

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 5 月 31 日現在

機関番号：31302

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26289078

研究課題名(和文)電子機器に深刻な障害を与えるESD電磁ノイズの特性解明とEMC問題の抜本対策

研究課題名(英文)Elucidation of characteristics of ESD electromagnetic noise that seriously hurts electronic equipment and its countermeasure on EMC

研究代表者

川又 憲 (Kawamata, Ken)

東北学院大学・工学部・教授

研究者番号：00244905

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 11,700,000円

研究成果の概要(和文)：電気通信システムや電子制御機器に深刻な障害を与え、時には人命を脅かす重大事故を誘発するESD(静電気放電)について、その放電物性と発生する電磁妨害波の関連性を究明し、妨害波の発生メカニズムの解析とその様相を決定する主たるパラメータについて検討した。また、発生したESD電磁ノイズが電子機器に混入し障害を起こすに至るプロセスを実験的および解析的に検証した。さらに、ESD電磁ノイズの通信機器への影響の評価手法について提案し、その妥当性について検証した。またこれらの検討を通じ、電気・電子機器のESD電磁ノイズによる障害問題についてEMC(電磁的両立性)を確保するための検討組織の基盤を構築した。

研究成果の概要(英文)：Telecommunication systems and electronic control equipment malfunctions under the influence of electromagnetic noise caused by ESD (Electrostatic discharge). Also, sometimes causing serious accidents that threaten human lives. Due to the spread of high-tech digital equipment, the trend is increasing more and more. Then, we study the elucidation of characteristics of ESD electromagnetic noise that seriously hurts electronic equipment and its countermeasure on EMC (Electromagnetic compatibility). In the study, we verified in experimentally and analytically the process of causing failure generated by the ESD electromagnetic noise. Furthermore, we propose a method for evaluating the influence of the ESD electromagnetic noise on communication equipment and it is verified for the validity. Through these investigations, we have established the foundation for the organization to ensure EMC on the problem of the ESD electromagnetic noise.

研究分野：EMC環境電磁工学

キーワード：ESD 静電気放電 EMC 電磁両立性 電磁ノイズ 電磁妨害 障害 対策技術

1. 研究開始当初の背景

静電気放電 (Electrostatic discharge:以下 ESD と称する) による障害および災害は、古くて新しい問題である。その問題は、ガソリンなど危険物の爆発あるいは工業プラントにおける粉体材料の発火・爆発などの原因として知られている。これらの問題に加え近年では、ハイテク電子機器の電磁的な障害が問題となっており、ESD による電子素子の破壊や機器の誤動作などトラブルの事例が数多く報告されている。この要因は、障害発生源となる ESD 事象のみによらず、電子回路の高集積化などによる電子機器本体の電磁妨害に対するイミュニティ (耐雑音性) の低下もその要因となっている。このようなことから、ESD による電磁的な障害問題を検討し、解決に導くためには、(1)電磁妨害波の発生源となる ESD 事象の物性把握と発生電磁雑音特性の究明と、(2)障害を受ける電子機器のイミュニティ向上を中心とした EMC 問題の解決のための検討を同時に押し進める必要がある。

しかし、これまで、本研究分野における研究形態は、各専門家がそれぞれの立場にて独立して問題究明を行っていたのが通例であった。そこで、本研究計画では、それぞれの要素技術の研究に携わる研究者間のネットワークを構築し、上述の(1)に示した ESD 物性と電磁雑音の発生機構解明と、(2)に示した電子機器のイミュニティ確保と EMC 問題検討を、組織的に連携して研究計画を展開する研究計画を立案した。このような研究者間のネットワークを研究の組織基盤として、ESD に伴う電磁妨害波の発生メカニズムの主たる要素と EMC 問題の共有を図りつつ、問題解決に向けた抜本的な対策技術の確立が求められている。

2. 研究の目的

電気通信システムや電子制御機器に深刻な障害を与え、時には人命を脅かす重大事故を誘発する静電気放電 (ESD) について、その放電物性と発生する電磁妨害波の関連性を究明し、妨害波の発生メカニズムの解明に向け検討を行う。さらに、発生した ESD 電磁ノイズが電子機器に混入し障害を起こすに至るプロセスを実験的および解析的に検証する。これらの検討結果を基盤として、電気・電子機器の EMC (電磁的両立性) を確保するための検討を組織的に進め、電磁的な障害源となる ESD 事象による EMC 問題の抜本的な解決に向けた対策技術の確立を目指す。具体的には、以下の技術課題の解決を目的に検討を行った。

(1) ESD の主たる放電パラメータと電磁波放射特性の関係を解明して放射機構のモデリングを行う。(2) ESD に伴う広帯域電磁ノイズ成分の時間領域測定技術とノイズ影響評価法の開発を行う。(3) ESD 電磁妨害波に対する電子機器イミュニティ向上の

ための設計指針を提案する。(4) インパルス性電磁妨害波の伝播、結合、および混入特性を解明し特異性を明確にする。

本研究課題は、これまで多くの研究者により取り込まれてきた内容を網羅するが、本研究計画の最大の特徴は、ESD の EMC 技術研究に関連する国内の研究者がネットワークを構築して、総合的かつ抜本的な問題解決策を検討することにある。研究ネットワークは東北学院大学、東北大学、NICT(情報通信研究機構)、東京理科大学、さらには鈴鹿工業高等専門学校との5機関で構成する。この研究組織の母体として、現在、電気学会電磁環境技術委員会傘下に「放電に伴う電磁ノイズ特性調査専門委員会」を設置し、調査研究活動を先行し展開している。これにより、これまで独立的に進められてきた ESD の現象検討、EMC 問題検討の連携と問題解決に向けた共通の課題認識などが図られ、ESD の EMC 問題の抜本解決に向けた具体的かつ組織的な成果を目指した。

3. 研究の方法

ESD によって生じる過渡的な電圧電流変動は数～数十ピコ秒間に発生すると推定されており、発生する電磁雑音はマイクロ波帯にまでおよぶ超広帯域の周波数成分を有することになる。その過渡現象の把握や発生電磁界の周波数スペクトルの測定は、ESD 現象があまりにも高速度のため非常に困難とされている。さらに、ESD による電磁妨害の発生様相は必ずしも帯電電圧には比例せず、低い帯電電圧の方が誤動作の発生割合が高い場合や、急峻なインパルス性電磁波による広帯域な電磁雑音波が発生するなど、ESD の特異な事実が確認されている。この原因は、放電ギャップ長や絶縁破壊メカニズムなどの放電パラメータと電磁妨害波の放射メカニズムの関係が複雑に絡み合っており、定性的な議論に留まっているのが現状である。

本研究計画では、それぞれの要素技術の研究に携わる研究者間のネットワークを構築し、目的で示した技術課題の解決を目指した。それらは、まず電磁妨害波源の視点から、ESD の放電パラメータと放射電磁ノイズ特性の関係究明、および ESD モデリングと電磁波の放射メカニズム解明の視点から検討した。また、電子機器のイミュニティ確保の視点から、ESD インパルス性電磁ノイズに対する電子機器イミュニティ評価と対策に向けた設計手法開発、および伝導性インパルス性電磁ノイズの伝播特性解明、について問題解決を図った。また両者に共通する課題として、ESD に伴う超高速・広帯域電磁ノイズの時間領域測定技術とノイズ影響評価法の開発を共通要素として研究展開した。

4. 研究成果

研究目的にて示した(1) ESD の主たる

放電パラメータと電磁波放射特性の関係を
解明して放射機構のモデリングについては、

ESD 放電パラメータと放射ノイズ特性の
関係究明および ESD モデリングと電磁波
の放射メカニズム解明のテーマにより、ESD
放射ノイズのモデリングのための放射要素
の細分化と定量化を進めた。具体的には、広
帯域光電界プローブを用い電界波形の距離
特性を、正確に把握した。また、電界波形は
電極の極近傍で静電界波形、近傍で誘導電界
波形、さらに遠方では放射電界波形を示した。
これらの結果から ESD ノイズの放射機構は、
スパークギャップによる放電路のダイポール
モデルと付随する金属電極を流れる電流
成分による増大効果が複合したものである
ことを明らかにした。(2) ESD に伴う広帯
域電磁ノイズ成分の時間領域測定技術とノ
イズ影響評価法の開発においては、ESD に
伴う超高速・広帯域電磁ノイズの時間領域測
定技術とノイズ影響評価法のテーマにより、
過渡電磁界の時間領域測定法によって求め
た ESD インパルス性過渡電磁界の APD を求め、
さらにその APD 特性を用いて、被干渉通信と
して想定したデジタル通信(無線 LAN)の
ビット誤り率やスループットを推定する評
価手法を確立した。(3) ESD 電磁妨害波に
対する電子機器イミュニティ向上のための
設計指針の提案に向けた検討では、ESD イン
パルス性電磁ノイズに対する電子機器の
イミュニティ評価と設計手法開発のテーマ
により、ウェアラブル機器が受けうる特異的
な ESD 電磁ノイズについて、ウェアラブル機
器の機種・所持方法、機器と人体との距離、
帯電人体の着衣に対する影響を実測調査し、
障害の発生要因とメカニズムについて絞込
を行った。さらに、ウェアラブル機器のイミ
ュニティ評価法の開発に向けた検討も併せ
て行い、従来の IEC61000-4-2 準拠の ESD ガ
ンで当現象を再現する手法の開発を行った。
(4) インパルス性電磁妨害波の伝播、結合、
および混入特性の解明では、伝導性インパ
ルス性電磁ノイズの伝播特性解明のテーマ
により、インパルス性電磁ノイズが機器へ伝
搬する特性について、シミュレーション結果
を可視化することで相互接続された機器や
線路へ結合メカニズムを明らかにした。また、
得られたメカニズムを ESD インパルス性電磁
ノイズに対する電子機器のイミュニティ向
上手法の開発に知見を共有した。

これらの研究成果は、各種学術論文および
雑誌に積極的に投稿し公開した。また当研究
組織が中心になり、アジア環太平洋環境電磁
工学国際会議(APEMC)における特別セッション
企画、および電子情報通信学会大会にお
ける依頼シンポジウム企画を提案し、本研
究計画の研究成果に関して積極的な公開と集
中の議論を行った。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者に

は下線)

(雑誌論文)(計 18 件)

難波田恵, 吉田孝博, “帯電した人体と接
地導体間の静電気放電によってウェアラ
ブル機器が受ける電氣的ストレス”, 静電
気学会誌, Vol. 40, No. 6, pp. 295-301,
査読有り(2016)

Y. Hayashi, “State-of-the-art research
on electromagnetic information
security”, Radio Science, vol. 41, issue
7, pp. 1213-1219, 査読有り(2016)

高義礼, 川又憲, 藤原修, “静電気試験器
の気中放電において接地金属板の接近速
度が絶縁破壊電位傾度に及ぼす増大効果”,
電気学会論文誌 A, Vol. 136, No. 8,
pp.547-548, 査読有り(2016)

佐藤友哉, 林優一, 水木敬明, 曾根秀
昭, “同軸コネクタ接触不良部におけるイン
ダクタンス値の定量的評価”, 電気学
会論文誌 A, vol. 136, no.6, pp. 347-352,
査読有り(2016)

高義礼, 川又憲, 藤原修, “静電気試験器
の気中放電に対する火花長測定法の精度
検証”, 電気学会論文誌 A, Vol. 136, No.
6, pp.376-377, 査読有り(2016)

安倍顕一郎, 川又憲, 窪岸茂樹, 藤原
修, “球電極 ESD に伴うインパルス性放射
電磁波の振幅と電極接近スピードの関係”,
電気学会論文誌 A, Vol. 136, No. 6,
pp.374-375, 査読有り(2016)

高義礼, 川又憲, 富田一, 藤原修, “静電
気試験器の気中放電において接近速度に
対する火花長の短縮効果と実験式”, 電
気学会論文誌 A, Vol. 136, No. 6,
pp.372-373, 査読有り(2016)

Shigeki Minegishi, Ken Kawamata, “
Transition Duration at Arc Occurrence
and Termination caused by Interrupting
Low Current in Air at Atmospheric
Pressure”, 電気学会論文誌 A, Vol. 136,
No. 6, pp.336-340, 査読有り(2016)

Ifong Wu, Takashi Shinozuka, Shinobu
Ishigami, and Yasushi Matsumoto,
“Evaluation of electromagnetic
radiation from the DC side of a
photovoltaic power generation system”,
IEEE Electromagnetic Compatibility
Magazine, Vol.4, No.2, pp.73-81, 査読有
り(2015)

高義礼, 戸谷史彦, 藤原修, 石上忍, 山中
幸, “ESD ガンの接触放電に対する放電電
流の IEC 規格波形と周波数スペクトル”,
電気学会論文誌 A, Vol.135, No.10, pp.
592-597, 査読有り(2015)

林優一, 本間尚文, 水木敬明, 青木孝文,
曾根秀昭, “暗号モジュールに対する意図
的な電磁妨害による故障発生メカニズム
に関する基礎的検討”, 電気学会論文誌 A,
Vol.135, no.5, pp.276-281, 査読有り
(2015)

古屋喜芳,川又憲,嶺岸茂樹," 指数テーパ線路型コニカルモノポールアンテナのリターンロスに関する実験的検討", 電気学会論文誌 A, Vol. 135, no.5, pp.271-275, 査読有り(2015)

川又憲,高義礼,嶺岸茂樹,藤原修," 球電極の低電圧 ESD に伴うインパルス性放射電磁波の過渡特性と周波数スペクトル", 電気学会論文誌 A, Vol.135, no.5, pp.265-270, 査読有り (2015)

高義礼,川又憲,藤原修," ESD ガンの気中放電に対する火花長の測定と検証", 電気学会論文誌 A, Vol.135, no.5, pp.259-264, 査読有り (2015)

川又憲,嶺岸茂樹,藤原修,"特集解説 球電極 ESD によるインパルス性電磁波の放射特性", 静電気学会誌, Vol.39, No.2, pp.54-59, 査読無し(2015)

川又憲," マイクロギャップ ESD に伴う過渡変動と放射電磁波特性", 特集人体 ESD/EOS と規格外耐性試験法, 電磁環境工学情報 EMC, 科学情報出版, No.324, pp.18-29, 査読無し(2015)

林優一, 本間尚文, 青木孝文, 曾根秀昭," (招待記事) 意図的な電磁妨害による暗号機器からの情報漏えい (IoT/CPS 時代の電磁波セキュリティ)", 電磁環境工学情報 EMC, 科学情報出版, no.331, pp.41-48, 査読無し(2015)

石上忍," 解説論文 インパルス性過渡電磁界の時間領域における測定技術", 静電気学会誌, Vol.39, No.2, pp.65-70, 査読無し(2015)

[学会発表](計 30 件)

Ken Kawamata, Shinobu Ishigami, Shigeki Minegishi and Osamu Fujiwara, "Distance characteristic of electric field waveform and field peak value caused by micro gap ESD in a pair of spherical electrodes", 2017 International Symposium on Electromagnetic Compatibility - EMC EUROPE (国際学会・載録決定), 2017年09月04日~2017年09月08日(フランス・アンジェ)

Shinobu Ishigami, Yoshihiko Kato, Ken Kawamata, "Antenna factor measurement of folded rhombic antenna for using microwave frequency range", 2017 International Symposium on Electromagnetic Compatibility - EMC EUROPE (国際学会・載録決定), 2017年09月04日~2017年09月08日(フランス・アンジェ)

石上忍, 加藤吉彦, 川又憲, "マイクロ波帯域用菱形折返ダイポールアンテナのアンテナ係数測定", 電気学会電磁環境研究会, 2017年02月27日(鹿児島県霧島市・霧島観光ホテル)

安倍頭一朗, 佐藤拓也, 川又憲, 石上忍, 嶺岸茂樹, 藤原修, "球電極マイクロギャップ ESD 発生時の電極表面電流分布に関する一考察", 電気学会電磁環境研究会, 2017年02月27日(鹿児島県霧島市・霧島観光ホテル)

笹川侑葵, 吉田孝博, "静電気放電でウェアラブル機器が受ける電氣的ストレスの機器依存性の検討", 電気学会電磁環境研究会, 2017年02月27日(鹿児島県霧島市・霧島観光ホテル)

Katsushige Harima, Tetsuya Nakamura, Daich Akita, Shinobu Ishigami, "Experimental estimation of E-field distribution in a vehicle under multipath propagation environment using a reverberation chamber", 2016 International Symposium on Antennas and Propagation (ISAP) (国際学会), 2016年10月24日~2016年10月28日(沖縄県宜野湾市・沖縄コンベンションセンター)

安倍頭一朗, 石上忍, 川又憲, 嶺岸茂樹, 藤原修, "球電極マイクロギャップ ESD に伴うインパルス性放射電磁波の電界波形測定", 電気学会電磁環境研究会, 2016年10月20日~2016年10月21日(宮城県仙台市・東北大学)

Kenichiro Abe, Ken Kawamata, Shigeki Minegishi and Osamu Fujiwara, "Influence of Electrode Surface Roughness in Electromagnetic Radiation due to Micro Gap ESD", Electromagnetic Compatibility Europe 2016, EMC Europe 2016 (国際学会) 2016年09月05日~2016年09月09日(ポーランド・プロツワフ・ヴロツワフ工科大学)

Yosuke Tani, Ifong Wu, Shinobu Ishigami, Yasushi Matsumoto, Ryosuke Suga, Osamu Hashimoto, "Characteristic evaluation of conducted disturbance measuring apparatus using two parallel TEM cells", Electromagnetic Compatibility Europe 2016, EMC Europe 2016 (国際学会), 2016年09月05日~2016年09月09日(ポーランド・プロツワフ・ヴロツワフ工科大学)

Takahiro Yoshida, "A Study on Long Duration Electrical Stress Induced by Electrostatic Discharge on Wearable Devices", 2016 Asia Pacific International Symposium on Electromagnetic Compatibility & Signal Integrity (APEMC2016) (国際学会), 2016年05月18日~2016年05月21日(中国・深セン・深センコンベンションセンター)

Kenichiro Abe, Ken Kawamata, Shigeki Minegishi and Osamu Fujiwara, "Influence of Approach Speed and Surface roughness of Electrode in Impulsive ESD Electromagnetic noise", 2016 Asia Pacific International

Symposium on Electromagnetic Compatibility & Signal Integrity (APEMC2016)(国際学会),2016年05月18日~2016年05月21日,中国(深セン・深センコンベンションセンター)

Ifong Wu, Shinobu Ishigami, and Yasushi Matsumoto, "Evaluation of Radiation Mechanism of LED Noise and Its Impact on Communication Quality of Digital Terrestrial Television Broadcasting", Proceedings of 2015 Asia-Pacific Symposium on Electromagnetic Compatibility (APEMC2015) (国際学会) 2015年05月27日~2015年05月27日(The Grand Hotel, Taipei, Taiwan)

Yoshinori Taka, Ken Kawamata and Osamu Fujiwara, "Dependence of Grounded Metal-Plate's Approach Speed on Spark Length for Air Discharges of Electrostatic Discharge Generator", Proc. of 2015 Asia-Pacific International Symposium on Electromagnetic Compatibility, APEMC2015, SS13-2-1 (国際学会・招待講演) 2015年05月29日~2015年05月29日(The Grand Hotel, Taipei, Taiwan)

Shinobu Ishigami, Kaoru Gotoh, and Yasushi Matsumoto, "Reconstruction Technique of ESD Field and Impact on Wireless Communications", Proceedings of 2015 Asia-Pacific Symposium on Electromagnetic Compatibility, APEMC2015, SS13-1-1 (国際学会・招待講演) 2015年05月29日~2015年05月29日(The Grand Hotel, Taipei, Taiwan)

Yuichi Hayashi, Naofumi Homma, Takaaki Mizuki, Takafumi Aoki and Hideaki Sone, "Fundamental Study on Fault Occurrence Mechanisms by Intentional Electromagnetic Interference Using Impulses", Proceedings of 2015 Asia-Pacific Symposium on Electromagnetic Compatibility, APEMC2015, SS13-1-4 (国際学会・招待講演) 2015年05月29日~2015年05月29日(The Grand Hotel, Taipei, Taiwan)

Takahiro Yoshida, "A Study on Transmission Line Modeling Method for System-level ESD Stress Simulation", Proceedings of 2015 Asia-Pacific Symposium on Electromagnetic Compatibility, APEMC2015, SS13-1-2 (国際学会・招待講演) 2015年05月29日~2015年05月29日(The Grand Hotel, Taipei, Taiwan)

Kenichiro Abe, Ken Kawamata, Shigeki Minegishi and Osamu Fujiwara, "Experimental Study on Relationship Between Electrode Approach Speed and Variation in the Amplitude of

Electromagnetic Radiation due to ESD", The Papers of Joint Technical Meeting on Electromagnetic Compatibility and Magnetism, IEE Japan, EMC-15-019, 2015年06月26日~2015年06月26日(King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Thai)

Kenichiro Abe, Ken Kawamata, Shigeki Minegishi and Osamu Fujiwara, "Influence of Electrode Approach Speed in Variation Characteristics of the Impulsive ESD noise", Proc. of Asia-Pacific Conference on Environmental Electromagnetics (CEEM2015), 6P2-05, pp.442-446 (国際学会), 2015年11月06日~2015年11月06日(Hangzhou Media Hotel, China)

Takahiro Yoshida, "A Study on Electrical Stress Induced by Electrostatic Discharge on Wearable Devices", Proc. of Asia-Pacific Conference on Environmental Electromagnetics (CEEM2015), 6A2-13, pp. 288-291 (国際学会), 2015年11月06日~2015年11月06日(Hangzhou Media Hotel, China)

Shinobu Ishigami, Ifong Wu, Kaoru Gotoh, and Yasushi Matsumoto, "Development of conducted-voltage measuring apparatus using two parallel TEM cells", Proc. of 8th 2015 Korea-Japan Joint Conference on EMT/EMC/BE (国際学会), 2015年11月24日~2015年11月24日(宮城県仙台市・仙台国際センター)

⑲ 嶺岸茂樹, "放電に伴う過渡現象の時間領域測定", 電子情報通信学会 2015年ソサイエティ大会依頼シンポジウム, BI-1-1 (招待講演), 2015年09月09日(宮城県仙台市・東北大学)

⑳ 藤原修, 高義礼, 川又憲, "静電気放電による放射電磁界の特異性とレベル限界", 電子情報通信学会 2015年ソサイエティ大会依頼シンポジウム, BI-1-2 (招待講演), 2015年09月09日(宮城県仙台市・東北大学)

㉑ 石上忍, 後藤薫, 松本泰, "ESD 過渡電磁界波形の測定技術及び通信への影響評", 電子情報通信学会 2015年ソサイエティ大会依頼シンポジウム, BI-1-3 (招待講演), 2015年09月09日(宮城県仙台市・東北大学)

㉒ 吉田孝博, "ウェアラブル携帯機器が受けるESDストレス", 電子情報通信学会 2015年ソサイエティ大会依頼シンポジウム, BI-1-4 (招待講演), 2015年09月09日(宮城県仙台市・東北大学)

㉓ 川又憲, 安倍顕一郎, 高義礼, 嶺岸茂樹, 藤原修, "1kV以下の球電極ESDによる電磁波放射特性", 電子情報通信学会 2015年ソサイエティ大会依頼シンポジウム, BI-1-7 (招待講演), 2015年09月09日(宮

- 城県仙台市・東北大学)
- ⑳ 高義礼,川又憲,藤原修,“ 接近電極による ESD における絶縁破壊電位傾度測定”, 電子情報通信学会 2015 年ソサイエティ大会 依頼シンポジウム, BI-1-8 (招待講演), 2015 年 09 月 09 日 (宮城県仙台市・東北大学)
 - ㉑ 林優一,水木敬明,曾根秀昭,“ ESD により生ずるインパルス性の雑音が引き起こす暗号機器からの情報漏えい”, 電子情報通信学会 2015 年ソサイエティ大会依頼シンポジウム, BI-1-9 (招待講演), 2015 年 09 月 09 日 (宮城県仙台市・東北大学)
 - ㉒ 林優一,本間尚文,水木敬明,青木孝文,曾根秀昭 Precisely Timed IEMI Fault Injection Synchronized with EM Information Leakage ,IEEE International Symposium on Electromagnetic Compatibility, pp. 738-742 (国際学会) 2014 年 08 月 07 日 ~ 2014 年 08 月 07 日, Raleigh Convention Center (アメリカ, オークス)
 - ㉓ 川又憲,嶺岸茂樹,藤原修, Radiation Characteristics of Transient Electromagnetic field due to Low Voltage ESD in Spherical Electrode , Electromagnetic Compatibility Europe 2014, EMC Europe 2014, OS14-3 (国際学会) 2014 年 09 月 02 日 ~ 2014 年 09 月 02 日, The Swedish Exhibition & Congress Center (スウェーデン, ヨーテボリ)
 - ㉔ 石上忍,後藤薫,呉奕鋒,松本泰, Development of measuring apparatus for conducted disturbance voltage using TEM cell up to 1 GHz , Electromagnetic Compatibility Europe 2014, EMC Europe 2014, pp.844-849 (国際学会) 2014 年 09 月 02 日 ~ 2014 年 09 月 02 日 ,The Swedish Exhibition & Congress Center (スウェーデン, ヨーテボリ)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

川又 憲 (KAWAMATA, Ken)
東北学院大学・工学部・教授
研究者番号: 00244905

(2) 研究分担者

嶺岸 茂樹 (MINEGISHI, Shigeki)
東北学院大学・工学部・教授
研究者番号: 70146116

石上 忍 (ISHIGAMI, Shinobu)
元: 独立行政法人情報通信研究機構
現: 東北学院大学・工学部・教授
研究者番号: 80242345
(平成 27 年 4 月より現職)

森 育子 (MORI, Ikuko)

鈴鹿工業高等専門学校・電子情報工学科・准教授

研究者番号: 20455140

林 優一 (HAYASHI, Yuichi)
東北学院大学・工学部・准教授
研究者番号: 60551918

吉田 孝博 (YOSHIDA, Takahiro)
東京理科大学・工学部・准教授
研究者番号: 10385544