

OVERVIEW of

ゼロカーボンエネルギー研究所要覧



Vol.1

国立大学法人東京工業大学
科学技術創成研究院
ゼロカーボンエネルギー研究所

Laboratory for Zero-Carbon Energy (ZC)
Institute of Innovative Research
Tokyo Institute of Technology





所長 教授 工学博士 **竹下 健二**

Professor Kenji Takeshita
Doctor of Engineering
Director of the Laboratory for Zero-Carbon Energy

科学技術創成研究院先導原子力研究所を改組し、令和3年6月1日にゼロカーボンエネルギー研究所を開設しました。本所の目的は非化石エネルギー（ゼロカーボンエネルギー）とその利用システムの革新的研究開発を行い、カーボンニュートラル社会実現に向けて貢献することです。再生可能エネルギーや原子力エネルギーを活用した炭素循環、カーボンフリーのエネルギーシステムを構築し、環境と調和しかつ経済的な持続可能社会の基盤の創成を目指します。これまでの原子力研究から再生可能エネルギーを含めたエネルギーシステム全般の研究開発を社会のステークホルダーの皆様の協力を得て推進いたします。

人類の化石燃料の大量消費に伴う328億トン/年（2017）という膨大な二酸化炭素（CO₂）の放出が地球の気象変動に影響を与えるようになり、早急なCO₂排出抑制が求められています。日本を含む先進国の多くが2050年頃までのCO₂環境排出ゼロを目指し、エネルギーシステムのカーボンニュートラルの検討が進んでいます。これに呼応して経済、産業、市民意識も新たな転換点を迎えています。社会の低炭素化のための要点は一次エネルギーのゼロカーボン化です。化石燃料を再生可能エネルギー、原子力エネルギーなどのゼロカーボンエネルギーへの転換が必須です。一方で炭素は人類の長い歴史の中で重要な素材であり、この利用を継続するには循環利用が必要です。また、持続可能な社会の構築には物質の循環利用も必要です。これらをエネルギー安定供給と経済性を有したシステムとして実現する必要があります。新生研究所のゴールはゼロカーボンエネルギーを用いた炭素・エネルギーキャリア循環社会の創成です。この実現のためにゼロカーボンエネルギーの製造、効率的な利用、貯蔵、物質変換、社会利用、

On June 1, 2021, the Institute of Innovative Research Laboratory for Advanced Nuclear Energy was reorganized to form the new Laboratory for Zero-Carbon Energy. The laboratory's objective will be to help realize a carbon-neutral society through innovative research and the development of non-fossil (zero-carbon) energy sources, as well as systems for their use. We will help build the foundation of a society capable of sustainable economic growth in harmony with the environment.

To that end, we intend to construct carbon-free energy systems that use renewable energy and nuclear energy and have a balanced carbon cycle. In cooperation with all of society's stakeholders, we will advance our research and development into energy systems as a whole, encompassing our existing nuclear energy research as well as the field of renewable energy.

The enormous amount of carbon dioxide (CO₂) released by humanity's mass consumption of fossil fuels totaled some 32.8 billion tons in the year 2017, and has already affected the global climate. There is a pressing need for immediate restrictions on CO₂ emissions. Many developed countries, including Japan, have set goals to reduce CO₂ emissions to zero by around the year 2050. These nations are currently studying carbon-neutral and net-zero emissions energy systems. In response to this, their economies, industries and public awareness are reaching a new turning point. The key to achieving a low-carbon society is to shift to zero-carbon primary energy sources. In other words, we need to switch from fossil fuels to renewable energy, nuclear energy, and other forms of zero-carbon energy.

That said, carbon has been a key material to humankind throughout history. To continue using carbon will require recycling and reusing it. Building a sustainable society will also require recycling and reusing materials. We need to turn these processes into a system that is economical and provides a stable supply of energy. The new laboratory's goal is to create a society that uses zero-carbon energy and reuses/recycles carbon and energy carriers. To realize this goal, we will build individual technologies for the production, efficient use, storage, material conversion,

循環利用の個別技術と、これらを最適化したネットゼロのエネルギーネットワークを構築し、産業、市民、地域と連携して問題解決のための技術ソリューションを提供します。

ゼロカーボンエネルギー研究所は、フューチャーエネルギー部門と原子力工学部門の2部門から構成されます。

フューチャーエネルギー部門では、将来のエネルギーネットワークの構築に必要なゼロカーボンエネルギーに基づくネットゼロ、炭素循環エネルギーシステムを研究し、エネルギー経済学・社会学を活用した経済的かつ安定的なエネルギーシステムの構築を目指します。再生可能エネルギー導入による発電の不安定性を考慮したエネルギー安定供給システムの設計を進めます。エネルギー供給においては電力のみならず量的に熱も重要です。エネルギーネットワークの実現に不可欠な電力および熱エネルギーの貯蔵、エネルギーキャリアへの変換、さらにエネルギー社会を支える物質循環システムを検討します。そして市民、地域、産官学と協働した社会実装（エネルギーソリューション）研究を進めます。

原子力工学部門では、旧来の閉じられた原子力村と決別し、ゼロカーボンエネルギー社会の一員として安全性・機動性を追究した小型炉や次世紀の主力電源を目指した核融合炉などの先進原子力システム研究、及び癌治療など高齢化社会の先端医療を支える生命・医療放射線利用研究を中心に進めます。しかしながら原子力研究者は福島第一原子力発電所事故でご迷惑をおかけした福島の復興を忘れてはなりません。そのために廃炉研究に特化した福島復興・再生研究ユニットや東京電力と連携したTEPCO廃炉フロンティア技術創成協働研究拠点を設置して福島第一原子力発電所の廃止措置を推進してまいります。

これらの活動を通して持続可能な未来エネルギー社会の構築に貢献してまいります。皆様のご理解、ご協力とあわせてご指導ご鞭撻を頂戴できれば幸いです。

public use and reuse/recycling of zero-carbon energy, as well as net-zero emissions energy networks that optimize all of these technologies. We will then provide technical solutions to the problems faced by energy users — businesses, people, and communities — through collaborations with them.

The new laboratory will have two divisions: the Future Energy Division and the Nuclear Engineering Division.

The Future Energy Division will research the net-zero carbon cycle energy systems based on zero-carbon energy needed to build the energy networks of the future. The goal will be to construct economic and stable energy systems based on energy economics and sociology. The division will strive to design stable energy provision systems that compensate for renewable energy sources' instability in generating power.

Quantitatively speaking, heat is nearly as essential as electricity in the supply of energy. This division will investigate the storage and conversion of electrical and thermal energy into energy carriers — which will play a vital role in future energy networks — as well as the material recycling/reuse systems that will support sustainable energy societies. Finally, the division will delve deeper into the public implementation of these systems (energy solutions) in collaboration with residents and the communities they live in, as well as with business, academic and government entities.

The Nuclear Engineering Division, meanwhile, will focus on two main tasks. The first is to break free of the closed nature of the Japanese nuclear industry and expand research into advanced nuclear energy systems such as small modular reactors — which will offer the safety and mobility/flexibility the zero-carbon energy society requires — as well as nuclear fusion reactors, which were expected to become the primary energy source of the new century. The second task is to research the use of radiation in life and medical sciences, which will support cancer treatment and other aspects of the advanced medical care that Japan's aging society will require.

Meanwhile, it is our mission as nuclear energy researchers to actively assist in the recovery of Fukushima, which suffered greatly due to the Fukushima Daiichi nuclear power plant. To that end, the laboratory will include two organizations specializing in nuclear decommissioning research: the Fukushima Reconstruction and Revitalization Unit and the TEPCO Collaborative Research Cluster for Decontamination and Decommissioning (D&D) Frontier Technology Creation, the latter being a collaboration with the Tokyo Electric Power Company. Through these organizations, the laboratory will help in the decommissioning of the Fukushima Daiichi nuclear power plant.

We will strive to build a sustainable future energy society through these activities. We hope to obtain your understanding and cooperation as well as receive your advice and encouragement.

Thank you.



本研究所はゼロカーボンエネルギー（ZCE）に基づく炭素・物質循環システムを構築しカーボンニュートラル（CN）社会の実現に貢献することをゴールとし、実現に必要な技術の研究開発を行います。日本が目指している2050年CN社会実現への展望を図1に示します。エネルギー供給側を化石燃料依存から再生可能エネルギー（再生エネ）、原子力エネルギーのZCEへとの転換を行います。図2に研究所が目指すエネルギー社会を示します。一次エネルギーにZCEを導入します。再生エネは天候に依存した出力変動が非常に大きいため、出力の安定化が重要です。一方で需要側にも変動があり、エネルギー貯蔵の機能が必須です。そこで蓄電（電池）、蓄熱機能を置きます。エネルギー需要側は多くの分野で炭素資源の供給も必要です。そこで排出される二酸化炭素を回収し、ZCEによって炭素資源に変換し循環再利用します。あわせてエネルギーキャリアの供給を行います。また、エネルギー材料物質の回収・分離・再生を行い、持続可能なエネルギー社会の構築への技術貢献を目指します。

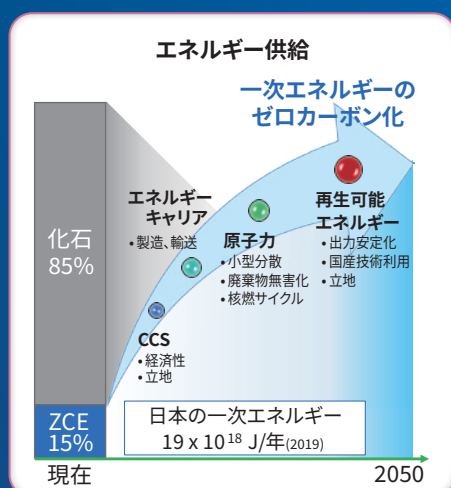


図1 一次エネルギーのゼロカーボン化展望

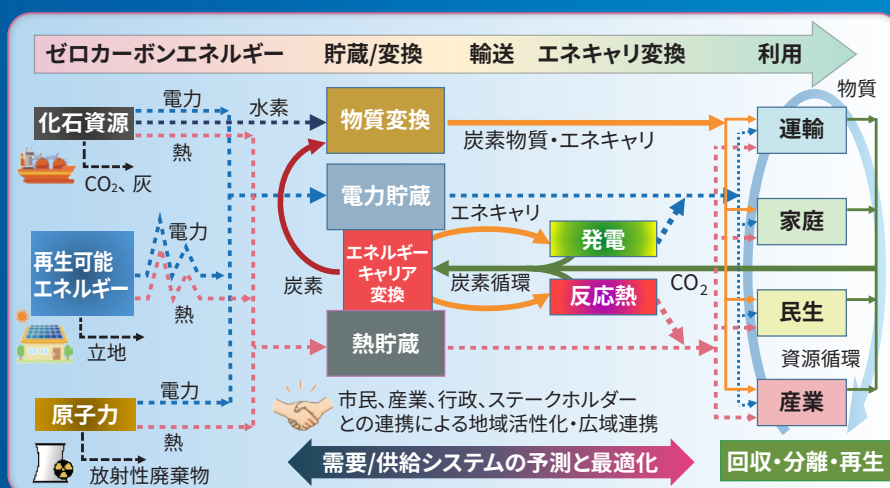


図2 研究所が目指すエネルギー社会

研究組織

研究所組織は図3のとおりフューチャーエネルギー部門、原子力工学部門、福島復興・再生研究ユニット、TEPCO協働研究拠点を置きます。社会との協調を保つために連携アドバイザー委員会を設置します。研究所が目指すエネルギー社会の実現のため各部門、各研究分野が有機的に連携して研究開発を進めます。

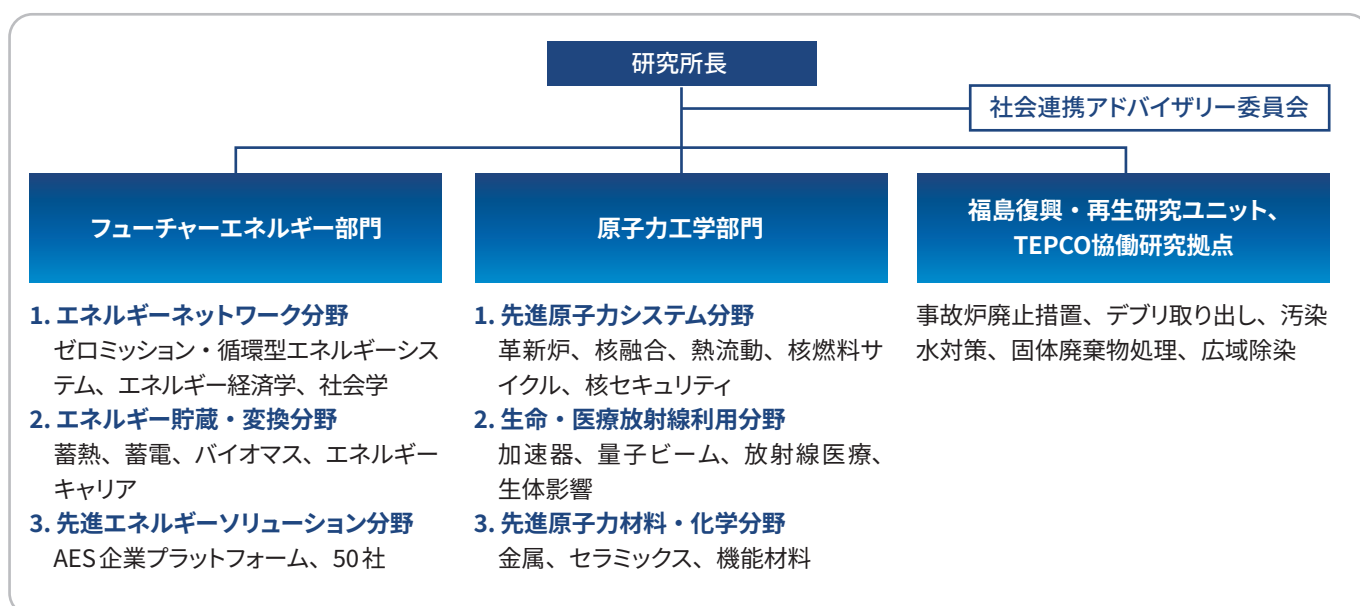


図3 研究所の組織構成

PE of ZC

活動目的



The ZC aims to contribute to the realization of a carbon-neutral (CN) society by constructing a carbon and material circulation system based on zero carbon energy (ZCE), and conducts research and development of technologies necessary for its realization. Figure 1 shows the outlook for Japan's goal of realizing a CN society in 2050. The energy supply side will be converted from fossil fuel dependence to renewable energy and nuclear energy to ZCE. Figure 2 shows the energy society that the ZC is aiming for. ZCE is introduced to primary energy. Since the output of renewable energy fluctuates greatly depending on the weather, it is important to stabilize the output. On the other hand, there are also fluctuations on the demand side, and the function of energy storage is indispensable. Therefore, electricity storage (battery) and thermal storage functions are installed. The energy demand side also needs to supply carbon resources in many fields. CO₂ emitted there is recovered, converted into carbon resources by ZCE, and recycled for reuse. At the same time, energy carriers are produced, and energy materials will be collected, separated, and regenerated, aiming for establishment of a sustainable energy society.

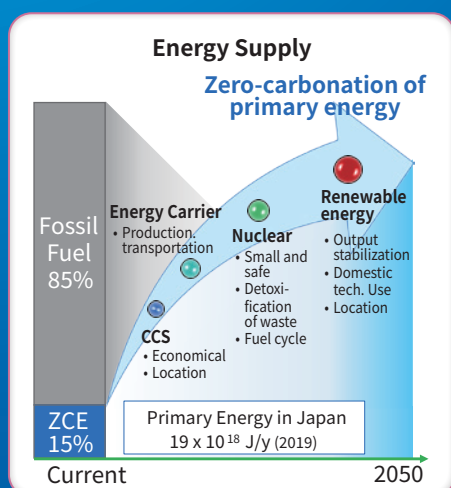


Fig. 1 Prospects for zero carbonization of primary energy

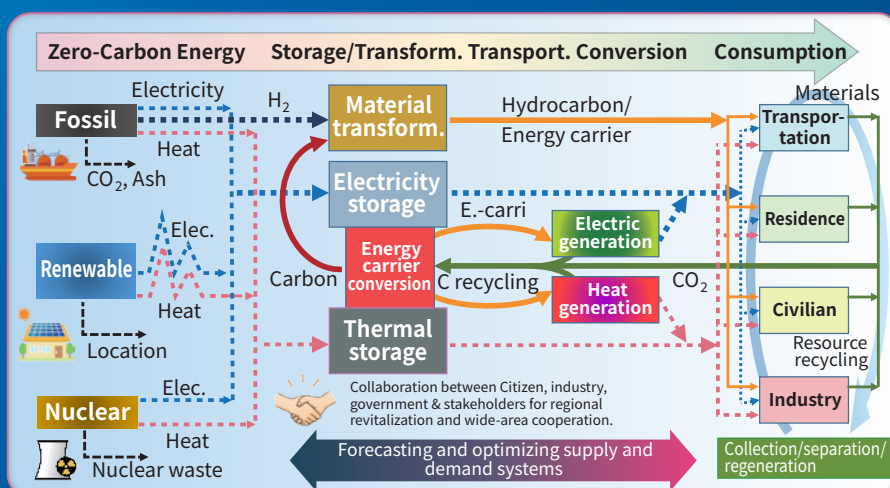


Fig. 2 Energy society aimed at the ZC

Research organization

As shown in Fig. 3, the research institute has the Future Energy Division, the Nuclear Engineering Division, the Fukushima Reconstruction and Regeneration Research Unit, and the TEPCO Collaborative Research Cluster. We will establish a collaborative advisory committee to maintain cooperation with society. In order to realize the energy society that the institute aims for, each department and each research field will organically cooperate to promote research and development.

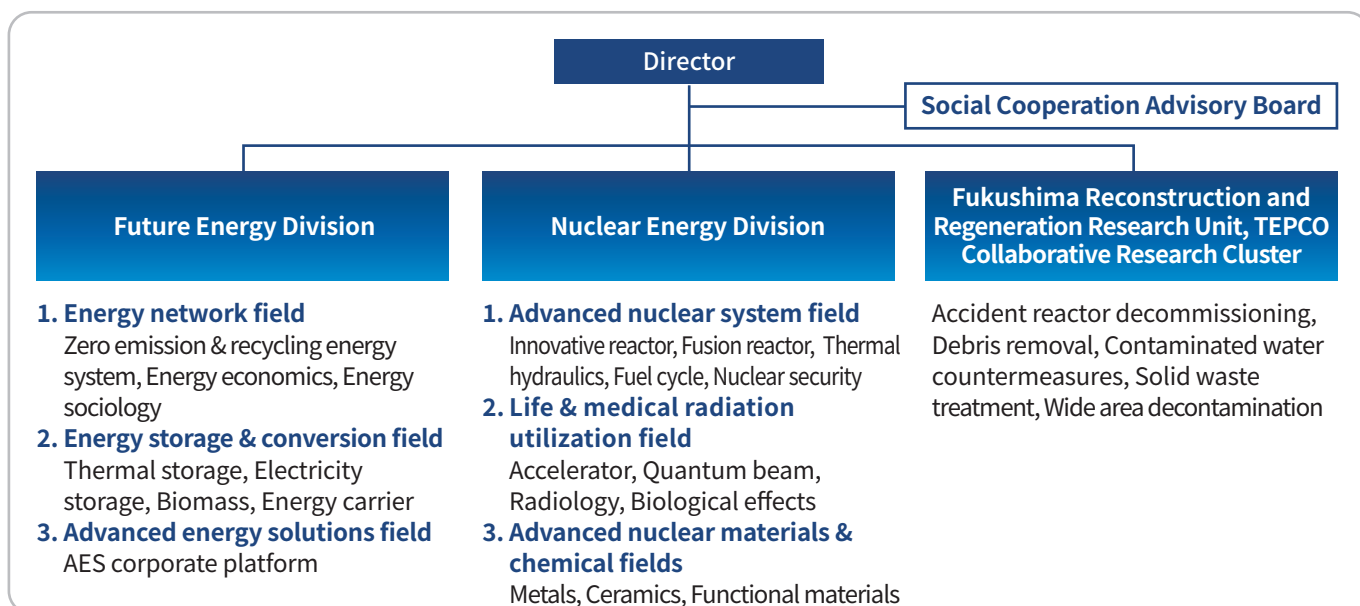


Fig. 3 Organizational structure of the ZC

教職員一覧

フューチャーエネルギー部門

教授	加藤 之貴
特命教授	菅野 了次
教授	竹下 健二
教授	塚原 剛彦

協力教員

先進エネルギーソリューション研究センター	
特命教授	柏木 孝夫

環境・社会理工学院	
教授	大友 順一郎

物質理工学院	
准教授	原田 琢也

先進エネルギーソリューション研究センター	
特任教授	小田 拓也

原子力工学部門

教授	小栗 慶之
教授	小原 徹
教授	小林 能直
教授	千葉 敏
教授	林崎 規託
准教授	赤塚 洋
准教授	片渕 竜也
准教授	木倉 宏成
准教授	近藤 正聡
准教授	相樂 洋
准教授	鷹尾 康一郎
准教授	筒井 広明
准教授	長谷川 純
准教授	松本 義久
准教授	吉田 克己
助教	石塚 知香子
助教	井戸田 直和
助教	グバレビッチ アンナ
助教	澤田 哲生
助教	島田 幹男
助教	高須 大輝
助教	高橋 秀治
助教	中瀬 正彦
助教	西山 潤
助教	安井 伸太郎

Members List of ZC

Future Energy Division

Professor	Yukitaka Kato
Institute Professor	Ryoji Kanno
Professor	Kenji Takeshita
Professor	Takehiko Tsukahara

Cooperating Faculty

Solution Research Center for Advanced Energy Systems	
Institute Professor	Takao Kashiwagi

School of Environment and Society	
Professor	Junichiro Otomo

School of Materials and Chemical Technology	
Associate Professor	Takuya Harada

Solution Research Center for Advanced Energy Systems	
Specially Appointed Professor	Takuya Oda

Nuclear Energy Division

Professor	Yoshiyuki Oguri
Professor	Toru Obara
Professor	Yoshinao Kobayashi
Professor	Satoshi Chiba
Professor	Noriyosu Hayashizaki
Associate Professor	Hiroshi Akatsuka
Associate Professor	Tatsuya Katabuchi
Associate Professor	Hiroshige Kikura
Associate Professor	Masatoshi Kondo
Associate Professor	Hiroshi Sagara
Associate Professor	Koichiro Takao
Associate Professor	Hiroaki Tsutsui
Associate Professor	Jun Hasegawa
Associate Professor	Yoshihisa Matsumoto
Associate Professor	Katsumi Yoshida
Assistant Professor	Chikako Ishizuka
Assistant Professor	Naokazu Idota
Assistant Professor	Anna Gubarevich
Assistant Professor	Tetsuo Sawada
Assistant Professor	Mikio Shimada
Assistant Professor	Hiroki Takasu
Assistant Professor	Hideharu Takahashi
Assistant Professor	Masahiko Nakase
Assistant Professor	Jun Nishiyama
Assistant Professor	Shintaro Yasui



カーボンニュートラルに向けたエネルギー貯蔵・変換技術の開発

Development of Energy Storage and Transformation Technologies for a Carbon Neutral Society

教授 加藤 之貴

Yukitaka KATO, Professor

✉ yukitaka@zc.iir.titech.ac.jp

☎ 03-5734-2967

炭素循環エネルギーシステム (ACRES)

二酸化炭素を資源化し循環利用するエネルギーシステム。製鉄業などが応用先候補（図1）。ゼロカーボンエネルギーを利用することでカーボンニュートラル産業の創成が期待できる。鍵となる二酸化炭素電気分解セルを開発している（図2）。

化学蓄熱とケミカルヒートポンプシステム

大量に排出されながら従来回収が困難であった産業排熱の貯蔵、有効利用のために化学蓄熱材料を開発している（図3）。この材料を用いた酸化カルシウム / 水系ケミカルヒートポンプシステムを研究開発している。

高効率水素透過膜

次世代エネルギーキャリアである水素の高効率製造に必要な水素透過膜を開発している。独自の逆ビルドアップ法により、従来の展延式膜より薄いパラジウム合金膜を開発している（図4）。低コストかつ高効率な水素分離に利用できる。

Active Carbon Recycling Energy System (ACRES)

Active Carbon Recycling Energy System (ACRES) that recycles carbon dioxide as a recycled resource is developing. Ironmaking process is one of candidates for application (Fig. 1). ACRES is expected for the realization of a carbon-neutral industry by using zero carbon energy. Metal-supported solid oxide electrolysis cell is being developed as a key device for ACRES (Fig. 2).

Chemical Heat Pump and Thermochemical Energy Storage System

Thermochemical energy storage materials for effective storage of industrial waste heats. The heats were previously difficult to be recovered even though it was discharged in large quantities. We are researching and developing a calcium oxide/ water chemical heat pump system by using developed composite material (Fig. 3).

High-efficient Hydrogen Permeation Membrane

Hydrogen permeable membrane necessary for high-efficiency production of hydrogen, which is a next-generation energy carrier, is being developed. We are developing a new palladium alloy film that is thinner than the conventional extension film by an original reverse build-up method (Fig. 4). It can be used for low cost and highly efficient hydrogen separation.

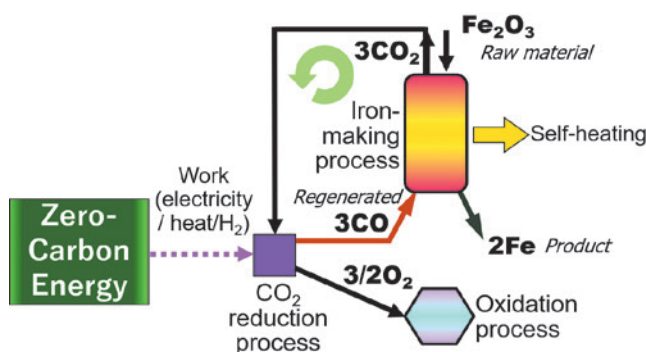


図1 炭素循環エネルギーシステム

Fig. 1 Active carbon recycling energy system

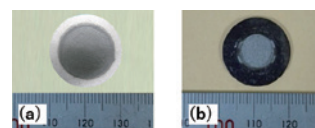


図2 金属基板支持形固体酸化物電気分解セル

Fig. 2 Metal-supported solid oxide electrolysis cell

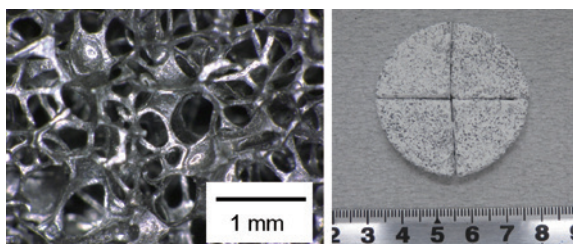


図3 酸化カルシウム複合化学蓄熱材料

Fig. 3 Composite material for calcium oxide thermochemical energy storage

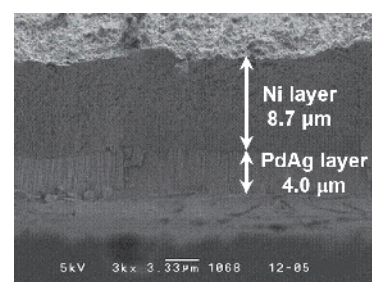


図4 Pd合金薄膜形水素透過膜

Fig. 4 Palladium alloy high-efficient hydrogen permeation membrane



超イオン導電体の創成と全固体電池開発

Creation of superionic conductors and development of all-solid-state batteries

特命教授 菅野 了次

Ryoji KANNO, Institute Professor

✉ kanno@zc.iir.titech.ac.jp

☎ 045-924-5401

全固体電池の開発

電極材料、電解質材料の組み合わせとその界面形成技術の総合的な最適化によって始めて実現される全固体電池は化学 - 電気エネルギー変換デバイスの理想系とされ、将来の技術として大きな期待が寄せられている。その実現に向けて、固体電解質の物質開拓を行い、最適な全固体電池の構成を構築すると共に、プロトタイプデバイスを実際に作成し、問題点を要素技術に還元して全固体電池の開発を行っている。

電池、固体電化質燃料電池、新規な電気 - 化学エネルギー変換デバイス開発

携帯情報端末の爆発的な普及や環境保全問題を背景として、高機能電池への社会的要請はかつてない程の高まりを見せている。未来の人類の生活を支えるリチウム電池や全固体電池の高機能化から、新規な機構による電気 - 化学エネルギー変換デバイス開発までを視野に入れ、これらを構成する機能性材料の創製とその物性開拓を強力に推進している。

Development to all-solid-state batteries

All-solid-state battery, which only be realized with the comprehensive optimization of combining electrode materials and electrolyte materials and their interface forming technology, is considered as an ideal chemical-electrical conversion device, and is believed to be a great future technology. For its realization, the development of all-solid-state batteries is taken place by examining their optimized mechanism based on LGPS based materials, making prototype devices to find out their issues, and going through the underlying technologies to solve the issues.

Lithium battery, all-solid-state battery, and new electro-chemical energy conversion devices

Due to the exponential spread of mobile terminal devices and the rising awareness of environmental protection, social needs for more sophisticated batteries are stronger than ever before. Lithium batteries and all-solid-state battery are the essential tools for the people in the future and have become highly functional. Our research group vigorously promotes to create functional materials and to develop their physical properties, which lead us to develop electro-chemical energy conversion devices with a new functional mechanism.

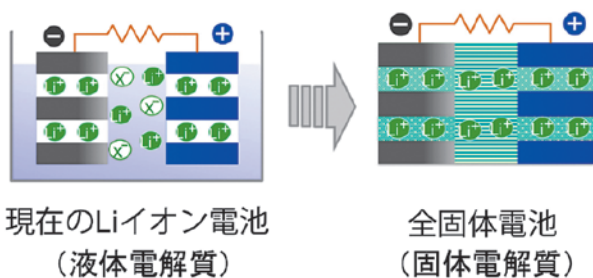


図 1 全固体電池模式図

Fig. 1 Schematic diagram of all-solid-state battery: (Left) Conventional lithium-ion battery, (Right) All-solid-state battery

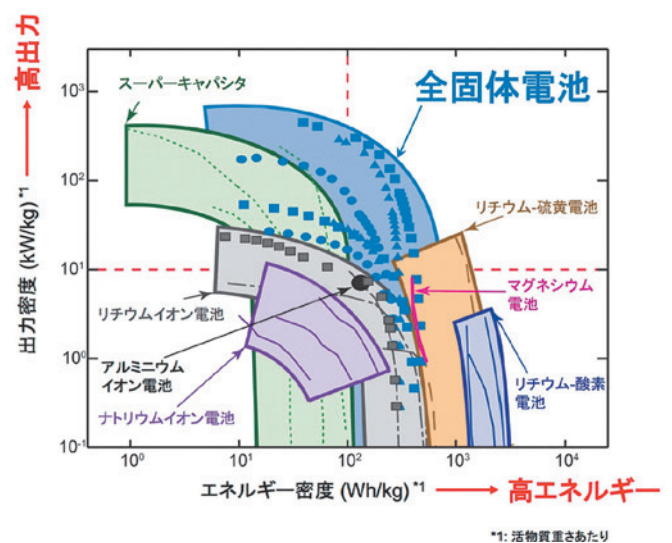


図 2 固体電解質を用いた全固体電池の優れた出力特性

Fig. 2 Excellent output characteristics of all-solid-state batteries using solid electrolytes



将来のカーボンニュートラル社会を確立するための技術課題の解決

Solving Technical Issues to establish Future Carbon-neutral Society

教授 竹下 健二

Kenji TAKESHITA, Professor

✉ takeshita@zc.iir.titech.ac.jp

☎ 03-5734-3845

持続可能な原子力システム研究

2050 年までにカーボンニュートラル社会を構築する上で、一次エネルギーとしての原子力の利用は不可避である。本研究では、将来にわたる原子力エネルギーの持続的な利用を目指し、軽水炉での混合酸化物燃料（MOX）の燃焼による余剰プルトニウムの消費、マイナーアクチニド（MA）分離を伴った使用済み MOX の再処理、MOX 再処理で発生した高レベル放射性廃液（HLLW）のガラス固化、分離された MA の核変換処理、合理的な最終処分サイトの設計などバックエンドプロセスの社会実装に重要な課題を解決する。

福島復興・再生研究

2011 年の東日本大震災に伴って発生した福島第一原子力発電所事故からの福島復興・再生は政府の最重要課題の一つである。この国家的課題を早期解決するために、本研究では3つの研究課題、①福島県を広域に汚染した汚染土壌の浄化、放射性物質を高減容固化・最終処分、②福島第一原発の廃止措置推進を目指した水処理二次廃棄物の処分、③福島海岸地域の産業復興とそれに必要な人材育成を推進していく。

Sustainable Nuclear Systems Research

The use of the nuclear energy as the primary energy is unavoidable in building carbon neutral society by 2050. In this study, we aim at the sustained use of the nuclear energy for the future by solving engineering subjects for the social implementation of backend system, such as the consumption of surplus plutonium by burning MOX fuel in light water reactor, the spent MOX fuel reprocessing with minor actinide separation, the vitrification of HLLW (High-level radioactive waste) occurring by spent MOX fuel reprocessing, the nuclear transmutation of separated minor actinides and the reasonable design of final disposal site.

Fukushima Reconstruction and Revitalization

The reconstruction and revitalization of Fukushima after the 2011 Great East Japan Earthquake and subsequent accident at Fukushima Daiichi Nuclear Power Station is one of the most important issues facing the national government. In this study, we will pursue three research topics: (1) purification of contaminated soil across Fukushima Prefecture, and high volume-reduction and solidification / disposal of radioactive materials, (2) disposal of water treatment secondary wastes for promoting decommissioning of the Fukushima Daiichi Nuclear Power Station, and (3) industrial rehabilitation of the Fukushima coast including development of necessary human resources.

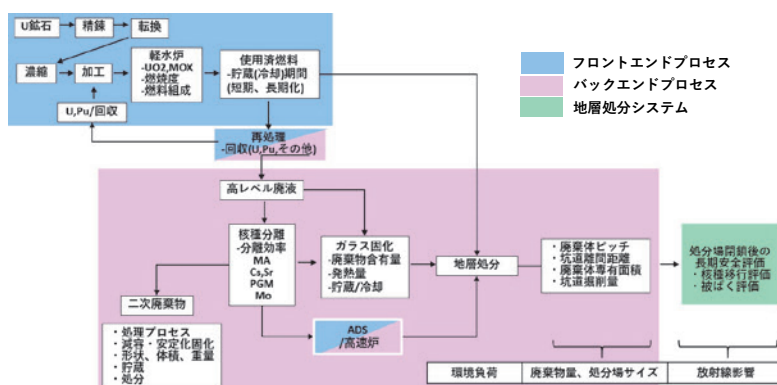


図1 持続可能な原子力システムの構成と技術課題

Fig. 1 Configuration of sustainable nuclear systems and technical issues

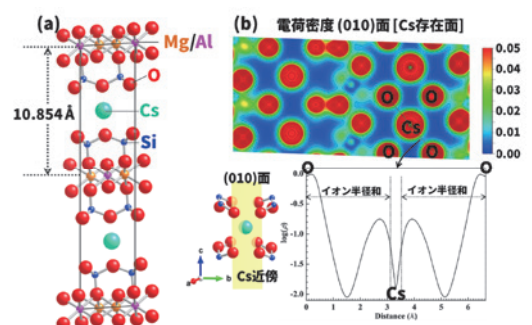


図2 第一原理計算による土壌（パーミキュライト）へのCs⁺吸着構造の解析

Fig. 2 Analysis of Cs⁺ adsorption structure to soil (vermiculite) by the first-principle calculation



資源環境エネルギー循環型コンパクト化学システム Creation of compact chemical system for material, environment, and energy circulation

教授 塚原 剛彦

Takehiko TSUKAHARA, Professor

✉ ptsuka@zc.iir.titech.ac.jp

☎ 03-5734-3067

機能性ナノ材料の創製と応用

放射性物質やレアメタルを選択的にキャッチ & リリースしたり、色の変化として視覚的にセンシングすることを可能とする機能性ナノ材料（ポリマー、フォトニック結晶、ミセル等）を創製すると共に、これらナノ材料の特性を活かした、熱光変換デバイスや Li イオン電池用材料開発に関する研究を進めている（図1）。併せて、ナノ界面領域で起こる分子レベルの現象解明にも取り組んでいる。

Lab on a chip: マイクロ・ナノ化学デバイス

半導体加工技術を駆使し、一枚の基板上にマイクロ・ナノスケール（10 nm ～ 100 μm）の微小空間を創り込み、そこに、溶液混合・反応・分離・検出等の様々な化学分析操作を集積化する「Lab on a chip」の研究開発を進めている。独自のレーザー分光計測法や同位体質量分析法などを組み合わせ、僅か 1 滴の溶液中に存在する放射性物質やレアメタルを、数秒で分離・分析することに成功している。現在、このシステムの福島原発事故の現場分析への適用を進めている（図2）。

Zero Waste レアメタル直接回収技術

刺激応答性ポリマーは、温度、pH、光などの外場に応答して物理化学特性を急激に相転移させるユニークな材料である。我々は、このポリマーと金属元素に選択的に配位する抽出剤とを水系廃液中で混合・昇温させるだけで、金属錯体内包のポリマーゲルとして分離回収できる“廃棄物を出さない新しい分離法”を開発すると共に、そのポリマーの放射線医療応用を進めている。

Creation of Functional Nano Materials and Its Applications to Nuclear and Environmental Chemistry

We have created various functional nanomaterials such as photonic crystal polymers, micelles, and etc, which can separate and detect selectively target radionuclides and rare-metals (Fig. 1). By using the nanomaterials, we have developed novel extraction/separation methods of metal ions and energy devices for thermal-solar conversion and lithium-ion battery.

Lab on a chip: Micro-Nano Chemical Device

We are trying to realize Lab on a chip, which various chemical operations invoking reaction, extraction, and separation can be integrated into micro/nano scale spaces on a chip, using micro/nano fabrication technologies. Rapid and highly efficient separation/analysis of radionuclides at single ion level will be constructed by combination with original nano-detection methods (Fig. 2).

Development of Waste-Free Solvent Extraction Method

Direct extraction technique of metal ions from aqueous solutions using stimuli-responsive polymers, which exhibit hydrophilic/hydrophobic phase transition, has been investigated. When the polymer and chelating ligands are mixed and heated in an aqueous solution containing metal ions, the polymer is smoothly converted to a gel and the metal chelate complexes can be recovered onto the polymer gel. We have investigated the novel waste-free separation method and its application to radiation therapy for drug delivery system (DDS).

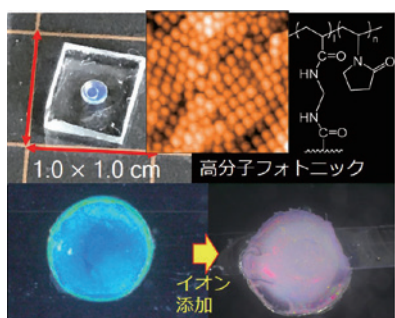


図1 高分子フォトニック結晶による金属イオンセンシング

Fig. 1 Sensing of Strontium Ion Using Polymer-Based Photonic Crystal

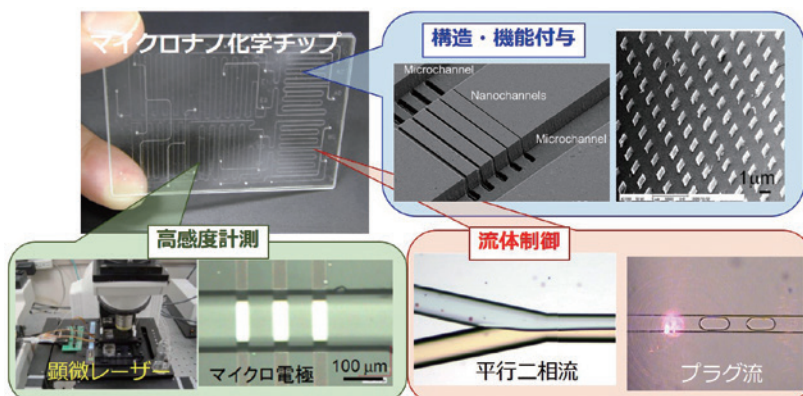


図2 マイクロ・ナノ化学システム

Fig. 2 Fundamental Techniques of Micro/Nano Chemical System on a Chip



超スマート社会 Society5.0 のエネルギーシステム Energy systems of Super Smart Energy Society5.0

特命教授 柏木 孝夫

Takao KASHIWAGI, Institute Professor

kashiwagi.t.aa@m.titech.ac.jp

03-5734-3425

概要

超スマートエネルギー社会とは、エネルギーの供給情報、消費情報がインターネットにより結合され、エネルギーの需要と供給の双方が管理される社会を意味します。電気、熱、化学物質等を含めた様々なシステムの集合体であり、総合的なエネルギーマネジメントを実現するためのグランドデザインを策定し、スマートシティという形で具現化することを目指しています。

Outline

Super Smart Energy Society5.0 means a society where energy supply information and consumption information are combined on the internet, and there is management of both energy supply and demand. We aim to create smart cities by formulating a grand design for implementation of comprehensive energy management that aggregates various systems including electric, thermal, and chemical.

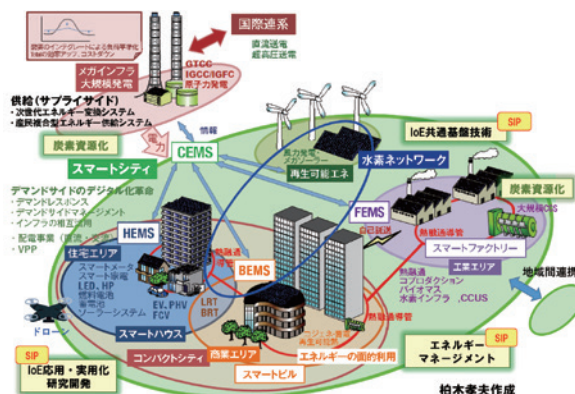


図1 エネルギーシステムのグランドデザイン
Fig. 1 Grand design for the energy system



エネルギー変換化学による炭素・窒素循環利用システムの創成 Creating Circular Systems for Carbon and Nitrogen Utilization with Energy Conversion Chemistry

教授 大友 順一郎

Junichiro OTOMO, Professor

otomo.j.aa@m.titech.ac.jp

03-5734-3971

高効率燃料電池・電解セルの開発

高いプロトン伝導率を有する新規電解質材料を合成し、イオン、電子、ホール伝導性を制御することで、高効率な燃料電池・電解セルの開発を推進している。

電気化学促進効果を利用した窒素・二酸化炭素還元

再生可能エネルギーを利用した電気化学促進効果による窒素と水からのアンモニア電解合成反応の検討や二酸化炭素還元への応用展開を進めている。

化学ループによる炭素循環利用

キャリア粒子の酸化還元反応に基づく化学ループ法を用いた二酸化炭素の活性化と有効利用の検討を行っている。

Developing highly efficient fuel cell and electrolytic cell

Highly efficient fuel cell and electrolytic cell are developed by synthesizing novel electrolyte materials with high proton conductivity and controlling ion, electron, and hall conduction.

Reduction reactions of nitrogen and carbon dioxide with electrochemical promotion effect

Electrochemical promotion effect is investigated for electrochemical ammonia synthesis from nitrogen and water by using renewable energy, and is also applied to carbon dioxide reduction reaction.

Circular use of carbon dioxide with chemical looping

Carbon dioxide activation and its effective utilization are investigated using the chemical loop method with redox reaction of carrier particles.

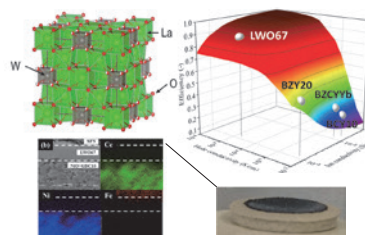


図1
高効率プロトン伝導性
燃料電池
Fig. 1
Highly efficient
proton-conducting
fuel cell

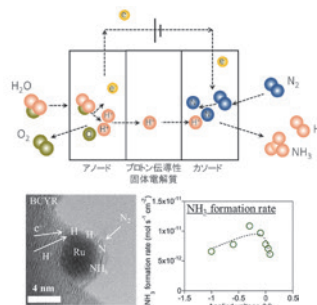


図2
電気化学促進効果に
よる電解合成
Fig. 2
Electrolysis with
electrochemical
promotion effect

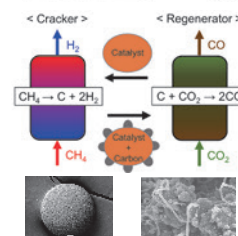


図3 炭素循環利用化学ループ
Fig. 3 Chemical looping for
circular use of carbon
dioxide



次世代カーボンニュートラルサイクルの確立を目指して Challenges to the next generation carbon neutral cycle

准教授 原田 琢也

Takuya HARADA, Associate Professor

✉ harada.t.an@m.titech.ac.jp

☎ 03-5734-3292

高効率 CO₂ 分離回収法

低コストで高効率の CO₂ 分離回収法の確立は、持続可能なゼロカーボン社会の実現に必要不可欠です。本研究室では、コアシェル型ナノ粒子クラスターや溶融イオン液体などの新しい機能性材料を用いた、革新的な CO₂ 分離プロセスの技術追求を行っています。

低エネルギー電気化学的 CO₂ 変換

CO₂ をカーボン資源として再利用することは、次世代の安定な低炭素エネルギーシステムの実現に不可欠です。本研究室では、CO₂ を再生可能エネルギー、そして原子力エネルギーを使って有益な化学物質へ変換する、新たな低エネルギー電気化学的 CO₂ 変換法について研究しています。

Advanced CO₂ capture process

The establishment of high efficiency CO₂ capture system is a crucial challenge toward the future sustainable zero-carbon society. We explore the advanced low-cost CO₂ capture processes based on the new class of functional materials, such as the core-shell type nanoparticle clusters and molten ionic oxides.

Low energy cost electrochemical CO₂ conversion

The utilization of CO₂ as a new carbon source plays an important role in the future low-carbon energy systems. We perform the researches on the advanced low-energy electrochemical CO₂ conversion processes to produce useful chemical materials by the sustainable and atomic energies.

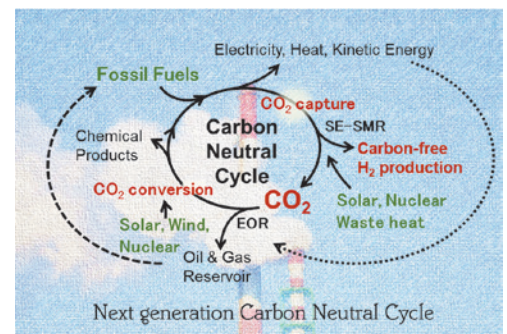


図 1 次世代カーボンニュートラルサイクルの概念図

Fig. 1 Schematic illustration of next generation carbon neutral cycle



セクターカップリング技術のためのエネルギーシステム解析 Energy system analysis for sector coupling technologies

特任教授 小田 拓也

Takuya ODA, Specially Appointed Professor

✉ oda.t.ab@m.titech.ac.jp

☎ 03-5734-3429

概要

再生可能エネルギーの利用を最大化するために、交通機関を含むほぼ全てのエネルギー消費機器の電化が必要になります。本研究では、電化されたすべての機器がシステム的に連携して最適化された、将来の理想的なエネルギーシステムを明らかにすることを目指しています。

Outline

In order to maximize the use of renewable energy, most of energy-consuming devices, including transportation sector, must be electrified. This research aims to identify the ideal energy systems of the future, which all electrified devices are systematically coordinated and optimized.

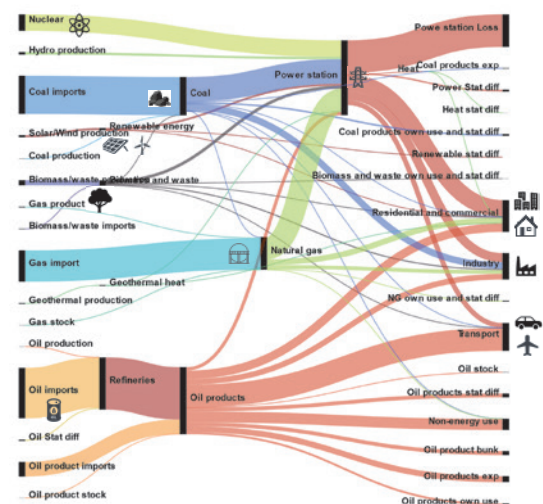


図 1 エネルギーフロー

Fig. 1 Energy Flow diagram



未来を拓く MeV イオンビーム技術 MeV Ion beams — Technology towards the future

教授 小栗 慶之
Yoshiyuki OGURI, Professor

✉ yoguri@zc.iir.titech.ac.jp

☎ 03-5734-3071

イオンビームを用いた精密分析技術の開発

PIXE（荷電粒子励起 X 線放出分析）、PIXRF（陽子線励起 X 線蛍光分析）、RBS（ラザフォード後方散乱分析）等のイオンビーム分析法を用いて、材料科学、環境科学、考古学等への応用に向けた高感度精密分析技術の開発を行っている（図1）。

陽子線励起準単色 X 線の医学利用

陽子線励起 X 線の高い単色性を利用した診断用高コントラスト透視撮影技術や、副作用の少ない深部ガン放射線治療の基礎研究を行っている（図2）。

Development of ion-beam-based microanalytical techniques

High-sensitivity microanalytical techniques for materials science, environmental science, archeology, etc. are studied based on ion-beam analyses such as PIXE (Particle-Induced X-ray Emission), PIXRF (Proton-Induced X-ray Fluorescence) and RBS (Rutherford Backscattering) (Fig. 1).

Medical application of proton-induced quasi-monochromatic X-rays

High-contrast clinical radiography and deep-seated cancer therapy with few side effects are being developed through the use of high monochromaticity of proton-induced quasi-monochromatic X-rays (Fig. 2).

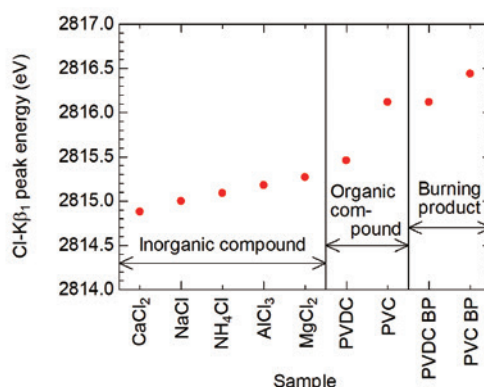
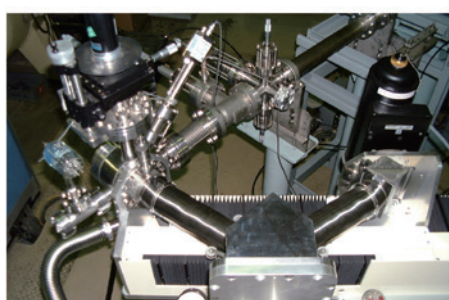


図1 (左)波長分散型 PIXE 分析装置;(右)環境中塩素の化学状態分析に向けた標準試料及び燃焼生成物中の塩素の Kβ1X 線の化学シフトの測定結果(“BP”:燃焼生成物)

Fig. 1 (Left) Wavelength-dispersive PIXE system; (Right) Chemical shift of chlorine Kβ1X-rays measured for standard samples and burning products for chemical speciation of chlorine in environmental samples (“BP”: Burning Product).

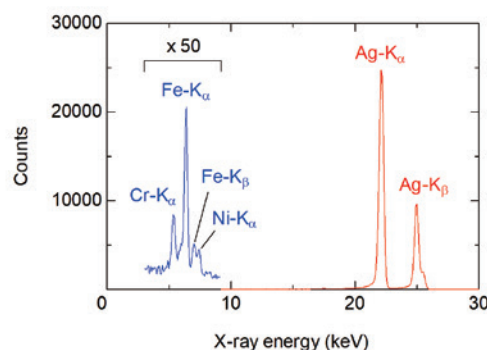
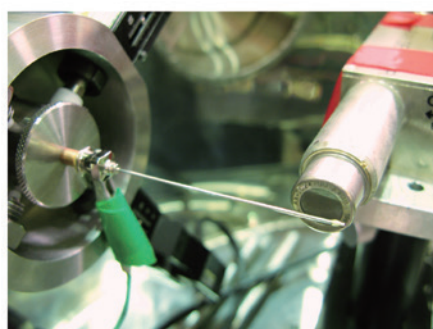


図2 (左) 深部ガン治療用注射針型陽子線励起準単色 X 線源と半導体 X 線検出器;(右) 銀標的を内蔵した注射針から発生した X 線のエネルギースペクトル

Fig. 2 (Left) Syringe-needle type proton-induced quasimonochromatic X-ray source for deep-seated cancer therapy and a semiconductor X-ray detector; (Right) Measured spectrum of the X-rays from a needle with a silver target.



より安全で廃棄物の少ない原子力システム Nuclear energy systems with safe and less waste

教授 小原 徹
Toru OBARA, Professor

✉ tobara@zc.iir.titech.ac.jp

☎ 03-5734-2380

ブリードバーン型高速炉概念研究

カーボンニュートラル社会の実現には安全で廃棄物発生が少ない革新的な原子炉の開発が必要不可欠である。この研究では濃縮施設や再処理施設を必要とせず、天然ウランや劣化ウランを燃料とし、資源を有効に利用でき、廃棄物の発生量が少なく、かつ高い安全性を有するモジュラー型のブリードバーン型高速炉の開発を進めている。

福島原子力発電所廃止措置時の臨界安全

福島第一原子力発電所の廃止措置は安全に行われる必要があり、燃料デブリの取り出し時に燃料デブリが臨界とならないように作業を行うことは不可欠である。この研究では燃料デブリが作業中臨界となることを防止する技術と万一事故が発生した場合の対策技術の開発を行っている。

空間依存動特性解析手法の高度化

福島第一原子力発電所での燃料デブリの取り出しや核燃料製造施設、再処理工場等での臨界事故時の安全対策を検討するためには、様々な体系で動特性解析を行う必要がある。本研究では、従来解析が困難であった領域間が核的に弱く結合している体系の空間依存の動特性解析手法の開発を行っている。

Study on Breed-and-Burn Fast Reactor

Development of innovative nuclear reactor with safe and less nuclear waste is necessary to realize carbon neutral society. In the study, the development of a modular type breed and burn fast reactor is in progress. The reactor has unique features that natural uranium or depleted uranium can be utilized as the fuel, it does not need enrichment facility nor reprocessing facility, it can utilize natural resource effectively, the amount of radioactive waste can be less and it has high safety features.

Criticality Safety in the Decommissioning of Fukushima Daiichi NPS

The decommissioning of Fukushima Daiichi NPS must be performed safely. In the fuel debris removing process, it is necessary to avoid criticality accident. The study is performed to develop the technology to avoid the criticality accident and the measures if the accident happens.

Improvement of Space Dependent Kinetic Analysis Method

It is necessary to perform kinetic analysis for various geometries to establish measures for the criticality accidents in fuel debris removal in Fukushima Daiichi NPS, nuclear fuel fabrication facilities, and reprocessing facilities. Development of kinetic analysis method is in progress for weakly coupled systems, which are difficult to analyze by conventional method.

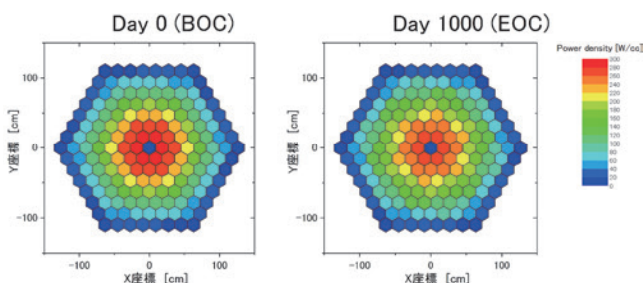


図 1 回転型燃料シャッフルブリードバーン型高速炉の炉内出力分布
Fig. 1 Power density profile in Breed-and-Burn fast reactor core with rotational fuel shuffling

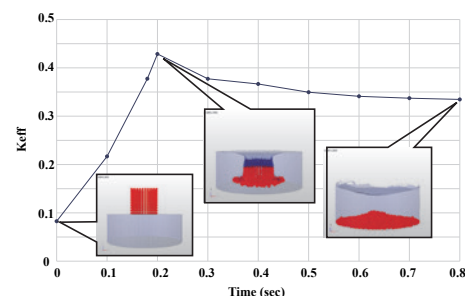


図 2 水中にデブリが落下したときの実効増倍率の変化
Fig. 2 Change of effective multiplication factor during sedimentation of pieces of fuel debris in water



ゼロカーボン材料創製技術および原子力システムの 安全性確立への冶金技術の活用

Utilization of metallurgy for safety, reliability and sustainability of nuclear systems

教授 小林 能直

Yoshinao KOBAYASHI, Professor

✉ ykobayashi@zc.iir.titech.ac.jp

☎ 03-5734-3075

物質循環システムの創製によるゼロカーボン材料技術

ゼロカーボン社会の創出のためには、構造材料・機能性材料創製技術においても、カーボンニュートラルループでの製造プロセスを考案することが不可欠です。鉄鋼は建築、輸送、エネルギー創出におけるベースマテリアルであり、従来の鉄鉱石と石炭からの二酸化炭素排出が不可避な製造プロセスから、リサイクル鉄およびゼロカーボンエネルギーの活用によりゼロカーボン製鉄を実現し、物質循環型社会構築を先導します。

次世代革新炉の材料信頼性向上に関する研究

原子力システムを長期間にわたり安全にオペレートするために必要な、信頼性の高い健全な金属材料に関する研究を行っています。核燃料被覆材・圧力容器や蒸気管など高温・高腐食性、応力・放射線照射の環境下で長期に使用される金属材料の健全性を高めるため、組成・組織の最適制御を目指した創成プロセス開発と特性評価を行っています。

沸騰水型軽水炉過酷事故後の燃料デブリ取り出しアクセス性に関する研究

過酷事故後の廃炉加速を目指した燃料デブリ取り出しアクセス性を評価するために必要な、燃料デブリと炉心下部構造物の反応による材料損傷状況評価を行っています。また、燃料・制御棒・構造材料からなる系の熱力学的性質を把握し、生成物挙動による炉内状況推測および燃料デブリの安全な取り出しおよび保管に必要な相安定性評価を行っています。

Zero Carbon material technology with creation of materials circulating system

Toward Zero Carbon society, it is essential to establish the material creation process with carbon neutral loop. We are targeting the utilization of recycled steel, which is the base material for construction, transportation and energy supply, to suppress inevitable CO₂ emission in iron oxide reduction process and realize the Zero Carbon steelmaking process to lead the materials circulating society.

Improvement of materials reliability toward innovative nuclear reactors

For the long-time operation of the reactor of next generation, control and reduction of impurities are necessary and studied to make fission fuel cladding and reactor pressure vessel highly resistant to heat, pressure and irradiation. Best mix of composition and microstructure are pursued by the development of creation and evaluation process.

Accessibility for removal of fuel debris in BWR plant after severe accident

To assess the access root to the fuel debris for its removal from nuclear reactors after severe accident, damage and collapse behavior of structural metals in the reactor core should be well understood and studied through materials reaction experiments. Phase stability of debris and formation behavior of fission products are thermodynamically studied for safe removal and storage of the debris and prediction of condition of RPV during severe accident.



図1 ゼロカーボン創製技術および原子力システム安全を切り拓く金属工学の概念図

Fig. 1 Concept of metallurgy for the Zero Carbon materials creation and safety nuclear system.



図2 スクラップ鉄からのストリップキャスティングによる薄板創製

Fig. 2 Steel sheet creation from steel scrap by strip casting process.



図3 原子炉芯構造物とコールドクルーシブルによる燃料系デブリ模擬溶融試験

Fig. 3 Reactor core assembly and reaction experiment between mock fuel-rod debris and stainless steel in a cold crucible furnace.



核分裂機構に基づく高精度核データが切り開く未来 Development of high-precision nuclear data and its applications

教授 千葉 敏

Satoshi CHIBA, Professor

✉ chiba.satoshi@zc.iir.titech.ac.jp

☎ 03-5734-3066

核反応基礎工学

原子力とは中性子が媒介して生起する核反応を制御して物質の質量をエネルギーに変換する技術ですが、原子燃料となるウランやトリウムは宇宙で起きる中性子核反応です。我々は原子力を核反応基礎工学と捉え、その基礎となる原子核反応を理解し、それにより原子力の安全性を高め、新しい応用の可能性を探り、さらに自然を理解するための研究を理工融合の視点の下で行います。

核反応機構の解明

核分裂のメカニズムは発見から 80 年経った現在でも完全には解明されていません。ウラン以外の核種では実験データも不足しています。そこで主として理論核物理の計算科学的な手法を用いて核分裂機構の解明に挑戦しています。多次元ランジュバン方程式、反対称化分子動力学、相対論・非相対論の密度汎関数法など多様な理論を用いて核分裂特性の解明や理論的予測などに取り組んでいます。

高精度核データの構築とその応用

核データの持つ不確かさの定量化とそれが原子力システムや放射化放射量にあたる影響を調べるための統計学と核反応理論を組み合わせた研究を展開しています。また、それらを廃止措置における放射化放射能生成量の不確かさの厳密な評価や長寿命核分裂生成物の低減のための高速炉による核変換の研究に適用しています。

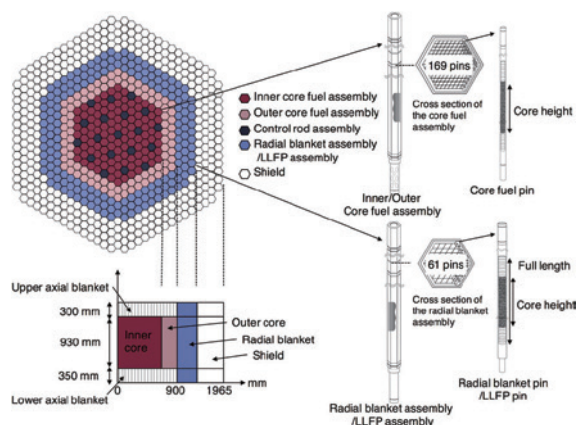


図 1 長寿命核分裂生成物の核変換のための高速炉レイアウト ; *Scientific Reports* 7 : 13961 doi: 10.1038/s41598-017-14319-7 (2017) より転載

Fig. 1 Core layout of the fast spectrum reactor for LLFP transmutation; Reprinting of *Scientific Reports* 7 : 13961 doi: 10.1038/s41598-017-14319-7 (2017).

The whole process of nuclear data evaluation from the nuclear fission to its applications

We study nuclear reactions as a fundamental process underlying nuclear energy. Neutron-induced reaction is the source of energy in nuclear reactors, while it serves as origin of elements such as Uranium and Thorium in the cosmos. Understanding of nuclear reactions is, therefore, basis for safe usage of nuclear energy as well as comprehending nature itself. In our laboratory, you can learn the whole process of nuclear data evaluation from the nuclear fission to its applications.

Mechanism of nuclear fissions

A Complete understanding of nuclear fission mechanism is a big challenge even though more than eighty years have passed since the discovery of nuclear fissions. Experimental fission data except for uranium is still insufficient. We study this mysterious phenomena by using various theories such as multi-dimensional Langevin equation, antisymmetrized molecular dynamics, relativistic or nonrelativistic density functional theory, and so on.

High-precision nuclear data and its applications

We carry out research in combination of statistical method and nuclear reaction theory to quantify uncertainty of nuclear data and its effects on nuclear reactor systems. We apply this method to estimate uncertainty of induced radioactivity for decommissioning of nuclear power plants and to establish a computation scheme of a new transmutation system for long-lived radioisotope produced in nuclear power reactors.

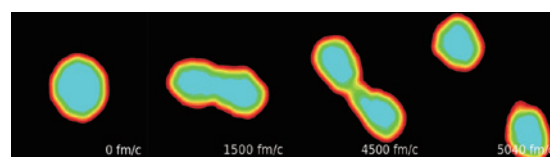


図 2 微視的核反応模型を用いた ^{236}U 核分裂の模擬計算

Fig. 2 Simulation of ^{236}U fission using a microscopic reaction model



加速器と量子ビーム技術により豊かで持続的な社会を創ります

Creating a prosperous and sustainable society through particle accelerator and quantum beam technologies

教授 林崎 規託

Noriyasu HAYASHIZAKI, Professor

✉ nhayashi@zc.iir.titech.ac.jp

☎ 03-5734-3055

社会に役立つ加速器・量子ビーム技術の開発

量子ビーム（イオンビーム、電子ビーム、X線、中性子線など）は、最先端の素粒子や物質の研究開発だけでなく、がん治療、画像診断、薬剤製造、滅菌、非破壊検査、半導体製造など、医療・産業・エネルギー分野でも幅広く利用されており、私たちの暮らしにおいて必要不可欠な技術です。当研究室では、使い途に応じて量子ビームを作り、必要なエネルギーまで加速する小型加速器をコアテーマとして、3次元のCADとマルチフィジクスシミュレーションを連携駆使したデザイン、高い信頼性のための精密加工技術の探求、ビーム実験による検証について、教員と学生が協力して一貫的に取り組んでおり、大強度ビームを実現するマルチビーム線形加速器、橋梁非破壊検査用の小型加速器中性子源、医療用加速器の開発を進めています。

マルチビーム型高周波四重極線形加速器の研究

低エネルギー大強度重イオンビームの加速を目的としたマルチビーム型高周波四重極線形加速器の研究に取り組んでいます。これまでに2ビームタイプでは108 mA (2×54 mA) の炭素イオンビームの大強度加速に成功し、現在は4ビームタイプの加速試験を進めています。

加速器駆動型中性子源の実用化開発

橋梁非破壊検査やホウ素中性子捕捉療法のためのコンパクトな加速器駆動型中性子源の実用化開発を進めています。

Practical development of particle accelerator and quantum beam technologies

Quantum beams (ion, electron, X-ray, neutron, etc.) are used in the fields of cancer treatment, medical imaging, pharmaceutical production, sterilization, nondestructive inspection and semiconductor manufacturing in addition to the frontiers of elementary particle physics and material science, and technologies based on quantum beams are indispensable for daily life. Our group develops compact particle accelerators that create quantum beams, with properties depending on the application, through a design process that incorporates 3D CAD modeling and multiphysics simulation, followed by precise fabrication. This process delivers high reliability and operability for collaborating faculty and students. A multi-beam linear accelerator, a compact accelerator-driven neutron source for nondestructive bridge inspection and a medical accelerator are under development in our laboratory.

Study on a multi-beam type RFQ linear accelerator

A prototype of a multi-beam type radio frequency quadrupole (RFQ) linear accelerator has been studied for high intensity heavy ion acceleration in the low energy region. The two beam type was able to successfully accelerate carbon ions with an intense beam of 108 mA (2×54 mA/channel) and the four beam type is under beam commissioning.

Practical development of a compact accelerator-driven neutron source

A compact accelerator-driven neutron source is under development for nondestructive bridge inspection and boron neutron capture therapy (BNCT).

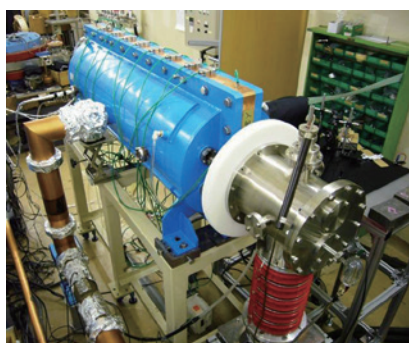


図1 2ビーム型高周波四重極線形加速器の原理実証機

Fig. 1 A prototype of a two beam RFQ linear accelerator.



図2 理研小型中性子源システム2号機（理化学研究所との共同開発）

Fig. 2 RIKEN accelerator driven compact neutron source II. (Joint development with RIKEN)

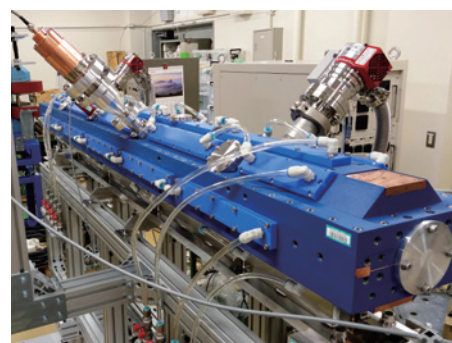


図3 理研小型中性子源システム3号機（理化学研究所との共同開発）

Fig. 3 RIKEN accelerator driven compact neutron source III. (Joint development with RIKEN)



プラズマエレクトロニクス～原子分子過程と分光計測 Plasma Electronics—Atomic/Molecular Processes and Spectroscopic Measurement

准教授 赤塚 洋

Hiroshi AKATSUKA, Associate Professor

✉ hakatsuk@zc.iir.titech.ac.jp

☎ 03-5734-3379

プロセスプラズマの発光分光計測

各種の低温非平衡プラズマにつき、励起・電離など原子分子過程の基礎に則り、電子温度・密度・エネルギー分布関数、ガス温度・ラジカル密度の発光分光計測法開発を行っている。対象は多岐にわたり、太陽光素子製造プロセスや原子炉廃止措置・核融合などエネルギー分野はもちろん、以下に示すような幅広い分野のプラズマ計測で、実用応用を目指している。

- [電子工学] 太陽光素子用のシリコン薄膜作成、ドライエッチングの減圧プロセスプラズマ
- [環境工学] 大気環境研究のための窒素・酸素プラズマ、CO₂再利用のための炭酸ガスプラズマ
- [材料工学] 光学素子反射防止コーティングのための非平衡プラズマ、金属表面窒化のための窒素含有プラズマ
- [原子力工学] 原子炉廃止措置向け水中アークプラズマ
- [機械工学] 自動車エンジン燃焼火炎プラズマ
- [核融合] 核融合炉周辺領域のダイバータ模擬低温プラズマ
- [航空宇宙] 人工衛星電気推進スラスタープラズマ
- [医用工学] 止血・皮膚科応用を目指した大気圧低温プラズマ、等。

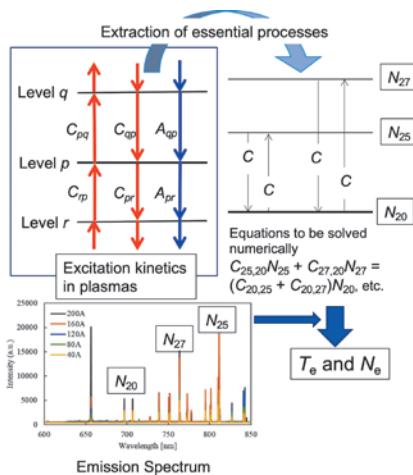


図1 非平衡プラズマの発光分光計測から、原子過程に基づき電子温度 T_e 、電子密度 N_e を求める方法の概念図。

Fig. 1 A conceptual diagram of a method for obtaining electron temperature T_e and electron density N_e based on atomic processes from OES measurement of non-equilibrium plasma.

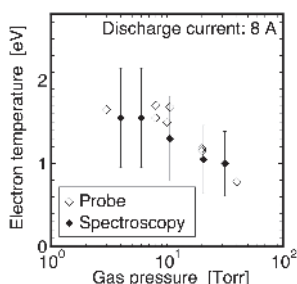


図2 提案する分光計測法による電子温度と、従来のプローブ法との比較。

Fig. 2 Comparison of electron temperature obtained by the proposed OES method with the conventional probe method.

Optical Emission Spectroscopic Measurement of Processing Plasmas

Optical emission spectroscopic (OES) measurement methods are being developed to monitor electron temperature, electron density, electron energy distribution function, gas temperature and radical density of various low-temperature non-equilibrium plasmas, based on atomic and molecular processes in the plasmas. Our research covers a wide range of engineering subjects, and aims for practical applications of plasma measurement in various fields as listed below:

- [Electronics] Low-pressure reactive plasmas for Si-thin film deposition of photovoltaic devices, and for dry etching of memory elements.
- [Environmental engineering] Nitrogen/oxygen plasma for research on the atmospheric environment, carbon dioxide plasma for reuse or recycle of CO₂.
- [Materials Engineering] Non-equilibrium plasma for anti-reflective coating of optical elements, or nitrogen-containing plasmas for surface nitriding of metals.
- [Nuclear Engineering] Underwater arc plasma for decommissioning of nuclear reactors.
- [Mechanical Engineering] Combustion flame plasma of automobile engine.
- [Thermonuclear fusion] Low-temperature plasma as a simulation of divertor.
- [Astronautic engineering] Plasma thrusters for artificial satellites.
- [Medical Engineering] Atmospheric-pressure low-temperature plasma aimed at hemostasis and dermatology applications, etc.

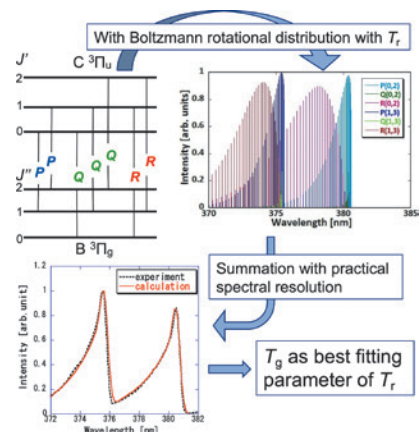


図3 分子スペクトルの発光分光計測結果に対し、理論に則り回転温度 T_r の関数としてフィッティングすることでガス温度 T_g を求める方法論の概念図。

Fig. 3 A conceptual diagram of a methodology for obtaining the gas temperature T_g by fitting the emission spectroscopic measurement result of the molecular spectrum as a function of the rotation temperature T_r according to the molecular spectroscopy theory.



中性子原子核反応の研究 — 原子力、宇宙、そして医療 Study on neutron nuclear reaction for nuclear energy, astrophysics and medicine

准教授 片渕 竜也

Tatsuya KATABUCHI, Associate Professor

✉ buch@zc.iir.titech.ac.jp

☎ 03-5734-3378

中性子核反応の研究

原子力などの工学分野および宇宙物理などの基礎理学分野で必要とされる中性子核反応データの測定を行っている。核廃棄物中の長寿命核種の核変換処理や宇宙元素合成解明に必要な中性子捕獲断面積の高精度化研究を行っている。測定には本研究所のペレトロン加速器および大強度陽子加速器施設 (J-PARC) を用いている。

中性子捕捉療法のためのイメージングシステム開発

中性子核データ測定で培った技術を生かし、ホウ素中性子捕捉療法 (BNCT) のための線量イメージングシステムを開発している。今まで実測できなかった、治療中の吸収線量が個々の患者について測定可能となり、BNCT 照射条件の決定や BNCT 治療効果の評価精度向上に貢献できる。

Study on neutron nuclear reaction

We measure neutron nuclear data, especially, neutron capture cross sections, which are important for design of a nuclear transmutation system and understanding of nucleosynthesis. Measurements are performed in ZC and the Japan Proton Accelerator Research Complex (J-PARC).

Development of an imaging system for online dosimetry in neutron capture therapy

We are developing an imaging system for dosimetry during treatment in boron neutron capture therapy. This system allows for evaluating the absorbed dose of each patient online, thereby improving determination of irradiation parameters and evaluation of treatment efficacy.

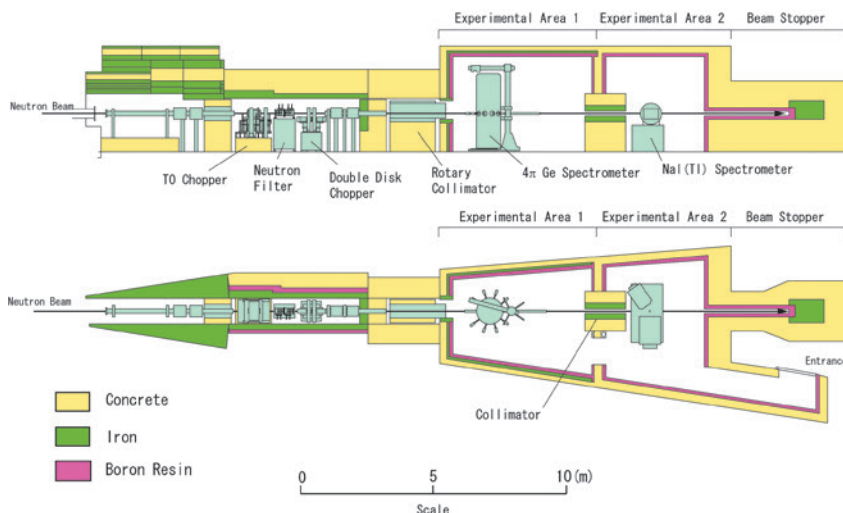


図 1 J-PARC の中性子核反応測定装置 ANNRI

Fig. 1 Accurate Neutron Nucleus Reaction Measurement Instrument (ANNRI) of J-PARC

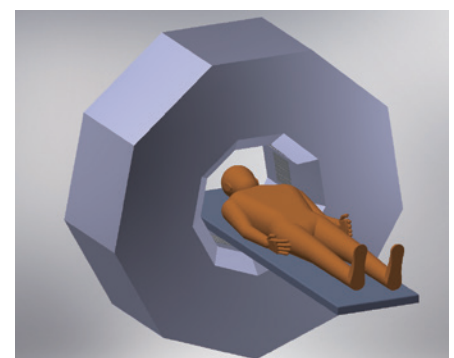


図 2 BNCT 用線量評価システムの概念図

Fig. 2 Conceptual design of online imaging system for BNCT



原子力熱流動と廃炉・復興学ゼロカーボンエネルギー研究

Nuclear Thermal Hydraulics and Decommissioning / Fukushima Revitalizics Zero Carbon Energy Research

准教授 木倉 宏成

Hiroshige KIKURA, Associate Professor

✉ kikura@zc.iir.titech.ac.jp

☎ 03-5734-3058

原子炉の高度化と安全性向上を目指した原子力熱流動研究

原子炉の高度化と安全性向上に資する研究を推進するとともに、超音波・レーザー・カメラ・電気特性等を利用した新たな原子炉内流動計測手法の開発を行い、近年では、小型モジュール原子炉等の次世代原子炉開発に関わる研究を行っています。

復興学によるゼロカーボン社会の実現に向けたトランスチャレンジ研究の基盤構築

東日本大震災・原子力災害の被災地に赴いて復興活動を行い、復興学によるゼロカーボン社会の実現に向けたトランスチャレンジ研究の基盤構築を目指して、産業振興技術の開発や廃炉研究・ゼロカーボンエネルギー研究を推進しています。

Research on Nuclear Thermal Hydraulics for Safety Improvement and Advancement of Nuclear Reactor

We are researching on the development of new flow measurement methods for nuclear reactors using ultrasound, laser, camera, and electrical characteristics, and on the development of next-generation reactors such as Small Modular Reactors (SMR).

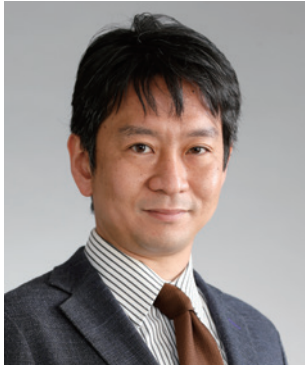
Establishment of Transchallenge Research Infrastructure for Realization of Zero Carbon Society by Revitalizics

We are visiting the areas damaged by the Great East Japan Earthquake and the nuclear disaster to conduct Revitalizics activities. In addition, we also promote the development of industrial promotion technologies, decommissioning research, and zero-carbon energy research.



図1 原子力熱流動と廃炉・復興学ゼロカーボンエネルギー研究の概要

Fig. 1 Summary of Nuclear Thermal Hydraulics and Decommissioning / Fukushima Revitalizics Zero Carbon Energy Research



革新的動力源の液体金属冷却システムに関する研究 Research into Innovative Liquid-Metal Energy Conversion Systems for Energy Power Plants

准教授 近藤 正聡

Masatoshi KONDO, Associate Professor

✉ kondo.masatoshi@zc.iir.titech.ac.jp

☎ 03-5734-3065

高性能液体合金の開発

高速炉や核融合炉、太陽熱発電所では、Pb, Pb-Bi, Li, Pb-17Li, Sn 等の液体金属が冷却材や燃料増殖材として使用されます。そこで優れた伝熱性能や化学的安定性を有する液体合金の開発を行っています。更に、合成した液体合金の様々な高温物性を調べています。

液体金属を応用した様々な異分野融合研究

エネルギープラント分野を中心に応用されてきた液体金属や溶融塩などの高温融体を、土木建設分野の画期的なコンクリート材料や天文学分野の低融点金属鏡（図1）などの技術開発に活かす様々な異分野融合研究として展開しています。

液体金属の材料共存性に関する研究

高温の流動液体金属による構造材料の腐食が重要な課題です。化学的な腐食により誘起される機械的な損耗現象（コロージョンエロージョン）の機構解明（図2）や、液体内化学制御による共存性改善に取り組んでいます。

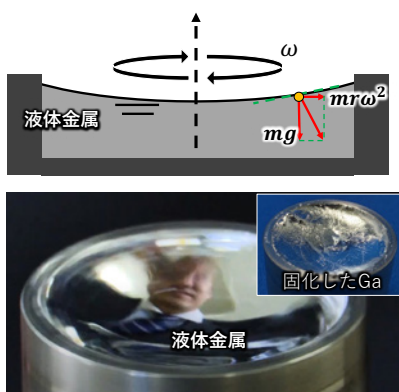


図1 液体金属技術を応用した低融点金属鏡

Fig. 1 Concave mirror with low-melting point liquid metal

Development of liquid-alloy coolants

Various high-performance liquid-alloy coolants (Pb, Pb-Bi, Li, Pb-17Li, Sn, etc.) are currently being researched in our laboratory for use in various nuclear reactors and solar thermal power plants worldwide. Experimental investigations of the synthesis and thermophysical properties of these materials are underway.

Interdisciplinary researches by innovative liquid metal technologies

Interdisciplinary researches are being performed by the collaboration with various scientists in the world. Innovative concrete materials and concave metal mirrors (Fig. 1) have been developed based on liquid metal technologies.

Materials compatibility of liquid-metal coolants

Materials compatibility is important for the development of liquid-metal coolant systems, and the kinetics of corrosion-erosion under flowing conditions are being investigated by our team (Fig. 2). Materials compatibility was improved by chemical control of non-metal impurities in liquid metals.

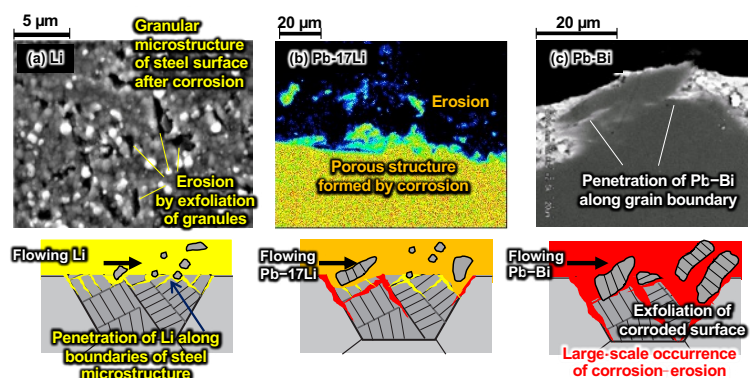


図2 様々な液体金属中で生じるコロージョンエロージョン現象

Fig. 2 Corrosion-erosion of steels in various liquid metals under flowing conditions



安全・セキュアでレジリエントな革新的原子力システムの追求

Pursuing Safe, Secure, and Resilient Nuclear Energy System

准教授 相楽 洋

Hiroshi SAGARA, Associate Professor

✉ sagara@zc.iir.titech.ac.jp

☎ 03-5734-3074

柔軟な原子力利用を支える高安全・セキュリティ技術

強い固有の安全性を有する中小型炉の活用は、原子力の出力可変や分散利用など柔軟性を大いに高めるが、一方で核テロなどの新たな脅威への対策強化を必要とする。未然防止に加え、例えば事象が起こっても重大な進展を防ぐレジリエントな原子力システム研究を行っている。事故耐性燃料、強い核拡散抵抗性を有する燃料及びシステムなど、設計による安全・セキュリティ強化を追求している。

核不拡散科学・技術の追求

核物質の兵器転用を防止するための科学・技術を研究している。核燃料物質から放出されるガンマ線・中性子線を用いた簡便で高精度な断層撮影法の開発や、重篤に遮蔽された核物質への高エネルギー光子ビームによる問いかけ検知手法の開発等を行っている。これらの技術により、核燃料物質の不法移転を早期検知し、自由で柔軟な原子力利用のセキュリティに貢献する。

Intensive Safety and Security Technology for flexible nuclear energy utilization

The utilization of small and medium nuclear reactor enhances its flexibility in variabilities of power and location. It, however, might requires enhanced measures against nuclear proliferation threats such as terrorism. We are pursuing studies on resilient nuclear energy system against threats to safety, security and non-proliferation, especially by designing of accident tolerant fuel, proliferation resistant fuel and system.

Non-proliferation Science & Technology

Non-destructive assay technology R&D are being performed to identify the defects of nuclear fuel by simple but accurate passive gamma/neutron tomography technology, and to interrogate heavily shielded nuclear material by high energy photon beam. These technologies contribute to early detect the illegal transferred nuclear fuels, and flexible nuclear energy utilization by security enhancement.

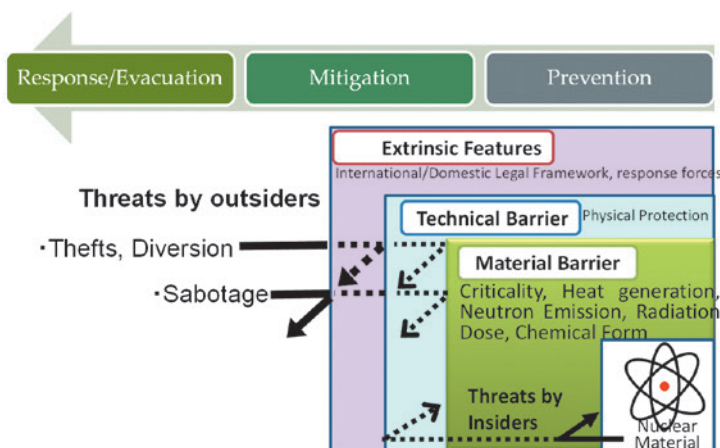


図1 核セキュリティにおける深層防護
Fig. 1 Defense in Depth in Nuclear Security

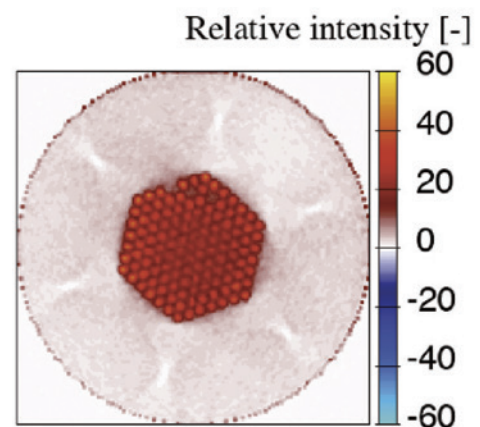


図2 パッシブγ線断層撮影法による部分欠損 VVER 燃料の画像再構成
Fig. 2 Image reconstruction of VVER fuel partial defects by passive gamma-ray tomography



錯体化学・溶液化学に基づく核燃料サイクル先進基盤研究

Fundamental Coordination and Solution Chemistry of Actinides and Related Elements for Advanced Nuclear Fuel Cycle

准教授 鷹尾 康一郎

Koichiro TAKAO, Associate Professor

✉ ktakao@zc.iir.titech.ac.jp

☎ 03-5734-2968

核燃料物質資源確保および原子力に限らない ウラン有効活用法の開拓

今後ますます増加する世界のエネルギー需要を満たす上で、使用済み核燃料の再処理による核燃料リサイクルの実現が重要である。我々が見出した *N*-アルキル-2-ピロリドン (NRP) 等の環状アミド化合物との錯形成により硝酸水溶液からアクチノイド 6 価および 4 価が選択的に沈殿する現象に基づき、次世代型高汎用性簡易再処理プロセス基盤技術として核燃料物質選択的沈殿法 (NUMAP 法) を提案し、その基盤構築および強化を進めている。また、海水中に含まれるウランは濃度としてはごく微量 (3.3 $\mu\text{g}/\text{kg}$) ながら、総量は地上ウラン資源の約 1000 倍に上る。ウランは枯渇性資源であるため、海水ウラン回収技術の開発がウラン資源の将来的なリソースオプションとして有望である。我々は溶液中での錯体化学に基づいたウランに対して特異的に配位し得るリガンドのデザインにより、新規海水ウラン吸着材の開発を行っている。鉱山から採掘または再処理で回収されたウランのすべてが核燃料になるわけではなく、その大部分は同位体組成から「核燃料にならないウラン」であり、現状では廃棄物となっている。我々は酸化還元挙動や錯体化学的反応性など実用上同位体効果のほとんど見られないウランの化学的特性を応用することで、原子力以外の用途へのウラン資源有効活用法を開拓している。

放射性廃棄物の処理・処分および資源化学への発展

原子力発電に伴って多種多様な核種からなる高レベル放射性廃棄物が発生する。廃棄物固化や寿命 (～数万年) の観点から、いわゆる「ゴミの分別」が求められており、我々は難抽出性白金族の迅速溶媒抽出技術や将来的な核変換プロセスのためのガラス湿式処理技術の開発を進めている。これらの研究は原子力分野に限らず都市鉱山など資源化学への発展も期待される。

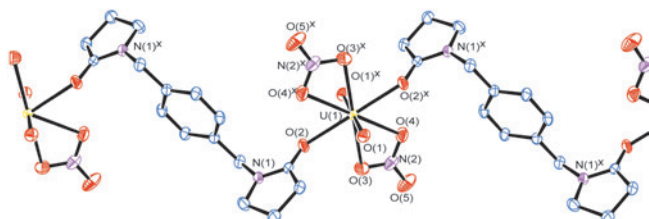


図 1 NUMAP 再処理用に開発した架橋ピロリドン誘導体を含む硝酸ウラニル 1 次元配位高分子。

Fig. 1 One-dimensional uranyl nitrate coordination polymer bearing double-headed 2-pyrrolidone derivative developed for NUMAP reprocessing.

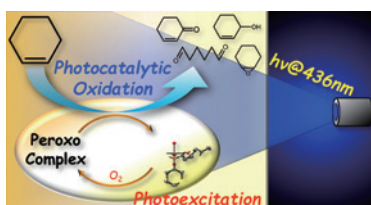


図 2 可視光応答型酸素化光触媒としてのウラン錯体機能開拓。

Fig. 2 Exploiting uranyl complexes as a visible-light responsive photocatalyst in oxygenation of olefins.

Securing Resource Options of Nuclear Fuel Materials and Exploring Diversity of Sophisticated Use of Uranium Resources

To meet the ever-increasing global energy demand, nuclear fuel recycling by reprocessing spent nuclear fuel is one of promising options. Based on selective and efficient precipitation of hexa- and tetravalent actinides from $\text{HNO}_3(\text{aq})$ by addition of a cyclic amide compound such as *N*-alkyl-2-pyrrolidone (NRP), we have proposed NUClear fuel MATERIAL selective Precipitation (NUMAP) method as the basic technology of a simple and versatile process for the spent fuel reprocessing. Concentration of uranium present in seawater is very small (3.3 $\mu\text{g}/\text{kg}$), but the total amount is about 1000 times greater than that on the ground. Since uranium is a depleting resource, development of uranium recovery technology from seawater is promising as a future resource option of natural uranium. Based on our deep understanding on coordination chemistry of UO_2^{2+} , we are developing a new adsorbent, from molecular design of ligand to actual adsorbing resin, in order to recover U from seawater. All U either from natural resources or recovered from the spent nuclear fuels do not always become actual nuclear fuels, but most of them are wasted during the nuclear fuel fabrication due to isotopic composition. We are investigating various aspects of U coordination chemistry such as its characteristic redox behavior and specific reactivity to pioneer sophisticated utilization of such “useless”, but already purified, excess U resources in the nuclear energy systems, because no isotopic effects are found in any of chemical aspects of U in practice.

Proper Treatment and Disposal of Nuclear Wastes & Development into Resource Chemistry for Sustainable Society

Nuclear power generation produces high-level radioactive waste (HLW) consisting of a wide variety of radionuclides. From the viewpoint of waste immobilization and lifetime ($\sim 10^5$ years), so-called “wastes separation” is highly required. We are developing rapid and efficient solvent extraction technology for difficult-to-extract platinum group metals and wet chemical recovery of HLW from its vitrified form into borosilicate glass matrix (i.e., nuclear waste glass) for future nuclear transmutation processes. We expect that these studies lead to resolve problems related to radioactive wastes in nuclear engineering field and to further develop into resource chemistry such as recycling precious metals from urban mining.

Retrieval from Nuclear Waste Glass



図 3 将来的核変換のための放射性廃棄物ガラス固化体湿式処理技術開発。

Fig. 3 Development of wet chemical method to retrieve HLW from nuclear waste glass for future transmutation.



強磁場の活用：核融合と超伝導磁気エネルギー貯蔵 Application of Strong Magnetic Field: Nuclear Fusion & SMES

准教授 筒井 広明

Hiroaki TSUTSUI, Associate Professor

✉ htsutsui@zc.iir.titech.ac.jp

☎ 03-5734-3465

アルファ粒子のリプル共鳴拡散と有限ラーマー半径効果

DT 核融合反応で生じる α 粒子のバナナ軌道はトロイダル方向に歳差運動し、それが磁場リプルと共鳴すると粒子拡散が増大する。図1(a)は、バナナチップ付近の α 粒子軌道と、その旋回中心軌道、及び、旋回中心近似の軌道である。旋回中心近似で拡散係数を評価すると、軸対称磁場での共鳴エネルギーの両側で極大となることを見出した。ポアンカレ・マップ上の粒子位置の変化を調べて、次のような物理機構が明らかになった。図1(b)に示すように、共鳴エネルギーから少し離れたエネルギーの粒子はセパトリクスの外にあり、衝突により島の反対側（ピンクの領域）へ粒子が移り、平均位置が変化して拡散が増大する。他方、共鳴エネルギー付近の粒子はセパトリクス内にあり、衝突によって拡がるものの平均位置はほとんど変化しないため、拡散係数が極大とはならない。現在、有限Larmor半径効果が拡散係数へ及ぼす影響を解析中である。

Virial 限界コイルを用いた超伝導磁気エネルギー貯蔵

超伝導磁気エネルギー貯蔵（SMES）は電力負荷平準化の有力な候補である。超伝導電線の技術革新は目覚ましいが、エネルギー蓄積にともなう大きな電磁力が深刻な問題である。この問題に対処するために、我々は磁場と応力の関係を表す「Virial 定理」に基づくビリアル限界コイルの概念を提案し実証した。ビリアル限界コイルはトーラス形状のヘリカルコイルであり（図2）、エネルギー貯蔵効率を減少させる圧縮応力を排除し応力を平準化することで、最大応力を半減することができる。製作性向上を目指し、測地線軌道との比較も行っている。

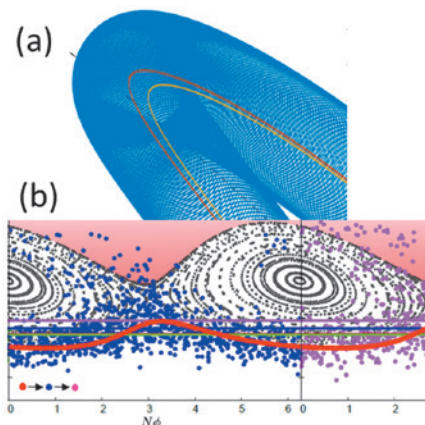


図1 (a) バナナチップ点付近の粒子軌道と、その旋回中心、及び、旋回中心近似軌道 (b) α 粒子位置の位相空間上での時間変化

Fig. 1 (a) Trajectories of a particle and its guiding center, and a trajectory by guiding center approximation near a banana tip. (b) Time evolution of a particle positions in a Poincaré map.

Ripple Resonant Diffusion of α Particles and Finite Larmor Radius Effect

The resonance of toroidal precession of the banana orbits shown in Fig. 1(a) of DT-fusion α particles with toroidal field ripples enhances particle diffusion. The valuation of the diffusion coefficient by guiding center approximation showed that it has local maxima in both sides of resonant energies in the axisymmetric configuration. Investigation of the time evolution of particle positions in Poincaré maps revealed the following physical mechanism. Particles with slightly different energies from resonance lie outside of the separatrix and that particle movements to the other side of an island, pink colored region in Fig. 1(b) shift the averaged positions and hence enhance the particle diffusion. On the other hand, particles with nearly resonant energies lie inside of the separatrix so that the diffusion coefficients do not increase so much since the averaged positions are almost fixed, though particles spread with time. Finite Larmor radius effects are also investigated.

Study of SMES with Virial-Limit Coils

Superconducting Magnetic Energy Storage (SMES) is very promising as an electric power storage system for a night and day load leveling. However, the strong electromagnetic force caused by high magnetic field and large current is a serious problem in SMES system. To cope with this problem, we proposed and verified the concept of the Virial-Limit Coil (VLC), which is optimized to create a strong magnetic field based on the virial theorem which is the relation of magnetic energy and stress. The VLC, which is a helically wound coil with a toroidal configuration (Fig. 2), can level the stress distribution. In order to improve its manufacture, a geodesic winding is investigated.

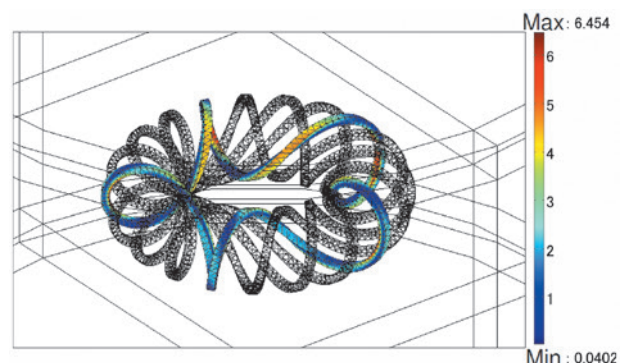


図2 ビリアル限界コイルと、その応力分布

Fig. 2 Distribution of stress in a Virial-Limit coil.



プラズマ・量子ビーム科学で未来社会を拓く Pioneering future society with plasma and quantum beam science

准教授 長谷川 純

Jun HASEGAWA, Associate Professor

✉ jhasegawa@zc.iir.titech.ac.jp

☎ 03-5734-3070

核融合エネルギーのための高強度粒子ビーム発生技術

レーザーアブレーションで生成した高密度・高温プラズマから様々な高強度粒子ビームを生成する技術を開発し、未来の核融合炉や次世代のがん治療用加速器の実現に寄与することを目指している。慣性閉じ込め核融合炉のドライバー加速器の重要な要素技術として、磁気ノズルによりプラズマイオンの運動量を制御し高品質化する技術や、レーザー生成金属蒸気をヘリウムガスにより急冷し質量分散の小さいナノクラスタービームを生成する技術を開発している（図1）。また、重粒子がん治療加速器の小型化・低コスト化のために、高電離炭素イオンを効率的に供給可能な凝結気体標的を採用した長寿命レーザーイオン源の開発も行っている。

放電型コンパクト核融合中性子源の開発

放電で生成した重水素イオンを静電的に加速し互いに衝突させることで発生する核融合中性子を利用したコンパクト中性子源を開発している（図2）。爆発物の検知、トンネルや橋梁の健全性評価、地下資源探査、核物質の高感度検出、中性子捕捉療法など、社会の安全安心に関わる幅広い産業分野においてその利用が期待される。

Generation of high-intensity particle beams for inertial fusion energy

We aim to develop technologies to generate various high-intensity particle beams from dense, high-temperature plasmas generated by laser ablation, and to contribute to the realization of future fusion reactors and next-generation carbon-ion radiotherapy accelerators. As underlying technologies for driver accelerators of inertial confinement fusion reactors, we pursue basic researches on controlling plasma ion momentum with a magnetic nozzle to create high-brightness beams and creating nanoclusters with small mass dispersion by rapidly cooling laser-generated metal vapor with helium gas (Fig. 1). We are also developing a long-life laser ion source employing a condensed gas target that can efficiently supply highly ionized carbon ions to reduce the size and cost of cancer therapy accelerators.

Development of discharge-type compact fusion neutron sources

We are developing a compact neutron source using fusion reactions between high-speed particles electrostatically confined in a potential well (Fig. 2). The neutron source is expected to be used for various industrial applications related to safety and security of society: explosive detection, non-destructive inspection of infrastructure, underground resource exploration, high sensitivity detection of nuclear materials, boron neutron capture therapy, and so on.

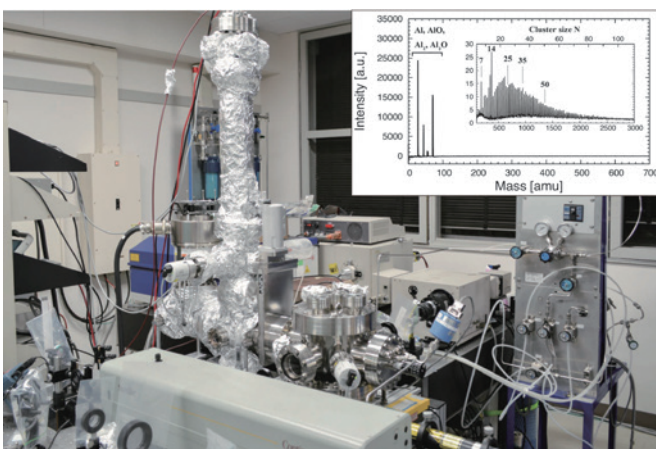


図1 金属クラスタービーム生成装置と典型的なクラスター質量スペクトル。
Fig. 1 Metallic cluster beam generator and typical mass spectrum of clusters.

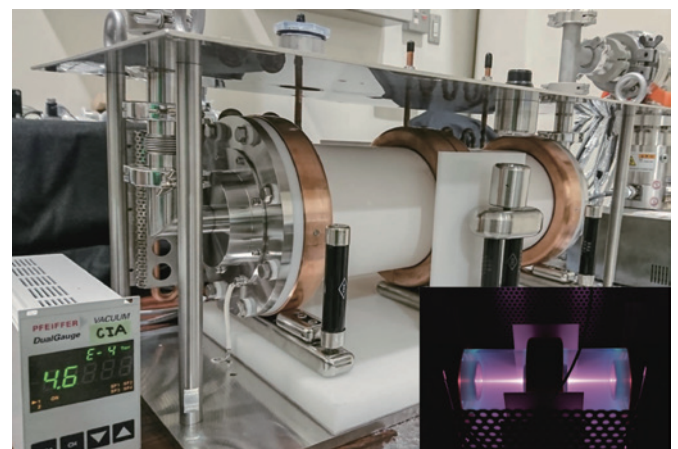


図2 慣性静電閉じ込め核融合を用いた小型中性子源と装置内の核融合プラズマ。
Fig. 2 Compact fusion neutron source using inertial electrostatic fusion and fusion plasma inside the device.



放射線から DNA を護るしくみ：分子生物学と医療・防護への応用

Guarding DNA from Radiation: Molecular Biology and Application

准教授 松本 義久

Yoshihisa MATSUMOTO, Associate Professor

✉ yoshim@zc.iir.titech.ac.jp

☎ 03-5734-2273

放射線影響の鍵を握る DNA 損傷

放射線は不妊、奇形、がんなどの影響を及ぼす。このようなさまざまな放射線影響の原因は DNA 損傷であり、中でも DNA 二本鎖切断は最も重要と考えられている。私たちの細胞には、DNA 損傷を修復したり、細胞が自ら死に至ったりすることで、放射線の影響から細胞自身、個体、種を護るしくみが備わっている。

最先端の分子生物学で解明する

私たちは、DNA 損傷が生じたとき、細胞がいかにかそれを認識し、DNA 修復をはじめとする生体防御反応を引き起こすかを解明することを目指し、バイオイメージング、次世代シーケンシング、ゲノム編集など最先端の分子生物学、生化学的技術を駆使して挑んでいる。

次世代の放射線防護、がん治療へ

放射線影響の受けやすさ（放射線感受性）には遺伝的要因による個人差があることが明らかになりつつある。上記の研究の成果は、個人の放射線感受性の高精度の予測と制御を可能とし、次世代の個別化された放射線防護やがん治療に貢献することが期待される。

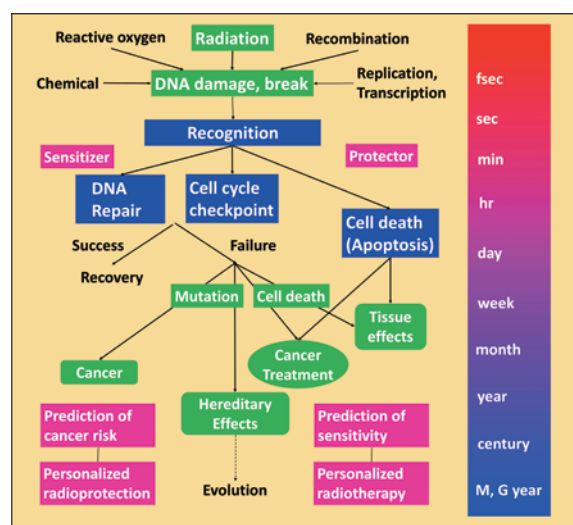


図1 放射線影響のメカニズムと研究目標の概念図。

Fig. 1 A schema of the mechanisms of radiation effects and the aim of our research.

DNA Damage: Key of Radiation Effects

Radiation induces a variety of biological effects like infertility, malformation and cancer. These effects are thought to be caused by various types of DNA damage, among which DNA double-strand break is considered the most critical. Our cells protect themselves, individuals and species from radiation effects by repairing DNA damage and by dying autonomously.

Elucidate by Cutting Edge Molecular Biology

We seek to elucidate the molecular mechanisms how cells recognize DNA damage and elicit bioprotective responses including DNA repair. Toward this aim, we employ cutting edge technologies in molecular biology and biochemistry, including bioimaging, next-generation sequencing and genome editing.

Toward Next Radioprotection & Radiotherapy

There are considerable differences in susceptibility to radiation effect (radiosensitivity) among individuals. The outcomes of our research will enable precise prediction and control of radiosensitivity and contribute to personalized radioprotection and radiotherapy in the next generation.

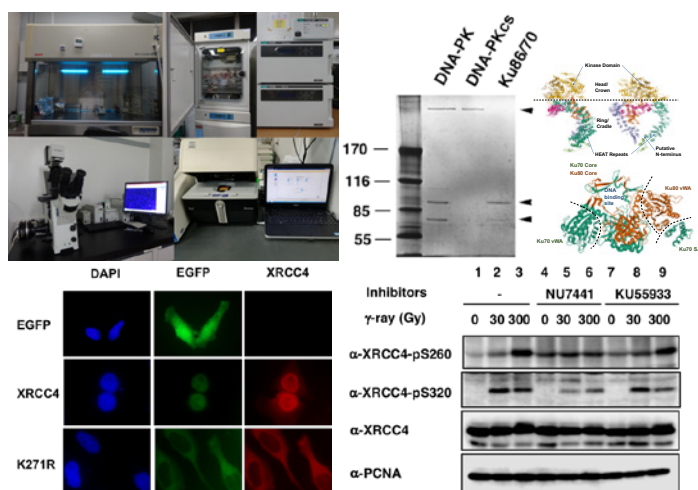


図2 分子・細胞生物学実験設備と研究の一端 左上：実験設備（クリーンベンチ、細胞培養装置、高速液体クロマトグラフィー、蛍光顕微鏡、リアルタイム PCR）。右上：精製された DNA 修復酵素（DNA-PK）の電気泳動像と立体構造。左下：GFP と融合した修復タンパク質（XRCC4）の蛍光顕微鏡像。右下：独自の XRCC4 リン酸化状態特異的抗体による放射線応答解析。

Fig. 2 Instruments for molecular/cellular biological experiments and snapshots of research. Top left: Instruments (clean bench, culture cell incubator, high performance liquid chromatography and real-time PCR). Top right: electrophoretic image of purified DNA repair enzyme (DNA-PK) and the 3D structure of subunits. Bottom left: fluorescent microscopic image of GFP-tagged repair protein XRCC4. Bottom right: analysis of radiation response using original phosphorylation-specific antibodies for XRCC4.



苛酷環境に耐える高性能セラミックス材料の創製 Development of high-performance severe environment resistant ceramics

准教授 吉田 克己

Katsumi YOSHIDA, Associate Professor

✉ k-yoshida@zc.iir.titech.ac.jp

☎ 03-5734-2960

高信頼性先進セラミックス基複合材料の開発

セラミックスを部材としての適用を考えた場合、脆性という材料としての信頼性の低さに問題がある。そのため、セラミック繊維を複合化し、信頼性の向上を目指した繊維強化セラミックス基複合材料が次世代高信頼性耐熱材料として注目されており、原子力・核融合炉、高温ガスタービンや宇宙航空産業等の苛酷環境下での適用が期待されている。本研究では、繊維強化セラミックス基複合材料の新規作製プロセスの開発及びその特性評価や様々な機能・特性の付与を目指した特異な構造を有する先進セラミックス基複合材料の研究を行っている（図1）。

高機能セラミック多孔体の開発

環境負荷低減や省資源・エネルギー化を図る上でセラミック多孔材の活用が有効であると考えられる。独自に提案した「その場結晶成長・粒子配向」等を利用した機能付与やナノ〜マイクロレベルでの微構造制御を軸とした高機能セラミック多孔材に関する基礎研究を行っている（図2）。また、放射能汚染水の浄化及び固定化が可能な多孔質セラミック材料の開発も行っている。

耐苛酷環境性セラミックスの開発

高温、高熱勾配、腐食性・酸化雰囲気、放射線・粒子線照射等の苛酷環境下に曝された材料の特性・微構造変化を明らかにし、得られた結果をもとに苛酷環境に耐えるセラミック材料の開発を行っている。原子力・核融合炉分野での適用を目指した材料開発として、微構造制御による事故耐性燃料への適用を目指した新規セラミック材料の開発、高速炉用革新的セラミック制御材の開発や長寿命放射性核種核変換用セラミックマトリックスの開発を行っている。

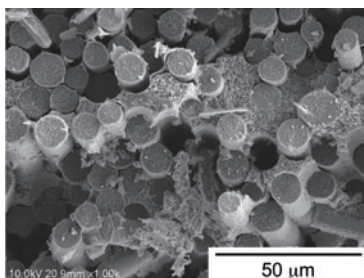


図1 炭化ケイ素繊維強化炭化ケイ素基 (SiC/SiC) 複合材料の微構造 SEM 写真

Fig.1 SEM micrograph of silicon carbide fiber-reinforced silicon carbide matrix (SiC/SiC) composites

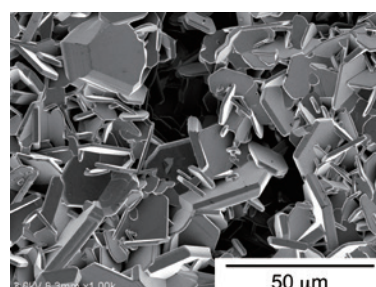


図2 その場粒成長炭化ケイ素 (SiC) 多孔体の微構造 SEM 写真

Fig.2 SEM micrograph of porous silicon carbide (SiC) ceramics with in-situ grain growth

Development of Advanced Ceramic-Based Composites with High Reliability

Generally, ceramics show brittle fracture behavior, resulting in low reliability as structural parts. In order to improve their reliability, ceramics reinforced with continuous ceramic fibers, i.e. continuous ceramic fiber-reinforced ceramic matrix composites (CMCs) have been paid attention as next-generation highly reliable heat-resistant materials. CMCs have been expected to be used as the components for nuclear and fusion power applications, high temperature gas turbines and aerospace industries. Novel fabrication process of CMCs, their properties, and advanced ceramic-based composites with unique morphology have been studied (Fig. 1).

Development of High-Performance Porous Ceramics

Application of porous ceramics has been considered to be effective to reduce environmental load and to save resources and energy. We have uniquely proposed porous ceramics with in-situ grain growth and grain orientation for the surface functionalization (Fig. 2). We have been developing high-performance porous ceramics based on microstructure control in nano-, micro- and macro-scales. Furthermore, porous ceramics for purifying radioactively contaminated water and immobilizing radioactive nuclides have been studied.

Development of Severe Environment Resistant Ceramics

Changes in properties and microstructure of ceramics exposed under severe environment such as high temperatures, high thermal gradient, corrosive and oxidizing atmosphere, radiation and particles irradiation have been studied, and we have been developing severe environment resistant ceramics. In consideration of nuclear and fusion applications, novel ceramics for accident tolerant fuels, high-performance neutron absorbing ceramic pellets for fast reactors, and inert ceramic matrix for the transmutation of long-lived fission products into short-lived or stable nuclides in nuclear reactors or accelerators, based on microstructure control, have been studied.



助教 石塚 知香子

Chikako ISHIZUKA, Assistant Professor

✉ chikako@zc.iir.titech.ac.jp ☎ 03-5734-2955

核分裂機構の解明とその応用

ウランをはじめとするアクチノイドの核分裂機構は原子力システムの根幹をなすにも関わらず、未だ解決されない部分が残されています。そのため実験の困難な領域に対して予言力のある理論を用いた評価が欠かせません。そこで我々は最新の物理に基づく核反応理論モデルを開発しながら、核分裂機構の解明および核データの精度向上に取り組んでいます。また得られた高精度核データを利用して核変換や廃止措置における不確かさ研究や、核分裂の起きるもう一つの場所である天体現象に応用した研究に取り組んでいます。

Investigation of nuclear fission mechanism and its applications

Nuclear fission of actinides is the most fundamental phenomenon for the nuclear energy system. However, there are still some open questions on fission mechanisms. Then we have developed theoretical models to predict fission products as accurately as possible to improve nuclear fission data. We also apply our results to the uncertainty study on nuclear decommissioning and nuclear transmutations, and the astronomical study because nuclear fission occurs in astronomical objects.

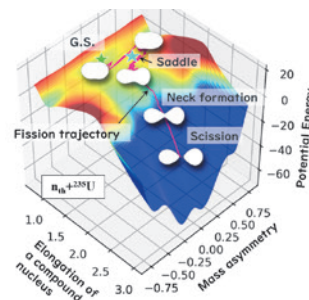


図1 図は4次元ランジュバン模型を用いて得られるU235の熱中性子入射核分裂でのポテンシャル曲面上の核分裂軌道の様子。

Fig. 1 The figure shows a trajectory of thermal-neutron-induced fissions of U235 on the potential surface obtained by our four-dimensional Langevin model.



助教 井戸田 直和

Naokazu IDOTA, Assistant Professor

✉ idota@zc.iir.titech.ac.jp ☎ 03-5734-3067

有機-無機ハイブリッドによる機能性材料の開発

放射性核種をはじめとする無機物質の分離回収や有効利用において、有機物質との複合化は優れた手段と言えます。このようなハイブリッドの機能は有機-無機成分の界面において発現するため、少ない有機成分でその機能を効果的に発揮できる無機基材の表面改質は低炭素社会の実現において重要となります。我々は表面修飾技術を利用して、外部環境の変化によって機能を変化させる核種吸着剤や放射医療用ナノキャリア、ポリマー固体電解質、自己修復材料、等の機能性材料の開発を進めています。

Development of Functional Materials Based on Organic/Inorganic Hybrids

Hybridization of inorganic compounds involving radionuclides with organic compounds is a useful method for their separation and effective utilization. Since the functionalities often appear at the interfaces between organic and inorganic components, surface modification of inorganic materials with organic molecules is important for realization of a low-carbon society. We have developed functional adsorbents, nanocarriers for radiation therapy, polymer solid electrolytes, self-healing materials in respond to external environments by surface modification techniques.

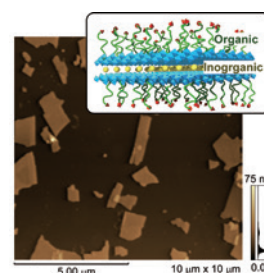


図1 ポリマー修飾無機ナノシートの顕微鏡像

Fig. 1 Microscopic image of polymer-grafted inorganic nanosheets.



助教 グバレビッチ アンナ

Anna GUBAREVICH, Assistant Professor

✉ gubarevich.anna@zc.iir.titech.ac.jp ☎ 03-5734-2960

低環境負荷に貢献するセラミック材料のデザイン、合成及びプロセッシング

MAX相のような新しいセラミック材料の研究を行っている。例えば、誘導加熱と熱力学的な計算を合わせて駆使し、化学反応を精密に制御することで、革新的な高速・高効率合成プロセスを開発している。短時間・低温での合成を達成することでエネルギー効率の高い、低環境負荷技術の実現を目指している。

ナノカーボン構造制御技術の開発

固体潤滑剤や電磁波遮蔽材料などに効果的な軽量材料として、ナノダイヤモンド（ND）やオニオンライクカーボン（OLC）始め様々な炭素ナノ材料の研究に取り組んでいる。

Novel Ceramic Materials Design, Synthesis and Processing Methods with Reduced Environmental Footprint

Novel ceramic materials such as MAX phases and other ternary carbides are investigated. We develop new fast and effective synthesis and processing methods, based on precise kinetic control of chemical reactions through combined application of theoretical calculations and induction heating technique. Our methods drastically reduce time, temperature and energy necessary for the synthesis and sintering of ceramic materials, and as a result contribute to environmentally-friendly and energy-efficient technologies.

R&D on Nanocarbon Structures Design and Their Formation

Formation and characteristics of various carbon nanostructures have been studied; especially, related to nanodiamonds (ND) and onion-like carbon (OLC) for applying in solid lubrication, electromagnetic radiation shielding, etc.

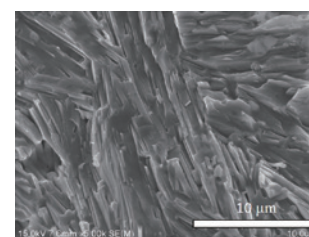


図1 ZrTi₂AlC₂ MAX相の微構造

Fig. 1 Microstructure of ZrTi₂AlC₂ MAX Phase



助教 澤田 哲生

Tetsuo SAWADA, Assistant Professor

✉ tetsuo@zc.iir.titech.ac.jp ☎ 03-5734-3062



図1 アドボカシーの例：やりましょう！ 私たちの手で、私たちの授業を!!

Fig. 1 Advocacy Example: Kyoto Call "Let's do it! With our hands, our final disposal problem class!!"

参加型対話による3・11後の課題解決方法の探究

本研究の目的は、原子力や放射線に関わる権威（authority）の構築を旨として、原子力 vs. 再エネという対立軸を乗り越えて、両者の共存共栄を目指すべく効果的な参加型ダイアログを探究することにある。Socio-Scientific Issue (SSI) の4指標（科学的知識を持った市民の養成、社会的責任の内省的な育成、弛まぬ思索と論理的議論、批判的思考の発揮）のもとに、対話によってアドボカシー（弱者の権利や利益の擁護・代弁）に到達することを目指す。

Study of problem-solving methods after 3.11 Fukushima Daiichi NPP disaster through participatory dialogue

The purpose of this research is to seek an effective participatory dialogue to overcome the conflicting axis of nuclear power vs. renewable energy and aim for coexistence and co-prosperity of both, with the aim of building authority related to nuclear power and radiation.

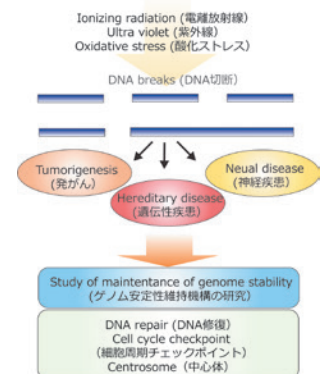
Based on the four indicators of Socio-Scientific Issue (SSI) (cultivation of citizens having scientific knowledge, introspective development of social responsibility, constant thinking and logical discussion, demonstrating critical thinking), we are conducting a dialogue with the aim of increasing power and creating a sprout of collaboration. Through dialogue based on the four indicators of Socio-Scientific Issue (SSI) (cultivation of citizens waiting for scientific knowledge, introspective development of social responsibility, constant thinking and logical discussion, demonstrating critical thinking), we aim to reach advocacy which defends and represents the rights and interests of the vulnerable people.



助教 島田 幹男

Mikio SHIMADA, Assistant Professor

✉ mshimada@zc.iir.titech.ac.jp ☎ 03-5734-3703



哺乳類細胞におけるゲノム安定性維持分子機構の研究

細胞内のゲノム DNA は遺伝情報の継承に重要であり、その維持機構は非常に厳密に制御されています。これらの制御の破綻は遺伝性疾患、発がん、神経異常など様々な疾患の原因となります。我々は特に放射線などの外部刺激に対して DNA を安定的に保持する分子機構の解明を目指しています。これらの研究成果は細胞の放射線応答機構の知見が得られるのみならず、抗癌剤の開発や新しい医療手法の開発にも貢献することが期待されます。

Study of molecular mechanisms of genome stability in mammalian cells

Genome stability is maintained by many molecular mechanisms such as DNA repair, cell cycle checkpoint, centrosome maintenance and apoptosis. Defect of these mechanisms cause radiation high sensitivity, developmental failure and cancer development. We are studying molecular mechanisms of radiation high sensitivity inherited diseases. Our goal is to elucidate the relationship between disease and molecular mechanisms.



助教 高須 大輝

Hiroki TAKASU, Assistant Professor

✉ takasu.h@zc.iir.titech.ac.jp ☎ 03-5734-3865

持続可能な社会構築のためのエネルギー変換・貯蔵技術開発

持続可能な社会の構築のためには多種多様なエネルギーの統合利用を推し進めていく必要があります。最近では先進国を中心に再生可能エネルギーの普及が進んでいますが、一方で、需給バランスが崩れるといった新たな問題も生じており、エネルギー統合利用のために解決が求められます。私達の研究ではこういった需給バランスの解消を目的としたエネルギー変換・貯蔵技術の開発を行っています。特に、電気・熱エネルギーを利用した二酸化炭素の物質変換や、化学反応を利用した化学蓄熱材料開発を中心に現在研究を進めています。

Research and development of energy conversion and storage technology for building a sustainable society

In order to achieve a sustainable society, it is needed to accelerate integrated use of various energies. Installation of renewable energies has been growing mainly in advanced countries. However, the rapid installation is starting to cause unbalance of energy demand and supply, and it makes difficult for further integrated use of energies. We focus on energy conversion and storage technologies to solve the problem. Especially, research and development of material conversions with carbon dioxide and thermochemical energy storage are currently core topics in our laboratory.



助教 高橋 秀治

Hideharu TAKAHASHI, Assistant Professor

✉ htakahashi@zc.iir.titech.ac.jp

☎ 03-5734-2377

原子力熱流動の先進的計測技術の開発

福島第一原子力発電所の廃止措置における燃料デブリ取り出しに関連した研究として、超音波、レーザー、ロボットを用いた液体の流れと化学組成および堆積物形状・物性の新たな廃炉・遠隔計測技術の開発を行っている。

熱流動 - ソースターム挙動の数値解析の高度化研究

ガラス熔融炉における熱流動解析や、ナトリウム冷却高速炉プラントの安全性向上として著しい炉心損傷を伴うシビアアクシデント時の統合的なシミュレーション手法の構築に資する放射性物質移行評価モデルの高度化研究に取り組んでいる。

Development of Advanced Measurement Techniques for Nuclear Thermal Hydraulics

We are developing new telemetry techniques of flow and chemical compositions in liquid and shape and physical property of sediments using ultrasound, laser, robot related with the retrieval of fuel debris in the decommissioning of Fukushima-Daiichi nuclear power plant.

Advancement of Numerical Simulation on Thermal Hydraulics – Source Term Behavior

We are working on thermal-hydraulic analysis of glass melter. In addition, to improve the safety of sodium-cooled fast reactor plants, we are working on an advanced radioactive material transfer evaluation model that contributes to the development of an integrated simulation method for severe accidents with significant core damage.

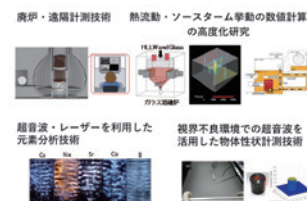


図 1 原子力熱流動の先進的計測技術の開発と熱流動 - ソースターム挙動の数値解析の高度化研究の概要

Fig. 1 Development of Advanced Measurement Techniques for Nuclear Thermal Hydraulics and Advancement of Numerical Simulation on Thermal Hydraulics – Source Term Behavior



助教 中瀬 正彦

Masahiko NAKASE, Assistant Professor

✉ m.nakase@zc.iir.titech.ac.jp

☎ 03-5734-3846

核燃料サイクルの重要課題を化学と工学で解決する

発電時の CO₂ フリーの原子力は今後も重要なエネルギー源ですが、幾つかの重要課題を解決する必要があります。使用済み核燃料再処理、資源の有効・再利用、廃棄物の安定固化、処分場負荷低減を目指し、特に重要な分離科学について化学と工学を駆使して研究しています。抽出剤や吸着剤の有機合成から性能・物性評価、アプリケーション化まで取り組み、外部研究施設を積極的に利用して沢山の外部研究者と連携しています。

Solve the important problems related to nuclear fuel cycle by chemistry and engineering

Nuclear power is one of the most important energy source due to the less amount of CO₂ emission. However, some of the problems are still existed. To solve difficult problems such as actinide separation and waste management, intensive studies are ongoing by chemistry and engineering. My activity covers the development of extractants and adsorbents, characterization and application studies. I actively use the external research facilities such as Photon Factory, SPring-8 and other universities with many collaborators to access the advanced equipment.



図 1 高エネルギー加速器研究機構フォトンファクトリー BL27A の XPS チャンバー

Fig. 1 XPS chamber of BL27A at Photon Factory, High Energy Accelerator Research Organization (KEK)



助教 西山 潤

Jun NISHIYAMA, Assistant Professor



jun-nishiyama@zc.iir.titech.ac.jp



03-5734-3849

受動安全特性を持った CANDLE 燃焼炉の設計研究

持続性、安全性、経済性、核不拡散抵抗性の特性を兼ね備えた革新的原子炉として CANDLE 燃焼方式の原子炉があります。この原子炉はロウソクが燃えるように燃焼領域が自律的に移動する特徴を持っており、その特性解析を行っています。この燃焼方式の実用化に向けて、宇宙探査用の電源としての応用など様々な原子炉を設計・解析しています。

Design Study of CANDLE burn-up Reactors with Passive Safety

The CANDLE burn-up reactor is an innovative nuclear reactor with sustainability, safety, economy, and proliferation resistance. This reactor features that the burning region moves autonomously like a burning candle, and we are analyzing its characteristics. We are designing and analyzing various reactors' types to apply this burn-up strategy, including applications as a power source for space exploration.

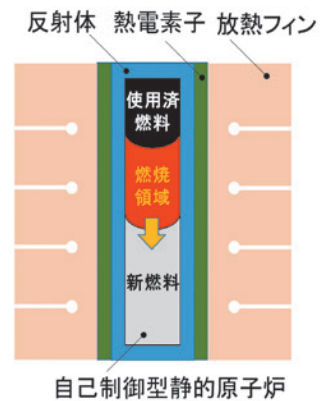


図 1 宇宙探査用小型原子炉システムの概念図

Fig. 1 Conceptual diagram of the small nuclear reactor system for space exploration



助教 安井 伸太郎

Shintaro YASUI, Assistant Professor



yasui@zc.iir.titech.ac.jp



03-5734-3060

高出力性・高耐久性・高速充放電性・安全性を備えたエネルギー貯蔵材料の開発

安全安心に使用できる高出力・高耐久・高速充放電特性を有するエネルギー貯蔵材料の開発が求められている。Li イオン電池は優れた特性を有していることから様々な場面で使用されている。しかし、充電時間が長い、充電回数が限られているなどの問題点が挙げられる。本研究室は材料科学の視点からこれら問題点を解決する新しい材料提案を行っている。電池性能は活物質周りの副反応にて劣化することが知られているが、それを根本的に制御することによって圧倒的な特性向上を見出すことが可能となる。

Development of energy storage materials with high-power, tough, fast-chargeable and safe properties

Development of energy storage materials with high-power, tough, fast-chargeable and safe properties is highly demanded. Li-ion batteries are used in various situations because they have extremely excellent characteristics. However, there are problems such as a long charging time and a limited cyclability. Our laboratory proposes new materials to solve these problems from the viewpoint of materials science. It is well known that battery performance deteriorates due to side reactions around active materials, but it is possible to find overwhelming improvement in characteristics by fundamentally controlling interface structure.

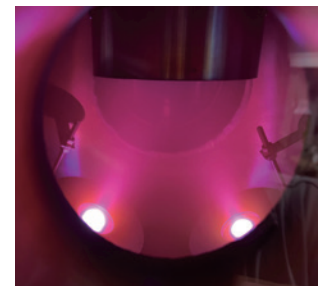
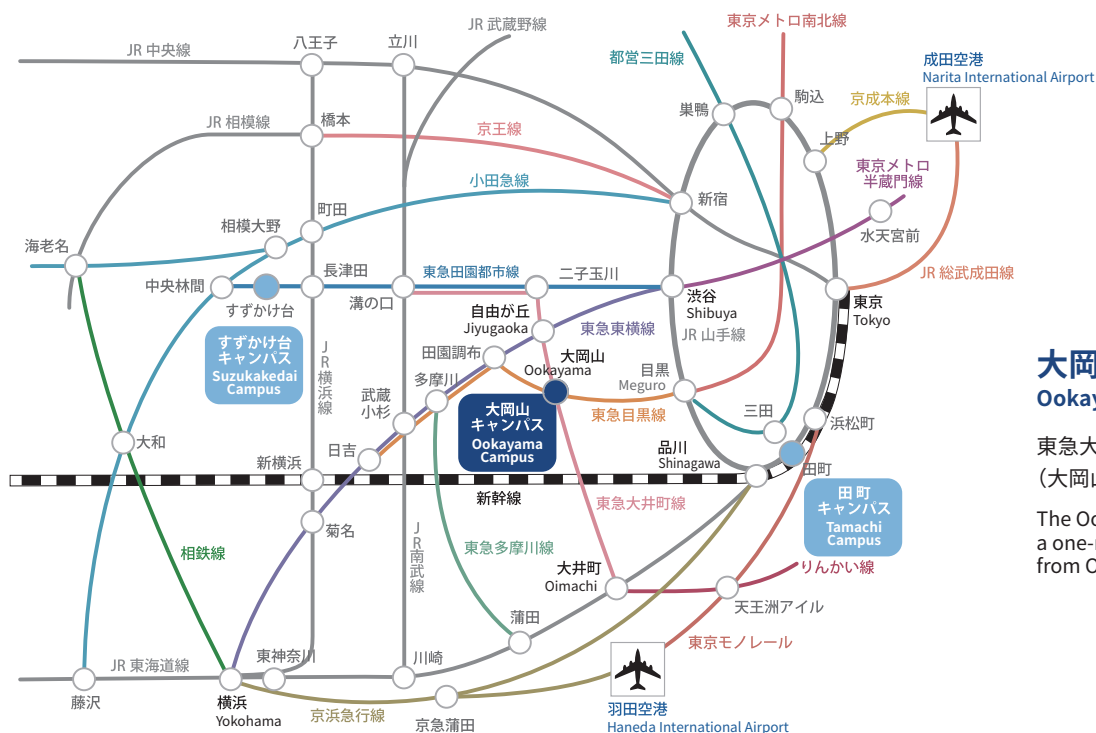


図 1 RF スパッタリング法による高品質薄膜の作製

Fig. 1 Preparation of high-quality thin films by RF sputtering

アクセス Access



大岡山キャンパス Ookayama Campus

東急大井町線・目黒線
(大岡山駅下車 徒歩1分)

The Ookayama campus is
a one-minute walk
from Ookayama Station.

ゼロカーボンエネルギー研究所 Laboratory for Zero-Carbon Energy



国立大学法人東京工業大学
科学技術創成研究院
ゼロカーボンエネルギー研究所
〒152-8550
東京都目黒区大岡山2-12-1 N1-16
TEL: 03-5734-3052 FAX: 03-5734-3749

Laboratory for Zero-Carbon Energy (ZC)
Institute of Innovative Research
Tokyo Institute of Technology
N1-16, 2-12-1, Ookayama, Meguro-ku
Tokyo 152-8550 JAPAN
TEL: +81-3-5734-3052 FAX: +81-3-5734-3749

URL <http://www.zc.iir.titech.ac.jp/>