上コイルは、車両の推進、浮上、案内を実現するための設備である。[1, 2]。地上コイルには長期間の機械的、電氣的、環境的負荷が複合的に加わる[1-5]ことから、地上コイルの絶縁破壊事故を未然に防ぐために、絶縁劣化予兆現象(部分放電)の早期発見が必要となる[3, 4]。また、実運用では膨大な数の地上コイルが使用される。よって、絶縁劣化した地上コイル(推進コイル)を高速かつ高精度で特定することが必要となる。そこで、研究代表者は超電導磁気浮上式鉄道の走行車両から地上コイル(推進コイル)の絶縁劣化の予兆現象である部分放電を検出する手法の研究を進めてきた [7-9]。

### 2. 研究の目的

#### (1) ベクトル型アンテナの開発

部分放電からの放射電磁波を垂直・水平電界成分に分けて受信する。

#### (2) 車載型電磁波センシングシステムによる部分放電位置特定

模擬推進コイル中で部分放電を発生させ、放射電磁波から部分放電位置を特定する。

#### (3) 車載型電磁波センシングシステムによる部分放電電流推定

部分放電電流と放射電磁波を同時測定し、その関係を明らかにする。

### 3. 研究の方法

#### (1) 模擬推進コイルおよび模擬浮上・案内コイル

本学で独自に模擬推進コイルと模擬浮上・案内コイルを設計、制作した[10]。これらを実験で利用した。

#### (2) 室内での部分放電位置特定実験および部分放電電流測定

図 1 に車載用ベクトル型電波干渉計システムによる模擬推進コイル中の部分放電放射電磁波の計測方法を示す[10]。アンテナ 1~3 のアンテナエレメントは垂直方向に設定されており、アンテナ 4 のアンテナエレメントは水平方向に設定されている。アンテナ 2 とアンテナ 4 によりベクトル型アンテナを構成している。部分放電電流は高周波電流プローブを用いて模擬推進コイルの接地線で測定した。

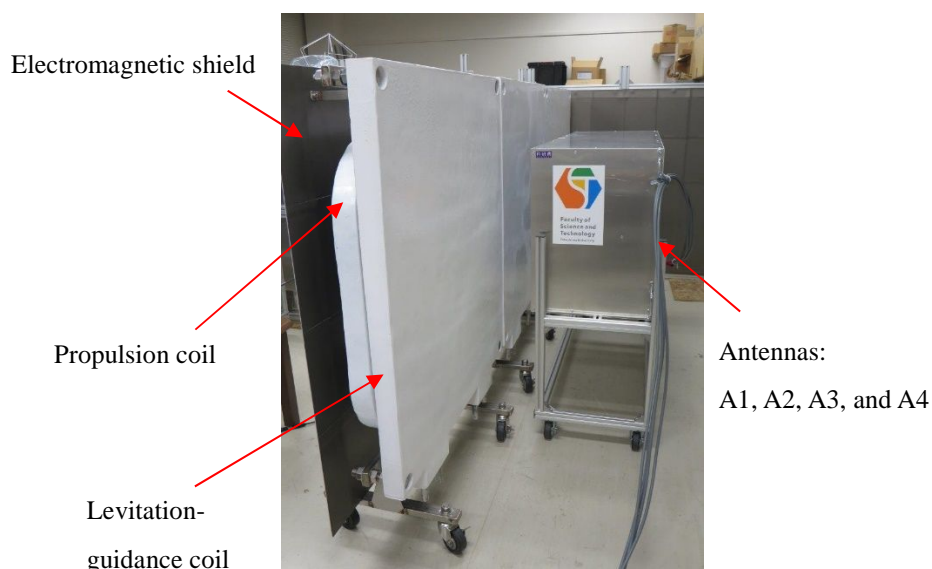


図 1 模擬推進コイル中の部分放電放射電磁波計測[10]

### (3) 試験台車の高速走行中における部分放電検出実験

図 2 に開発したベクトル型電波干渉計システムを試験台車に搭載した様子[11, 12]を示す。同試験台車を 200km/h で走行させ、模擬推進コイル中で発生させた部分放電を検出する実験を実施した。なお、部分放電を印加電圧 2.1kVrms (交流) で発生させておき、試験台車が地上コイル前を通過する際に、手動にて電圧を上昇させ絶縁破壊を生じさせた。

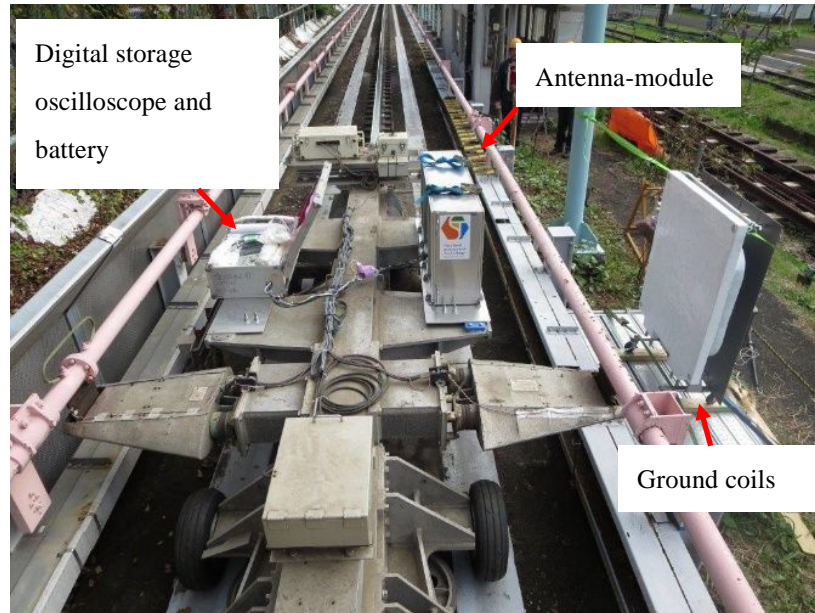


図 2 試験台車に搭載したベクトル型電波干渉計システム[11, 12]

## 4. 研究成果

### (1) 室内での部分放電位置特定および部分放電電流の測定結果

アンテナ間(アンテナ 1 と 2 およびアンテナ 2 と 3)の電磁波到達時間差から、部分放電発生位置を特定した結果を図 3 に示す。同図から、部分放電の発生位置を特定していることが分かる。また、ベクトル型アンテナ(アンテナ 2 と 4)における受信電磁波および部分放電電流の周波数スペクトラムから、部分放電電流を推定できる可能性を示した。

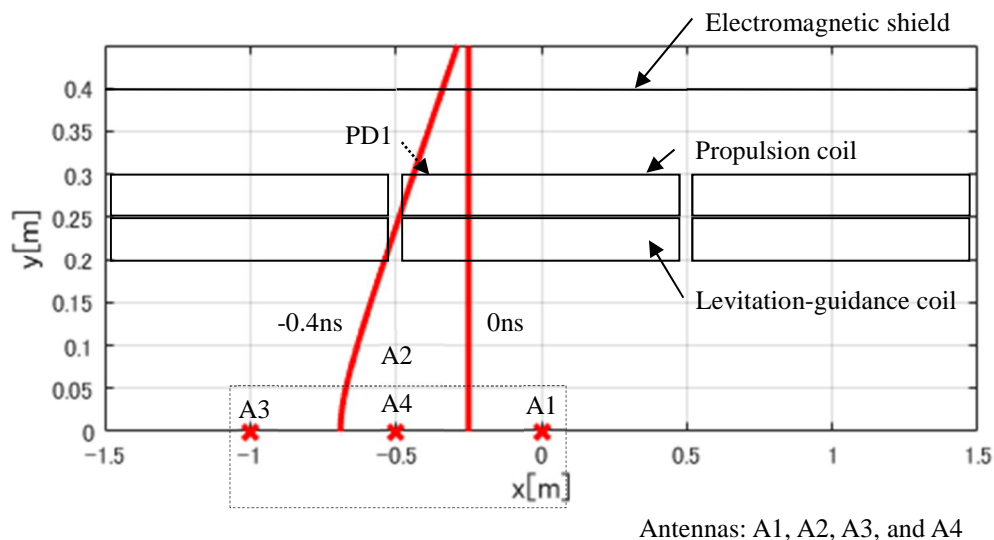


図 3 模擬推進コイルの部分放電発生位置の特定結果[10]

(2) 試験台車の高速走行中における部分放電検出実験結果

図4に時速198.5km走行時における部分放電(あるいは絶縁破壊)の発生位置を特定した結果について示す。同図より、時速198.5km走行中に部分放電(あるいは絶縁破壊)が発生した推進コイルを特定できることが分かる。

図5に時速212.3km走行時における部分放電(あるいは絶縁破壊)の発生位置を特定した結果について示す。同図より、アンテナ1とアンテナ2によって求まる位置と、アンテナ2とアンテナ3で求まる位置との間の距離が推進コイルの横幅よりも若干長くなっていることが分かる。しかしながら、本結果は時速212.3km走行中に膨大な数の推進コイルの中から、異状を有する推進コイルを見つけ出す可能性があることを示している。

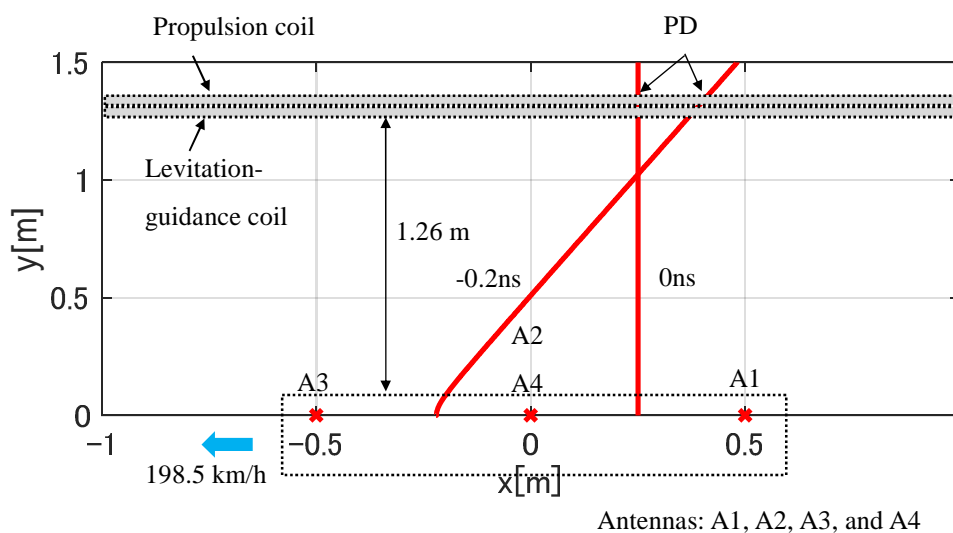


図4 時速198.5km走行時における部分放電位置特定結果[12]

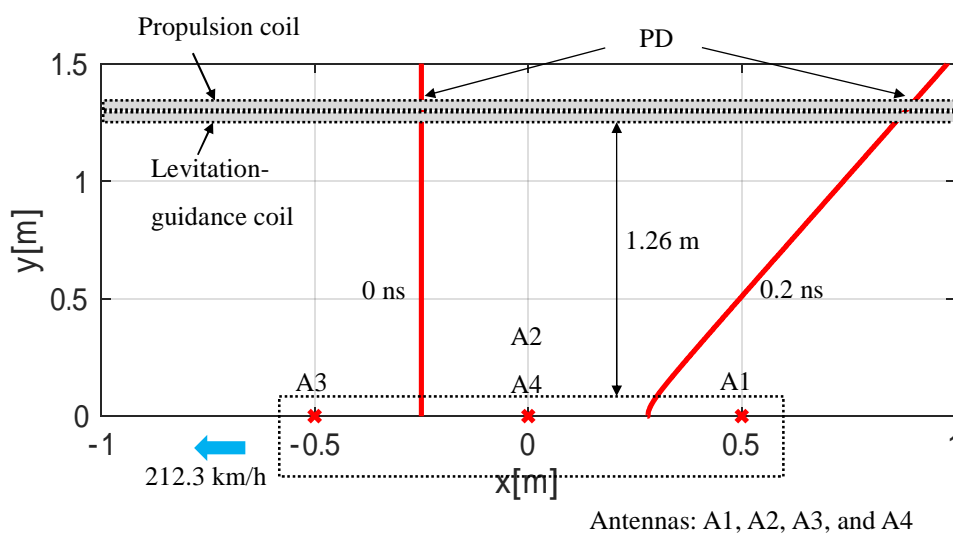


図5 時速212.3km走行時における部分放電の位置特定結果[12]

## 【参考文献】

- [1] 国土交通省, 超電導磁気浮上式鉄道実用技術評価, 2009年7月
- [2] 財団法人 鉄道総合技術研究所編, ここまで来た! 超電導リニアモーターカー, 交通新聞社, 2006年12月
- [3] 鈴木, 松江, 地上コイル部分放電加速劣化試験結果, 平成20年電気学会全国大会, 第5分冊, p.98, 2008年3月
- [4] 鈴木, 松江, 饗庭, 内部欠陥模擬地上コイルの部分放電特性, 平成19年電気学会全国大会, 第5分冊, p.281, 2007年3月
- [5] 鈴木, 吉川, 超電導磁気浮上式鉄道用地上コイル樹脂の機械的疲労強度評価, 疲労シンポジウム講演論文集, p.1-3, 2004年11月
- [6] 国土交通省鉄道局, 技術事項に関する検討資料(高速鉄道の基本システムの構成), 2010年4月
- [7] M.Kawada, M.Suzuki, R.Ikeda, and S.Ota, "Locating partial discharge sources in propulsion coils of superconducting Maglev systems using an on-board radio interferometer system," Proc. of the 33rd IEEE Electrical Insulation Conference, pp.424-429, June 2015.
- [8] M.Kawada, M.Suzuki, R.Ikeda, and S.Ota, "Improving detection sensitivity of an on-board radio interferometer system for locating partial discharge sources in propulsion coils of superconducting Maglev systems," Proc. of the 34th IEEE Electrical Insulation Conference, pp.151-155, June 2016.
- [9] M.Kawada, M.Suzuki, and R.Ikeda, "Condition monitoring for propulsion coils of superconducting Maglev systems using an on-board radio interferometer system," Proc. of the 35th IEEE Electrical Insulation Conference, pp.455-458, June 2017.
- [10] M.Kawada, "Detection of partial discharges occurring in propulsion coils of superconducting Maglev systems using an on-board radio interferometer system with a vector-antenna," Proc. of the 36th IEEE Electrical Insulation Conference, pp.499-503, June 2018.
- [11] M.Kawada, R.Ikeda, M.Aiba, K.Watanabe, and M.Suzuki, "Detection of partial discharges occurring in propulsion coils of superconducting Maglev systems using a radio interferometer system with a vector-antenna mounted on a test bogie," Proc. of the 37th IEEE Electrical Insulation Conference, pp.368-371, June 2019.
- [12] M.Kawada, R.Ikeda, M.Aiba, K.Watanabe, and M.Suzuki, "Detection of partial discharges occurring in propulsion coils of superconducting Maglev systems from a test bogie running at high speed using a radio interferometer system with a vector-antenna," Proc. of the 38th IEEE Electrical Insulation Conference, 5 pages, June 2020.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計3件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 3件）

1. 発表者名 Masatake Kawada, Ryouhei Ikeda, Masayuki Aiba, Ken Watanabe, and Masao Suzuki
2. 発表標題 Detection of Partial Discharges Occurring in Propulsion Coils of Superconducting Maglev Systems from a Test Bogie Running at High Speed using a Radio Interferometer System with a Vector-Antenna
3. 学会等名 2020 IEEE Electrical Insulation Conference (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Masatake Kawada, Ryohei Ikeda, Masayuki Aiba, Ken Watanabe, and Masao Suzuki
2. 発表標題 Detection of Partial Discharges Occurring in Propulsion Coils of Superconducting Maglev Systems Using a Radio Interferometer System with a Vector-Antenna Mounted on a Test Bogie
3. 学会等名 2019 IEEE Electrical Insulation Conference (Proceedings of the 37th Electrical Insulation Conference) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Masatake Kawada
2. 発表標題 Detection of Partial Discharges Occurring in Propulsion Coils of Superconducting Maglev Systems Using an On-Board Radio Interferometer System with a Vector-Antenna
3. 学会等名 2018 IEEE Electrical Insulation Conference (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 磁気浮上式鉄道のための模擬地上コイル及び模擬推進コイル	発明者 川田 昌武	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、2017-142834	出願年 2017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
---------------------------	-----------------------	----