

令和元年9月2日現在

機関番号：12612

研究種目：新学術領域研究(研究領域提案型)

研究期間：2014～2018

課題番号：26102016

研究課題名(和文) 造形分子機械のナノ力学

研究課題名(英文) Nanomechanics of pi-figured molecular machines

研究代表者

佐々木 成朗(Sasaki, Naruo)

電気通信大学・大学院情報理工学研究科・教授

研究者番号：40360862

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 29,200,000円

研究成果の概要(和文)：造形分子機械のナノ力学物性の解明および精密計測手法の提案に関する以下の成果を得た。グラフェン界面摩擦の高速計算に適したモデルポテンシャルを開発し、計算時間を従来の10000分の1程度まで短縮することに成功した。相互作用の情報をRGBの色データに変換して可視化するカラー-AFMの手法を提案した。QCM-AFMを用いてエネルギー散逸を動的に検出するトライボフォノンスペクトロスコピー(TPS)を提案した。カーボンナノチューブを内包させた高分子溶液を引き伸ばし、新しい細胞足場材料を作製することに成功した。金表面に吸着したスマネン薄膜の圧縮・摩擦特性を分子動力学法により評価した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究成果から以下の展開が期待される。高速計算用ポテンシャルによりグラフェン界面力学に関する実験と理論間の比較が可能となった。カラー-AFMは界面の微量な化学成分検出法として期待される。TPSはaJオーダーの微小な散逸エネルギーの検出法として期待される。新しい足場材料の再生医療・創薬研究への利用が期待される。スマネンの機能性薄膜としての応用が期待される。このように本研究は造形システムのナノ力学物性、特に摩擦の初期過程(素励起)からエネルギー散逸過程までを系統的に理解する方法論を提示し得る点に学術的意義がある。本研究から新規省エネルギーシステムの創成につながる可能性を有する点に社会的意義がある。

研究成果の概要(英文)：Elucidation of nanomechanics of  $\pi$ -figured molecular machine and proposal of precise measurement method have been performed as follows: We developed a model potential suitable for high-speed simulation of friction at the graphene interface, and succeeded in reducing the calculation time to about 1 / 10,000 of the previous one. We proposed a color AFM method to convert tip-surface interaction information into RGB color data and visualize it. We also proposed tribo-phonon spectroscopy (TPS) to detect energy dissipation dynamically using QCM-AFM. The polymer solution containing carbon nanotubes was stretched using a microfluidic device in order to produce a new cell scaffolding material. The compression and friction properties of the sumanene thin film adsorbed on the gold surface were evaluated by molecular dynamics method.

研究分野：表面物性理論

キーワード：ナノトライボロジー 超潤滑 エネルギー散逸 グラフェン スマネン フラーレン 原子間力顕微鏡 分子シミュレーション

## 1. 研究開始当初の背景

力学・摩擦現象の最適制御は、ロボットから生体まであらゆる「機械」の構成要素(部品)の劣化を回避して、環境にやさしい省エネルギー稼働を可能にする。一方、ナノカーボンであるグラフェン、フラーレン、バッキーボール、ナノチューブなどには、固有の形状に由来する運動特性が期待される。研究代表者はこれまでに JST さきがけ(H13-17)、若手研究(B)(H17-18)、基盤研究(B)(H20-22、H23-25)、特別推進研究(H20-25)などの支援を受け、「炭素・シリコン系のナノ力学・摩擦機構の理論的・数值的解明」および「ナノ力学計測理論の開発」に貢献してきた。特に造形科学の観点から、フラーレン C<sub>60</sub> をグラファイトで挟んだ「分子ベアリング」界面でグラファイトが pN オーダーの超潤滑状態で滑ることを発見し、そのメカニズムを物理学的見地から理論的・数值的に解明することに成功している。

そこで研究代表者は、上記の研究成果を発展させて、「ナノカーボンを分子機械の「部品」とみなせば、分子(集積)吸着表面の力学・運動特性(Dynamic-機能)を超潤滑・凝着特性(Elastic-機能)とシナジーさせて革新的な機能性ナノ力学システムの提案につながるのではないか?」と着想して本研究計画の提案に至った。

## 2. 研究の目的

分子部品を基板に吸着させて、走査プローブ探針で圧縮-延伸、ずり駆動させ、その構造変化を利用した機能的ナノ力学システムの創成とナノ力学機構の解明、およびその精密制御法・計測法の提案を目的とする。具体的にはフラーレン分子ベアリング系とグラフェン系をエネルギー伝達・貯蔵システムとして利用する可能性を、理論(分子シミュレーション)と実験(摩擦顕微鏡:FFM、トライボフォノン分光(TPS))の両面から明らかにする。

## 3. 研究の方法

理論班の佐々木はナノカーボン系の原子スケール摩擦、凝着のシミュレーションを以下の方法で行う。フラーレン、バッキーボール、グラフェンの各同素体構造内部の炭素原子間共有結合と、各構造体間の非共有結合を考慮してこれらナノ部品を組み合わせた系の分子シミュレーションを行う。外部パラメタ(最外層構造の水平・垂直移動距離、移動方向)を変化させて、共役勾配法や分子動力学法に基づく表面・界面ナノ構造の最適化を行う。

上記の理論班をメインの柱に据えて、実験班(A01 班櫻井・阪大)が合成した分子をナノ部品とする系を組み立てる。また研究協力者として、三浦(愛知教育大)、鈴木(電通大)は摩擦顕微鏡測定、QCM-AFM 測定のデータを理論班に提供し、表面・界面の動力学特性を理論・実験の両面から定量的に理解するために協力する。

## 4. 研究成果

(1) **グラフェン剥離の異方性** グラファイト基板に吸着させた単層グラフェンシートの剥離現象のシミュレーションを行った。具体的にはグラフェンシートをグラファイト基板の六員環と AB 積層で配置する整合性のよい配向から回転させてずらしてからグラファイト基板に吸着させて剥離を行った。その結果、初期配向の不整合性が大きくなると、規則的なスティック・スリップ運動が消滅して超潤滑状態の滑りに移行することが示された。(e-J. Surf. Sci. Nanotech. **14**, 204-208 (2016))

(2) **グラフェンシートの剥離分光の高速計算用ポテンシャルの開発** (1a)の剥離シミュレーションで用いた分子力学ポテンシャルを粗視化・簡略化したポテンシャルを考案して、従来のグラフェン剥離の計算時間を  $10^{-3} \sim 10^{-4}$  に短縮することに成功した。そこでこのポテンシャルモデルに、外部バネの相互エネルギーを組み込んで、原子間力顕微鏡測定で得られた力曲線と直接比較出来るシミュレーションに拡張した。(Mater. Chem. Front. **2**, 2098-2103 (2018))

(3) **QCM-AFM の開発** 動的モード原子間力顕微鏡を水晶振動子法と組み合わせ、超潤滑やエネルギー散逸を動的に検出する手法を提案した。次元原子鎖モデルによる厳密解を用いて、フォノンの分散関係とエネルギー散逸スペクトルとの関係を明らかにし、エネルギー散逸スペクトルを定性的に説明することに成功した。(Phys. Rev. B **93**, 201401-1/4(R) (2016))

(4) **カラー-AFM の開発** 動的モード原子間力顕微鏡を表面化学計測に適用する新手法(カラー-AFM)を開発した。周波数シフトなどの動的計測を特定の相互作用モデルを用いて RGB の色データに変換し、シリコン表面原子の結合エネルギー、力の作用距離、原子の剛性を同時に可視化することに成功した。(Appl. Phys. Lett. **111**, 123104-1/5 (2017))

(5) **束状ゲルファイバーによる細胞接着制御** ネットワーク状に相分離した高分子溶液を、マイクロ流体デバイスを用いて引き伸ばして、細いゲルの線維が束状に集まった新しい細胞足場材料を作製することに成功した。カーボンナノチューブを内包すると、ゲルの強度が高まることも示した。細胞組織を利用した再生医療・創薬研究への利用が期待される。(Biomater. Sci. **4**, 1197-1201, 1197 (2016))

(6) **金表面に吸着したスマネン薄膜の圧縮・摩擦特性の分子動力学法による評価** A01 班 櫻井グループとの共同研究により、金表面に吸着したスマネン薄膜の探針による圧縮・摩擦特性を

分子動力学シミュレーションを用いて調べた。探針の押し込み、離脱に伴うスマネンの構造反転と、スマネン薄膜の潤滑効果に関する新たな知見が得られた。(論文投稿準備中)

## 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 24 件)

\* は corresponding author

- 1) R. Okamoto, K. Yamasaki and \*N. Sasaki: “New potential model for atomic-scale peeling of armchair graphene : toward understanding of micrometer-scale peeling”, Mater. Chem. Front. **2**, pp. 2098-2103 (2018年9月).  
DOI: 10.1039/C8QM00267C 査読有
- 2) P. E. Allain, D. Damiron, Y. Miyazaki, K. Kaminishi, F. V. Pop, D. Kobayashi, N. Sasaki, and H. Kawakatsu: “Color Atomic Force Microscopy: a method to acquire three independent potential parameters to generate a color image”, Appl. Phys. Lett. **111**, pp.123104-1/5 (2017年9月).  
DOI: 10.1063/1.4991790  
<http://scitation.aip.org/content/aip/journal/apl/111/12/10.1063/1.4991790> 査読有
- 3) \*Naruo Sasaki, Takakazu Ando, Shingen Masuda, Hideaki Okamoto, Noriaki Itamura, and Kouji Miura, “Anisotropy of Atomic-Scale Peeling of Graphene”, e-J. Surf. Sci. Nanotech. **14**, pp.204-208 (2016年7月30日).  
ISSN 1348-0391 DOI: 10.1380/ejssnt.2016.204 査読有
- 4) Young-Jin Kim, Seiichiro Yamamoto, Naruo Sasaki and \*Yukiko T. Matsunaga, “Multiwall Carbon Nanotube Reinforced Biomimetic Bundled Gel Fibre”, Biomaterials Science **4**, pp. 1197-1201 (2016年5月20日).  
DOI: 10.1039/C6BM00292G 査読有  
Biomaterials Science Issue 8 (2016)のバックカバーを飾った。  
各種プレス発表
- 5) Makoto Ishikawa, Noriyuki Wada, Takahiko Miyakawa, Hiroshi Matsukawa, Masaru Suzuki, Naruo Sasaki and \*Kouji Miura, “Experimental observation of phonon generation and propagation at a MoS<sub>2</sub>(0001) surface in the friction process”, Phys. Rev. B **93**, 201401(R) (2016年5月17日).  
DOI: 10.1103/PhysRevB.93.201401 査読有
- 6) \*T. Ishida, T. Sato, T. Ishikawa, M. Oguma, N. Itamura, K. Goda, N. Sasaki and H. Fujita: “Time-lapse nanoscopy of friction in the non-Amontons and non-Coulomb regime”, Nano Lett. **15**, pp.1476-1480 (2015), Published(Web): 2014年10月20日. DOI: 10.1021/nl5032502 査読有  
Nano Lett. 15(3)の表紙を飾った。  
<http://pubs.acs.org/action/showLargeCover?jcode=nalefd&vol=15&issue=3#>  
各種プレス発表
- 7) 佐々木成朗, 三浦浩治: 「摩擦の科学が切り拓く未来」, 表面と真空 **61** 巻 8 号, pp544-546 (2018年8月).  
DOI: <https://doi.org/10.1380/vss.61.544> 査読無
- 8) 佐々木成朗, 三浦浩治: 「グラフェンで形成された界面のナノトライボロジー」, NEW DIAMOND **33** 巻 3 号, pp.19-22 (2017年7月). 査読無
- 9) 表面科学 **38** 巻 3 号, 特集「摩擦界面のその場観察技術の進展」, pp.103-141 (2017年3月) の編集担当.  
査読無
- 10) 薄葉亮, 佐々木成朗, 松永行子: 「束状ゲルファイバーによる細胞接着制御」, 表面科学 **38** 巻 2 号, pp.83-88 (2017年2月). 査読無
- 11) 表面科学 **38** 巻 2 号, 特集「さまざまな場面で活躍する剥離・接着技術」, pp.53-97 (2017年2月) の編集担当.  
査読無
- 12) 佐々木成朗, 三浦浩治: 「ナノスケール超潤滑・接着の機構と制御」, トライボロジスト **61** 巻 8 号, pp. 506-512 (2016年8月). 査読無
- 13) 石川誠, 佐々木成朗, 三浦浩治: 「カーボンナノチューブの原子スケールの引き剥がし」, 表面科学 **36** 巻 5 号 「特集号 エネルギー散逸と摩擦の制御」, pp.253-256 (2015年5月). 申請者は本特集号の編集作業を行った。 査読無
- 14) 佐々木成朗: 「ネバネバしたナノの世界を制御する」, 応用物理 **84** 巻, pp.345-346 (2015年4月). 査読無

- 15) **佐々木成朗**: 「先端追跡: 集束レーザー光を用いた二硫化モリブデン表面のナノ構造形成の制御」, 表面科学 38 巻 5 号, pp.251-251 (2017 年 5 月). 査読無
- 16) **佐々木成朗**: 編集後記, 表面科学 38 巻 3 号, 特集「摩擦界面のその場観察技術の進展」, pp.147-147 (2017 年 3 月). 査読無
- 17) **佐々木成朗**: 編集後記, 表面科学 38 巻 2 号, 特集「さまざまな場面で活躍する剥離・接着技術」, pp.98-98 (2017 年 2 月). 査読無
- 18) **佐々木成朗**: 「電気通信大学 佐々木成朗 研究室」, 応用物理学会 薄膜・表面分科会 News Letter Vol.156, pp.44-45 (2016 年 10 月). 査読無
- 19) **佐々木成朗**: 「先端追跡: 非接触原子間力顕微鏡のエネルギー散逸測定で固体の二次構造相転移を見る」, 表面科学 36 巻 10 号, pp.550-550 (2015 年 10 月). 査読無
- 20) **佐々木成朗**: 編集後記, 表面科学 36 巻 5 号, pp.277-277 (2015 年 5 月). 査読無
- 21) **佐々木成朗**: 「ナノトライボロジーと共に歩んで」, 月刊トライボロジー 29 巻 1 号, フロントコラム, p.11, 1 月号 (2015 年 1 月). 査読無
- 22) **佐々木成朗**: 「ナノの目で「摩擦」を解き明かす」, 造形科学ニューズレター Vol.05 (現代化学 2 月号) (2014 年 12 月). 査読無
- 23) **佐々木成朗**: 「研究の原点」, 表面科学 35 巻 10 号, pp.557-557 (2014 年 10 月). 査読無
- 24) **佐々木成朗**: 「成蹊に育てられた日々」, 成蹊会誌 35 巻 2 号, pp.119-119 (2014 年 5 月). 査読無

### 【学会発表】(計 251 件)

#### 国際会議 招待講演(主著) 5 件

- 1) **N. Sasaki**: “Elementary Process of Nanoscale Friction and Adhesion”, 25th International Colloquium on Scanning Probe Microscopy, ICSPM25, Atagawa Heights, Shizuoka, Japan, 2017.12.9.
- 2) **N. Sasaki, M. Suzuki, K. Miura, H. Fujita**: “Nano-scale Control of Friction and Adhesion at Surfaces and Interfaces”, International Meeting of Friction - from atomic to geophysical scales -, Earthquake Research Institute, The University of Tokyo, Japan, 2015. 9.15.
- 3) **N. Sasaki**: “Nanoscale superlubricity, peeling and fracture at carbon and silicon interfaces”, MMM2014, 7th International Conference on Multiscale Materials Modeling, Berkeley, California, USA, 2014. 10.7.
- 4) **N. Sasaki**: “Molecular Simulation of Sliding and Shear in Silicon and Carbon Nanostructures”, SIS-2014, The 20th International Symposium on Surfactants in Solution, “Surfactants in Tribology”, Coimbra, Portugal, 2014.6.24.
- 5) **N. Sasaki**: “MD Simulation of Sliding and Shear in Carbon Nanostructures”, CIMTEC 2014, Symposium: Session CC-5 Material Solutions for High Demanding Tribology Applications, Montecatini, Italy, 2014.6.10.

#### 国内会議 招待講演(主著) 20 件

- 1) **佐々木成朗**: 「カーボン界面摩擦・凝着のメカニズム」, 東京理科大学ナノカーボン研究部門 2018 年成果報告会 & 第 4 回東京理科大学-電気通信大学合同研究会, 東京理科大学 神楽坂キャンパス, 2019 年 3 月 1 日.
- 2) **佐々木成朗**: 「ナノの世界の摩擦と粘着を見る・制御する」, 第 8 回 CSJ 化学フェスタ 2018, フェスタ企画「滑ると接着を化学する～材料開発者の悩みを解決します～」, タワーホール船堀, 2018 年 10 月 25 日.
- 3) **佐々木成朗**: 「ナノスケール表面・界面における摩擦・接着の制御に向けて」, 日本接着学会粘着研究会第 160 回例会(3 月度), 東京大学農学部 弥生講堂アネックス, 2018 年 3 月 9 日
- 4) **佐々木成朗**: 「ナノスケール表面・界面における摩擦・凝着のメカニズム ～ 理論と実験の協働」, トライボロジー会議 2017 春 東京 シンポジウム「トライボシミュレーションの最前線 ～ 分子からマクロへ」, 国立オリンピック記念青少年総合センター, 2017 年 5 月 15 日.(基調講演)
- 5) **佐々木成朗, 藤田博之, 三浦浩治**: 「ナノスケール摩擦の素過程, エネルギー散逸」, ナノプロブテクノロジー第 167 委員会 第 85 回研究会「ナノプロブテクノロジーを利用した摩擦の研究 ～ エネルギー散逸と摩擦の制御について ～」, 産業技術総合研究所 臨海副都心センター別館 11 階会議室 11205 室, 2017 年 4 月 11 日.
- 6) **佐々木成朗**: 「カーボンファミリーのナノトライボロジー ～ エネルギー散逸の測定と理論構築に向けて」, 平成 28 年度第 2 回研究会 一般社団法人ニューダイヤモンドフォーラム, 東京工業大学石川台キ

キャンパス, 2016年11月4日.

- 7) **佐々木成朗**: 「摩擦の表面科学」, 2016年市民講座 **すごいぞ!身のまわりの表面科学** ~ツルツル、ピカピカ、ザラザラの不思議~ (社)日本表面科学会関東支部, 東京大学理学部小柴ホール, 2016年7月31日.

## 他 13 件

## 他 226 件

### 内訳

国際会議	招待講演 (共著)	6 件
国内会議	招待講演 (共著)	2 件
国際会議	一般講演 (主著)	9 件
国際会議	一般講演 (共著)	54 件
国内会議	一般講演 (主著)	11 件
国内会議	一般講演 (共著)	144 件

## 〔図書〕(計 3 件)

- 1) **佐々木成朗**, 三浦浩治: 「数値解析と表面分析によるトライボロジーの解明と制御」佐々木信也編, 第6章 数値解析 第7節「ナノスケール超潤滑・剥離のシミュレーション」, pp.409-418, (株)テクノシステム, (2018年3月20日) (総ページ数:1192) ISBN: 978-4-924728-80-6
- 2) **K. Miura**, M. Ishikawa, M. Ichikawa, **N. Sasaki**: “Atomic-Scale Exfoliation and Adhesion of Nanocarbon”, “Graphene Science Handbook: Vol. 1 Fabrication Methods”, Edited by Mahmood Aliofkhaeaei, Nasar Ali, William I. Milne, Cengiz S. Ozkan, Stanislaw Mitura, Juana L. Gervasoni, CRC Press, Taylor & Francis, pp.115-124 (2016. 4. 25). (総ページ数:576) ISBN 9781466591271 - CAT# K20505
- 3) **佐々木成朗** 他: ブルーボックス「すごいぞ!身のまわりの表面科学」第4章「摩擦の表面科学」, 日本表面科学会編 講談社, (2015年10月21日発行) (総ページ数:272) ISBN-10: 4062579405、ISBN-13: 978-4062579407. 第4章の編集及び執筆を行った。

## 〔産業財産権〕

出願状況 (計 0 件)

取得状況 (計 0 件)

## 〔その他〕

### (1) ホームページ

<http://nanotribo.g-edu.uec.ac.jp>

<https://www.uec.ac.jp/research/activity/uec-research/08.html>

### (2) 受賞 12 件

- 1) **2018年表面真空学会学術講演会 講演奨励賞(スチューデント部門)**  
(2019年5月18日付)  
「C<sub>60</sub>分子ベアリングの水平硬さの荷重依存性」  
福田朗子, 小宮山史郎, **佐々木成朗**
- 2) **表面技術協会 第25回学術奨励講演賞**  
(2019年3月19日付)  
「C<sub>60</sub>分子ベアリングの構造変化が水平・垂直硬さに与える影響」  
福田朗子, 小宮山史郎, **佐々木成朗**
- 3) **東京理科大学ナノカーボン研究部門 2018年度成果報告会 & 第4回東京理科大学・電気通信大学合同研究会 - 最優秀発表賞**  
(2019年3月1日付)  
「グラフェンのナノスケール摩擦における積層界面のモアレ像の解析」  
大向秀弥, **佐々木成朗**
- 4) **第37回表面科学学術講演会 講演奨励賞(スチューデント部門)**  
(2018年5月13日付)  
「グラフェンの原子スケール剥離の異方性における真実接触部の効果」  
大向秀弥, 安藤孝和, 板村賢明, 三浦浩治, **佐々木成朗**
- 5) **ナノトライボロジー研究センター第二回シンポジウム / 第三回 電通大・東京理科大合同研究会「物性科学から工学へ」優秀ポスター講演賞**  
(2018年3月7日付)

「C<sub>60</sub>分子ベアリングの水平硬さの圧縮による変化」  
福田朗子, 小宮山史郎, **佐々木成朗**

- 6) **表面技術協会 第23回学術奨励講演賞**  
(2017年3月10日付)  
「カーボン分子ベアリングの超潤滑」  
成田 武史, 本橋 雅章, 今村 祥, **板村 賢明**, 杉本 学, 櫻井 英博, **鈴木 勝**, **三浦 浩治**, **佐々木 成朗**
- 7) **ナノトライボロジー研究センター開設シンポジウム 第二部 電通大-東京理科大合同研究会 優秀ポスター講演賞**  
(2017年3月8日付)  
「フラーレン分子ベアリングの一軸圧縮弾性の数値解析」  
小宮山 史郎, **板村 賢明**, 杉本 学, 櫻井 英博, **三浦 浩治**, **佐々木 成朗**
- 8) **東京理科大学 電気通信大学 合同若手研究会 - 表面・界面現象の新展開: 吸着・物質移動・エネルギー散逸 - 優秀ポスター講演賞**  
(2016年3月14日付)  
「フラーレン分子ベアリングの超潤滑の走査方向依存性」  
成田武史, 今村祥, 本橋雅章, **板村賢明**, **鈴木勝**, **三浦浩治**, **佐々木成朗**
- 9) **ITC Tokyo 2015 "Poster Award for Young Tribologists"**  
(2015年9月17日付)  
"Superlubricity of Fullerene Molecular Bearings"  
S. Imamura, K. Itoh, **N. Itamura**, **M. Suzuki**, **K. Miura**, **N. Sasaki**
- 10) **ITC Tokyo 2015 "Poster Award for Young Tribologists"**  
(2015年9月17日付)  
"Measurements of Nanoscale Dynamic Friction in a Low Temperatures"  
T. Oyamada, J. Taniguchi, **M. Suzuki**, **N. Sasaki**, M. Ishikawa, **K. Miura**
- 11) **表面技術協会 第21回学術奨励講演賞**  
(2015年3月4日付)  
「Si 対向探針で形成した単一真実接触部のせん断過程におけるアモルファス原子分布の効果」  
中嶋 佑樹, 小熊 将嗣, 大野 真弘, **板村 賢明**, 中野 武雄, 石田 忠, 藤田 博之, **佐々木成朗**
- 12) **第5回トライボロジー秋の学校 優秀ポスター賞**  
(2014年9月25日付)  
「カーボンナノチューブの原子間力顕微鏡像のシミュレーション」  
本橋雅章, **板村賢明**, **三浦浩治**, **佐々木成朗**

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

**佐々木 成朗 (SASAKI NARUO)**

電気通信大学・情報理工学部・教授

研究者番号: 40360862

### (2) 研究分担者

( )

研究者番号:

### (3) 研究協力者

**三浦 浩治 (MIURA KOUJI)**

愛知教育大学・教育学部・教授

研究者番号: 50190583

**板村 賢明 (ITAMURA NORIAKI)**

成蹊大学・理工学部・助教

研究者番号: 90433854

(2015年3月まで)

**鈴木 勝 (SUZUKI MASARU)**

電気通信大学・情報理工学部・教授

研究者番号: 20196869

(2015年4月から)