

持続可能な社会のための非金属軽元素を用いた機能性材料開発

Development of Functional Materials Using Nonmetal Light Elements for a Sustainable Society



教授 佐藤 義倫
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。

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. 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).

ハロゲン化-脱ハロゲン化を経由した炭素材料への異種軽元素や欠陥の制御ドーピング

sp^2 混成軌道の共有結合を持つ炭素材料のベーサル面(網面)は化学的に安定であるが、軽元素(ホウ素、窒素、酸素、フッ素、硫黄、リン)や空孔欠陥がベーサル面にドーピングすると、炭素材料の物性が大きく変化する。本研究室では、ハロゲン化-脱ハロゲン化プロセスを用いて炭素材料の表面と物性を制御することを目指している。例えば、フッ素化炭素材料を熱処理によって脱フッ素化の際に、軽元素供給源が存在する場合は炭素材料に軽元素のドーピング、軽元素供給源が存在しない場合は欠陥の導入が可能となる。またハロゲン化-脱ハロゲン化によって炭素-炭素結合を作ることができ、炭素材料同士の接合も可能である。

固体高分子形燃料電池、低温アンモニア燃料電池に使用する機能性炭素ナノ材料触媒の設計と創成

低炭素かつ持続可能型エネルギー社会の構築は不可欠であり、水素やアンモニアを利用する燃料電池への期待は大きい。特に燃料電

Controlled doping of nonmetallic light elements and defects into carbon materials via halogenation-dehalogenation processes

The basal plane of carbon materials with sp^2 -hybridized covalent bonds is chemically stable. However, when vacancy defects and nonmetal light elements, such as boron, nitrogen, fluorine, sulfur, and phosphorus, are introduced in the basal plane, their chemical and physical properties change drastically. In our study, we attempt to control the surficial, chemical, and physical properties of carbon materials using a halogenation-dehalogenation process. For example, when fluorinated carbon materials are defluorinated through heat treatment, light elements can be doped into the carbon material if a light element source is present while defects can be introduced into carbon materials if no light element source exists. In addition, the halogenation-dehalogenation process can create carbon-carbon bonds, enabling the joining of carbon materials.

Design and creation of functional carbon material catalysts for polymer electrolyte fuel cells and low-temperature ammonia fuel cells

Building a low-carbon and sustainable energy society is essential, and there are high expectations for fuel cells utilizing hydrogen and

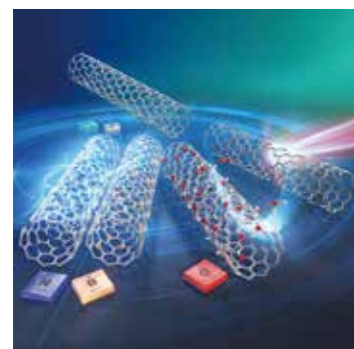


Fig. 1 Controlled doping of nonmetallic light elements and defects into carbon materials via halogenation-dehalogenation processes.

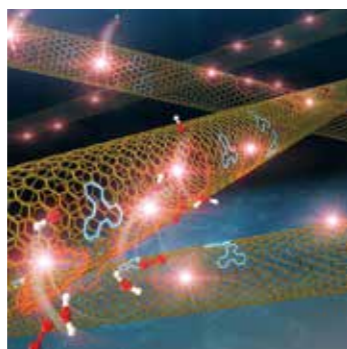


Fig. 2 Design and creation of functional carbon material catalysts for polymer electrolyte fuel cells and low-temperature ammonia fuel cells.



Fig. 3 Creation of functional materials for energy harvesting.



Lab members (2025).



New crews. Takeo Kagawa (left) and Itsuki Ogawa (right).



Imoni party.

池自動車や家庭用燃料電池として実用化されている固体高分子形燃料電池 (PEFC) は、水素と酸素の反応によって熱と電気エネルギーを発生する低炭素かつ高効率なエネルギーデバイスであり、次世代社会で切望されている電池の一つである。PEFC の性能は空気極での酸素還元反応 (ORR) に左右されるが、今日では触媒金属である Pt ナノ粒子を担持したカーボンブラックが ORR 触媒として用いられている。しかし、Pt の価格不安定性やデバイスの高コスト化が避けられず、PEFC の商用化の大きな障害となっている。本研究では、軽元素のホウ素、窒素、酸素、硫黄、リンをドーピングした高機能な表面・界面を持つ炭素ナノ材料の ORR 触媒の合成とその触媒活性メカニズムの研究を行っている。

機能性環境発電材料の創成

環境発電は、生活環境から微量のエネルギーを採取し、電気に変換して利用する技術である。微量のエネルギー源は、光、熱、振動、電磁波であり、気づかぬうちに発電して有効利用する環境発電は SDGs に関する持続可能な社会の構築に注目されている。本研究では、光・荷重・熱・バイオマスを利用した機能性環境発電材料の創成に挑戦している。

受賞

- ・高橋 琉佳、第 7 回環境科学討論会 優秀賞

研究費

- ・JSPS 科学研究費補助金 23K26748 基盤研究 (B) / 代表
- ・JSPS 科学研究費補助金 25K22865 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

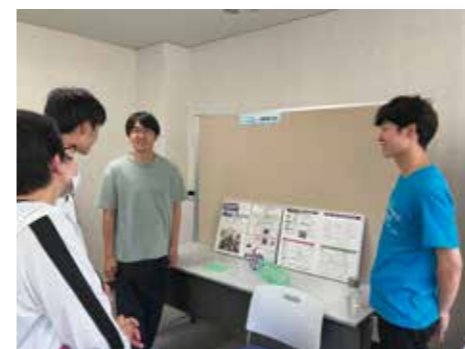


Fig. 4 Open Campus 2025.

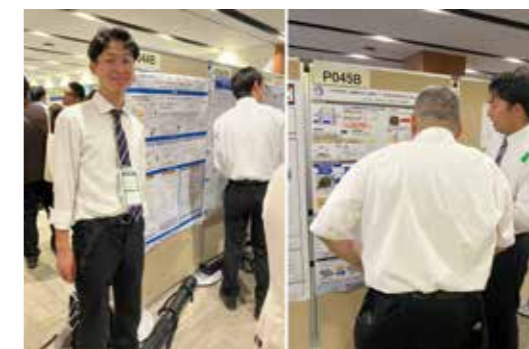


Fig. 5 Snapshot at MMIJ Fall Meeting 2025, Sapporo. Tomoki Ikeda (left) and Kosei Morita (right).



Fig. 6 Best Presentation Award at 7th Academic Forum on Environmental Studies. Ruka Takahashi (left) and Prof. Yoshioka, dean of the GSES (right).

ammonia. In particular, polymer electrolyte fuel cells (PEFCs), which are already used as fuel cell vehicles and residential fuel cells, are low-carbon, high-efficiency energy devices that generate heat and electrical energy through the reaction of hydrogen and oxygen. They are one of the most essential batteries for the next-generation society. PEFC performance is determined by the oxygen reduction reaction (ORR) at the air electrode. Currently, carbon black supported with Pt nanoparticles as the catalyst metal is used for ORR catalysis. However, the instability of Pt prices and the resulting high device costs are unavoidable, posing a major obstacle to PEFC commercialization. This research focuses on synthesizing ORR catalysts using carbon nanomaterials with highly functional surfaces and interfaces doped with light elements, such as boron, nitrogen, oxygen, sulfur, and phosphorus elements, and investigating their catalytic activity mechanism.

Creation of functional materials for energy harvesting

Energy harvesting is a technology that captures minute amounts of energy from a living environment, converts them into electricity, and utilizes the converted electricity. These minute energy sources are light, heat, vibration, and electromagnetic waves. Energy harvesting, which generates electricity unnoticed and utilizes it effectively, is attracting attention for building a sustainable society related to the SDGs. This research challenges the creation of functional energy harvesting materials utilizing light, load, heat, and biomass.

Awards

- ・Ruka Takahashi, 7th Academic Forum on Environmental Studies, Best Presentation Award

Grants

- ・JSPS KAKENHI 23K26748 (Scientific Research (B)/PI)
- ・JSPS KAKENHI 25K22865 (Challenging Research (Exploratory)/PI)
- ・Collaboration grant (STELLA CHEMIFA Corporation/PI)