# 環境共生機能学分野 Designing of Nano-Ecomaterials

# 環境との共生・エネルギーの 創製を担うナノ機能素材開発

Development of functional nano-ecomaterials for energy and environment in the environmentally benign systems



教授 高橋 英志 Hideyuki Takahashi

ナノ材料は省資源で最高性能を発現する材料として期待されているが、真の意味で次世代環境対応型材料とするためには、目的とする機能 を最大限に発現できる組成・結晶系・形態に制御する必要がある。この様な観点から、本研究室では、原材料中での材料の状態を計算及び X線構造解析等の機器分析を通じて厳密に制御し、その反応機構を電気化学的手法や質量分析等を利用して解明する事で、高効率且つ均質 な状態のナノ材料を開発する手法を開発している。また、高性能を発現するための状態制御法の開発を行っている。研究は(A)自然エネルギー 変換材料(化合物太陽電池用ナノ材料、熱電変換合金ナノ粒子、光触媒、など)、(B)機能性ナノ-エコ材料(均質合金ナノ粒子、高機能性 電子用金属ナノ材料(Cuナノ粒子、Cuナノワイヤなど)、固体高分子燃料電池用機能性ナノ触媒材料、など)、(C) 難溶性レアメタル等の抽 出を可能とするための錯体制御技術、等に分類できる。

Hideyuki Takahashi Laboratory's research has focused on developing and using well-defined nanomaterials in our daily lives. In particular, we have developed methods for synthesizing and utilizing useful nanomaterials with specific morphology. Our research objectives can be classified into (a) natural energy conversion materials, such as alloy nanoparticles for compound solar cells, thermoelectric alloy nanoparticles, and photocatalysts with specific morphology; (b) functional nano-eco materials, such as uniform and well-crystallized alloy nanomaterials, well-defined electric integration nanomaterials (Cu nanoparticle, Cu nanowire, etc.), and precise control of nanocatalysts for fuel cells; and (c) development of novel methods for extracting rare metals with precise control under complex conditions.

### 研究概要

遷移金属等の貴金属ではない金属のナノ材料を実用化することを 念頭に、様々な金属/合金ナノ粒子を、環境負荷が少ない手法で 合成する研究開発を行っている。特に、材料の特性の均質化や、高 特性を発現する相の選択的合成、長寿命化、を達成するためには、 均質で結晶性が高い金属/合金ナノ粒子であることが必要である。 更に、工業的応用を念頭におくと耐酸化性が高くかつ表面被覆材の 使用は限界まで低減する必要である。この様な全ての条件をすべて 満たした金属/合金ナノ粒子を、ビーカー等の簡単な装置のみを用 い、常温~70℃程度の水溶液中で、合成するという"現代の錬金術" と言える手法を開発している。

その為には、原料となる水溶液中において、金属の状態を均質化 すること、合金を合成する様な場合には還元析出させるためのポテ ンシャルを単一化及び均質化することが必要である(合成する材料 により、酸化および硫化をさせる場合もある)。そこで我々の研究室 では計算手法を用いて水溶液中の金属錯体の種類等を制御し、その 上で還元析出させる手法を開発した。

#### Research

To achieve industrial applications of transition metal/alloy nanoparticles instead of precious metal nanoparticles, various procedures for synthesizing these materials have been developed under low environmental loading conditions. In particular, a method of synthesizing uniform and well-crystallized metal/alloy nanoparticles should be developed to utilize the uniform properties, selective and high-performance, suitable phase, and long lifetime. Moreover, materials synthesized for commercial applications should have specific properties, such as high oxidative resistivity and low addition of surfactants. We have developed a method of synthesizing metal/alloy nanoparticles with these properties using simple equipment and low energy conditions (RT -70°C) in the aqueous phase.

To synthesize uniform and well-crystallized metal/alloy nanoparticles, the condition of metals in the aqueous phase should be restricted to the homogeneous phase, and the reduction potential of both metal complexes should be equal. Sometimes, oxide materials and sulfide materials are also synthesized. Therefore, we introduced our idea for a particle synthesis system based on the predicted concentration of metal complexes in an aqueous solution as a function of pH.



均質化原料溶 液からの均 質·高特性合 金ナノ粒子合 成へ展開

Fig. 1 Schematic drawing of researches in H. Takahashi Lab (concept).



准教授 横山 俊 Associate Professo Shun Yokovama



助教 構山 幸司 Assistant Professor Koii Yokovama

例えば、化合物太陽電池材料となる Cu-In 合金ナノ粒子や Cu-In-Sナノ粒子、各種ペロブスカイトナノ粒子を水溶液中で合成し、 塗布することで太陽電池を形成させる技術を開発した。また、導電 性が高く耐酸化性が高い Cuナノ粒子や Cuナノワイヤ、透明導電 性材料用の特異な形状制御を行った Cu 粒子、ウイルスや重金属イ オン等を高速で回収するための Fe ナノ粒子、等の合成と実用化を 試みている。更に、エネルギー材料として、熱電変換材料や燃料電 池材料、特異な形状で高機能を発現するストラティファイド光触媒 材料、を開発している (Fig. 1)。

## 学生諸君の国際及び国内会議発表、その他の活動

高橋(英)研究室所属では、学生諸君の研究開発能力や意識、 コミュニケーション能力に対するグローバル化を促進することにも 重点をおいており、学生諸君の国際会議での発表や博士課程学生 の留学を精力的に行っている。

2023年度は、3件の国際会議発表と、18件の国内会議を行っ た。DC3の渡邉有希さんが244th ECS Meeting (Gothenburg, Sweden) にて、MC2 の野田祐作さんと MC2 の池谷駿之介さん が 2023 MRS Fall Meeting & Exhibit (Boston, USA) にて 国際会議発表を行った。当該期間では、6月開催の資源・素材学 会東北支部春季大会にてMC2の野田祐作さんとMC2の池谷駿 之介さんが優秀発表賞(銀賞)を受賞し、9月に開催された第74 回コロイドおよび界面化学討論会にて MC2 の野田祐作さんが優 秀ポスター賞を、B4の Kwon Sunghyun さんおよび浅見 椋斗 さんが第16回資源・素材学会 東北支部 秋季大会および若手の会 にて資源・素材学会東北支部ポスター賞優秀賞を受賞した。

次年度以降は、ECS や MRS、資源・素材学会、資源・素材学 会東北支部大会、応用物理学会、など、国内外の学会にも積極的 に参加し、成果の発表を行う予定である。また、自然エネルギー に関する周知活動や高大連携に係る東北大学講師派遣における出 前授業なども再開する。

For the solar cell application, we developed methods of synthesizing Cu-In alloy nanoparticles, Cu-In-S nanoparticles, and various perovskite, and we applied these synthesized materials to the formation of printable solar cells. Moreover, we tried to synthesize Cu nanoparticles and/or Cu nanowire with high conductivity and oxidative resistivity, Cu materials with specific morphology, and Fe nanoparticles for quick recovery of the virus and/or heavy metal ion. Thermoelectric material, fuel-cell material, and stratified photo catalysts with specific morphology were also developed to apply these synthesized materials to environmentally friendly energy material.

#### Student activity (conferences, prizes, etc.)

Students from our laboratory attend up to 3 international conferences and 18 domestic conferences in a typical year. To develop members' abilities, we recommend joining international conferences and studying abroad (DC course students).

This year, Ms. Y. Watanabe (DC3) joined the 244th ECS Meeting (Gothenburg, Sweden), and Mr. Y. Noda (MC2) and Mr. S. Ikegaya (MC2) joined the Meeting & Exhibit (Boston, USA).

In 2023, Mr. Y. Noda (MC2, Best Presentation Award [Silver Award]), Mr. S. Ikegaya (MC2, Best Presentation Award [Silver Award]), Mr. H. Horikawa (MC1) and Mr. K. Sato (MC1) joined MMIJ Tohoku branch meetings (June, Sendai). Mr. Y. Noda (MC2, Best Poster Award) and Mr. H. Horikawa (MC1) joined the 74th Colloid and Interface science conference (Nagano, Japan). Mr. K. Sunghyun (B4, Best Presentation Award), Mr. M. Asami (B4, Best Presentation Award), Mr. S. Ikegaya (MC2), Mr. Y. Noda (MC2), Mr. H. Horikawa (MC1), Mr. K. Sato (MC1), and Ms. M. Kondo (B4) joined the MMIJ Tohoku branch Young Scientist meetings (December, Miyagi). Ms. Y. Watanabe (DC3), Mr. S. Ikegaya (MC2), and Mr. K. Sato (MC1) joined the 2023 MMIJ meetings (September, Ehime). Mr. H. Horikawa (MC1) and Mr. K. Sato (MC1) joined the 4th Meeting of Environmental Studies (October, Sendai). Mr. S. Ikegaya (MC2) and Mr. Y. Noda (MC2) joined the MMIJ Tohoku branch Young Scientist meetings (December, Akita).

We will join the Electrochemical Society Conference (ECS), Materials Society Meetings (MRS), MMIJ's spring and fall meetings, and Tohoku branch's spring MMIJ meeting, as well as the Japan Society of Applied Physics (JSAP) and others. Moreover, we will participate in various social activities, such as events addressing natural energy, public lectures,

