

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 5 月 24 日現在

機関番号：11301

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26420672

研究課題名(和文) 一、二層のグラフェンシートがセラミックスに複合化した高効率熱電変換材料の創製

研究課題名(英文) Development of a highly efficiency thermoelectric nanocomposite including one, two layers graphene sheets in a ceramic

研究代表者

干川 康人 (HOSHIKAWA, Yasuto)

東北大学・多元物質科学研究所・助教

研究者番号：90527839

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,900,000円

研究成果の概要(和文)：一、二層グラフェンシートを被覆した無機ナノ粒子はグラフェンとナノ粒子両方の優れた物理的・化学的特性を持った魅力的な原料である。本研究では、CVD法により炭素被覆無機ナノ粒子を調製し、それらを用いることでナノ炭素を複合した機能性材料の創製を行った。タングステン酸から合成された炭素被覆炭化タングステンナノ粒子を用いた炭素-炭化タングステン複合体は高い導電率、負の熱起電力、低い熱伝導率を有し、優れた熱電特性を示した。また、炭素被覆アルミナナノ粒子を用いることで高い導電性とナノ貫通孔を持つカーボンモノリスを作製し、酵素を固定化することで水溶液中で高い酸素還元能を示す酵素電極を開発に成功した。

研究成果の概要(英文)：Inorganic nanoparticles coated by one, two graphene layers are very attractive for a raw material that has excellent physical and chemical properties of both the graphene and the nanoparticle. In this study, carbon-coated ceramic nanoparticles were prepared by CVD method and new functional nanocomposites were developed by using their nanoparticles. A monolithic carbon-tungsten carbide nanocomposite was prepared from carbon-coated tungsten carbide nanoparticles synthesized from tungstic acid by CVD using organic reagent. The monolith has high conductivity (106 S/m), negative thermoelectric power (-15  $\mu$ V/K) and low thermal conductivity (10 W/mK), and shows a good thermoelectric property ( $ZT=0.08 - 0.15$ ) as a result. A carbon monolith with good conductivity ( $4.2 \times 10^3$  S/m) and open-through nanopores was prepared by using carbon-coated alumina nanoparticles. The monolith entrapping enzymes reduces oxygens in a pH 5.0 buffer solution; i.e. it shows functionality as an enzymatic electrode.

研究分野：無機材料化学

キーワード：複合材料・物性 ナノ材料 セラミックス 電気・電子材料 構造・機能材料 炭素材料

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

### 1. 研究開始当初の背景

無機セラミックスナノ粒子はその材料の持つ物性に加えて、そのナノ構造を活かすことでマクロ材料にない機能性発現が期待できる。このようなナノ粒子表面に一、二層分のグラフェンシートを被覆すると、ナノレベルで均一に複合化された炭素-セラミックスナノ材料になり、両者の機能性を活かした応用展開が期待できる。

固体の温度差から電位差を生じるゼーベック効果を利用した熱電材料の変換効率は、 $Z=S^2\sigma/\kappa$  ( $Z$ : 性能指数、 $S$ : ゼーベック係数、 $\sigma$ : 導電率、 $\kappa$ : 熱伝導率) で定義される。 $Z$  が最大となるようなキャリア密度を持ち、更に  $\sigma$  が大きく、かつ  $\kappa$  が小さくなるような材料設計をする必要がある。 $\sigma$  は電子移動度の高い物質を用いることで増加し、 $\kappa$  は材料のナノ構造を工夫することでフォノン散乱を促進させることによって小さくなる。そこで代表者は、グラフェンの高い導電性と、ナノ構造化による熱伝導率の低下を実現した複合材料を創出することで、高いエネルギー変換効率をもった熱電材料になるのではないかと考えた。

これまでに代表者は CVD 法により平均粒子径 14 nm のアルミナナノ粒子の表面にグラフェン数層分の炭素膜を被覆し、放電プラズマ焼結によりモノリス化した材料を作製した。ナノレベルで複合化された炭素-アルミナナノ複合体は高い導電性を有するだけでなく、僅かながら熱起電力も持つことが分かった。このことから絶縁体であるアルミナであっても炭素をナノレベルで複合化することで熱電材料になる可能性が示唆された。しかしアルミナ自体は熱電特性を持たないため、実用レベルでの熱起電力を持つ材料にするのは難しい。炭化タングステン (WC) は高密度 ( $15.63 \text{ g/cm}^3$ ) で半導体としての物性を有するが、熱電材料としての報告は行われていない。そこで申請者は炭素被覆 WC ナノ粒子をモノリス化することで優れた熱電材料を創出できるのではないかと考えた。

### 2. 研究の目的

炭素被覆した無機ナノ粒子を用いることで機能的な炭素-セラミックスナノ複合モノリスを作製する。そのアプローチとしてナノ粒子のサイズや被覆炭素膜の構造の異なる原料を調製し、複合体の内部ナノ構造を変化させることで、優れた機能性の発現する材料創製を試みる。その具体的な取り組みとして、粒子径の異なる炭素被覆 WC ナノ粒子を調製し、これらを用いた炭素-炭化タングステンナノ複合体 (C/WC 複合体) モノリスを作製し、これらの熱電物性を評価する。

また多孔質炭素モノリスは酸化還元酵素

を担持することでバイオセンサーとしての利用が期待されている。そこで本研究では、酵素担持に適した電極構造をもつポーラスカーボンモノリス (CM) を、アルミナナノ粒子を鑄型とした CVD により作製し、このモノリスに酵素を複合化することで優れた酵素電極の開発を試みる。

### 3. 研究の方法

(1) 炭素被覆炭化タングステンナノ粒子の調製: 次の三つの方法により、粒径と炭素層の厚さが異なる炭素被覆炭化タングステン (C/WC) ナノ粒子を調製した。①市販の粒子径 200 nm の WC ナノ粒子に、窒素雰囲気下 900 °C、1~4 h のメタン CVD を行った。②タングステン酸ナノ粉末を窒素雰囲気下 900 °C、4 h の条件でアセトニトリル CVD を行い、得られたナノ粉末を窒素雰囲気下 900 °C、4~8 h の条件でメタン CVD を行った。③タングステン酸ナノ粉末とポリアクリロニトリル (PAN) を反応管内に仕込み (仕込み比 1:3 または 1:5)、窒素雰囲気下 1000 °C、1 h の条件で PAN からの熱分解ガスで CVD を行い、C/WC ナノ粒子を調製した [1]。これらの試料に対して透過型電子顕微鏡 (TEM) 観察、X 線回折 (XRD) 測定を行った。

(2) 炭素-炭化タングステン複合モノリスの作製と熱電特性評価: C/WC 粉末試料を 1500 °C、100 MPa、2 min の条件で放電プラズマ焼結 (SPS) することにより  $\phi 15 \text{ mm}$  のペレットを得た。この C/WC 複合体ペレットを  $11 \times 1.8 \times 1.5 \text{ mm}$  に切り出し研磨した後、熱電特性評価装置 (ZEM-3) により導電率及びゼーベック係数を測定し、また  $\phi 10 \text{ mm}$  のペレットからレーザーフラッシュ法熱物性測定装置により熱伝導率を測定した。

(3) アルミナナノ粒子を鑄型としたポーラスカーボンモノリス酵素電極の開発: 球状アルミナナノ粒子 (平均粒径 50 nm) を 50 MPa 加圧でペレット成形した後、1000 °C の熱処理を行い、その後 800 °C のアセトニトリル CVD で炭素被覆した。その後アルミナ鑄型を水酸化ナトリウム水溶液で溶解除去することで CM 試料を得た。CM への LAC の固定化は、LAC を加えた pH5.0 の緩衝溶液中に CM を 48 h 含浸させる、あるいは CM に +0.65 V の電圧を印加しながら 6 h 含浸させる二通りの方法で行った (試料名はそれぞれ LAC/CM-A、LAC/CM-B とする)。これらの電極試料の酸素還元電流を評価するために、白金対極と Ag/AgCl 参照極を用いた三極式セルによる電気化学測定を行った。

#### 4. 研究成果

##### (1) 炭素被覆炭化タングステンナノ粒子の調製

メタン CVD で炭素被覆した粒子径 200 nm の WC 粒子(方法①)の TEM 観察像(図 1)から、炭素層の厚さは CVD 1, 2, 4 h でそれぞれ 3 層、5 層、6 層と見積もられた。また、他のセラミックス粒子(例えばジルコニア、シリカなど表面活性を持たない物質)に比べて、WC 粒子表面に形成した炭素膜の結晶性は高い。これは WC 表面がグラフェン形成しやすいことを示している。この手法により WC 粒子表面に質の良い炭素膜の被覆を自在にできるようになった。

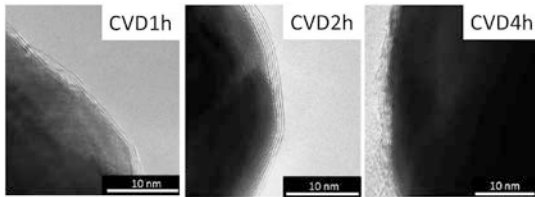


図 1 メタン CVD 後の WC 粒子表面の TEM 像

しかし市販の WC 粒子はナノサイズ(100 nm 以下)のものは入手できないため、現状では方法①ではナノサイズの炭素被覆 WC 粒子を作ることはできない。そこでタングステン酸( $H_2WO_4$ ) ナノ粉末をアセトニトリル CVD で還元することでナノサイズの WC 粒子を作製する方法を検討した(方法②)。まず、4 h のアセトニトリル CVD 後に得られた試料を XRD 測定して分析したところ、WC だけでなく  $W_2N$  の強いピークと、 $W_2C$ , W の小さなピークも確認された(図 2(a))。そこで、アセトニトリル CVD 後に 900 °C のメタン CVD を行ったところ、XRD 測定ピークは WC 単相になった(図 2(b))。

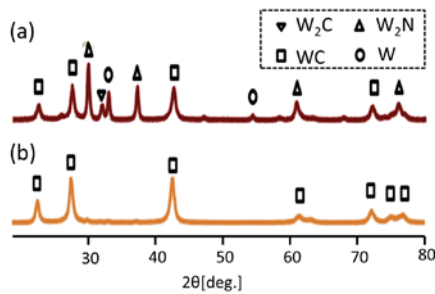


図 2 アセトニトリル CVD の試料(a)及びその後メタン CVD した試料(b)の XRD 測定結果

また、TEM 像から観察されるアセトニトリル CVD 後の粒子サイズは 200~300 nm であったが、メタン CVD することで収縮し、40~200 nm のナノ粒子になることを確認した。これは、メタン CVD を行うことで中間生成物である W,  $W_2N$ ,  $W_2C$  の WC 化が進み、その過程で粒子サイズも縮小していったためと考えられる。またメタン CVD 時間により、WC の周りに形成する炭素層の厚みの制御も可能であり、例えば CVD4, 6, 8 h でそれぞれ 3 層、30~40 層、40~50 層となる

ことが確認された。

$H_2WO_4$  を PAN と熱処理して作製した WC は粒子径が 10~30 nm と小さいものが得られた。被覆炭素は仕込み比 1:3 で 3 層前後、1:5 で最大 24 層となり、PAN の仕込み量が増えるにつれて炭素膜厚が増加する傾向が確認された。

##### (2) 炭素-炭化タングステン複合モノリスの作製と熱電特性評価

熱電材料としての評価は、(1)においてメタン CVD で炭素被覆した粒子径 200 nm の WC 粒子と  $H_2WO_4$  を PAN で還元して得られた粒子径 10~30 nm の WC ナノ粒子の二種類を用いた。熱電素子としての性能は、性能指数 ( $ZT = \sigma \cdot S^2 / \kappa$ ,  $\sigma$ : 導電率、 $S$ : ゼーベック係数、 $\kappa$ : 熱伝導率) で評価される。図 3(a),(b),(c)に WC 粒子、炭素被覆 WC 粒子及び炭素被覆 WC ナノ粒子を SPS 処理でモノリス化することで得られた炭素-炭化タングステン複合体(それぞれ M-WC、M-C/WC、N-C/WC とする)の  $\sigma$ ,  $S$ ,  $\kappa$  の温度変化を示す。各試料の導電率測定から、M-WC に比べて、M-C/WC 及び N-C/WC は導電率が 100 倍以上向上していることがわかる(図 3(a))。これは複合化された炭素膜が内部で効率的な導電パスを形成しているためだと考えられる。また、炭素を複合化した M-C/WC と N-C/WC のゼーベック係数は M-WC 試料と比較して負の方向に増加した(図 3(b))。特に N-C/WC は M-C/WC、M-WC と比較して高いゼーベック係数を持ち、かつ熱伝導率が大幅に低くなった(図 3(c))。

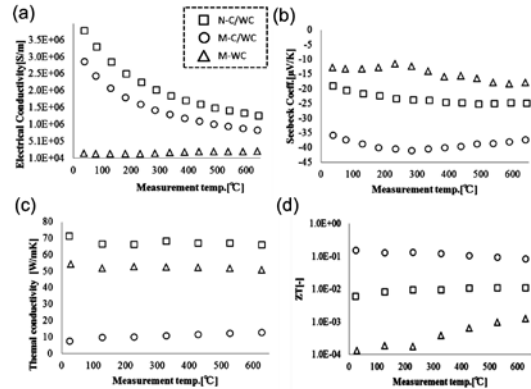


図 3 作製した炭素-炭化タングステン複合モノリス (N-C/WC, M-C/WC) 及び WC モノリス (M-WC) の熱電特性: (a)導電率  $\sigma$ , (b)ゼーベック係数  $S$ , (c)熱伝導率  $\kappa$ , (d)無次元性能指数  $ZT$

この結果は、N-C/WC の原料ナノ粒子のサイズ(10~30 nm)は M-C/WC のそれ(200 nm)に比べて小さく、かつこれらが焼結するときにも被覆炭素によって粒成長が阻害され、その結果、バルク内の WC 結晶がナノサイズ化したことで、ゼーベック係数が量子効果により増加し、さらに粒界面積が増加したことにより粒界面でおきるフォノン散乱効果が増強され、その結果熱伝導率が低下したことで熱電性能が向上したメカニズムが考えられる。各試料の性能指数  $ZT$  を図 3(d)にまとめた。N-C/WC 試料の室温~650°C 間での  $ZT$  値は 0.15~0.083 となり、比較的高い熱電



変換能を持つ熱電素子になることが示された。

### (3) アルミナナノ粒子を鋳型としたポーラスカーボンモノリス酵素電極の開発

CM 試料は亀裂のない独立膜として得られた。四探針法による導電率はおよそ 4,200 S/m であった。内部のナノ構造を確認するために CM 破断面の SEM 像を観察したところ、鋳型のアルミナナノ粒子の大きさを反映した 20~80 nm の球殻状の炭素骨格と、隣接した球殻を連結する 10~20 nm の孔が存在することが確認された。このことから CM の内部には LAC 分子 (6.5×5.5×4.5 nm<sup>3</sup>) が内部まで侵入可能なナノ細孔構造を持っていることが分かる。以上の結果から、作製された CM は高い導電性を持ったナノ多孔体であることが明らかにされた。

LAC/CM-A、LAC/CM-B それぞれの LAC 固定化量はそれぞれ 317 μg/cm<sup>2</sup> 及び 58 μg/cm<sup>2</sup> であった。図 4 に各電極試料のサイクリックボルタノグラム(CV)を示す。電解液中での N<sub>2</sub> ガス流通時と比較して、O<sub>2</sub> ガス流通時では 0.65 V 付近から負電流が増加していることから、LAC による酸素還元反応が起きていることが分かる。CV における O<sub>2</sub> の最大還元電流密度 (0 V) を電極に固定化された LAC 量で割ることで算出した値は、LAC/CM-A 及び LAC/CM-B でそれぞれ -2.5 及び -19.2 A/g となった。この値は各電極に固定化された LAC の酸素還元の触媒反応効率を示している。すなわち、LAC/CM-B 電極は、固定化量は含浸のみの方法の 2 割弱であるにも関わらず、触媒効率は 8 倍近くまで高まっていることが分かる。これは LAC 固定化時に炭素面に +0.65 V の電圧を掛けることで、電極触媒反応が効率的に進行するための LAC の最適な配向制御がなされたためと考えられる。

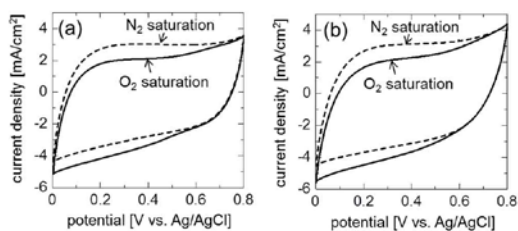


図 4 窒素(N<sub>2</sub>)および酸素(O<sub>2</sub>)流通時における LAC/CM-A(a)及び LAC/CM-B(b)の CV 曲線

#### <引用文献>

[1] T. Onoki, et al., *J. Ceram. Soc. J.*, 122, (2014), 570-573.

#### 5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 7 件)

① Akifumi Nakaya, Yasuto Hoshikawa, Shunya Ito, Nobuya Hiroshiba, Takashi Kyotani, Size-Dependent Filling Behavior of UV-Curable Di(meth)acrylate Resins into Carbon-Coated Anodic Aluminum Oxide

Pores of around 20 nm, *ACS Applide Materials & Interfaces*, 8(44), 30628-30634 (2016) [査読あり]

DOI:10.1021/acsami.6b10561

② 千川康人, 酵素電極の電極面に固定化するラッカーゼの配向制御法, *ぶんせき*, 4, 146 (2016.4) [査読あり]

③ Alberto Castro-Muñiz, Yasuto Hoshikawa, Takatoshi Kasukabe, Hiroshi Komiyama, Takashi Kyotani, Real Understanding of the Nitrogen-Doping Effect on the Electrochemical Performance of Carbon Materials by Using Carbon-Coated Mesoporous Silica as a Model Material, *Langmuir*, 32, 2127-2135 (2016.2) [査読あり] DOI : 10.1021/acs.langmuir.5b03667

④ Alberto Castro-Muñiz, Yasuto Hoshikawa, Hiroshi Komiyama, Wataru Nakayama, Tetsuji Itoh, Takashi Kyotani, Improving the Direct Electron Transfer in Monolithic Bioelectrodes Prepared by Immobilization of FDH Enzyme on Carbon-Coated Anodic Aluminum Oxide Films, *Frontiers in Materials*, 3(10), Article 7 (2016) [査読あり] DOI : 10.3389/fmats.2016.00007

⑤ Yasuto Hoshikawa, Baigang An, Susumu Kashihara, Takafumi Ishii, Mariko Ando, Syuji Fujisawa, Koutarou Hayakawa, Satoshi Hamatani, Hiroshi Yamada, Takashi Kyotani, Analysis of the interaction between rubber polymer and carbon black surfaces by efficient removal of physisorbed polymer from carbon-rubber composites, *Carbon*, 99, 148-156 (2016) [査読あり] DOI:10.1016/j.carbon.2015.12.003

⑥ Panvika Pannopard, Chaiyan Boonyuen, Chompunuch Warakulwit, Yasuto Hoshikawa, Takashi Kyotani, Jumras Limtrakul, Size-tailored synthesis of gold nanoparticles and their facile deposition on AAO-templated carbon nanotubes via electrostatic self-assembly: Application to H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> detection, *Carbon* 94 836-844 (2015). [査読あり] DOI : 10.1016/j.carbon.2015.07.057

⑦ Takafumi Ishii, Susumu Kashihara, Yasuto Hoshikawa, Jun-ichi Ozaki, Naokatsu Kannari, Kazuyuki Takai, Toshiaki Enoki, T. Kyotani, "A quantitative analysis of carbon edge sites and an estimation of graphene sheet size in high-temperature treated, non-porous carbons", *Carbon*, 80, 135-145 (2014). [査読あり] DOI : 10.1016/j.carbon.2014.08.048

[学会発表] (計 21 件)

① Yasuto Hoshikawa, Alberto Castro-Muñiz, Takashi Kyotani, Carbon Coating to Inorganic Nanoporous Materials by CVD Method and Their Electrochemical Applications, 第 43 回炭素材料学会年会

- International Session*, 千葉大学(千葉県千葉市), (2016.12.8) <招待講演>
- ② 川口 玲, 赤羽秀信, 石井孝文, 山田浩, **于川康人**, 京谷 隆, ゴム-フィラー界面構造解析を目的とした炭素被覆アルミナナノ粒子/ゴム複合材料の作製, 第43回炭素材料学会年会, 千葉大学(千葉県千葉市), (2016.12.7-2016.12.9)
- ③ 今井 雄大, Castro- Muñiz Alberto, 野崎功一, 山根祥平, 伊藤徹二, **于川康人**, 京谷隆, ナノポーラスカーボンモノリスを用いた酵素電極の開発, 第43回炭素材料学会年会, 千葉大学(千葉県千葉市), (2016.12.7-2016.12.9)
- ④ **于川康人**, 川口玲, 石井孝文, 京谷 隆, 赤羽秀信, 山田 浩, 表面化学性状の異なる炭素被覆アルミナナノ粒子を用いた ゴム-フィラー界面構造の解析, 学振炭素材料117 委員会第320 回委員会, 東京大学(東京都文京区), (2016.11.11)
- ⑤ Rei Kawaguchi, Hidenobu Akahane, Takafumi Ishii, Hiroshi Yamada, **Yasuto Hoshikawa**, Takashi Kyotani, Preparations of carbon-coated alumina nanoparticles with different surface chemical properties and applications as fillers for rubbers, 平成28年度化学系学協会東北大会, いわき明星大学, (福島県いわき市), (2016.9.10-2016.9.11)
- ⑥ **于川康人**, 今井雄大, 京谷 隆, 野崎功一, 天野良彦, 山根祥平, 伊藤徹二, 酵素担持を目的とした三次元ナノポーラスカーボンモノリスの作製, 日本セラミックス協会第29回秋季シンポジウム, 広島大学(広島県東広島市), (2016.9.7-2016.9.9)
- ⑦ **于川康人**, 川口 玲, 石井孝文, 京谷隆, 赤羽秀信, 山田 浩, 表面化学性状の異なる炭素被覆アルミナナノ粒子の調製とゴム用フィラーとしての応用, 日本セラミックス協会第29回秋季シンポジウム, 広島大学(広島県東広島市), (2016.9.7-2016.9.9)
- ⑧ 川口 玲, 赤羽秀信, 石井孝文, 山田 浩, **于川康人**, 京谷 隆, 表面化学性状の異なる炭素被覆アルミナナノ粒子の調製とゴム用フィラーとしての応用, 第54回炭素材料夏季セミナー, 富士通労働組合総合センター(長野県飯縄町), (2016.8.29-2016.8.30)
- ⑨ **Yasuto Hoshikawa**, Castro- Muñiz Alberto, Hanako Tawata, Takashi Kyotani, Kouichi Nozaki<sup>\*1</sup>, Shohei Yamane<sup>\*1</sup>, Tetsuji Itoh<sup>\*2</sup>, Orientation Control of Laccase Immobilized in a Carbon-coated Anodic Aluminum Oxide Film for Enhancing Electrocatalytic Activity, *Carbon2016*, USA (State College, PA), (2016.7.10-2016.7.15)
- ⑩ Alberto Castro-Muniz, **于川康人**, 粕壁隆敏, 込山 拓, 京谷 隆, Carbon-Coated Mesoporous Silica as a Model Material of Porous Carbons in Electrochemical Applications, 学振117 委員会第317 回委員会, 東京都市大学(東京都世田谷区), (2016.4.15)
- ⑪ **于川康人**, 安 百鋼, 柏原 進, 石井孝文, 安東真理子, 藤澤秀忠, 早川光太郎, 浜谷悟司, 山田 浩, 京谷 隆, Analysis of the interaction between rubber polymer and carbon black surface, 第42回炭素材料学会年会, 関西大学(大阪府吹田市), (2015.12.2-2015.12.4)
- ⑫ 今井雄大, Castro-Muniz Alberto, 野崎功一, 伊藤徹二, **于川康人**, 京谷 隆, アルミナナノ粒子を利用したカーボンモノリスの作製と酵素電極への応用, 第42回炭素材料学会年会, 関西大学(大阪府吹田市), (2015.12.2-2015.12.4)
- ⑬ 菅原 敬, **于川康人**, 宮崎 譲, 小野木伯薫, 京谷 隆, 炭素-炭化タングステンナノ複合体の作製と熱電素子への応用, 第42回炭素材料学会年会, 関西大学(大阪府吹田市), (2015.12.2-2015.12.4)
- ⑭ Alberto Castro-Muniz, **Yasuto Hoshikawa**, Dae-Soo Yang, Hiroto Nishihara, Jong-Sung Yu, Takashi Kyotani, Mesoporous Silica Coated with Nitrogen-Doped Carbon as Model Material for Electrochemical Application, 平成27年度化学系学協会東北大会, 弘前大学(青森県弘前市), (2015.9.12-2015.9.13)
- ⑮ **于川康人**, Castro- Muniz Alberto, 多和田華子, 京谷 隆, 野崎功一, 天野良彦, 山根祥平, 伊藤徹二, ラッカーゼを固定化した炭素被覆ナノポーラスアルミナ膜の作製と酵素電極としての評価, 日本セラミックス協会第28回秋季シンポジウム, 富山大学(富山県富山市), (2015.9.16-2015.9.18)
- ⑯ **于川康人**, Castro-Muñiz Alberto, 込山拓, 京谷隆, CVD 法を用いた無機ナノ材料への均一炭素被覆と電気デバイスへの応用, 第53回炭素材料夏季セミナー, 東京ソラマチ(東京都墨田区), (2015.8.11) <招待講演>
- ⑰ **Yasuto Hoshikawa**, Baigang An, Susumu Kashihara, Takafumi Ishii, Mariko Ando, Syuji Fujisawa, Koutarou Hayakawa, Satoshi Hamatani, Hiroshi Yamada, Takashi Kyotani, Quantitative analysis of rubber polymers chemically bonded to the edge sites of carbon black, *CARBON2015*, German(Dresden), (2015.7.12-2015.7.17)
- ⑱ Alberto Castro-Muñiz, **Yasuto Hoshikawa**, Hiroshi Komiyama, Takashi Kyotani, “Uniform coating of N-doped carbon on pore walls in mesoporous silica for electrochemical applications”, 第41回炭素材料学会年会, 大野城まどかびあ(福

- 岡径大野城市), (2014.12.9)
- ⑱ **干川康人**, Castro-Muñiz Alberto, 込山拓、京谷隆, ” Si ラジカルを利用したメソポーラスシリカの均一炭素被覆”, 2014 年度第 2 回ナノカーボン研究会, 新世代研究所(東京都千代田区), (2014.11.17)
- ⑳ **干川康人**, 野村啓太, 石井孝文, 岡井誠, 赤津隆, 篠田豊, 京谷隆, ” 炭素被覆アルミナナノ粒子を用いた高導電性炭素-アルミナナノ複合体の作製”, 日本セラミックス協会第27回秋季シンポジウム, 鹿児島大学(鹿児島県鹿児島市), (2014.9.10)
- ㉑ Keita Nomura, **Yasuto Hoshikawa**, Takafumi Ishii, Makoto Okai, Takashi Akatsu, Yutaka Shinoda, Takashi Kyotani, “Preparation of carbon-alumina nanocomposite with excellent electrical conductivity from carbon-coated alumina nanoparticles”, Carbon2014, , Korea (Jeju) (2014.7.3)

〔図書〕 (計 0 件)

〔産業財産権〕

○出願状況 (計 0 件)

○取得状況 (計 0 件)

〔その他〕

■ 研究者の公開 Web サイト

①東北大学 多元物質科学研究所 京谷研究室

<http://www.tagen.tohoku.ac.jp/labo/kyotani/>

②東北大学 多元物質科学研究所 高分子・ハイブリッド材料研究センター

<http://www.tagen.tohoku.ac.jp/center/PHyM/research.html>

③物質・デバイス領域共同研究拠点

人・環境と物質をつなぐイノベーション創出ダイナミック・アライアンス 研究者データベース

<http://star-five.net/>

④東北大学 多元物質科学研究所 業績データベース

<http://db.tagen.tohoku.ac.jp/php/db/>

## 6. 研究組織

### (1)研究代表者

干川 康人 (HOSHIKAWA, Yasuto)

東北大学・多元物質科学研究所・助教

研究者番号：90527839