

**先端研究助成基金助成金(最先端・次世代研究開発支援プログラム)  
実施状況報告書(平成 25 年度)**

本様式の内容は一般に公表されます

研究課題名	低摩擦機械システムのためのナノ界面最適化技術とその設計論の構築
研究機関・ 部局・職名	東北大学・大学院工学研究科・教授
氏名	足立 幸志

### 1. 当該年度の研究目的

前年度までに開発した実験・解析システム並びにこれまでの成果を踏まえ本プロジェクトの最終目標である以下3つを最終年度の研究目的とした。

#### 【低粘度流体（水）を用いた超低摩擦発現システム】

ブラスト装置、レーザー表面改質装置および表面エネルギーを制御することが可能な水蒸気プラズマ処理装置の独立に制御した表面加工を施すことにより、低粘度流体である水を潤滑剤に、高接触圧力下において0.0001以下の摩擦係数を実現する超低摩擦システムを実現する。

#### 【不活性ガスを用いた超低摩擦発現システム】

0.01以下の低摩擦係数を安定して発現するナノ界面形成に及ぼす大気中水分子及び酸素分子の役割を、In-situ SIMS Tribo-systemを核とした分析により解明し、その結果を基に、不活性ガスに依存しない大気中超低摩擦発現システムを実現する。

#### 【真空中低摩擦発現システム（トライボコーティング<sup>®</sup> 潤滑法を用いた低摩擦発現システム）】

二硫化モリブデン含有DLC膜により発現する低摩擦機構の解明に基づき、新たに導入したハイブリッドコーティング成膜装置の成膜条件制御により、真空中および大気中において摩擦を低減させ得る表面層を創製する。

### 2. 研究の実施状況

#### 【低粘度流体（水）を用いた超低摩擦発現システム】

アルミナ粒子のブラスト法により形成したマイクロメートルレベルの凹部とナノメートルレベルの粗さを有するプラトー表面により、水中高荷重下において0.0001以下の摩擦係数を発現することを明らかにした。さらに、新たに導入したピコ秒レーザーを用いたマイクロメートルレベルの凹部と、ナノメートルレベルの粗さを有するプラトー表面形成のための指針を得るとともに、マイクロメートル及びナノメートルサイズの表面テクスチャを混在させたマルチテクスチャリングが、従来の均一なテクスチャリングでは実現不可能な低摩擦係数と

高い臨界荷重が発現し得る機構を明らかにした。

【不活性ガスを用いた超低摩擦発現システム】

大気中高温環境下において0.01オーダの低摩擦係数が発現する現象に着目し、その場に存在する水分子と酸素分子の影響を中心に低摩擦発現機構の解析を行った。その結果、雰囲気中に存在する水が乖離した水素基及び水酸基の摩擦表面への終端、ならびに摩擦表面に形成される10-20nm厚さの炭素を主成分とするナノ界面が低摩擦発現の必要条件であることを明らかにした。さらにこの結果を基に新たに創製した炭素系硬質薄膜において、不活性ガスを要しない大気中40-150°Cの温度範囲において、0.01オーダの低摩擦係数の発現に成功した。

【真空中低摩擦発現システム（トライボコーティング`潤滑法を用いた低摩擦発現システム）】

高周波プラズマ CVD 法および PVD マグネトロンスパッタリング法を併用したハイブリッド成膜装置にて、二硫化モリブデン (MoS<sub>2</sub>) の含有量を制御した二硫化モリブデン含有ダイヤモンドライクカーボン (MoS<sub>2</sub>-DLC) 膜を創製し、真空中のみならず乾燥窒素、酸素環境下においても 0.03-0.07 程度の低摩擦係数を発現させ得ることに成功した。

3. 研究発表等

<p>雑誌論文</p> <p>計 3 件</p>	<p>(掲載済み一査読有り) 計 3 件</p> <p>Pengfei Wang, Masaaki Hirose, Yoshinobu Suzuki, Koshi Adachi, Carbon tribo-layer for super-low friction of amorphous carbon nitride coatings in inert gas environments, Surface &amp; Coatings Technology, 221 (2013) 163-172.</p> <p>Takanori Takeno, Hayato Saito, Minoru Goto, Julien Fontaine, Hiroyuki Miki, Michel Belin, Toshiyuki Takagi, Koshi Adachi, Deposition, structure and tribological behavior of silver-carbonnanocomposite coatings, Diamond &amp; Related Materials, 39 (2013)20-26.</p> <p>Pengfei Wang, Takanori Takeno, Julien Fontaine, Masami Aono, Koshi Adachi, Hiroyuki Miki, Toshiyuki Takagi, Effects of substrate bias voltage and target sputtering power on the structural and tribological properties of carbon nitride coatings, Materials Chemistry and Physics, 145, 3(2014) 434-440.</p> <p>(掲載済み一査読無し) 計 0 件</p> <p>(未掲載) 計 0 件</p>
<p>会議発表</p> <p>計 32 件</p>	<p>専門家向け 計 30 件</p> <p>足立幸志, 高機能ナノ界面による機械システムイノベーション, 仙台, 2013年4月19日, 精密工学会東北支部特別講演会, 精密工学会東北支部.</p> <p>T. Takeno, H. Saito, M. Goto, J. Fontaine, H. Miki, K. Adachi, T. Takagi, Silver-containing Diamond-like Nanocomposite Coatings for Electrically Conductive Triboelements, Singapore, 2013年5月19-23日, New Diamond and Nano Carbon Conference.</p> <p>佐藤寛是, 神田航希, 金嶋恵一郎, 宮越貴之, 北野智哉, 金箱秀樹, 足立幸志, 補助人工心臓用メカニカルシールの摩擦特性に及ぼす摺動材温度の影響, 東京, 2013年5月20-22日, トライボロジー会議 2013 春 東京, 日本トライボロジー学会.</p> <p>神田航希, 佐藤寛是, 金嶋恵一郎, 宮越貴之, 北野智哉, 金箱秀樹, 足立幸志, 補助人工心臓用メカニカルシールの密封特性, 東京, 2013年5月20-22日, トライボロジー会議 2013 春 東京, 日本トライボロジー学会.</p> <p>佐藤航, 竹野貴法, 足立幸志, 炭素繊維強化プラスチックを用いた低摩擦システムのためのなじみ制御, 東京, 2013年5月20-22日, トライボロジー会議 2013 春 東京, 日本トライボロジー学会.</p> <p>Koki Kanda, Hirotsuna Sato, Keiichiro Kaneshima, Takayuki, Miyakoshi, Tomoya Kitano, Hideki Kanebako and</p>

	<p>Koshi Adachi, Protein Adsorption onto Silicon Carbide and Carbon, Busan, Korea, 2013年5月23-24日, 5th International Conference on Manufacturing, Machine Design and Tribology (ICMDT 2013) .</p> <p>足立幸志, セラミックスを用いた水潤滑システムの可能性, 東京, 2013年6月20日, セミナー: 水潤滑技術の開発動向とその特性および評価, 産業科学システムズ.</p> <p>Takanori Takeno, Satoshi Yoshida, Kazuyoshi Nishigaki, Hiroyuki, Miki, Toshiyuki Takagi, Koshi Adachi, MoS<sub>2</sub>-DLC Nanocomposite Solid Lubricant Coated by a PECVD-PVD Hybrid Deposition Method, Torino, Italy, 2013年9月8-12日, 5th World Tribology Congress 2013.</p> <p>Wataru Sato, Takanori Takeno, Koshi Adachi, Low Friction System Using Carbon Fiber Reinforced Plastics, Torino, Italy, 2013年9月8-12日, 5th World Tribology Congress 2013.</p> <p>Yuta Nishikawa, Koji Noguchi, Takanori Takeno, Koshi Adachi, Surface Texture to Improve Friction Properties by Forming Smoother Surface on Silicon-based Ceramics in Water, Torino, Italy, 2013年9月8-12日, 5th World Tribology Congress 2013.</p> <p>Koshi Adachi, Nanointerface for Superior Tribological Properties of Silicon Carbide in Water, Torino, Italy, 2013年9月8-12日, 5th World Tribology Congress 2013.</p> <p>Naohiro Yamada, Kyosuke Sato, Takanori Takeno, Koshi Adachi, Effect of Relative Humidity on Super-low Friction of Carbon Nitride Coatings in N<sub>2</sub> Gas Environment, Torino, Italy, 2013年9月8-12日, 5th World Tribology Congress 2013.</p> <p>Seiichiro Sato, Shandan Bai, Takeshi Ishikawa, Yuji Higuchi, Nobuki Ozawa, Koshi Adachi, Momoji Kubo, First-Principles and Tight-Binding Quantum Chemical Molecular Dynamics Studies for Low Friction Mechanism of Carbon Nitride Coatings, Torino, Italy, 2013年9月8-12日, 5th World Tribology Congress 2013.</p> <p>Shandan Bai, Seiichiro Sato, Takeshi Ishikawa, Yuji Higuchi, Nobuki Ozawa, Koshi Adachi, Jean Michel Martin, Momoji Kubo, Ultralow Friction of H and F-terminated DLC Films under UHV. A Computational Study, Torino, Italy, 2013年9月8-12日, 5th World Tribology Congress 2013.</p> <p>Koki Kanda, Hirotsuna Sato, Keiichiro Kaneshima, Takayuki Miyakoshi, Tomoya Kitano, Hideki Kanebako, Koshi Adachi, Sealing Properties of Mechanical Seal for Ventricular Assist Device, Torino, Italy, 2013年9月8-12日, 5th World Tribology Congress 2013.</p> <p>Hirotsuna Sato, Koki Kanda, Keiichiro Kaneshima, Takayuki Miyakoshi, Tomoya Kitano, Hideki Kanebako, Koshi Adachi, Friction Properties of Mechanical Seal for Ventricular Assist Device, Torino, Italy, 2013年9月8-12日, 5th World Tribology Congress 2013.</p> <p>Takumi Matsuda, Kenichi Sugiyama, Hiroshi Yakuwa, Koshi Adachi, Wear Modes of Resin Materials in Micro Scale Abrasion Test, Torino, Italy, 2013年9月8-12日, 5th World Tribology Congress 2013.</p> <p>Kosuke Ito, Koji Matsumoto, Takanori Takeno, Junichi Takaku, Koshi Adachi, The Effect of Pre-sliding in Air on the Tribological Properties of DLC/Cr-DLC Bi-gradient Coating against Stainless Steel in Vacuum, Torino, Italy, 2013年9月8-12日, 5th World Tribology Congress 2013.</p> <p>渡友美, 山田脩裕, 佐藤恭輔, 竹野貴法, 足立幸志, 高温環境下における炭素系硬質薄膜を用いた低摩擦システムに関する研究, 盛岡, 2013年9月20日, 日本機械学会東北支部第49期秋季講演会.</p> <p>Koshi Adachi, Formation of Nanointerface for Super-low Friction by Surface Texturing, Daegu, Korea, 2013年9月28日, The 12th International Symposium on High Performance of Tribosystem.</p> <p>Koshi Adachi, Creation of nanointerface for super-low friction system with carbon-based coatings, Sendai, 2013年10月7日, GRENE &amp; TIMT Joint International Symposium on Tribology.</p> <p>足立幸志, 超低摩擦のためのナノ界面創成, 福岡, 2013年10月23-25日, トライボロジー会議2013秋福岡, 日本トライボロジー学会.</p> <p>神田航希, 佐藤寛是, 金嶋恵一郎, 宮越貴之, 北野智哉, 金箱秀樹, 足立幸志, 血液用メカニカルシールの密封機構, 福岡, 2013年10月23-25日, トライボロジー会議2013秋福岡, 日本トライボロジー学会.</p> <p>小林康彦, 佐藤誠一, 白珊丹, 樋口祐次, 尾澤伸樹, 足立幸志, 久保百司, 第一原理分子動力学法及び量子分子動力学法による炭化ケイ素の水潤滑機構に関する研究, 福岡, 2013年10月23-25日, トライボロジー会議2013秋福岡, 日本トライボロジー学会.</p> <p>佐藤誠一, 小林康彦, 白珊丹, 樋口祐次, 尾澤伸樹, 足立幸志, 久保百司, 計算科学手法による窒</p>
--	---

様式19 別紙1

	<p>化炭素膜界面の低摩擦機構に関する研究, 福岡, 2013年10月23-25日, トライボロジー会議2013 秋福岡, 日本トライボロジー学会.</p> <p>足立幸志, 高機能ナノ界面による機械システムイノベーション-, 浜松, 2013年10月31日, 先端精密技術研究会, 浜松地域イノベーション推進機構.</p> <p>山田脩裕, 竹野貴法, 足立幸志, 高湿度窒素ガス環境下における炭素系硬質薄膜の低摩擦発現に関する研究, 仙台, 2013年11月5-7日, 第5回マイクロ・ナノ工学シンポジウム.</p> <p>権田崇大, 黄海, 竹野貴法, 足立幸志, マイクロ表面テクスチャによる表面弾性波モータの駆動力の向上, 仙台, 2013年11月5-7日, 第5回マイクロ・ナノ工学シンポジウム.</p> <p>神田航希, 佐藤寛是, 金嶋恵一郎, 宮越貴之, 北野智哉, 金箱秀樹, 足立幸志, 血液用メカニカルシールに発生する摩擦力の安定化に関する研究, 仙台, 2013年11月5-7日, 第5回マイクロ・ナノ工学シンポジウム.</p> <p>足立幸志, 低摩擦システムのためのナノ界面最適化技術, 仙台, 2014年1月22日, 第5回ナノテク・低炭素化材料技術シンポジウム.</p> <p>一般向け 計2件</p> <p>足立幸志, 摩擦へ挑戦-快適な生活と快適な環境を創る低摩擦技術-, 仙台, 2013年7月30日, 東北大学機械系オープンキャンパス2013-オープン講義.</p> <p>足立幸志, もし摩擦をゼロに出来たら~人と地球に優しい機械をつくる~, 仙台, 2013年8月25日, 東北大学市民講座 未来をつくる 東北大学機械系の若手研究者の挑戦.</p>
<p>図書 計1件</p>	<p>佐々木信也, 志摩政幸, 野口昭治, 平山朋子, 地引達弘, 足立幸志, 三宅晃司, はじめてのトライボロジー, 講談社, (2013), 247. (105-125, 執筆分担), ISBN978-4-06-156522-7.</p>
<p>産業財産権 出願・取得状況 計0件</p>	<p>(取得済み) 計0件 (出願中) 計0件</p>
<p>Webページ (URL)</p>	<p>東北大学 足立研究室 <a href="http://www.tribo.mech.tohoku.ac.jp/">http://www.tribo.mech.tohoku.ac.jp/</a> 市民講座:未来をつくる 東北大学機械系の若手研究者の挑戦 <a href="http://www.pfsl.mech.tohoku.ac.jp/next2013/">http://www.pfsl.mech.tohoku.ac.jp/next2013/</a> <a href="http://cat-vnet.tv/movie/tu_2013_summer/001_01.html">http://cat-vnet.tv/movie/tu_2013_summer/001_01.html</a></p>
<p>国民との科学・技術対話の実施状況</p>	<p>世界をリードする東北大学機械系の若手研究者が目指す未来社会 もし摩擦をゼロに出来たら~人と地球にやさしい機械をつくる~ 2013年8月25日, せんだいメディアテーク, 一般市民, 70人 本プログラムにおける研究の背景, 目標を中心に人と地球にやさしい機械を創るための低摩擦技術について紹介した. <a href="http://www.pfsl.mech.tohoku.ac.jp/next2013/">http://www.pfsl.mech.tohoku.ac.jp/next2013/</a> <a href="http://cat-vnet.tv/movie/tu_2013_summer/001_01.html">http://cat-vnet.tv/movie/tu_2013_summer/001_01.html</a></p>
<p>新聞・一般雑誌等掲載 計1件</p>	<p>GDPの3%が「消える」摩擦損失を低減する研究, 選択, 7(2013)90-91.</p>
<p>その他</p>	

4. その他特記事項

特にありません。

## 実施状況報告書(平成25年度) 助成金の執行状況

本様式の内容は一般に公表されません

## 1. 助成金の受領状況(累計)

(単位:円)

	①交付決定額	②既受領額 (前年度迄の 累計)	③当該年度受 領額	④(=①-②- ③)未受領額	既返還額(前 年度迄の累 計)
直接経費	126,000,000	109,600,000	16,400,000	0	0
間接経費	37,800,000	32,880,000	4,920,000	0	0
合計	163,800,000	142,480,000	21,320,000	0	0

## 2. 当該年度の収支状況

(単位:円)

	①前年度未執 行額	②当該年度受 領額	③当該年度受 取利息等額 (未収利息を除 く)	④(=①+②+ ③)当該年度 合計収入	⑤当該年度執 行額	⑥(=④-⑤) 当該年度未執 行額	当該年度返還 額
直接経費	49,967,848	16,400,000	0	66,367,848	66,242,300	125,548	0
間接経費	0	4,920,000	0	4,920,000	4,882,335	37,665	0
合計	49,967,848	21,320,000	0	71,287,848	71,124,635	163,213	0

## 3. 当該年度の執行額内訳

(単位:円)

	金額	備考
物品費	62,124,656	表面改質装置, 炭化ケイ素試験片等
旅費	2,119,560	研究成果発表旅費(世界トライボロジー会議)等
謝金・人件費等	0	
その他	1,998,084	会議参加登録料, 透過型電子顕微鏡分析費等
直接経費計	66,242,300	
間接経費計	4,882,335	
合計	71,124,635	

## 4. 当該年度の主な購入物品(1品又は1組若しくは1式の価格が50万円以上のもの)

物品名	仕様・型・性能 等	数量	単価 (単位:円)	金額 (単位:円)	納入 年月日	設置研究機関 名
循環式液体冷却装置(水槽内蔵型)	オリオン機械(株)製 RKE2200B1-	1	1,171,065	1,171,065	2013/6/24	東北大学
摩擦試験機導入ユニット	北野精機(株)製 55010163-0	1	1,499,925	1,499,925	2013/8/20	東北大学
E-SWEEP用150μmスキャナ	株式会社サードサービズ製 FS-150E	1	1,155,000	1,155,000	2013/9/4	東北大学
超短パルスレーザー表面改質装置	キヤノンマシナリー(株)製	1	49,875,000	49,875,000	2013/9/30	東北大学
ターボ分子ドラッグポンプ	(独)PFEIFFER VACUUM社製 Hipace300	1	1,029,000	1,029,000	2013/12/12	東北大学
SEM導入用摩擦試験機	北野精機(株)製 型番なし	1	2,992,500	2,992,500	2014/2/17	東北大学