

令和 3 年 6 月 1 日現在

機関番号：12601

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2018～2020

課題番号：18H01358

研究課題名(和文)炭素系薄膜を用いた高効率・高耐久性の高速横滑り型摩擦発電システムの開発

研究課題名(英文) Development of highly durable and high efficient DLC-based triboelectric nanogenerators

研究代表者

崔 ジュン豪 (Choi, Junho)

東京大学・大学院工学系研究科(工学部)・准教授

研究者番号：30392632

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,400,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、優れたトライボロジ特性を有する非晶質炭素膜(DLC膜)を帯電材として用いることで高耐久性・高効率の摩擦発電システムの開発を行った。水素添加 DLC(H-DLC)膜、フッ素添加 DLC(F-DLC)膜、PTFEを帯電材として用いた結果、H-DLC/F-DLCペアは、低滑り速度で最大出力を示し、滑り速度が大きくなるにつれ、H-DLC/PTFEペアが最も高い出力を示すことが分かった。また、DLC帯電膜を用いることで2時間の駆動でも安定した出力が得られた。今後、様々なスマート/モバイル電子機器に向けて高耐久性・高出力DLCベースのすべり型摩擦発電機の応用が大いに期待できる。

研究成果の学術的意義や社会的意義

今日のスマート/ウェアラブル/モバイル電子機器の普及に伴って、多くのセンサーとそれらを駆動するための電源が求められている。これら全てに対してバッテリーを用いることは、バッテリーのサイズ、容量、環境汚染などの観点から困難である。この問題の解決に期待されているのが摩擦発電機である。摩擦発電は、生活や自然の中の機械エネルギーを電気に変換する発電技術であり、バッテリーが不要の電子機器の作製が可能となる。本研究では、非晶質硬質炭素膜を摩擦発電機の帯電材として応用することで従来の摩擦発電機に比べ高耐久性・高効率の摩擦発電機の開発を行った。

研究成果の概要(英文)：In this study, we have addressed the durability issues of TENG using Diamond-like Carbon (DLC) films as a triboelectric surface. Our findings indicate a high potential for DLC films for TENG applications attributing to its outstanding tribological, mechanical and insulating properties. Hydrogenated DLC (H-DLC) film, Fluorinated DLC (F-DLC) film, and PTFE were used as dielectric surfaces on a rotary based sliding-TENG. The output performance of each pair differed with the sliding speed where H-DLC/F-DLC pair produced the maximum output at a moderate sliding speed. As the sliding speed was raised, H-DLC/PTFE pair exhibited the highest output at 10 Hz, equal to that of the conventional Al/PTFE pair. The durability evaluation of DLC-TENG showed very promising outcomes producing stable output current for 2 h. This study is expected to encourage the development of DLC-based sliding-TENGs, with enhanced durability and output efficiency.

研究分野：トライボロジー

キーワード：摩擦発電 DLC膜 耐久性

1. 研究開始当初の背景

今日のスマート/ウェアラブル/モバイル電子機器の普及に伴って、多くのセンサーとそれらを駆動するための電源が求められている。これら全てに対してバッテリーを用いることは、バッテリーのサイズ、容量、環境汚染などの観点から困難である。この問題の解決に期待されているのが、2012年に開発された Triboelectric Nanogenerator (TEG, 以下、摩擦発電)である。摩擦帯電とは異なる物質を接触もしくは摩擦させることで、両物質にそれぞれ正と負の電荷を発生させ、その電位差による電子の流れから電気エネルギーを得る発電手法である。生活中、自然界に起こる微小振動や摩擦を用いて電気エネルギーを作り出すため、バッテリーが不要な電子機器、電源が不要なセンサーの作製が可能である。摩擦発電の4つの作動モードを図1に示す。摩擦発電には一般的に帯電材として高誘電率のポリマー(Kapton, Teflon, Nylon, FEP など)と金属(Al, Cu など)の組み合わせが用いられ、帯電列から考えるとポリマーと金属はそれぞれ負と正に帯電される。現状は、図1(a), (c)をベースにした接触-分離型のシステムが活発に研究されている。横滑りモード(図1(b))の場合、高速滑りにより発電効率は高められるが、帯電材の耐久性と摩擦損失が大きな問題である。Wangらは二つのシリンダー(外側: Cu電極, 内側: フッ素樹脂(FEPとCu)を図2(a)に示すように入れ子にして接触させ、内側のシリンダーを高速(数千rpm)で回転させる横滑りモードを用いて発電を試みたが、帯電材の摩耗により望ましい発電効率は得られなかった。帯電材の摩耗を防ぐため、図2(b)に示すようAl棒のローラーを入れて、両シリンダー間に間隔を置き、2面間の静電誘導を用いて発電を行ったところ、両シリンダー間の距離を6mmから0.5mmに近づけることで、発電効率が20倍以上に向上することわかった。また、回転速度を上げれば上げるほど、発電効率は向上することを報告した(ACS Nano 9 (2015) 5577)。これら結果は、二つの帯電面を接触させ、高速横滑りにより発電を行うことで、摩擦発電の効率を最大化できることを示唆する。

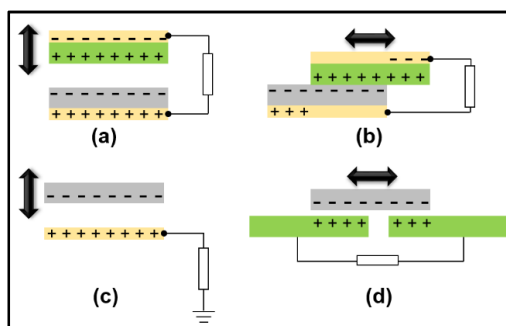


図1 TENGの4つの基本モード: (a) 接触-分離, (b) 横滑り, (c) 単一電極, (d) フリースタANDING

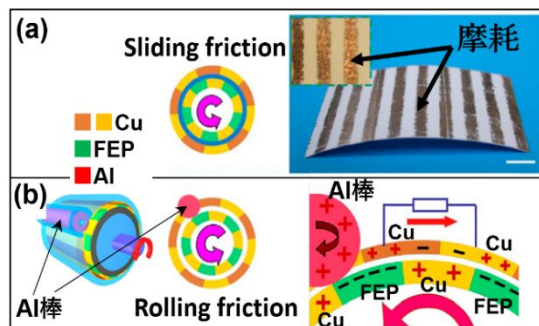


図2 シリンダーの高速滑りを用いた摩擦発電実験: (a) 接触高速横滑り, (b) 非接触静電誘導による発電

2. 研究の目的

本研究は、非晶質硬質炭素膜(Diamond-Like Carbon膜, 以降DLC膜)の低摩擦性・耐摩耗性を用いて、高効率・高耐久性の横滑り型摩擦発電システムを開発することを目的とする。摩擦発電は、生活や自然の中の機械エネルギーを電気に変換する発電技術であり、バッテリーを必要としない(self-powering)ため、スマート/ウェアラブル/モバイル電子機器、IoTなどへの応用が大いに期待される。二つの帯電材料の両極に生成する電荷を用いて発電する摩擦発電は、帯電材同士の相対運動により、大きく分けて「接触-分離型」と「横滑り型」がある。しかし、ほとんどの研究は接触-分離型を用いて行われているのが現状である。横滑り型の場合、二つの表面の相対滑りにより発電効率は高められるが、帯電材の摩擦損失と耐久性が大きな問題である。本研究は、従来のポリマー帯電材に代り、低摩擦性・耐摩耗性・高誘電率のDLC膜を帯電材として用いることで、高耐久性および高効率を有する高速横滑り型摩擦発電システムの開発を行う。今後、摩擦発電は小型モバイル機器への応用が大いに期待されており、DLC膜を成膜する薄膜プロセスは小型デバイスの制作に有効であると考えられる。

3. 研究の方法

高誘電率・低摩擦性DLC膜の開発: 新しい帯電材として高誘電率・低摩擦性DLC膜を開発する。プラズマ利用イオン注入成膜装置(PBII)を用いて、原料ガスを変えることで組成が異なる種々のDLC膜を作成する。フッ素添加DLC膜(F-DLC膜)は、ヘキサフルオロベンゼン(C_6F_6)、シリコン添加DLC膜はテトラメチルシラン($Si(CH_3)_4$)、水素添加DLC膜(H-DLC膜)はトルエン(C_7H_8)をそれぞれ主な原料ガスとして用いる。開発したDLC膜の表面電位、摩擦係数、硬度をそれぞれ表面電位測定装置、摩擦試験装置、超微小硬さ計により測定・評価し、膜の帯電特性、摩擦特性、機械特性を明らかにする。

DLC膜を用いた摩擦発電の基礎性能評価: 接触/分離型摩擦発電実験を用いて、種々のDLC膜

の摩擦発電特性を明らかにする。実験のためにソレノイド型摩擦発電システムを開発する。また、帯電材として、H-DLC、F-DLC、Si-DLC膜などの種々のDLC膜とPTFE、Kaptonなどのポリマーを用いる。摩擦帯電実験装置の模式図を図3に示す。電極としてはAl板を用いる。

高速横滑り型摩擦発電システムの開発： との結果から、発電性能および摩擦特性に優れたDLC膜に対し、高速横滑り条件（～2000rpm）での摩擦発電実験を行う。摩擦帯電実験装置の模式図を図4に示す。

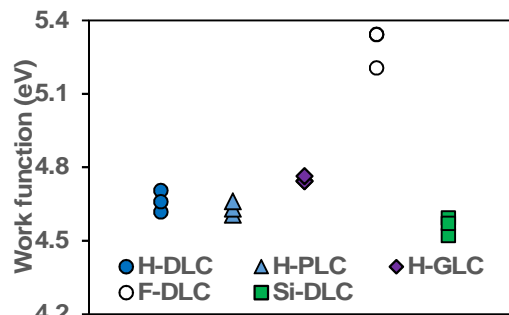
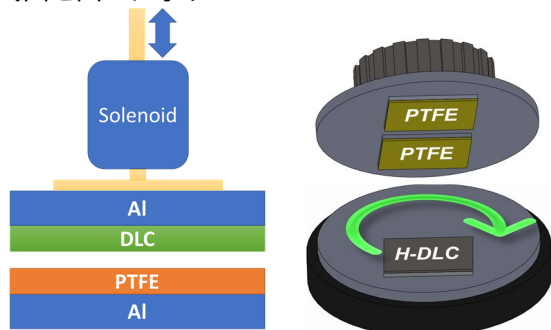


図3 接触/分離型摩擦発電機 図4 横滑り型摩擦発電機

図5 種々のDLC膜の仕事関数の測定結果

4. 研究成果

(1) 高誘電率・低摩擦性DLC膜の開発

DLC膜の成膜：プラズマ利用イオン注入成膜装置(PBII)により、F-DLC、Si-DLC、H-DLC膜を作成した。原料ガスはそれぞれ C_6F_6 、 $Si(CH_3)_4$ 、 C_7H_8 を主に用いた。また、成膜時の負電圧を変化させることで、内部構造が異なる三種類のH-DLC膜（以下、H-DLC膜、H-PLC膜、H-GLC膜とする）を得た。

DLC膜の仕事関数の測定：仕事関数は帯電列を予測する上で重要なパラメータであり、仕事関数が大きいほど負に、仕事関数が小さいほど正の帯電列になりやすいと考えられる。摩擦発電において、対電材の帯電列はその帯電特性を決める上で重要であり、Kelvin Force Microscopy (KFM)を用いて仕事関数を測定することで成膜したDLC膜の帯電特性の評価を行った。図5にDLC膜の仕事関数を示す。組成の異なるH-DLC膜、F-DLC膜およびSi-DLC膜に関して比較すると、H-DLC膜に比べてF-DLC膜の仕事関数が非常に大きく、Si-DLC膜の仕事関数がやや小さいことが分かる。F-DLC膜に関してはフッ素を含む物質の帯電列は負の傾向を示し、フッ素が炭素や水素に比べて高い電気陰性度を持つことなどから妥当な結果と考えられ、帯電列と仕事関数の相関を補強する結果となった。一方、Si-DLC膜に関して、ケイ素を含有し帯電列が明らかになっている物質では、石英やガラスが正の傾向を、ケイ素やシリコンゴムは負の傾向を示している。本研究のSi-DLC膜のKFM測定結果はSi-DLC膜がH-DLC膜に比べてやや正の帯電列を持つ可能性を示している。この結果は、ケイ素の電気陰性度が炭素と比べてやや小さいこととも関連していると考えられる。したがって、単体のケイ素の帯電列は結晶性など他の要因から大きな影響を受けており、DLC膜のようなアモルファス膜において帯電列を予測する際には、仕事関数の大小と電気陰性度の大小が一致しやすいのではないかと考えられる。

(2) 接触・分離モードを用いたDLC膜を用いた摩擦発電特性の測定

DLC膜の摩擦発電性能の評価のため、Kapton、Teflonの組み合わせにおいて発電量の測定を行った。DLC膜とTeflon間の測定結果、安定した出力を示し、図6に示すように10～30 μA 、40～80Vの出力を得た。DLC膜の元素添加に関しては、F-DLCが負の帯電列を持つため、Teflonとの摩擦発電では、DLC、Si-DLCに比べて出力が小さくなることがわかった。またDLC膜の内部構造に関してはDLC構造が最大出力となり、GLC構造では発電量は減少することがわかった。本実験では、炭素系薄膜は従来材料との組み合わせで従来材料同士の出力を超える出力を得られることが確認できており、その結果を示すためにLEDの点灯実験を行い、40個以上の直列LEDを点灯させることに成功した。この結果はIoT用途としての炭素系薄膜を用いた摩擦発電システムの有望性を示している。

(3) DLC膜を用いた高速横滑り型摩擦発電システムの開発

発電効率の向上のため、摩擦試験機を改良した横滑り型摩擦発電システムを開発し、種々の摺

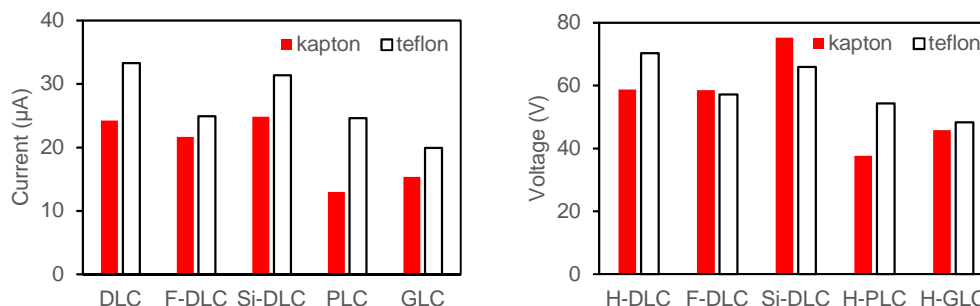


図6 従来材料と炭素系薄膜の発電結果

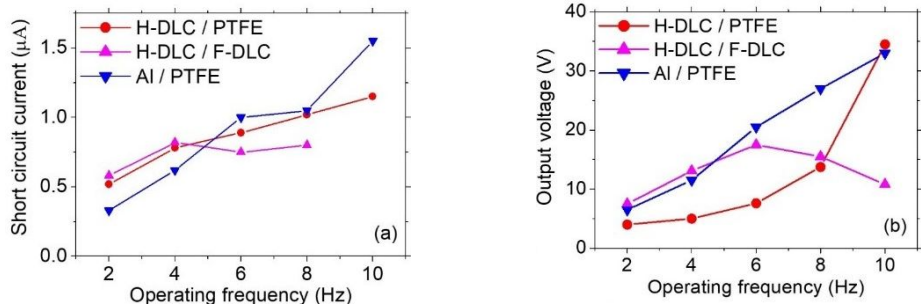


図7 横滑り型摩擦発電実験の結果

動条件（低速滑り，高速滑り，高負荷荷重，低負荷荷重）における DLC 膜の摩擦発電特性および耐久性を調べた。滑り速度は 10Hz，負荷荷重 9.8N の過酷な摩擦条件においても，安定した摩擦発電特性が得られることが分かった。発電実験の結果を図7に示す。横滑り型の摩擦発電システムに DLC 膜を帯電材として用いた場合，ポリマーを帯電材として用いる従来の摩擦発電システムと同等の発電出力が得られることが分かった。また，DLC 膜同士を帯電材として用いた場合も発電が可能であることが分かった。DLC 膜同士の摩擦係数は極めて低いことが分かっており，より耐久性が優れる発電システムが可能であることが期待できる。

(4) 共通電極型摩擦発電システムの開発

従来の摺動用機械要素を用いた摩擦発電システムとその発電メカニズムを図9(左図)に示す。金属電極と機械要素表面を絶縁するためには絶縁層が必要であり，摩擦発電システムの構造が非常に複雑になる。摩擦発電システムを摺動用機械要素に応用するためにはよりシンプルな構造を有する摩擦発電システムの開発が必須である。そこで，帯電材パターンのそれぞれの電極を共通化した共通電極型摩擦発電システムを開発した。その模式図を図8(右図)に示す。共通電極型摩擦発電システムを用いて摩擦発電が可能であることを図9に示すCOMSOLシミュレーションにより確かめた。さらに実際の転がり軸受に共通電極型摩擦発電機を実装し摩擦発電実験を行い発電が可能であることを図10に示すように明らかにした。

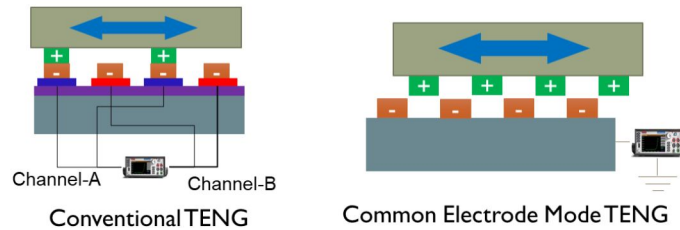


図8 従来の摩擦発電システム（左図）と新たに開発した共通電極型摩擦発電システム（右図）

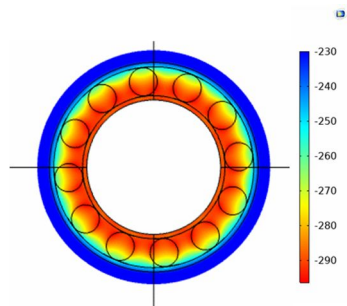


図9 COMSOL シミュレーション結果

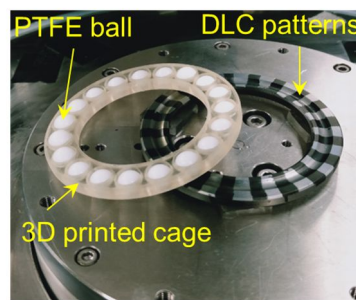


図10 転がり軸受への共通電極型摩擦発電機の実装

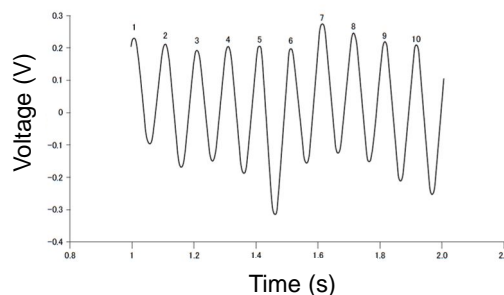


図11 摩擦発電実験の結果

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計10件（うち査読付論文 10件／うち国際共著 0件／うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 P. Huang, W. Qi, X. Yin, J. Choi, X. Chen, J. Tian, J. Xu, H. Wu, J. Luo	4. 巻 154
2. 論文標題 Ultra-low friction of a-C:H films enabled by lubrication of nanodiamond and graphene in ambient air	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Carbon	6. 最初と最後の頁 203, 210
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.carbon.2019.08.010	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 X. Chen, X. Yin, W. Qi, C. Zhang, J. Choi, S. Wu, R. Wang, J. Luo	4. 巻 6
2. 論文標題 Atomic-scale insights into the interfacial instability of superlubricity in hydrogenated amorphous carbon films	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 SCIENCE ADVANCES	6. 最初と最後の頁 eaay1272
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1126/sciadv.aay1272	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 S.H. Ramaswamy, R. Kondo, W. Chen, I. Fukushima, J. Choi	4. 巻 15
2. 論文標題 Development of highly durable sliding triboelectric nanogenerator using diamond-like carbon films	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Tribology Online	6. 最初と最後の頁 89,97
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2474/trol.15.89	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Ramaswamy H.Shreeharsha, Jun Shimizu, Weihang Chen, Ryusei Kondo, Junho Choi	4. 巻 60
2. 論文標題 Investigation of Diamond-Like Carbon Films as a Promising Dielectric Material for Triboelectric Nanogenerator	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Nano Energy	6. 最初と最後の頁 875, 885
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.nanoen.2019.03.095	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Takumi Ishikawa, Junho Choi	4. 巻 89
2. 論文標題 The effect of microstructure on the tribological properties of a-C:H films	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Diamond & Related Materials	6. 最初と最後の頁 94, 100
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.diamond.2018.08.009	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Ishikawa Takumi, Choi Junho	4. 巻 37
2. 論文標題 Effect of Water Adsorption on the Frictional Properties of Hydrogenated Amorphous Carbon Films in Various Relative Humidities	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Langmuir	6. 最初と最後の頁 1012 ~ 1024
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.langmuir.0c02416	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Matsumoto Naohiro, Kinoshita Hiroshi, Choi Junho, Kato Takahisa	4. 巻 10
2. 論文標題 Formation of large area closely packed carbon onions film by plasma-based ion implantation	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 10037
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41598-020-67323-9	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Nakao Setsuo, Choi Junho, Sonoda Tsutomu, Kotake Shigeo, Yamada Yasusei	4. 巻 355
2. 論文標題 Characterization of diamond-like carbon films prepared using various source gases by plasma-based ion implantation and deposition	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Surface and Coatings Technology	6. 最初と最後の頁 136 ~ 142
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.surfcoat.2018.03.054	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Hirata Yuki, Ishikawa Takumi, Choi Junho, Sasaki Shinya	4. 巻 83
2. 論文標題 Analysis of microstructure and surface morphology of a-C:H films deposited on a trench target	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Diamond and Related Materials	6. 最初と最後の頁 1~7
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.diamond.2018.01.009	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Hirata Yuki, Kitamura Kanju, Ishikawa Takumi, Choi Junho	4. 巻 125
2. 論文標題 Effect of precursor gas on the structure and mechanical properties of hydrogenated amorphous carbon films deposited on a trench sidewall	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 065306 ~ 065306
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/1.5080471	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計19件 (うち招待講演 3件 / うち国際学会 5件)

1. 発表者名 石川功, 崔峻豪
2. 発表標題 大気環境下におけるa-C:H膜の摩擦特性 : a-C:H膜の水分子吸着特性と多分子吸着モデルによる解析
3. 学会等名 トライボロジー会議2019春東京
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 米澤知樹, 石川巧, 崔峻豪
2. 発表標題 a-C:H:F膜の摩擦特性に関する研究
3. 学会等名 トライボロジー会議2019春東京
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 近藤龍星, ラマスハミシリハシャ, 清水純, 崔峻豪
2. 発表標題 DLC膜を用いた摩擦発電システムの開発: 接触-分離モードを用いた発電効率の検証
3. 学会等名 トライボロジー会議2019春東京
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 ラマスハミシリハシャ, 近藤龍星, 杭陳, 崔峻豪
2. 発表標題 DLC膜を用いた摩擦発電システムの開発: 横滑りモードにおける耐久性と発電効率
3. 学会等名 トライボロジー会議2019春東京
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 石川功, 崔峻豪
2. 発表標題 大気環境下におけるa-C:H膜の摩擦特性: 摩擦特性における膜の内部構造依存性
3. 学会等名 トライボロジー会議2019春東京
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Jun Shimizu, Shreeharsha Ramaswamy, Junho Choi
2. 発表標題 Study on Amorphous Carbon Coatings as a Dielectric Material for Triboelectric Nanogenerator
3. 学会等名 American Association for Advances in Functional Materials (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 R. Kondo, J. Shimizu, S. H. Ramaswamy, J. Choi
2. 発表標題 Study on Diamond-Like Carbon Coatings as a Dielectric Material for Triboelectric Nanogenerator
3. 学会等名 International Tribology Conference Sendai 2019 (ITC Sendai2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Shreeharsha Ramaswamy, Weihang Chen, Ryusei Kondo, Junho Choi
2. 発表標題 Development of DLC-TENG System: Durability and Efficiency of Sliding Mode TENG
3. 学会等名 International Tribology Conference Sendai 2019 (ITC Sendai2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Takumi Ishikawa, Junho Choi
2. 発表標題 Friction properties of a-C:H films slid against Si ₃ N ₄ ball in the air
3. 学会等名 International Tribology Conference Sendai 2019 (ITC Sendai2019)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 近藤 龍星, Ramaswamy Shreeharsha, Weihang Chen, 清水 純, 崔 俊豪
2. 発表標題 DLC膜を用いた摩擦発電システムの開発：接触-分離モードを用いた発電効率の検証
3. 学会等名 トライボロジー会議2019春 東京
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Ramaswamy Shreeharsha, Weihang Chen, 近藤 龍星, 崔 俊豪
2. 発表標題 DLC膜を用いた摩擦発電システムの開発：横滑りモードにおける耐久性と発電効率
3. 学会等名 トライボロジー会議2019春 東京
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 石川 功, 崔 俊豪
2. 発表標題 大気環境下におけるa-C:H膜の摩擦特性：a-C:H膜の水分子吸着特性と多分子吸着モデルによる解析
3. 学会等名 トライボロジー会議2019春 東京
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 石川 功, 崔 俊豪
2. 発表標題 大気環境下におけるa-C:H膜の摩擦特性：摩擦特性における膜の内部構造依存性
3. 学会等名 トライボロジー会議2019春 東京
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 米澤 知樹, 石川 功, 崔 俊豪
2. 発表標題 a-C:H:F膜の摩擦特性に関する研究
3. 学会等名 トライボロジー会議2019春 東京
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 J. Choi
2. 発表標題 Energy Harvesting Using DLC-Based Triboelectric Nanogenerator
3. 学会等名 30th MRS-J (招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 J. Choi
2. 発表標題 Diamond-like carbon films: saving energy to creating energy
3. 学会等名 3rd Japan-Korea Tribology Symposium (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 S. H. Ramaswamy and J. Choi
2. 発表標題 Diamond-Like Carbon based Triboelectric Nanogenerator for Bearing Applications
3. 学会等名 Korea-Tribology International Symposium (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 S. H. Ramaswamy, R. Kondo, W. Chen, I. Fukushima and J. Choi
2. 発表標題 Development of Highly Durable Sliding Triboelectric Nanogenerator Using Diamond-Like Carbon Films
3. 学会等名 トライボロジー会議2021春東京 (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 ラマスハミシリハシャ, 崔
2. 発表標題 DLC膜を用いた摩擦ナノ発電機のベアリングセンサーとしての応用
3. 学会等名 トライボロジー会議2020秋別府
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔出願〕 計1件

産業財産権の名称 摩擦発電装置	発明者 崔俊豪, Chen Weihang, 清水純	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、特願2018-139544	出願年 2018年	国内・外国の別 国内

〔取得〕 計0件

〔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
研究 分担 者	中尾 節男 (Nakao Setsuo) (60357605)	国立研究開発法人産業技術総合研究所・材料・化学領域・主任研究員 (82626)	

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
---------	---------