

## 研究ステーション研究成果報告書

1. 研究ステーション名 ナノトライボロジー研究ステーション  
研究代表者名（所属部局・職・氏名 共通教育部・教授・佐々木成朗

2. 設置期間  
平成 26 年 6 年 1 日 ~ 平成 29 年 7 月 31 日

3. 研究組織（設置期間中かかわった、全ての構成員を記載してください。）  
※所属機関・部局・職は現在のもの、もしくは離脱時のものを記して下さい。

### <学内構成員>

電気通信大学	大学院情報理工学研究科	共通教育部	教授	佐々木 成朗
電気通信大学	大学院情報理工学研究科	先進理工学専攻	教授	田中 勝己
電気通信大学	大学院情報理工学研究科	先進理工学専攻	教授	中村 淳
電気通信大学	大学院情報理工学研究科	共通教育部	教授	鈴木 勝
電気通信大学	大学院情報理工学研究科	先進理工学専攻	助教	谷口 淳子

### <学外構成員>

愛知教育大学	教育学部	自然科学系	教授	三浦 浩治
東京大学生産技術研究所			教授,	
	同	マイクロナノメカトロニクス国際研究センター	長	藤田 博之
東京大学生産技術研究所			教授	川勝 英樹

## 4. 研究の特筆すべき成果

ナノトライボロジー研究ステーションにおけるグループ間の共同研究により、以下の特筆すべき成果を上げた。

- 1) 層状物質界面におけるエネルギー散逸過程を動的に追跡する新たな測定手法トライボフォノンスペクトロスコピー（TRS）を提案した。QCMでMHzオーダーで水平振動する二硫化モリブデン界面に原子間力顕微鏡探針を接触させた時、QCMの振幅の逆数と散逸エネルギーとの関係が表面フォノンの分散関係に類似する事を見出した。この関係を、試料表面を一次元質点系で近似して初期歪が全て散逸エネルギーになるモデルを仮定して説明した。[Phys. Rev. B **93**, 201401(R) (2016)]
- 2) グラファイト基板に吸着したグラフェンシートの引き剥がしを分子力学法で調べた。異方的初期吸着に対して、剥離中の摩擦力に異方性を見出した。[e-J. Surf. Sci. Nanotech. **14**, 204 (2016)].
- 3) 摩擦の起源は接触する二つの平面間で生成・破断する真実接触部の振る舞いと理解されているが、その微視的メカニズムは十分に解明されていない。電通大（佐々木）と東大

生研（藤田）のグループは、この摩擦の素過程としてのナノ接合の動力学を実験（MEMS-in-TEM）と理論（分子動力学シミュレーション）の両面から明らかにすることに成功した。（T. Ishida et al., Nano Lett. **15**, 1476 (2015)）マクロで脆性破壊するシリコンが GPa オーダーの超高応力下でアモルファス化し、せん断過程で細線化したシリコンが延伸して破断する様子が示された。本研究は地震におけるプレート変形の理解にもつながるため、日経プレスリリース、財経新聞、日経産業新聞、日刊工業新聞など各誌で取り上げられた他、文科省ナノテクジャパンでも紹介された。

- 4) 摩擦の本質はエネルギー散逸現象であるが、ナノスケールでエネルギー散逸を追跡することは困難である。このテーマに風穴を開けるべく、電通大（鈴木）と愛教大（三浦）のグループは、原子間力顕微鏡法と水晶振動子法を組み合わせ、音叉型水晶振動子を用いたエネルギー散逸顕微鏡を開発し、ナノすべり摩擦のエネルギー散逸像の測定に成功した。（S. Tanahara et al., e-J. Surf. Sci. Nanotech. **13**, 164 (2015)）次年度以降は、本測定の高精度化と他の多様な表面吸着系への応用が大いに期待される。

## 5. 研究成果の公表実績

### <主催した研究会・シンポジウム>

他大や学会との共催シンポジウムを開催し、電通大をナノトライボロジーの研究拠点にするための基礎固めを行った。またこれらを、文部科学省科学研究費補助金「新学術領域研究（研究領域提案型）」平成 26～30 年度「 $\pi$ 造形科学：電子と構造のダイナミズム制御による新機能創出」の協賛として、異分野の研究者にも広く周知する工夫を行った。

- 1) 2017 年 3 月 8 日：International Symposium to Commemorate Launch of the Nanotribology Research Center（第二部：理科大-電通大合同研究会）を開催した。設置シンポジウムには第一部と第二部を合わせて合計 85 名（本学大学院生 22 名、本学学部生 10 名、本学教職員 23 名、他大学等からの参加者 30 名）の参加があり、活発な研究交流の場を提供出来た。学生のポスターセッション 34 件の中から優秀ポスター賞 4 件を選出した。実行委員長：佐々木成朗
- 2) 2017 年 3 月 8 日：International Symposium to Commemorate Launch of the Nanotribology Research Center（第一部：国際シンポジウム）を開催し、ペンシルバニア州立大学の R. Carpick 教授らを招聘した。Chair：佐々木成朗
- 3) 2016 年 11 月 29 日：(社)日本表面科学会 第 36 回表面科学学術講演会「摩擦の科学」研究部会シンポジウム「粘弾性と摩擦」を開催した。オーガナイザー：三浦浩治・佐々木成朗
- 4) 2016 年 9 月 2 日：UEC Nanotribology International Colloquium を開催した。ドイツの Fraunhofer 研究所から Martin Dienwiebel 博士を招聘すると同時に、センターの構成メンバーを予定している学外研究者を中心とする国内メンバーをあわせて、理論、実験の両面からナノトライボロジーの最新研究成果についての情報交換を行った。合計 26 名の参加があり（本学大学院生 9 名、本学学部生 6 名、本学教職員 3 名、他大学等からの参加者 8

名)、学生のポスターセッション8件も盛況であった。Chair: 佐々木成朗

- 5) 2016年6月29日:(社)日本表面科学会「摩擦の科学」研究部会講演会を開催した。実行委員長: 佐々木成朗
- 6) 2016年3月14日: 本学ナノトライボロジー研究ステーションと、東京理科大学ウォーターフロンティアサイエンス研究部門、同ナノカーボン研究部門との共催で、学部生以上の若手を中心とする合同若手研究会「- 表面・界面現象の新展開: 吸着・物質移動・エネルギー散逸 -」を東京理科大学森戸記念館にて開催した。参加者は学生52名, 教員・ポスドク24名, その他(企業の2名を含む)4名, 合計80名と盛況であった。
- 7) 2015年12月1日:(社)日本表面科学会 第35回表面科学学術講演会「摩擦の科学」研究部会シンポジウム「熱と摩擦」(於 つくば国際会議場)を開催した。50名以上の参加者があった。オーガナイザー: 三浦(愛教大)、佐々木(電通大)。
- 8) 2015年9月16日-20日: 東京理科大で開催された摩擦の国際会議ITC2015の実行委員(松川、佐々木)を務めた。
- 9) 2015年9月14日-15日: 東大地震研で開催された摩擦の国際会議ITC2015のサテライトシンポジウム International Meeting of Friction - from atomic to geophysical scales - の実行委員(松川、三浦、佐々木、鈴木)を務めた。
- 10) 2015年6月17日: 国際会議 2015 JSME-IIP/ASME-ISPS Joint Conference on Micromechatronics (MIPE2015),におけるシンポジウム“Simulation of Nanoscale Phenomena”(於 神戸国際会議場)の実行委員(佐々木)を務めた。
- 11) 2015年3月26-27日: ナノトライボロジー研究ステーション第2回セミナー(講師: Dr. Martin Dienwiebel 博士、電気通信大学 東 3-301)を主催。オーガナイザー: 佐々木・鈴木(電通大)
- 12) 2014年11月25日: 東京理科大学総合研究機構ナノカーボン研究部門ワークショップ「実験と理論の協調によるナノ空間・ナノ物質研究の最前線」(東京理科大学神楽坂キャンパス)を共催。オーガナイザー: 本間・山本(東京理科大)、佐々木(電通大)。
- 13) 2014年11月17日: ナノトライボロジー研究ステーション第1回セミナー(講師: Dr. Pierre Allain 博士、電気通信大学 東 1-310)を主催。オーガナイザー: 佐々木・鈴木(電通大)。
- 14) 2014年11月7日: 第34回表面科学学術講演会 摩擦の科学研究部会シンポジウム「エネルギー散逸と摩擦の制御」(島根くにびきメッセ)を主催。オーガナイザー: 三浦(愛教大)、佐々木(電通大)
- 15) 2014年9月29-30日: ナノトライボロジー研究ステーション第一回ワークショップ(電気通信大学 東 5-241)を主催。オーガナイザー: 佐々木・鈴木(電通大)。

#### <研究成果の発信状況>

- 1) 2017年3月: 表面科学 Vol. 38, No. 3, 特集「摩擦界面のその場観察技術の進展」, pp.103-141 の企画編集を担当した。
- 2) 2017年2月: 表面科学 Vol. 38, No. 2, 特集「さまざまな場面で活躍する剥離・接着技術」, pp.53-97 の企画編集を担当した。

- 3) 2015年10月：佐々木（電通大）は、ブルーバックス「すごいぞ！身の回りの表面科学」の第四章「摩擦の表面科学」の編集および執筆に関わり、広く一般向けにナノトライロジーの解説を行った。松川（青学大）、三浦（愛教大）にも執筆を依頼した。
- 4) 2015年5月：（社）日本表面科学会誌「表面科学」の特集号「エネルギー散逸と摩擦の制御」（表面科学 36 巻 2015 年 5 月号）を企画編集した。企画提案は三浦（愛教大）、編集担当は佐々木（電通大）

## **6. 外部資金の獲得状況**

当研究ステーション全体の活動に対して、各構成員が下記の科研費を取得した。

### **<科研費>（代表のみ）H26～H28 年度実績**

#### **<学内構成員>**

- 1) 科研費（新学術領域研究(研究領域提案型)） 日本学術振興会  
「 $\pi$ 造形分子機械のナノ力学」  
佐々木成朗 直接経費 26,000,000 円・間接経費 7,800,000 円.
- 2) 科研費（基盤研究(B)） 日本学術振興会.  
「グラフェンの湾曲を用いるフラーレン分子ベアリングの超潤滑制御」  
佐々木成朗 直接経費 3,900,000 円・間接経費 1,170,000 円.
- 3) 科研費（基盤研究(C)） 日本学術振興会.  
「エネルギー散逸像とトポ像の同時測定による動摩擦機構の解明」  
鈴木勝 直接経費 3,800,000 円・間接経費 1,140,000 円.
- 4) 科研費（基盤研究(C)） 日本学術振興会.  
「ナノ細孔中  $^4\text{He}$  を用いた 1 次元特有の動的な超流動応答の実験的解明」  
谷口淳子 直接経費 3,500,000 円・間接経費 1,050,000 円.

#### **<学外構成員>**

- 5) 科研費（基盤研究(A)） 日本学術振興会.  
「MEM 液体セルによる液中現象の透過電子顕微鏡その場観察」  
藤田博之 直接経費 32,100,000 円・間接経費 9,630,000 円.
- 6) 科研費（基盤研究(C)） 日本学術振興会.  
「摩擦の物理」  
松川宏 直接経費 1,700,000 円・間接経費 510,000 円.

## **7. 発表論文等 ※各項目 5 件以内**

### **【原著論文】**

- 1) N. 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
- 2) Young-Jin Kim, Seiichiro Yamamoto, N. 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

①Biomaterials Science Issue 8 (2016)のバックカバーを飾った。

②各種プレス発表

- 3) Makoto Ishikawa, Noriyuki Wada, Takahiko Miyakawa, Hiroshi Matsukawa, Masaru Suzuki, N. 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
- 4) 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).
- 5) S. O. Diallo, R. T. Azuah, D. L. Abernathy, J. Taniguchi, M. Suzuki, J. Bossy, N. Mulders, H. R. Glyde: "Evidence for a Common Physical Origin of the Landau and BEC Theories of Superfluidity", Physical Review Letters, **113**, 215302-1,-5 (2014).

#### 【国際会議・招待講演】

- 1) H. Fujita, T. Sato, Y. Takayama, T. Ishida, N. Sasaki: "In-Situ TEM Observation of a Real Point of Contact", International Tribology Conference Tokyo 2015 (ITC Tokyo 2015), Tokyo University of Science, Tokyo, Japan, 2015.9.17.
- 2) M. Suzuki: "Dynamic friction of nanoscale sliding", International Meeting of Friction - from atomic to geophysical scales - Earthquake Research Institute, The University of Tokyo, Japan, 2015. 9.15.
- 3) J. Taniguchi: "Superfluid response of <sup>4</sup>He in 1D mesoporous media", Workshop on Grand Challenges in Quantum Fluids and Solids, University at Buffalo, USA, 2015.8.7.
- 4) 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.
- 5) 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.

#### 【国際会議・一般講演】

- 1) N. Sasaki, H. Fujita, K. Miura: "Atomic-Scale Control of Friction and Wear of Carbon and Silicon Nanocontacts", The fourth MIPT-LPI-UEC Joint Workshop on Atomic, Molecular, Optical Physics, The University of Electro-Communications, Tokyo, Japan, 2017.3.28. (Requested Talk)
- 2) M. Suzuki, J. Taniguchi: "Reentrant Slippage of <sup>3</sup>He-<sup>4</sup>He Mixture Films", UEC International Nanotribology Colloquium, The University of Electro-Communications, Tokyo, Japan, 2016.9.2. L02
- 3) S. Imamura, K. Itoh, N. Itamura, M. Suzuki, K. Miura, N. Sasaki: "Superlubricity of Fullerene Molecular Bearings", International Tribology Conference Tokyo 2015 (ITC Tokyo 2015), Tokyo, Japan, 2015.9.16. ITC Tokyo 2015 "**Poster Award for Young Tribologists**"
- 4) T. Oyamada, J. Taniguchi, M. Suzuki, N. Sasaki, M. Ishikawa, K. Miura: "Measurements of Nanoscale Dynamic Friction in a Low Temperatures", International Tribology Conference Tokyo 2015 (ITC Tokyo 2015), Tokyo, Japan, 2015.9.16. ITC Tokyo 2015 "**Poster Award for Young Tribologists**"
- 5) J. Taniguchi, D. Tanaka, M. Suzuki: "Magnetization of <sup>3</sup>He confined in 2.8-nm channel of FSM16", QFS2015, Niagara Falls, USA, 2015.9.13-14.

## 【国内会議・招待講演】

- 1) 佐々木成朗:「表面・界面摩擦をナノスケールで見て制御する～理論と実験の協働から」, 金沢大学先魁プロジェクト「極限環境における新規ナノ・マイクロ物性の研究」主催 ナノ・マイクロ物性研究会, 金沢大学角間キャンパス, 2017年2月21日.
- 2) 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ャンパス, 2016年11月4日.
- 3) 谷口淳子:「ナノ多孔体中ヘリウムの動的な超流動応答とエネルギー散逸」, 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—, 東京理科大学森戸記念館, 2016年3月14日.
- 4) 鈴木勝:「ナノスケール滑りのダイナミクス」, 日本表面科学会 第86回表面科学研究会・日本真空学会 2016年1月研究例会「ナノトライボロジー: 現在と未来」, 東京大学理学部化学館5階講堂, 2016年1月22日.
- 5) 中村淳:「グラフェンおよびグラフェンナノリボンのバリスティックフォノン熱伝導」, 第35回表面科学学術講演会, つくば国際会議場, 2015年12月1日.

## 【国内会議・一般講演】

- 1) 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:「カーボン分子ベアリングの超潤滑」, 第135回表面技術協会講演大会, 東洋大学 川越キャンパス, 埼玉, 2017年3月8日. **学術奨励講演賞**
- 2) 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:「フラーレン分子ベアリングの一軸圧縮弾性の数値解析」, 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, 電気通信大学, 東京, 2017年3月8日. **優秀ポスター講演賞**
- 3) 成田武史, 今村祥, 本橋雅章, 板村賢明, 三浦浩治, 鈴木勝, 佐々木成朗:「フラーレン分子ベアリングの超潤滑の走査方向依存性」, 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—, 東京理科大学森戸記念館, 2016年3月14日. **優秀ポスター講演賞**
- 4) 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:「単層グラフェンシートの引き剥がし過程における C<sub>60</sub> 分子ベアリングの潤滑特性」, 第131回表面技術協会講演大会, 関東学院大学, 2015年3月4日. **学術奨励講演賞**
- 5) 本橋雅章, 板村賢明, 小柳文子, 近匡, 三浦浩治, 佐々木成朗:「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」, 第5回トライボロジー秋の学校 in 愛知, 愛知県知多郡, 2014年9月25-26日. **優秀ポスター賞**

## 【著書】

- 1) 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 Aliofkhae, 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
- 2) 佐々木成朗 他: ブルーバックス「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.

## 【総説・解説】

- 1) 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 vol. **38**, pp.83-88 (2017年2月). DOI: <http://doi.org/10.1380/jsssj.38.83>
- 2) 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 vol. **61**(8), pp. 506-512 (2016年8月). DOI: [http://doi.org/10.18914/tribologist.61.8\\_506](http://doi.org/10.18914/tribologist.61.8_506)
- 3) 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).
- 4) 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, pp.253-256 (2015年5月).
- 5) 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 vol.**84**(4), ホットといき欄, pp.345-346 (2015年4月)

## 【受賞】

- 1) **表面技術協会 第23回学術奨励講演賞**  
(2017年3月10日)  
「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
- 2) **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)  
「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
- 3) **平成28年度科学技術分野の文部科学大臣表彰 若手科学者賞**  
(2016年4月)  
「ナノ細孔中液体  $^4\text{He}$  を用いた1次元超流動の実験的研究」  
谷口 淳子
- 4) **ITC Tokyo 2015 "Poster Award for Young Tribologists"** (2015年9月17日),  
"Superlubricity of Fullerene Molecular Bearings"  
S. Imamura, K. Itoh, N. Itamura, M. Suzuki, K. Miura, N. Sasaki
- 5) **ITC Tokyo 2015 "Poster Award for Young Tribologists"** (2015年9月17日)  
"Measurements of Nanoscale Dynamic Friction in a Low Temperatures"  
T. Oyamada, J. Taniguchi, M. Suzuki, N. Sasaki, M. Ishikawa, K. Miura

## 【新聞等広報】

- 1) 佐々木成朗: 化学工業日報 2016年7月25日号, 朝刊第4面  
束状ゲルの細胞足場材 東大など マイクロ流体技術で
- 2) 佐々木成朗: 日経産業新聞 2016年7月21日号, 第8面  
束状ゲルで細胞培養 東大など 作製容易な足場材料
- 3) 佐々木成朗: 日刊工業新聞 第29面, 2015年7月16日“レーザー欄 摩擦分析がカギ”
- 4) 佐々木成朗: 文部科学省ナノテクジャパン ネット版「2015年3月30日 “ナノレベルで見た摩擦の秘密 ～超高压・超低速の摩擦を動画で可視化, 地震やナノテクの理解へ～”
- 5) 佐々木成朗: 日本経済新聞 電子版 プレスリリース, 2015年3月3日 “東大、超高压かつ超低速で物体をこすると大きな塑性変形することを発見”

## 【その他広報】

- 1) 佐々木成朗：NHK 総合「マサカメ TV！」出演：2015 年 12 月 12 日(土)18:10～18:42 (本放送)、2015 年 12 月 18 日(金)2:20～2:52(再放送)
- 2) 佐々木成朗, 中村淳：蛍雪時代 2016 年 7 月号, p. 150-157  
理系受験生の好きになれる分野 見つけよう！「ナノテクノロジー」 漫画・はやのん理系漫画制作室 2016 年 7 月 14 日
- 3) 谷口淳子：「1 次元ナノ細孔中ヘリウムの超流動と朝永-ラッティンジャー液体的挙動」最近の研究成果トピックス, 科研費 NEWS 2015 vol.3, 2016 年 2 月 10 日.
- 4) 佐々木 成朗：「科学者たちのメッセージ 18 歳のきみへ ナノの世界の摩擦をゼロに近づける！」Benesse 進研ゼミ 大学受験講座 エンカレッジ物理 2014 (9 月号), 83-83.