

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).

炭素骨格内の空孔欠陥と酸素分子の相互作用に関する研究

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く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、スピン共鳴分光法や電気伝導率測定を用いて、炭素骨格の空孔欠陥と酸素分子の相互作用を調べている。

Study of the interaction between vacancy defects in a carbon network and molecular oxygen

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 are not yet widely used. Platinum, which is used as an oxygen reduction reaction (ORR) catalyst, is an expensive and nonabundant 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 have investigated the interaction between vacancy defects in a carbon network and molecular oxygen using spin resonance spectroscopy and conductivity measurements to clarify the mechanism for ORR catalytic activity in defect-introduced carbon nanomaterials.

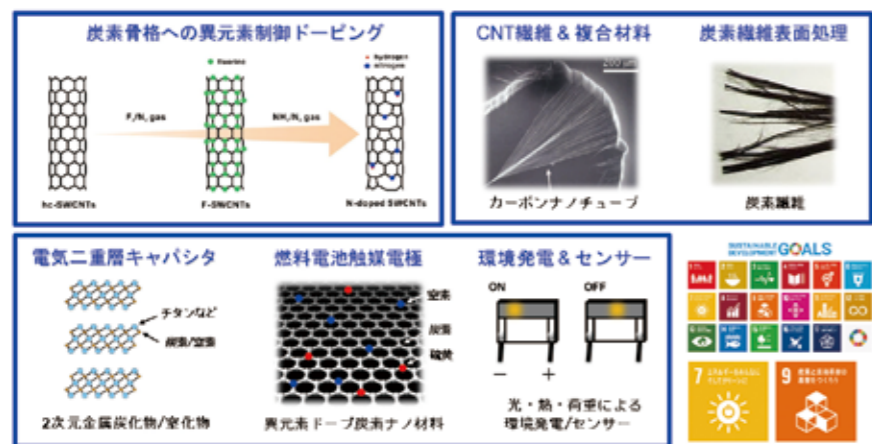


Fig. 1 Our research topics.

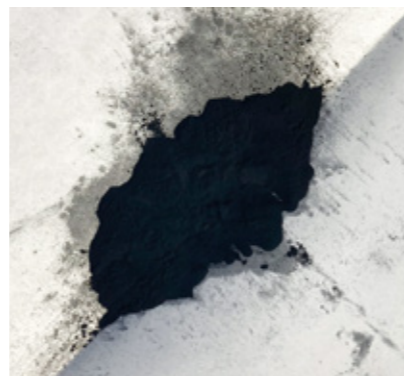


Fig. 2 Photograph of carbonized sewage sludge.



Lab members (2023).



New crews. Ruka Takahashi (left) and Ayumu Tokumitsu (right).



Spicy curry party.

触媒電極材料を目指した下水汚泥の炭素化

下水汚泥は、活性汚泥法によって微生物を沈殿分離して回収したものである。水分を取り除いた下水汚泥乾燥物の多くが建設資材として利用されている一方で、一部の下水汚泥乾燥物はバイオ燃料として利用されている。下水汚泥乾燥物の組成は炭素が最も多く、窒素、酸素、リン、硫黄、ケイ素、カルシウム、鉄などを含んでおり、熱処理で得られる下水汚泥炭素化物は炭素系電気化学触媒として期待できる。本研究では、水素発生反応 (hydrogen evolution reaction: HER)/ 水素酸化反応 (hydrogen oxidation reaction: HOR) や酸素発生反応 (oxygen evolution reaction: OER)/ 酸素還元反応 (oxygen reduction reaction: ORR) などの電極触媒を目指した下水汚泥の炭素化を行い (Fig. 2)、得られた材料の触媒特性を調べている。

学術会議

- 中田 龍太郎、第 65 回フラーレン・ナノチューブ・グラフェン総合シンポジウム、福岡市 (ポスター発表)
- 宮本 京介、中田 龍太郎、森田 寛、第 15 回資源・素材学会東北支部若手の会、大崎市 (ポスター発表)
- 森田 寛、第 50 回炭素材料学会年会、仙台市 (ポスター発表)
- Yoshinori Sato, 12th International Conference on Colloids Conference, Mallorca, Spain (ポスター発表)
- Yoshinori Sato, 12th International Conference on Advanced Materials and Engineering Materials (ICAMEM2023), Bangkok, Thailand (招待講演)

研究費

- JSPS 科学研究費補助金 23H02055 (基盤研究 (B) / 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)

Carbonization of sewage sludge for catalytic electrode material

Sewage sludge is recovered by precipitation and separation of microorganisms used in the activated sludge process. Most of dried sewage sludge is used as construction material, and a small amount of dried sewage sludge is utilized as biofuel. Carbon is the most abundant composition in dried sewage sludge, which contains nitrogen, oxygen, phosphorus, sulfur, silicon, calcium, and iron, and sewage sludge carbonized by thermal treatment is expected to be carbon-based electrochemical catalysts. In this study, we carbonized sewage sludge for the electrocatalysts of hydrogen evolution reaction (HER)/hydrogen oxidation reaction (HOR) and oxygen evolution reaction (OER)/ORR and investigated their catalytic activities (Fig. 2).

Academic conference

- Ryutaro Nakata, The 65th Fullerenes-Nanotubes-Graphene General Symposium, Fukuoka (Poster)
- Kyosuke Miyamoto, Ryutaro Nakata, and Hiromu Morita, The 15th Mining Materials Processing Institute of Japan-Tohoku Branch, Young Researchers Association, Osaka (Poster)
- Hiromu Morita, The 50th Annual Meeting of the Carbon Society of Japan, Sendai (Poster)
- Yoshinori Sato, 12th International Conference on Colloids Conference, Mallorca, Spain (Poster)
- Yoshinori Sato, 12th International Conference on Advanced Materials and Engineering Materials (ICAMEM2023), Bangkok, Thailand (Invited Talk)

Grants

- JSPS KAKENHI 23H02055 (Scientific Research (B)/PI)
- Collaboration grant (STELLA CHEMIFA Corporation/PI)

Collaborations

- STELLA CHEMIFA Corporation (Research Division)



Fig. 3 Undergraduate graduation photograph (Kyosuke Miyamoto)

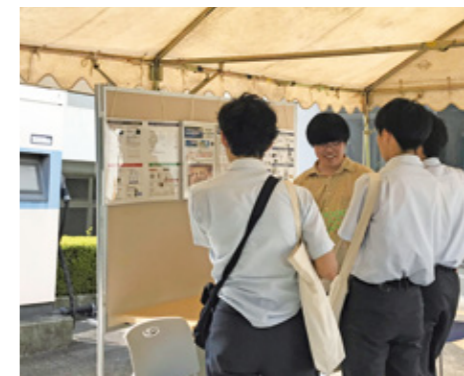


Fig. 4 Snapshot at Open Campus 2023 (Ryutaro Nakata).

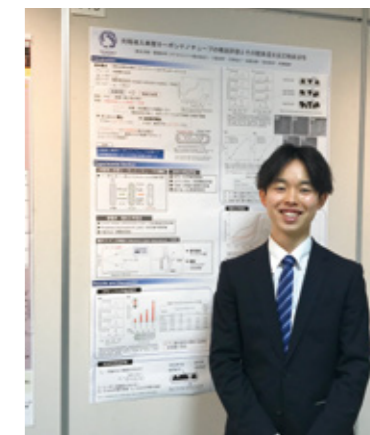


Fig. 5 Snapshot at The 50th Annual Meeting of the Carbon Society of Japan (Hiromu Morita)