

OVERVIEW of

ゼロカーボンエネルギー研究所要覧



Vol.2

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 **加藤 之貴**

Professor Yukitaka Kato
Director of the Laboratory for Zero-Carbon Energy

「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（ZC研）」は2021年6月に開設されました。私は初代所長 竹下健二の後任として2022年4月に所長に就任致しました。2022年度要覧発刊にあたりご挨拶申し上げます。

地球環境の下で人類が継続して生きるためには、二酸化炭素（CO₂）の人為的な排出の抑止が必要と考えます。本研究所はゼロカーボンエネルギー（ZCE）を用いたカーボンニュートラル技術の開発を通じて、地球と共生しつつ豊かな社会の構築に貢献することを目的に設置されました。ZC研はフューチャーエネルギー部門、原子力工学部門の2部門からなり所員が一丸となり課題に取り組んで参ります。

21世紀を迎え、物・情報が豊かになり便利な時代を迎えたと思っただけの間、急激な気候変動、感染症拡大などの人々を取り巻く環境の変化に翻弄されています。そのような中で、人類は自然の大きさと人間の無力さを認識し始めています。自然に生かされている感謝を改めて思い起こし生活様式の修正が必要と考えます。ZC研では20世紀型の過度に化石資源に依存した社会を見直し、地球環境に親和性のあるカーボンニュートラル社会への転換を目指します。

豊かな社会生活の駆動のためには一次エネルギーが必要です。これまでの化石エネルギー依存を極力減らし、ZCEである再生可能エネルギー（再生エネ）、原子力エネルギー、バイオマスまた産業排熱などを一次エネルギーとして活用する研究を行います。再生エネは不安定であるため、その普及には大規模なエネルギー貯蔵技術が必要です。貯蔵技術として蓄電、

The Laboratory for Zero-Carbon Energy (ZC), Institute of Innovative Research, Tokyo Institute of Technology, was established in June 2021. I was appointed in April 2022 as a successor to the first director, Kenji Takeshita. I would like to offer my greetings on the occasion of the publication of the 2022 Directory.

In order for humanity to live continuously in the global environment, we believe that it is necessary to prevent artificial emissions of carbon dioxide (CO₂). ZC was established with the aim of contributing to the construction of a prosperous society that coexists with the earth through the development of carbon-neutral technology using zero-carbon energy (ZCE). ZC consists of two divisions, the Future Energy Division and the Nuclear Energy Division, and the staff will work together to address the issues to be contributed.

As we enter the 21st century, we thought we had reached an era of affluence and convenience of goods and information, but for a short time, we are at the mercy of changes in the environment surrounding people, such as rapid climate change and the spread of infectious diseases. In the midst of all this, human beings are beginning to recognize the greatness of nature and the helplessness of human beings. I think it is necessary to remind ourselves of the gratitude that is being kept alive by nature and to revise our lifestyle. ZC will review the 20th-century society that was excessively dependent on fossil resources and aim to shift to a carbon-neutral society that is friendly to the global environment.

Primary energy is necessary to drive a prosperous social life. We will reduce our dependence on fossil energy as much as possible and conduct research to utilize renewable energy (RNE), nuclear energy, biomass, and industrial waste heat as ZCE primary energy. Since RNE is unstable, massive energy storage technology is necessary for its dissemination. We are developing energy storage, heat storage and energy carrier

蓄熱、エネルギーキャリア技術、また新たなエネルギーネットワークシステムを検討しています。原子力エネルギーは社会に不安をもたらしていますが、貴重なZCEと捉え、小型モジュール炉等を活かした安全かつ経済的な原子力エネルギーシステムを開発しており、併せて放射線利用技術研究も進めています。

人類は古来より炭素を利用しており、今後も継続して利用することが望めます。そこで炭素利用を許容しつつ環境にCO₂を排出しない、ZCEを用いた炭素循環産業システムの創成を目指し、そのためにCO₂の回収、資源化、循環利用の進展を図ります。

そして研究の社会実装を加速するためにグリーン・トランスフォーメーション・イニシアティブ（Tokyo Tech GXI）事業を開始しました。Tokyo Tech GXIにて産学官、社会、市民が連携したオープンイノベーションによるグリーン・トランスフォーメーション技術の開発を展開します。

必要とされる研究テーマは未踏領域が多く、個人、一組織での達成はできません。テーマに賛同頂ける多くの方のご協力が必要です。本研究所が一つの拠り所となり、国内外の多くの方々と協力して将来に希望を持てる社会の構築に役立ちたく思っております。皆様のご参画を大いに歓迎いたします。

本研究所に対するご指導、ご支援をどうぞよろしくお願いいたします。

technologies, and new energy network systems including the technologies. Nuclear energy is causing anxiety in society, but we regard it as a valuable ZCE and are developing safe and economical nuclear energy systems using small modular reactors, and at the same time, we are also advancing research on radiation utilization technology.

Humans have been using carbon materials since ancient times, and it is hoped that they will continue to be used in the future. Therefore, we aim to create a carbon recycling industrial system driven by ZCE that does not emit CO₂ into the environment while allowing carbon use, and to that end, we will promote the capture, recycling, and reusing of CO₂.

The Green Transformation Initiative (Tokyo Tech GXI) project has been started to accelerate the social implementation of research since 2022. At Tokyo Tech GXI, we will develop green transformation technologies through open innovation with collaboration between industry, academia, government, society, and citizens.

There are many unexplored areas of research that are required, and they cannot be achieved by individuals or organizations alone. ZC needs the cooperation of many people who agree with the theme. We hope that this institute will serve as one of our bases and contribute to the construction of a society where people can have hope for the future in cooperation with many people in Japan and overseas. We greatly welcome your participation.

I thank you deeply for your guidance and support for ZC.



ゼロカーボンエネルギー研究所（ZC研）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社会実現への展望は図1のとおりです。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）、原子力エネルギー等のZCEへ転換する必要があります。図2は日本のカーボンニュートラル達成への道程（2018年度基準 [1]）です。社会が用いる最終エネルギーにおいて電力は熱量ベースで3割程度であり、日本のCN化には7割を占める非電力分野のCN化が量的に重要です。二酸化炭素発生量で国内の15%を占める製鉄、同25%程度を占める運輸などが重要なCN化の対象分野です。ZC研では原子力を含むZCE開発、エネルギー貯蔵・変換、炭素・物質循環技術を開発し、持続可能なCN産業そしてCN社会構築への技術貢献を目指します。

[1] 経済産業省：エネルギー白書2021、https://www.enecho.meti.go.jp/about/whitepaper/2021/pdf/2_1.pdf

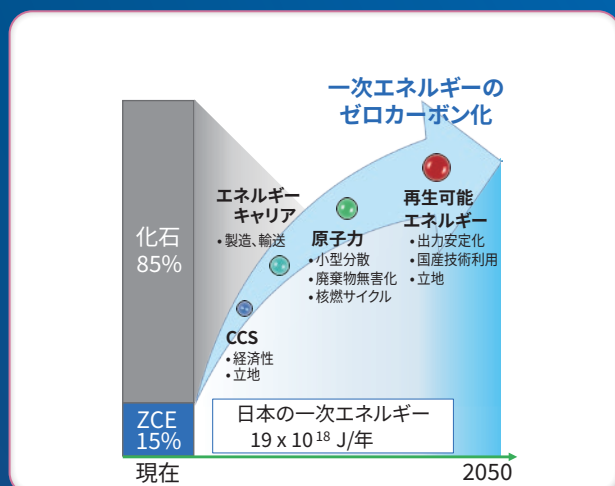


図1 一次エネルギーのゼロカーボン化展望

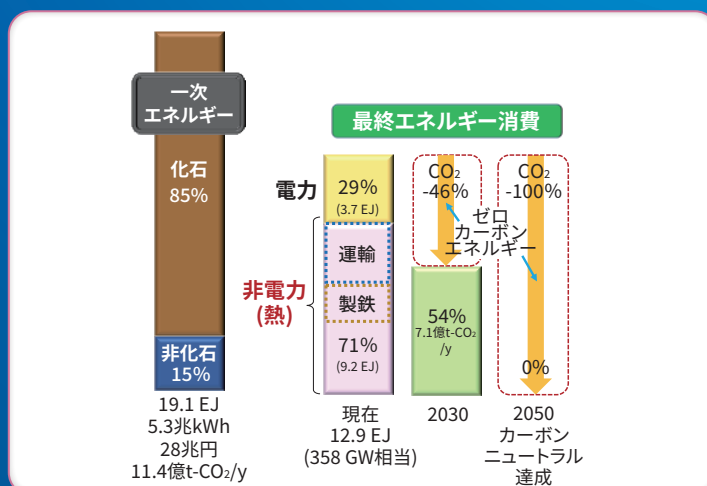


図2 日本のカーボンニュートラル達成への道程（2018年度基準 [1]）

研究組織

ZC研は図3のとおりフューチャーエネルギー部門、原子力工学部門からなります。グリーン・トランスフォーメーション・イニシアティブ（Tokyo Tech GXI）事業の本部を置き、GXI運営をしています。また、福島復興・再生研究ユニット、TEPCO 協働研究拠点と連携活動を行う他に、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CN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ています。

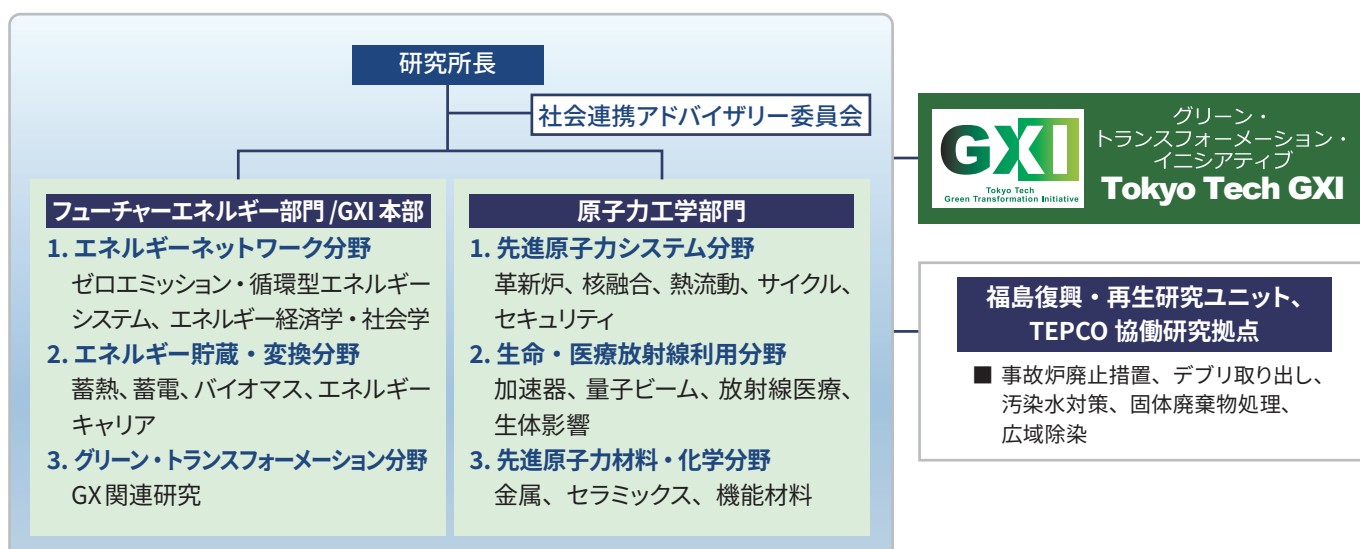


図3 ZC研の組織構成

PE of ZC

活動目的



The Laboratory for Zero-Carbon Energy (ZC) aims to contribute to the realization of a carbon-neutral (CN) society by constructing carbon and material recycling systems based on Zero Carbon Energy (ZCE), and researching and developing technologies necessary for realization. Figure 1 shows the prospect of zero carbonization of primary energy in Japan for realizing a CN society. It is necessary to shift the energy supply side from fossil fuel dependence to ZCE such as renewable energy (RNE) and nuclear energy. Figure 2 shows Japan's path to achieving carbon neutrality (2018 standard [1]). Electricity share is only 30% of the final energy consumption on a calorific basis, and CN in the non-electricity field, which accounts for 70% of the final one, is quantitatively important. Ironmaking, which accounts for 15% of the domestic carbon dioxide emission, and transportation, which accounts for about 25% of the emission, are important target fields for CN conversion. ZC Lab aims to contribute to the establishment of the CN industry and CN society by developing ZCE development including nuclear power, energy storage and conversion, and carbon and material recycling technologies.

[1] METI, Energy White Paper of Japan in 2021

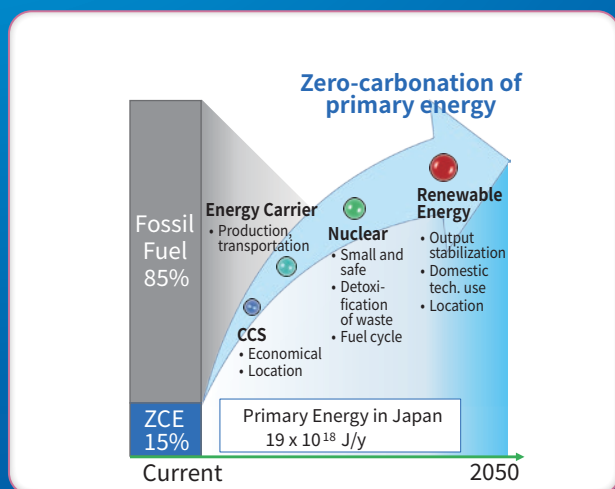


Fig. 1 Prospects for zero carbonization of primary energy

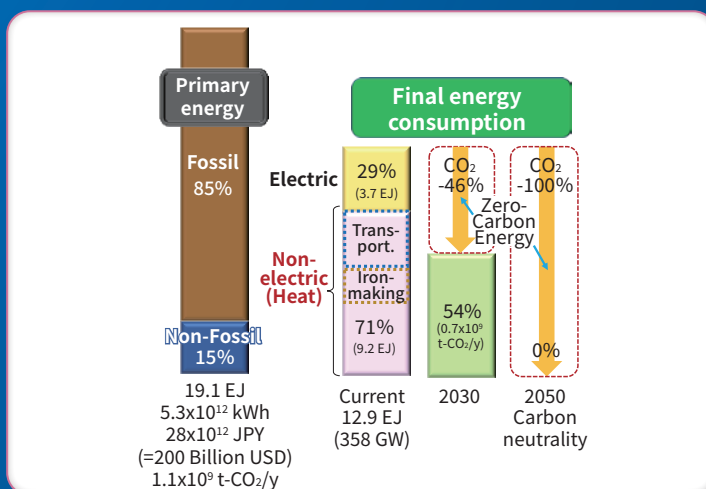


Fig. 2 Path to carbon neutrality for Japan (2018FY standard [1])

Research organization

ZC consists of Future Energy Division and Nuclear Energy Division as shown in Fig. 3. The headquarters of the Green Transformation Initiative (Tokyo Tech GXI) is set up and operates GXI. In addition to conducting collaborative activities with the Fukushima Reconstruction and Regeneration Research Unit and the TEPCO Collaborative Research Cluster, and we are preparing to establish a collaborative advisory committee to maintain cooperation with society. In order to realize the CN society that the institute aims for, each department and each research field are organically collaborating to promote research and development.

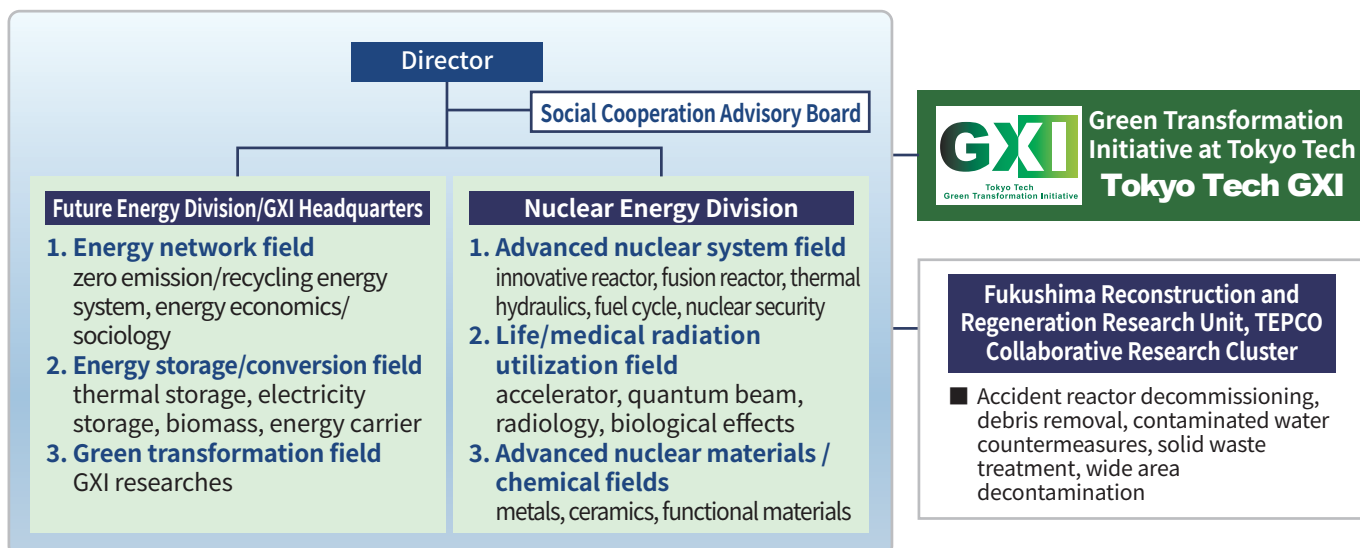


Fig. 3 Organization structure of ZC



Tokyo Tech Green Transformation Initiative

<http://www.gxi.iir.titech.ac.jp/>

グリーン・トランスフォーメーション・イニシアティブ (Tokyo Tech GXI)

日本が目指す2050年カーボンニュートラル(CN)実現のためには、グリーン・トランスフォーメーション(GX、緑転、CNに応じた産業及び社会の構造の変化)が必須です。グリーン・トランスフォーメーション・イニシアティブ(Tokyo Tech GXI)事業は文部科学省ミッション実現加速化経費に基づき令和4年度から活動を開始しました。GXIはCN社会の実現を先導するためにGX研究の推進とスタートアップを強化し、産業・社会と連携してオープンイノベーションを進めます。また、GX研究の国際拠点として活動し、地球環境と共生した社会構築への貢献を目指します。

Tokyo Tech GXI のゴール

図1はGXIがゴールとして目指すエネルギー社会ビジョンです。一次エネルギーにゼロカーボンエネルギー(ZCE)を導入します。再生エネは天候に依存するため、出力変動が大きい点が課題です。一方で需要側にも変動があるため、エネルギー貯蔵のための蓄電(電池)、蓄熱技術開発が必要です。エネルギー需要側は多くの分野で炭素化合物を必要とします。そこで排出される二酸化炭素を回収し、ZCEで炭素化合物に変換して循環再利用し、併せて水素、アンモニアなどのエネルギーキャリアを社会に供給します。そして物質の回収・分離・再生を同時に行うことで持続可能なCN社会が成立します。GXIではCN社会構築への技術貢献を目指します。

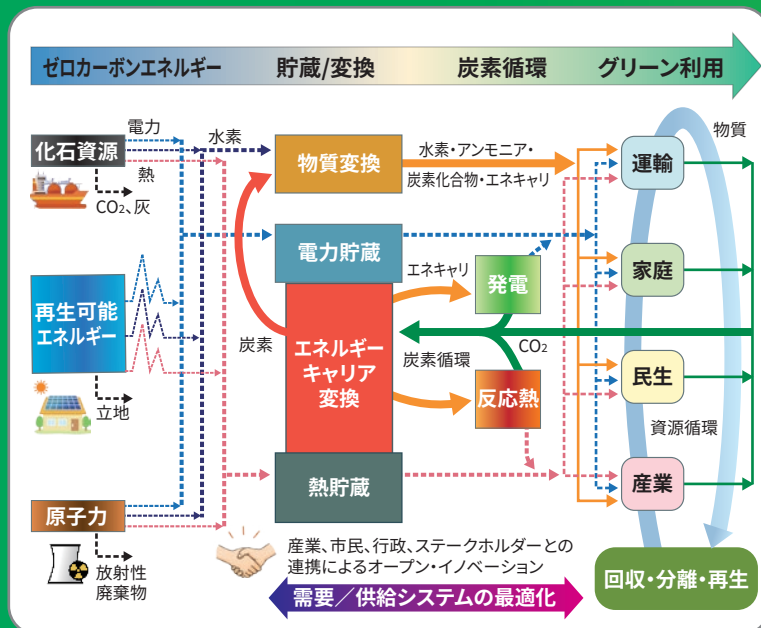


図1 Tokyo Tech GXI がゴールとして目指すエネルギー社会ビジョン

Tokyo Tech GXI のオープンイノベーション

Tokyo Tech GXIはZC研に本部を置き、産業・社会と連携したGX分野のオープンイノベーション研究を展開します。図2はGXIの連携ネットワークです。GXI内に産学連携委員会を置き、エネルギー関連企業約40社と企業コンソーシアム活動を行い、学内の約400名のエネルギー研究関連教員と企業が連携し、課題解決型のオープンイノベーション研究を推進しています。また、GXI研究成果の社会実装するために、ベンチャー育成コアを設置しベンチャー起業を支援します。併せてGXI実証研究を加速するために実験施設GXII大岡山ラボを設置し、今後ラボ活動を展開させます。そして、GXI共同研究拠点を形成しGXの社会実装をオープンイノベーションで進めます。

GX実現に向けて皆様のご指導、ご支援をよろしくお願いいたします。

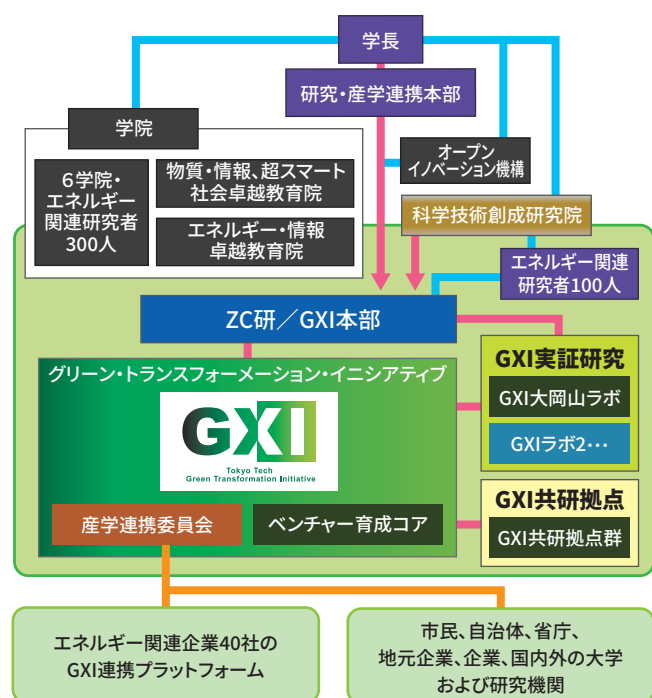


図2 Tokyo Tech GXI のオープンイノベーションネットワーク

Green Transformation Initiative at Tokyo Tech (Tokyo Tech GXI)

<http://www.gxi.iir.titech.ac.jp/>

In order to realize Japan's 2050 carbon neutrality (CN), green transformation (GX, changes in industrial and social structures according to CN) is indispensable. The Green Transformation Initiative at Tokyo Tech (Tokyo Tech GXI) project has started its activities based on the Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology's mission realization acceleration fund since 2022. GXI will promote GX research and strengthen startups to lead the realization of CN society, and promote open innovation in collaboration with industry and society. In addition, we will act as an international center for GX research and aim to contribute to the construction of a society that coexists with the global environment.

Goal of Tokyo Tech GXI

Figure 1 shows the energy society vision that GXI aims to achieve. First, zero carbon energy (ZCE) is introduced as a primary energy source. Since renewable energy depends on the weather, the problem is that the output fluctuates greatly. On the other hand, there are fluctuations on the demand side as well, so it is necessary to develop electric storage (batteries) and heat storage technologies for energy storage. Energy demand sides need carbon compound materials in many sector fields. The carbon dioxide emitted there is recovered, converted to carbon compounds by ZCE, and recycled for reuse, and at the same time, energy carriers such as hydrogen and ammonia are supplied to society. A sustainable CN society will be established by simultaneously resource material collecting, separation and regeneration. GXI aims to contribute technologically to the construction of a CN society.

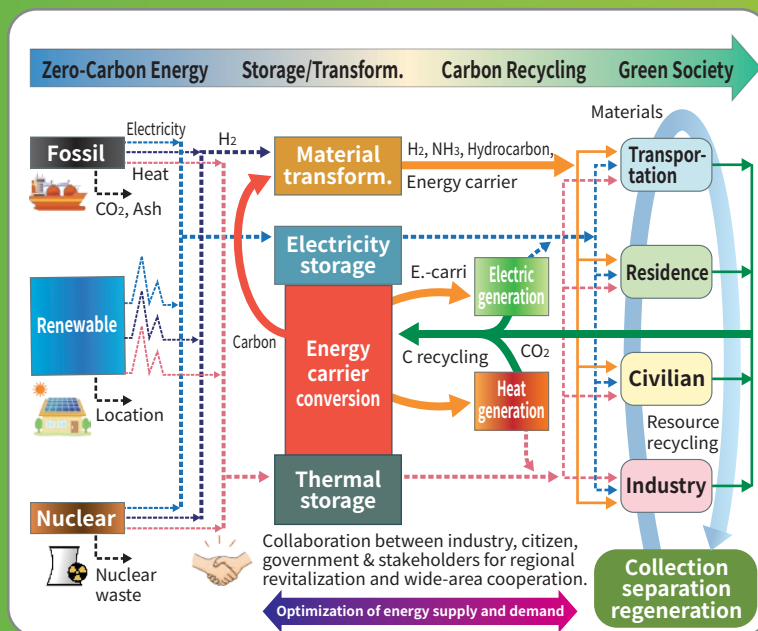


Fig. 1 Energy society vision as the goal of Tokyo Tech GXI

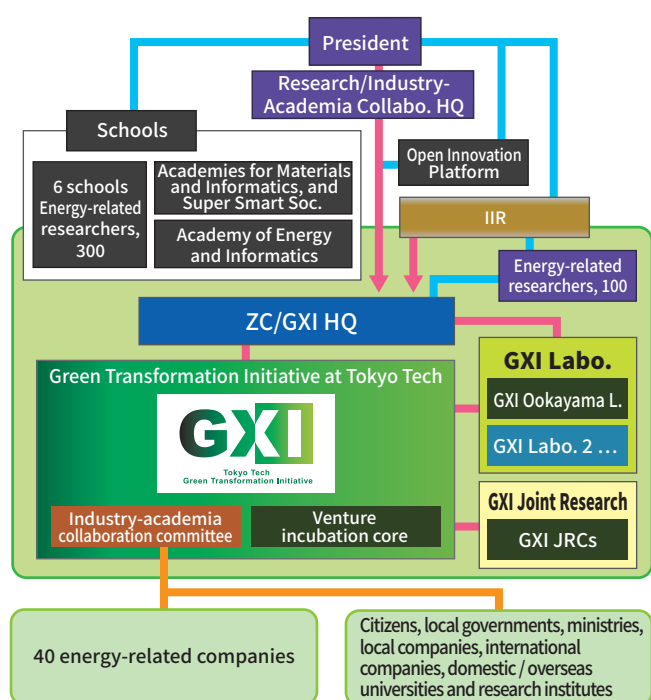


Fig. 2 Open innovation network of Tokyo Tech GXI

Open Innovation in Tokyo Tech GXI

Tokyo Tech GXI is headquartered at ZC and develops open innovation research in the GX field in collaboration with industry and society. Figure 2 shows the GXI collaborative network. An industry-academic collaboration committee has been set up within GXI to carry out corporate consortium activities with about 40 energy-related companies. GXI organizes collaboration with 400 energy research-related faculty members in Tokyo Tech and the companies to promote problem-solving open innovation research. In order to implement GXI research results in society, we will establish a core of venture company development to support venture company startups. At the same time, in order to accelerate GXI empirical research, we will set up an experimental facility of GXI Ookayama Lab and promote more laboratory activities in the future. Then, we will form a GXI joint research center and promote the social implementation of GX through open innovation.

We appreciate your guidance and support for the realization of GX.

教職員一覧

フューチャーエネルギー部門

教授	加藤 之貴
教授	塚原 剛彦
教授	村上 陽一
准教授	高須 大輝
准教授	横井 俊之
特命教授	柏木 孝夫
特命教授	菅野 了次
特任教授	浅野 浩志
特任教授	小田 拓也
特任教授	小山 堅
特任教授	竹下 健二
特任教授	藤田 壮
特任教授	森原 淳

協力教員

物質理工学院	教授	荒井 創
科学技術創成研究院	教授	大竹 尚登
環境・社会理工学院	教授	大友 順一郎
科学技術創成研究院	教授	田中 寛
科学技術創成研究院	教授	原 亨和
環境・社会理工学院	教授	屋井 鉄雄
科学技術創成研究院	教授	山口 猛央
工学院	教授	山田 明
物質理工学院	教授	山中 一郎
科学技術創成研究院	准教授	沖野 晃俊
物質理工学院	准教授	原田 琢也

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
教授	松本 義久
准教授	赤塚 洋
准教授	片淵 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 康一朗
准教授	筒井 広明
准教授	長谷川 純
准教授	吉田 克己
特任教授	奈良林 直
特任教授	望月 弘保
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	島田 幹男
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
Professor	Takehiko Tsukahara
Professor	Yoichi Murakami
Associate Professor	Hiroki Takasu
Associate Professor	Toshiyuki Yokoi
Institute Professor	Takao Kashiwagi
Institute Professor	Ryoji Kanno
Specially Appointed Professor	Hiroshi Asano
Specially Appointed Professor	Takuya Oda
Specially Appointed Professor	Ken Koyama
Specially Appointed Professor	Kenji Takeshita
Specially Appointed Professor	Tsuyoshi Fujita
Specially Appointed Professor	Atsushi Morihara

Cooperating Faculty

School of Materials and Chemical Technology	
Professor	Hajime Arai
Institute of Innovative Research	
Professor	Naoto Ohtake
School of Environment and Society	
Professor	Junichiro Otomo
Institute of Innovative Research	
Professor	Kan Tanaka
Institute of Innovative Research	
Professor	Michikazu Hara
School of Environment and Society	
Professor	Tetsuo Yai
Institute of Innovative Research	
Professor	Takeo Yamaguchi
School of Engineering	
Professor	Akira Yamada
School of Materials and Chemical Technology	
Professor	Ichiro Yamanaka
Institute of Innovative Research	
Associate Professor	Akitoshi Okino
School of Materials and Chemical Technology	
Associate Professor	Takuya Harada

Nuclear Energy Division

Professor	Yoshiyuki Oguri
Professor	Toru Obara
Professor	Yoshinao Kobayashi
Professor	Satoshi Chiba
Professor	Noriyosu Hayashizaki
Professor	Yoshihisa Matsumoto
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	Katsumi Yoshida
Specially Appointed Professor	Tadashi Narabayashi
Specially Appointed Professor	Hiroyasu Mochizuki
Assistant Professor	Chikako Ishizuka
Assistant Professor	Naokazu Idota
Assistant Professor	Anna Gubarevich
Assistant Professor	Mikio Shimada
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.

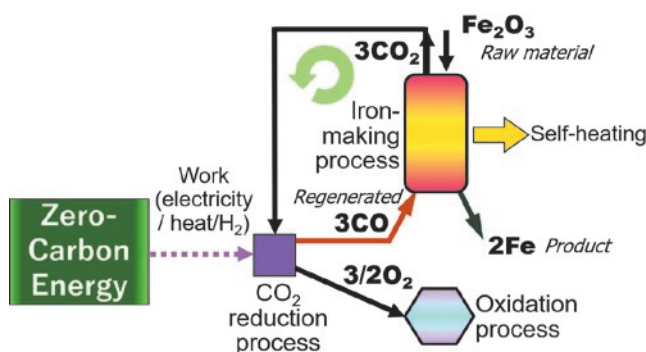


図1 炭素循環エネルギーシステム

Fig. 1 Active carbon recycling energy system

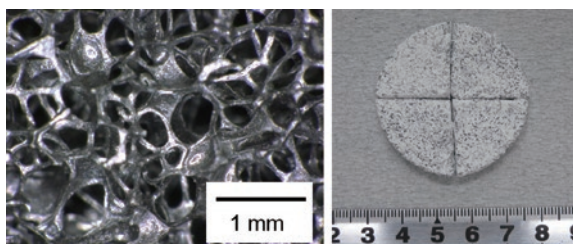


図3 酸化カルシウム複合化学蓄熱材料

Fig. 3 Composite material for calcium oxide thermochemical energy storage

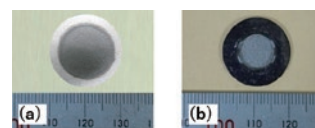


図2 金属基板支持形固体酸化物電気分解セル

Fig. 2 Metal-supported solid oxide electrolysis cell

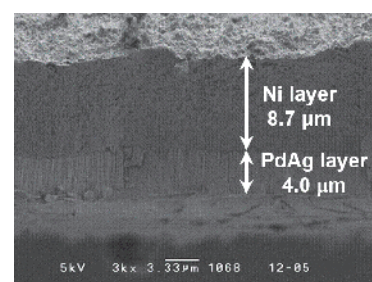
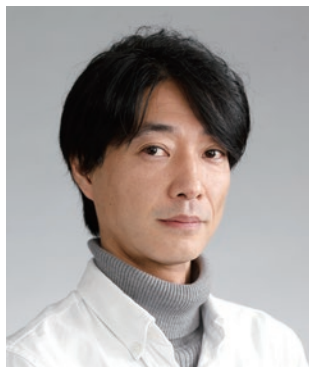


図4 Pd合金薄膜形水素透過膜

Fig. 4 Palladium alloy high-efficient hydrogen permeation membrane



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 μ m）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).

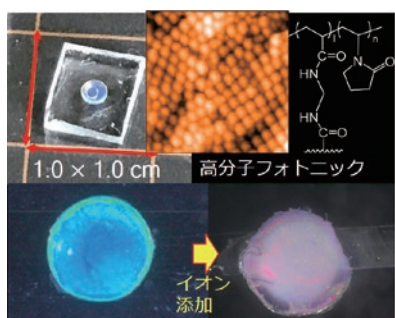


図1 高分子フォトニック結晶による金属イオンセンシング

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

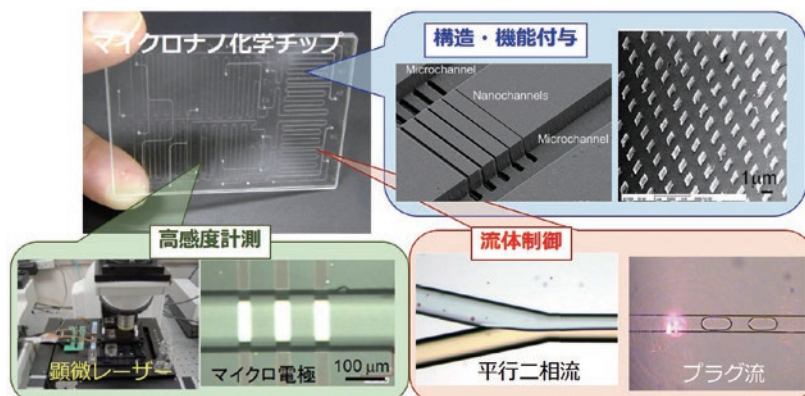


図2 マイクロ・ナノ化学システム

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



新世代のエネルギー変換材料・技術の創出 Development of materials and technologies for future energy

教授 村上 陽一

Yoichi MURAKAMI, Professor

✉ murakami@zc.iir.titech.ac.jp

☎ 03-5734-3836

CO₂ 吸収 / 吸着、イオン伝導を行う新規固体材料の開発

カーボンニュートラル（CN）に向けては、CO₂ 排出低減が困難な産業分野に向けて、低消費エネルギー・低環境負荷で CO₂ を分離・回収する技術が必要となっている。また、CN に必須な再エネ社会の実現には高伝導・安全・軽量の蓄電池材料が必要である。既存技術の延長ではないこれらの新材料開発を通じて社会の CN および産業界の発展に貢献する。

熱エネルギーを有効利用する新材料・システムの開発

一次エネルギーの大半は熱として利用され、また、その他の場合も最終的に熱となる。社会で生じる膨大な熱の有効利用は重要であり、(i) 革新的な蓄熱材料の開発 および (ii) 強制対流冷却と熱電発電を統合する新エネルギーシステムの開発を通じてこのような課題への解決を追求する。

光エネルギーの利用効率を高める光の短波長化材料の開発

CN には多量の太陽光エネルギーの高効率利用が望まれる。しかし、現状の半導体等の光変換材料は、ある波長より長波長側の光エネルギー部分は原理的に使用できない。新概念に基づく革新的な光の短波長化材料の開発を通じてこのような未解決課題の解決に挑戦する。

Solid materials for CO₂ absorption and ion conduction

To achieve carbon-neutrality (CN), new technology to separate CO₂ with low energy consumption and low environmental load is necessary for “hard-to-abate” industries. Maximal use of renewable energy requires highly conductive, safe, and light-weight materials for secondary batteries. Through the developments of these novel materials, contributions to CN of our world and evolution of industry are to be made.

New materials and systems for effective use of thermal energy

Most of the primary energy is used as heat, and in other cases it eventually becomes heat. Effective utilization of the enormous amount of such heat is pursued through the development of (i) innovative heat storage materials and (ii) the development of novel energy system that integrates forced-convection cooling and thermoelectric power generation.

Wavelength-shortening materials for improving the efficiency of light energy utilization

Efficient use of a large amount of solar energy is desired for CN. However, in the current materials such as semiconductors, the spectral portion on the longer wavelength side than a certain wavelength cannot be used in principle. We are challenging such unaddressed problem by developing innovative wavelength-shortening materials based on a new concept.

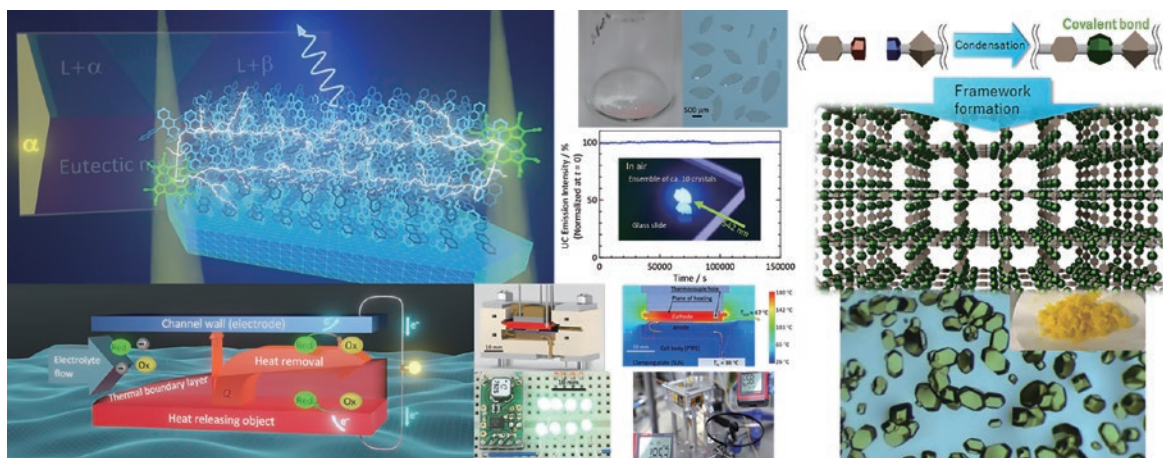


図 1 研究開発対象のイメージ

Fig. 1 Image of Research and Development Targeted



カーボンニュートラルへの貢献を目指したエネルギー関連研究

Energy-related research for contributing to carbon neutrality

准教授 高須 大輝

Hiroki TAKASU, Associate Professor

✉ takasu.h@zc.iir.titech.ac.jp

☎ 03-5734-2683

二酸化炭素直接電気分解のための次世代セル開発

カーボンニュートラルへの貢献のため、二酸化炭素 (CO₂) の資源化技術開発に取り組んでいる。当研究室では、特にキーテクノロジーとしての“CO₂ の効率的な直接電気分解の実現”を目標として、金属を支持体とする次世代固体酸化物形セル (SOC) の開発を行っている。SOC を用いることで電気エネルギーを利用した CO₂ の直接電気分解が可能である。また、金属支持とすることで熱応力に強く、優れた機械的強度を有する低コストかつ大面積のセル製造が期待できる。一方で、金属支持体を用いることで、従来の SOC 製造プロセスが適用できないことから、各層の成膜から金属の耐食プロセスに至るまで個別に検討が必要であるため、現在メーカーや他大学・研究所と連携し開発を進めている。

超高純度水素製造のための金属水素分離膜開発

余剰エネルギーを物質製造に利用する Power to Gas の検討が世界的に進められている。特に水素はエネルギー媒体としての利用のみならず、メタンや液体燃料の原料としても利用が可能であることから注目を集めている。いずれの水素製造法においても水素は他ガス等との混合ガスとして生成されるため、利用する上では水素の分離プロセスが必要となる。本研究室では金属格子間隙を“ふるい”として利用する金属水素分離膜の開発を進めている。本分離膜を用いることで超高純度な水素分離が一段分離プロセスで実現することが期待できる。実用化を見据え、複合化による優れた分離性能や長時間耐久性を有する金属分離膜の開発を進めている。また、金属分離膜は 300℃以上で利用が可能であるため、炭化水素を用いた水素生成反応を促進する膜反応器としての利用についても検討を行っている。

Advanced cell development for direct electrolysis of carbon dioxide

To contribute to carbon neutrality, we are working on the development of carbon dioxide (CO₂) recycling technologies. The laboratory is developing a next-generation solid oxide cell (SOC) using metal support with the goal of “realizing efficient direct electrolysis of CO₂” as a key technology. The use of a metal support is expected to enable the production of low-cost, large-area cells with excellent mechanical strength and resistance to thermal stress. On the other hand, the use of a metal support means that the conventional SOC manufacturing process cannot be applied, so individual studies are required from the deposition of each layer to the metal corrosion resistance process.

Development of metallic hydrogen separation membrane for ultra-pure H₂ production

Power to Gas, the use of surplus energy for material production, is being considered worldwide. Hydrogen production is a strong candidate and various production methods are being considered, but a hydrogen separation process is required to utilize hydrogen. This laboratory has been developing a metallic hydrogen separation membrane, which is expected to realize ultra-pure hydrogen separation in a single-step separation process. For practical use, we are developing a metal separation membrane with excellent separation performance and long durability. In addition, the use of metal separation membranes as membrane reactors to promote hydrogen production reactions with hydrocarbons is also being investigated.

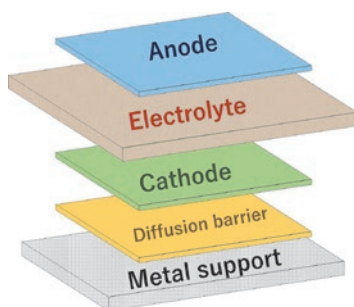


図 1 金属支持 SOC 構造

Fig. 1 Metal-supported SOC structure

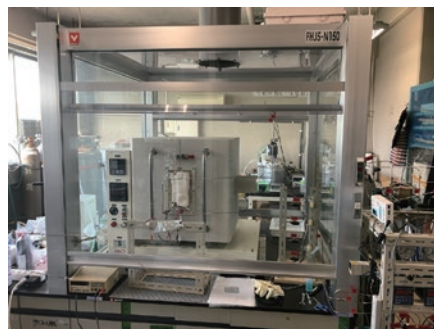


図 2 CO₂ 電解試験装置

Fig. 2 CO₂ Electrolysis test apparatus

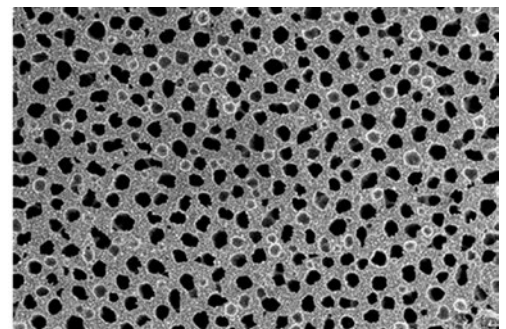


図 3 複合金属水素分離膜の SEM 像

Fig. 3 SEM image of metallic H₂ separation membrane



革新的資源循環を可能にするナノ空間材料の創製 Elaboration of nanospace materials: enabler for innovative resources recycling

准教授 横井 俊之

Toshiyuki YOKOI, Associate Professor

✉ yokoi@zc.iir.titech.ac.jp

☎ 045-924-5430

骨格内ヘテロ原子位置を制御したゼオライトの創製

ゼオライトは、石油精製・石油化学分野における効率的な資源・エネルギー循環プロセスの創出から、大気、土壌、水質などの環境汚染や福島原子力発電所の事故に関する放射性物質の除去、吸着特性を生かした建材への利用など、多様な産業分野において重要な材料であり、最近では、カーボンニュートラル型化学品製造プロセス実現のためのキーマテリアルとしても注目されている。ゼオライトのシリカ骨格に Al、Ga、Fe、Sn、Ti などの「ヘテロ原子」を導入することにより、「触媒能」、「イオン交換能」など様々な機能を発現させることができる。ゼオライト細孔内のヘテロ原子の位置を制御手法の開発と位置制御による高機能に取り組んでいる。

化学産業のカーボンニュートラルに資する触媒プロセス開発

水を原料とした水素と二酸化炭素から合成されるメタノールから基礎化学品であるエチレン、プロピレン等の低級オレフィン合成する触媒プロセス（methanol to olefins: MTO 反応）用のゼオライト触媒開発に取り組んでいる。一連のプロセスが完成すると、太陽光と水から得られた水素（ソーラー水素）と二酸化炭素からプラスチック原料等の基幹化学品を製造するという植物の光合成プロセスの一部を模した、化石資源に頼らない革新的な化学品製造プロセスの実現につながる。

二酸化炭素資源化用触媒プロセス開発

二酸化炭素と水素から代替再生可能燃料となるメタノールを高効率で合成するための革新的な水素化触媒プロセスの開発に取り組んでいる。特に、外場「マイクロ波、磁気誘導、およびプラズマ誘導」を駆動力とした省エネルギー型の革新的な二酸化炭素水素化触媒プロセスによるメタノール合成を目指している。

Selective production of chemical substances by controlling the position of aluminum at the atomic level

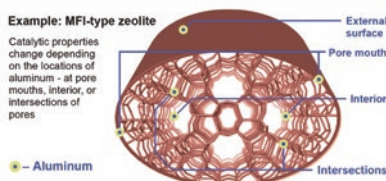


図 1 ゼオライト骨格内 Al 原子の位置

Fig. 1 Location of Al atoms in zeolite framework

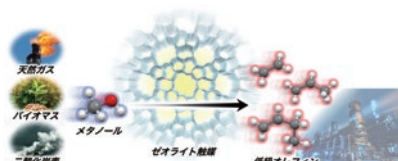


図 2 メタノールからエチレン、プロピレン等の低級オレフィン合成するゼオライト触媒プロセス（methanol to olefins: MTO 反応）

Fig. 2 Conversion of methanol into lower olefins over zeolite catalyst

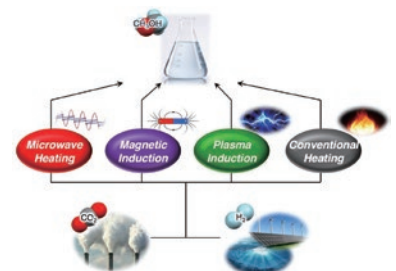


図 3 革新的水素化技術を基盤にした二酸化炭素と再生可能水素からのグリーンメタノール合成

Fig. 3 Conversion of CO₂ into renewable methanol through innovative heterogeneous catalysts systems



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.

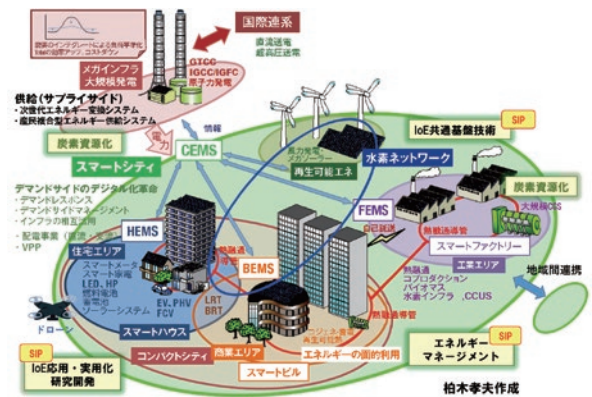


図1 エネルギーシステムのグランドデザイン

Fig. 1 Grand design for the energy system



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。

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.

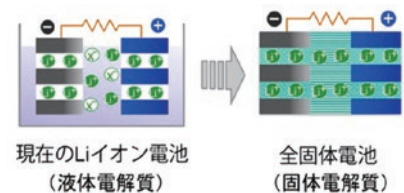


図1 全固体電池模式図

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

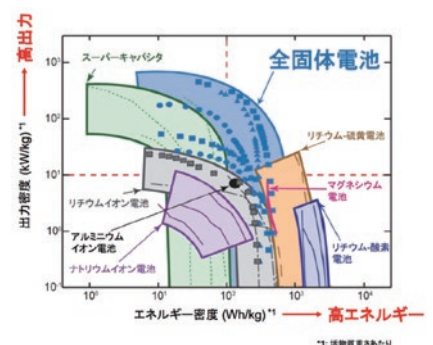


図2 固体電解質を用いた全固体電池の優れた出力特性

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



レジリエンス向上と再生可能エネルギー電力主力化に寄与する地域マイクログリッド

Resilient networked microgrid systems

特任教授 浅野 浩志

Hiroshi ASANO, Specially Appointed Professor

✉ asano.h.aj@m.titech.ac.jp

☎ 03-5734-3284

概要

単独のエリアでのマイクログリッドを配電系統を介して、常時はネットワーク型マイクログリッドを構成し、PV やバイオマス発電、小水力など地域資源をより活用できる。指定区域供給制度および配電事業制度の創設により、地域のエネルギーレジリエンスを向上させ、系統制約の強い地域でも再生可能エネルギー電力を活用できる。マイクログリッド内の電力貯蔵容量に余裕のあるときは、系統運用者にアンシラリーサービスを提供し、追加的な収益も得られる。各種のマイクログリッドの設計・運用の最適化を目指す。

Outline

To promote further renewable energy integration, some schemes to solve the issues without reinforcement of T&D facilities. A microgrid is one of promising solutions to relax the T&D constraints for further interconnection of variable renewable generation. The increasing penetration of DERs such as distributed PV and storage battery improves the resiliency of local microgrid with islanded distribution system. Networked microgrids may bring significant benefit in reducing the local outage damage. We efficiently make a stable and profitable schedule of microgrids with PV and storage battery.

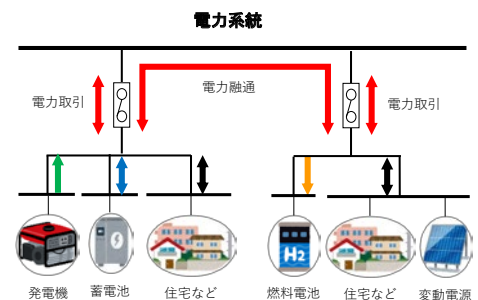


図 1 ネットワーク型マイクログリッド構成図

Fig. 1 Networked Microgrid Configuration



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系統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.

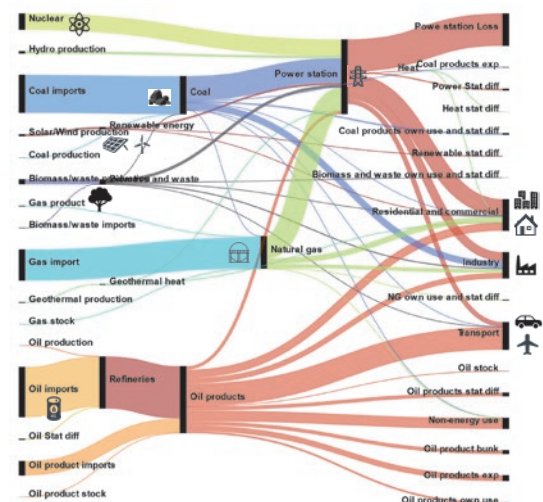


図 1 エネルギーフロー

Fig. 1 Energy Flow diagram



エネルギー社会の未来を予測する～核燃料サイクル高度化の意義～ Prediction of Future Energy Society ~ Significance of Upgrading of Nuclear Fuel Cycle ~

特任教授 / 名誉教授 **竹下 健二**

Kenji TAKESHITA, Specially Appointed Professor/Professor Emeritus

✉ takeshita.k.ab@m.titech.ac.jp

☎ 03-5734-3845

概要

核燃料サイクルは、原子炉を中心に、採掘、精錬、濃縮、燃料製造を含む前工程、使用済み燃料の再処理、ガラス固化、最終処分を含む後工程からなる。各工程間の物質収支を明らかにして、適切な条件設定をすることにより核燃料サイクル全体を定量評価することができる。本研究では、核燃料サイクルのシミュレーションコードを構築し、MOX 燃料利用、軽水炉マルチサイクル、高速炉サイクルの導入など数々の将来シナリオを解析する。原子力エネルギーの持続的利用を目指し、シナリオ解析の結果からバックエンドプロセスを起点にした核燃料サイクルの高度化について議論する。

Outline

The nuclear fuel cycle consists of the front-end process including mining, refining, enrichment, and fuel production, and the back-end process including spent fuel reprocessing, vitrification, and final disposal, centering on nuclear reactors. By clarifying the material balance between processes and setting appropriate operation condition of each process, it is possible to quantitatively evaluate the entire nuclear fuel cycle. In this study, we construct a simulation code for the nuclear fuel cycle and evaluate a number of future scenarios, such as the use of MOX fuel, the introduction of LWR multi-cycle, and the introduction of fast reactor cycle. Aiming at the sustainable use of nuclear energy, we discuss the upgrading of the nuclear fuel cycle based on back-end processes from the results of scenario analysis.

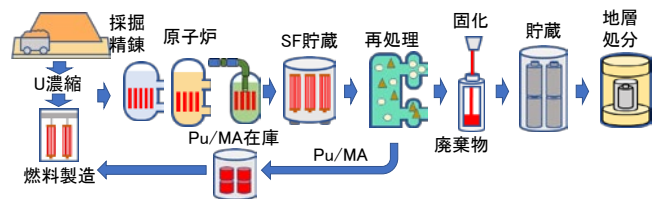


図 1 核燃料サイクル

Fig. 1 Nuclear Fuel Cycle



大規模電力貯蔵に向けた蓄電池とその制御手法の開発

Development of batteries for large-scale energy storage and their optimized control

教授 荒井 創

Hajime ARAI, Professor

✉ arai.h.af@m.titech.ac.jp

☎ 045-924-5406

リチウムイオン電池の長寿命化

世界中で製造されている電動車用リチウムイオン電池を、社会インフラストラクチャーに相当するエネルギー貯蔵システムとして活用可能するために、その寿命診断技術および長寿命運転法の開発を進めている。

水系電池技術の開発

亜鉛空気電池を始めとする、安全・安価で資源豊富な材料で構成される水系電池に注目し、その場解析を適用して特性改善を進めている。

Life extension of lithium-ion batteries

We develop lifetime diagnosis and life extension management of lithium ion batteries that are produced worldwide for electric vehicle applications and can be utilized as large-scale energy storage systems as social infrastructure.

Development of aqueous battery technology

We focus on safe, low-cost and material-abundant aqueous battery systems such as zinc-air, and improve their performance by using operando analysis.

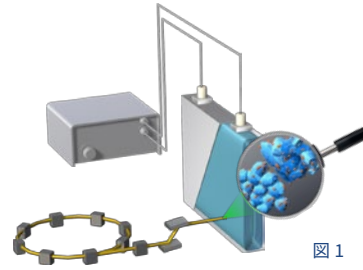


図 1 電池寿命診断

Fig. 1 Battery life diagnosis

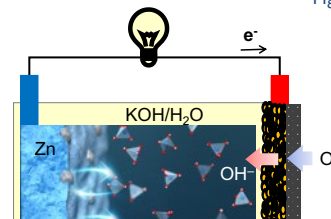


図 2 亜鉛空気電池

Fig. 2 Zinc-air battery



創形科学研究コア

Materials Processing Science Research Core

教授 大竹 尚登

Naoto OHTAKE, Professor

✉ ohtake.n.aa@m.titech.ac.jp

☎ 045-924-5078

DLC(Diamond-Like Carbon) の作製と応用

DLC はダイヤモンドに似た性質を持ち高硬度、低摩擦係数、化学的安定性などの優れた性質を有しています。体摩擦係数・耐摩耗性のコーティングとして応用が進んでいる DLC コーティングの更なる高機能化を推進します。具体的には、(1) 高耐摩耗性テクスチャ DLC 膜、B-C-N 系アダマント膜の成膜方法開発と機械的特性・トライボロジー特性評価を行います。(2) 砂などの異物が潤滑油中に混入した過酷条件でも機械部品を守る表面を設計します。(3) DLC を構成する C、H に第三元素を添加して、DLC の耐薬品性能と生体親和性を向上させ、高生体親和性の医療機器を開発します。(4) どんな樹脂や接着剤も剥離させることのできる DLC ベースのコーティングを開発します。

Fabrication and Application of Diamond-Like Carbon

DLC has excellent properties such as high hardness, low friction coefficient and chemical stability, which are similar to diamond's properties. We are aiming for further promotion of DLC coating technology. (1) To develop deposition method of abrasion resistant texture DLC film and B-C-N system adamant film, then evaluate the mechanical or tribological properties. (2) To design the surface that can protect mechanical parts even under severe moving conditions where contamination such as dust is mixed in lubricating oil. (3) To enhance the chemical resistance and biocompatibility of DLC by adding third element other than C and H atom. By applying this technique, we tried to develop the DLC coated medical devices which is required high biocompatibility. (4) To develop a DLC based coating technique that can be easily peeled off against any resin or adhesive.

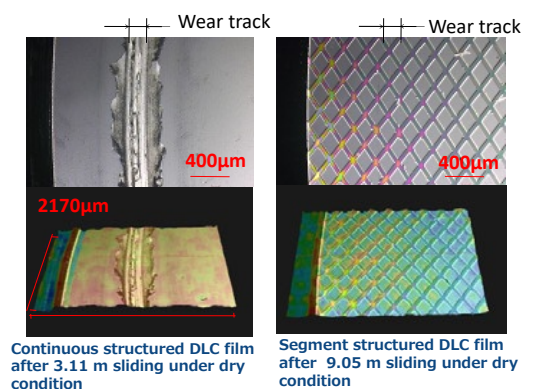


図 1 微細表面構造（セグメント構造）DLC 膜の提案

- ・左の連続構造膜に対して、右のミクロンオーダー微細表面構造膜ではセグメント構造が明確に観察される。
- ・セグメント構造化の効果は、ドライ条件下でのボールオンディスク試験でも顕著である。左の連続構造の膜は 3.11m で完全に剥離・摩滅してしまっているのに対し、セグメント構造では 9.05m 移動後でも摩耗がなく移動部を探すのも困難。

Fig. 1 Fine surface structure (segment structured) DLC film

- ・The micron-ordered segment structure is clearly observed on the surface of right figure.
- ・The effect of the segment structuring is remarkable in the ball on disc test under dry conditions. The continuous structured DLC has been completely peeled off and worn out at 3.11 m sliding distance. On the other hand, wear track cannot be seen on the surface of segment structured DLC even after 9.05 m sliding.



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。

化学ルーピング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.

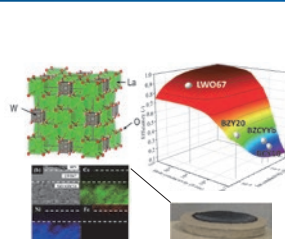


図 1
高効率プロトン伝導型燃料電池
Fig. 1
Highly efficient
proton-conducting fuel cell

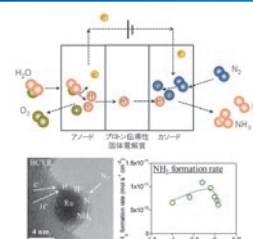


図 2
電気化学促進効果による電解合成
Fig. 2
Electrolysis with electrochemical
promotion effect

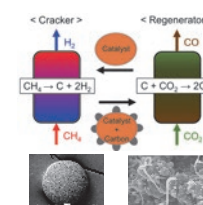
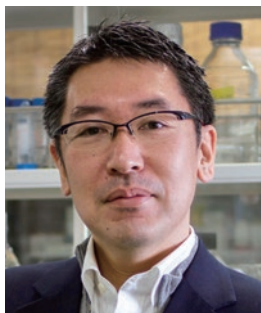


図 3 炭素循環利用化学ルーピング
Fig. 3 Chemical looping for
circular use of carbon
dioxide



エネルギーと物質代謝からの細胞制御の理解と応用 Understanding and application of the cell system based on energy and biosynthesis

教授 田中 寛

Kan TANAKA, Professor

✉ tanaka.k.bu@m.titech.ac.jp

☎ 045-924-5274

光合成を基盤とした細胞活動の基本構築

全ての生物は細胞から成り立っており、細胞システムの基本的作動原理の解明は生命科学に共通した目標です。細胞システムの基盤には、光合成や呼吸に代表される生体エネルギーの獲得系があり、それに支えられた生合成により細胞は成長し、さらに細胞は複製されて細胞増殖が起こります。当研究室では、生体エネルギーを基盤としたこれらの緒プロセスがどのように統合され、生きた細胞システムを構築しているかの研究を進めています。さらに、生物の実際の生育環境は常に変化しており、生きた細胞システムがそのような変動にどのように対処しているかについての考察を進めています。光合成微生物における細胞制御・環境応答の包括的理解、そこからの藻類バイオマス生産の応用などはその具体的な研究例です。

Basic architect of photosynthetic cells

All living things are made up of cells, and elucidation of the basic operating principle of the cell system is a common goal in life science. At the foundation of the cell system is a bioenergy acquisition system represented by photosynthesis and respiration, and cells grow by biosynthesis supported by it, and cells are further replicated to cause cell proliferation. In our laboratory, we are conducting research on how these bioenergy-based processes are integrated to build a living cell system. In addition, the actual habitat of living organisms is constantly changing, and we are considering how living cellular systems cope with such fluctuations. Comprehensive understanding of cell control and environmental response in photosynthetic microorganisms and application for algal biomass production are specific research examples.

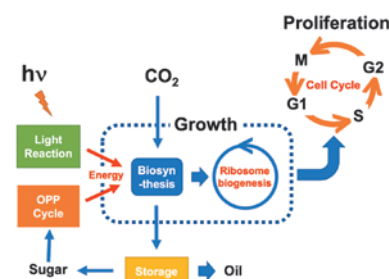


図 1 光合成細胞の基本構築
Fig. 1 Basic architect of photosynthetic cells



低温アンモニア合成 Low temperature ammonia synthesis

教授 原 亨和

Michikazu HARA, Professor

✉ mhara@msl.titech.ac.jp

☎ 045-924-5311

低温アンモニア合成

150 °C以下で NH₃ 平衡収率 (数 MPa の加圧で 80% 以上の NH₃ 収率: 図1) を達成する新しい鉄系触媒 Haber-Bosch 法プロセスを開発し、CO₂ フリーエネルギーによる NH₃ 製造を社会実装することによって CO₂ 総排出量を 2~3% 以上削減する。

NH₃ 製造を一手に担う Haber-Bosch (HB) 法は、NH₃ 収率の向上を 100 年来の課題としている。このプロセスで使われてきた鉄系触媒の稼働温度は 400 °C 以上の高温であるため、当該触媒で NH₃ 収率を高めるには反応系を加圧しなければならない。従って、既存鉄系触媒を使用する限り、高温・高圧の維持に大きなエネルギーを投入したとしても、NH₃ 収率は 30 ~ 40% に過ぎない (図1)。例えば、HB 法で既存鉄系触媒を 450 °C、5MPa で稼働した場合、最大 NH₃ 収率は 17% であり、0.86 MPa 相当の NH₃ しか得られない。しかし、100 °C で平衡収率 (1 MPa で 93%) を達成する触媒があれば、1 MPa の加圧で 0.94 MPa の NH₃ が得られる (図1)。即ち、450 °C、5 MPa での稼働に投入したエネルギーを 70~80% 削減しても、同等量以上の NH₃ を製造できる。これは 150 °C 以下で NH₃ 平衡収率を達成できる触媒が HB 法の効率を飛躍的に高めることを意味する。しかし、従来の HB 法では 150 °C 以下で作動する触媒すら存在しない。このような背景の中、当グループは: 150 °C 以下で NH₃ 平衡収率を達成する新しい鉄系触媒 Haber-Bosch 法プロセスを開発する。

Low temperature ammonia synthesis

Conventional ammonia production based on the Haber-Bosch (HB) process using hydrogen derived from natural gas and coal is currently required to reduce the large global CO₂ emissions. Any catalyst that can allow the operating temperature to be decreased below 100–150 °C would reduce the energy consumed for the HB process by 70 to 80%. While we have also discovered a unique Ru-based heterogeneous catalyst to synthesize ammonia from H₂ and N₂, even below 100 °C, we have again focused on iron used as the reaction sites since the beginning of the HB process. Iron has been regarded as a classical transition metal that is inferior to other transition metals for ammonia synthesis. However, iron is suitable for low temperature ammonia synthesis. The use of ubiquitous, abundant, and inexpensive iron is also a significant advantage with respect to the environment and economy.

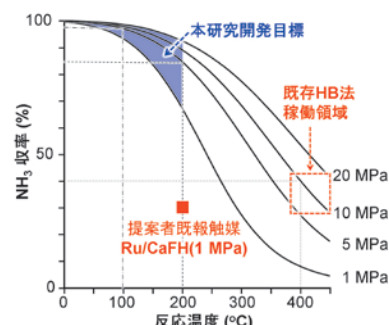
図1 HB 法の反応温度と NH₃ 収率の関係

Fig. 1 Correlation of ammonia yield with temperature



エネルギー材料およびデバイスの設計・開発 Design and development of energy materials and devices

教授 山口 猛央

Takeo YAMAGUCHI, Professor

✉ yamaguchi.t.al@m.titech.ac.jp

☎ 045-924-5254

燃料電池および水電解に関する材料およびシステムの設計・開発

地球環境化問題、エネルギー・資源枯渇問題など地球規模の問題の解決には、新しい材料およびデバイスの開発が必要不可欠です。水電解および燃料電池などのエネルギー材料・デバイスを開発しています。電解質膜および電気化学触媒、さらにそれらを繋げた膜電極接合体として、分子から地球までを繋げて考え、実験と計算の両方を駆使して、最適な材料およびデバイスを設計・開発します。

Design and development of fuel cell and water electrolysis materials and systems

The renewable energy can be converted into hydrogen or hydrogen carriers by water electrolysis, and stored and transported, and used as electricity by fuel cells or hydrogen turbines at the required time and place. Water electrolysis using anion exchange membranes can efficiently produce hydrogen without using precious metals, and development of highly durable anion exchange membranes are key to achieve the technology. For polymer electrolyte fuel cells, high temperature and low humidity operation is required, and the electrolyte membrane development is important. We are developing those new membranes, electro-catalysts, membrane-electrode assemblies, and the design strategies.

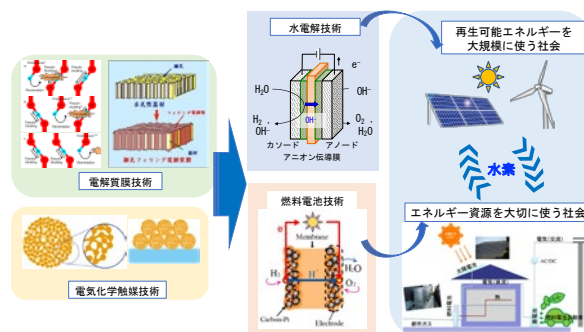


図1 分子レベルから電解質膜および電気化学触媒、膜電極接合体、デバイス、さらに、持続発展可能社会へつなぐエネルギー材料・デバイス技術

Fig. 1 Energy material and device technologies that connect from molecular level to electrolyte membranes and electrocatalysts, membrane electrode assemblies, devices, and a sustainable society



持続可能社会のための化合物薄膜太陽電池 Compound Thin-Film Solar Cells for a Sustainable Society

教授 山田 明

Akira YAMADA, Professor

✉ yamada.a.ac@m.titech.ac.jp

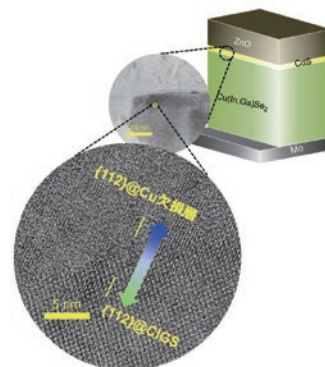
☎ 03-5734-2698

Cu(In,Ga)(S,Se)₂ 化合物薄膜太陽電池の開発

持続可能な社会を実現するためには、CO₂ 排出量を抑えたクリーンなエネルギー源が必要とされています。Cu(In,Ga)(S,Se)₂ (CIGSSe) は光の吸収係数が高いため、1μm 程度の薄膜においても太陽光を十分に吸収して発電することが可能です。このため低コストな太陽電池であるとともに、軽量・フレキシブル性を有する太陽電池の作製が可能であり、車載や曲面設置などの多用途展開が期待されています。本研究室では、この CIGSSe 薄膜太陽電池を同時蒸着法あるいは硫化法により作製、変換効率向上を目指した研究を進めています。

Development of Cu(In,Ga)(S,Se)₂ thin-film solar cells

For pursuing a sustainable society, clean energy sources with low CO₂ emissions are required. Cu(In,Ga)(S,Se)₂ (CIGSSe) has a high absorption coefficient, and it can absorb sunlight with a thickness of about 1μm. The property makes it possible to fabricate low-cost, lightweight, and flexible solar cells, which opens new applications of solar cells to vehicle-integrated photovoltaics and photovoltaics for curved surface. In our group, we are developing CIGSSe solar cells by co-evaporation and sulfurization methods, aiming to improve the conversion efficiency.

図 1 Cu(In,Ga)Se₂ 太陽電池Fig. 1 Cu(In,Ga)Se₂ solar cells

高効率化学合成を目指した新電解触媒系の開拓 Development of new electrocatalytic system for efficient chemical production

教授 山中 一郎

Ichiro YAMANAKA, Professor

✉ yamanaka.i.aa@m.titech.ac.jp

☎ 03-5734-2144

CO₂ 気相電解に活性な電極触媒開発

CO₂ 削減を目指して、固体高分子形電解セルを用いた CO₂ の気相電解に活性な電極触媒の開発と反応機構の解明を研究しています。

水と空気からの純過酸化水素の電解合成触媒系の開発と機構解明

過酸化水素の製造に必要なエネルギーの大幅削減を目指して、水と空気から高濃度の純過酸化水素を合成可能な電解合成系の開発と電極触媒作用機構について研究しています。

Development of active catalyst for the gas phase electrolysis

For reduction of CO₂ emission, development of active electrocatalyst and study of reaction mechanism for reduction of CO₂ in the gas phase using the solid-polymer-electrolyte electrolysis cell are done.

Development of electrocatalytic system and study of reaction mechanism for synthesis of pure hydrogen peroxide from water and air.

For large reduction of energy consumption for hydrogen peroxide production, development of electrocatalytic system for direct synthesis of pure hydrogen peroxide solutions from water and air, and study of reaction mechanism are done.

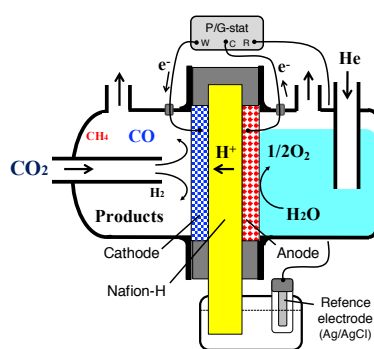
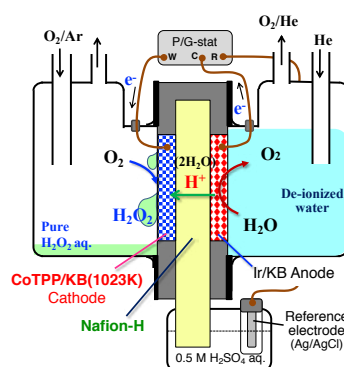
図 1 CO₂ 気相電解Fig. 1 CO₂ gas electroreduction

図 2 水と空気からの過酸化水素合成

Fig. 2 Hydrogen peroxide production from water and air



表面処理・元素分析・環境浄化のための大気圧プラズマ工学 Atmospheric plasma engineering for surface treatment, elemental analysis and environmental purification

准教授 沖野 晃俊

Akitoshi OKINO, Associate Professor

✉ okino.a.aa@m.titech.ac.jp

☎ 045-924-5688

新しい大気圧プラズマ装置の開発

沖野研究室では、零下から数1,000°C、100 ミクロンから 1 メートルまでの、様々な放電方式のプラズマ装置を開発し、それらの基礎特性の評価を行っています。

表面処理・元素分析・環境浄化への応用

それぞれの応用に適したプラズマ発生方式、プラズマ生成ガス、プラズマ温度、形状のプラズマ装置を用いて、接着強度向上などの材料表面処理、単一細胞などの元素分析、環境浄化などの応用研究を行っています。

Development of brand new atmospheric plasma sources

In Okino lab., we have developed brand new plasma devices with various discharge methods from below zero to several thousand degrees Celsius, from 100 microns to 1 meter and are evaluating their basic characteristics.

Applications for surface treatment, elemental analysis and environmental purification

Using plasma devices with plasma generation methods, plasma-producing gases, plasma temperatures and plasma shapes suitable for each application, we are conducting applied research on surface treatment to improve adhesion strength, elemental analysis in single cells, environmental purification, etc.

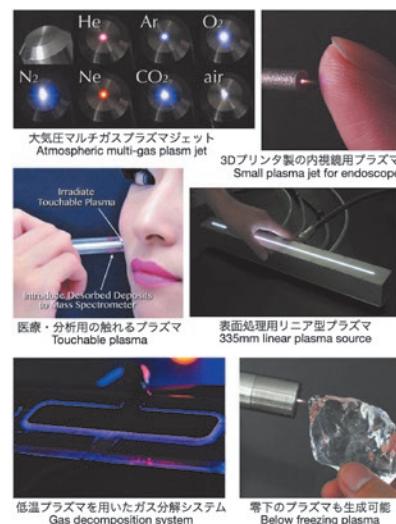


図 1 開発した様々な大気圧プラズマ装置

Fig. 1 Various atmospheric plasma sources developed



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.

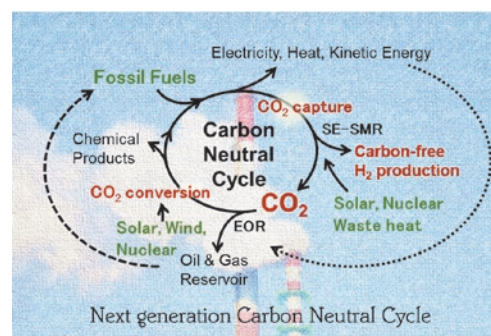


図 1 次世代カーボンニュートラルサイクルの概念図

Fig. 1 Schematic illustration of next generation carbon neutral cycle



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).

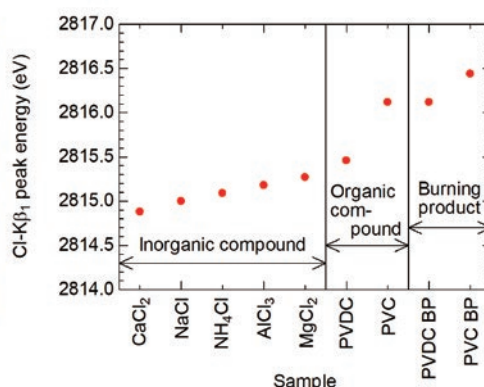
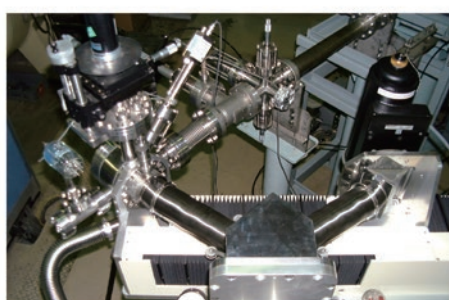


図1 (左)波長分散型 PIXE 分析装置;(右)環境中塩素の化学状態分析に向けた標準試料及び燃焼生成物中の塩素の Kβ₁X 線の化学シフトの測定結果(“BP”:燃焼生成物)

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).

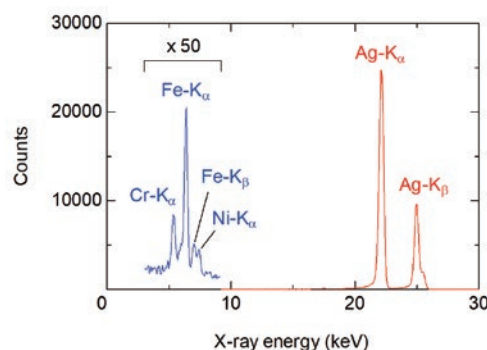
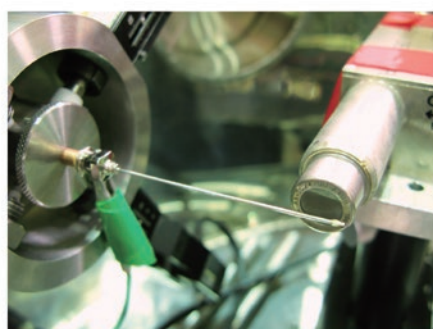


図2 (左) 深部ガン治療用注射針型陽子線励起準単色 X 線源と半導体 X 線検出器;(右) 銀標的を内蔵した注射針から発生した X 線のエネルギースペクトル

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.

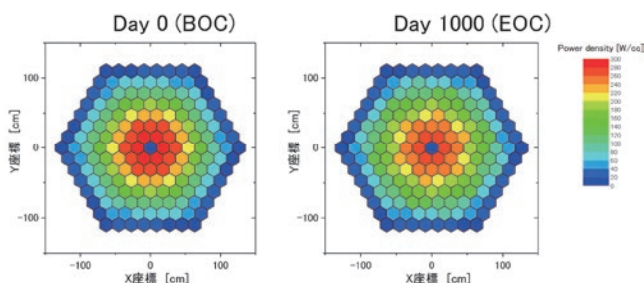


図 1 回転型燃料シャッフルブリードバーン型高速炉の炉内出力分布

Fig. 1 Power density profile in Breed-and-Burn fast reactor core with rotational fuel shuffling

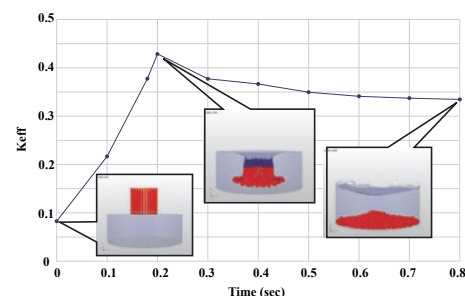


図 2 水中にデブリが落下したときの実効増倍率の変化

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トによる薄板創製

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レ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。

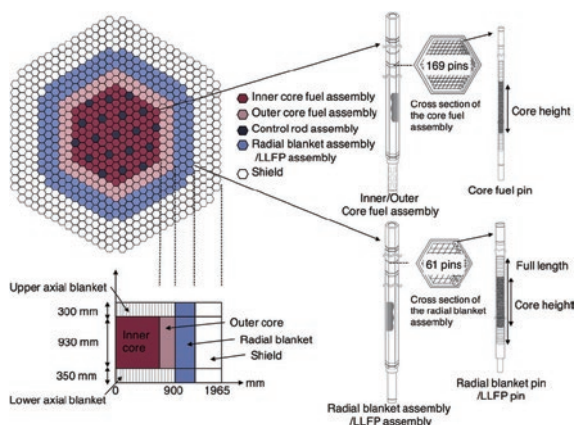


図 1 長寿命核分裂生成物の核変換のための高速炉レイアウト ; *Scientific Reports* 7 : 13961 doi: 10.1038/s41598-017-14319-7 (2017) より転載

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.

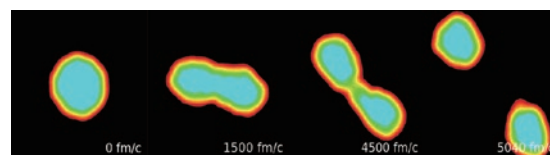


図 2 微視的核反応モデルを用いた ^{236}U 核分裂の模擬計算

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.

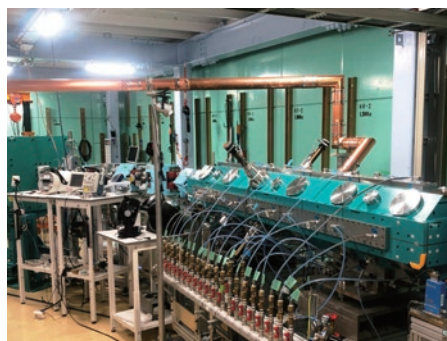


図2 理研小型中性子源システム2号機（理化学研究所との共同開発）

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

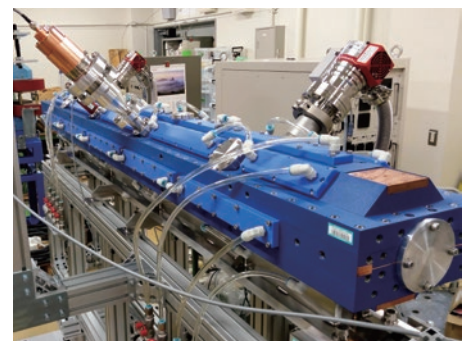


図3 理研小型中性子源システム3号機（理化学研究所との共同開発）

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



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

教授 松本 義久

Yoshihisa MATSUMOTO, 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、パイオイメージング、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。

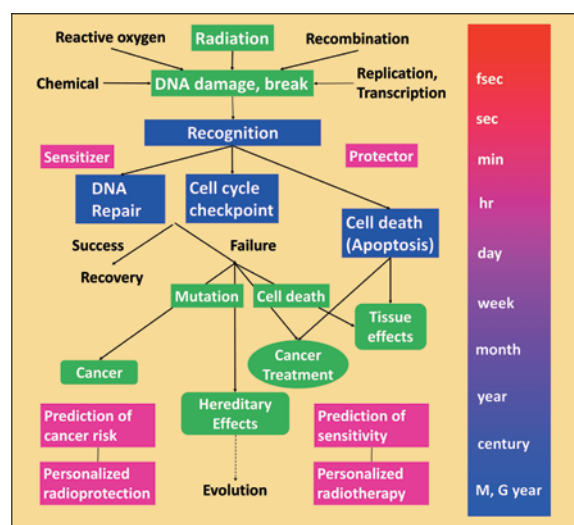


図 1 放射線影響のメカニズムと研究目標の概念図。

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.

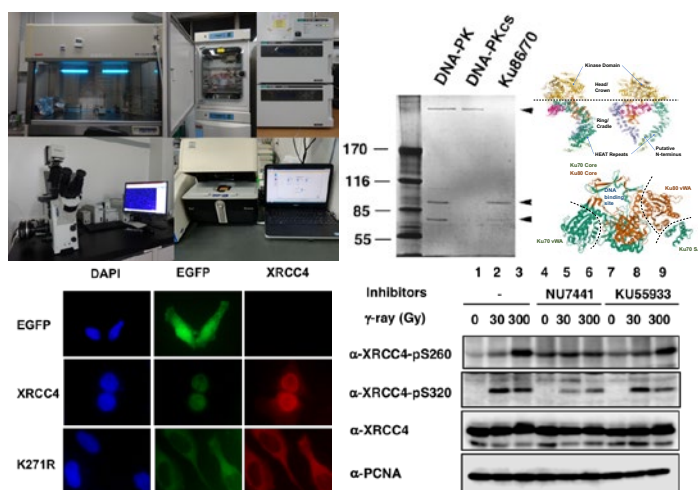


図 2 分子・細胞生物学実験設備と研究の一端 左上：実験設備（クリーンベンチ、細胞培養装置、高速液体クロマトグラフィー、蛍光顕微鏡、リアルタイム PCR）。右上：精製された DNA 修復酵素（DNA-PK）の電気泳動像と立体構造。左下：GFP と融合した修復タンパク質（XRCC4）の蛍光顕微鏡像。右下：独自の XRCC4 リン酸化状態特異的抗体による放射線応答解析。

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 right: fluorescent microscopic image of GFP-tagged repair protein XRCC4. Bottom right: analysis of radiation response using original phosphorylation-specific antibodies for XRCC4.



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。

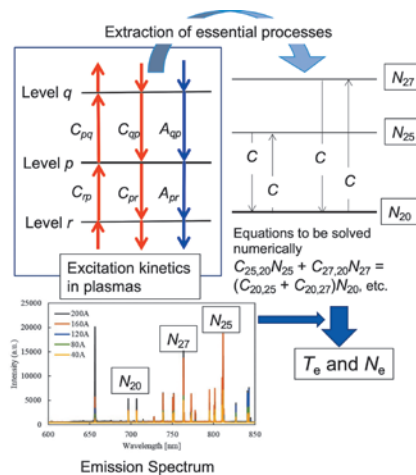


図1 非平衡プラズマの発光分光計測から、原子過程に基づき電子温度 T_e 、電子密度 N_e を求める方法の概念図。

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.

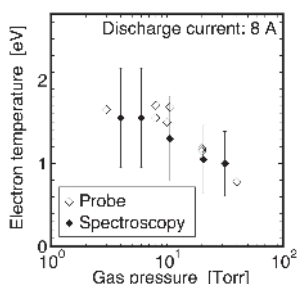


図2 提案する分光計測法による電子温度と、従来のプローブ法との比較。

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.

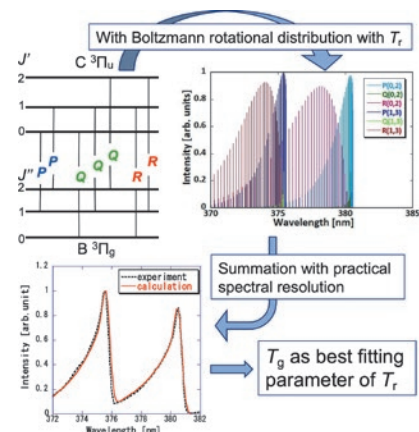


図3 分子スペクトルの発光分光計測結果に対し、理論に則り回転温度 T_r の関数としてフィッティングすることでガス温度 T_g を求める方法論の概念図。

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.

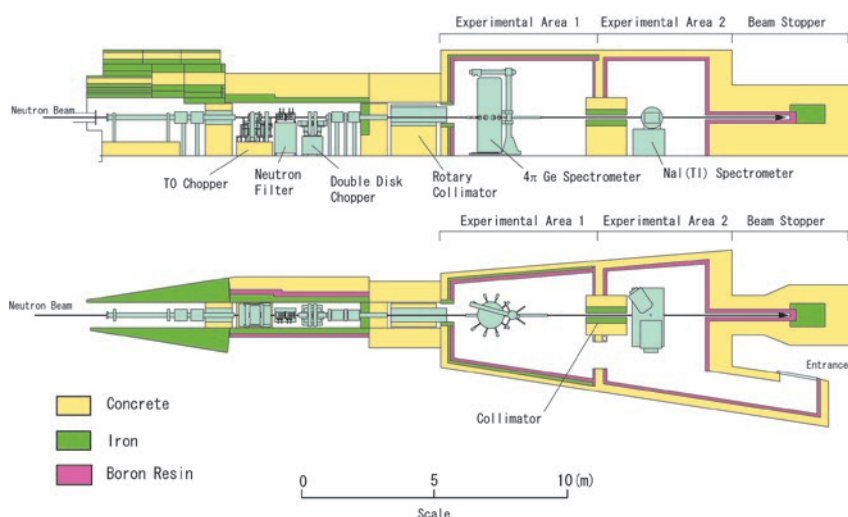


図 1 J-PARC の中性子核反応測定装置 ANNRI

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

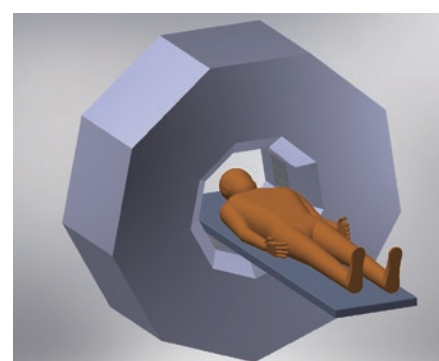


図 2 BNCT 用線量評価システムの概念図

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熔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。

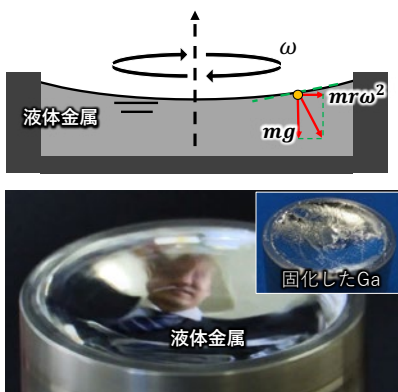


図1 液体金属技術を応用した低融点金属鏡

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.

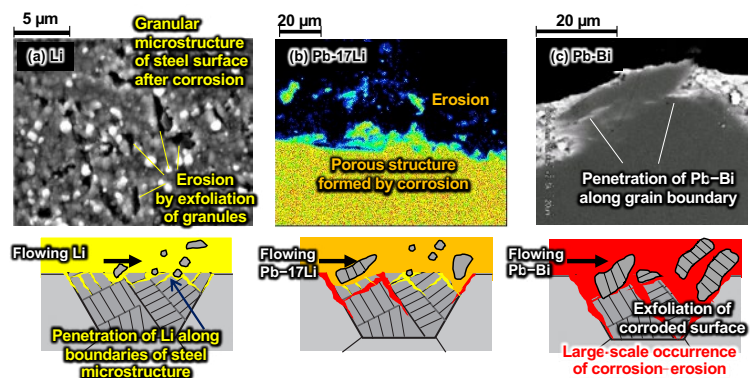


図2 様々な液体金属中で生じるコロージョンエロージョン現象

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.

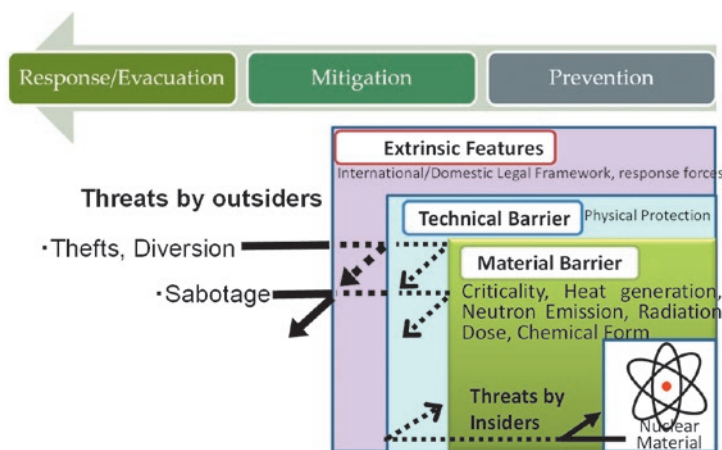


図1 核セキュリティにおける深層防護
Fig. 1 Defense in Depth in Nuclear Security

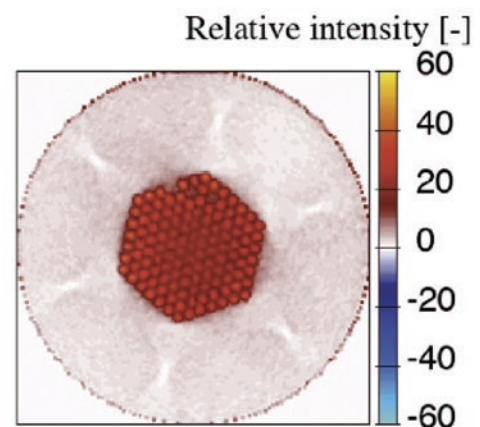


図2 パッシブγ線断層撮影法による部分欠損 VVER 燃料の画像再構成
Fig. 2 Image reconstruction of VVER fuel partial defects by passive gamma-ray tomography



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。

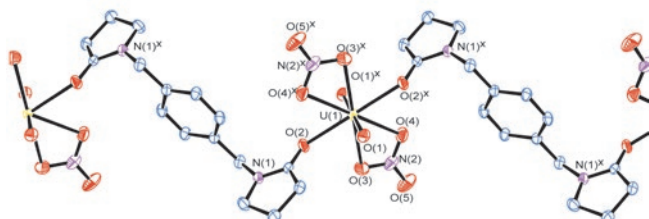


図 1 NUMAP 再処理用に開発した架橋ピロリドン誘導体を含む硝酸ウラニル 1 次元配位高分子。

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

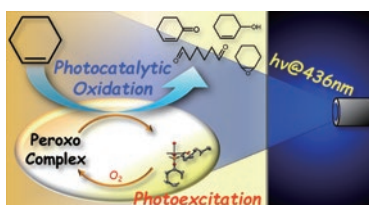


図 2 可視光応答型酸素化光触媒としてのウラン錯体機能開拓。

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 hexavalent 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

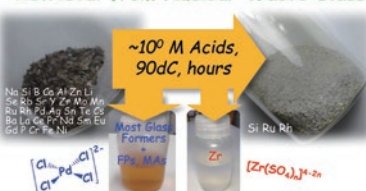


図 3 将来的核変換のための放射性廃棄物ガラス固化体湿式処理技術開発。

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、それが磁場リッ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。

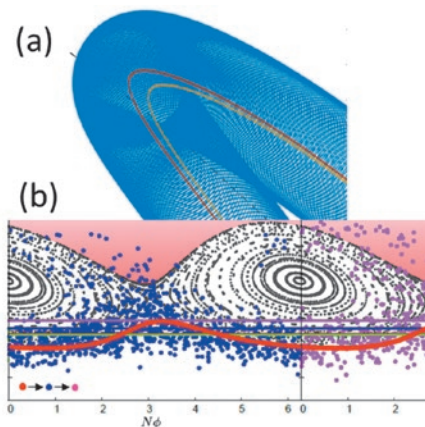


図1 (a) バナナチップ点付近の粒子軌道と、その旋回中心、及び、旋回中心近似軌道 (b) α 粒子位置の位相空間上での時間変化

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.

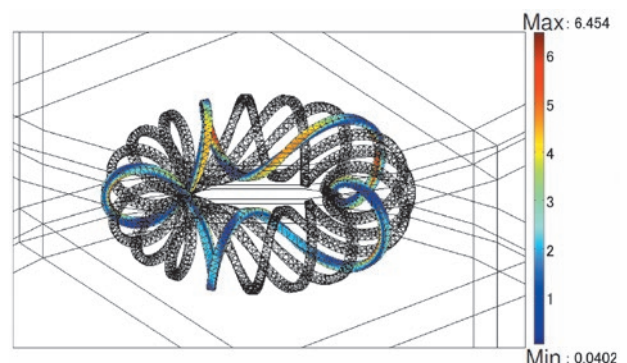


図2 ビリアル限界コイルと、その応力分布

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.

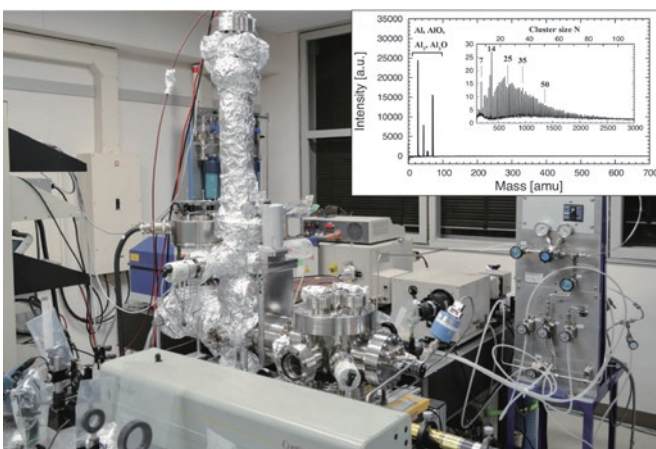


図1 金属クラスタービーム生成装置と典型的なクラスター質量スペクトル。
Fig. 1 Metallic cluster beam generator and typical mass spectrum of clusters.

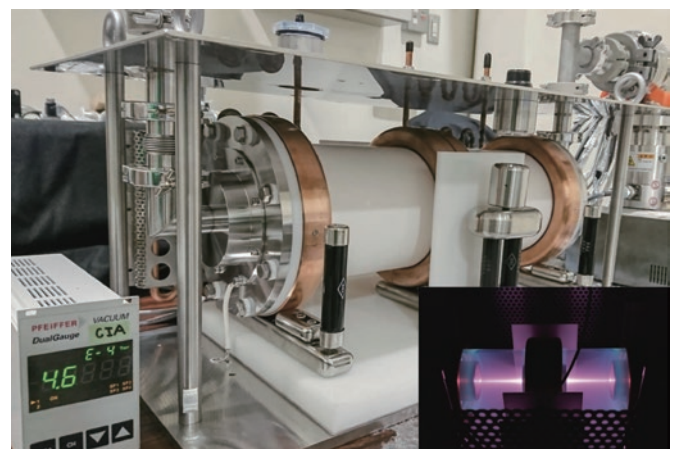


図2 慣性静電閉じ込め核融合を用いた小型中性子源と装置内の核融合プラズマ。
Fig. 2 Compact fusion neutron source using inertial electrostatic fusion and fusion plasma inside the device.



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。

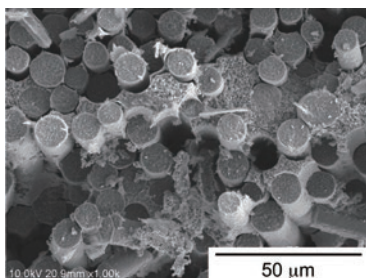


図1 炭化ケイ素繊維強化炭化ケイ素基 (SiC/SiC) 複合材料の微構造 SEM 写真

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

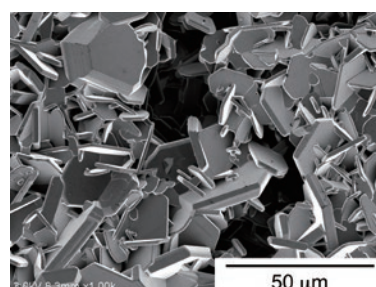


図2 その場粒成長炭化ケイ素 (SiC) 多孔体の微構造 SEM 写真

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.



負荷追従機能を有する再エネ共生型 SMR の開発 Development of a Renewable Energy Symbiotic SMR with a Load Follow Function

特任教授 奈良林 直

Tadashi NARABAYASHI, Specially Appointed Professor

✉ tnaraba@zc.iir.titech.ac.jp

☎ 03-5734-2867

概要

LLBWR と名付けた負荷追従可能で長期サイクル運転可能な再エネ共生型の SMR の開発を行っています。自然循環可能な原子炉の下部に原子炉内蔵型再循環型ポンプ（RIP）を取り付け、炉心流量の変化により電気出力を 300MWe から 800MWe まで可変として負荷追従運転を可能としました。船殻構造の原子炉建屋に格納容器冷却系と免震ゴムを取り付け、立地要件の地震や耐震評価を不要とした。原子炉や格納容器に加え、多くの機器を工場で組み込むため、現地工事期間を大幅に短縮しました。

Outline

The purpose of this study is development of new LLBWR (Load-following and Long operating symbiotic BWR for renewable energy), which uses a reactor internal recirculation pump (RIP) to load follow from 300MWe to 800MWe with fluctuating renewable energy and enhance facilitates for stable grid control.

By using filtered containment venting system, ship hull structure cooling system and seismic isolation rubber for reactor building, it is possible to fabricate modules containing RPV and PCV components and parts of the building at a shop at the same time, and reduced construction period dramatically.

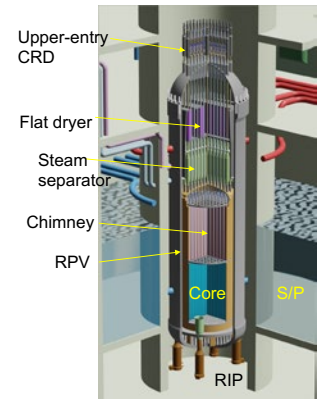


図 1 LLBWR の原子炉概念
Fig. 1 Reactor Concept of LLBWR



シビアアクシデントフリー溶融塩高速小型モジュール炉システム Severe Accident-free Molten Salt Fast SMR system

特任教授 望月 弘保

Hiroyasu MOCHIZUKI, Specially Appointed Professor

✉ mochizuki.h@zc.iir.titech.ac.jp

☎ 03-5734-3992

研究概要

研究している溶融塩高速炉システムは、燃料塩—冷却塩の熱交換器の基数で、基本出力を設定できる小型モジュール炉である。核分裂性のウランやPuも燃料にできることは言うまでもなく、従来の軽水炉では捨てていた劣化ウランも燃料にできる。熱輸送系全体は、システムコードを使った連成解析で、炉心部は CFD コードに 1 点動特性モデルの離散式をユーザー定義ファイルでリンクした核熱結合モデルで評価する手法を提案している。解析の結果、事故や異常な過渡変化で炉心温度が上昇すると、溶融燃料塩の特性で、制御棒を用いなくても負の反応度フィードバックによって崩壊熱出力に速やかに移行する受動安全特性を有していることが判明している。また、ポンプの回転数を変化させた日負荷追従や冷却系に蓄熱タンクを設けた秒単位の負荷追従運転を研究している。

Outline of research

The molten salt fast reactor system under study consists of a small modular reactor (SMR) whose basic reactor power can be set by the number of fuel salt-cooling salt heat exchangers. Fissionable uranium and/or plutonium are used as fuel, and depleted uranium, which was discarded in conventional light water reactors, can also be used as fuel. A neutronics and thermal-hydraulics coupled analysis method has been proposed, i.e., the entire heat transport system is analyzed by the system code and the core part is analyzed by a CFD code that links the discretized equations of the point kinetics model with a user defined function UDF. As a result of the analysis, the following inherent safety characteristic has been clarified; the reactor power quickly approaches the decay heat power level by negative reactivity feedback due to the characteristics of the molten fuel salt without using a control rod when the core temperature rises due to an accident or an abnormal transient. The load following operations are studied for a daily load following with changing pump rotation speed and for a following in seconds with heat storage tanks in the cooling system.

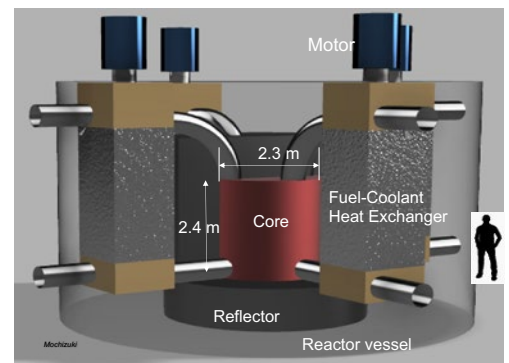


図 1 溶融塩高速炉の炉心概念
Fig. 1 Reactor Concept of Molten Salt Fast Reactor



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.

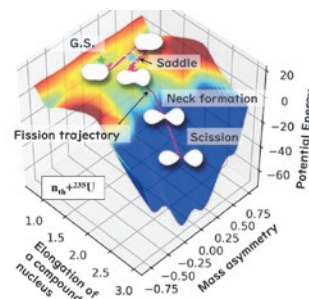


図 1 図は 4 次元ランジュバン模型を用いて得られる U235 の熱中性子入射核分裂でのポテンシャル曲面上の核分裂軌道の様子。

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.

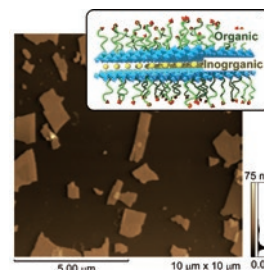


図 1 ポリマー修飾無機ナノシートの顕微鏡像

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

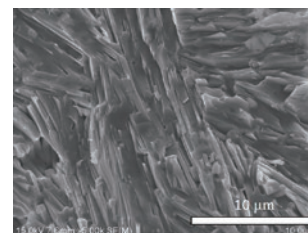
固体潤滑剤や電磁波遮蔽材料などに効果的な軽量材料として、ナノダイヤモンド（ND）やオニオンライクカーボン（OLC）始め様々な炭素ナノ材料の研究に取り組んでいる。

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 **島田 幹男**

Mikio SHIMADA, Assistant Professor



mshimada@zc.iir.titech.ac.jp



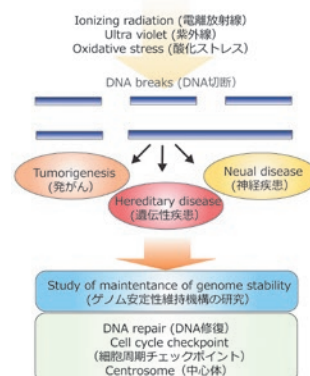
03-5734-3703

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.

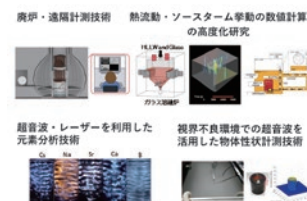


図 1 原子力熱流動の先進的計測技術の開発と熱流動 - ソースターム挙動の数値解析の高度化研究の概要

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.

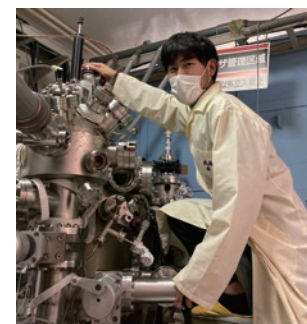


図 1 高エネルギー加速器研究機構フォトンファクトリー BL27A の XPS チャンバー

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.

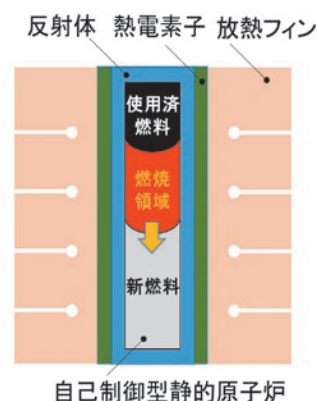


図 1 宇宙探査用小型原子炉システムの概念図

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.

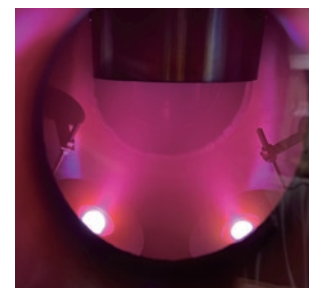
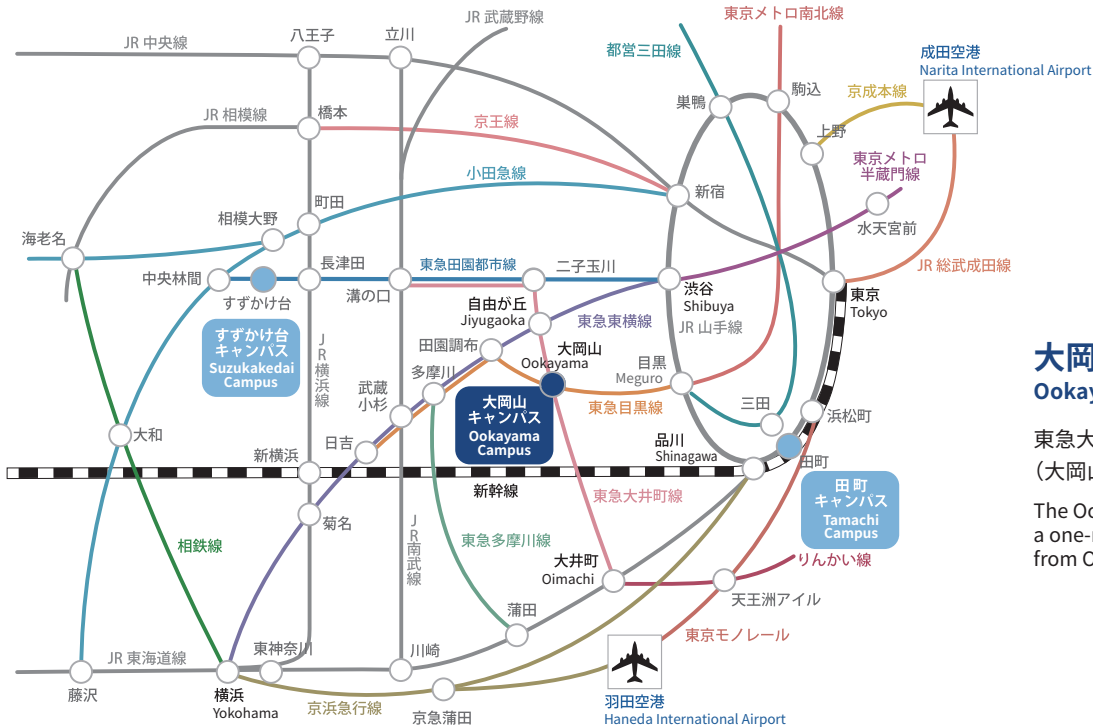


図 1 RF スパッタリング法による高品質薄膜の作製

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/>