



2025 / 2026

北海道大学大学院工学研究院附属エネルギー・マテリアル融合領域研究センター

Center for Advanced Research of Energy and Materials
Faculty of Engineering Hokkaido University
Brochure



ご挨拶

エネルギー・マテリアル融合領域研究センター（以下、本センター）は、2010年4月1日に工学研究院の附属研究センターとして、材料科学ならびにエネルギー工学を基礎としたSDGsに資する新たなクリーンエネルギーの創生と高効率変換に関する材料に関わる基盤研究を目的として設立されました。

本センターの運営委員会は、センター長、センター専任教授および准教授と、工学研究院の教授により構成され、関連する部門の教育研究に係る密接な協力関係を築いています。



また、マテリアルの動的プロセスを原子レベルで観察可能な世界的にもユニークなイオン加速器2基と、パルスレーザー発振器を敷設したマルチビーム超高圧電子顕微鏡を擁する複合量子ビーム超高圧顕微解析研究室に加え、様々な材料の中性子による非破壊の構造解析を可能とする最大加速エネルギー45MeVの電子線型加速器を擁する中性子材料解析研究室を2018年4月に設置しました。

これにより電子、イオンと中性子の量子ビームを利用した先端的な材料創生と構造解析システムが構築され、学内外の研究者に対して共用機器利用窓口を通じてその利便性を上げ、お互いを相補的に活用する環境を整備しています。

現在、グローバルな環境・エネルギー問題が顕在化し、従来の石炭や石油に依存したエネルギー社会から脱却し、太陽光・風力・バイオマスなどの多様な再生可能エネルギー源の利用、貯蔵、輸送に関わる研究だけでなく、CO₂を有効利用したメタネーションや回収、貯蔵に関する研究を高効率で安全なカーボンニュートラルシステムの構築へ展開することが期待されています。

そこで本センターでは、①高効率なエネルギー変換を達成するシステム及びマテリアルの開発に関する研究、②エネルギーに関する学際的かつ融合的な研究教育活動、③エネルギーに関連する分野を融合する産学連携を含む研究ネットワークの形成を行うことをミッションとしています。

その実現のため、光・熱エネルギー変換材料分野、量子エネルギー変換材料分野、マルチスケール機能集積分野、エネルギー変換システム設計分野、エネルギーメディア変換材料分野の5研究室を設置し、高効率エネルギー変換やエネルギー貯蔵に不可欠な機能性材料の創製ならびに、その材料の原子レベル構造・機能解析を行っています。

令和7年度から、本学の共同プロジェクト拠点のグリーントランスフォーメーション先導研究センターや半導体フロンティア教育研究機構が設置されたことから、本学の研究教育拠点構想に主体的に取り組むと共に、共用機器の利用を通じた学内外の研究者との融合研究の推進や学際研究の支援に取組み、研究教育拠点として貢献することを目指しています。

教育面では、工学院および総合化学院の協力講座として、学部生・大学院生の教育にも参画し、エネルギーに関連した次世代の人財育成にも貢献しています。

本センターのミッション遂行に向けて皆様方のご指導ご鞭撻並びに暖かいご支援をよろしくお願いいたします。

令和7年5月吉日

センター長 柴山 環樹



Greetings from the Director

The Center for Advanced Research of Energy and Materials Interdisciplinary (hereinafter referred to as CAREM) was established on April 1, 2010 as an affiliated research center of the Faculty of Engineering with the aim of conducting basic research on materials related to the creation of new clean energy and high-efficiency conversion that contributes to the SDGs based on materials science and energy engineering.

The steering committee of CAREM is composed of director, professors and associate professors, and professors from the Faculty of Engineering, and has built a close cooperative relationship in education and research in related departments.

In addition, in April 2018, we established a Neutron Materials Analysis Laboratory with an electron linear accelerator with a maximum acceleration energy of 45 MeV, which enables non-destructive structural analysis of various materials using neutrons, in addition to the Multi-Quantum Beam High Voltage Microscopy Laboratory, which has an unique multi-beam high voltage electron microscope equipped with two ion accelerators and a short pulsed laser, two Cs-corrected STEMs and several kinds microscopes with specimen preparation equipment in the world.

This has resulted in the creation of cutting-edge materials development and microstructure analysis systems using quantum beams of electrons, ions, and neutrons, and we have made these systems more convenient for researchers inside and outside the university through a shared equipment use office.

Currently, with global environmental and energy issues becoming apparent, it is expected that we will move away from the traditional energy society dependent on coal and oil, and will develop research into the use, storage, and transportation of diverse renewable energy sources such as solar, wind, and biomass, as well as research into methanation, capture, and storage that effectively utilizes CO₂, to build a highly efficient and safe carbon-neutral system.

The missions of this center are: 1) research into the development of systems and materials that achieve highly efficient energy conversion, 2) interdisciplinary and integrated research and education activities related to energy, and 3) the formation of a research network that includes industry-academia collaboration that integrates fields related to energy.

To achieve this, we have established five laboratories: the field of light and heat energy conversion materials, the field of quantum energy conversion materials, the field of multi-scale functional integration, the field of energy conversion system design, and the field of energy media conversion materials, and are creating functional materials essential for highly efficient energy conversion and energy storage, as well as analyzing the atomic level structure and function of these materials.

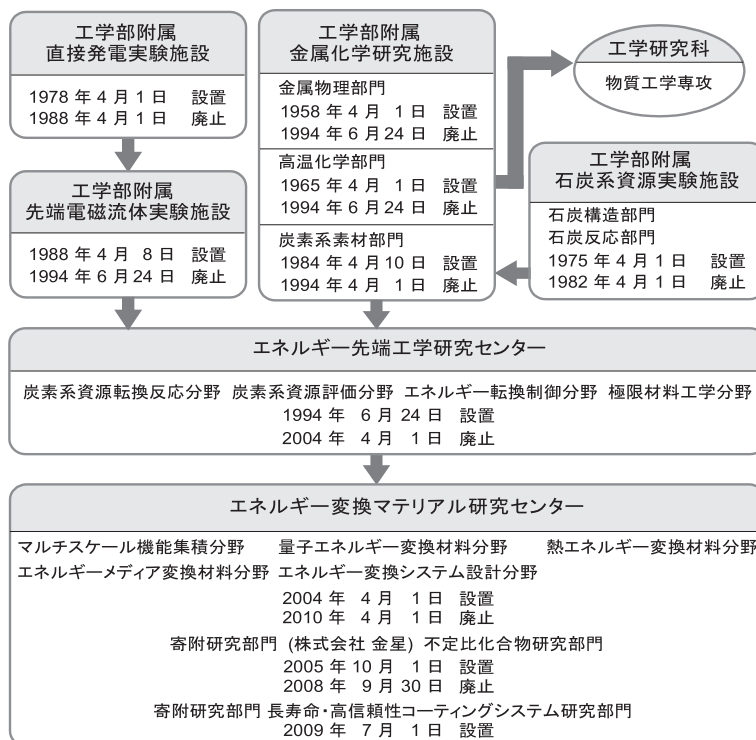
Since the establishment of the Green Transformation Leading Research Center and the Semiconductor Frontier Education and Research Organization as joint project bases at our university in 2025, the Center has been actively working on the university's research and education base concept, promoting fusion research with researchers both inside and outside the university through the use of shared equipment and supporting interdisciplinary research, aiming to contribute as a research and education base.

In terms of education, as a cooperative course between the School of Engineering and the School of Chemical Sciences and Engineering, the Center is also involved in the education of undergraduate and graduate students, contributing to the development of the next generation of energy-related human resources.

We would appreciate your guidance, encouragement, and warm support as we work to fulfill our mission.

Professor Tamaki Shibayama
Center Director
May 2025





エネルギー・マテリアル融合領域研究センター

マルチスケール機能集積分野 量子エネルギー変換材料分野 光・熱エネルギー変換材料分野
エネルギーメディア変換材料分野 エネルギー変換システム設計分野 超高圧電子顕微鏡室

長寿命・高信頼性
コーティングシステム分野(寄附分野)
2010年4月1日 設置

長寿命・高信頼性
コーティングシステム分野(寄附分野)

2012年6月30日 廃止

複合量子ビーム超高圧顕微解析研究室 中性子材料解析研究室
2018年4月1日 設置

History

Three research institutes were active in the Faculty of Engineering, Hokkaido University as affiliated research institutes before June, 1994.

- Metal Chemistry Research Institute (founded on March 4, 1937 and revised on April 1, 1958)
- Coal Research Institute (founded on April 1, 1975)
- Advanced Magnetohydrodynamic Research Institute (founded on April 4, 1988)

Center for Advanced Research of Energy Technology (CARET) was established on June 24, 1994.

- Reaction Engineering in Carbonaceous Resource Conversion
- Characterization and Analytical Chemistry of Carbonaceous Resources
- Division of Energy Conversion and Control

Center for Advanced Research of Energy Conversion Materials (CAREM) was established on April 1, 2004.

- Laboratory of Integrated Function Materials
- Laboratory of Quantum Energy Conversion Materials
- Laboratory of High Temperature Materials
- Laboratory of Energy Media
- Laboratory of Chemical Energy Conversion Processes

Division of Non-stoichiometric Compounds (KINBOSHI Co. Ltd. Endowed) was established in October 2005.

Advanced Coating Laboratory was established in July 2009.

Center for Advanced Research of Energy and Materials was established on April 1, 2010.

- Laboratory of Integrated Function Materials
- Laboratory of Quantum Energy Conversion Materials
- Laboratory of High Temperature Materials
- Laboratory of Energy Media
- Laboratory of Chemical Energy Conversion Systems
- High-Voltage Electron Microscope Laboratory

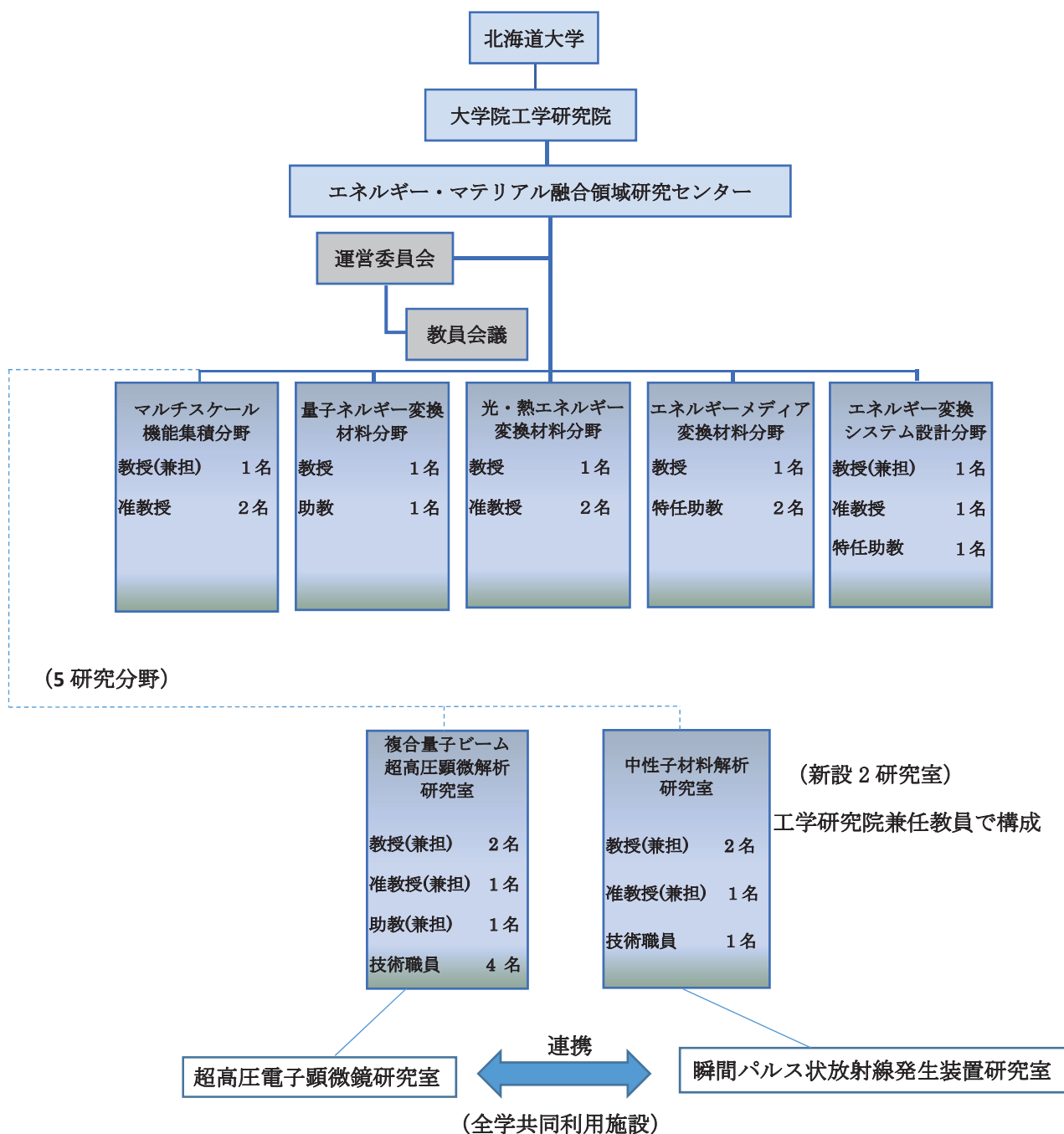
Advanced Coating Laboratory was discontinued from June 30, 2012.

Laboratory of Photon & Thermal Energy Conversion Materials was established on April 1, 2015

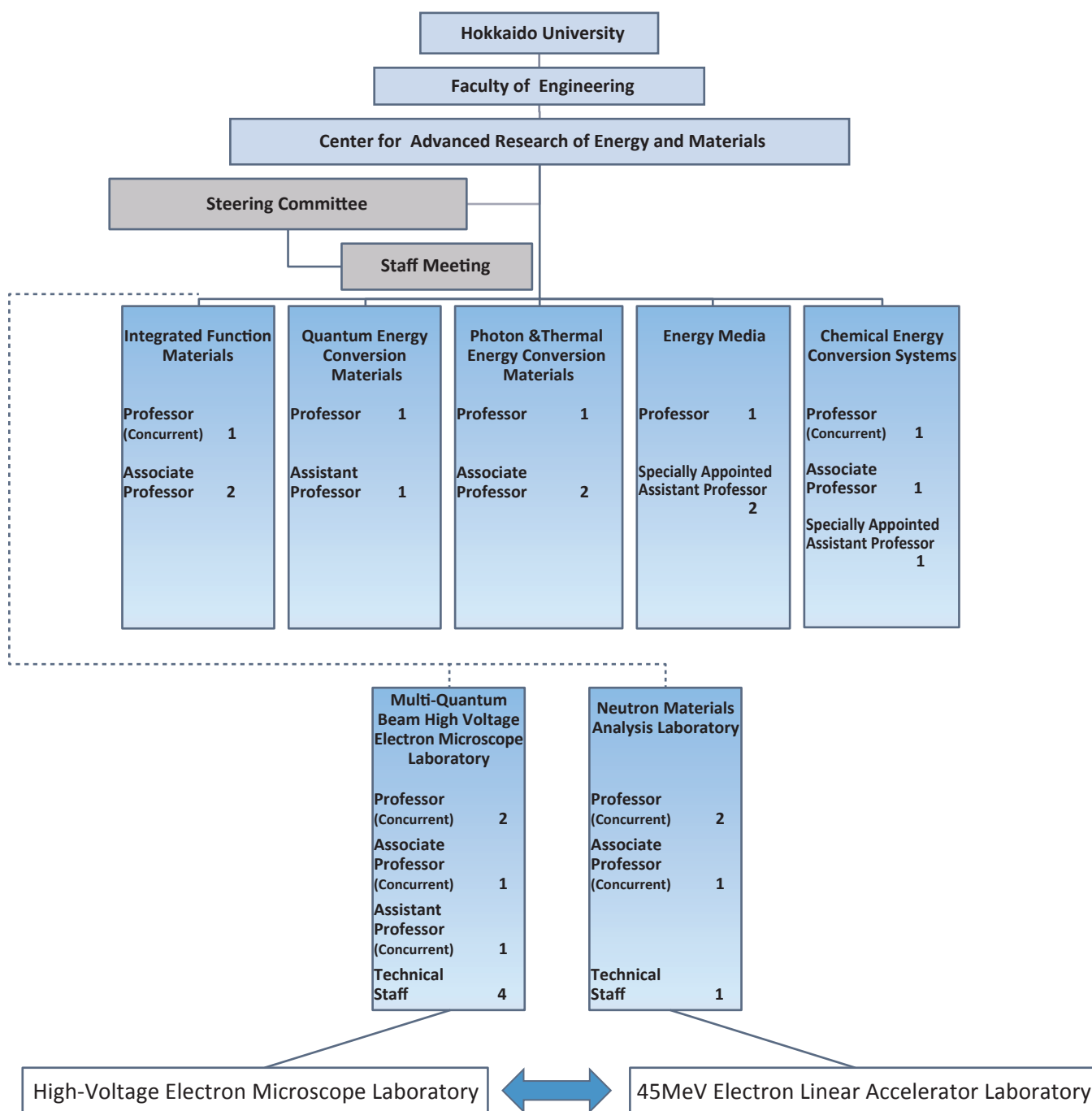
Multi-Quantum Beam High Voltage Electron Microscope Laboratory was established on April 1, 2018

Neutron Materials Analysis Laboratory was established on April 1, 2018

組織



Organization



マルチスケール機能集積分野

教授(兼) 柴山 環樹



准教授

坂口 紀史

Associate Professor
Norihito Sakaguchi

sakaguchi@eng.hokudai.ac.jp



准教授

國貞 雄治

Associate Professor
Yuji Kunisada

kunisada@eng.hokudai.ac.jp

エネルギー利用の高効率化とそのためのマテリアル開発基盤を構築するため、電子顕微鏡を用いた原子レベルの構造評価、ナノ計測技術、計算機シミュレーションを組み合わせ、材料のナノからマクロまでの特性とその起源をマルチスケールで解析・評価している。(図1)

これらの先端材料分析とデータマイニング技術を組み合わせ、先進電子顕微鏡を活用した「材料解析手法の開発」、蛍光体や酸素吸蔵材料、水素遮蔽用保護被覆膜、半導体などの「機能性セラミックスの開発」、燃料電池電極触媒や(脱)水素化触媒などの「省貴金属化」などに関する研究を推進し、各種プロセスの省エネルギー化やグリーントランスフォーメーションの実現に貢献しています。

現在実施している研究テーマ例を以下に示す。

(1) 二次元セラミックス材料の合成と構造評価

グラフェンのような二次元シート状構造を有するセラミックス材料であるMXeneは、触媒や二次電池、コンデンサー、光学材料、センサーなど様々な分野への応用が期待されている。MXeneは図2に示すように前駆体であるMAX相から特定の元素層を除去することで得られる。我々はMXeneの高性能化のため、MXeneへの異元

素ドーピングの実現を目指している。MAX相合成時の中間生成物を精緻に解析し、MXene骨格への異元素ドーピングに適したMAX相合成条件を探索している。また、様々な水溶液や熔融塩を用い、MXeneの収率向上を実現するためのエッチング条件を探索している。さらに、得られたMXeneの構造や組成を先進電子顕微鏡により原子スケールで評価している。

(2) グリーントランスフォーメーションの実現に向けた省貴金属・長寿命・高活性な触媒材料の開発

持続可能なクリーンエネルギー社会の実現には、高活性かつ耐久性に優れた省貴金属触媒材料の開発が必要不可欠である。我々は省貴金属触媒として、単原子からnmオーダーまで微細化した触媒に着目している。触媒劣化特性や触媒反応特性を解明するためには、触媒動作中の電子や原子の振る舞いを理解する必要がある。我々は、図3のように先進電子顕微鏡を用い単原子触媒の拡散を直接観察し、拡散特性を評価している。また、ナノ粒子触媒の粗大化過程の直接観察から、粗大化メカニズムの解明を目指している。さらに、第一原理電子状態計算を用い、単原子触媒の凝集プロセスや触媒反応機構を素過程から理解するための研究を推進している。

(3) セラミックス材料中の水素透過特性の制御

材料の水素脆化による劣化を低減するためには、材料中への水素侵入を抑制しなければならない。一方、水素透過膜や水素分離膜には高い水素透過特性が求められる。このように材料中への水素の侵入特性を制御することは、水素関連材料の開発において重要である。我々は、第一原理電子状態計算を活用し、材料中の界面や欠陥近傍における水素の固溶・拡散特性およびその同位体効果を調査し、水素遮蔽被覆膜や水素分離膜の開発に向けた研究を遂行している。

(4) 金属材料の加工プロセスの省エネルギー化

金属材料の加工プロセスでは高温で行われることが多く、省エネルギー化が求められている。我々は、加工プロセスの省略や金属3Dプリンターを活用し、省エネルギー化の実現を目指している。様々な条件で加工された金属材料や3Dプリンターで造形された金属材料の微細組織を観察し、省エネルギー化と望ましい微細組織の実現を両立できる条件を探索している。



Laboratory of Integrated Function Materials

Professor (concurrent) Tamaki Shibayama
Associate Professor Norihito Sakaguchi
Associate Professor Yuji Kunisada

Our group integrates atomic-scale structural analysis using advanced electron microscopy and computational simulations to provide a basis for developing materials that enable more efficient energy utilization. By combining these approaches, we conduct multiscale evaluations and analyses of material properties, from the nano- to the macro-scale, to elucidate their origins (Fig. 1). We aim to contribute to realizing energy-efficient processes and green transformation.

(1) Synthesis and Structural Characterization of Two-Dimensional Ceramic Materials

MXene has attracted significant attention for various applications. As shown in Fig. 2, MXene is synthesized from MAX phases by selectively etching specific atomic layers. We perform a detailed analysis of intermediate phases during the MAX phase synthesis and the etching process to identify optimal synthesis conditions that allow heteroatom doping into the MXene framework. We also characterize the atomic structure and chemical composition of the obtained MXene at the atomic scale using advanced electron microscopy.

(2) Development of New Catalysts for Green Transformation

Understanding the behavior of electrons and atoms under catalytic operation is crucial for elucidating degradation and reaction mechanisms. As shown in Fig. 3, we use advanced electron microscopy to directly observe the diffusion of single-atom catalysts and evaluate their diffusivity. We also aim to unveil the coarsening mechanisms of nanoparticle catalysts. First-principles calculations further support our efforts to clarify aggregation processes and catalytic reaction pathways at the atomic level.

(3) Control of Hydrogen Permeation in Ceramic Materials

Controlling hydrogen behavior in materials is critical for developing hydrogen-related technologies. Using first-principles calculations, we investigate hydrogen solubility, diffusion properties, and isotope effects at interfaces and defects.

(4) Energy-Saving Processing of Metallic Materials

We explore the potential of simplifying conventional processes and using metal 3D printing to achieve energy-efficient manufacturing. By analyzing the microstructures of metallic materials processed under various conditions, we aim to identify processing conditions that enable both energy savings and the formation of desirable microstructures.



Fig. 1 Conceptual image of our research.

図1 本研究室の研究コンセプト.

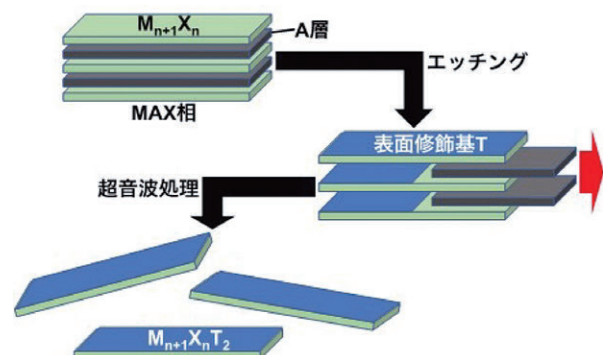


Fig. 2 Synthesis process of MXene.

図2 MXeneの合成プロセス.

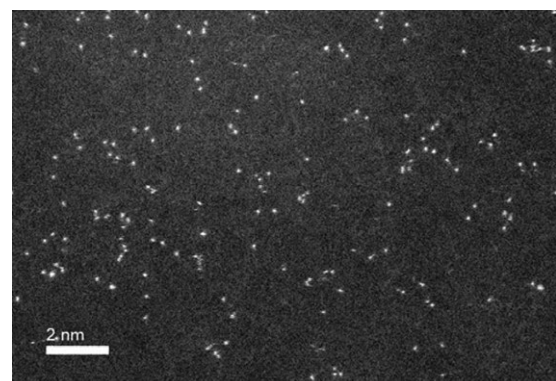


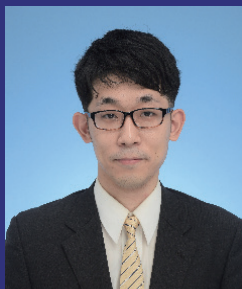
Fig. 3 Direct observation of single-atom catalysts.

図3 単原子触媒の直接観察.

量子エネルギー変換材料分野



教授
柴山 環樹
Professor
Tamaki Shibayama
shiba@qe.eng.hokudai.ac.jp



助教
中川 祐貴
Assistant Professor
Yuki Nakagawa
y-nakagawa@eng.hokudai.ac.jp

学術研究員 Research Promotion Technician
近藤 美奈子
Minako Kondo kondo37@eng.hokudai.ac.jp

本分野では、イオン、電子、光などの量子ビーム、プラズマ状態を利用した非平衡科学やナノ材料創製研究を基礎に、極めて過酷な条件に耐えうる新エネルギー材料、未来志向型の機能性マテリアル(全固体電池材料、水素吸蔵合金)の創製研究やTEM微細構造解析による材料特性の発現機構の解明に取り組んでいる。世界的に比類のない130万ボルトの複合量子ビーム超高压電子顕微鏡とイオン加速器・パルスレーザーを用いることで、電子線・粒子線の量子エネルギービーム利用による新奇のナノ材料創製研究が可能となっている。主な研究テーマと最近の成果は次の通りである。

(1)量子ビーム利用による材料その場観察研究

イオン加速器付マルチビーム超高压電子顕微鏡にレーザー光照射系を導入することで、試料物質に対し電子、イオン、レーザー光の量子ビームを逐次的または同時に照射することが可能となった。このシステムを用いて、イオン液体中のZnOナノ結晶の電子線・レーザー同時照射による光腐食をTEM内でその場観察することに成功した。これを基盤として、水との反応をその場観察するための手法について検討を行っている。また、ガ

ス冷却高速炉炉心の耐熱性物質として期待されるSiC/SiC複合材について、TEM内in-situクラック伝播試験用試料ホルダーの開発を行うとともに、実際TEM内でクラックを与え、動的なその場観察から伝播経路の解明を行っている(図1)。

(2)過酷環境用先進材料の開発

過酷環境での使用も検討されているSiCに対して単結晶基板へのHeイオン照射を行い、照射領域と非照射領域界面に生じる残留弾性歪について、先端電子顕微鏡法を駆使した評価方法を確立した。また、プリント基板などの電子部品に使用される銅にHeイオンを照射することで水中での酸化物結晶の成長が抑制される現象を見出した。He格子間原子や照射欠陥が酸素の拡散バリア層になるとともに、Heイオン照射中に表面に形成する炭素主体の被膜により酸化が抑制されることが明らかとなった。

(3)水素化物を用いた固体電解質材料の開発

固体電解質の候補材料として、水素化物系材料の開発に注力している。LiBH₄に対して、ZrO₂、Al₂O₃等の酸化物セラミックスの絶縁体を分散させることで、リチウムイオン伝導度を大きく向上させることができ、そのイオン伝導度は酸化物ホストの比表面積や細孔体積と強い相関があることを見出した。また、電子線に敏感なLiBH₄を含む複合物質に対して、エネルギーフィルターTEMの手法を用いてリチウムをナノスケールで可視化することができた(図2)。未来志向型の電池材料開発に向けて、資源性に富む元素を用いた固体電解質材料の開発にも着手している。

(4)水素貯蔵材料の開発と表面改質

Li系錯体水素化物やTiFe系水素吸蔵合金を対象として、新材料の開発、TEMによる微細構造の解析やパルスレーザーによる表面改質を行っている。水素吸蔵金属である純チタンの有機溶媒中でのナノ秒パルスレーザー照射による表面改質では、TiO₂やTiO_xC_y被膜の形成により水素吸蔵温度が高温側にシフトすることが分かり、パルスレーザーを用いた水素バリアコーティングの基礎的知見を得ることができた。パルスレーザーを用いた合金の活性化手法についても検討している。



Laboratory of Quantum Energy Conversion Materials

Professor Tamaki Shibayama

Assistant Professor Yuki Nakagawa

Research Promotion Technician Minako Kondo

Based on non-equilibrium science using quantum beams (ions, electrons, and lights) and on nanomaterials development research, we undertook research in the R&D of new energy materials that can withstand severe environments and future-oriented functional materials (all-solid-state battery materials and hydrogen storage alloys), and in the elucidation of material properties by TEM microstructure analysis.

For that purpose, we have started the development of novel nano-materials by utilizing quantum energy beams of electron, ion using ion accelerators and the Multi-Quantum Beam High-Voltage Electron Microscope (MQB-HVEM) with 1.3 million volt unparalleled in the world.

Our main themes and recent results are as follows.

(1) Operando observation research of material by utilizing quantum beam

We have installed laser-light irradiation systems on MB-HVEM with existing ion accelerators. From the viewpoint of nano-scale observation or creation of new materials under non-equilibrium environment, it is useful to apply quantum beams of electron, ion, and laser light onto material successively or simultaneously. Using this system, we have succeeded in observing operando photo-corrosion of ZnO nanocrystals in ionic liquids by simultaneous electron and laser irradiation in a TEM. On this basis, we are investigating a method for operando observation of the reaction with water. Since SiC/SiC composite material is expected as heat-resistant material in the core of gas-cooled fast breeder reactor, we have developed a new sample holder for dynamically in-situ testing of crack propagation in TEM, and examined the route of crack propagation by actually generating crack in sample (Fig. 1).

(2) Development of advanced material for severe environment

We have established an evaluation method of residual elastic strain at the interface between He-ion irradiated and non-irradiated area of SiC by using advanced electron microscopy. We also found that He ion irradiation of copper suppressed the growth of oxide crystals in water indicating that He interstitial atoms and irradiation defects act as a diffusion barrier layer for oxygen, and that oxidation is suppressed by carbon-based films formed on the surface during He ion irradiation.

(3) Development of solid electrolytes based on hydrides

We are focusing on the development of hydride-based materials as candidates for solid electrolytes. We found that lithium-ion conductivity of LiBH_4 can be significantly improved by dispersing insulators of oxide ceramics such as ZrO_2 and Al_2O_3 , and that the ion conductivity is strongly correlated with the specific surface area and pore volume of the oxide host. For composite materials containing LiBH_4 , which is sensitive to electron beams, we were able to visualize lithium at the nanoscale using an energy-filtered TEM technique (Fig. 2). Toward the development of future-oriented battery materials, we have also started to develop solid electrolytes using resource-rich elements.

(4) Development of hydrogen storage materials and their surface modifications

For Li-based complex hydrides and TiFe-based hydrogen storage alloys, we are developing new materials, analyzing microstructures by TEM, and performing surface modification by pulsed laser. In the surface modification of pure titanium by nanosecond pulsed laser irradiation in organic solvents, the formation of TiO_2 and TiO_xC_y films shifts the hydrogen absorption temperature to a higher one, providing basic knowledge of hydrogen barrier coatings using pulsed laser irradiation. A method of activating the hydrogen storage alloys using a pulsed laser is also being investigated.

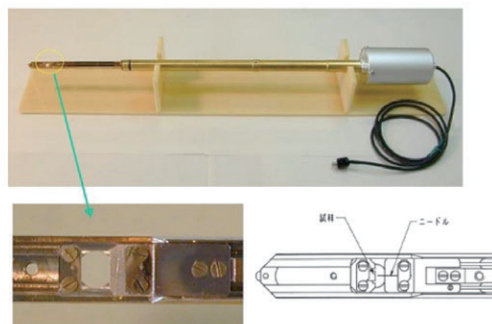


Fig.1 Electron microscope holder for nano-mechanical analysis.

図1 ナノメカニクス解析用電顕ホルダー装置.

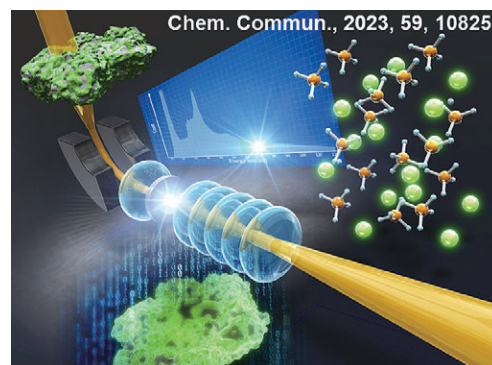


Fig.2 Li mapping by using Energy-filtered TEM.

図2 エネルギーフィルターTEMによるLiマッピング.

光・熱エネルギー変換材料分野



教授
渡辺 精一
Professor
Seiichi Watanabe
sw004@eng.hokudai.ac.jp



准教授
沖中 憲之
Associate Professor
Noriyuki Okinaka
oki@eng.hokudai.ac.jp



准教授
張 麗華
Associate Professor
Lihua Zhang
zhanglihua@eng.hokudai.ac.jp

本分野では、物質の多様な物性を材料科学の立場から最大限に活用して、高効率で環境低負荷な光エネルギー変換、熱電エネルギー変換のための高度な機能を持つ新しい材料の開発創製研究を進めている。

将来のクリーンエネルギーとして期待される水素を、太陽光を用いて水から直接製造する「太陽光水素製造(水の光分解)」の研究を中心に、光エネルギーを用いて有害物質を分解無害化する「光環境浄化」などのグリーンテクノロジー研究を進め、これらに供する新機能材料システムの開発研究を進めている。

水素は燃料電池の燃料となるだけでなく、二酸化炭素や窒素と反応させることにより各種の有用資源へと変換可能のため、次世代グリーン化学応用も期待されており。その他、人工光合成による水分解反応は、尽蔵の太陽光と比較的安価な光触媒材料を用いて、水から水素を直接製造できる可能性がある。しかし、従来の光触媒材料ではその吸収波長が主として紫外光領

域に限られるものが多く、太陽エネルギーの変換効率向上のためには、可視光から赤外光領域の光を利用できるように、光触媒の吸収波長を長波長化することが課題の一つとなる。このため、可視光域の光を多く吸収する光触媒材料を探索すると同時に、光触媒による水分解において水素の発生と酸素の発生を担う光触媒材料を使い分けることで、材料選択の多様性が期待されている。

(1) 光誘起ナノ材料創製(水中結晶光合成)

水と光により、水の光誘起分解を伴いながら金属酸化物のナノ結晶が成長することを見出し、水中結晶光合成 (SPSC: Submerged Photo-Synthesis of Crystallites)と命名した。現在、この新奇現象を利用して様々な、金属酸化物のナノ粒子、ナノ表面構造を創るグリーンマテリアル研究開発を進めている。

(2) 太陽光利用材料創製(グリーンナノテクノロジー)

ナノメートルオーダーの微小空間における「光」及び「物質」間の相互作用(原理)を解明し、それらに基づいて新奇の機能性材料を創製する開発研究に取り組んでいる。

(3) 液相燃焼合成製 SrTiO_3 による可視光応答光触媒の開発

可視光照射下での水素生成に活性な光触媒材料として期待されているチタン酸ストロンチウム(SrTiO_3)に着目し、それらの開発研究を行っている。開発には短時間・省エネルギー製造が可能で大量生産に適しており、高比表面積の製品が得られる液相燃焼合成法を用いている。

(4) 燃焼合成技術を用いた熱電変換材料の開発

燃焼合成(固相燃焼および液相燃焼合成)により高精度に量論比を制御した不定比酸化物(酸素欠損および酸素過剰)はドーピング不要の半導体となり、高い実用性が期待できる。これら不定比酸化物を中心とした熱電変換材料の研究は、高いエネルギー変換効率をもつ材料の開発とそれらの背後にある学理の理解を指向している。



Laboratory of Photon & Thermal Energy Conversion Materials

Professor Seiichi Watanabe

Associate Professor Noriyuki Okinaka

Associate Professor Lihua Zhang

We are developing new materials for photo energy conversion and thermoelectric energy conversion with high conversion efficiency and low environmental impact by take full advantage of the wide variety of physical properties of the materials from the viewpoint of materials science.

Hydrogen is expected to be used as green energy in the future. Our lab is focused on “solar hydrogen production (photocatalytic water splitting)”, which means the direct production of hydrogen from water by sunlight. We are promoting the research of green technology ‘photocatalysis environmental cleanup’ and developing the new functional materials systems.

Hydrogen is not only expected as the fuel of the fuel cell, but also expected in the application of next generation green chemistry because of the possible conversion into various useful resources by reaction with carbon dioxide or nitrogen. It is possible to produce hydrogen from water by exhaustless sunlight and inexpensive photocatalyst, in which the water splitting reaction is caused by the artificial photosynthesis. However, the absorption wavelength of the traditional photocatalyst is limited to ultraviolet light range. In order to improve conversion efficiency of solar energy from the visible light region to the infrared light region, it's necessary to develop new photocatalyst which could absorb longer wavelength. Therefore, our lab are working on the researches to find new photocatalytic materials which could absorb more light in the visible light region, at the same time the photocatalyst could be used properly for the generation of oxygen and hydrogen from water by splitting reaction.

(1) Submerged photosynthesis of crystallites (SPSC)

We have a new production pathway for a variety of metal oxide nanocrystallites via submerged illumination in water: submerged photosynthesis of crystallites (SPSC). Similar to the growth of green plants by photosynthesis, nanocrystallites shaped as

nanoflowers and nanorods are hereby shown to grow at the protruded surfaces via illumination in pure, neutral water. The process is photocatalytic, accompanied with hydroxyl radical generation via water splitting; hydrogen gas is generated in some cases, which indicates potential for application in green technologies. The nanobumped surface, as well as aqueous ambience and illumination are essential for the SPSC method. Therefore, SPSC is a surfactant-free, low-temperature technique for metal oxide nanocrystallites fabrication.

(2) Solar-driven material fabrication

We are elucidating the light matter coupling process in nano-space and are working on the development study which creates new functional materials using SPSC for application in green technologies.

(3) Development of a visible light responsive photocatalyst using solution combustion synthesized SrTiO₃

The strontium titanate (SrTiO₃) photocatalyst is attracting considerable attention as a material for hydrogen production. We research SrTiO₃ for a visible light reactive photocatalyst using solution combustion synthesis.

(4) Development of thermoelectric materials based on combustion synthesis

Thermoelectrics are able to generate electrical power from any type of temperature difference. Our researches have been directed toward development of materials which have high conversion efficiency and understanding of the physics lying behind them.

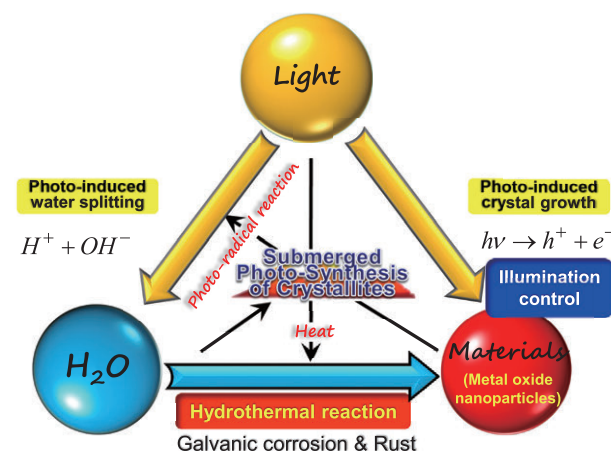


Fig.1 Characteristics of SPSC.

図1 SPSC の特徴.

エネルギーメディア変換材料分野



教授
能村 貴宏
Professor
Takahiro Nomura
nms-tropy@eng.hokudai.ac.jp



特任助教
メルバート ジェーム
Specially Appointed
Assistant Professor
Melbert Jeem
m_jeem@eng.hokudai.ac.jp



特任助教
棚橋 慧太
Specially Appointed
Assistant Professor
Keita Tanahashi
k.tanahashi@eng.hokudai.ac.jp

ポスドク Postdoctoral Fellow

Mba Joshua Chidiebere

mbajoshuac@eng.hokudai.ac.jp

本研究分野が目指す究極の目的は、ホメオスタシスエネルギー社会の創成である。この実現に向けて、エネルギーを高密度に貯蔵、輸送、高効率に変換可能なマテリアル、プロセスを探索している。具体的には、(1) 太陽熱やプロセス排熱を高密度に貯蔵、輸送可能な次世代蓄熱材料、(2) エクセルギー再生原理を応用した省エネルギー空気分離・酸素製造プロセス、(3) 低品位炭材、アンモニア等を燃料とした新製鉄法、(4) 燃焼合成法によるファインセラミックスの省エネルギー・短時間合成、(5) エコ・コンビナートの設計、を基軸に研究を展開している。

(1) 次世代蓄熱材料の探求

PCM（相変化物質：Phase Change Material）を用いた潜熱蓄熱技術は、PCM の固液相変化潜熱を利用するため高密度に蓄熱可能、かつ相変化温度一定で熱を回収・輸送・供給可能である。当グループでは、室温から 500℃ 超の高温領域まで、それぞれの温度に適した新規 PCM の開発、及びプロセス設計を実施している。具体的には、①次世代パワーデバイスの熱管理技術のための高熱伝導性 PCM 複合材開発、②中低温未利用熱（排熱・太陽熱）利用のための糖アルコール系 PCM 開発、③エクセルギー再生技術、太陽熱発電のための合金 PCM 開発を実施している。

特に最近、300℃ 超の高温域で利用可能なマイクロカプセル PCM を開発した。この技術は、長年固体顕熱蓄熱技術の独壇場であった高温プロセスにおける蓄熱、熱輸送技術基盤を革新する可能性がある。（図 1 参照）。

(2) エクセルギー再生原理を応用した省エネルギー酸素製造プロセス

わずかな圧力スウィングのみで空気から酸素を分離可能な酸化物系酸素吸蔵材料を開発している。この材料の利用により、従来空気分離技術の半分以下のエネルギーで酸素を製造できる可能性が見出されている。

(3) 低品位炭材、アンモニアを燃料とした新製鉄法

エクセルギー多消費産業である鉄鋼業は、資源・環境・エネルギーの三問題を抱えている。当グループはこの三重苦の解決を目標に、材料科学、プロセス工学の観点からアプローチしている。具体的には、①化学気相浸透法（CVI: Chemical Vapor Infiltration）を応用した低品位原燃料の高品位化技術、②NH₃ を還元材として使用する画期的 NH₃ 製鉄法、③製鉄所における高温排熱の有効利用技術をキーテクノロジーとして、基礎実験からプロセス設計、システム創造まで幅広い視点で研究を進めている。

(4) 燃焼合成法によるファインセラミックスの省エネルギー・短時間合成

粉体原料間発熱反応の自己伝播を利用する燃焼合成は、省エネルギー・短時間・省プロセスでの材料合成が可能である。当研究室は燃焼合成法を長年探索し、窒化物、酸窒化物、ペロブスカイト、水素吸蔵合金などあらゆる材料の合成に成功している。その中でも近年特に、窒化物（AlN、Si₃N₄、BN など）および酸窒化物（SiAlON）が注目されている。例えば、AlN、Si₃N₄ 及び BN は高熱伝導率かつ、電気絶縁性のため、電子部品の放熱材として魅力的である。当グループは、燃焼合成技術を基盤として窒化物や酸窒化物への微量元素のドーピングや、それらの形状制御（ナノ粒子、ナノファイバー等、図 2 参照）による新規機能性材料の開発及びその機能性発現機構の解明を実施している。

(5) エコ・コンビナート設計

ここでは真のエネルギー評価の尺度、エクセルギーを用いて損失の総和が最小となるシステムの設計を目指している。さらに恒常的にシステムを維持するために先端的なネットワーク理論による解析を進め、異業種が共生するエコ・コンビナートの設計に役立てている。



Laboratory of Energy Media

Professor Takahiro Nomura

Specially Appointed Assistant Professor
Melbert Jeem

Specially Appointed Assistant Professor
Keita Tanahashi

Postdoctoral Fellow Mba Joshua Chidiebere

The ultimate goal of our field of research is the creation of a society of energy homeostasis. To achieve this goal, we are pursuing materials and processes capable of high-density energy storage, energy transportation, and high-efficiency energy conversion. Specifically, we are pursuing research focused on (1) next-generation heat storage materials capable of high-density storage and transportation of solar heat and process waste heat; (2) energy-saving air separating & oxygen manufacturing processes that apply exergy recovery principles; (3) new iron manufacturing processes that use low-grade lime and ammonia as fuel; (4) fast, energy-saving synthesis of fine ceramics through combustion synthesis; and (5) eco-friendly industrial complex design.

(1) Next-generation heat storage materials

Latent heat storage technology using phase change materials (PCMs) offers the potential for high-density heat storage due to the latent heat from the PCM's transition between a solid and a liquid phase. This technology is also capable of recovering, transporting, and supplying heat through phase changes occurring at a fixed temperature. Our group is developing new PCMs suitable for a variety of temperatures from room temperature to 500 °C and above; we are also executing process design. Specifically, we are developing 1) high-conductivity PCM composites to provide heat-control technology for next-generation power devices; 2) sugar alcohol-based PCMs to utilize unused heat in low-to-mid temperature ranges (waste heat and solar heat); and 3) alloy PCMs for exergy recovery technologies and solar thermal power generation.

In particular, we have recently developed a microencapsulated PCM (MEPCM) usable in areas where temperatures exceed 300 °C. This technology has the potential to revolutionize the basis of heat storage and transportation technologies in high-temperature processes for which solid sensible heat storage technology has long remained unchallenged (see Fig. 1).

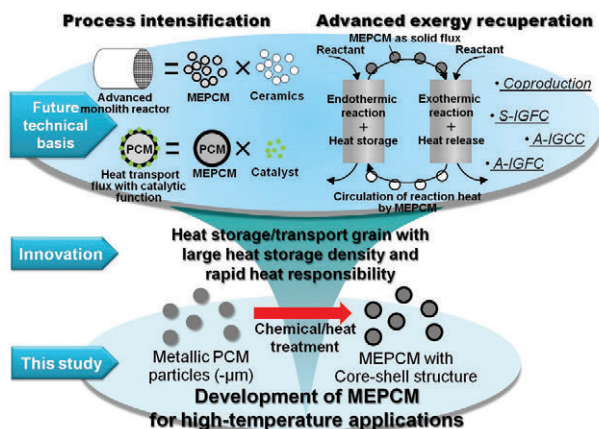


Fig. 1 Expected MEPCM applications.
Ref. T. Nomura et al: Sci. Rep., 5(2015), 9117.

(2) Energy-saving oxygen manufacturing processes that apply exergy recovery principles

We are developing an oxide-based oxygen-storing material capable of separating oxygen from air using only a slight pressure swing. The use of this material has been determined to have the potential to produce oxygen using less than half the energy of traditional technologies.

(3) New iron manufacturing processes that use low-grade lime and ammonia as fuel

The exergy-intensive steel industry faces three challenges: resources, the environment, and energy. Our group is approaching this triple threat from the perspectives of materials science and process engineering to find solutions. Specifically, we are conducting research from a wide variety of perspectives, from basic experimentation to process design and system creation, with 1) technology that uses chemical vapor infiltration (CVI) to improve the quality of low-grade raw fuels, 2) a ground-breaking NH₃ ironmaking technology that uses NH₃ as a reduction material, and 3) technology that makes effective use of the steelworks' high-temperature waste heat, implemented as key technologies.

(4) Fast, energy-saving synthesis of fine ceramics through combustion synthesis (CS)

CS that uses the self-propagation of an exothermic reaction between powdered materials has the potential to synthesize materials via a quick, energy-saving process. Fig. 2 shows a photo of a CS process. Our research laboratory has spent many years investigating CS methods and has succeeded in synthesizing a variety of materials, such as nitrides, oxynitrides, perovskite, and hydrogen storage alloys. In recent years, we have had a particular focus on nitrides (such as AlN, Si₃N₄, and BN) and oxynitrides (SiAlON). For example, AlN, Si₃N₄, and BN are appealing as heat dissipation materials for electronic components due to their high heat conductivity and capacity for electric insulation. As the basis of our CS technology, our group is conducting research into new functional materials created through doping nitrides and oxynitrides with trace elements and controlling the shape of the materials (such as nanoparticles and nanofibers). We are also identifying the mechanisms through which these materials' functionalities express themselves.

(5) Eco-friendly industrial complex design

Here, our goal is system design that minimizes the total of losses using exergy and a true energy evaluation scale. We are also conducting analyses using cutting-edge network theory to keep systems in homeostasis and make use of eco-friendly industrial complex design where different types of businesses coexist.

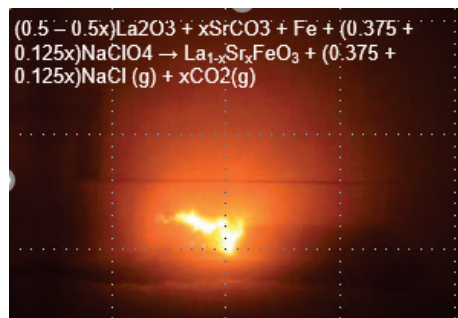
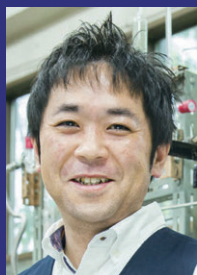


Fig. 2 A photo of a CS process.

エネルギー変換システム設計分野

教授(兼) 向井 紳



准教授
坪内 直人
Associate Professor
Naoto Tsubouchi
tsubon@eng.hokudai.ac.jp



特任助教
望月 友貴
Specially Appointed
Assistant Professor
Yuuki Mochizuki
mochi@eng.hokudai.ac.jp

ポスドク Postdoctoral Fellow
篠原 祐治 Yuji Shinohara
yshinohara@eng.hokudai.ac.jp

当研究室では、化学の力により『資源・エネルギー・環境』に係る問題の解決を目指し、主に劣質・未利用化学資源の高度利用技術の開発に取り組んでいる。

特に、未利用固体炭素資源(木質バイオマスなど)をクリーンエネルギーや高価値化学原料などに効率よく変換できるプロセス、劣質鉄鉱石資源(リモナイト鉱や脈石成分リッチ鉱石など)を改質して製鉄原燃料化するシステムおよび一旦排出されたCO₂を再利用する手法(CCUやカーボンリサイクルなど)の開発を進めている。くわえて、食品ロス等の観点から、魚介類の鮮度管理システムに関する化学工学的研究も推し進めている。

(1) クリーン・カーボン・テクノロジー

固体炭素資源からCO₂フリーH₂を製造し、そのH₂を活用して発電する技術(CO₂フリーH₂発電)の開発が行われている。そこで当研究室では、バイオマスおよびバイオマス混合炭から効率的にH₂を製造可能なガス化触媒の開発、生成ガス中の微量のヘテロ化合物(HCl、H₂S、NH₃など)の挙動解析と高温除去技術の確立を進めている(特許第6070462等)。さらに、計算化学を用い、未利用炭素資源から高強度コークスを製造する手法の開発にも取り組んでいる(特許第7470598等)。

(2) 環境調和型製鉄プロセス

よく知られているように、鉄は現代文明社会を支える

基幹素材の1つである。現在、その主要な原料である鉄鉱石は100%輸入に依存しており、今後、不純物の増加により鉄量が低下(劣質化)すると予想されている。これは、製鉄プロセスにおける①エネルギー使用量の増加、②CO₂排出量の増大および③生産性の低下を引き起こす。そこで当研究室では、アルカリ水熱処理を利用する劣質鉄鉱石アップグレーディングプロセスの開発(特開2024-30025)や化学気相浸透技術を用いる炭素内装鉱石の製造(特許第6414903等)に取り組む一方、NH₃還元製鉄技術・製鉄由来Hg化合物の排出制御技術・製鋼スラグ等の二次資源からの黄リン(白リン)製造技術の開発を推し進めている(図1)。

(3) カーボンリサイクル

本研究では、『資源・エネルギー・環境』の3大問題を同時解決することを最大の目的に、バイオマスなどの劣質・未利用炭素資源を原料として用い、エネルギー効率が大きく、さらに、CO₂も資源と捉え、これを分離・回収して工業ならびに触媒の原料として再利用できる炭素循環型発電システムの開発を目指している。このシステムでは、バイオマスや低品位褐炭に水溶性金属イオンを加え、セルフリプレイス効果により高いガス化反応性を有する新燃料に転換し、これを熔融炭酸塩型燃料電池のセル内でガス化して、H₂とCO₂は電池内で循環させる一方、余剰CO₂は電極側で濃縮し、それを水酸化物に吸収させ固定化して、その固定化物を再び添加触媒や工業原料として用いる点に最大の特徴を有する。我々は、さらに、火力発電所や製鉄所といった大規模な施設から排出されるCO₂に特化したCO₂転換触媒の設計・開発も推し進めており、最近、銀化合物にH₂が接近すると高活性なヒドリド(GDR)が生成し、CO₂メタネーションやメタノール合成などの活性種として働き、反応の低温化(130℃)と高効率化が可能になることを明らかにした(特願2023-202513等)(図2)。

(4) 水圏水産サイエンス

魚介類の生産地や消費地における卸売市場では、鮮度が取引価値を決定する重要な基準となっており、その評価指標としてK値が提唱されている(本学提唱)。しかし、この値は致死後の魚介類の任意部位を採取し、種々の前処理後に成分分析を行い求めるため、流通現場でのリアルタイム評価は不可能である。このような観点から、当研究室では魚介類の大きさ、死後の経過時間や保存温度などの情報から、K値を推算する評価システムを構築した(特許第7659804等)。現在、鮮度と食べ頃の『見える化(MIRASAL)』を考えて、MIRASALソフトとMIRASALデバイスの開発に取り組むとともに(図3)、回転寿司店や地域商社などと実証試験を行っている。



Laboratory of Chemical Energy Conversion Systems

Professor (concurrent) Shin Mukai
Associate Professor Naoto Tsubouchi
Specially Appointed

Assistant Professor Yuuki Mochizuki
Postdoctoral Fellow Yuji Shinohara

The present research group aims to solve problems related to “Resources, Energy and Environment” using the power of chemistry, and we are primarily promoting the development of advanced utilization methods of low-quality and unused chemical resources.

(1) Clean Carbon Technology

The development of technologies to produce CO₂-free H₂ from solid carbon resources and to generate electricity using the H₂ (CO₂-free H₂ power generation) has been vigorously pursued. The present research group has therefore been working on the development of gasification catalysts that can efficiently produce H₂ from biomass and biomass-mixed coals. In addition, our laboratory has studied high temperature removal technology for trace amounts of hetero compounds (HCl, H₂S and NH₃) in the gasification gas (Patent No. 6070462, etc.). Moreover, we are developing methods for producing high-strength coke from unused carbon resources, based on organic resource chemistry and computational chemistry (Patent No. 7470598, etc.).

(2) Environmentally Friendly Ironmaking Process

As is well known, iron is one of the key materials supporting the modern-day society. Currently, Japan is 100% reliant on imports, mainly (90%) from Australia and Brazil, to obtain iron ores (the main raw material of iron). Furthermore, with the rise in impurity levels, the iron content in ores is expected to decrease (deteriorate) in the future. This would lead to increased energy consumption in the ironmaking process, increased CO₂ emissions and reduced productivity. The present research group is thus working on the development of a low-grade iron ore upgrading process using alkali hydrothermal treatment (Patent No. 2024-30025) and the manufacturing of carbon-containing ore using chemical vapor filtration (Patent No. 6414903, etc.). We are also promoting the development of a method for controlling mercury compound emissions related to ironmaking processes and a method for the selective production of yellow phosphorus (white phosphorus) from secondary resources such as steelmaking slag (Fig.1).

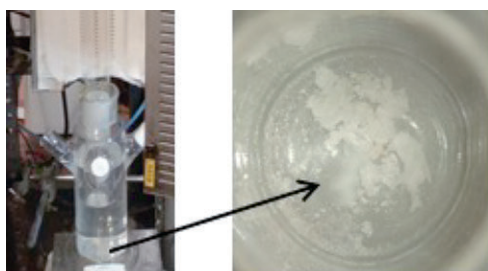


Fig.1 (図1) Pictures of white phosphorus produced.

(3) Carbon Recycle

When water-soluble metal ions are added to biomass or low-grade lignite, a new fuel with high gasification reactivity is produced due to the self-replacing effect. In our proposed system, the new fuel is gasified in a molten carbonate fuel cell, and the generated H₂ and CO₂ are circulated in the cell, while the excess CO₂ is absorbed by hydroxides. The absorbed products can be used again as an additive catalyst or industrial raw material. Our group is also promoting the design and development of CO₂ conversion catalysts to convert CO₂ originating from large-scale facilities such as pulverized coal-fired and ironmaking plants. Recently, we found that when H₂ approaches silver compounds, highly active hydrides (GDR) are formed. The GDR can act as an active species in CO₂ methanation and methanol synthesis, enabling lower temperatures (130°C) and higher efficiency of their reactions (e.g., JP 2023-202513) (Figure 2).

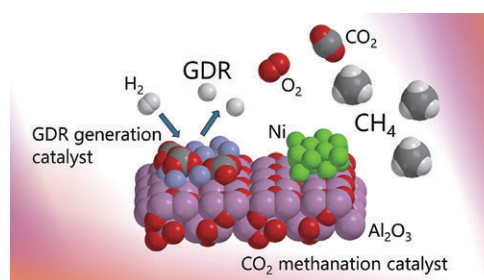


Fig.2 (図2) Image of a silver compound mixed catalyst.

(4) Aquatic Production Sciences

In the production and consumption areas of fresh seafood wholesale markets, the freshness of the product is one of the most important criteria for determining the value of the product, and the K value has been proposed as an indicator to evaluate freshness. However, this value is calculated by sampling an arbitrary part of the fish/shellfish after death and performing component analysis after various forms of pre-treatment. Thus, it is not suitable for real-time evaluation in the site of distribution. With this in mind, our laboratory has been developing an evaluation system that predicts the K value based on information such as the size of the product, length of time elapsed after death and storage temperature (Patent No. 7659804, etc.). We are currently developing a MIRASAL software and a MIRASAL device (Fig. 3) and conducting demonstration tests with a conveyor-belt sushi restaurant, with the idea of “visualization (MIRASAL)” of freshness and eating quality in mind.

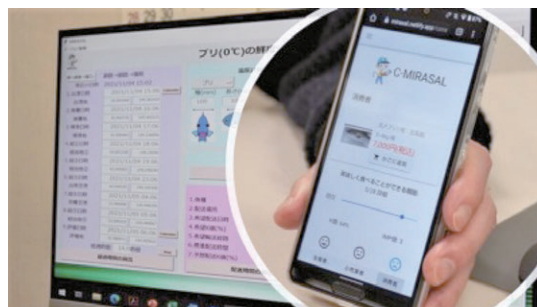


Fig.3 (図3) MIRASAL software under development.

複合量子ビーム超高压顕微解析研究室

教授(兼) 柴山 環樹

教授(兼) 渡辺 精一

准教授(兼) 坂口 紀史

助教(兼) 中川 祐貴

技術専門職員 Technical Specialist 3名

大久保 賢二 Kenji Ohkubo

ohkubo@eng.hokudai.ac.jp

谷岡 隆志 Takashi Tanioka

tanioka@eng.hokudai.ac.jp

大多 亮 Ryo Ota

oota@eng.hokudai.ac.jp

技術職員 Technical Staff 1名

横平 綾子 Ryoko Yokohira

yokohira@eng.hokudai.ac.jp

研究支援推進員 Research Support Staff

伊藤 文子 Ayako Itou

itou.ayako@eng.hokudai.ac.jp

北海道大学における透過型電子顕微鏡(以下電顕と略記)による研究は昭和 17 年に始まる。1948 年に工学部に加速電圧 5 万ボルト、分解能 3nm の日立製作所製の HU4 型が設置されて以来、電顕が学内に共同利用実験施設として、全学的組織で運用することを目指し、工学部に電子顕微鏡管理委員会が結成された。以来、電子顕微鏡の性能向上と高電圧化に伴い、100kV、200kV の電顕が更新設置された。現在まで数十台の汎用電顕が各学部、研究所等に設置され、材料科学、医学・生物の分野で多大の成果を挙げってきた。

1965 年代から急速に超高压電顕に対する関心が世界的に高まるなかで、本学工学部に、1971 年 3 月、650kV の超高压電顕の設置が認められ、超高压電顕による医学・生物および物質・材料に関する物性研究が本格的に開始された。特に本学の超高压電子顕微鏡はエネルギー材料である原子炉材料中性子照射に代わり電子線によるシミュレーション照射研究を全国に先駆けて開始した。

その後、電顕の性能向上と照射損傷に関する研究を中心に行う目的から、1981 年 3 月に新たに、1300kV の超高压電子顕微鏡が完成した。この電子顕微鏡は 300kV のイオン加速器を連結した日本で唯一のデュアルビーム型超高压電子顕微鏡システムとして、国内外

の原子力材料の照射効果研究に使用されてきた。さらに、従来のエネルギー材料研究に加え、社会的ニーズから物質の原子・分子レベルでの解析と未知機能の材料創製プロセスとして電顕を活用した基礎・萌芽研究の必要性が期待されてきた。そこで、「COE 形成のための研究環境高度化支援プログラム」の一環として、1995 年度から 3 年間の歳月を経て、1998 年 3 月に、2 台の高エネルギーイオン加速器と 1300kV の超高分解能超高压電顕(日本電子(株)製 JEM-ARM-1300)を連結したマルチビーム型超高压電子顕微鏡システムが、新世代先端材料研究実験棟に設置されている。

主な特徴

- ・ **二基のイオン加速器と三基のレーザーを連結：**
 - 300kV, 400kV 加速器によるイオン注入
 - ナノ秒パルスレーザー, フェムト秒パルスレーザー, 連続発振紫外線レーザーの照射
 - 複合量子ビーム(電子, イオン, レーザー)の照射が可能
- ・ **優れた分解能：**
 - 点分解能 0.117nm
 - 投影ポテンシャル像の観察が容易
 - CCDカメラによる「その場」観察が可能
- ・ **フレキシブルな観察が可能：**
 - 厚い試料(例えば生体片)も観察可能
 - 低温, 加熱, ガス環境等の各種ホルダー

複合量子ビーム超高压電子顕微鏡の特徴

2007 年には短パルスレーザーを敷設したレーザー超高压電子顕微鏡(L-HVEM)を開発、さらに2009年には、イオン加速器(試料照射真空チャンバー部)に短パルスレーザー装置を備えたイオン・レーザー照射単独装置の開発を実施してきました。未踏であるレーザー・電子線・イオンの3種類の量子ビームを複合して物質との相互作用をその場観察出来る実験システムの実現に向け準備を進め、平成 26 年度にはレーザー照射系を増設し、ナノ秒パルスレーザー(266nm~1064nm)に加えてフェムト秒パルスレーザーや連続発振の紫外線レーザーも利用出来るようになり、世界で初めての複合量子ビーム超高压電子顕微鏡が完成しました。これによりフォトン(レーザー光)、レプトン(電子)、ハドロン(イオン)というすべての素粒子系の代表が揃います。最近、イオン液体を利用した液体中での物質と量子ビームの相互作用に関する研究を開始し、バイオマテリアルや創薬などのライフサイエンス分野への展開も期待されています。更に、複合量子ビーム照射中のフォトルミネッセンス等を測定して物性の変化などを捉えることができるその場計測システムの技術開発を進めており、今後グリーンナノ、エネルギー分野への国際的な研究展開が期待されます。



Multi-Quantum Beam High Voltage Electron Microscope Laboratory

Professor (concurrent) Tamaki Shibayama
 Professor (concurrent) Seiichi Watanabe
 Assoc. Prof. (concurrent) Norihito Sakaguchi
 Asst. Prof. (concurrent) Yuki Nakagawa
 Technical Specialist Kenji Ohkubo
 Technical Specialist Ryo Ohta
 Technical Specialist Takashi Tanioka
 Technical Staff Ryoko Yokohira
 Research Support Staff Ayako Itou

Multi-Quantum Beam HVEM at Hokkaido University is eligible for Radiation Effect Study & In-Situ Experiment with multi-beams by two ion accelerators and a 1.3-MV HVEM.

Our MQB-HVEM is capable of following studies on nonequilibrium process:

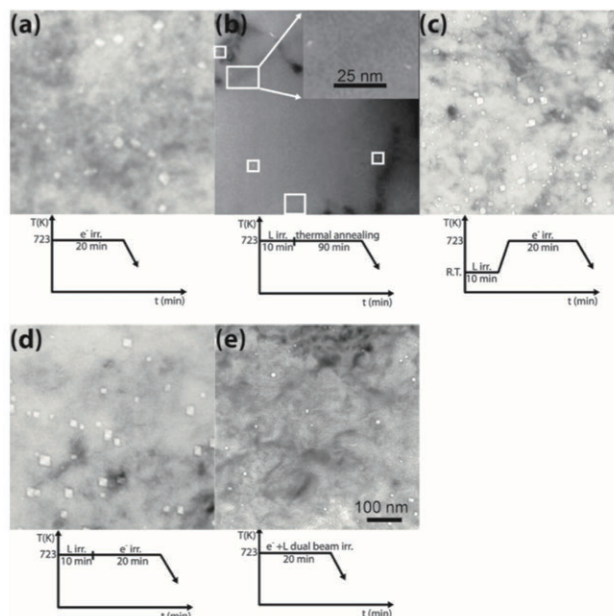
- Dynamic observation of irradiation process and microstructural development.
- Atomistic direct observation on lattice defect include cascade damage
- Simulation of neutron irradiation damage in nuclear reactors
- Simultaneous implantation of transmuted elements such as H, He and Ti, Cr and so on
- Synthesis and modification for developing nonequilibrium materials
- Aerospace materials development withstanding space debris and radiation
- Materials science at far-from equilibrium for functional device



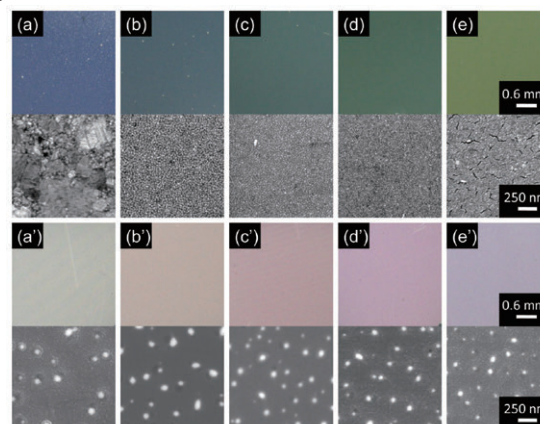
Location of MQB-HVEM facility Building.



(1) Void formation under (a) electron, (b) laser, (c,d) laser irradiation followed by electron irr. (e) simultaneous laser and electron dual-beam irradiation.

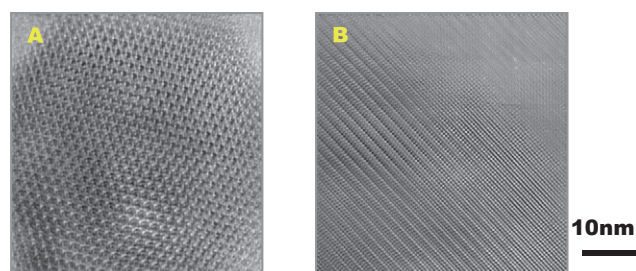
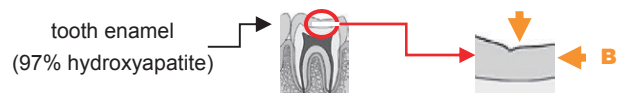


(2) SEM images of Ag-Au bimetallic nanospheroids in SiO₂ glass substrate with tunable surface plasmon resonance frequency by ion irradiation



J. App. Phys. 114, (2013) 054308

(3) Bio-Science: HREM observation on tooth enamel of human



中性子材料解析研究室



教授
大沼 正人
Professor
Masato Ohnuma

ohnuma_masato@eng.hokudai.ac.jp



教授
加美山 隆
Professor
Takashi Kamiyama

takashik@eng.hokudai.ac.jp



准教授
佐藤 博隆
Associate Professor
Hirotaka Sato

h.sato@eng.hokudai.ac.jp

技術職員 Technical Staff

長倉 宏樹

Hiroki Nagakura nagakura.h@eng.hokudai.ac.jp

中性子は物質の原子レベルでの構造や運動状態の研究に欠くことができない粒子であり、その独特の性質を利用した物質研究(新材料開発や生体物質機能解明など)や産業利用(航空機・ロケット部材の製品検査や原子力製品の残留応力解析など)が進められている。本学では電子線形加速器を一次ビーム発生源に用いる小型パルス中性子源が稼働しており、それを利用した材料研究が可能なが大きな利点となっている。本研究室では中性子による材料研究を目標に、中性子生成源やビームライン等の基盤技術の開発、中性子小角散乱やイメージングといった利用手法の開発、中性子やX線の単独/複合利用の材料解析への応用を研究している。

最近の主な研究テーマと最近の研究成果は以下の通りである。

(1) 鉄鋼およびその他の合金におけるナノ構造の定量的・非破壊的特性評価のための中性子中角散乱装置の開発

高強度鋼の最近の発展は、一般にナノスケール領域まで正確な微細構造の制御を必要とする。析出硬化を含む分散強化は、分散した粒子の数密度およびサイズに敏感である。したがって、これらのパラメータの特性評価方法は、製品の品質を制御し、さらに高性能鋼の開発を制御するために重要である。小角散乱(SAS)法からは、析出相の平均サイズおよび数密度について統計的に代表的な値を容易に得ることができる。合金コントラスト変動(ACV)法として知られている SANS

法と SAXS 法の組み合わせでは、X 線と中性子間の各元素の散乱長差を利用して、析出物の相や母相中の異物の組成に関する情報が得られる。金属母相に埋め込まれたナノ構造を特徴付けるために、新設計の中性子中角散乱装置(iANS, 図 1)を開発した。その特徴は試料～検出器間の距離を短くし中性子飛行時間法と組み合わせたことであり、ナノスケール構造に注目するとき、運動量 Q の分解能を緩めることで従来の SANS 装置よりも適当な運動量範囲に焦点を合わせることができるようになる。この結果、小型加速器駆動中性子源を使用しても、絶対単位での定量分析に十分な高品質プロファイルが得られるようになった。

(2) パルス中性子ブラッグディップ透過イメージングによる多結晶鋼板のバルク結晶粒の逆極点図マッピング

結晶粒とそれらの配向のマッピングは、材料特性とその微細構造の相関を調べる有力な方法であるため、SEM-EBSD や XRD イメージング等の手法が開発されている。これらに対し、中性子はより高い浸入深さを持っており、材料内奥までの組織情報を得易いのが特徴である。このため、パルス中性子源を用いる中性子ブラッグディップ透過法で得たスペクトルの解析により多結晶体の結晶粒個々の配向を示すことが可能な新しいマッピング手法を開発した(図 2)。これは、中性子の入射ビームに沿った方向に関する結晶粒数およびそれらの結晶方位が決定でき、これらの結晶学的特性をマッピング可能な新しい組織情報評価ツールとして期待される。

(3) 中性子と X 線の相乗イメージングによる元素分布マッピング法の開発

中性子ラジオグラフィにおいて高分解能中性子イメージを得るために、中性子と X 線画像の位置合わせとマッピングに基づく相乗イメージング法を開発した。これは、中性子線と X 線の断面積の違いを利用して、より高い空間分解能で核種分布画像を得る手法である。相乗イメージングの概念は、相互情報(MI)を用いた画像位置合わせ技術から開発されている。中性子と X 線画像の間に 2 次元ヒストグラムを計算し、形状決定マップを比較することによって、元素分布を決定する。この方法による試料の元素分布決定例を図 3 に示す。中性子と X 線の相乗効果により生成される画像は、高分解能画像の空間分解能をほぼ維持するため、X 線画像の空間分解能と同等となる。



Fig.1 Intermediate-angle neutron scattering instrument iANS.

図 1 中性子中角散乱装置 iANS。



Neutron Materials Analysis Laboratory

Professor Masato Ohnuma

Professor Takashi Kamiyama

Associate Professor Hirotaka Sato

Technical Staff Hiroki Nagakura

The Neutron is an indispensable particle for studies of the microstructure of materials and atomic-scale dynamics, and used for researches on materials in industry. In our university, a compact pulsed neutron source using an electron linac is in operation, and it is a great advantage for the materials research. Our missions are to apply neutrons to the materials research and to develop the basic technologies, such as the development of neutron sources and beam lines, and techniques for small-angle neutron scattering (SANS), imaging, etc.

(1) Intermediate-angle neutron scattering instrument for quantitative and non-destructive characterization of nanostructures in alloys

Recent developments in high-strengthened steels generally require accurate microstructure control down to the nanoscale region. Dispersion strengthening is sensitive to the number density and size of the dispersed particles. Therefore, characterization methods for those parameters are important to control the quality of the products and further the development of high performance steels. Small-angle scattering (SAS) can easily give statistically representative values for average size and number densities of the heterogeneities. The combination of SANS and SAXS techniques, which is known as the alloy contrast variation (ACV) method utilizes the scattering length difference of each element between X-rays and neutrons, can determine phase of precipitate. In addition to phase determination, it can give information about the composition of the heterogeneities embedded in the matrix. To characterize such nanostructures embedded in a metallic matrix, a newly designed intermediate-angle neutron scattering instrument (iANS, Fig. 1) has been developed. It shortens the distance between the sample and detector and is combined with a time-of-flight (TOF) technique. Since the momentum transfer (Q) resolution can be relaxed to provide an optimum Q -range when we focus on characterizing nanoscale heterogeneity, a much higher neutron flux can be utilized for the measurements than those available in a conventional small-angle neutron scattering (SANS) instrument. Consequently, iANS gives sufficiently high quality profiles for quantitative analysis on an absolute unit scale even using a compact accelerator driven neutron source.

(2) Crystalline grain orientation mapping in a

polycrystalline material by pulsed neutron Bragg-dip transmission imaging

Because the mapping of crystal grains and their orientations is a powerful technique to investigate the correlation between material properties and its microstructure, those such as SEM-EBSD and XRD imaging have been developed. On the other hand, neutrons have a higher penetration depth against the electrons or X-rays, which is characterized by easy acquisition of texture information inside the material. For this reason, we developed a new mapping method of individual crystal grains and their orientations in a polycrystalline material by analysis of spectrum obtained by neutron Bragg-dip transmission method using pulsed neutron source. The example of the mapping is shown in Fig. 2. This is expected as a new texture information evaluation tool capable of determining the number of crystal grains and their crystal orientations in the direction along the incident neutron beam and mapping these crystallographic characteristics.

(3) Element distribution mapping by synergy imaging of neutron and X-ray

To obtain high-resolution neutron image, we developed the resolution enhancement method consisting of the image alignment and the mapping based on the neutron and X-ray synergy imaging. It is an imaging technique which obtains an element distribution image with higher spatial resolution using the differences between cross sections of neutron and X-ray. The concept of the synergy imaging is developed from the image alignment technique using the mutual information (MI). By calculating the two-dimensional histogram between neutron and X-ray image and comparing the geometry decision map, the element distribution is created. Fig. 3 shows the element distribution of the sample by the method. Since the image created by the synergetic use of neutron and X-ray almost keeps a spatial resolution of a higher-resolution image, the spatial resolution of the element distribution was approximately equal to that of the X-ray image.

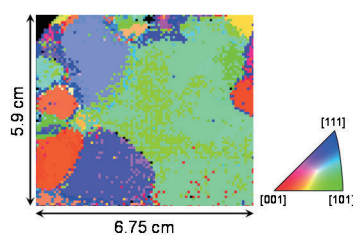


Fig.2 Crystal grain map with their orientations by neutron Bragg-dip transmission method.

図2 中性子ブラッグディップ透過法による結晶粒と方位のマップ。

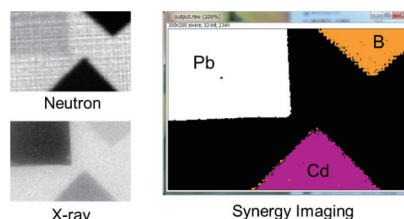


Fig.3 Element distribution map by neutron and X-ray synergy imaging.

図3 中性子/X線相乗イメージングによる元素分布マップ。

客員教授 (五十音順・敬称略)

Guest Professors

客員教授 柏谷 悦章

Guest Professor
Yoshiaki Kashiwaya



東北大学 未来科学技術共同研究センター

NICHe, Tohoku University

客員教授 齋藤 公児

Guest Professor
Koji Saito



日鉄テクノロジー株式会社

NIPPON STEEL

客員教授 鷹觜 利公

Guest Professor
Toshimasa
Takanohashi



国立研究開発法人 産業技術総合研究所

National Institute of Advanced Industrial
Science and Technology

客員教授 橋崎 克雄

Guest Professor
Katsuo Hashizaki



一般財団法人 エネルギー総合工学研所

The Institute of Applied Energy Carbon
Energy System Program

客員教授 藤林 晃夫

Guest Professor
Akio Fujibayashi



一般財団法人 省エネルギーセンター

The Energy Conservation Center, Japan

客員教授 村上 恭和

Guest Professor
Yasukazu Murakami



九州大学 大学院工学研究院

Faculty of Engineering, Kyushu University

客員教授 吉見 享祐

Guest Professor
Kyosuke Yoshimi



東北大学 大学院工学研究科

Graduate School of Engineering,
Tohoku University



運営委員（五十音順・敬称略）

Steering Committee Members

教授 大沼 正人

Professor Masato Ohnuma

応用量子科学部門

教授 佐藤 努

Professor Tsutomu Sato

環境循環システム部門

教授 橋本 直幸

Professor Naoyuki Hashimoto

材料科学部門

教授 向井 紳

Professor Shin Mukai

応用化学部門

※エネルギー・マテリアル融合領域研究センター専任教員の教授、准教授は記載しておりません。

人員構成

Number of Constituents

		Numbers
センター長	Professor	1
教授	Professor	5
客員教授	Guest Professor	7
准教授	Associate Professor	6
助教	Assistant Professor	1
特任助教	Specially Appointed Assistant Professor	3
技術専門職員	Technical Specialist	3
技術職員	Technical Staff	2
博士研究員・ポスドク	Postdoctoral Fellow	2
学術研究員	Assistant Technician	6
研究支援推進員	Research Support Staff	2
事務補佐員	Aides Clerk	1
事務補助員	Assistant Clerk	3

as of May, 2025

研究業績 Research Activities

	原著論文 Papers published in referred journal	著書・総説 Books and Reviews	国際会議論文 Papers presented at international conference	特許 Patents	学会賞 Prizes
FY2020	36	1	3	4	4
FY2021	36	0	2	5	8
FY2022	36	4	7	12	11
FY2023	28	3	2	3	5
FY2024	34	2	5	8	10

外部資金導入 (円) Research Funds from External Sources (JPY)

	寄付金 Donations	科学研究費補助金 Grant from the Ministry of Education, Science, Sports and Culture (KAKENHI)	受託共同研究費 Grant for Collaborative Research	合計 Total
FY2020	12,450,000	53,950,000	78,127,500	144,527,500
FY2021	2,530,000	49,205,000	82,627,898	134,362,898
FY2022	19,171,000	42,458,000	93,839,100	155,468,100
FY2023	20,880,000	36,510,500	145,132,000	202,522,500
FY2024	9,890,000	42,893,500	135,871,000	188,654,500

教育（学生数） Education (Number of Students)

	博士課程 ¹⁾	修士課程 ¹⁾	学部4年 ²⁾	合計
2020～2024年度 (修了者・卒業者数)	9	72	77	158
2025年度 (在学者数)	10	35	20	65

1) 材料科学専攻, 量子理工学専攻および総合化学専攻

2) 応用マテリアル工学コース, 応用化学コースおよび機械情報・システムコース





〒060-8628 北海道札幌市北区北 13 条西 8 丁目

北海道大学大学院工学研究院附属エネルギー・マテリアル融合領域研究センター

Center for Advanced Research of Energy and Materials, Faculty of Engineering,

Hokkaido University, Kita 13 Nishi 8, Kita-ku, Sapporo 060-8628, Japan

<https://www.eng.hokudai.ac.jp/labo/carem/>

