

次世代への持続可能なライフスタイルのための機能性非金属軽元素材料の開発

Development of High-Functional Non-Metal Light Element Materials for a Next-Generation Sustainable Life Style



准教授 佐藤 義倫
Associate Professor
Yoshinori Sato

ナノ物質の機能を最大限に活かした高次機能性を持つ集合体・複合材料・有機/無機ハイブリット材料を創成することは、最も魅力的な研究の一つである。本研究室では、表面・界面設計に基づいて、ナノ物質の特性をバルクまで持ち合わせた集合体・複合材料・有機/無機ハイブリット材料の設計・合成・評価を行い、「持続可能な開発目標 (Sustainable Development Goals: SDGs)」にも関わる次世代のクリーンエネルギー分野に必要な不可欠な軽量かつ高機能なエネルギー材料(特に非金属軽元素材料)の創成に挑戦している。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 (Fig.1)。

Our laboratory is in the research area of advanced nanomaterials for clean energy (alternative energy and hydrogen energy). To fabricate, assemble, and composite organic/inorganic materials with high-performance functions created from combinations of each material's properties is one of the most fascinating and necessary areas of research. In this laboratory, we design, synthesize, and characterize the assembly, composites, and organic/inorganic materials based on surface/interface design to apply nanomaterials' properties to bulky materials (Fig. 1). In particular, we have challenged ourselves to create and develop highly functional nonmetal light element materials (carbon-based materials including boron, nitrogen, oxygen, fluorine, sulfur, and phosphorus) with high-performance surfaces and interfaces. Such materials are necessary for the field of next-generation clean energy, which in turn is needed to meet sustainable development goals (SDGs).

熱可塑性樹脂と炭素繊維の界面接着強度に関する炭素繊維表面の表面改質

航空機の機体は熱硬化性樹脂を用いた炭素繊維強化熱硬化性プラスチック (carbon fiber reinforced thermosetting resin: CFRTS) が使われている。しかし、熱硬化性樹脂では硬化が不可逆反応であるため、CFRTS はリサイクル性に劣る。今後、熱可塑性樹脂を用いた炭素繊維強化熱可塑性プラスチック (carbon fiber reinforced thermoplastics: CFRTTP) の開発が必要である。CFRTTP の開発の課題は、炭素繊維と熱可塑性樹脂との界面結合力の向上である。本研究では、熱可塑性樹脂と炭素繊維との界面結合力における炭素繊維表面の表面改質について調べている。

酸素還元反応のための欠陥導入炭素ナノ材料触媒の開発

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

Surface modification of carbon fiber surface to improve the interfacial bond strength between thermoplastic resin and carbon fiber

Carbon fiber reinforced thermosetting resin is used in airframes, but it has poor recyclability because curing is an irreversible reaction in thermosetting resins. In the future, carbon fiber reinforced thermoplastics (CFRTTP) with thermoplastic resin should be developed. The challenges in the development of CFRTTP are to improve the interfacial bonding strength between carbon fiber and thermoplastic resin. In this study, we investigate the surface modification of carbon fiber surface to improve the interfacial bond strength between thermoplastic resin and carbon fiber.

Development of defect-induced carbon nanomaterial catalysts for oxygen reduction reaction

Hydrogen energy is a candidate for a new alternative energy system because hydrogen molecules can be generated from various resources,

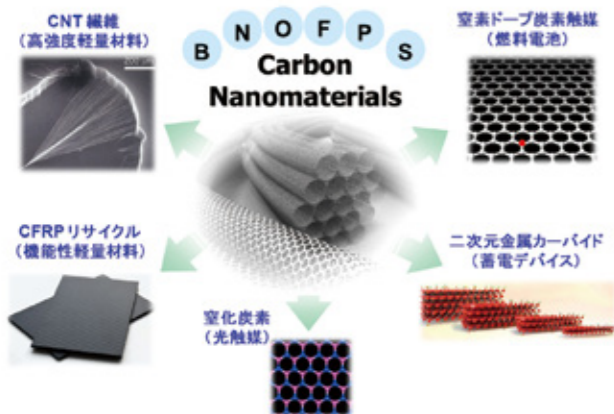


Fig.1 Our research topics.

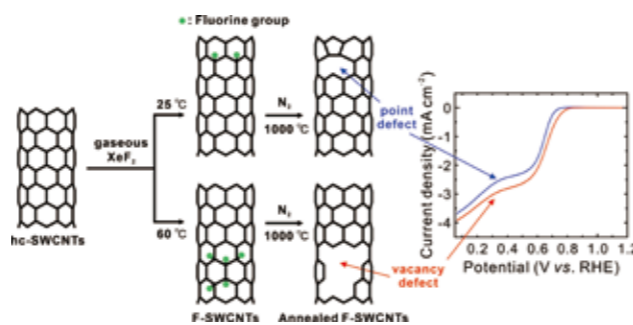


Fig.2 ORR catalytic activity of the defect-induced SWCNTs in alkaline aqueous solution.



Lab members (2022).



New crews. Tomoki Ikeda (left) and Kosei Morita (right).



Spicy curry party.

ギーの利用で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。その課題の一つが酸素還元反応 (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。特に欠陥導入炭素ナノ材料は高い触媒活性を示すが、そのメカニズムは解明されていない。本研究では、欠陥導入炭素ナノ材料の ORR 触媒活性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、様々な空孔欠陥を選択的に炭素ナノ材料へ導入することを行っている。

2次元窒化チタン化合物の合成

PEFCでは、負極での水素酸化反応 (hydrogen oxidation reaction: HOR)、正極での ORR によって発電される。電解質には酸性やアルカリ性の水溶液が使用されるため、耐酸性、耐アルカリ性の電極触媒が要求される。2次元材料 MXenes は、遷移金属 (Ti, V, Nb, Mo) と非金属軽元素 (C, N) から構成される層状化合物であり、耐酸性に優れている。本研究では、高性能な HOR 触媒や ORR 触媒を目指し、高導電性を持つ2次元窒化チタンの合成を行っている。

受賞 / 学術会議

- ・森田 寛、エネルギー環境奨学賞 (4 年生)
- ・森田 寛、第 45 回フッ素化学討論会、京都市 (ポスター発表)

研究費

- ・共同研究費 (ステラケミア株式会社 / 代表)

共同研究

- ・ステラケミア株式会社 (研究部)

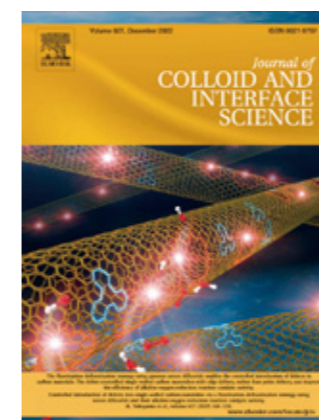


Fig.3 Illustration of defect-induced SWCNTs (Front cover in Journal of Colloid and Interface Science).



Fig.4 Energy and Environment Scholarship Award (Hiromu Morita).

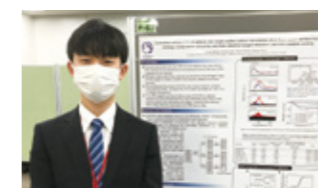


Fig.5 Snapshot at the 45th Fluorine Conference of Japan (Hiromu Morita).

stored, and transported. Although hydrogen-energy-harnessing polymer electrolyte fuel cells (PEFCs) have been expected, they have not yet been widely used. Platinum, which is used as an 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. In particular, defect-induced carbon nanomaterials have been reported to exhibit especially high ORR catalytic activity. However, the ORR mechanism has not been clarified. In this study, we try to introduce selectively defects into carbon nanomaterials via a fluorination-defluorination process to clarify the mechanism of ORR catalytic activity for defect-induced carbon nanomaterials..

Synthesis of Two-Dimensional Titanium Nitride

PEFCs are operated by the hydrogen oxidation reaction (HOR) at an anode and the ORR at a cathode. Acid- and alkaline-resistant electrocatalysts are required because acidic and alkaline aqueous solutions are used as electrolytes. Two-dimensional materials, MXenes, which have excellent acid and alkaline resistance, are layered compounds composed of transition metals (Ti, V, Nb, and Mo) and non-metal light elements (C and N). In this study, we synthesize two-dimensional titanium nitride with high conductivity to achieve high-performance HOR and ORR catalysts.

Awards / Academic conference

- ・Hiromu Morita, Energy and Environment Scholarship Award
- ・Hiromu Morita, The 45th Fluorine Conference of Japan, Kyoto (Poster)

Grants

- ・Collaboration grant (STELLA CHEMIFA Corporation/PI)

Collaborations

- ・STELLA CHEMIFA Corporation (Research Division)

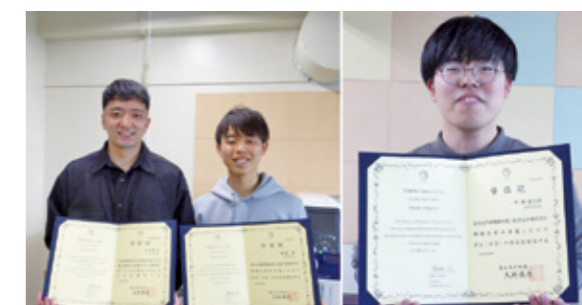


Fig.6 Graduation photo (March 2021). From left, Yota Sakamoto (M2), Hiromu Morita (B4), and Ryutaro Nakata (B4).