

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 15 日現在

機関番号：13904

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2014～2016

課題番号：26630112

研究課題名（和文）スーパートライボ軸受けを持つ小型フライホイールバッテリーの可能性探究

研究課題名（英文）Feasibility study of tribological coating on bearing for small flywheel battery

研究代表者

滝川 浩史（Takikawa, Hirofumi）

豊橋技術科学大学・工学（系）研究科（研究院）・教授

研究者番号：90226952

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,000,000円

研究成果の概要（和文）：小型フライホイールバッテリーに必要な超低摩擦軸受けを実現する方策のひとつとして、既存軸受け材への超低摩擦・超低摩擦保護膜コーティングが考えられる。軟質から硬質まで異なる膜質を持つアモルファスカーボン（DLC）膜を形成する技術を確立し、用途に応じた膜質・特性の選択を可能にした。加えて、多結晶ダイヤモンド膜上にDLCを成膜したDLC/ダイヤモンド積層膜や、膜質の異なるDLC膜を積層した多層DLC膜を作製し、これら積層膜が、単層膜を超える高い耐摩擦摩耗性と低い相手材攻撃性を有することを明らかにした。好適なコーティング保護膜の選択により、軸受けのトライボ特性向上が見込まれる。

研究成果の概要（英文）：The coating of ultra-low wear and friction film to existing bearing surface is one of the approaches to realize ultra-low wear and friction bearings required for small flywheel batteries. We established a technology to form amorphous carbon (DLC) films with different film quality, and made it possible to select film quality and characteristics according to the application. In addition, a laminated DLC/diamond film by depositing a DLC film on a polycrystalline diamond film and a multilayered DLC film consisted of DLC film layers with different film quality were fabricated, and these laminated films had low resistance of frictional wear and low aggressiveness to an opposite material compared with single-layer films. Improvement of tribology characteristics on bearings can be expected by selecting and using a suitable protective film

研究分野：プラズマ応用工学／薄膜／ナノ材料合成・表面処理／再生可能エネルギー

キーワード：トライボマテリアル、ダイヤモンドライクカーボン膜、フィルタードアーク蒸着、積層化、軸受け、フライホイール、耐摩耗性、相手材攻撃性

1. 研究開始当初の背景

不安定な自然エネルギーを電気エネルギーとして有効に利用するためには、蓄電デバイス・システムが必要である。フライホイールバッテリーはその有力なデバイス・システムのひとつであり、実用化に向けた要素技術の開発・確立が求められている。

フライホイールバッテリーシステムにおける損失は、風損、鉄損・銅損、軸受け損である。フライホイールを真空中に配置すれば、風損の影響を低減できる。また、鉄損・銅損は回転機(発電機・モータ)特性に起因する。従って、解決すべき主要な損失は軸受け損である。

軸受け損を低減するには、①耐摩耗性・低摩擦係数素材の軸受け、②同様な機能の保護膜を形成した軸受け、③磁気浮上軸受けなどの使用が考えられる。①としては、炭素材軸受けや潤滑油含浸フェルト軸受けなどがあるが、ダスト発生や油切れが問題となる。③に関しては、大型大重量フライホイールの場合に、多軸磁気制御軸受けと組み合わせ、軸ずれ・変動も制御する方式として有効である。しかし、磁気回路やセンサーなどハードの装置組み込みと制御ソフトシステムが必要であり、小型フライホイールバッテリーへの採用は不向きである。自然エネルギー由来の電気エネルギーを蓄電するには、その発電エリアにおいて蓄電可能な小型のフライホイールバッテリーが有効となる。②の保護膜の利用は、古くから存在するアイデアであるが、これまで十分な性能を有する保護膜は示されていない。

ダイヤモンドライクカーボン(DLC)膜は、水素と炭素から成るアモルファスカーボン膜である。膜中の水素含有量や結合構造比によって膜質が異なり、硬質かつ低摩擦係数を有する。DLC膜の中でも、水素量が少なく硬い膜をテトラアモルファスカーボン(ta-C)膜と呼ぶ。また、水素量が少なく軟質の膜はa-C膜、水素量が多い膜に対してはta-C:H膜またはa-C:H膜と分類する。

2. 研究の目的

本研究では、小型フライホイールバッテリーの実現に向け、主要部品の一つである軸受けに関し、超低摩擦摺動膜であるta-C膜を用いたスーパーライボ軸受けの可能性を実験的および学術的に探ることを目的とした。

3. 研究の方法

(1) 水素フリーおよび水素化DLC膜の形成

DLC膜の形成には、T字フィルタードアーク蒸着(T-FAD)装置を用いた。T-FADでは、グラファイト陰極をアーク放電により蒸発させ、電磁誘導で輸送したプラズマビームを基板へ照射し、DLCを成膜する。アーク放電を用いると、ドロップレットと呼ばれる中性粒子が生成され、これがDLC膜中に含まれると、膜質が著しく低下する。T-FADでは、

プラズマ生成領域と成膜チャンバーを90°直角の位置に配することで、このドロップレットの膜中への取り込みを極めて少なくしている。T-FADを使用することで、高品質なta-C膜が得られる。

従来のT-FAD装置を用いた基板バイアス制御によるta-C膜とa-C膜の作り分けに加え、本研究では、T-FAD成膜チャンバーへ水素ガスまたは炭化水素ガスを導入し、ta-C:H膜およびa-C:H膜を作製した。

(2) 膜質および膜特性の評価

形成したDLC膜の膜質分析では、ラマン分光分析による膜構造解析、X線反射率法による膜密度の算出、ナノインデンテーション法による機械的硬さ測定、ラザフォード後方散乱/弾性反跳検出分析による水素含有量の測定などを行った。本報告では、その一部を示す。

膜特性では、トライボ特性として相手材攻撃性と耐摩擦摩耗性について、球面研磨法を用いて評価した。球面研磨法とは、鋼球と試料の間にダイヤモンドスラリーを滴下し、鋼球により試料表面を研磨する方法である。研磨後の鋼球表面や研磨痕に、試料の特性が反映される。

4. 研究成果

(1) 膜質の異なるDLC膜の形成

基板バイアス電圧を-100Vとし、チャンバー内へ異なるガス種を導入し形成したDLC膜のラマンスペクトルを図1に示す。No gasは、ガス導入なしでのDLC成膜であり、横の数字は膜厚を表す。また、ラマンスペクトル分析から得られた各DLC膜の I_D/I_G 比も図中に示した。 I_D/I_G 比が小さいDLC膜ほど、より硬質である。

ラマン分光分析および膜密度、ナノインデンテーション硬さ、膜中水素含有量から、チャンバー導入ガス種による次のような特徴が得られた。水素ガス導入では水素含有量の少ない硬質なDLC膜(ta-C:H)、アセチレンガス導入では成膜速度の速い水素含有DLC膜(a-C:H)、エチレンガス導入では水素含有量の多いDLC膜(a-C:H~ポリマーライク

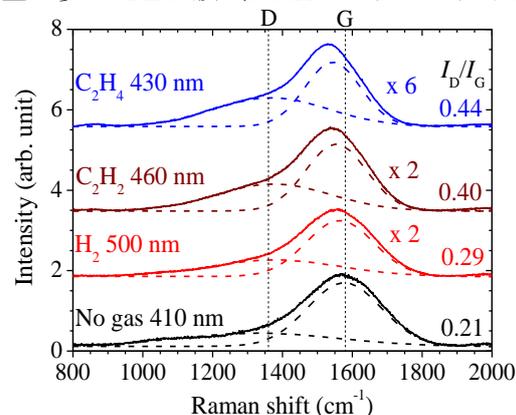


図1 水素含有量の異なるDLC膜のラマンスペクトル

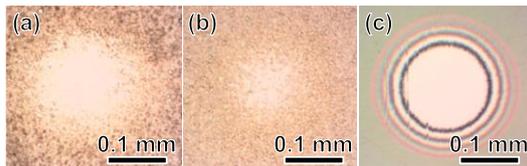


図2 球面研磨試験後の (a) ダイヤモンド、(b) ta-C/ダイヤモンド、(c) ta-C 膜における研磨痕

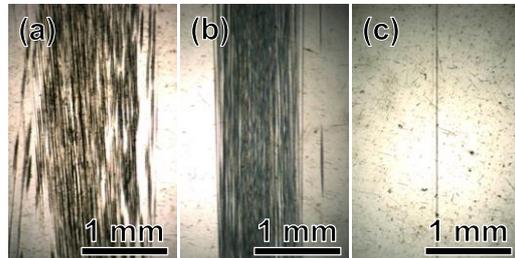


図3 (a) ダイヤモンド、(b) ta-C/ダイヤモンド、(c) ta-C 膜に対する球面研磨試験後の鋼球表面

DLC) となった。チャンバーへの導入ガス種を変えることで、用途に応じた DLC 膜の作り分けが可能となった。

(2) ダイヤモンド上 DLC 膜のトライボ特性

多結晶ダイヤモンドコーティングは、優れた耐摩耗性保護膜として、切削工具などに使用されている。図2 (a) に、球面研磨試験により削った各薄膜試料の研磨痕を示す。球面研磨試験では、多結晶ダイヤモンド上に ta-C 膜を成膜した積層膜が最も高い耐摩耗性を示した。これは、ダイヤモンド薄膜の硬さに ta-C 膜の摺動性が付与され、ダイヤモンド単層膜より高い耐摩耗性を得られたと考えられる。

図3 には、各試料の球面研磨試験に用いた鋼球の表面観察写真を示す。図3 (a) および図3 (b) に比べ、図3 (c) では鋼球表面にほとんど傷が見られなかった。これは、ta-C 膜の高い平滑性および摺動性によるものである。多結晶ダイヤモンドを用いたことにより、試料表面の平滑性が失われ、図3 (a) および図3 (b) では鋼球表面に多数の傷が見られた。しかし、図3 (a) に対し、図3 (b) に見られる傷は、一様な方向を示し、ばらつきが少ない。これは、ta-C 膜コーティングにより、多結晶ダイヤモンド表面の凹凸形状緩和も含めた相手材攻撃性の減少を示している。

多結晶ダイヤモンド薄膜上への ta-C 成膜により、高いトライボ特性を示すコーティング薄膜が得られた。

(3) DLC 多層膜による摩耗特性の向上

DLC 膜の膜特性をさらに向上させるために、多層構造膜を形成した。ta-C 膜と窒素含有 DLC (N-DLC) 膜をそれぞれ1層とし、交互に4層または8層まで積層させた多層構造 DLC 膜とした。最表面層は ta-C であり、N-DLC 膜は水素含有 DLC 膜の形成と同様に

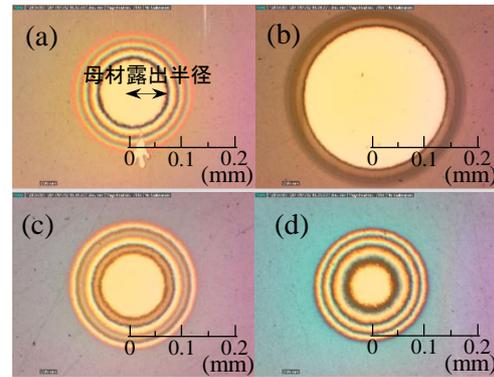


図4 球面研磨試験後の (a) ta-C 単層、(b) N-DLC 単層、(c) 4層、(d) 8層多層膜における研磨痕

T-FAD 装置を用い、チャンバーへ窒素ガスを導入することで形成した。

ナノインデンテーション硬さ測定では、ta-C 膜に比べ、N-DLC 膜の硬さは半分以下であった。4層と8層の多層 DLC 膜は、ta-C 膜と N-DLC 膜の中間程度の硬さを示した。

図4 に、球面研磨試験によって得られた単層 DLC 膜と多層 DLC 膜上の研磨痕の写真を示す。図4 (b) に示す軟質な単層 N-DLC 膜は、母材露出半径が長く、大きく摩耗していた。それに対し、図4 (a) の単層 ta-C 膜と図4 (c) の4層 DLC 膜は、同程度の耐摩耗性を示した。さらに、図4 (d) に示す8層 DLC 膜は、最も母材露出半径が短く、高い耐摩耗性を示した。硬質層と軟質層の組み合わせにより、DLC 薄膜における耐摩擦摩耗性が向上した。

本研究成果は、好適な表面薄膜コーティングにより、軸受けトライボ特性が向上する可能性があることを明らかにした。特に、硬質アモルファスカーボン膜である DLC 膜は、その膜質の組み合わせにより、従来の単層膜以上に優れたトライボ特性を示した。このような超低摩擦摺動膜は、小型フライホイールバッテリーを含めた次世代エネルギーデバイスシステムの実現を大きく近づけるものであると考える。また、超低摩擦摺動膜を用いた表面コーティング技術は、今後の省エネルギー社会に大きく貢献するものと期待される。

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 4 件)

- (1) Y. Fujii, T. Imai, Y. Miyamoto, N. Ueda, M. Hosoo, T. Harigai, Y. Suda, H. Takikawa, H. Tanoue, M. Kamiya, M. Taki, Y. Hasegawa, N. Tsuji, S. Kaneko, Dry machining of metal using an engraving cutter coated with a droplet-free ta-C film prepared via a T-shap, Surface & Coatings Technology, 査読有, Vol.307, pp.1029-1033, 2016, DOI:10.1016/j.surfcoat.2016.07.037
- (2) S. Kiyohara, S. Yoshida, I. Ishikawa, T. Harigai, H. Takikawa, M. Watanabe, Y. Sugiyama, Y. Omata, Y. Kurashima, Fabrication of diamond-like carbon emitter patterns by room-temperature curing Nanoimprint Lithography with PDMS molds using polysiloxane, MRS advances, 査読有, vol.1, No.16, pp 1075-1080, 2016, DOI:10.1557/adv.2016.49
- (3) S. Kiyohara, Y. Shimizu, I. Ishikawa, T. Harigai, H. Takikawa, M. Watanabe, Y. Sugiyama, Y. Omata, Y. Kurashima, fabrication of diamond-Like carbon microgears in room-temperature curing Nanoimprint Lithography using ladder-type hydrogen silsesquioxane, MRS advances, 査読有, Vol.1, No.16, pp 1119-1124, 2016, DOI:10.1557/adv.2016.126
- (4) 清原修二, 石川一平, 松田将平, PDMS モールドを用いた室温硬化ナノインプリント法による DLC のナノ加工技術, コンバーテック, 査読無, 492 巻, pp.36-40, 2014

[学会発表] (計 32 件)

- (1) 飯島佑史, 今井貴大, 磯野凌, 針谷達, 須田善行, 滝川浩史, 神谷雅男, 金子智, 國次真輔, 導電性ハードコーティングに向けた DLC および窒化 DLC 膜の積層, 第 64 回応用物理学会春季学術講演会, 2017.03.14-17, パシフィコ横浜 (神奈川県・横浜市)
- (2) 針谷達, 今井貴大, 飯島佑史, 須田善行, 滝川浩史, 神谷雅男, 金子智, 國次真輔, 新部正人, 神田一浩, 水素フリーおよび水素化 DLC 膜の形成と膜質分析, 第 64 回応用物理学会春季学術講演会, 2017.03.14-17, パシフィコ横浜 (神奈川県・横浜市)
- (3) 磯野凌, 針谷達, 飯島佑史, 出貝敏, 須田善行, 滝川浩史, フィルタードパルスアーク蒸着法を用いたタングステンカーバイド膜の作製と分析, 第 135 回表面技術協会講演大会, 2017.3.9-10, 東洋大学 (埼玉県・川崎市)
- (4) Y. Iijima, T. Imai, R. Isono, T. Harigai, Y.

- Suda, H. Takikawa, M. Kamiya, M. Taki, Y. Hasegawa, N. Tsuji, S. Kaneko, S. Kunitsugu, H. Habuchi, S. Kiyohara, M. Ito, S. Yick, A. Bendavid, P. Martin, Fabrication of nitrogen-containing DLC film by filtered arc deposition, ISPlasma2017, 02P83, 2017.3.1-5, 中部大学 (愛知県・春日井市)
- (5) 飯島佑史, 今井貴大, 磯野凌, 針谷達, 須田善行, 滝川浩史, 神谷雅男, 瀧真, 長谷川祐史, 辻信広, 金子智, 國次真輔, サムイック, アヴィベンデイビッド, フィルマーティン, 羽瀨仁恵, PVD-CVD ハイブリッドプロセスによる窒素含有 DLC 膜の形成, 第 77 回応用物理学会秋季学術講演会, 2016.09.13-16, 朱鷺メッセ (新潟県・新潟市)
 - (6) 磯野凌, 針谷達, 飯島佑史, 今井貴大, 山野将史, 須田善行, 滝川浩史, 羽瀨仁恵, フィルタードパルスアーク蒸着法を用いた DLC 膜の作製と分析, 第 77 回応用物理学会秋季学術講演会, 2016.09.13-16, 朱鷺メッセ (新潟県・新潟市)
 - (7) 飯島佑史, 今井貴大, 磯野凌, 針谷達, 須田善行, 滝川浩史, 神谷雅男, 瀧真, 長谷川祐史, 辻信広, 金子智, 國次真輔, 川口雅弘, 羽瀨仁恵, 清原修二, 伊藤未希雄, サムイック, アヴィベンデイビッド, フィルマーチン, T-FAD を用いた窒素含有 DLC 膜の作製, 平成 28 年度電気・電子・情報関係学会東海支部連合大会, 2016.09.12-13, 豊田工業高等専門学校 (愛知県・豊田市)
 - (8) 今井貴大, 飯島佑史, 針谷達, 須田善行, 滝川浩史, 神谷雅男, 瀧真, 長谷川祐史, 辻信広, 金子智, 吉田健太郎, 國次真輔, 川口雅弘, 清原修二, 四戸汐里, 寒河江祐介, 伊藤未希雄, 山田健, T-FAD を用いた DLC:H 膜の PVD-CVD ハイブリッド成膜, 平成 28 年度電気・電子・情報関係学会東海支部連合大会, 2016.09.12-13, 豊田工業高等専門学校 (愛知県・豊田市)
 - (9) 磯野凌, 針谷達, 今井貴大, 山野将史, 須田善行, 滝川浩史, 羽瀨仁恵, フィルタードパルスアーク蒸着装置の放電特性と DLC 膜の形成, 平成 28 年度電気・電子・情報関係学会東海支部連合大会, 2016.09.12-13, 豊田工業高等専門学校 (愛知県・豊田市)
 - (10) 今井貴大, 飯島佑史, 針谷達, 須田善行, 滝川浩史, 神谷雅男, 瀧真, 長谷川祐史, 辻信広, 金子智, 吉田健太郎, 國次真輔, 川口雅弘, 清原修二, 四戸汐里, 寒河江祐介, 伊藤未希雄, 山田健二, 炭素/水素比の異なる雰囲気ガスを導入した T-FAD による ta-C:H および a-C:H の形成, 表面技術協会 (第 134 回講演大会), 2016.09.01-02, 東北大学 (宮城県・仙台市)

- (11) 滝川浩史, T字状磁気フィルタ型真空アーク蒸着装置および高品位DLC膜の開発, トライボロジー会議 2016 春 東京, 2016.5.23-25, 国立オリンピック記念青少年総合センター (東京都・渋谷区)
- (12) 針谷達, 今井貴大, 飯島佑史, 磯野凌, 藤井裕真, 須田善行, 滝川浩史, 神谷雅男, 瀧真, 長谷川祐史, 辻信広, フィルタードアーク蒸着法を用いた他元素添加による機能化DLC膜の形成, 表面技術協会(第133回講演大会), 2016.03.22-23, 早稲田大学 (東京都・新宿区)
- (13) 今井貴大, 藤井裕真, 山野将史, 針谷達, 須田善行, 滝川浩史, 神谷雅男, 瀧真, 長谷川祐史, 辻信広, ta-C/ダイヤモンド膜のカロテスト摩耗試験, 第63回応用物理学会春季学術講演会, 2016.03.19-22, 東京工業大学 (東京都・目黒区)
- (14) S. Kiyohara, S. Yoshida, I. Ishikawa, T. Harigai, H. Takikawa, M. Watanabe, Y. Sugiyama, Y. Omata, Y. Kurashima, Fabrication of diamond-like carbon emitter patterns by room-temperature curing nanoimprint lithography with PDMS molds using polysiloxane, 2015 MRS fall meeting & exhibit, 2015.11.29-12.04, Boston, MA(USA)
- (15) S. Kiyohara, Y. Shimizu, I. Ishikawa, T. Harigai, H. Takikawa, M. Watanabe, Y. Sugiyama, Y. Omata, Y. Kurashima, Fabrication of diamond-like carbon microgears in room-temperature curing nanoimprint lithography using ladder-type hydrogen silsesquioxane, 2015 MRS fall meeting & exhibit, 2015.11.29-12.04, Boston, MA(USA)
- (16) 今井貴大, 藤井裕真, 山野将史, 針谷達, 須田善行, 滝川浩史, 神谷雅男, 瀧真, 長谷川祐史, 辻信広, フィルタードアーク蒸着法を用いたF-DLC膜の形成, 平成27年度電気・電子・情報関係学会東海支部連合大会, 2015.09.28-29, 名古屋工業大学 (愛知県・名古屋市)
- (17) 藤井裕真, 今井貴大, 宮本優, 針谷達, 須田善行, 滝川浩史, 田上英人, 神谷雅男, 瀧真, 長谷川祐史, 辻信広, 金子智, 安井治之, 國次真輔, 川口雅弘, 三浦健一, 成膜温度制御によるフィルタードアーク蒸着DLCの膜質変化, 平成27年度電気・電子・情報関係学会東海支部連合大会, 2015.09.28-29, 名古屋工業大学 (愛知県・名古屋市)
- (18) Y. Fujii, T. Imai, Y. Miyamoto, N. Ueda, M. Hosoo, T. Harigai, Y. Suda, H. Takikawa, H. Tanoue, M. Kamiya, M. Taki, Y. Hasegawa, N. Tsuji, Super DLC coating on cutter for metal nameplates by t-shaped filtered arc deposition, 10th anniversary asian-european international conference on plasma surface engineering (AEPSE2015), 2015.9.20-24, Jeju(Korea)
- (19) S. Kiyohara, I. Ishikawa, Y. Shimizu, S. Yoshida, T. Harigai, H. Takikawa, M. Watanabe, Y. Sugiyama, Y. Omata, Y. Kurashima, Fabrication of diamond-like carbon-based micro/nano device using room-temperature nanoimprint by industry-university collaborative research, the 9th international symposium on advances in technology education, 2015.9.16-17, Nagaoka(Japan)
- (20) 今井貴大, 藤井裕真, 山野将史, 針谷達, 須田善行, 滝川浩史, 神谷雅男, 瀧真, 長谷川祐史, 辻信広, フィルタードアーク蒸着によって形成したフッ素含有ダイヤモンドライクカーボン膜, 第76回応用物理学会秋季学術講演会, 2015.09.13-16, 名古屋国際会議場 (愛知県・名古屋市)
- (21) 藤井裕真, 今井貴大, 宮本優, 針谷達, 須田善行, 滝川浩史, 田上英人, 神谷雅男, 瀧真, 長谷川祐史, 辻信広, 金子智, 安井治之, 國次真輔, 川口雅弘, 三浦健一, フィルタードアーク蒸着DLC膜の100°C近傍の成膜温度依存性, 第76回応用物理学会秋季学術講演会, 2015.09.13-16, 名古屋国際会議場 (愛知県・名古屋市)
- (22) 今井貴大, 藤井裕真, 針谷達, 須田善行, 滝川浩史, 神谷雅男, 瀧真, 長谷川祐史, 辻信広, フィルタードアーク蒸着法によるフッ素含有ダイヤモンドライクカーボン膜の形成, 表面技術協会(第132回講演大会), 2015.09.09-10, 信州大学 (長野県・長野市)
- (23) 清水友人, 清原修二, 石川一平, 針谷達, 滝川浩史, 渡邊雅彦, 杉山嘉也, 小俣有紀子, 倉島優一, ポリジメチルシロキサンを転写材料として用いた室温インプリントによるDLCピットパターンの形成, 精密工学会 2015年度関西地方定期学術講演会, 2015.06.23, 京都工芸繊維大学 (京都府・京都市)
- (24) 吉田健吾, 清原修二, 石川一平, 針谷達, 滝川浩史, 渡邊雅彦, 杉山嘉也, 小俣有紀子, 倉島優一, 凹形状ドットPDMSモールド室温硬化ナノインプリントによるDLCエミッタパターンの形状, 精密工学会 2015年度関西地方定期学術講演会, 2015.06.23, 京都工芸繊維大学 (京都府・京都市)
- (25) Y. Fujii, Y. Miyamoto, Y. Suda, H. Takikawa, H. Tanoue, M. Kamiya, M. Taki, Y. Hasegawa, N. Tsuji, Dry engraving of metal nameplates using cutter with super DLC coat, IS Plasma 2015, 2015.3.27-30, Nagoya (Japan)
- (26) 水光俊介, 藤井裕真, 滝川浩史, 平山朋子, 大西洋, 水素フリー超硬質DLC薄

膜に接する混合有機溶媒の構造*FM-AFMと中性子反射率による解析, 第62回応用物理学会春季学術講演会, 2015.3.11-14, 東海大学(神奈川県・平塚市)

- (27) 藤井裕真, 今井貴大, 宮本優, 須田善行, 滝川浩史, 田上英人, 神谷雅男, 瀧真, 長谷川祐史, 辻信広, 金子智, 安井治之, 國次真輔, 川口雅弘, 三浦健一, フィルタードアーク蒸着法で形成したDLC膜の諸特性, 表面技術協会第131回講演大会, 2015.3.4-6, 関東学院大学(神奈川県・横浜市)
- (28) 藤井裕真, 宮本優, 須田善行, 滝川浩史, 田上英人, 神谷雅男, 瀧真, 長谷川祐史, 辻信広, スーパーDLCコーティングカッターを用いた金属銘板のドライ加工切削, 表面技術協会第130回講演大会, 2014.09.22-23, 京都大学(京都府・京都市)
- (29) 金子智, 松永崇, 池永薫, 伊藤健, 安井学, 堀内崇弘, 安原重雄, 三尋木勝洋, 熊谷正夫, 滝川浩史, 下平英二, 小林昌純, 須藤理枝子, 松田晃史, 吉本護, チタンバッファを用いたシリコン基板上に成長したダイヤモンドライクカーボン, 第75回応用物理学会秋季学術講演会, 2014.09.17-20, 北海道大学(北海道)
- (30) 藤井裕真, 宮本優, 須田善行, 滝川浩史, 田上英人, 神谷雅男, 瀧真, 長谷川祐史, 辻信広, フィルタードアーク蒸着スーパーDLC膜付カッターを用いた種々の金属のドライ切削, 電気・電子・情報関係学会東海支部連合会, 2014.09.08-09, 中京大学(愛知県・名古屋市)
- (31) 吉田捷吾, 清原修二, 石川一平, 滝川浩史, 渡邊雅彦, 杉山嘉也, 小俣有紀子, 倉島優一, PDMS モールド室温硬化ナノインプリントリソグラフィによるDLCドットアレイの作製, 2014年度精密工学会関西地方学術講演会, 2014.7.4, 近畿大学(大阪府・東大阪市)
- (32) 婦木陽介, 清原修二, 石川一平, 滝川浩史, 渡邊雅彦, 杉山嘉也, 小俣有紀子, 倉島優一, はしご型HSQを用いた室温硬化ナノインプリントリソグラフィによるDLCマイクロギヤの開発, 2014年度精密工学会関西地方学術講演会, 2014.7.4, 近畿大学(大阪府・東大阪市)

【学会発表その他: 2017年4件, 2016年9件, 2015年14件, 2014年5件】

〔図書〕(計3件)

- (1) 滝川浩史, フィルタードアーク蒸着装置によりDLCを創る, プラズマ・核融合学会誌, Vol.92, No.6, pp.466-471, 2016
- (2) 滝川浩史, 潤滑通信社, 潤滑経済, T字状フィルタードアーク蒸着装置と高

品質スーパーDLC膜の開発, 2014, 80(pp.6-9)

- (3) 瀧真, 安井治之, 神谷雅男, 滝川浩史, 日本オプトメカトロニクス協会, 光技術コンタクト, レンズ金型用離型膜へのDLCの応用, 2014, 50(15-21)

〔その他〕

ホームページ等
プラズマエネルギーシステム研究室
<http://www.arc.ee.tut.ac.jp/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

滝川浩史 (TAKIKAWA, Hirofumi)
豊橋技術科学大学・工学研究科・教授
研究者番号: 90226952

(2) 研究協力者

清原修二 (KIYOHARA, Syuji)
舞鶴工業高等専門学校・電子制御工学科・准教授
研究者番号: 40299326

金子智 (KANEKO, Satoru)
神奈川県産業技術センター・その他部局等・研究員
研究者番号: 40426359

田上英人 (TANOUE, Hideto)
北九州工業高等専門学校・電気電子工学科・講師
研究者番号: 50580578

須田善行 (SUDA, Yoshiyuki)
豊橋技術科学大学・工学研究科・准教授
研究者番号: 70301942

針谷達 (HARIGAI, Toru)
豊橋技術科学大学・工学研究科・助教
研究者番号: 20757108