

ナノ材料の優れた特性を解き放つ

早稲田大学基幹理工学部
機械科学・航空宇宙学科
准教授

荒尾与史彦

Arao Yoshibiko



私は2020年に早稲田大学に着任しまして、2023年4月から各務記念材料技術研究所の研究拠点教員（流動研究員）に着任することになりました。専門は材料力学とナノ材料です。ナノ材料の特性を活かして、機械材料の更なる特性アップを目指した研究開発を推進しております。

ナノ材料の代表的な材料というとカーボンナノチューブが挙げられます。カーボンナノチューブは1991年に日本で発見されました。その後、カーボンナノチューブの生産プロセスと応用に関する研究が爆発的に進み、鉄の100倍の強度をもつなど、その驚異的な特性が実証されてきました。しかしながら、高温処理や精製によってコストがかさむことに加え、カーボンナノチューブの塊を解きほぐすことが極めて困難であることも相まって、発見から30年経った現在でもカーボンナノチューブを利用した製品は殆ど見当たらないのが現状です。ナノ材料の低コスト生産プロセスの構築と、ナノ材料の特性が真に発現される材料プロセスの開発が急務となっております。

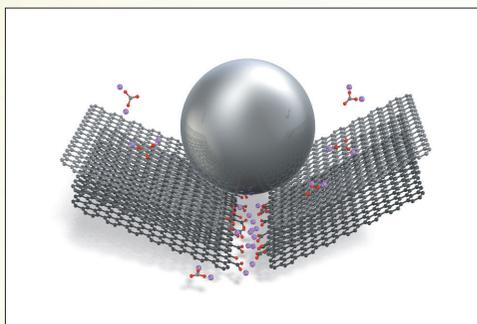


図 ボールによる粉碎処理で生じたエッジ部に塩が吸着。この塩が液中での薄層化を促進

私は同じナノ材料であるグラフェンに着目して研究を行っております。グラフェンはカーボンナノチューブと同等の高強度、高熱伝導特性など優れた材料特性を有しております。グラフェンはカーボンナノチューブ

のように合成する必要はなく、天然資源であるグラファイトを薄層化していくことで作製することもできます。もし低エネルギーでかつシンプルなプロセスで薄層化することができれば、グラフェンの低コスト生産へとつながり、ナノ材料を利用した製品開発が一気に進みます。

我々の研究室では、グラファイトを塩と混合して粉碎処理をすることで、グラファイト端と塩のメカノケミカル反応が促進することを見出し、溶媒中で塩が溶けるがごとくグラファイトを剥離分散させることに成功しております（図参照）。一見、グラフェンの量産化に成功したようにみえますが、溶媒を取り除き、取り扱いやすい粉末状にするとグラフェンの再積層によってグラファイトに戻るものが分かってきました。更にプラスチックとグラフェンを均一に混合できたとしても、プラスチックが溶融している間にグラフェン同士の凝集が進行し、プラスチックの特性がかえって低下することが確認されております。ナノ材料を使いこなすことは一筋縄ではいかず、その特性を真に発現させるためには凝集を防ぐことや、豊富な界面における材料同士の相互作用を高めるなどの工夫が必要となります。ナノ材料の特性を真に解き放つために、斬新なアイデアが必要であり、数多くの試行実験が求められます。

我々の研究室では、ナノ材料の生産プロセスとその応用に関して、学生全体でディスカッションをしてアイデアを出し合い、実験を進めております。目標は大きく、早稲田発のナノ素材を利用した製品を生み出したいと思っております。しかしながら材料に関する多様な視点が必要であり、様々な研究者との交流が欠かせません。皆様のご指導ご鞭撻のほどよろしくお願い申し上げます。

カーボンニュートラル社会を実現する電池の開発

早稲田大学先進理工学部
電気・情報生命工学科 教授

大久保将史

Ookubo Masashi



2023年4月より各務記念材料技術研究所の研究拠点教員を拝命した先進理工学部 電気・情報生命工学科の大久保将史と申します。専門は無機工業材料、蓄電デバイス（電池、キャパシタ、レドックスフロー電池）工学です。2005年3月に東京大学大学院総合文化研究科で博士（学術）を取得し、その後、パリ第6大学、産業技術総合研究所エネルギー技術研究部門、東京大学大学院工学系研究科を経て、早稲田大学には2021年4月に着任しました。

大久保研究室では、持続可能社会で安定・安価な電力供給を担う蓄電デバイスの開発を行っています。例えば、電力エネルギーを化学エネルギーに変換して高密度に貯蔵して供給する二次電池は、電源装置として主要な役割を果たします。しかし、現在使用されているリチウムイオン電池は、エネルギー密度、出力密度、コスト、安全性、資源持続性など、多くの課題を抱えています。これらの課題を解決しうる二次電池の実現を目指し、電力エネルギーを高効率に化学エネルギーに変換して貯蔵する電極材料、電力エネルギーを損失なしに伝送する電解質・界面など、材料科学と蓄電デバイス工学の視点に立脚して研究開発を行っていま

す。具体的には、資源的な制約の無いナトリウムイオン電池、高い安全性を保障するアクア電池、超高密度エネルギー貯蔵を実現するアニオン電池など、これまでにない電池のアイデアとそれを実現する材料を創りだすことを目指しています。

一方、リチウムイオン電池と全く異なる蓄電機構を持つキャパシタは、電力エネルギーを化学変化無しに高速貯蔵・高速供給することができるため、分散型補助電源としてITシステムのバックアップ用途や、電力系統への柔軟性の付加に欠くことができません。従って、重量エネルギー密度、体積エネルギー密度、コストなどの改善による普及が期待されます。電力エネルギーを高密度に貯蔵する界面構造の構築、化学エネルギーを複合したエネルギー貯蔵の高密度化など、高性能キャパシタの実現に繋がる材料、蓄電システムの開発に取り組んでいます。

各務記念材料技術研究所の研究拠点教員として取り組むのは、長寿命、低環境負荷、高効率（省エネルギー）を兼ね備えた水を使った環境適応性の高い電池の開発です。リチウムイオン電池には有機電解液が用いられており、火災事故の危険性があるだけでなく、リサイクル時のコスト、生産時の環境負荷など、持続可能性の観点で多くの課題を抱えています。水を電解液として使用する電池は、これらの課題を解決し、カーボンニュートラル社会を構築するためのキーテクノロジーとなりえます。しかし、水は酸化や還元で弱い溶媒であり、また、多くの材料を溶解や腐食で侵す性質も持ち、水を使った安定な二次電池を実現することは困難でした。そこで、水を使った電池に利用できる安定な電極活物質、および安定な水系電解液の開発を目指します。特に、探索するキャリアイオンはリチウムイオンに限らず、ナトリウムイオンやプロトンなども対象とした革新的な材料開発を行います。最終的には、得られた材料を組み合わせた次世代電池の安定作動を達成します。



2023年度大久保研究室の集合写真

表面イオニクスで次世代化学を切り拓く

早稲田大学先進理工学部
応用化学科 教授

関根 泰

Sekine Yasushi



この度は材研の流動研究員に選定いただけたことを大変光栄に思っております。小職研究室は、固体酸化物を材料として、その表面の構造・吸着・イオン伝導などについて詳細な研究を行い、得られた材料を活かした応用展開（吸着や電気化学、触媒など）を行っています。固体酸化物としては、蛍石型の酸化物（セリアなど）や、ペロブスカイト型の酸化物（遷移金属のABO₃型酸化物）を主なターゲットとしています。

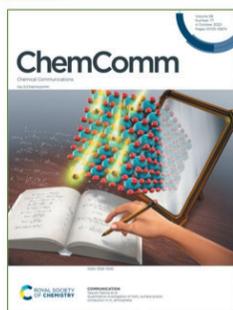
固体酸化物表面の酸素・水素イオンの拡散現象は表面イオニクスと呼ばれ、電気化学やセンサー・触媒などにおいて新しい機能をもたらすことが期待されています。これまでに、固体酸化物バルク内の酸化物イオン伝導についてはすでに多くの評価手法があるものの、比較的低温での表面イオニクス（とりわけプロトニクス）の評価手法についてはその手法が確立していませんでした。

そこで我々は、ノルウェーのオスロ大Norby教授とタッグを組んで、電気化学的手法である交流インピーダンス法を用いた酸化物表面への水の吸着に伴う表面プロトニクスの発現についての解析手法を、世界で初めて提案することに成功しました。さらに、我々は世界で初めてアンチアレニウス型（100~200度において低温にするほど表面プロトニクスが加速する）の現象を発見し、これを表面プロトニクスを活かした応用へと展開してきました。酸化物表面の構造と物性が吸着やイオン伝導に与える影響についても、デジタルアニーラやニューラルネットワークポテンシャルなどの大規模計算と、緻密なDFT計算を組み合わせることで予測可能なことを示してきました。さらにはこれら表面イオニクスについては多様な精密分光手法によってもオペランドでの観察が可能になりつつあります。

コロナ禍が始まってすぐに大学全体で研究室が閉鎖となった際に、「これからはDFT+大規模計算で合成を先回りしよう」と考え、このような計算+実験・分析という手法をゼロから展開をはじめました。最近では、デジタルアニーラを用いた多点吸着予測が可能になり、それをあとから実験的に実証することも行っています。また、ニューラルネットワークポテンシャルの利用もいち早く手掛け、大規模な酸化物構造（5000原子程度）の表面緩和や表面吸着・イオン伝導なども予測が可能になっています。

これら合成・構造解析・吸着評価・DFT計算・大規模計算・精密オペランド分光の組み合わせにより、次世代の低温作動表面イオニクス材料の開発を進めていきます。どうぞご期待ください。

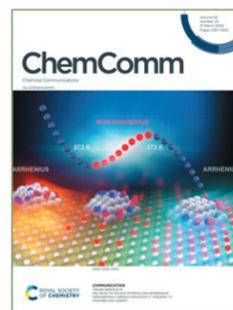
表面プロトニクス関連で国際的に著名な雑誌の表紙を飾ることが出来ました



表面プロトニクスの定量的評価と定式化に初めて成功



ドライ環境下における表面プロトニクスの発見



アンチアレニウス型表面プロトニクスの発見