

令和 5 年 6 月 15 日現在

機関番号：16101

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2020～2022

課題番号：20K04418

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知能型電磁波センシング技術

研究課題名（英文）Radio Sensing Techniques with Artificial Intelligence 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） 3,400,000円

研究成果の概要（和文）：超電導磁気浮上式鉄道の安全運行には、膨大な数の地上コイル（推進、浮上・案内コイル）の状態を監視する技術が必要とされる。本研究では推進コイルで絶縁劣化の予兆として発生する部分放電を車上側から検出する知能型電磁波センシングシステムの開発を進めた。UHF帯電磁波の受信電力とUHF帯およびHF帯以下の部分放電電流から求めたそれぞれの受信電力との間には対数的な直線関係があることが明らかとなった。HF帯以下の部分放電電流から求めた受信電力は、UHF帯部分放電電流と比較して分散値が大きくなった。また、UHF帯電磁波の受信電力から部分放電電荷量を直接的に推定することは難しいことが明らかになった。

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し、部分放電電流を推定するための知能型電波センシングシステムの開発を進めた。UHF帯電磁波の受信電力からUHF帯およびHF帯の部分放電電流の受信電力を推定できることを示した。

研究成果の概要（英文）：Condition monitoring systems for a large number of ground coils: propulsion coils and levitation-guidance coils are required to operate the superconducting magnetic levitation (SC Maglev) systems safely. We have been developing a radio sensing system with artificial intelligence for detecting a partial discharge (PD) which is a symptom of insulation degradation of propulsion coils from SC Maglev trains. It was found that the relationship between the received power of the UHF electromagnetic (EM) waves and the received power of the UHF PD current is logarithmically linear; the relationship between the received power of the UHF EM waves and the received power of HF and lower band PD current is also logarithmically linear; however, the variance of the plots in the HF and lower band PD current is larger than that of the plots in the UHF PD current. The apparent charge of PDs cannot be directly estimated from the received power of the UHF EM waves due to the variance.

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 知能型

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[1,2,6]。よって、絶縁劣化した地上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、本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。また、ベクトル型アンテナを開発し、模擬地上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研究も進めてきた。

2. 研究の目的

(1) 薄型アンテナの開発

車両搭載時の容積を削減する。

(2) 知能型電磁波センシングシステムによる部分放電電流推定

部分放電放射電磁波を受信し、部分放電電流値を推定する。なお、これまでに開発した車載型用ベクトル型電波干渉計システム（電磁波センシングシステム）に、受信電磁波と部分放電電流との関係を取り入れることで、知能型電磁波センシングシステムとすることを目指している。

(3) 知能型電磁波センシングシステムによる絶縁劣化診断の自動化

背景雑音の除去、部分放電電流の推定値及び部分放電電流の特徴等を用いた絶縁劣化診断を自動化する。

3. 研究の方法

(1) 薄型アンテナの開発

これまでのアンテナよりも薄型アンテナを設計、試作した。

(2) 知能型電磁波センシングシステムによる部分放電電流推定

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[7-9]。なお、本計測では基盤研究(C)17K06302において開発したアンテナを利用した。アンテナ1から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。

(3) 知能型電磁波センシングシステムによる絶縁劣化診断の自動化

上記(2)の車載用ベクトル型電波干渉計システムにより受信した電磁波と部分放電電流との関係を明らかにし、この関係を絶縁劣化診断の自動化に用いる。また、受信電磁波と国際標準規格 IEC60270[10]に基づく部分放電電荷量との関係も絶縁劣化診断の自動化に用いる。

4. 研究成果

(1) 薄型アンテナによる部分放電実験への適用結果

薄型アンテナの特性把握、校正に課題があることが分かった。

(2) 知能型電磁波センシングシステムによる部分放電電流推定

図2にUHF（Ultra High Frequency）帯受信電磁波（周波数：300MHz～600MHz）とUHF帯部分放電電流（周波数：300MHz～600MHz）との関係を示す。なお、高速フーリエ変換（fast Fourier transform：FFT）により周波数成分300MHzから600MHzの受信電力を求めた[8,9]。同

図より、UHF 帯受信電磁波と UHF 帯部分放電電流から求まる受信電力値には対数的な直線関係があることが分かる。

図 3 に UHF 帯受信電磁波（周波数：300MHz～600MHz）と HF（High Frequency）帯以下の部分放電電流（周波数：0～30MHz）との関係を示す。同図より、UHF 帯受信電磁波と HF 帯以下の部分放電電流から求まる受信電力値には対数的な直線関係があるが、UHF 帯部分放電電流の場合と比較して、分散値が大きいことが分かる。

図 4 に UHF 帯受信電磁波（300MHz～600MHz）と LF（Low Frequency）帯以下の部分放電電流（0～150kHz）との関係を示す。同図より、UHF 帯受信電磁波と LF 帯以下の部分放電電流から求まる受信電力値の関係は、階段状になってはいるものの対数的な直線関係があることが分かる。

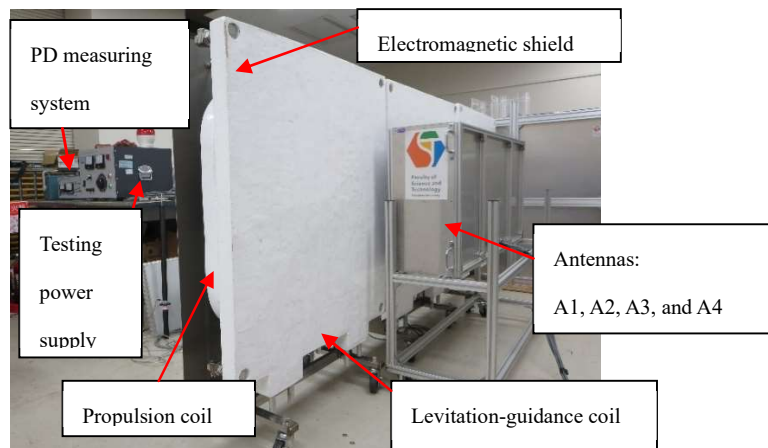


図 1 模擬推進コイル中の部分放電放射電磁波計測[7-9]

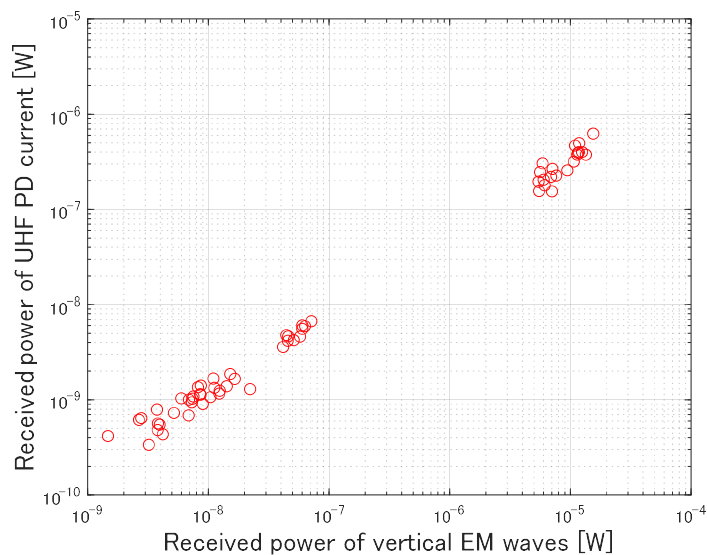


図 2 UHF 帯受信電磁波と UHF 帯部分放電電流との関係[9]

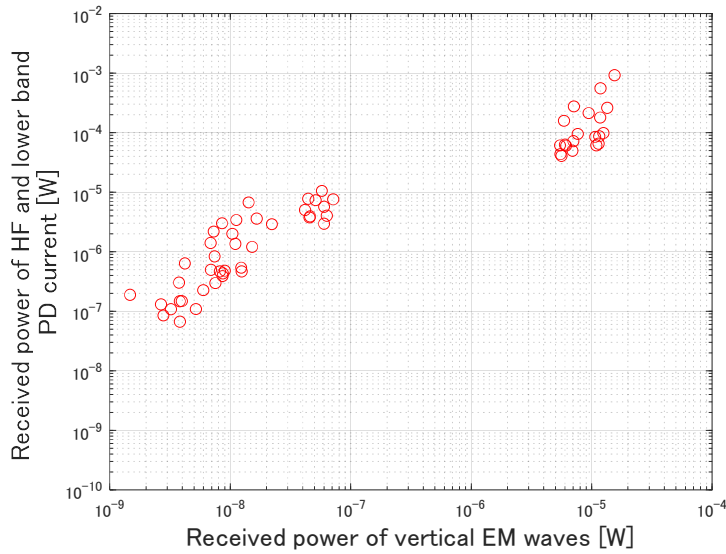


図3 UHF 帯受信電磁波と HF 帯以下の部分放電電流との関係[9]

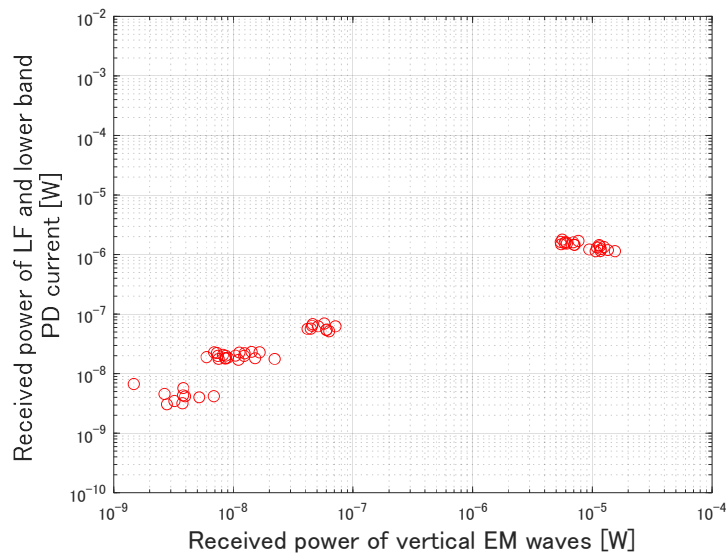


図4 UHF 帯受信電磁波と LF 帯以下の部分放電電流との関係[9]

(3) 知能型電磁波センシングシステムによる絶縁劣化診断の自動化

図5にUHF帯受信電磁波と部分放電電荷量（部分放電測定装置の周波数帯域：15kHz～150kHz）との関係を示す。同図より、UHF帯受信電磁波と部分放電電荷量との関係は、対数的に比例関係にはあるが、分散が大きいことが分かる。すなわち、UHF帯電磁波の受信電力から部分放電電荷量を直接的に推定することは難しいことが明らかになった。しかしながら、ある程度の範囲での部分放電電荷量の推定、例えば、同図では200pCから800pCの範囲、500pCから800pCの範囲等での推定は可能になると考えられる。

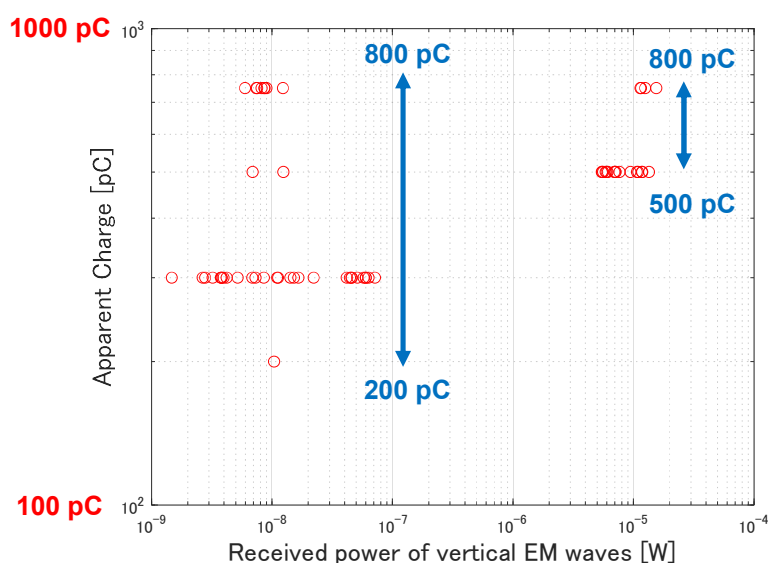


図5 UHF 帯受信電磁波と部分放電電荷量との関係

【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, "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.
- [8] M.Kawada, Estimation of UHF current 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 40th IEEE Electrical Insulation Conference, pp. 144-148, June 2022.
- [9] M.Kawada, Measurement of radiated power 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 41st IEEE Electrical Insulation Conference, pp. 363-368, June 2023.
- [10] IEC 60270, "High-voltage test techniques – Partial discharge measurements," Dec. 2000.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計4件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 4件）

1. 発表者名 Masatake Kawada
2. 発表標題 Estimation of UHF Current 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 IEEE Electrical Insulation Conference 2022, June 19th to 22nd, 2022 (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Hasti Jahangiri, Masatake Kawada
2. 発表標題 PD Detection and Monitoring of High Voltage Cabling in an Aerospace Environment Using a UHF Radio Sensing System
3. 学会等名 IEEE Electrical Insulation Conference 2022, June 19th to 22nd, 2022 (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Masatake Kawada
2. 発表標題 Assessing the Condition of Propulsion Coils of Superconducting Maglev Systems Using an On-Board Radio Interferometer System with a Vector-Antenna
3. 学会等名 IEEE Electrical Insulation Conference 2021, Virtual Conference, June 7th to 21st, 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Masatake Kawada
2. 発表標題 Measurement of Radiated Power 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 IEEE Electrical Insulation Conference 2023, June 18th to 21st, 2023 (国際学会)
4. 発表年 2023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
--	---------------------------	-----------------------	----

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			
英国	aerospaceHV			