

# 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  
Professor  
Hideyuki Takahashi



准教授 横山 俊  
Associate Professor  
Shun Yokoyama



助教 横山 幸司  
Assistant Professor  
Koji Yokoyama



技官 本宮 憲一  
Technical Engineer  
Kenichi Motomiya

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、ピーカー等の簡単な装置のみを用い、常温~70°C 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

## 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 the properties mentioned above 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.

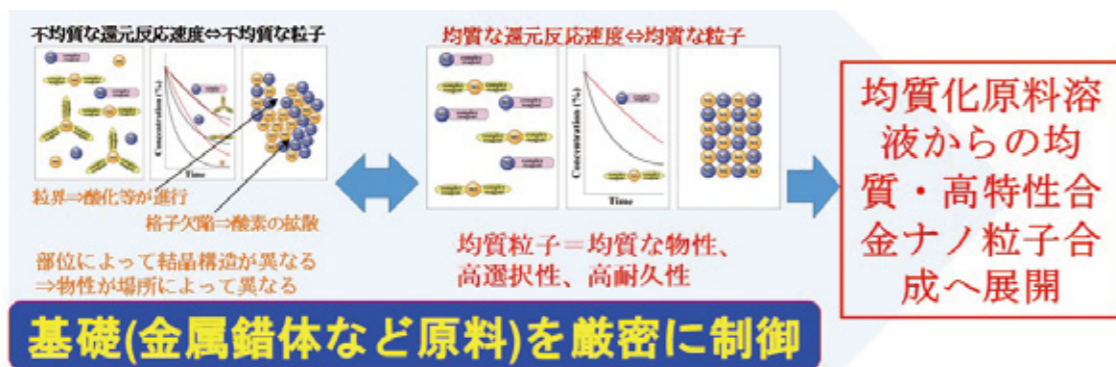


Fig.1 Schematic drawing of researches in H. Takahashi Lab (concept).

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。

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、Cu-In-Sn 合金ナノ粒子、Cu-Zn-Sn-S 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、構造材料を低温で焼結するための 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、特異な形状で高性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置いており、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。2021 年度は、残念ながら、COVID-19 の影響で例年より大幅に少ない 9 件の学会発表を行った。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 の梅本雄太さん、MC1 の荒谷優馬さんおよび福岡薫さんがオンラインで、9 月に開催された 2021 年度資源・素材関係学協会合同秋季大会にて MC2 の梅本雄太さん及び小野薫さん、MC1 の荒谷優馬さん、古賀広見さん、福岡薫さんがオンラインで、11 月に仙台で開催された第三回環境科学討論会にて MC1 の荒谷優馬さん、古賀広見さん、福岡薫さんが発表を行っている。また、本年度は、学生諸君が関わる 3 件の論文を報告した。

COVID-19 の影響が低減すれば、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。

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.

For solar cell application, we developed methods of synthesizing Cu-In alloy nanoparticles, Cu-In-S nanoparticles, Cu-In-Sn alloy nanoparticles, and Cu-Zn-Sn-S nanoparticles, 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 with low melting point to apply as bonding materials. Thermoelectric materials, fuel cell materials, and stratified photo catalysts with specific morphology were also developed to apply these synthesized materials to environmentally friendly energy materials (Fig.1).

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

Students from our laboratory attended up to 20 international and domestic conferences in usual year. To develop members' abilities, we recommended joining international conferences and studying abroad (DC course students). However, we only attended nine meetings in 2021 because of the COVID-19 pandemic.

This year, Mr. Yota Umemoto (MC2), Mr. Yuma Araya (MC1), and Ms. Kaoru Fukuoka (MC1) joined MMIJ's Tohoku branch meetings (May, online meeting). Mr. Yota Umemoto (MC2), Mr. Kaoru Ono (MC2), Mr. Yuma Araya (MC1), Mr. Hiromi Koga (MC1), and Ms. Kaoru Fukuoka (MC1) joined the 2021 MMIJ meetings (June, online meeting). Mr. Yuma Araya (MC1), Mr. Hiromi Koga (MC1), and Ms. Kaoru Fukuoka (MC1) joined the third Meeting of Environmental Studies, held in Sendai (December, poster). Three papers related to the students' research were published in 2021.

After the COVID-19 pandemic, 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, and so forth.

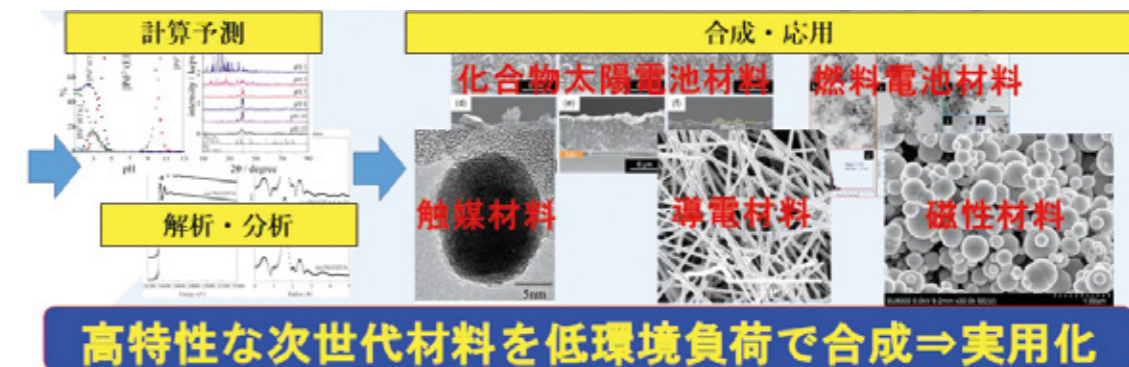


Fig.2 Schematic drawing of researches in H. Takahashi Lab (target).