

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年4月29日現在

機関番号：13903

研究種目：基盤研究（B）

研究期間：2009～2011

課題番号：21360129

研究課題名（和文）人体ESDの放電物性に基づく回路論的モデル化とEMC問題への応用

研究課題名（英文）Circuit modeling based on discharge properties of human electrostatic discharges and its application to electromagnetic compatibility issues

研究代表者

藤原 修（OSAMU FUJIWARA）

名古屋工業大学・大学院工学研究科・教授

研究者番号：60135316

研究成果の概要（和文）：

本研究は、帯電人体の静電気放電(ESD)の作用機序解明と回路モデリングにあり、その成果を現実的な EMC 問題に適用することを目的とした。3年間の研究を通して、①大気圧での低電圧放電の基礎特性解明、②人体 ESD の実験検討と回路論的モデル化、③人体 ESD の体内誘導電磁界の定量評価、④人体 ESD の電子機器のイミュニティ評価の4項目の課題を遂行することで、EMC の観点から、人体 ESD で生ずる電磁現象を包括的に理解でき、電子機器へのイミュニティ対策に応用できた。

研究成果の概要（英文）：

The objectives of this study were to quantitatively understand the electromagnetic (EM) phenomena caused by human electrostatic discharges (human ESDs) and also to apply the findings obtained in this study to actual issues of electromagnetic compatibility (EMC). During three-years research period, we conducted the following studies: ① elucidation of fundamental properties of low voltage discharges at the atmospheric pressure, ② experiments on human ESD and its circuit modeling, ③ quantitative assessment of induced EM fields due to human ESD and ④ immunity evaluation of electronic equipment against human ESD. As a result, we comprehensively understood the EM phenomena caused by human ESDs from EMC viewpoint, thereby applying to the immunity improvement of electronic equipment.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
平成21年度	5,400,000	1,620,000	7,020,000
平成22年度	4,100,000	1,230,000	5,330,000
平成23年度	3,700,000	1,110,000	4,810,000
年度			
年度			
総計	13,200,000	3,960,000	17,160,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：電気電子工学・電子デバイス・電子機器

キーワード：静電気放電、放電物性、電磁界の刺激作用、超広帯域モデル化、超広帯域測定、イミュニティ

1. 研究開始当初の背景

近年の半導体技術の飛躍的な進歩に伴い、ICの高速・高集積化が進んだ結果、電子機器の高性能かつ高機能化が促進されたが、その一方で、電磁雑音に対する機器耐性の低下が問題となっている。特に、帯電した人体からの静電気放電（ESD: ElectroStatic Discharge）は広帯域の過渡電磁雑音を引き起こすため、電子機器に深刻な障害を与えることが報告されている。このような背景から、ESDに関する電子機器の耐性（イミュニティ）試験法が国際電気標準会議（IEC: International Electrotechnical Commission）で取り決められ、1995年に静電気試験規格IEC1000-4-2として第1版が発行された。そこではドライバー等の金属棒を手にした帯電人体を想定して設計された静電気試験器（ESDガン）の機器への接触と気中の2種類の放電電流注入法が記述されている。接触放電は、ESDガンを供試機器に直接接触させて電流を注入する方法であり、IEC推奨の試験法である。気中放電とは、絶縁塗装の筐体をもつ機器などの接触放電が直接おこなえない場合の試験法とされ、供試機器に充電されたESDガンを近づけ空隙の火花放電を介して電流を注入する方法である。IEC 61000-4-2の以前には、帯電人体からのESDを模擬するために上述の気中放電が適用されていたが、電流波形の再現性の悪さから試験結果が揃わず、それ故に安定した波形の得られる接触放電が推奨されるようになったという。その後は、IEC 61000-4-2に軽微の修正が加えられ、2001年にはIEC61000-4-2 Edition1.2として改訂を受け、さらに、2008年12月には第2版が発行され現在にいたっている。

結局、IEC 61000-4-2は、帯電人体からのESDを模擬した静電気試験法とされながらも、接触放電が基本であり、本来の帯電人体からの放電である気中放電とは放電のメカニズムが大きく異なる。そのため、耐性試験をパスしても実使用において誤動作が発生するといった事例が後を絶たない。このことから、帯電人体からの気中放電のメカニズムを解明し、現実のESDを忠実に模擬しながらも安定な耐性試験法の提案につなげていくことが求められている。

一方、EMCの観点から問題となるESDは、帯電した人体が異なる電気ポテンシャルの物体に接触した際に生ずる。したがって、理想的な条件で確認された知見が実際の帯電人体で生じた場合との相違を把握しておく必要があるが、そのような研究は例をみなかった。特に、電子機器のイミュニティ対策への応用を考える際には、帯電人体に対する回

路論的モデル化が必要不可欠となる。更に、近年では機器影響ばかりでなく、ESDに伴う過渡電流の健康影響についても関心が寄せられている。WHOが発表した環境保健基準においてもESDに関する記述はみられるものの、その現象で人体内にどの程度の電流が誘導されるかについて検討した例はない。

2. 研究の目的

本研究は、人体ESDで生ずる電磁現象の知見を得るとともに、EMCに付随する現実的な問題に適用することを目的とし、課題遂行を以下の4項目の要素研究で展開した。

- ①大気圧での低電圧放電の基礎特性解明
帯電人体からの放電電流の特性を把握する基礎検討と位置づけ、大気圧環境下で外部影響を遮断可能な測定系を構築し、広帯域測定データの蓄積をおこなうことに重点を置く。
- ②人体ESDの実験検討と回路論的モデル化
帯電人体からの放電の様相、特に放電電流を測定し、その結果に基づき放電電流を模擬可能な汎用的な回路論的なモデルを提案する。
- ③人体ESDの体内誘導電磁界の定量評価
解剖学的に精緻な人体数値モデルにおいて、ESDに伴う電磁現象により体内に誘導される電磁界を定量化、人体影響評価に対する基礎的知見を与える。
- ④人体ESDの電子機器のイミュニティ評価
超広帯域電磁波に対する電子機器誤作動の実態調査し、かつ、電子機器誤作動のメカニズム解明のための回路モデルを構築することにより、新しいイミュニティ試験法を提案する。

3. 研究の方法

本研究組織は、名古屋工業大学を主担当機関とし、中部大学、八戸工業大学、東北学院大学、情報通信研究機構からなり、研究の効率的な目的遂行のために、分担研究者の専門分野を鑑み、①は八戸工業大学・東北学院大学、②③は名古屋工業大学・中部大学、④は情報通信研究機構が担当した。研究機関は、平成21年4月から平成24年3月31日の3カ年であり、年度毎の研究実施計画は、以下のとおりである。

(1) 平成21年度実施計画

- ① 静電気放電に伴う過渡電圧・電流変動を詳細に測定するための実験システムの提案、試作をおこなう。また、試作した30GHz超広帯域測定システムを用いた大気圧低電圧放電現象の基礎特性を把握するための実験

をおこない、ESD に伴う過渡時間特性（電圧・電流立ち上がり時間特性）および放電ギャップ長の究明、また付随する物理量として周波数成分特性に関して調査をおこなう。

② 金属を手にした場合の帯電人体からの放電電流ピーク、電流立ち上がり時間についての帯電電圧依存性を測定する。なお、本項目では実際の帯電人体からの放電を考えているため、放電ギャップ長の放電特性を示す物理量の測定は不可能である。このため、項目①より得られたデータも勘案に入れ、放電ギャップ長の推定手法を確立する。また、この条件下における放電電流の等価回路を提案する。

③ 人体の超広帯域電磁モデリングを実施する。これは、ESD による放電電流は超広帯域なため、ICNIRP ガイドラインによれば、低周波成分による刺激作用に加え、高周波成分による熱影響両面から検討を進める必要がある。解析には、人体の組織構成を考慮した解剖学的詳細モデルを用いる。また、既存解析手法を拡張することにより実現を試みる。具体的には、4極のデバイ分散式に従うと仮定し、そのパラメータの推定と本モデル化による数値不確定性について検討する。

④ ESD 電磁雑音に対する電子機器誤作動の実態調査をおこなう。特に、ユビキタスネットワーク社会で急速に普及したパーソナルコンピュータ、携帯電話、マルチメディア機器等のデジタル電子機器を対象とし、イミュニティ試験法(IEC61000-4 シリーズ)を実機器へ適用した場合の問題点を把握する。年度の後半では、それと並行して電子機器誤作動のメカニズム解明のための基礎検討を開始する。

(2) 平成22年度実施計画

①前年度に得られた大気圧低電圧放電現象の基礎特性を継続して測定することに加え、空間を通して電磁妨害を与える「放射性電磁雑音」の基礎特性について検討をおこなう。まず、放電に伴う放射性電磁雑音を定量的に測定・評価するための測定システムを設定する。システムは、放電に伴って発生する過渡変動に対して十分な周波数帯域を持つように吟味し、放電発生回路と超広帯域アンテナを組み合わせ、発生側ならびに受信側を構成する。放射性電磁雑音特性は、その周波数特性、振幅特性、さらには伝播特性の3点について考察をおこない、大気圧低電圧放電の各種パラメータと放射電磁波雑音の関係を把握し、基礎特性の究明を図る。

②前年度に提案した予備的な等価回路に項目①の結果を取り込み汎用的なモデルにすることを目的とする。項目③の解析では、等価電圧源が必要となり、詳細な電磁界解析および等価回路モデルより得られた放電電流の差異を明らかにし、より信頼性の高い等価

回路を構築する。項目④の解析では、無限とみなせるような大きな平板に対する放電ではなく、有限かつ指（あるいは金属棒）との角度は必ずしも一定ではない。このため、等価回路におけるストレーキャパシタンスの値など各種改良が必要であると考え。本項目では最終年度まで一貫し、等価回路の有効性と不確定性の定量評価に対する検討を通して、モデルの改良および汎用化をおこなう。

③平成21年度に構築したモデルを用いて、現実的なモデルの解析をおこなう。まずは、項目②で実施する実験に即した系を計算機上で再現し、解析をおこなう。この際、等価電圧源として項目②で得られた放電電流を基に推定した電圧を用い、体表面における電磁界の時間変動等の測定値と比較することにより、解析モデルの妥当性と限界について明らかにする。妥当性を確認したのち、電磁波による刺激作用である「体内誘導電流密度」および熱影響の指標である「エネルギー吸収率」を計算する。得られた結果を電波防護ガイドラインと比較することにより、その科学的根拠を明確化することに加えて、欠如していた部分を物理的見地から補完する。

④平成21年度に提案した簡易等価回路モデルを項目①、②で構築したより現実的な電流波形を組み込んだシミュレーション技術を構築する。本シミュレーション技術を適用し、デジタル電子機器のBER/PER（ビット/パケットエラーレート）による品質劣化評価方法について模索する。特に、デジタル機器特有の評価パラメータを提案し、その実証実験をおこなう。

(3) 平成23年度実施計画

① 前年度までに得られた大気圧低電圧放電現象の基礎特性ならびに放電に伴い空間に放射する電磁波の基礎特性の詳細測定を継続し、放電パラメータと放射電磁波特性の関係について検討を進める。特に、22年度に得られた放射電磁波強度特性について、放電電極のキャパシタンスおよび充電電荷量と放射電磁波強度に関係する各種パラメータの広帯域測定データの蓄積を進める。さらに、電極の形状変化が放射電磁波の強度特性に与える影響を考察し、電極形状と電磁波放射要素の関係について検討をおこなう。

② これまでに提案した帯電人体の等価回路に項目①の結果を取り込み、より汎用的なモデル化を目的とする。項目③の解析で必要な等価電圧源の物理的機構を考察し、詳細な電磁界解析および等価回路モデルより得られた放電電流の差異を明らかにすることで信頼性の高い等価回路を構築する。本項目では平成22年度に引き続き、等価回路の有効性と不確定性の定量評価に対する検討を通して、モデルの改良および汎用化をおこなう。

③ 平成22年度の構築モデルから得られた解

析的結果を電波防護ガイドラインと比較することにより、その科学的根拠を明確化することに加えて、欠如していた部分を物理的見地から補完する。

④ 項目①②で構築したより現実的な放電電流波形、及び平成 22 年度に提案した電磁界波形再生方法を用いて、回路に誘導される電圧・電流波形の推定技術を構築する。本技術を適用し、デジタル電子機器の BER/PER (ビット/パケットエラーレート) による品質劣化評価方法について、理論的・実験的検討をおこなう。

4. 研究成果

年度毎の研究成果は以下のとおりである。

(1) 平成 21 年度研究成果

① ESD に伴う過渡電圧・電流変動を詳細に測定するための実験システムを提案し、その試作をおこなった。具体的には、高性能同軸伝送線路を用いた手法を提案し、約 30GHz 帯域までの放電過渡波形を推定した。また、試作した 30GHz 超広帯域測定システムを用いた大気圧低電圧放電現象の基礎特性を把握するための実験をおこない、ESD に伴う過渡時間特性 (電圧・電流立ち上がり時間特性) および放電ギャップ長の究明、また付随する物理量として周波数成分特性に関して検討をおこなった。

② 金属を手にした場合の帯電人体からの放電電流ピーク、電流立ち上がり時間についての帯電電圧依存性を測定した。上述の項目①より得られたデータも勘案に入れ、放電ギャップ長の推定手法を提案した。また、本年度検討の対象とした条件下において放電電流の波形を推定するための等価回路を提案した。

③ 人体の超広帯域電磁モデリングを実施した。既存の時間領域差分法において周波数依存性を考慮できるよう拡張することにより実現を試みた。具体的には、4 極のデバイ分散式に従うと仮定し、そのパラメータの推定と本モデル化による数値不確定性について検討した。

④ 人体 ESD に伴う電子機器のイミュニティ評価に関して、広帯域電磁波と回路基板との電磁結合のモデル化をおこなうための基礎的な検討として、ESD が発生する広帯域電磁波の測定法について理論的・実験的検討をおこなった。スペクトラムアナライザで広帯域電磁波を測定する際に注意すべき指示値の広帯域信号に対する特性を、時間領域測定法による測定値と比較することによって明らかにした。

(2) 平成 22 年度研究成果

① ESD に伴う広帯域過渡電圧・電流変動の測定システムを用いて、放電に伴って発生する

放射電磁波特性について検討をおこなった。その結果、ESD による放射電磁波の振幅特性は、一概に放電電圧には比例せず、電極間の絶縁破壊電界値あるいは電極表面形状などの影響を大きく受けることを確認した。さらに、放射要素を極力取り除いた球状の電極においては、放射電磁強度は電極自体の静電容量に比例することを確認した。

② 帯電人体からの金属棒の接近放電で生ずる放電電流の測定波形と人体インピーダンスの広帯域周波数特性から、本来は直接測定できない放電電圧波形を導出し、これと電流測定波形とから絶縁破壊時の電位傾度を推定した。その結果、火花に続きアークまたは異常グローの別放電が発生していることが確認でき、その際の火花長は 20-30 μm 、電位傾度は $(2-3) \times 10^7 \text{ V/m}$ の値となることがわかった。

③ 帯電人体の放電による発生電磁界の伝播モデルを構築した。解剖学的人体数値モデルを用い、各組織の電気定数は 4 極のデバイ分散式でモデル化した。帯電人体から金属棒を介して接地金属板へ放電した際の体内電磁界、体表面電流 (体表面磁界) を FDTD 法でシミュレートした。その結果、1kV の帯電では金属棒から 100 ps の立ち上がり時間の放電電流が流出し、体表面電流は金属棒をもつ手指から腕を介して胴体を光速で伝播し、頭上までの到達時間は約 10 ns であった。数値コードの妥当性は、被験者の帯電実験から金属棒からの放電電流波形を帯域 18GHz の広帯域デジタルオシロスコープ測定し、これがシミュレーション波形と概ね一致することを確認した。

④ 人体 ESD に伴う電子機器のイミュニティ評価に関して、広帯域電磁波と回路基板との電磁結合のモデル化をおこなうための検討として、ESD が発生する広帯域電磁波の時間領域測定方法について理論的・実験的検討をおこなった。ESD による電界波形を再生するために必要となる、受信アンテナの複素アンテナ係数の測定理論及び方法、電界波形再生の方法と実際の測定波形について示した。

(3) 平成 23 年度研究成果

① 人体 ESD に伴う放電現象で生ずる放射電磁波特性について、放射機構の電気回路論的な究明を主に検討を進めてきた。まず、大気圧低電圧放電現象の基礎特性を踏まえ、放電に伴って空間に放射する電磁波の基礎特性を把握し、放電パラメータと放射電磁波特性の関係について検討をおこなった。その結果、放射電磁波強度は、電極の静電容量および充電電圧 (充電電荷量) が支配する「放電エネルギー」と、放電によって発生する過渡変動の時間的速さ「過渡時間特性」、さらには放電電極の形状によって構成される系の「アンテナ効果」が相互に関係していることを確認し

た。また、低電圧 ESD による広帯域放射電磁波のセンシング手法として TEM(Transverse Electromagnetic Mode)ホーン構造のセンサを用いた手法を提案し、実験的検討により広帯域過渡電磁界のセンシング法として妥当性を示した。

② 帯電人体のこれまでの等価回路モデリングを、IEC61000-4-2 の静電気試験機 (ESD ガン) へ適用した。IEC では電流検出変換器 (ターゲット) への接触放電に対する放電電流の波形校正を要求しているが、ターゲットに注入される電流波形が実際の供試機器 (EUT) へ注入されるとは限らないので、ESD ガンのターゲットへの接触放電に対する放電電流波形が EUT への放電電流波形とどの程度異なるかを検討した。EUT 筐体としたグラウンド板とラップトップ PC への接触放電をおこない、近傍磁界から放電電流を推定したところ、両者へ注入される放電電流波形は校正電流波形とほぼ一致することがわかった。つぎに、ESD ガンの EUT への接触放電を、ノートンの定理からグラウンドへの注入電流波形 (≒校正電流波形) を電流源とする等価回路モデルで表現し、ESD ガンの出力インピーダンスと EUT の注入点ピーダンスを因子として含む放電電流の計算式を導出した。検証のため、EUT とした直径の異なる金属円板への接触放電に対する放電電流を計算式から求め、これを近傍磁界による推定電流と比較したところ、両者の波形はほぼ一致し、電流ピークの円板サイズ依存性も概ね一致したことから、等価回路モデルの妥当性を示すことができた。

③ 平成 22 年度は解剖学的人体数値モデルの各組織の電気定数を 4 極のデバイ型分散式で表すことで帯電人体の放電による発生電磁界の計算を可能とするモデルを構築したが、平成 23 年度は同モデルを対象として ESD で生ずる UWB (ultra-Wi deband) 電磁界雑音の伝播過程を数値的に明らかにした。放電で生ずる電磁パルスは組織の分散特性と体内の多重反射によって伝播と共に波形が歪み減衰すること、パルス幅はナノ秒オーダーで UWB 通信系において利用されるものと同じ程度であること、などがわかった。

④ 人体 ESD に伴う電子機器のイミュニティ評価に関する、ESD の広帯域時間領域精密測定のための基礎的検討として、ESD が発生する広帯域電磁波を測定するための広帯域アンテナの設計及び評価をおこなった。評価方法は有限積分法による数値解析とした。解析の結果、200MHz から 2GHz までの広帯域周波数特性を高利得で測定することができ、平成 21 年度及び 22 年度において検討した時間領域測定技術に同アンテナを用いることで、ESD 電磁界を精密に測定できることを示した。

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 32 件)

最新のジャーナル論文だけを以下に示す。

[1] 立花翼, 川又憲, 嶺岸茂樹, 「Half TEM Horn によるインパルス性電磁界の一測定法」, 電気学会論文誌 A, 査読有, Vol.132, No.5, 2012 年, 掲載決定

[2] 川又憲, 嶺岸茂樹, 藤原修, 「球電極間放電に伴う低電圧 ESD による 1-3GHz 帯域放射電磁波の一測定」, 電気学会論文誌 A, 査読有, Vol.132, No.5, 2012 年, 掲載決定

[3] 山中幸雄, 戸谷史彦, 石上忍, 藤原修, 「静電気試験器の内蔵インダクタンスが引き起こす放電電流立ち上がりの波形歪み」, 電気学会論文誌 A, 査読有, Vol.132, No.5, 2012 年, 掲載決定

[4] 山中幸雄, 足立貴士, 石上忍, 森育子, 高義礼, 藤原修, 「ESD ガンの IEC 校正用電流検出器に対する伝達インピーダンスの測定と検証」, 電気学会論文誌 A, 査読有, Vol.132, No.5, 2012 年, 掲載決定

[5] 辻拓朗, 藤原修, 「ESD ガンの垂直結合板への接触放電で生ずる多重放電」, 電気学会論文誌 A, 査読有, Vol.132, No.5, 2012 年, 掲載決定

[6] 辻拓朗, 姫野浩志, 藤原修, 「ESD ガンのテーパ型垂直結合板への間接放電に対する発生磁界のばらつき低減と実験検証」, 電気学会論文誌 A, 査読有, Vol.132, No.1, 2012 年, pp.51-56

[7] 藤原修, 「静電気放電の発生電磁界と FDTD シミュレーション (解説論文)」, 電子情報通信学会論文誌 B, 査読有, Vol.J94-B, No.11, 2011, pp.1452-1460

他 25 件

〔学会発表〕 (計 27 件)

最新の国際会議録論文 (査読有) だけを以下に示す。

[1] Ikuko Mori and Osamu Fujiwara, "Characteristics of spark gap voltage waveforms for air discharges of ESD-gun," Proc. of the XXI International Conference on Electromagnetic Disturbances, September 30, 2011, Bialystok, Poland

[2] Ken Kawamata, Shigeki Minegishi and Osamu Fujiwara, "Measurement of radiated electromagnetic field intensity due to low voltage ESD in spherical electrode," Proc. of the XXI International Conference on Electromagnetic Disturbances, September 29, 2011, Bialystok, Poland

[3] Ikuko Mori, Osamu Fujiwara and Henyo Garge, "Equivalent Circuit Modeling to Calculate Discharge Currents for Air Discharges of ESD-Guns," Proc. of the 10th Int. Symposium on Electromagnetic Compatibility, York, UK, September 27, 2011

[4] Shinobu Ishigami, Ifong Wu, and Kaoru Gotoh, "Numerical analysis of folded rhombic antenna for EMI measurements using FI method," Proc. of the 10th Int. Symposium on Electromagnetic Compatibility, York, UK, September 27, 2011

[5] Akimasa Hirata, Toshihiro Nagai, Teruyoshi Koyama and Osamu Fujiwara, "Propagation of UWB Electromagnetic Noise Due to Electromagnetic Discharge on the Human Body," Proc. of 2011 Asia-Pacific International Symposium on Electromagnetic Compatibility, Jeju, Korea, May 5, 2011

[6] Ken Kawamata, Shigeki Minegishi and Osamu Fujiwara, "Amplitude Properties of Radiated Electromagnetic Field Intensity Caused by Low Voltage ESD in Spherical Electrode," Proc. of 2011 Asia-Pacific International Symposium on Electromagnetic Compatibility, May 5, 2011

[7] Ikuko Mori, Osamu Fujiwara and Henyo Garge, "A New Circuit Approach to Predict Discharge Currents for Air Discharges of ESD Generators", Proc. of the 8th International Conference, April 28, 2011, Smolenice, Slovakia

他 20 件

[図書] (計 5 件)

① 石上忍, 高義礼, 藤原修他, 三松株式会社, 「初めて学ぶ現場技術講座 電磁ノイズ発生メカニズム&電磁ノイズを克服する法」, 2011, 総ページ数 344

② 平田晃正, 藤原修, 監修: 藤原修, 宅間董, 「エレクトロニクス機器設計と電磁波による生体影響」, 三松会社, 2011 年, 総ページ数 200

③ 高義礼, 藤原修, 「帯電人体からの静電気放電とその本質」, ミマツ株式会社, 2010 年, pp.80-91

④ 嶺岸茂樹, 川又憲, 監修: 高木相 「EMC 原理と技術 EMI/EMC 測定の電磁気と回路」 (電気接点の放電周波数スペクトル), 三松出版, 2010 年, 総ページ数 438, pp.195-205

⑤ 藤原修, 監修: 高木相 「EMC 原理と技術 EMI/EMC 測定の電磁気と回路」 (静電気放

電の発生電磁界とそれが引き起こす特異現象), 三松株式会社, 2010 年, 総ページ数 438, pp.243-254

[産業財産権]

○出願状況 (計 0 件)

名称:

発明者:

権利者:

種類:

番号:

出願年月日:

国内外の別:

○取得状況 (計 0 件)

名称:

発明者:

権利者:

種類:

番号:

取得年月日:

国内外の別:

[その他]

ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

藤原修 (Osamu Fujiwara)

名古屋工業大学・大学院工学研究科・教授

研究者番号: 60135316

(2) 研究分担者

平田晃正 (Akimasa Hirata)

名古屋工業大学・大学院工学研究科・准教授

研究者番号: 00335374

高義礼 (Yoshinori Taka)

釧路高等工業専門学校・電子工学科・准教授

研究者番号: 80335091

嶺岸茂樹 (Shigeki Minegishi)

東北学院大学・工学部・教授

研究者番号: 70146116

川又憲 (Ken Kawamata)

八戸工業大学・工学部・教授

研究者番号: 00242345

石上忍 (Shinobu Ishigami)

情報通信研究機構・電磁波計測研究所・

研究マネージャ

研究者番号: 80242345

(3) 連携研究者

なし