

**Integrated
Research Center
for
Sustainable
Energy and Materials**

**Institute of Industrial Science,
The University of Tokyo**

**東京大学生産技術研究所
持続型エネルギー・材料統合研究センター**

2016



東京大学生産技術研究所 持続型エネルギー・材料統合研究センター 2016

目次

はじめに	3
研究部門	5
ミッション	7
組織体系	9
研究室紹介	
岡部 徹 研究室 循環資源工学レアメタルプロセス工学	11
吉江 尚子 研究室 環境高分子材料学	13
前田 正史 研究室 素材プロセス工学	15
井上 博之 研究室 非晶質材料設計	17
枝川 圭一 研究室 材料強度学物性	19
吉川 健 研究室 持続性高温材料プロセス	21
八木 俊介 研究室 エネルギー貯蔵材料工学	23
星 裕介 研究室 固体量子機能素子	25
大和田 秀二 研究室 資源分離工学・リサイクル工学	27
柴山 敦 研究室 資源処理工学	29
山口 勉功 研究室 資源・材料循環工学	31
グローバル連携活動および産学連携活動	33

Integrated Research Center for Sustainable Energy and Materials, Institute for Industrial Science 2016

Contents

Introduction	4
Divisions	6
Missions	8
Organizational Structure	10
Laboratories	
Okabe Laboratory Resource Recovery and Materials Process Engineering	12
Yoshie Laboratory Polymeric and Environmentally Conscious Materials	14
Maeda Laboratory Materials Process Engineering	16
Inoue Laboratory Amorphous Materials Design	18
Edagawa Laboratory Mechanical Properties of Solids	20
Yoshikawa Laboratory High Temperature Sustainable Materials Processing	22
Yagi Laboratory Energy Storage Materials Engineering	24
Hoshi Laboratory Solid-state Quantum Functional Devices	26
Owada Laboratory Materials Separation and Recycling Process	28
Shibayama Laboratory Mineral Processing	30
Yamaguchi Laboratory Recycling of Resources and Materials	32
Global Cooperative Research Activities and Industrial Collaboration Activities	34

はじめに

材料工学とエネルギー工学の融合により 持続可能な社会の実現を目指す国際研究拠点

2016年4月1日に、新たな研究センターとして、「持続型エネルギー・材料統合研究センター (Integrated Research Center for Sustainable Energy and Materials, IRCSEM)」が発足しました。本センターは、次頁に示す4部門で構成されており、11名の研究室主宰者がコアメンバーとなります。

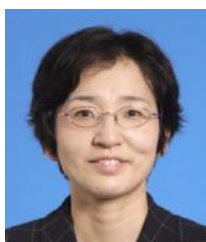
持続可能社会を実現するためには、資源・材料を高度に循環するだけでなく、エネルギーの高効率利用も必要不可欠です。本センターはエネルギー工学分野と材料分野との融合を促進するための国内初のプラットフォームであり、今後、エネルギー・資源の高度利用、資源・材料の循環、低環境負荷材料・システム創製に関する先端的な研究開発を世界各国の研究機関と連携して推進します。

また、本センターは、本所のエネルギー工学連携研究センターや非鉄金属資源循環工学寄付研究部門(JX金属寄付ユニット)、さらには本分野に関連する民間企業と連携して、次世代を担う人材の育成にも取り組む予定です。

コアメンバー



センター長
岡部 徹
教授



副センター長
吉江 尚子
教授



前田 正史
教授



吉川 健
准教授



大和田 秀二
客員教授



井上 博之
教授



八木 俊介
准教授



山口 勉功
客員教授



枝川 圭一
教授



星 裕介
講師



柴山 敦
客員教授

Introduction

International research center for realizing a sustainable society by integrating of materials engineering and energy engineering

The integrated Research Center for Sustainable Energy and Materials (IRCSEM) was established on April 1, 2016 as a brand-new researching center. This center consists of four divisions, with eleven laboratory heads belonging to the center as core members.

To realize a sustainable society, the recycling of resources and materials and the high efficient use of energy are essential. IRCSEM is the first platform in Japan to scope the fusion of the research fields of energy engineering and materials. It promotes cutting-edge researches and developments on the advanced use of energy and resources, circulation of resources and materials, and innovation of material and system with low environmental load in conjunction with other research institutions around the world.

IRCSEM educates human resources for the next generation in conjunction with the Collaborative Research Center for Energy Engineering and the Endowed Research Unit for Non-ferrous Metal Resource Recovery Engineering (JX Metals Endowed Unit) in the Institute of Industrial Science, and related private companies.

Core Members



**Director
Toru H. Okabe,
Professor**



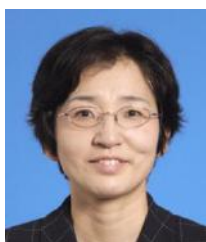
**Masafumi Maeda
Professor**



**Hiroyuki Inoue,
Professor**



**Keiichi Edagawa,
Professor**



**Deputy Director
Naoko Yoshie,
Professor**



**Takeshi Yoshikawa,
Associate Professor**



**Shunsuke Yagi,
Associate Professor**



**Yusuke Hoshi,
Lecturer**



**Shuji Owada,
Visiting Professor**



**Katsunori Yamaguchi,
Visiting Professor**

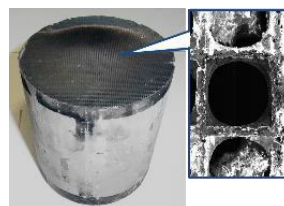


**Atsushi Shibayama
Visiting Professor**

研究部門

資源・材料循環部門 ～資源・物質・材料循環のデザインとプロセス制御～

- 国際的物質循環に基づいたサステナブル材料プロセスの開発
- 有害物・危険物の発生と固定・循環に関するメカニズムの解析
- 枯渇性資源の再生プロセス開発
- 基盤材料生産の最適化



自動車廃触媒からの白金族金属の再生

メンバー: 岡部 徹 教授、八木 俊介 准教授
山口 勉功 客員教授、柴山 敦 客員教授

エネルギー・資源有効活用部門 ～低エネルギー消費社会のための基盤工学～

- 合金溶媒を用いた省エネ半導体SiC, AlNの溶液成長
- エネルギー・素材市場の経済指標の導出
- 超長期の資源需給モデルの開発
- 鉱山開発の環境負荷指標の導出



高温結晶成長界面の直接観察

メンバー: 前田 正史 教授、吉川 健 准教授

物質・材料高度化部門 ～資源・物質の最大活用のためのエネルギー・材料工学～

- 環境負荷の少ないポリマー・ガラス材料の設計と開発
- バイオマス資源の有効利用技術の開発
- 低環境負荷材料の強度物性
- 新規高性能熱電材料の開発

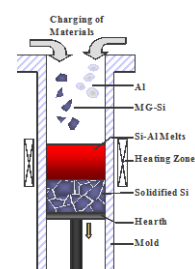


模擬廃棄物固化ホウケイ酸塩ガラスの熔融

メンバー: 吉江 尚子 教授、井上 博之 教授、枝川 圭一 教授

社会実装推進部門 ～産業界との強い連携の模索～

- 超長寿命材料のプロセス開発と性能評価
- 寿命延長のための材料構造の最適化
- 大量基幹構造材料処理の最適化
- レアメタルなどの有価資源についてリサイクル技術と社会システムの確立
- ファンデルワールスヘテロ構造を用いた光学デバイス開発



Si-Al溶媒を利用した
太陽電池級シリコンの精錬

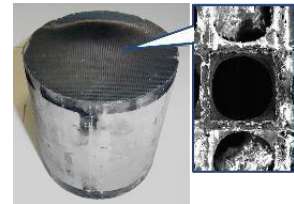
メンバー: 教授(選考中)、星 裕介 講師、大和田 秀二 客員教授

(2016年4月1日 現在)

Divisions

Resources/Materials Flow and Recycling Division: Design of Resources/Substances/Materials Flow and Process Control

- Process development based on international material flow
- Analysis of generation, immobilization, and recycling of hazardous substances
- Development of recycling processes for exhaustible resources
- Improvement of production technologies for base materials



Recovering of PGMs from automobile scraps

Members: Prof. T. H. Okabe, Assoc. Prof. S. Yagi,
Visit. Prof. K. Yamaguchi, Visit. Prof. A. Shibayama

Effective Utilization of Energy/Resources Division: Base Engineering for a Low Energy Consumption Society

- Solution growth of eco-semiconductor SiC and AlN using alloy solvent
- Determining of economic indicators for energy and materials market
- Modeling of super long life supply and demand of resources
- Determining the environmental load index of mining development



Direct observation of high-temp. interface during crystal growth

Members: Prof. M. Maeda, Assoc. Prof. T. Yoshikawa

Advanced Substances/Materials Design Division: Energy/Materials Engineering for Maximized Utilization of Resources/Substances

- Design and fabrication of polymers and glasses with a reduced environmental load
- Development of chemical technologies for biomass utilization
- Mechanical properties of environmentally sound materials
- Development of novel high-efficiency thermoelectric materials

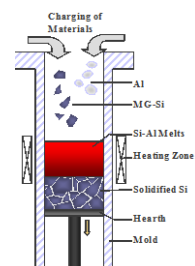


Melting of simulated waste borosilicate glass

Members: Prof. N. Yoshie, Prof. H. Inoue, Prof. K. Edagawa

Promotion of Social Implementation Division: Strong Cooperation with Industry

- Development of ultra-long-life materials
- Atomistic optimization for prolonging materials lifetime
- Optimization of waste treatment of huge amounts of structural materials
- Establishment of recycling technology for socially valuable materials
- Development of optoelectronic devices with van der Waals heterostructures



Solidification refining process for solar grade Si

Members: Professor (under consideration), Lecturer Y. Hoshi,
Visit. Prof. S. Owada

(As of April 1, 2016)

ミッション

社会的背景

低エネルギー消費、素材の高度循環型社会に向けた取組みに加え、
資源消費抑制と環境負荷の低減にも同時に取り組み、
全世界規模で実現していくことが必須の課題

ビジョン

本センターは、エネルギー工学連携研究センターと連携し、
“エネルギー問題”を新たに重点スコープに加え、
これまでに形成した国際ネットワークを活用して、
世界をリードする国際研究拠点として活動を行う。

研究開発および教育・社会連携活動

- ✓ 資源・物質・材料循環のデザインとプロセス制御
- ✓ 低エネルギー消費社会のための基盤工学
- ✓ 資源・物質の最大活用のためのエネルギー・材料工学
- ✓ 産業界との強い連携の模索
- ✓ 国際連携研究の推進と循環型社会確立のための提言や
グローバル人材教育
- ✓ 産学連携と研究成果の社会実装の推進と社会人教育

Missions

Social Backgrounds

To make efforts in realizing a low-energy consumption / high recycling-oriented society, and reducing resource-consumption and environmental loads on the global scale.

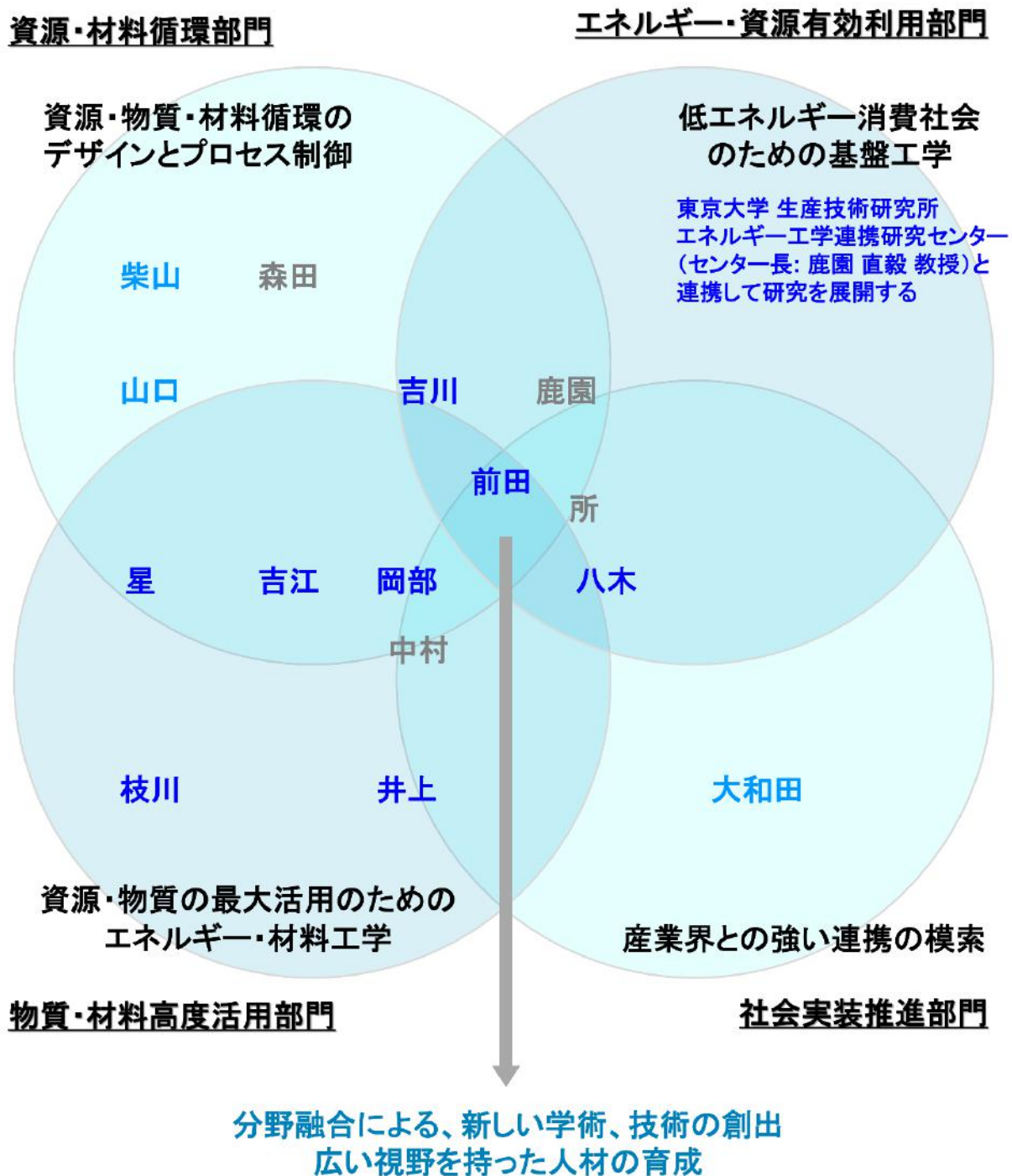
Visions

IRCSEM serves its roles as a world-leading international research center using its accumulated worldwide research network and in conjunction with the Collaborative Research Center for Energy Engineering, with a new focus on solving energy problems.

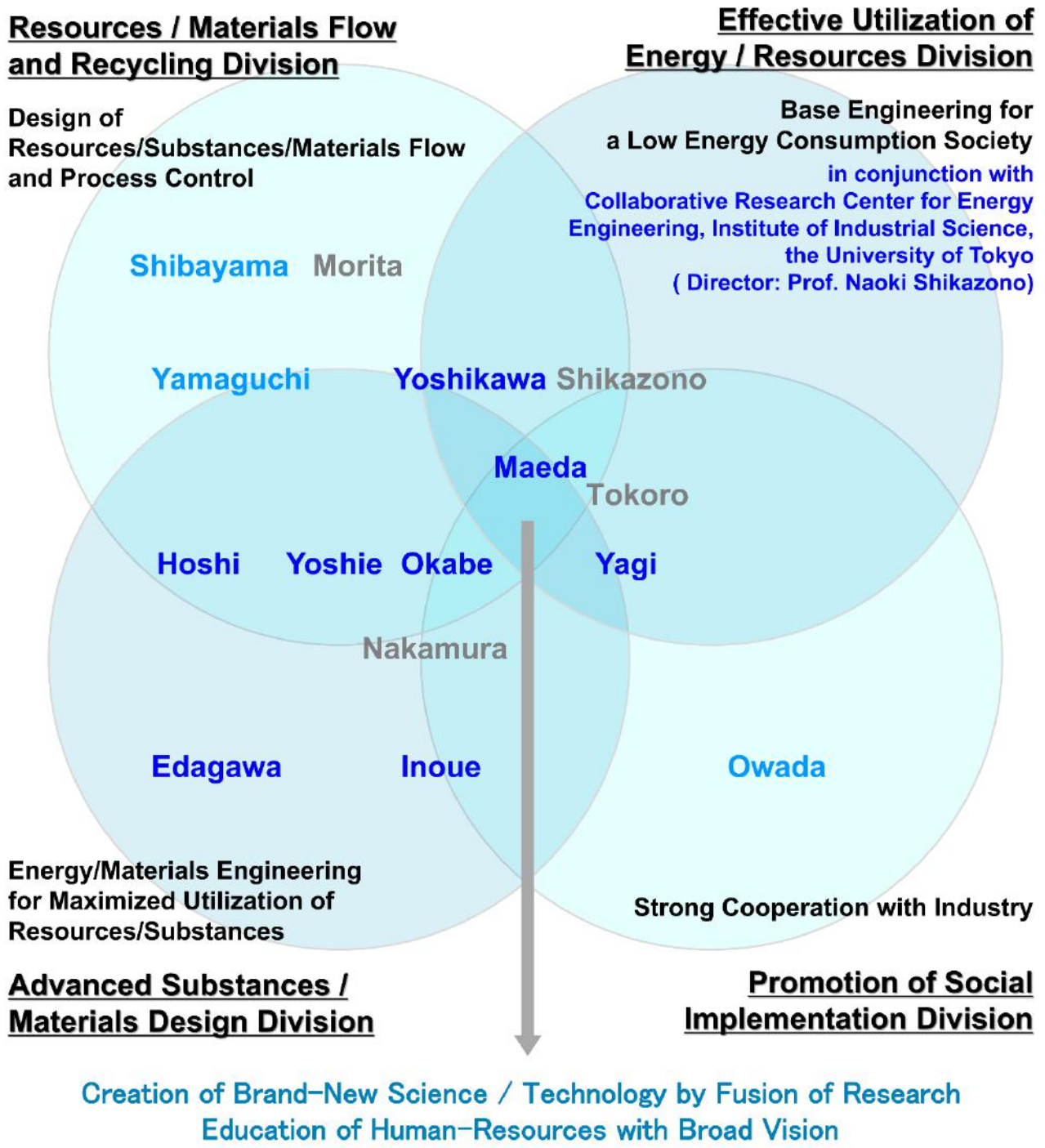
Researche and Development / Education and Social Collaborative Activities

- ✓ Design of Resources / Substances / Materials Flow and Control Process
- ✓ Base Engineering for a Low-Energy Consumption Society
- ✓ Energy / Materials Engineering for the Maximized Utilization of Resources / Substances
- ✓ Strong-Cooperation with Industry
- ✓ Promotion of Internationally Cooperative Research / Suggestions and Education of Global Human Resources for the Establishment of a Recycling-based Society
- ✓ Industrial Collaboration, Promotion of the Implementations of Research Achievements, and Workers' Education

組織体系



Organizational Structure



岡部 徹 研究室

循環資源工学レアメタルプロセス工学

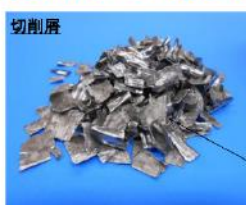
未来材料:チタン・レアメタル

レアメタルを“コモンメタル”に!!

「未来材料:チタン・レアメタル」をキーワードに、レアメタルの新しい製錬プロセス、および廃棄物中のレアメタルの環境調和型リサイクルプロセスの研究開発に取り組んでいます。

レアメタルの環境調和型リサイクル技術の開発

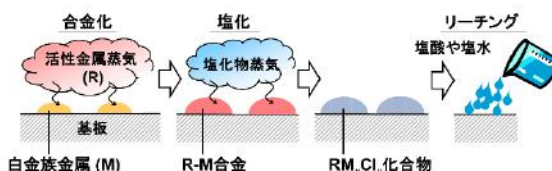
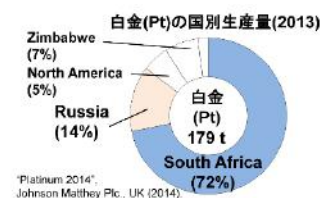
溶融塩を利用したチタンスクラップの新規リサイクル技術



スクラップと塩化物廃棄物を組み合わせて有価物を効率的に回収する環境調和型技術や電気化学的手法により不純物酸素を直接除去する技術を開発



合金化・塩化処理を利用した白金族金属(PGMs)の高速溶解技術



溶融金属を利用したニッケル基超合金スクラップの新規リサイクル技術



超硬工具や超合金のスクラップから、有害な廃液を排出することなく効率的にレアメタルを分離・回収するため、
✓ 低融点金属を抽出剤として利用したリサイクル技術
✓ 塩化揮発を利用したリサイクル技術を開発中

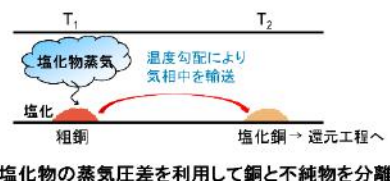


塩化処理を利用した粗銅の高速精錬技術



電解精錬の工程は、他の製錬工程に比べて、長時間を要し、装置が占める面積も広い。
反応が電極の表面でしか起こらないため、処理速度が遅い。

粗銅や銅スクラップを高速で精錬するため、塩化揮発を利用した銅の精錬技術を開発中



Okabe Laboratory

Resource Recovery and Materials Process Engineering

Future materials : Titanium, Rare metals

Changing Rare Metals to “Common” Metals !

Okabe Lab. is focusing on research into new production processes for reactive metals and environmentally sound recycling technologies for rare metals, based on “Future Materials : Titanium, Rare Metals” as the keywords.

Environmentally Sound Recycling Process for Rare Metals

Recycling technologies for low-grade Ti metal scraps utilizing molten-salt-based reactions



Fabrication of aviation parts using Ti alloys usually involves a material loss of up to 80-90%.

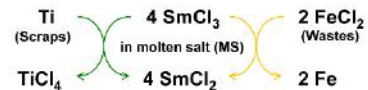
O and Fe removal from Ti is very difficult.

“Electrochemical deoxidation”

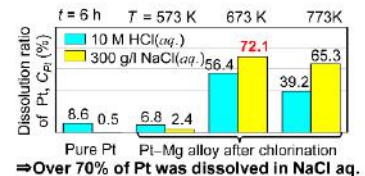
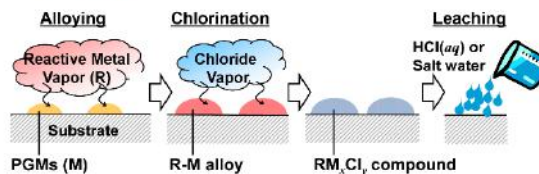
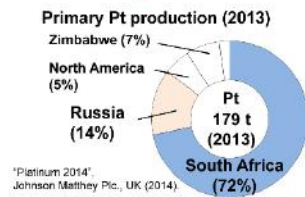
Oxygen dissolved in scrap was removed by electrolysis in $MgCl_2$.

“Reaction-mediator-based chlorination”

$TiCl_4$ was effectively recovered by combining Ti scrap and chloride waste.



Dissolution process for PGMs using alloying and chlorination



New recycling technology of Ni-based superalloy scraps utilizing molten metals

Main Re application: Turbine blade
Re-added Ni-based superalloy is used

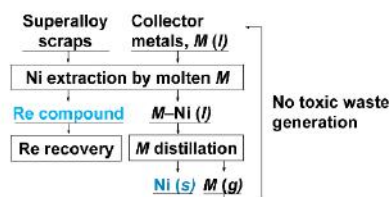


[ref] Honda Motor Co., Ltd. webpage

Re is one of the rarest elements in the world

Environmentally sound recycling without toxic waste generation has been investigated.

- Metal extraction using low-melting metal as a collector
- Separation and refining of rare metals based on chloride volatilization



Novel Cu refining technique using chlorination

Main Cu application: Electrical and electronic products



Printed board: Cu film is used as electronic circuit

[ref] Yoshiki Electronics Industrial Co., Ltd. webpage

Electrorefining

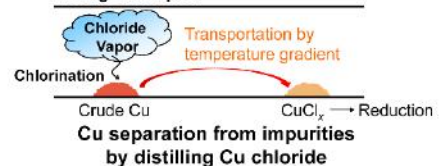


[ref]http://www2.edu-ct.ac.jp/okayama.jp/

Electrochemical reaction occurs only on the surface of electrolytic cells

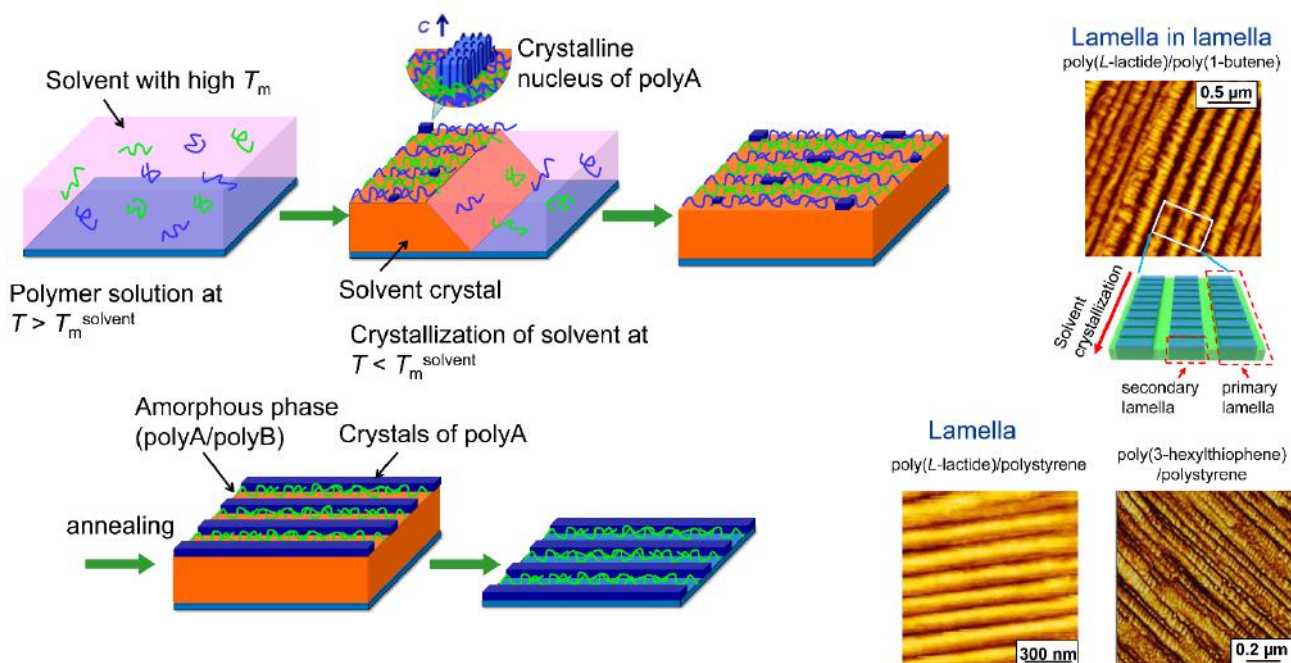
Many electrolytic cells are needed to compensate the low productivity of this method

Novel Cu refining technique based on chemical vapor transportation of $CuCl_x$ is being developed.



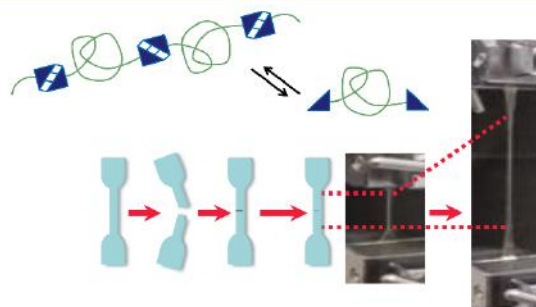
高分子ブレンドによるナノ周期構造

ブロックコポリマーでは良く知られたナノ周期構造パターンを、単純なポリマーブレンドで形成する手法を開発しました。溶媒を結晶化することにより、ブレンド成分ポリマーの析出と配向的な相分離、さらに、非平衡構造の凍結を瞬間的に進めることにより、実現しています。1成分を選択除去して凹凸パターン化したり、ラメラ in ラメラのような階層構造を作ることも容易です。



動的結合を利用した高機能性高分子材料

水素結合等の分子間力や可逆性の共有結合など、動的結合を利用した高分子材料の高機能化を追求しています。分子構造から高次構造までの多階層構造をダイナミックに変化させることにより、硬軟物性間双方向変換性や自己修復性、多形状記憶性、高靱性エラストマーなど特徴ある新たな機能性材料の開発に成功しています。



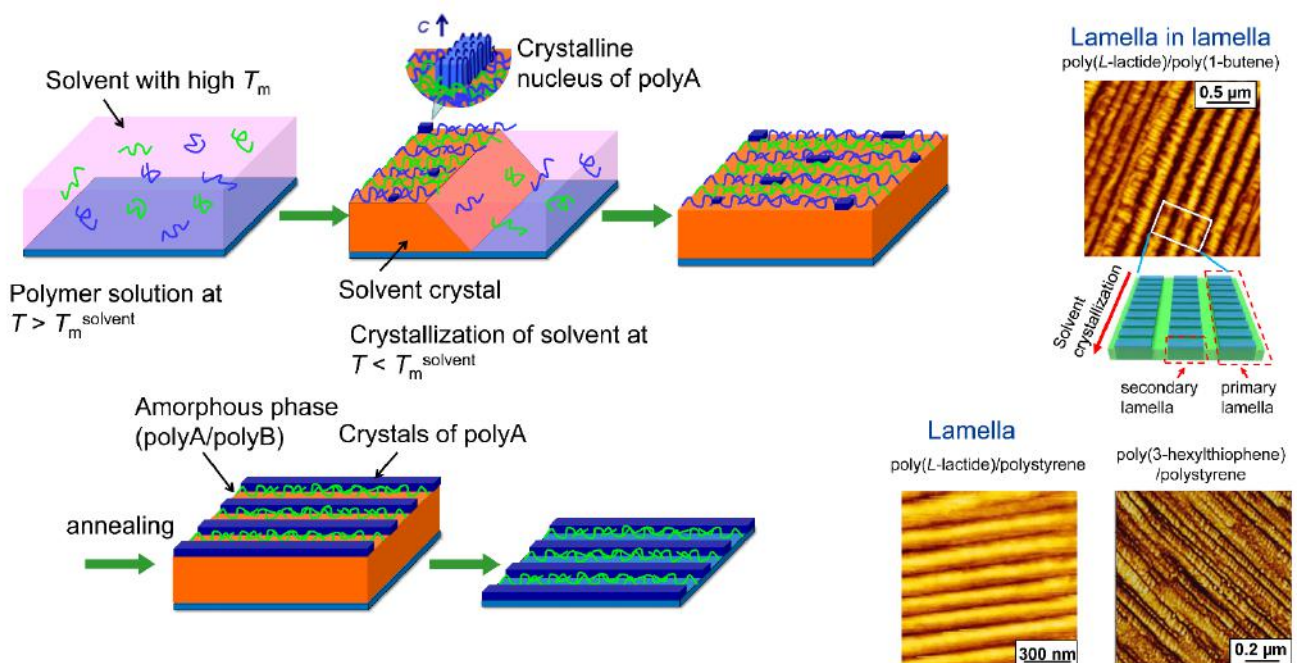
Yoshie Laboratory

Polymeric and Environmentally Conscious Materials

Materials developed using polymer dynamics

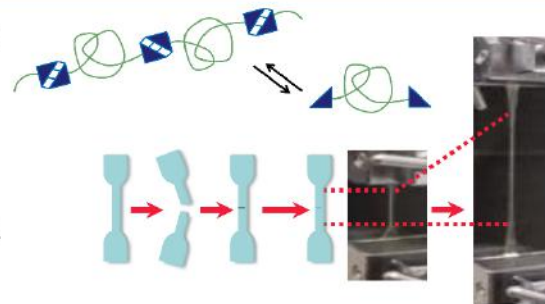
Nano-ordered Patterns by Polymer Blends

We successfully obtained a long-range ordered nanoscopic lamellar morphology in polymer blends. Solidification, directional phase separation and structural freezing in the blends are induced instantaneously by solvent crystallization. This method using polymer blends instead of block copolymers may serve as a low-cost facile way to produce nanoscale lamellar orientation in thin films.



Polymers with Dynamic Bonds

Polymers with novel environmental functions are developed by using dynamic bonds such as reversible covalent bonds and hydrogen bonds. Through dynamic control of the polymer multi-level structures, various polymers with novel functionalities such as hard/soft conversion, self-healing, tough elastomers and shape memory.



高濃度不純物を含有する銅陽極の不動態化

廃電子機器などからの銅のリサイクル

銅の生産において、粗銅中(純度:約99%)の不純物を取り除くために、下の図に示す電解精製プロセスが利用されています。しかし、廃電子機器などから得られた粗銅は純度が低く(~90%)、溶解が阻害され(不動態化)、電解精製プロセスを利用できません。そこで、私たちの研究室では不純物の多い銅を電解精製するための研究をしています。

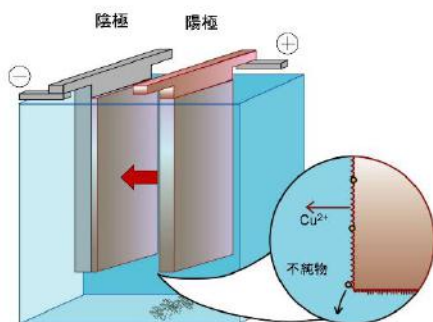


図 電解精製の模式図
電解液に溶解しない不純物が電極表面に固着することで銅の溶解を阻害する。

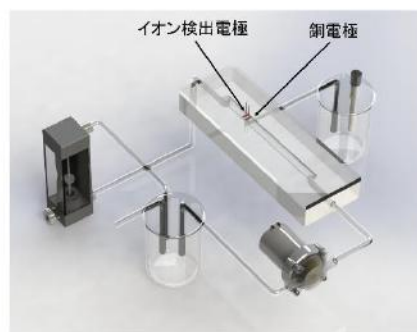


図 電解実験装置図
不純物を多く含む粗銅を電解した時の不純物の溶出をモニタリングし、電極で起きている現象を捉える。

鉄合金中の球状黒鉛の生成過程

鉄スクラップの高度利用プロセス

一般的に、鑄鉄とは炭素およびケイ素を主とした鉄の合金のことを指します。炭素が多く含まれる鉄の合金であるため、組織中の炭素が黒鉛として析出し、様々な形態をとっています。私たちの研究グループでは、組織中の黒鉛が球状に析出する鑄鉄、いわゆる球状黒鉛鑄鉄の組織制御に関する研究をしています。様々な物質を添加しながら、鉄スクラップを再利用する際に混入する不純物の黒鉛の析出形態への寄与や、球状黒鉛の生成メカニズムについて調査しています。

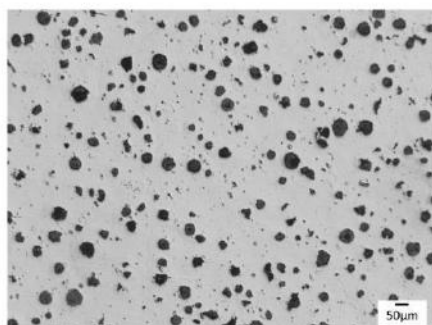


図 球状化黒鉛鑄鉄の断面

黒鉛の抽出

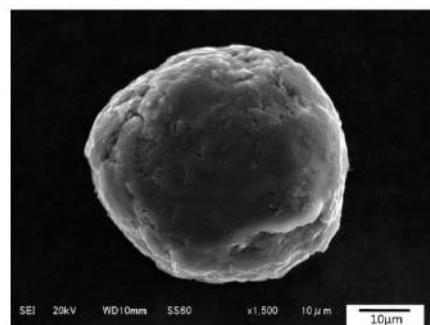
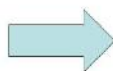


図 抽出された球状化黒鉛

Passivation of copper anode with a high concentration of impurity

Recycling of copper from waste electro devices

In the copper refining process, electrorefining is applied for purification of crude copper (grade: 99%). However, the grade of crude copper obtained from copper scraps is low (~90%). Electrorefining cannot be applied to such low grade copper because the impurities in copper anode inhibits dissolution (passivation). Hence, we investigate the electrorefining process with low grade copper.

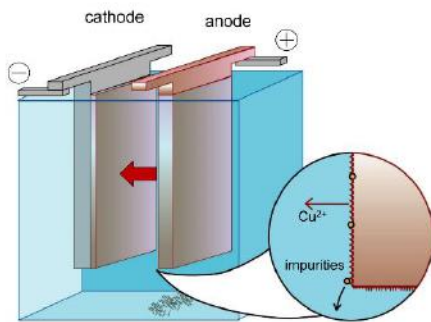


Figure Schematic view of electrorefining
Impurities which do not dissolve into electrolyte hinders dissolution of copper.

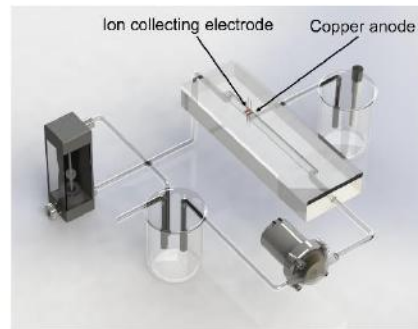


Figure Electrolytic experiment instrument
Copper based alloy is anodically dissolved into electrolyte and dissolving ions are detected.

Precipitation mechanism of spheroidal graphite in cast iron

Advanced recycling process of ferrous scraps

Generally, cast iron is a ferrous alloy with carbon and silicon as the main alloying elements. Owing to a high concentration of carbon in cast iron, carbon precipitates as graphite with different morphologies. In our research group, we study the structure control of ductile iron; a type of cast iron in which graphite takes on a nodular/spheroidal shape. Effects of impurities originating from ferrous scraps in the recycling process and formation mechanism of spheroidal graphite are investigated.

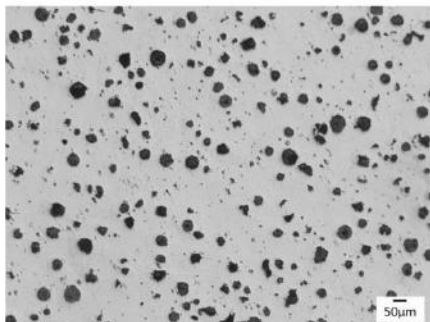


Figure Cross sectional image of ductile iron

Extraction of graphite

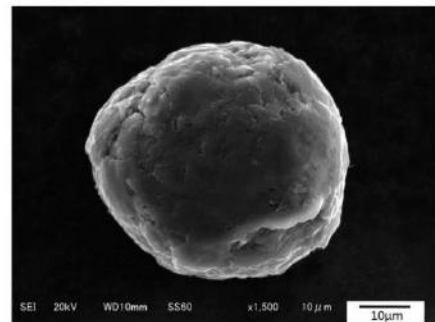


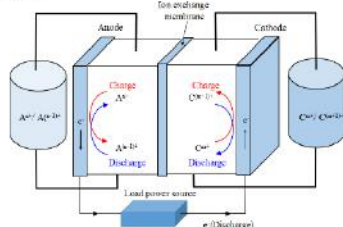
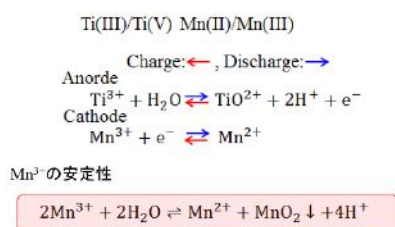
Figure Spheroidal graphite

非晶質と液体状態の材料設計

結晶質の材料に比べて、非晶質材料や液体状態の原子・電子構造は、十分に理解されていない。井上研究室では、アモルファス・ガラス状態から液体状態までの物質・材料を対象として、これらの状態を解析し理解するための手法を研究するとともに、様々な物質・材料に適用し、その構造と特性の関係を探るとともに、さらに新しい材料の創製と応用の開拓を目指している。

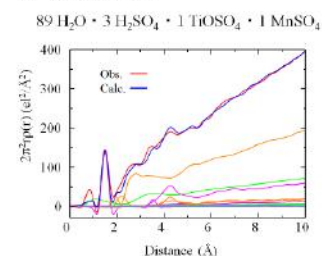
◆ 非晶質・液体状態の計算機シミュレーション

新しい Ti/Mn レドックス・フロー電池



レドックス・フロー電池の模式図

・X線回折による全相関関数
・分子動力学法

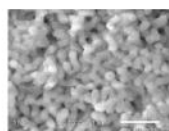
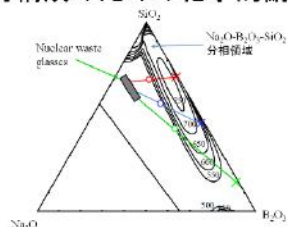


実測と計算による全相関関数

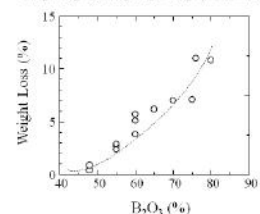
◆ 放射性廃棄物のためのガラス固化体の化学的耐久性と分相

ガラス固化体の再構成のための化学的耐久性の制御

Nuclear waste glass			
Composition	wt (%)	mol (%)	
SiO ₂	49	54	
B ₂ O ₃	15	14	
Na ₂ O	10	11	
Li ₂ O	3	7	
CaO	3	4	
Al ₂ O ₃	5	3	
ZnO	3	3	
FP	12	4	



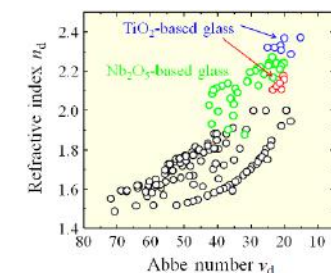
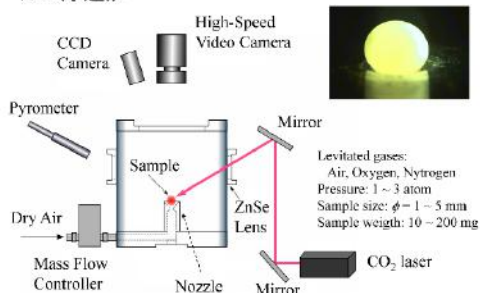
分相処理後、熱水への溶出後のSEM写真



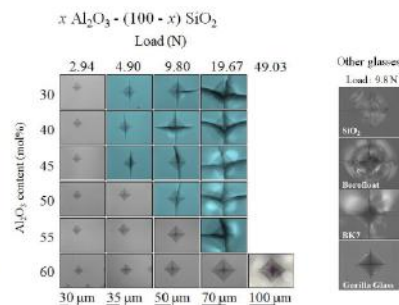
8成分系ガラスの分相処理後、熱水への溶出による重量減少率

◆ ガス浮遊炉によるガラスの組成探索とその物性

ガス浮遊炉



ガス浮遊炉で作製したガラスの屈折率と分散



ガス浮遊炉で作製したガラスの機械的特性

Inoue Laboratory

Amorphous Materials Design

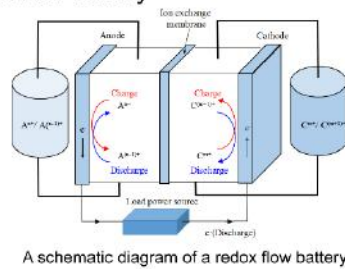
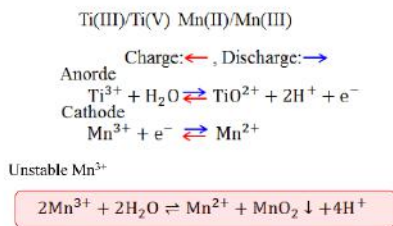
Gas levitation furnace and glass

Materials Design of Amorphous and Liquid States

We study the materials from an amorphous state to a liquid state. Atomic and electronic structures of the amorphous and liquid states have not been well understood. We study the method in order to understand these materials, and apply it to a variety of materials. Moreover we will produce novel materials and their applications.

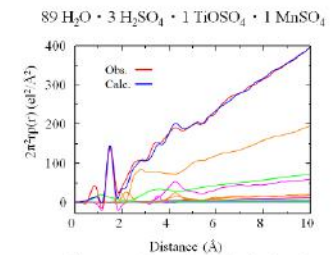
Computer Simulations of Amorphous and liquid States

Novel Titanium/Manganese Redox flow battery



A schematic diagram of a redox flow battery

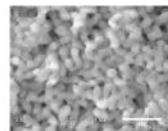
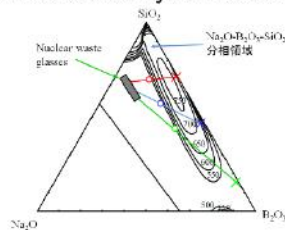
- Total correlation functions
- Molecular dynamics simulations



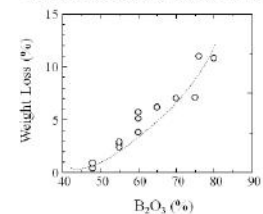
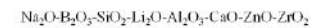
Chemical Durability and Phase Separation of Nuclear Waste Glasses

Control of the chemical durability of nuclear waste glasses

Nuclear waste glass		
Composition	wt (%)	mol (%)
SiO ₂	49	54
B ₂ O ₃	15	14
Na ₂ O	10	11
Li ₂ O	3	7
CaO	3	4
Al ₂ O ₃	5	3
ZnO	3	3
FP	12	4

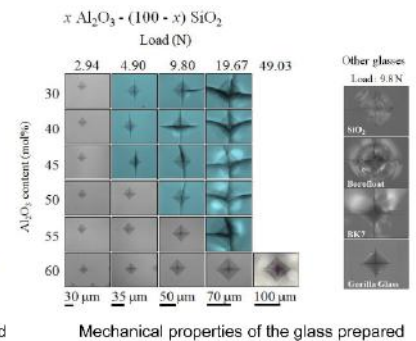
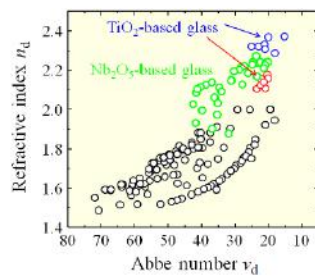
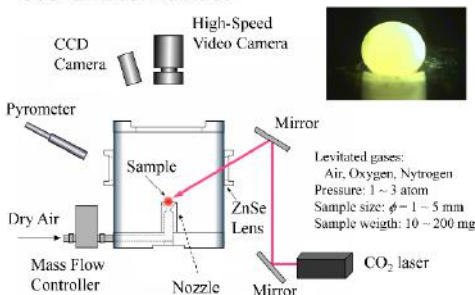


SEM photograph after phase separation and elution



Glasses prepared using a gas levitation furnace and their physical properties

Gas levitation furnace



枝川 圭一 研究室

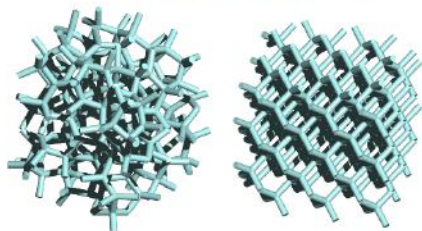
材料強度物性

固体の原子配列秩序と物性

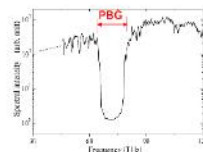
固体の原子配列秩序と物性

固体をマイクロなスケールで眺めてみると、原子がある秩序をもって並んでいることがわかる。固体の微視的構造は原子(分子)の並び方によって周期構造(結晶)、準周期構造、アモルファスの3種類に分類できる。このような原子の並び方の違いが、巨視的な材料の性質を左右している。我々の研究室では、上記の観点から固体の微視的構造と物理的性質の関係を明らかにし、さらに得られた知見を新材料開発に応用することを目指している。

◆ランダムネットワーク構造フォトニックデバイスの創成と展開 アモルファス構造で3次元フォトニックバンドギャップを発見



フォトニック・アモルファス・ダイヤモンド構造と
フォトニック結晶ダイヤモンド構造

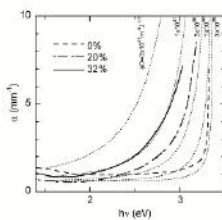


FTTD法による光状態密度の解析結果



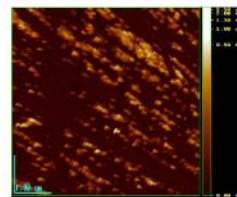
ミリ波帯でのフォトニック・
アモルファス・ダイヤモンドの作成

◆半導体中転位の物理的性質：転位線の光学的・電気的性質の解明

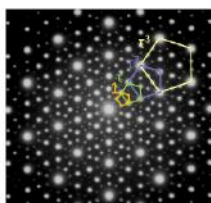


←GaN結晶の光吸収スペクトルの
塑性変形による変化

塑性変形によりGaN結晶表面に現れた →
導電性スポット

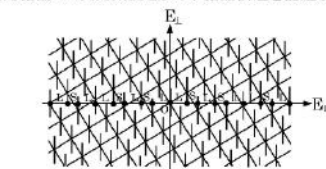


◆準結晶のフェイゾン弾性に関する研究：準結晶特有の物性の起源の解明

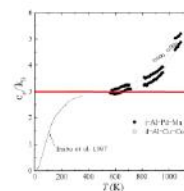


Al-Cu-Fe系正20面体準結晶の
5回軸入射の電子線回折図形

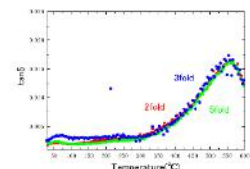
2次元結晶の1次元断面として準結晶構造を記述した例



E_{\perp} 上に得られるLSの配列は周期性をもたない⇒準周期性



高温比熱におけるデュロン・プティ則の破れ



高温内部摩擦の測定

Edagawa Laboratory

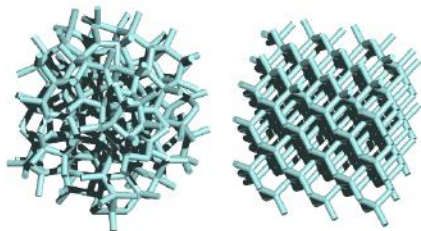
Mechanical Properties of Solids

Order in atomic arrangement and physical properties of solids

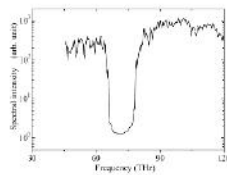
Order in atomic arrangement and physical properties of solids

If we look into solids microscopically, we find that atoms are arranged in some ordered manner. Microscopic structures in solids can be classified in view of the atomic order into three groups: periodic structures (crystals), quasiperiodic structures (quasicrystals) and amorphous structures. Such atomic orders often determine the macroscopic properties of solids. We aim at elucidating the relationship between the microscopic structure and macroscopic physical properties of solids, and also at developing new materials with desirable properties using the information obtained through such studies.

◆ Development of random network photonic devices Discovery of an amorphous structure exhibiting a 3D photonic band-gap



Photonic amorphous diamond structure and photonic crystalline diamond structure

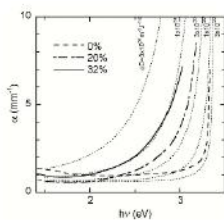


Photonic density of states calculated by an FDTD method



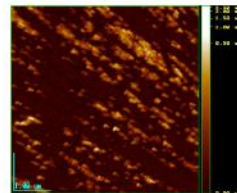
Fabrication of photonic amorphous diamond structure in a microwave regime

◆ Physical properties of dislocations in semiconductors

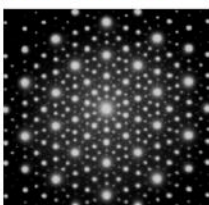


Change in optical absorption spectra by plastic deformation

Conductive spots on surface of GaN introduced by plastic deformation

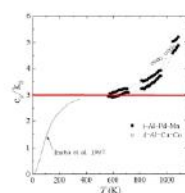
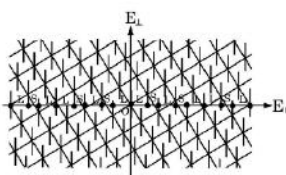


◆ Phason dynamics in quasicrystals: Elucidation of origin of physical properties inherent to quasicrystals



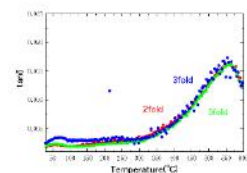
Electron diffraction pattern of Al-Cu-Fe icosahedral quasicrystal with the incident beam parallel to a fivefold axis

An example of a 1D quasicrystalline structure described as a section of a 2D periodic structure



Braking of Dulong-Petit's law in high-temperature specific heat

Measurement of high-temperature internal friction



吉川 健 研究室

持続性高温材料プロセス

次世代半導体SiC, AlNの溶液成長

溶融合金から半導体を創る一次世代半導体SiC, AlNの溶液成長

当研究室では熱力学や結晶成長工学などの 高温プロセス学 と研究室独自の 高温プロセス可視化技術 を融合して革新的な材料プロセスを創り出すための基礎研究を行っています。

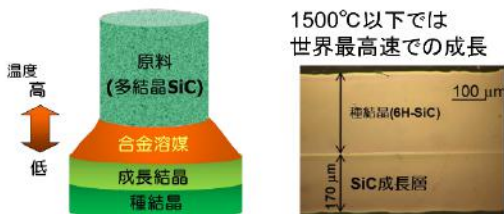
ワイドギャップ半導体結晶の溶液成長

シリコンカーバイド (SiC) や窒化アルミニウム (AlN) 等のワイドギャップ半導体は電力・光素子の技術革新を導くキーマテリアルです。これらのバルク単結晶の高品質・高速での成長方法の開発を行っています。

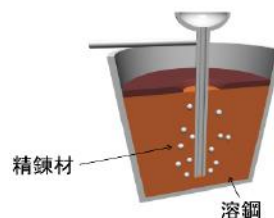
鉄鋼精錬プロセスの反応界面制御

鉄鋼プロセスは何百トンもの溶鉄がダイナミックに反応して高純度で目的の成分の鋼が得られます。しかし実際の反応は「界面」を通してミクロンレベルで進行します。これを適切に制御し21世紀に相応しいプロセス構築に貢献します。

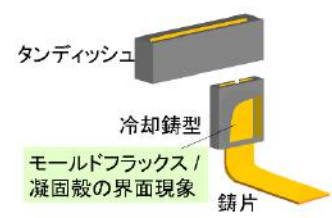
FZ法によるSiCの低温高速成長技術



溶鋼/ 精錬材の反応制御



鋳型内の凝固組織制御

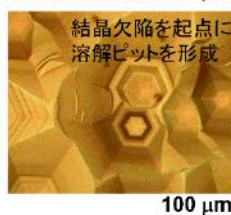


可視光透過観察法による高温反応界面のリアルタイム観察

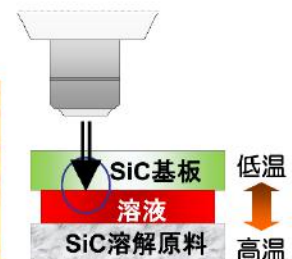
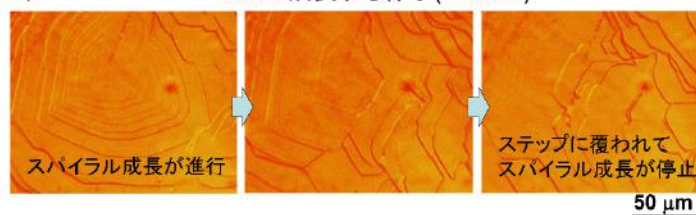
反応に関与する材料の可視光透過性を利用して異相間の高温反応界面のその場観察を行い、観察事実に基づいた界面現象の制御方針を立てて、材料製造プロセスを開発します。

例えば、SiCの溶液成長時の成長界面を世界で初めて観察しました。SiCが成長・溶解する瞬間や、結晶欠陥周囲のナノスケールの界面モフォロジーを捉え、高品質結晶の育成指針を構築します。

SiCが溶解する様子(1300°C)



SiCが成長する様子(1400°C)



Yoshikawa Laboratory

High Temperature Sustainable Materials Processing

Solution growth of next-generation semiconductor SiC and AlN

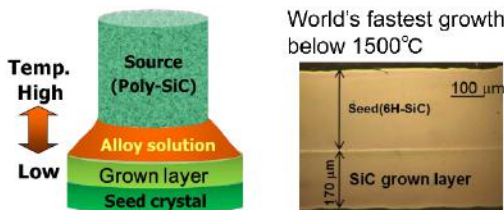
Production of semiconductors from molten alloys

Our laboratory tries to develop the innovative materials process – by combining high temperature physical chemistry (including thermodynamics and crystal growth) with an original technique to visualize high temperature reacting interfaces.

Solution growth of single crystals of wide-gap semiconductors

Wide-gap semiconductors such as silicon carbide (SiC) and aluminum nitride (AlN) are key materials to achieving innovation in power conversion and optical devices. We are developing the rapid growth technique to produce their high quality single crystals.

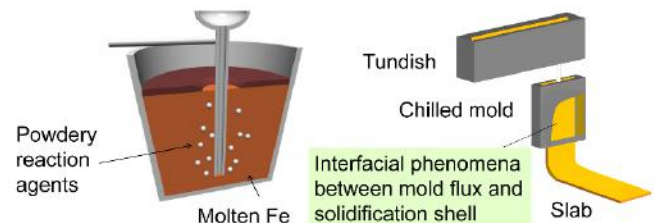
Low temperature rapid growth of SiC by the float zone method



Control of reacting interface during steelmaking process

Tens or hundreds tons of steel react during the steelmaking process, but the reaction proceeds through micron-scale phenomena. We try to contribute to the design of sustainable process for 21st century.

Reaction control between molten Fe and reaction agents Microstructure control during the solidification in mold

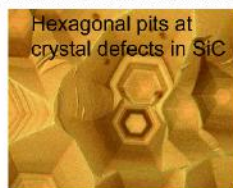


Real-time observation of reacting interface at high temperature using visible light transmission

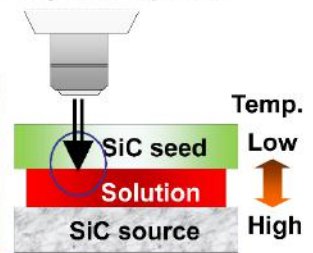
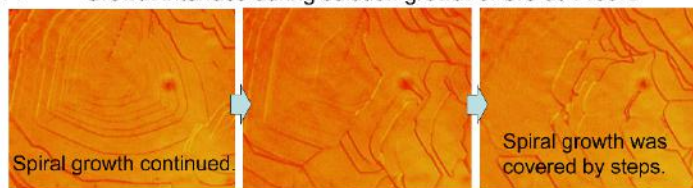
We perform the in-situ observations of the high temperature interface of reacting couples using the transparency to visible light of one phase such as SiC.

For example, we observed the growth interface during the solution growth of SiC for the first time in the world. We aim to establish the optimal conditions for the growth of high quality crystal of SiC based on the nano-scale observation of interfacial morphology and defects in grown crystals.

Dissolution interface at 1300°C



Growth interface during solution growth of SiC at 1400°C



八木 俊介 研究室

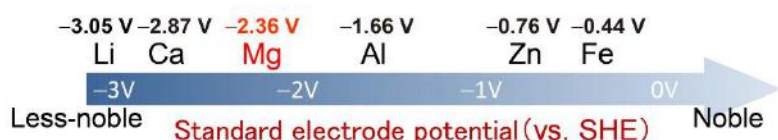
エネルギー貯蔵材料工学

環境を支える電気化学材料・プロセス

電気化学反応

電気化学反応は化学エネルギーを電気エネルギーに変換する反応、もしくはその逆を行う反応です。蓄電池は、電気エネルギーを化学エネルギーとして蓄えて、必要なときに電気エネルギーに変換できます。また電気化学反応によって、水を分解して水素や酸素を作り出したり、金属や酸化物を析出させたりすることができます。本研究室では、多価カチオンをキャリアとして用いる蓄電池(特にマグネシウム蓄電池)や、電気化学反応を効率良く進行させるための触媒材料の研究・開発を行っています。

マグネシウム蓄電池

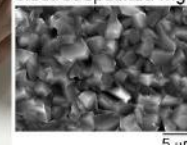


標準電極電位の序列。この値が負に大きい金属ほど、電子を放出してカチオン(陽イオン)になりやすい性質を示します。そういった金属を負極材料として用いることで、大きな起電力を得ることが可能です。マグネシウムは空気中で取り扱える金属の中で最も負に大きな標準電極電位を持ち、また一つの原子に2つの電子を蓄えることができることから、マグネシウムを用いれば、取り扱いのしやすさと高起電力・高エネルギー密度を両立させた蓄電池が完成する、と考えて研究・開発を進めています。

Prototype of Mg battery



Flat surface of electrodeposited Mg

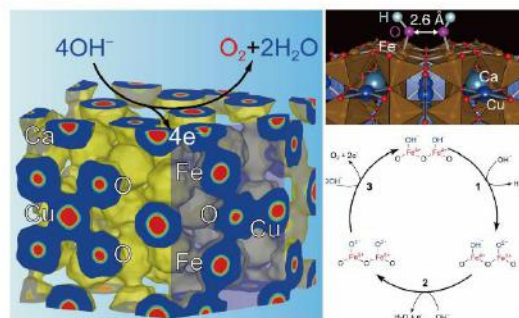


	Potential (V vs. SHE)	Capacity (mAh/g)	Capacity (mAh/cc)
Mg	-2.36	2200	3830
LiC ₆	-2.8	372	841
Li	-3.05	3860	2070

リチウム負極(Li)およびグラファイト負極(LiC₆)とマグネシウム負極(Mg)の容量の比較。デンドライト(樹枝状)成長により剥離・短絡の原因となるリチウム金属に対し、マグネシウムは平滑な析出形態をとるため金属をそのまま負極として使用できるメリットがある。

電気化学触媒

空気中の酸素を正極活物質として用いる電気化学デバイスとして、燃料電池や金属空気二次電池の研究開発が盛んになってきています。これらのデバイスの反応効率や起電力を高めるためには、優れた電気化学触媒が不可欠です。本研究室では、優れた電気化学触媒の開発のため、学内外の固体化学の研究者と連携をして、電気化学触媒の活性に関する普遍的な記述子を、触媒の構造・組成・電子状態に注目して探求するとともに、電気化学デバイスの試作・評価を進めています。開発している電気化学触媒は、水素や酸素を製造するための水の電気分解や、湿式金属製錬プロセスの不溶性アノードにも使用できるので、多くのプロセスにおいてエネルギーやコストの削減が期待できます。



電気化学触媒CaCu₃Fe₄O₁₂の構造と酸素発生反応経路の模式図。

Yagi Laboratory

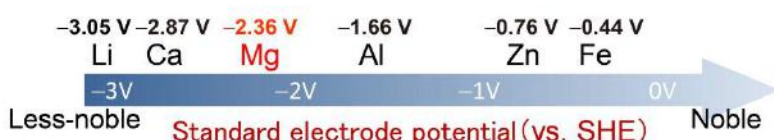
Energy Storage Materials Engineering

Electrochemical materials and processes

Electrochemical Reaction

Electrochemical reactions convert chemical energy to electrical energy and vice versa. Rechargeable batteries store electrical energy as chemical energy, and convert the chemical energy to electrical energy when necessary. For example, electrochemical reactions generate hydrogen and oxygen through water decomposition, and allow for metal and oxide deposition. In our laboratory, we investigate rechargeable batteries using multivalent cations as carrier ions (specifically, magnesium rechargeable batteries) and electrochemical catalysts for efficient and fast electrochemical reactions.

Magnesium Rechargeable Battery

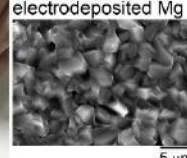


Standard electrode potential. Metals with large negative standard electrode potentials tend to release electrons to form cations. By using such a metal as a negative electrode active material, a large electromotive force can be achieved. Mg possesses two valence electrons and has the lowest standard electrode potential (ca. -2.36 V vs. SHE) among the air-stable metals. Thus, we investigate Mg batteries as potential rechargeable batteries with high electromotive force, high energy density, and ease of handling.

Prototype of Mg battery



Flat surface of electrodeposited Mg

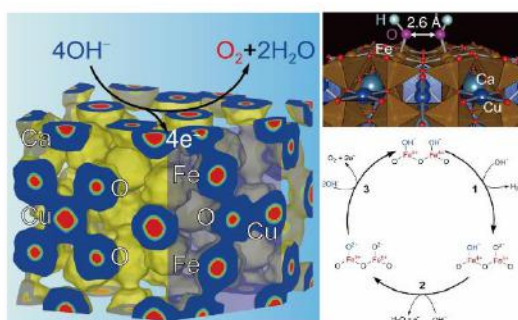


	Potential (V vs. SHE)	Capacity (mAh/g)	Capacity (mAh/cc)
Mg	-2.36	2200	3830
LiC ₆	-2.8	372	841
Li	-3.05	3860	2070

Electrical capacity of Li, graphite (LiC₆), Mg. Mg metal can be used as an active material because it hardly forms dendrites, while Li metal cannot be used because of dendritic growth, which causes detachment and short-circuiting.

Electrochemical Catalyst

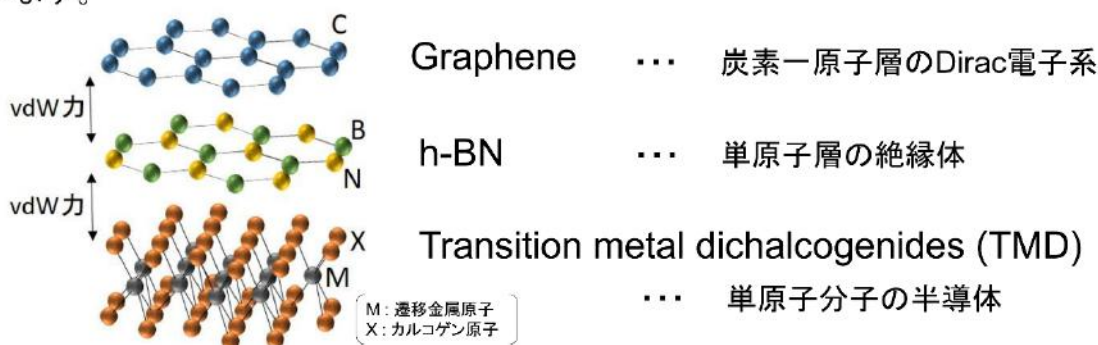
Fuel cells and metal-air rechargeable batteries have been extensively studied as electrochemical devices, using oxygen gas in the air as a positive electrode active material. Excellent electrochemical catalysts are required to enhance the reaction efficiency and electromotive force of these devices. In our laboratory, we explore the universal descriptors of catalytic activity in terms of the structure, composition, and electronic states of the catalysts, with the help of researchers in solid-state chemistry from within and outside the university. We also prepare prototypes of the electrochemical devices and evaluate them. The electrochemical catalysts investigated can also be used for water electrolysis to produce hydrogen and oxygen, and for an insoluble anode in wet smelting, thus reducing the energy and expense in many processes.



Structure of the electrochemical catalyst CaCu₃Fe₄O₁₂ and proposed pathway for oxygen evolution reaction on its surface.

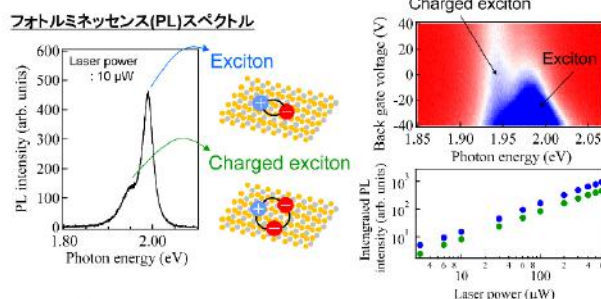
複合原子層構造による次世代光学素子開発

当研究室では、原子一層の厚みしかない単原子層物質をファンデルワールス(vdW)力を利用して積層した新材料を用いて基礎光学特性の調査とデバイス応用に向けた研究をしています。



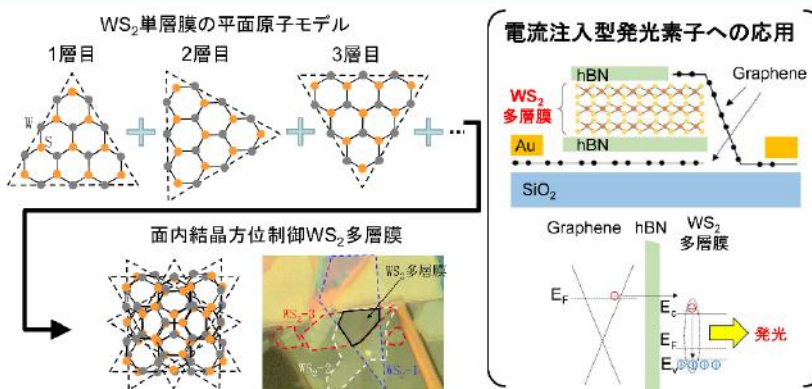
複合原子層構造の基礎光学特性

TMDは原子層数や周囲の材料、測定環境によって光学特性が大きく変化する材料です。我々は、様々な光学測定を通してh-BNで挟まれたTMD単層膜の基礎物性を調べています。TMD単層膜をBNで挟むことにより強励起状態においても高効率なエキシトン発光が起こることを発見しました。



結晶方位制御した遷移金属ダイカルコゲナイド多層膜

遷移金属ダイカルコゲナイドである WS_2 は、多層膜では間接遷移型の性質を持つ半導体材料です。当研究室では、 WS_2 の面内結晶方位制御に着目し、発光効率の高い WS_2 多層膜の作製および、低消費電力な電流注入型発光素子の開発を行っています。



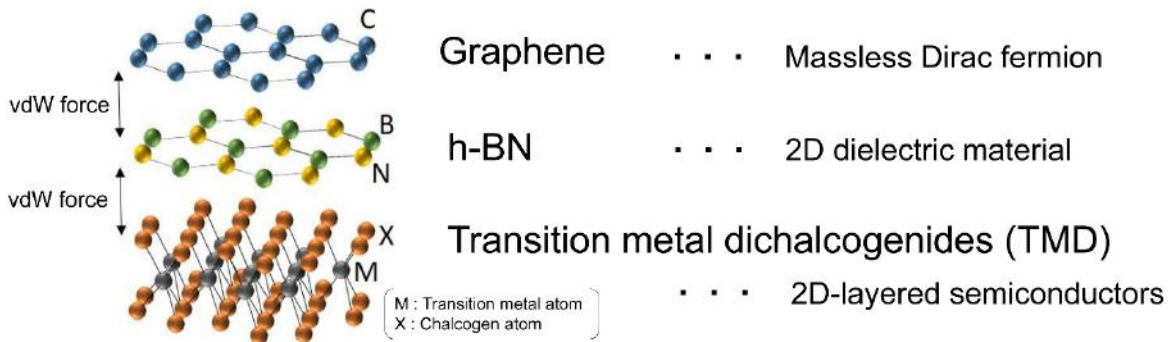
Hoshi Laboratory

Solid-state Quantum Functional Devices

Development of next-generation optoelectronic devices with van der Waals heterostructures

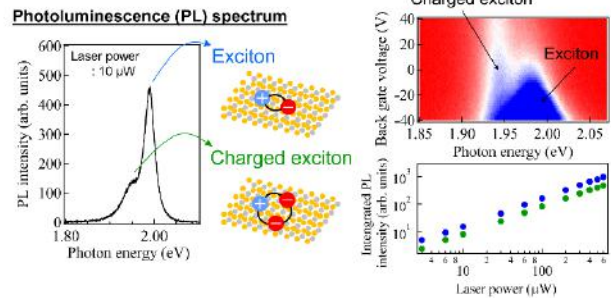
Development of next-generation optoelectronic devices with van der Waals heterostructures

We study the fundamental optical properties and device applications of van der Waals (vdW) heterostructures, which consist of two-dimensional atomic crystals bound to each other with vdW forces.



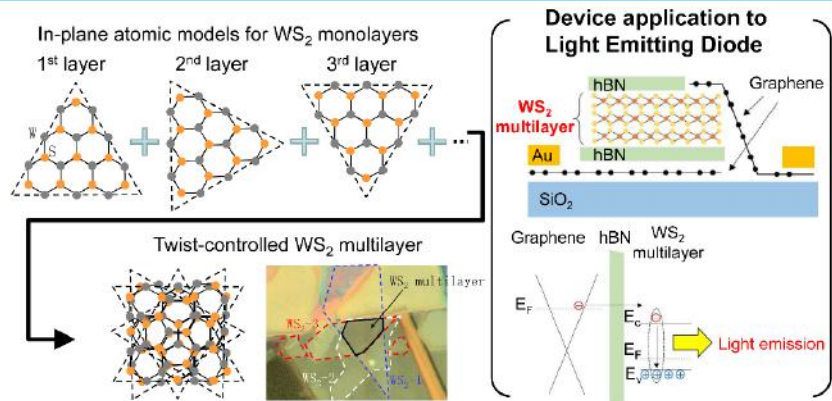
Fundamental optical properties of van der Waals heterostructures

Optical properties of TMD depend strongly on the structural parameters such as the layer number and surrounding materials. We investigate fundamental optical properties for various TMD monolayers encapsulated by h-BN. We demonstrated that the photoluminescence peak intensity based on exciton emission was very large even under strong photoexcitation.



Twist-controlled transition metal dichalcogenide multilayers

Tungsten disulfide (WS_2) multilayer is a semiconductor with an indirect band-gap. We found that the efficiency of light emission for the twist-controlled WS_2 multilayers is higher than that for a WS_2 monolayer with a direct band-gap. We try to develop light emitting diodes with ultra-low power consumption by utilizing the twist-controlled WS_2 multilayers.



大和田 秀二 研究室

資源分離工学・リサイクル工学

客員教授 本務先:早稲田大学創造理工学部

人工(廃棄物)資源を賢く分離する

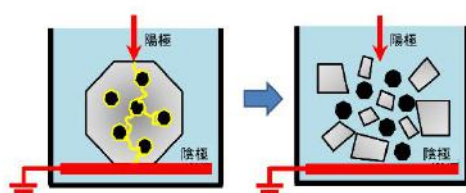
資源を賢く分離する

天然および廃棄物資源には有価物と不要物が混合して存在しますが、前者は高効率回収、後者は分離除去・適正処分する必要があります。この際のキーテクノロジーは成分分離技術ですが、省エネルギー的には固相状態での分離「ソフトセパレーション」が重要となります。このソフトセパレーションを効率的・省エネルギー的に行うには、以下の2種類の技術が不可欠であり、当研究室ではその検討を精力的に行っています。

1. 分離の前処理として、構成成分を効率よく単体分離するための**粉碎技術**
2. 単体分離された各種固相成分の省エネルギー的・高効率**分離技術**

以下に、具体的なテーマの一部を記しました。

- ◆ 単体分離を促進する**力学的粉碎技術**研究
- ◆ **電気パルス粉碎**の界面破壊機構の解明
- ◆ **電気パルス粉碎**による各種廃棄物の単体分離状況の評価
- ◆ 高性能(LIBS・XRF・XRT等)**ソーティング**技術開発およびプロセスの最適化
- ◆ 物理選別による**焼却灰**からの**貴金属**濃縮プロセスの開発
- ◆ **浮選**における確率論的・流体力学的研究
- ◆ **浮選**による**廃触媒**からの**貴金属**濃縮プロセスの開発

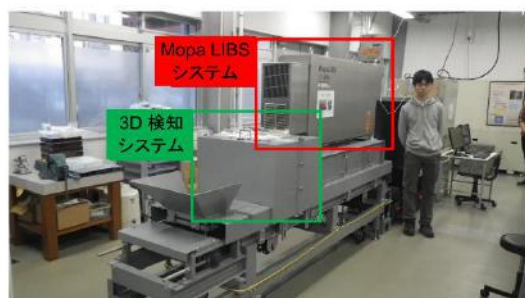


電気パルス粉碎の破壊概念図

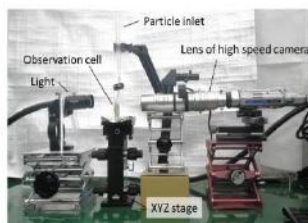
ICチップ



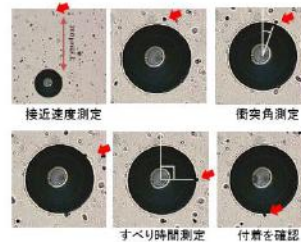
電気パルス粉碎によってICチップの単体分離された各種素材



世界初のLIBSソータを開発。2015年2月



気泡-粒子付着観察装置



気泡-粒子付着観察手順

Owada Laboratory

Materials Separation and Recycling Process

Visiting Professor from School of Creative Science and Engineering, Waseda University

Smart Recycling

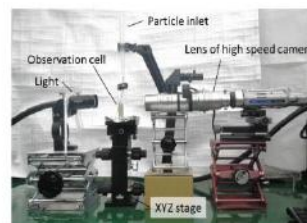
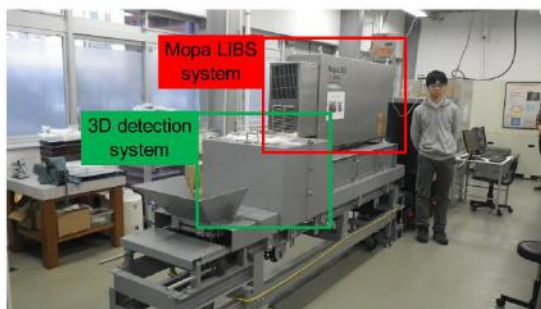
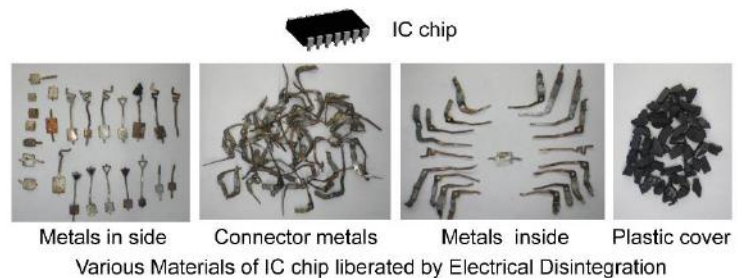
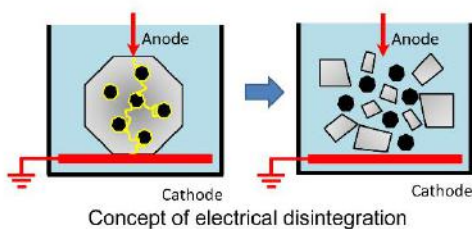
Smart Comminution and Separation

Since valuable and useless components are mixed in natural and artificial (waste) resources, it is necessary to recover the former elements and to reject or appropriately treat the latter ones. Key technology of solid–solid separation, in other words **“SOFT SEPARATION”**, should be applied with high efficiency and high reliability. In order to achieve the above separation, the following two kinds of technological developments are essential:

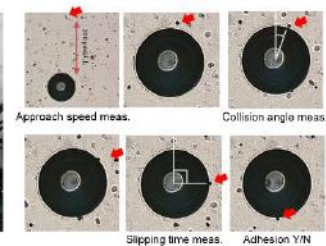
1. **Intelligent Comminution** to make good liberation of componential elements
2. **Intelligent Separation** of compositional elements with high energy efficiency

The following are examples of research topics.

- ◆ **Mechanical comminution** to achieve high liberation
- ◆ Clarification of the mechanism of **electrical disintegration**
- ◆ Development of high performance **sensor based sorting** (LIBS·XRF·XRT etc.) and process optimization
- ◆ Stochastic and rheological studies on **flotation**
- ◆ Concentration of **precious metals** from scrap **catalyst** by **flotation**
- ◆ Recovery of **precious metals** from **incineration bottom ash**



Equipment for measuring bubble-particle adhesion



Measuring process of bubble-particle adhesion

柴山 敦 研究室

資源処理工学

客員教授 本務先: 秋田大学大学院国際資源学研究科

鉱物処理とリサイクル

アドバンスドミネラルプロセッシング技術とリサイクルプロセスの開発

当研究室では、金属資源の延命化と持続可能な社会の実現を目的に、不純物を含むまたは低品位で開発できない未利用資源の処理技術の開発ならびに廃棄物資源(リサイクル原料)からの金属回収技術の開発を行っています。主な研究例を紹介いたします。

未利用資源の有効利用を目的とした資源処理技術の開発

- ◆不純物含有銅鉱石の処理技術の開発
- ◆低品位鉱石または選鉱尾鉱の処理技術に関する研究
- ◆難処理鉱物からのレアース回収プロセスの開発

貴金属を含むリサイクル原料の処理技術の開発

- ◆ハロゲン浴を用いた廃電子基板からの金属浸出プロセスの開発
- ◆新規貴金属抽出剤の開発と抽出条件の最適化

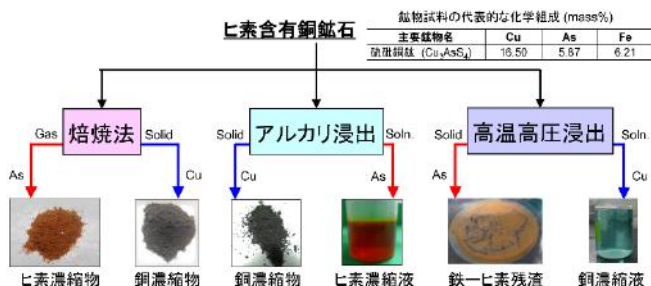
未利用資源の有効利用を目的とした資源分離技術の開発



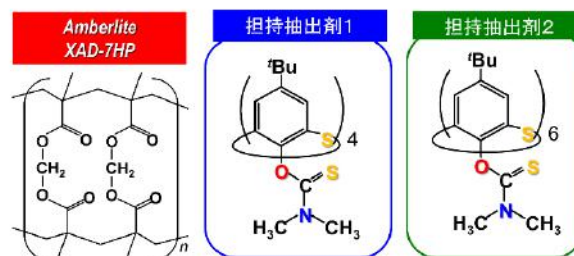
- ◆近年、銅精鉱中の不純物品位は0.5~3%を超える精鉱もある。
- ◆一般的な銅鉱物と不純物を含む銅鉱石は、表面の物理化学的な性質が類似しているため、既存の選鉱技術での処理が困難。
- ◆銅製錬所においても、これらの不純物の処理は困難。

➡ 製錬所に投入する前に不純物を除去することが望ましい

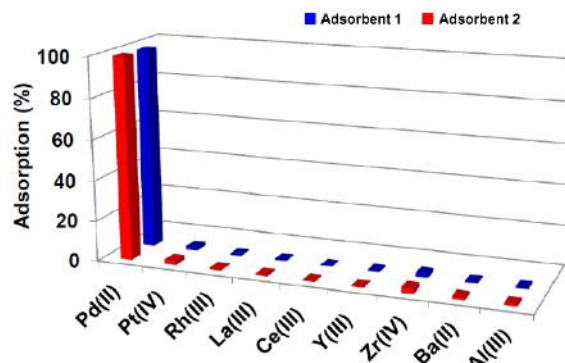
処理プロセスのイメージフロー



新規貴金属吸着材の創成と回収プロセス開発



XAD上に各抽出剤を担持させ吸着材1, 2を作成



いずれもPdを99%以上抽出可能 (Pdに対する選択性あり)

Shibayama Laboratory

Mineral Processing

Visiting Professor from Graduate School of International Resource Science, Akita University

Mineral processing and recycling

Development of advanced mineral processing technology and recycling process

Our laboratory is investigating the development of treatment processes for unutilized resources that contain impurities and/or are low grade valuable metals contained in electronic waste. The typical research work is introduced below.

Development of advanced mineral processing technology of unutilized mineral resources

- ◆ Treatment process of impurity bearing copper mineral.
- ◆ Metal recovery from low grade ore and mine.
- ◆ Development of rare earth recovery process.

Development of precious metal extraction process from waste materials

- ◆ Precious metal leaching process from printed circuit board by halogen leaching.
- ◆ Development of novel extractant for selective extraction of precious metal.

Development of advanced mineral processing technology of unutilized mineral resources

Chalcopyrite
 CuFeS_2



Enargite
 Cu_3AsS_4



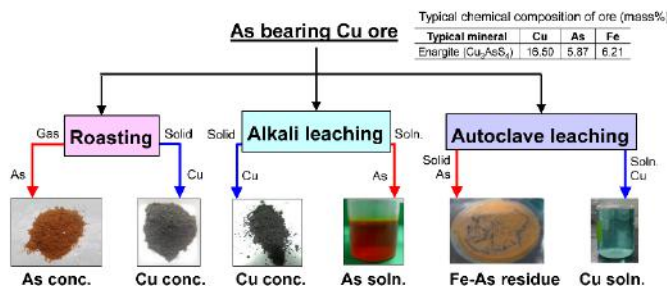
Tennantite
 $(\text{Cu, Fe})_{12}\text{As}_4\text{S}_{13}$



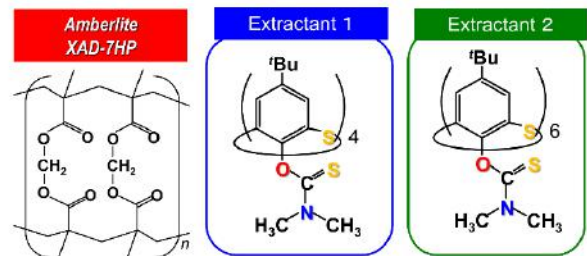
Treatment of copper concentrates containing high amounts of As and Sb impurities by a smelting process is difficult due to environmental restriction.

➡ It is better to remove before smelting process

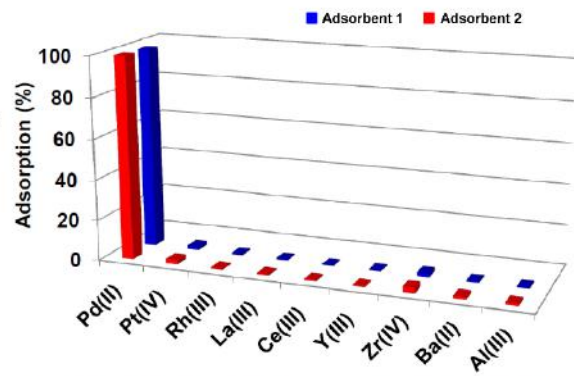
Image flow of treatment process



Development of precious metal extraction process from wasted materials



The adsorbent 1 and 2 were prepared by immobilization above extractants on the XAD-7HP.



Over 99 % of palladium was extracted selectively.

山口 勉功 研究室

資源・材料循環工学

客員教授 本務先: 岩手大学理工学部物理・材料理工学科

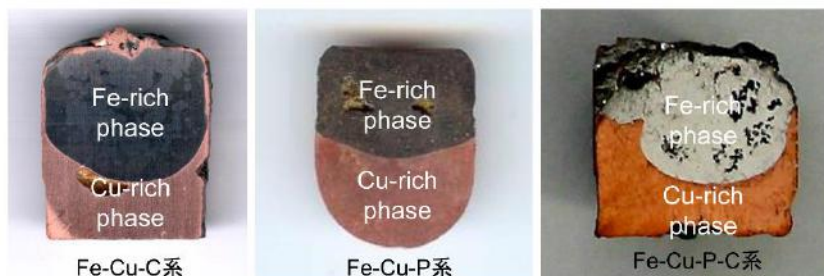
非鉄精錬におけるレアメタル回収技術

非鉄製錬におけるレアメタル回収技術

日本の産業に欠くことができないレアメタルの回収に、銅・鉛・亜鉛と呼ばれるベースメタルの非鉄製錬技術が応用されています。例えば、1ヶ所の製錬所だけで金・銀・銅・鉛・亜鉛・インジウム・ガリウム・プラチナ・ロジウム・パラジウム・ビスマス・アンチモン・テルルなど 20種類ものレアメタルが回収されています。

高温プロセスを用いた新しい金属製錬、金属スクラップの精製、廃棄物処理など社会と産業に直結した研究を行っています。

- ◆二液相分離を用いた銅含鉄スクラップからの銅と鉄の分離技術
- ◆自動車排ガス浄化用触媒からのプラチナ・ロジウム・パラジウムの回収
- ◆ B_2O_3 フラックスを用いた希土類磁石のリサイクル技術
- ◆高温落下型熱量計の開発



各種二液相分離を用いた銅鉄分離技術



白金族金属を熔融銅に濃縮・回収するプロセスを研究

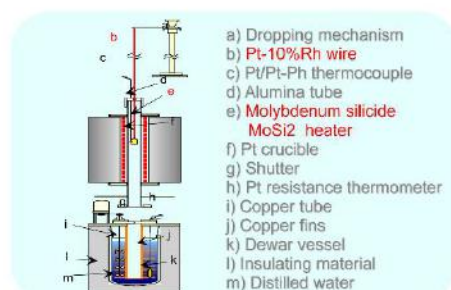


RE(Nd, Dy, Pr)-Fe-B-C-O系の三相分離

B_2O_3 フラックスを用いた希土類磁石リサイクル



回収された高純度希土類酸化物



1600°Cまで使用可能な高温落下型熱量計

Yamaguchi Laboratory

Recycling of Resources and Materials

Visiting Professor from Department of Physical Science and Materials Engineering, Iwate University

Extractive Metallurgy and Resource Recovery

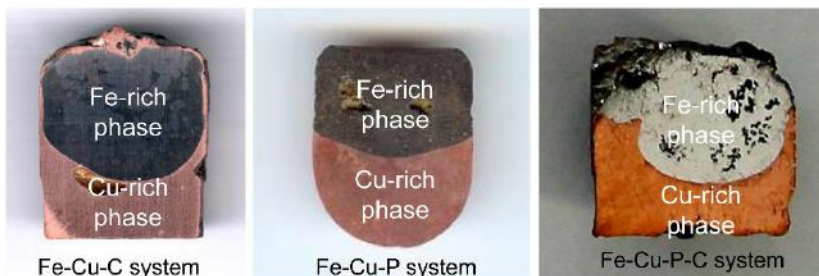
Recovery Process of Rare Metals in Non-Ferrous Extractive Metallurgy

In non-ferrous smelting processes, the base metals copper, lead and zinc, as well as rare metals are produced from secondary materials such as scrap metals, alloys, and residues.

The valuable metals that result from the refining process provide the raw materials for a wide range of application possibilities in various fields.

We suggest a new and effective recovery process of rare metals in non-ferrous extractive metallurgy.

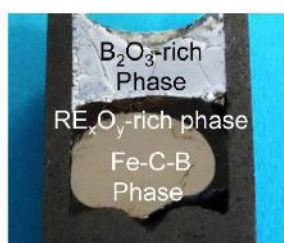
- ◆ Copper enrichment based on liquid phase separations.
- ◆ Recycling of platinum group metals for used auto catalyst.
- ◆ Recovery of rare earth elements from magnet scrap using B_2O_3 flux.
- ◆ High temperature calorimetry.



Copper enrichment of low grade copper scraps



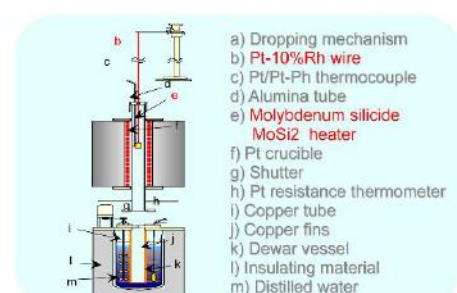
New and efficient process for recovery of platinum group metals.



3 phase separations of the RE(:Nd,Dy,Pr)-Fe-B-C-O system



Recovered rare earth oxides



High temperature drop calorimeter

グローバル連携研究活動および産学連携活動

これまでの活動

E-scrapシンポジウム2016

開催日： 2016年9月27日(火)
会場： 東京大学生産技術研究所

青少年のための科学の祭典 東京大会 in 小金井

開催日： 2016年10月9日(日)
会場： 東京学芸大学

今後の予定

貴金属の製錬・リサイクル技術の最前線(貴金属シンポジウム(第4回))

開催日： 2017年1月6日(金)
会場： 東京大学生産技術研究所

第12回リアクティブメタルワークショップ(RMW12)

The 12th Workshop on Reactive Metal Processing (RMW12)

開催日： 2017年3月3日(金)～4日(土)
会場： Massachusetts Institute of Technology (MIT)

Global Cooperative Research Activities and Industrial Collaboration Activities

Activities so far

E-scrap Symposium 2016

September 27 (Tue), 2016
at the Institute of Industrial Science, the University of Tokyo

Youngsters' science festival of Tokyo in Koganei

October 9 (Sun), 2016
at Tokyo Gakugei University

Upcoming Activities

Frontier of Extraction and Recycling Technology of Precious Metals (The 4th KIKINZOKU Symposium)

January 6 (Fri), 2017
at the Institute of Industrial Science, the University of Tokyo

The 12th Workshop on Reactive Metal Processing (RMW12)

March 3 (Fri) – 4 (Sat),
at Massachusetts Institute of Technology (MIT)

E-scrapシンポジウム2016

開催日： 2016年9月27日(火)
会場： 東京大学生産技術研究所

2016年9月27日に生産技術研究所コンベンションホールにて、産官学から9名の講師を招き「E-scrapシンポジウム2016」を開催しました。生産技術研究所の藤井輝夫所長の挨拶で幕を開けた本シンポジウムは、約200名の参加者が集まる盛況な会となり、E-scrapリサイクルの現状と課題について活発な議論が行われました。また、翌28日には、学生と若手研究者を対象として産業技術総合研究所 戦略的都市鉱山研究拠点(Strategic Urban Mining Research Base, SURE)とJX金属株式会社 日立事業所の見学会が開催されました。



E-scrap Symposium 2016 September 27 (Tue), 2016 Institute of Industrial Science, the University of Tokyo

A special symposium titled “E-scrap symposium 2016” was held on September 27, 2016, in the Convention Hall of the Institute of Industrial Science (IIS) with nine invited speakers from government, industry, and academia. The symposium was inaugurated with an opening address by Professor Teruo Fujii, Director of IIS. Approximately 200 people attended this symposium and participated in the discussion on the current status and challenges of E-scrap recycling. On September 28, a plant tour of the recycling facilities was arranged for students and young researchers. Participants visited the Strategic Urban Mining Research Base (SURE) of the National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST) and the Hitachi Works of the JX Nippon Mining & Metals Corporation.



青少年のための科学の祭典 東京大会 in 小金井

開催日： 2016年10月9日(日)

会場： 東京学芸大学

2016年10月9日に、東京学芸大学にて開催された「青少年のための科学の祭典 東京大会 in 小金井」において展示協力を行い、当寄付ユニットからは岡部教授によるレアメタルに関する講演、岡部研究室が保有するレアメタル等の展示、および形状記憶合金や電気メッキの実験実演が行われました。

講演では、身近な場所や意外な場所に使われているレアメタルについての説明があり、大勢の親子連れが興味深く聞き入っていました。また、普段見ることのないレアメタルの展示も人気を博していました。さらに講演後の実験では、お湯に浸すだけで伸ばした形状記憶合金が元に戻る様子や、めっきによって金属板の色が変わる様子に、子供から大人まで歓声を上げていました。



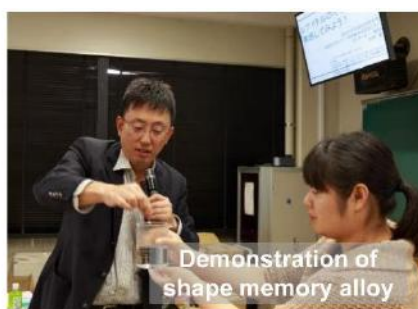
Youngsters' science festival of Tokyo in Koganei October 9 (Sun), 2016 Tokyo Gakugei University

A public event on “Youngsters' science festival of Tokyo in Koganei” was held on October 9, 2016, in Tokyo Gakugei University. In this event, lectures and exhibitions on rare metals were delivered by Prof. T. H. Okabe, who is a director of IRCSEM. The demonstrations using the shape memory alloys and the electrochemical plating on metal plates were also delivered.

Many children and parents were very interested in the lecture on the rare metals that are used in our lives or unusual places. After the lecture, visitors of the event from children to adults enjoyed the demonstration of shape memory alloys and electrochemical plating.



Prof. Okabe of the University of Tokyo



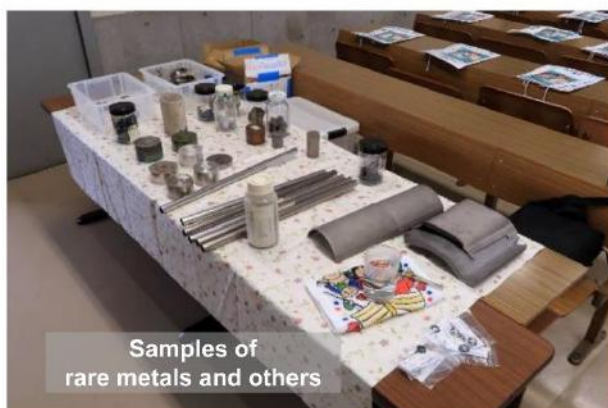
Demonstration of shape memory alloy



Demonstration of the plating experiment



Full view of the lecture



Samples of rare metals and others



Children were very interested in rare metals

2016 Edition
発行年: 2016年



Institute of Industrial Science, the University of Tokyo (IIS UTokyo)
Integrated Research Center for Sustainable Energy and Materials
4-6-1 Komaba, Meguro-ku, Tokyo, 153-8505 JAPAN

東京大学生産技術研究所
持続型エネルギー・材料統合研究センター
〒153-8505 東京都目黒区駒場4-6-1