

次世代型ライフスタイルの創成を担う 高機能非金属軽元素材料の開発

Development of High-Functional Non-Metallic Light Element Materials for Creating a Next Generation Life Style



准教授 佐藤 義倫
Associate Professor
Yoshinori Sato

ナノ物質は小さいながらも、優れた特性を持っている。しかし、ナノ物質の特性を生かした複合材料の設計・合成は、ランダムに配置された個々のナノ物質の特性が打ち消されるため、極めて難しくなる。そこで、ナノ物質の特性を最大限に活かしたナノ複合界面設計に基づいた高次機能性材料および複合材料が必要である。本研究室では、材料科学分野における課題である「ナノ物質の特性をバルクまで引き伸ばすための軽元素複合材料設計と材料開発およびその複合界面に関する研究」を目指している。研究を遂行するにあたり、軽元素のホウ素、炭素、窒素、酸素、フッ素、硫黄、リンを用いた高機能な表界面を持つ非金属軽元素材料の開発を行っている。

In the past, a number of composites consisting of nanomaterials that possess excellent features have been produced in basic studies. However, it is extremely hard to design and produce materials and composites in which nanomaterials' properties are reflected, because each nanomaterial in the composite assembles at random, without a view of the overall nanomaterials. In this laboratory, the purpose of the research is to study and develop high-functional non-metallic light materials with high-performance surfaces and interfaces using boron, carbon, nitrogen, oxygen, fluorine, sulfur, and phosphorus in an effort to expand the properties of nanomaterials to those of bulky materials.

ORR 触媒活性メカニズムの解明のための グラファイトへの窒素ドーピング制御

新しいエネルギーシステムとして、様々な方法で生成でき貯蔵・輸送が可能な水素エネルギーが考えられている。その水素エネルギーの利用で使用されるデバイスとして期待されている固体高分子形燃料電池 (polymer electrolyte fuel cell: PEFC) は、様々な課題のため広い普及には至っていない。その課題の1つが酸素還元反応 (oxygen reduction reaction: ORR) 触媒として使用されている白金触媒である。白金は埋蔵量が少なく、寿命が短い。そこで、白金を使用しない炭素ナノ材料触媒が埋蔵量や耐久性の点で注目されている。特に窒素ドーピング炭素ナノ材料は高い触媒活性を示す。しかし、そのメカニズムは解明されておらず、高活性な ORR 触媒に求められる条件を満たす触媒を未だに作製できていない。本研究では、ORR 触媒活性のメカニズムの解明のために、フッ素化-脱フッ素化を経由することにより、ピリジン型窒素をグラファイトへドーピングすることを行っている。

多層カーボンナノチューブ繊維の高強度化：フッ素化-脱フッ素化プロセスにより架橋されたナノチューブ間の界面滑りの抑制

センシング、ウェアラブル装置、電気化学電池で電極材料として注目されているカーボンナノチューブ繊維は軽量だけでなく、優れた柔

Control of nitrogen doping into graphite for clarifying the mechanism of oxygen reduction reaction catalytic activity

Hydrogen energy is a candidate for a new alternative energy system because hydrogen molecules can be generated from various resources, stored, and transported. Although hydrogen-energy-harnessing polymer electrolyte fuel cells (PEFCs) have been expected, they have not yet been widely used. Platinum as the oxygen reduction reaction (ORR) catalyst is an expensive and non-abundant resource, and it has poor durability for ORR activity. Therefore, metal-free carbon nanomaterials have been developed as alternative platinum catalysts. Nitrogen-doped carbon nanomaterials have been hitherto reported to exhibit especially high ORR catalytic activity. However, the ORR mechanism has not been clarified. To achieve highly efficient ORR activity, doping nitrogen species should be precisely controlled in carbon framework. In this study, we try to dope pyridinic-type nitrogen atoms to graphite via a fluorination-defluorination process in an effort to clarify the mechanism of ORR catalytic activity.

Enhanced tensile strength of defluorinated multi-walled carbon nanotube fibers: Suppression of interfacial slip between nanotubes cross-linked via fluorination-defluorination process

Although carbon nanotube fibers (CNTFs), which have attracted attention as electrode materials in the fields of sensing, wearable devices, and electrochemical batteries, are not only lightweight but also possess

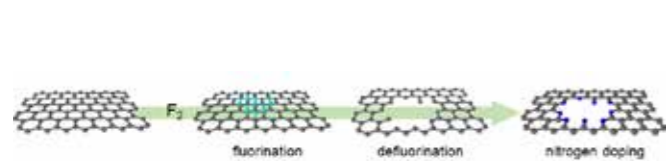


Fig.1 Illustration of nitrogen doping to graphene via fluorination-defluorination process. Gray, cyan, and blue balls indicate carbon, fluorine, and nitrogen atoms, respectively.

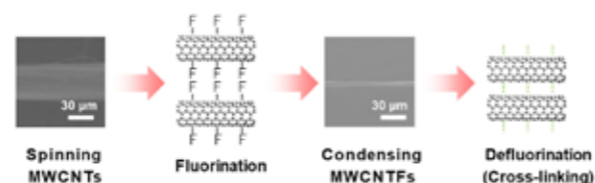


Fig.2 Fluorination-defluorination process to cross-link CNTs.



Fig.S1 New crews. Yuto Sano (left) and Ryudai Tsukidate (right).



Fig.S2 Cherry-blossom viewing.



Fig.S3 Oktoberfest in our laboratory.

軟性を持っているが、それらの引張強度や弾性率はナノチューブ間の弱い相互作用による界面滑りが原因で、炭素繊維の機械強度よりも劣っている。事実、カーボンナノチューブに共有結合を導入することは難しい。本研究では、フッ素化-脱フッ素化プロセスによって架橋させた多層カーボンナノチューブ繊維の機械強度と電気特性について研究している。

学術会議・講演

- ・佐藤 義倫、みやぎ県民大学、大学開放講座、仙台市 (講演発表)
- ・佐藤 義倫、2019 年度化学系学会東北大会、山形市 (依頼講演発表)
- ・小久保 美乃里、第 42 回フッ素化学討論会、神戸市 (ポスター発表)
- ・佐藤 義倫、第 42 回フッ素化学討論会、神戸市 (口頭発表)
- ・Yoshinori Sato, 3rd International Conference on Applied Surface Science (ICASS 2019), Pisa, Italy (ポスター発表)
- ・Yoshinori Sato, 2019 Global Research Efforts on Energy and Nanomaterials (GREEN 2019), Taipei, Taiwan (招待講演)

研究費

- ・JSPS 科学研究費補助金 18H04145 (基盤研究 (A) / 代表)
- ・JSPS 科学研究費補助金 19K21911 (挑戦的研究 (萌芽) / 代表)
- ・共同研究費 (ステラケミファ株式会社 / 代表)

共同研究

- ・ステラケミファ株式会社 (研究部)

excellent flexibility, their tensile strength and elastic modulus are inferior to that of carbon fibers due to the interfacial slip caused by weak interaction between adjacent nanotubes. In actuality, it is difficult to introduce covalent bonds between nanotubes. Here, we prepare multi-walled CNTFs (MWCNTFs) cross-linked by fluorination-defluorination process and investigate their electronic and mechanical properties.

Academic conference・Lecture

- ・Yoshinori Sato, Miyagi Kenmin Daigaku, Sendai (Lecture)
- ・Yoshinori Sato, 2019 Joint Meeting of the Tohoku Area Chemistry Societies, Yamagata, (Invited talk)
- ・Minori Kokubo, The 42nd Fluorine Conference of Japan, Kobe (Poster)
- ・Yoshinori Sato, The 42nd Fluorine Conference of Japan, Kobe (Oral)
- ・Yoshinori Sato, 3rd International Conference on Applied Surface Science (ICASS 2019), Pisa, Italy (Poster)
- ・Yoshinori Sato, 2019 Global Research Efforts on Energy and Nanomaterials (GREEN 2019), Taipei, Taiwan (Invited speaker)

Grants

- ・JSPS KAKENHI 18H04145 (Scientific Research (A)/PI)
- ・JSPS KAKENHI 19K21911 (Challenging Research (Exploratory)/PI)
- ・Collaboration grant (Stella Chemifa Corporation/PI)

Collaborations

- ・Stella Chemifa Corporation (Research Division)

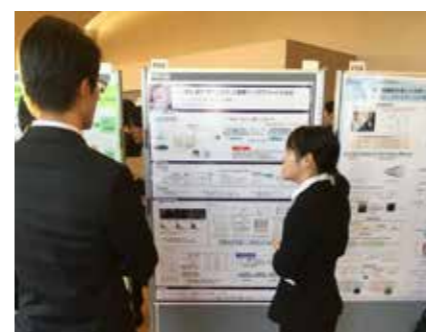


Fig.3 Snapshot at the 42th Fluorine Conference of Japan. (Minori Kokubo)



Fig.4 Open campus 2019.



Fig.5 Snapshot of our drinking party.