

## 創立70周年を迎えた応用セラミックス研究所のトリビア

所長 鯉沼 秀臣

### 応用セラミックス研究所の起源は建築材料研究所だった。

セラミックスという名称にふさわしい窯業研究所ができたのは1943年で、研究所70年というのはその9年前にできた建築材料研究所の設置からということになる。1958年に合併して工業材料研究所となり、さらに1996年にセラミックスと建築材料・構造研究のCOEに改組拡充され現在の形になった。この間セラミックス系と建築系はほぼ独立の関係を保ってきたが、最近のナノテクノロジー等の材料設計、プロセス、評価の進歩に伴い両研究分野の融合が始まり、新たな発展をめざす気運が高まってきている。

### 加藤与五郎初代所長が資源研を作った。

加藤先生は、武井武先生とともにフェライトの発明で有名なセラミックス研究者である。何故か70年前の1934年に創立された建築材料研究所の初代所長に就任し、「研究所を外国ではmost earning businessとされているが、日本ではmost losing businessであってその意味をはき違えること甚だしい」と言ってけなしたそうである。とは言いながら、加藤先生はアルミナ製造の特許報酬を本学に寄付して資源化学研究所を設立（1939年）した。定年（当時は70才）後の79才まで所長を務め、資源研の創始者として知られているが、資源研の生みの親は実は本研究所にいたのである。

### 山崎貞一氏は研究所にとっても大恩人である。

山崎氏は、昭和10年に電気化学科を卒業し、加藤先生の発明したフェライトの工業化に尽力して今日のTDK繁栄の基礎を築いた人物である。東工大のために物心両面で多大な援助を惜みず、6年前に急逝されるまでに寄付された莫大な埋蔵金（山崎貞一基金）は東工大のどこかに眠ったままである。氏は研究所にとっても恩人であり、特に1988年に東工大最初の（TDK）寄付講座が研究所に設置されたとき、大変お世話になったと沢岡元所長から聞いている。なお、小生が東工大に来て間もなく、この寄付講座に良い人がいませんかとと言われて提案したのが30代の女性でした。たちまち選考委員長のS教授にさらわれ、当時の田中郁三学長の賛同も得て川合真紀教授が誕生したのである。その後の川合先生の大活躍に研究所も少しは貢献できたのではと喜んでいる。

### 応セラ研は東工大だけのものではない。

1996年の改組再編によって、研究所は無機材料分野の機関COE（金属分野は東北大・金研）に認定されると同時に、東工大では唯一の全国共同利用の研究所となった。法人化によって省令による規定（お上のお墨付き）のなくなった附置研やセンターは大学の裁量に任されることになったが、全国共同利用の研究所（19カ所）については他大学、研究機関、産業界等に共同利用サービスを提供する義務がある。附置研の機能として重要でわかりやすく、これに対する経費も特別に手当てされ、さらなる拡大・発展が望まれる。材料分野の全国共同利用研は現在、金研、応セラ研と阪大の接合研があり、この3者が素材の枠を超えて連携し、共同利用研究の効果をさらに拡大するためのプロジェクトを推進しようとしている。また、共同利用機能を東工大全体に、かつ海外にもパートナーを拡大するための国際イノベーション流動研究センター構想を4附置研を中心に提案している。研究戦略室のイノベーション研究推進体構想、企画室に関連する戦略的拠点形成（融合研究院特区）、国際担当の海外との研究連携、さらに政策研究大学院大学との科学技術政策提言ともリンクした新たなスキームを作れないだろうか？

### 研究所は大学のステイタスシンボルである。

附置研を有する国立大学は、本年4月の法人化に伴う合併により全国で89になった大学のうち20、特に複数の研究所を持つのは9大学に過ぎない。大学別の21世紀COEの採択数と研究所の数には明らかな相関があり、研究大学としての位置付けや研究成果に研究所が大きく貢献していることを示している。東工大には現在4つの附置研究所があり、数の上で京大、東大、東北大に次ぎ、阪大とは同数、文系を含み全体の規模も大きい北大、九大、名大よりも多い。科学技術創造立国の要としての基礎および応用研究における本学の役割を中心的に果たしてきた。とはいえ、教育というミッションを前面（隠れ蓑）に出せない研究所にとって、法人化に伴う風当たりは強くなりかねない。最古の歴史を誇る研究所といえども、中期目標・中期計画をベースに、どのように活性化し科学技術の進歩や社会に貢献するのか、所員全員が考え行動する必要がある（これはトリビアと違いますね）。

### 研究所70周年記念行事と第2回すずかけ台キャンパス学術研究公開ようこそ！

研究所の70年を祝し我々の活動を紹介するため、記念行事とすずかけ台キャンパスの公開を連動して、10月21日(木)と22日(金)に実施します。ぜひご参加下さい。研究所の発展のため、忌憚のないご意見、アドバイスをいただければ幸いです。今後ともよろしくご支援お願い申し上げます。

# 目次 ~CONTENTS~

## 1. 教官紹介

**セラミックス機能部門** Division of Novel Functional Ceramics  
材料研究を革新するコンピテクノロジー

教授 鯉沼 秀臣 …… 3

「電子相関効果」が創り出す新規機能性材料

教授 山内 尚雄 …… 3

酸化物の新機能を探索する

教授 伊藤 満 …… 4

セラミックスのフロンティア：透明電子活性材料

教授 細野 秀雄 …… 4

光とナノプロセスでワンダーマテリアルを創る

助教授 吉本 護 …… 5

機能オン・デマンド制御のための「酸素エンジニアリング」

助教授 M.カルビネン …… 5

酸化物特有の機能デバイス開発

助教授 神谷 利夫 …… 6

微小領域磁性とスピントクノロジー

講師 谷山 智康 …… 6

**セラミックス解析部門** Division of Basic Researches

熱力学で材料物性を探る

教授 阿竹 徹 …… 7

物質を揺さぶって新材料を探る

教授 近藤 建一 …… 7

結晶内原子の電子・磁気状態を調べる

教授 佐々木 聡 …… 8

材料の機能性を相転移で制御する

助教授 川路 均 …… 8

強光子場と物質のダイナミクス

助教授 中村 一隆 …… 9

**材料融合システム部門**  
(建築物理研究センター)

Division of Structural Engineering

建築の耐震から都市の耐震

教授 和田 章 …… 10

鉄筋コンクリート建築物の地震時損傷評価と抑制

教授 林 静雄 …… 10

地震エネルギーの吸収で建物を守る

教授 笠井 和彦 …… 11

耐久的な建築物を作り、地球環境に貢献する

教授 田中 享二 …… 11

鉄筋コンクリート構造の火災安全性について

助教授 安部 武雄 …… 12

多軸応力下におけるコンクリートの力学モデル

助教授 篠原 保二 …… 12

RC構造および木質構造の力学的挙動を探る

助教授 坂田 弘安 …… 13

鋼構造建築の終局耐震性能の解明と展開

助教授 山田 哲 …… 13

**構造デザイン研究センター** Center for Materials Design

無機系複合材料の界面制御に関する研究とカーボンアロイの開発

教授 安田 榮一 …… 14

ソフト溶液プロセスによる高機能無機材料の創製

教授 吉村 昌弘 …… 14

超塑性の粒界ネットワーク・ダイナミクス

教授 若井 史博 …… 15

炭素系新規材料の創成と高速破壊挙動の解明

助教授 田邊 靖博 …… 15

局所高応力場でみるセラミックスの破壊と変形

講師 赤津 隆 …… 16

## 2. OBたより

大いに学び、大いに遊べ

宮嶋 尚哉 氏 …… 17

大村 哲矢 氏 …… 17

## 3. すずかけ台キャンパスマップ&

応用セラミックス研究所教官研究室マップ …… 18

# 応セラ研 教官紹介 ~ Instructor introduction ~

## 材料研究を革新するコンビテクノロジー

鯉沼 秀臣 教授 (R3-305, 101)

太陽電池、高温超伝導、および酸化物エレクトロニクスの展開を目指した先端材料とその方法論に関する研究を行っています。

人類の文化発展の歴史は材料の歴史とも言えます。天然石を物理的に加工した石器時代から、火による化学的加工を取り入れた土器、青銅器、鉄器時代へと、新しい材料の発見は時代の飛躍的な進歩をもたらしました。情報化社会に代表される現代の私達の生活はあらゆる面で日々刻々と変化し、それとともに様々な材料に対するニーズが高まってきています。科学技術創造立国のカギは材料にあると言っても過言ではありません。しかしながら、新しい材料の発見には、たいへんな労力と時間がかかります。我々は、材料開発に対する革新的なアプローチとしてコンビナトリアルテクノロジー（コンビテック）を提案し、その基盤を構築しています。目的とする材料が見つかるまで1つ1つ作ってはテストするこれまでの方法ではなく、1度に多量の試料を系統的に作成し、その中から目的にかなう材料を見つけようとする集積化がコンビテックの基本です。材料研究を画期的に高速化するだけでなく、時には、思いがけない神様からの贈り物も手にすることができるとは、開発したコンビナトリアルレーザー分子線エピタキシー装置は、原子レベルで制御された多数のナノマテリアル（人工結晶、超格子、量子ドット・細線）やナノデバイス、多元系の相図を一度に作ることでできる世界最先端の

材料開発システム（もの作りのF1マシン）と云えます。これによる新しい光・電子・磁性機能材料や環境触媒研究の中から、電界効果を用いた新型太陽電池、酸化亜鉛透明トランジスタ、二酸化チタン透明強磁性体などの成果が最近得られています。



コンビナトリアルレーザー-MBE/PLD装置と蛍光体ライブラリー（吹出し）

## 「電子相関効果」が創り出す新規機能性材料

山内 尚雄 教授 (R3-C：機能セラ研究棟, 203)

最近、多彩な電磁特性（高温超伝導や、巨大磁気抵抗効果、高効率熱電変換機能など）を示す3d遷移金属酸化物が注目を集めています。これらの物質中では価電子が互いに影響を受けながら動き回っており、その結果として一電子近似を基礎とする固体物理の常識を超えた「超」機能が発現することがわかってきました。我々は、様々な遷移金属酸化物に化学圧力効果や「酸素エンジニアリング」（カルピネン助教の紹介文を参照）を駆使したナノスケール・マテリアル・テーラリング手法を活用して研究を行っています。

試料合成は、固相反応法に加え超高压法などの極限合成手法を用いて行います。合成した物質は、熱重量法・滴定法などの化学分析、及び透過型電子顕微鏡による詳細なキャラクタリゼーションを行った後、磁化や磁気抵抗など様々な電磁特性を評価しています。それに加え、シンクロトロン放射光によるX線吸収分光や中性子回折など、大型施設を用いた国際共同研究を幅広く行っています。

我々はこれまでに、(1)世界で初めての三重蛍石型構造を持つ層状銅酸化物、 $(\text{Hg,W})\text{Sr}_2(\text{Ce,RE})_3\text{Cu}_2\text{O}_{11+\delta}$  及び  $(\text{Cu,Mo})\text{Sr}_2(\text{Ce,RE})_3\text{Cu}_2\text{O}_{11+\delta}$  (RE: 希土類元素)、の超伝導体化 (図1) (2)巨大磁気抵抗 (CMR) 化合物  $\text{Sr}_2\text{FeMoO}_6$  のTa置換による同効果の劇的な増大 (図2) (3)高効率熱電変換酸化物  $\text{Na}_x\text{CoO}_2$  のNa量制御による特性向上やウィスカー結晶の育成法確立、などの成果を挙げてきました。

現在は、近未来スピントロニクス応用などが期待されるハーフメタル等の新規機能性材料の開発を目指し研究を進めています。

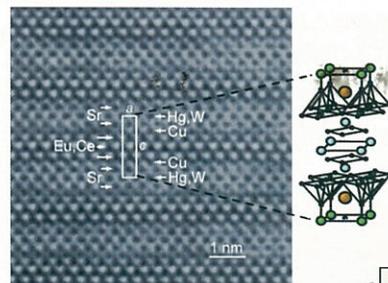
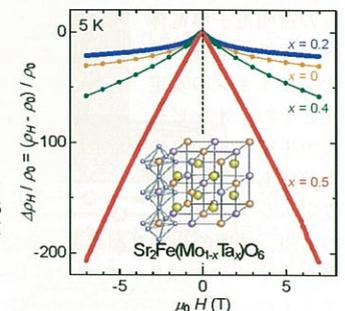


図1：新規超伝導体  $(\text{Hg,W})\text{Sr}_2(\text{Ce,RE})_3\text{Cu}_2\text{O}_{11+\delta}$  の高分解能TEM像。右は結晶構造の概念図。

図2： $\text{Sr}_2\text{Fe}(\text{Mo}_{1-x}\text{Ta}_x)\text{O}_6$  における5 KでのMR値。Ta置換量  $x=0.5$  において本物質系最高のMR値207%が得られた。



## 酸化物の新機能を探索する

伊藤 満 教授 (J1-813)

我々のグループでは酸化物の磁性、強誘電性、電子伝導性、イオン伝導性に着目し、これらの機能を発現させるための構造、バンド構造、そして化学結合に着目して研究を進めています。この1年は、量子強誘電性と光誘起効果、圧電体材料の無毒化指針、遷移金属酸化物の新規電子伝導体と超伝導体探索、磁気抵抗効果の起源の解明、スピントロニクスと外場制御等の研究に精力的に取り組んでいます。いずれの研究も、当研究室で見出された材料や現象をもとに研究が始まり、現在では国内外で20以上の研究グループと共同研究を進めています。

図1はLaCoO<sub>3</sub>というペロブスカイト型酸化物の磁化率と比熱の測定値と計算値を比較しています。ここで重要な概念として‘負の協同効果’を導入しました。コバルト3価イオンのスピン転移はその周辺のイオンをもとのスピン状態に閉じこめるという考えです。一見、物理的な現象ですが、この転移は化学結合の変化を伴うため、概念としては普遍的で、磁性体以外の物質の材料設計にも応用が可能です。

図2は酸素同位体で置換したSrTiO<sub>3</sub>というペロブスカイトの強誘電転移温度T<sub>c</sub>の酸素の平均質量依存性を示しています。この全く新しい強誘電体の研究を通して‘何故物質が強誘電性を示すか?’ ‘電子と結晶格子の相互作用が果たす役割について?’等の疑問に

答えられるようになってきました。

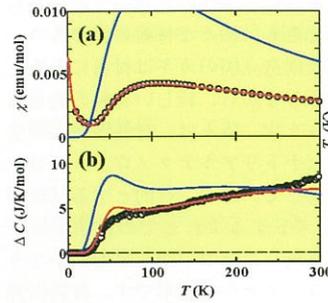


図1 LaCoO<sub>3</sub>の磁化率と比熱。  
○; 実測値、赤線; 計算値  
(負の協同効果を考慮)、青線  
(負の協同効果考慮せず)

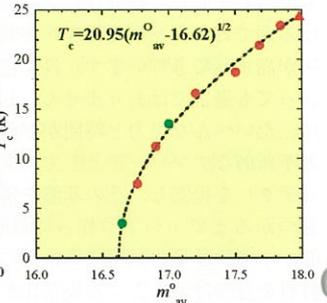


図2 SrTiO<sub>3</sub>の酸素の平均質量とT<sub>c</sub>の関係。赤は<sup>18</sup>O、緑は<sup>17</sup>Oを含むデータ

## セラミックスのフロンティア：透明電子活性材料

細野 秀雄 教授 (J1-606)

資源的に無尽蔵で、かつ環境調和性に優れた透明酸化物は、陶磁器やガラスなどの伝統的なセラミックスの素材として広範に利用されているが、アクティブな機能はこれまで殆ど見出されていなかった。本研究グループは、これらの物質に内在する特徴的なナノ構造に着目し、その電子状態や欠陥構造を巧みに利用する戦略で機能発現の研究に挑戦し、幾多の画期的な成果を挙げている。

すなわち、光照射による典型的絶縁物質の透明電子導電体への変換、最強の酸化剤O<sup>2+</sup>イオンの安定化とそのイオンビームの生成、20年来の課題であった室温で安定エレクトライド

の実現、透明酸化物P型半導体の発見、透明トランジスタ・紫外発光ダイオードの試作、真空紫外レーザー用ガラスや紫外レーザー用ファイバーなどを実現している。

ナノ構造と活性マイナスイオンが創る新機能材料



図1 ナノボラス結晶  
12CaO·7Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>から創る驚異の新機能

また、最近、干渉フェムト秒レーザーパルスでLiF結晶に、アクティブ光導波路と回折格子を書き込むことでDFBカラーセンターレーザーが実現できた。透明電子回路だけでなく、3次元光集積回路も射程距離に入った。

これらの研究成果は、基礎科学研究に裏打ちされたもので、学術的にも大きなインパクトを与えている。過去6年間にNature, Science誌に4報、Phys. Rev. Lett.誌に6報、Advanced Mater. 誌に3報の論文が掲載されるなど、その明快なオリジナリティは国際的に高く評価されている。長い歴史をもつセラミックスの研究に新風を吹き込み、新しいフロンティアを切り拓きたいと意気込んでいる。

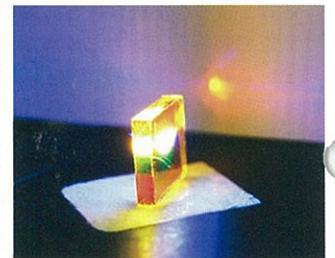


図2 LiF結晶中に光パルスの書き込みで実現したDFBカラーセンターレーザー

## 光とナノプロセスでワンダーマテリアルを創る

吉本 護 助教授 (R3-C, 機能セラ研究棟, 2階207号)

専門分野: 薄膜電子工学、レーザー反応工学、表面科学、結晶成長工学、ナノ材料工学  
 キーワード: 薄膜ナノテクノロジー、太陽電池、酸化物およびカーボン系新材料創製

e-mail: m.yoshimoto@msl.titech.ac.jp

homepage: http://www.dream.msl.titech.ac.jp



我々は、独自に開発した「超微細ナノスケール表面プロセス」と「レーザー励起原子層制御による薄膜合成」という先端技術を駆使して、社会貢献できるような新機能材料創製の研究を進めています。欧米追随型研究ではなく日本発信型の新物質創製・新現象発見を目標としています。具体的には、「ナノ電子

デバイス」、「Siを越える酸化物デバイス」、「炭から作る安価なダイヤモンド薄膜」、「新規な高効率太陽電池」、などの創製です。“金を出さずに知恵を出す”ような創意工夫と、「研究成果の社会還元」を念頭におきつつ、「Not No.1, but only one!」の研究路線で、夢に向かってチャレンジし続けています。

(主な研究テーマ)

ナノテクノロジー  
 新材料  
 環境  
 エネルギー

### 1. セラミックスのナノ構造制御とナノデバイス応用

セラミックス原子層制御のための、固体のレーザー蒸発を利用したレーザー-MBE法を独自に開発し、セラミックス薄膜のナノ構造制御に関する研究を行っている(図1はナノデバイスの基盤材料であるナノステップサファイア基板(特許取得済)、図2は超高密度磁気メモリーを可能にする強磁性ナノ細線配列のAFM立体像)。また、DNAデバイスやナノマシン作製のための、超平坦透明導電膜の合成やナノガラステクノロジーの研究も精力的に進めています。

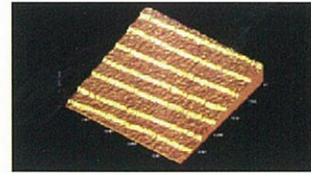


図1 ナノステップ基板

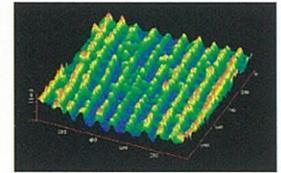


図2 強磁性ナノ細線配列

### 2. カーボン系新機能材料の合成

酸素中での黒鉛(グラファイト)のレーザー蒸発を利用して、独自開発した超平坦サファイア基板上(特許取得済)でのダイヤモンド薄膜の低温合成に成功すると共に(Nature掲載)、ダイヤモンドドライカーボン(DLC)系薄膜の合成と太陽電池応用のための研究や、カーボン系ナノファイバー創製などの研究を行っています。

### 3. 環境に優しい低コスト高効率太陽電池の作製

半導体上へ結晶性酸化物薄膜と結晶性透明導電膜を室温で合成することに成功し、常温合成太陽電池の試作に成功しました。また、高効率太陽電池開発のための、新規透明導電膜の合成研究も行っています。

論文: M.Yoshimoto et al., "Epitaxial Diamond Growth on Sapphire in an Oxidizing Environment", Nature, vol. 399, 340 (1999) など

特許: 「面特性を改善するサファイア単結晶基板の熱処理方法」(特許第3015261) など

## 機能オン・デマンド制御のための「酸素エンジニアリング」

M. カルピネン 助教授 (R3-C: 機能セラ研究棟, 201)

「超」機能性材料として現在最も期待される物質は全て酸素不定比性を持った遷移金属酸化物であり、これら酸化物では酸素含有量/不定比性/遷移金属の酸化状態が、電気・イオン伝導、磁気抵抗効果、熱電変換、光学特性、更には触媒活性などの機能を支配しています。ところが、現状では酸素不定比性を精密制御するための知識・技術はあまり活用されておらず、特に定量的な制御については研究室レベルでもほとんどなされていません。

そこで我々は以下に述べる技法を総合して「酸素エンジニアリング」と称し、その深化・活用・展開研究を行っています。すなわち、(i) 合成時その場 (*in situ*) 制御: 酸素源や酸素ゲッターの共存下(すなわち広範囲の酸素分圧下)での石英管封入法や超高压合成法、(ii) 後処理による酸素量制御: 熱天秤を用いた温度・雰囲気制御下における超精密脱酸素処理、などです。また、(iii) 試料中の酸素量や遷移金属の酸化状態は、様々な酸化還元化学分析法[例えばクーロメトリー滴定法(図1)など]を用いて精密に決定しています。(iv) 遷移金属の酸化状態の決定には、シンクロトロン放射光によるX線吸収分光法を併用することもあります。

我々は最近、(1)最も実用化が進んでいる高温超伝導体(Bi,Pb)<sub>2</sub>Sr<sub>2</sub>Ca<sub>2</sub>Cu<sub>3</sub>O<sub>10+δ</sub>の酸素含有量とホール密度分布の解明や、(2)高い熱電変換特性を示す「ミスフィット層状コバルト酸化物」(図2)、更

には(3)真新しい超伝導体Na<sub>0.36</sub>CoO<sub>2-δ</sub>・1.3H<sub>2</sub>OのCoの酸化状態の決定などを行い、「超」機能との相関を探究しています。特にNa<sub>0.36</sub>CoO<sub>2-δ</sub>・1.3H<sub>2</sub>Oがホール・ドープ型超伝導体であることを世界で初めて明らかにしました。

このように「酸素エンジニアリング」は、21世紀における優れた新規機能性材料創製の科学的基礎として、また既存機能性酸化物のオン・デマンド制御手法として広範囲に活用できるキー・テクノロジーです。

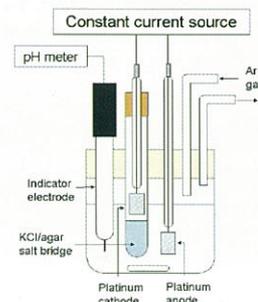


図1: クーロメトリー滴定法の実験装置

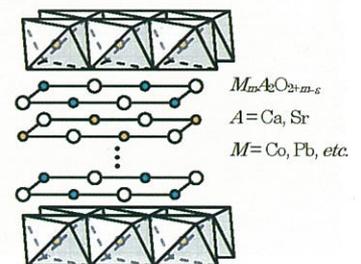


図2: ミスフィット層状コバルト酸化物の結晶構造

## 酸化物特有の機能デバイス開発

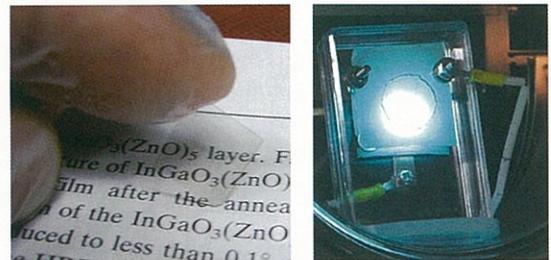
神谷 利夫 助教授 (J1-615)

現在のエレクトロニクスはSi、GaAsやGaNといった半導体で支えられている。しかしながら、高度IT化、環境問題など、多様化・高度化する要求に応えるには、新しい発想で材料を開発していく必要がある。

酸化物の多くは典型的な絶縁体であり、また、Zn(S,Se)に代表されるII-VI族半導体の開発が頓挫したこともあり、酸化物の電子機能材料としての可能性は過小評価されてきた。それにもかかわらず私たちは、酸化物が潜在的に有する新しい可能性を信じ、新機能材料の開発を行ってきた。

絶縁体であることは一方では、バンドギャップが大きく透明であることを意味している。実際に、透明でかつ電気を流す材料（透明導電体）として、ITO、ZnOなどが知られており、太陽電池や液晶ディスプレイに利用されている。しかしながら、電子的に活性なデバイス材料として利用するには、(1)n型およびp型材料、(2)低濃度でのキャリア密度精細制御、(3)デバイス作製プロセス、の開発が必要である。当研究室は1997年に透明p型酸化物半導体の報告を行って以来、紫外発光ダイオード、高性能透明トランジスタ（写真（左））などを開発し、透明酸化物半導体が高い潜在能力を持つことを実証してきた。最近では、室温で作製したアモルファス酸化物半導体p/n接合において、良好な整流特性が得られることも報告した。

また、原子レベルから見直してみると、酸化物材料が持つ独特の特性はその結晶構造にあることがわかる。混合価数イオンの共存、長距離力であるクーロン力と共有結合性が絶妙なバランスを実現すると、ナノメートルサイズの超構造を自然に形成する材料が得られる。C12A7の略称で呼ばれる $12\text{CaO} \cdot 7\text{Al}_2\text{O}_3$ も、ナノ構造が結晶構造を作る材料のひとつであり、効率的な電界電子放射特性を示す（写真（右））。このような超構造をうまく利用することにより、量子効果などを利用したメゾスコピックデバイスを自己組織化的に形成することが可能であると期待して、研究を進めている。



(左) 透明トランジスタ

(右) C12A7を電子放出源として作製した電界放射型ディスプレイデバイス

## 微小領域磁性とスピントクノロジー

谷山 智康 講師 (J1-705)

物質に見られる多様性は、その多くが電荷移動とスピン配列に根源を持つと考えられますが、当グループでは、特にナノメートルからマイクロメートル程度の微小な領域で発現する電子スピンの振舞を理解し、それを操作することで新奇スピントクノロジーをデザインすることを目指して研究を進めています。

具体的には、サブミクロンスケールの磁性細線におけるスピン状態を、最先端の微細加工技術を利用することでコントロールし、スピン状態に依存した輸送現象を探求する研究（図1）、磁性/非磁性細線接合を利用してスピン偏極した電子を非磁性体へ注入する技術を開拓する研究（図2）、磁性体/半導体のハイブリッド構造を用いて半導体中の電子スピンを検出する研究、そして、磁気メモリに利用するナノ粒子の開発を目指した研究と多岐にわたっています。最先端のフェムト秒レーザーを用いた、磁性体におけるスピンダイナミクスの観測とその人工操作の研究にも着手しています。

以上の研究分野に見られるように、「スピン注入」「スピン検出」「スピン操作」のスピントクノロジーにおける基本3要素の技術開発を目指した基礎研究が、ここ数年の中心的な研究対象となっています。これら基本3要素のいずれか一つでも欠けるとスピントクノ

ロジーをデザインすることができませんから、そこに潜む物理現象を包括的に理解することが新しいスピントクノロジーの方向性を拓くものと考えています。以上の研究の成果を通して、最近、スピン注入、スピン検出現象の理解とその高効率化への解決策が得られ始めています。

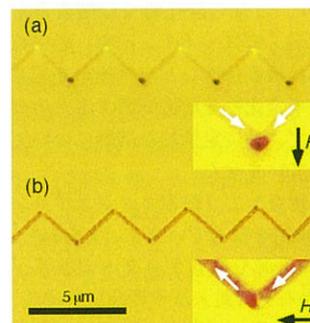


図1 磁区構造制御した磁性細線の磁気コントラスト

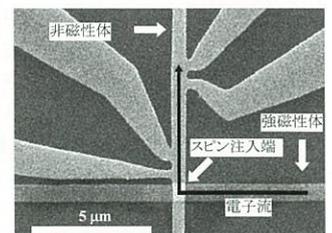


図2 スピン注入デバイス

## 熱力学で材料物性を探る

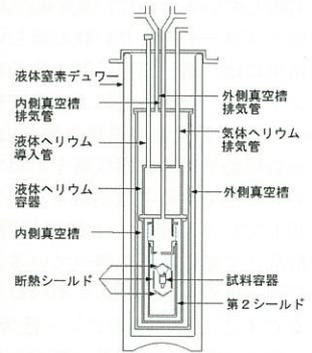
新材料の開発のためには物質の凝集機構の本質的な理解が不可欠です。私たちの研究室では、材料の機能性発現機構にかかわる構造と物性、とりわけ相転移現象に着目して主として熱力学的立場から基礎的研究を行っています。結晶中の物理的および化学的純度と微視的構造に基づき、誘電特性、イオン伝導性、超伝導性などの特性を理解し、相転移機構を解明しようとしています。とくに、世界最高精度の断熱型熱量計による精密熱容量（比熱）測定をはじめ、誘電率および磁化率測定、さらに種々の分光学的手法により結晶中の原子、分子運動の詳細を調べており、熱履歴現象や粒度効果、さらに歪や界面エネルギーの効果などについても検討しています。また、川路 均助教授と共同で研究を行っています。

具体的な適用例としては、固体イオニクスに関する研究として、燃料電池を始め各種電池材料やガスセンサーなどへの応用が期待される超イオン導電体について、構造と熱物性およびイオン伝導機構との相関を調べています。とくに高温におけるイオン伝導性を支配する欠陥構造が極低温において低振動数の格子振動モードを誘起することを安定化ジルコニアにおいて見出し、その極低温領域での精密熱容量測定により、欠陥の分布と規則性に関する知見を得ています。またイオンの欠陥構造や微視的運動と巨視的物性量の関係を明らかにし、イオン伝導機構を解明するために分子動力学シミュレ-

阿竹 徹 教授 (J1-706, 710)

ションを行っています。

さらに熱力学的物性測定法の開発の観点から、本来熱力学的平衡状態で定義される静的物性量である熱容量の動的側面をとらえる熱容量分光法を開発しています。ガラス転移などの緩和現象が関与すると熱容量に周波数依存性が観測されるため、ガラス転移における緩和機構について詳細な解析を行っています。



断熱型熱量計

## 物質を揺さぶって新材料を探る

地球内部のような超高圧・超高温の極限環境では、物質は緻密な構造へ変化したり、電子状態が変化したり、多くの新物性が明らかになってきています。しかし、人間のすむ環境に取り出すことが出来なければ、役に立つ材料とはなりません。私たちは、これらの極限環境を短時間だけ物質に加えて、1億分の1秒という極短時間に急速に冷却する方法を見出し、物質が変化する過程を凍結することに成功しました。たとえば、フラーレンがダイヤモンドに変わる過程を制御・凍結して、左図のように、平均5nmのダイヤモンドの



ナノ結晶がびっしり詰まった透明な膜を合成したり、透明なダイヤモンドガラスを合成したりすることができました。このような極限環境の発生と計測に極短パルスレーザーを用いると、もっと高速の変化や極端な揺さぶりを加えることができ、さらに原子分子の変化を精密に測定することが可能になってきました。また、超高速の発射器から打ち出された飛翔体の衝突を用い

近藤 建一 教授 (J1-913, R3-B2棟)

る衝撃圧縮法では、極限環境のフロンティアを拡大するために発射器自身の開発も重要です。私たちによって発案された全長20mの三段式軽ガス銃が、既にNASAに次ぐ8.9km/sという速度記録を達成しており、世界最高速度を目指して改良中です。宇宙ステーションの安全を守るための試験装置として期待されるだけでなく、木星内部の極限状態を生み出す装置としても期待されています。



## 結晶内原子の電子・磁気状態を調べる

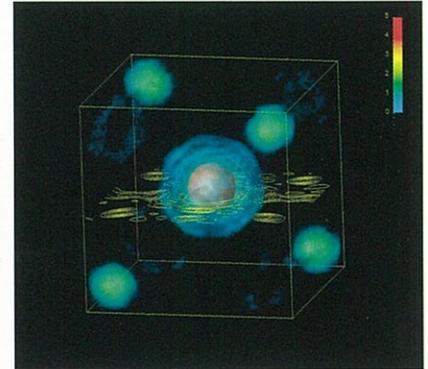
高温超伝導銅酸化物をはじめとする強相関電子系化合物では、電荷とスピンをもつ電子の振る舞いが特に重要である。スピントロニクスを利用して、新しい物性をもつ未来型機能性材料を開発するためには、原子が結晶という環境に束縛される結果として変化する電子状態や磁気構造を明らかにする必要がある。

無機材料物質の結晶構造や電子・磁気構造を調べて物性との相関を探る研究には、大型加速器からのシンクロトン放射光や中性子線を利用している。特に、電子磁気状態研究には、回折散乱法に分光学的アプローチをとり入れた新しい測定手法を開発し、得られた実験結果には、第一原理計算や分子軌道法による計算機シミュレーションを行い、モデル化による比較を実施している。

Fe, Co, Mn系遷移金属化合物やEu, Sm, Yb系異常希土類化合物で、価数揺動や電荷秩序状態を求めている。このためには、特定イオンの吸収端で共鳴散乱実験を行い、X線的に価数分離 (VDC法) を実現している。また、X線磁気円二色性 (XMCD) やX線共鳴磁気散乱法で磁気状態を調べている。原子配列情報と電子・磁気状態の観測結果から、スピネルやペロブスカイト構造で超交換相互作用が存在すること、高スピン・低スピン状態が共存すること、Co系化合物で中間スピン状態が存在すること、軌道磁気とスピン磁気モーメントの区別が可能であることなどが次第に明らかになってき

佐々木 聡 教授 (J1-508, 014)

ている。他に、酸化物高温超伝導転移、 $MgB_2$ の超伝導転移、フェライトでの陽イオン分布や電子密度分布、スペックルと強誘電体メゾスコピック構造、Co-TiO<sub>2</sub>系薄膜の磁気構造などの研究が行われている。



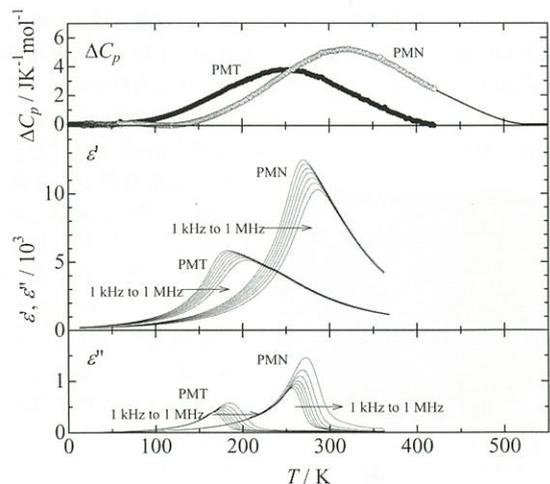
magnetite (A site) でのFeイオンの電子分布

## 材料の機能性を相転移で制御する

材料の機能性発現には相転移現象が深く関与することから、種々の物質における相転移機能の解明とその制御が必要です。私たちは、種々の物質の相転移機構を個別的に理解することに加えて、不純物、結晶粒界、有限の粒子サイズなどの結晶の不完全性やナノ構造が相転移挙動におよぼす影響について統一的に理解することを目的としています。とくに、フラストレートした磁性体の磁気相転移あるいは磁性への不純物導入の効果、強誘電体の逐次相転移現象への結晶粒子サイズ効果などについて研究を進めています。また、この成果をもとにナノ構造制御による相転移の制御の可能性について検討しています。また、阿竹 徹教授と共同して、世界最高精度の熱測定技術などを駆使して活発な研究活動を展開しています。具体的には、誘電体結晶の相転移に関する物性研究 (強誘電体、リラクサー、インコメンシュレート相転移、巨大粒度効果) として、種々の誘電体結晶における逐次相転移現象、なかでも強誘電相・圧電相あるいはそれらの相転移が凍結したリラクサー、さらにはある種の自由度 (分子の配向など) の周期が結晶の並進対称性とずれた周期をもつインコメンシュレート相の発現などに注目し、その機構解明をめざした研究を行っています。物質の標準エンタルピー、エントロピー、ギブズエネルギーなどの熱力学諸関数の絶対値を決定するとともに、誘電率測定や分光学的手法を駆使して総合的な研究を進めてい

川路 均 助教授 (J1-706, 710)

ます。とくに最近ではリラクサーにおける強誘電ナノ領域の生成にともなう熱挙動を明らかにしました。



典型的リラクサー-PMNおよびPMTの誘電率と強誘電ナノ領域生成にともなう過剰熱容量

## 強光子場と物質のダイナミクス

近年、テラワット (TW=10<sup>12</sup>W) を越える尖塔出力を持つ超短パルス高強度レーザー光を集光することにより10<sup>15</sup>W/cm<sup>2</sup>をはるかに越える強光子場を発生することが出来るようになってきました。こうした強光子場では光と電子の相互作用は、原子内部の電子と核との相互作用よりも大きくなるため、強光子場においては非常にエキゾチックな現象を起こすことが出来ます。私達のグループでは、強光子場と金属表面との相互作用による量子放出現象を研究するとともに、超短パルス量子ビームを用いた超高速の物質ダイナミクスの研究を行っています。

パルス幅50フェムト秒のレーザー光を真空中で金属表面に10<sup>17</sup>W/cm<sup>2</sup>以上の強度で集光照射することにより、量子放出現象 (最大エネルギー 1 MeV を越える高エネルギーのプロトン・電子・光子発生) を起こすことが出来ました。電子パルスのエネルギー測定を行い、相対論的速度を持った電子の発生を確認するとともに、このパルス電子線を用いた超高速の電子線イメージングに成功しました。

また発生する光子の測定から、パルス幅10ピコ秒以下の硬X線パルスが、大型放射光施設でのパルスX線よりも高輝度で発生していることを確認しました。こうした超短パルスX線を用いることにより超高速時間分解X線回折が可能となり、物質内部の結晶構造の変

中村 一隆助 教授 (J1-906, R3-C-102)

化する様子を原子が運動するのと同程度の時間スケールで、あたかも原子運動の映画を見るように観測することが出来るようになりました。この方法を用いることで、パルスレーザー光を照射した半導体内部における、電子系から格子系へのエネルギー移動と格子ひずみ過程を50ピコ秒の時間分解で直接測定することに成功しました。

また、強光子場よりも低めの強度のパルスレーザー場を用いることで、物質内部に数十万気圧程度の衝撃超高压を発生することに成功し、そこで起こる相転移や化学反応のダイナミクスを時間分解分光測定により解明する研究も行っています。

## 建築の耐震から都市の耐震

和田 章 教授 (R3-609, 601)

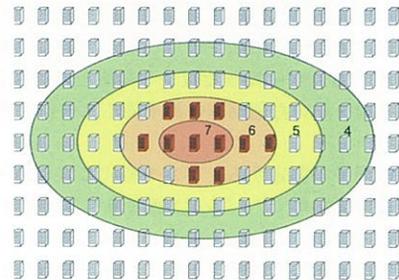
耐震構造として、免震構造、強度抵抗型構造、パッシブ制振構造、骨組の靱性に期待する構造など多くの方法が研究され、実際にこれらの方法により多くの建築物が建設されている。最も大きな耐震性を期待できるのが免震構造であり、兵庫県南部地震（1995）以前まで最も信頼されていた骨組の靱性に期待する構造は建築の総合的な耐震性として疑問があることがはっきりしてきた。技術への驕りは避けるべきであるが、設計用地震動の性質と大きさを決めれば、上記の4種の構造法それぞれの可能な範囲で、望む性能を発揮する耐震構造の設計が可能な段階になったといえる。

地震の発生は自然現象であり、建築構造物の耐震設計上最も大きな問題は、その敷地に将来起こる地震動はいつ起こるかも含めて我々には知りようがないことである。発生確率は非常に小さいが起こりうる大地震動を設計上無視することは工学的判断としてありうる。しかし、この行動は社会としての賭けである。一つ一つの建物の寿命は60年であっても、都市の寿命は数百年、数千年になるからである。だからといって、起こり得る最大級の地震動に対して設計し、その建築物が数十年後に取り壊されるまで大きな地震を受けなかった場合、無駄な構造を作ってしまったと言われる。

新しい技術開発を進め、従来から建築構造に費やしていたものと同様の費用で、飛躍的に高い耐震性を持たせる構造方法の開発が

必要である。特別な費用を要しないならば、極めて稀にしか起こらない大地震動に対しても、建築構造物を無損傷にすることの合理性が生まれてくる。結果として社会の賭けの安全性も非常に高まる。都市の寿命と同じ期間で考えて起こりうる地震動を設計に用いることができるようになる。

我々の研究の焦点はこの飛躍的に高い耐震性の追及にある。明治維新以降、ヨーロッパから日本に導入された鉄筋コンクリート構造、鋼構造の建築物は、この100年間に多くの地震被害に遭い、21世紀になってようやくその対応策ができてきたように感じる。免震構造、パッシブ制振構造などの新しい技術を進歩させ、普及させ、都市の耐震性向上に努めなくてはならない。



## 鉄筋コンクリート建築物の地震時損傷評価と抑制

林 静雄 教授 (G5-610)

**研究の背景：**鉄筋コンクリート構造は、現在の日本において最も数の多い構造形式で、災害時に避難と救援の中心となる学校など地域の公的施設はほとんどが鉄筋コンクリート造建築物であるといっても過言ではない。省資源の観点から、このような鉄筋コンクリート構造を長寿命化することが必要であるが、この場合、最も大きな問題は、中小の地震動に遭遇する確率が大幅に高くなることである。従来の大地震動に対する人命の確保だけでなく、建築物の供用期間中に何度も遭遇する危険度が大幅に増大する中小地震動による損傷を、将来にわたる使用性と安全性の観点から評価し抑制する技術を開発することが、建築物をより長く供用するために不可欠である。

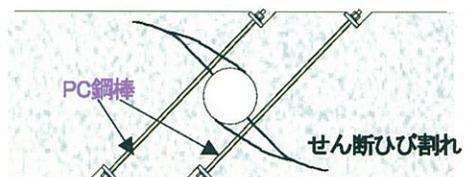
**柱の崩壊過程と損傷評価：**中小地震動による柱のひび割れは、経験したせん断応力やその後の耐久性を推定する上で重要な情報である。中小地震後の性能保証設計や地震後の被災診断を目的として破壊に至るまでのひび割れの進展を経験せん断応力と関連付け、柱の損傷予測と評価に関する研究を行っている。

### 損傷抑制に関する研究

**部分プレストレスの利用：**収縮や地震動によるひび割れ発生の可能性が高い梁貫通孔周辺に、PC鋼棒を使用した部分プレストレスを導入する工法や柱の帯筋にPC鋼線を使用したプレストレス工法により、柱のアクティブ横拘束工法の開発を行い、中小地震時損傷抑制を目指している。

**高強度コンクリートの利用：**高強度コンクリートは、組織が緻密で、耐久性は大幅な向上するが、自己収縮により使用時のひび割れが発生しやすくなる。さらに、せん断ひび割れが骨材の破壊を伴い、ひび割れ後の力学的挙動が通常強度のコンクリートとは全く異なる。圧縮強度120 N/mm程度の高強度コンクリートについてひび割れ発生後のせん断伝達機構に関する実験を行い、その構成則の確立を目指している。

**プレキャスト部材の利用：**品質管理の行き届いた工場で作成するプレキャスト構造は損傷抑制上有効であるが、部材間の接合部に弱点が生じる。プレキャスト接合部における力の伝達機構の解明と合理的な設計法の確立を目指している。

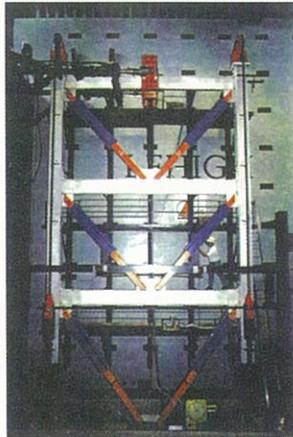


プレストレスによる開口部補強工法

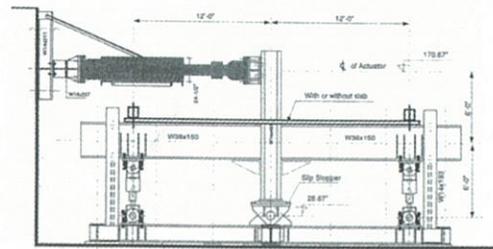
## 地震エネルギーの吸収で建物を守る

笠井 和彦 教授 (G5-707)

地震は建物に運動エネルギーを与え、そのために建物の振動・被害が生じる。建物にダンパーを入れる事により、エネルギーを吸収し建物の揺れを極端に減らす方法を研究している。下図は我々の実験で、10階建物下部3階分の実物大架構(白)を作り、それにダンパー(青と黄)を入れたものを、複数の高速アクチュエーターで揺らしたものである。また、地震応答のコンピューターシミュレーション法、耐震設計法も開発している。他の研究課題は：弾塑性、摩擦ダンパーによる制振：鉄骨架工の柱・梁ボルト剛接合(右図参照)、半剛接合：鋼管コンクリート柱・鉄骨梁ボルト接合：地震時の近接建物や橋の衝突。



ダンパーを持つ実物大3層フレームの高速載荷実験  
(米国Lehigh大学の設備を用いた)



BEAM-COLUMN CONNECTION TEST SET-UP

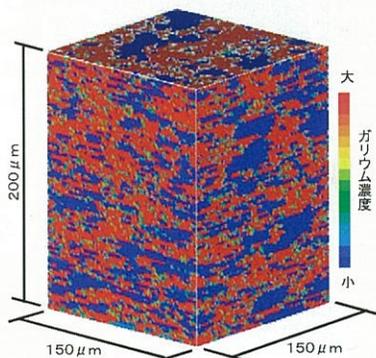


実物大鉄骨梁・柱・接合部の実験  
(梁は高さ90cmのもの)

## 持久的な建築物を作り、地球環境に貢献する

田中 享二 教授 (J1-903)

地球環境保護のためには、建築物を長く大切に使うことが大切である。しかし建築物、あるいはそれを構成する材料は長い間に劣化し、機能・性能が低下する。これには気象環境が関係する。持久的な建物を作るためには、気象環境と建築材料の劣化との関係を正しく評価し、適切に使うことが不可欠である。



Ga注入法より可視化されたセメントペースト内部の空隙構造の3次元画像  
(赤い部分が空隙を示す)

現在、建築材料の劣化機構の解明と評価方法の開発に取り組んでいる。特に有機質系の建築材料ではそのことが重要であり、防水材料、シーリング材料の耐候性を中心に研究を行っている。またわが国は世界有数の多雨国であり、建築材料が劣化しやすい環境にある。建築物の耐久性向上には、建築物に水を入れない、部材に水を接触させないことが重要である。その観点から防雨、防水構法の研究も行っており、メンブレン防水層の性能評価法の開発、シーリングジョイント設計法の開発を行っている。特にジョイント十字部設計にはこの分野で初めて性能明示型設計法を導入し、より適切なシーリング設計を可能とした。さらに建築材料としてコンクリート

も多用されるが、その物性解明は耐久性の優れた建物を作るために不可欠であり、特にそれと直接関係する水密性、透気性の測定を精力的に行っている。これにはコンクリート組織の空隙構造の解明が重要課題であるが、この研究手法として、Gaの常温近傍での相変態を利用して空隙に圧入するGa注入法を開発し、空隙構造を直接観察する一連の手法を独自に完成させ、初めてセメントペーストの空隙構造の3次元画像化に成功した。この成果は直ちにコンクリートのコールドジョイント研究、セパレーター周りの水密性研究に適用され、その空隙構造の解明に貢献した。さらに最近では有機質建築材料を用いてのコンクリート構造物補修技術の分野にも研究を展開しており、特にエポキシ樹脂注入補修技術研究のためのひび割れ微小ムーブメント試験を試作し、エポキシ樹脂補修部の性能評価を可能とし、それを基とした新しいひび割れ補修設計法を開発している。また鉄筋コンクリートの延命には塗膜系材料の表面塗布が有効であるが、コンクリートではひび割れが不可避であり、その評価が必要とされる。それに対する新しい試験法を開発し、実験が進行中である。



防水材料の屋外暴露試験

## 鉄筋コンクリート構造の火災安全性について

安部 武雄 助教授 (R3-206)

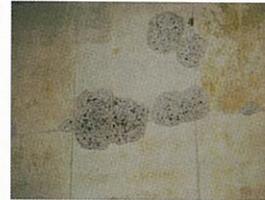
新宿歌舞伎町雑居ビル、旭化成延岡工場、新日鐵愛知製鉄所、ブリジストン黒磯工場など、衝撃的な火災事故が新聞紙上を賑わしている。特に、テロ行為による火災で上層階の破壊に起因したニューヨーク国際貿易センタービルの全体崩壊は衝撃的であった。

我が国では、年間、六万件を越す火災が発生し、建築火災は約半数を占めている。その多くは戸建て住宅火災であるが、大都市圏における多数の高層集合住宅の供給は、戸建て住宅火災の引越と判断すれば高層集合住宅での火災発生の可能性を増加させている。

近年、設計基準強度60N/mmを超える高強度コンクリートを使用した超高層集合住宅などが建設されるようになってきた。高層住宅の遮音性の確保や床振動の低減などの居住性を高めるためには、鉄筋コンクリート構造が有利である。しかしながら、普通強度コンクリートを使用した場合は柱の断面寸法が大きくなり、結果として有効床断面積が小さくなるため、高強度コンクリートが使用されるようになってきた。火災が発生した場合、内部組織が緻密な高強度コンクリートは火災加熱による爆裂現象が激しく起こることが良く知られている。しかし、火災時における高強度コンクリートの力学的特性（圧縮強度、弾性係数など）に関する基礎データは非常に少なく、高強度コンクリートを使用した鉄筋コンクリート構造物の耐火設計法の開発に必要な基礎データの蓄積は重要である。

関東大震災時の火災で焼け残った事実に基づき、十分な検証もなく耐火構造として認知され、今日に至っている鉄筋コンクリート構造は構造物としての安全性についても十分に解明されていないのが現状である。

写真①



写真②



写真③



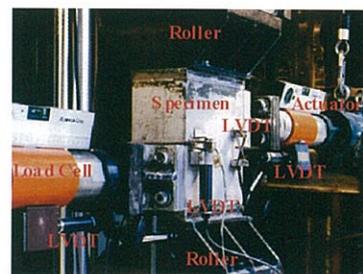
写真① 爆裂による表面コンクリートの剥落 (東工大・火災)  
 写真② 安山岩系骨材コンクリート供試体 (加熱温度800℃)  
 写真③ 石英質粗骨材コンクリート供試体 (300℃で爆裂破壊)

## 多軸応力下におけるコンクリートの力学モデル

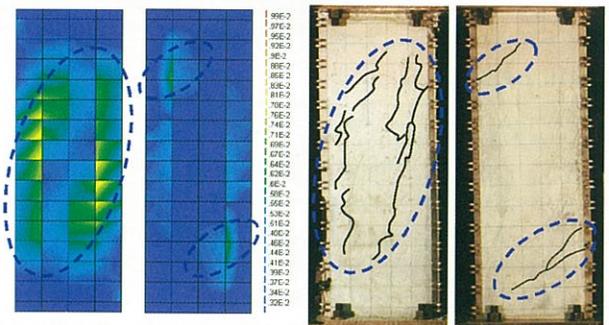
篠原 保二 助教授 (G5-602, 603)

これからの建築構造物の設計は、安全性能だけでなく、使用性能や修復性能も考慮する必要があります。コンクリート構造物においても、終局強度の把握だけでなく、構造物の供用中に作用する任意の荷重履歴に起因するひび割れに対する使用性と修復性、および最終的な破壊に至るまでの変形挙動と破壊メカニズムを正確に知ることが重要になってきています。コンクリート構造物の非線形挙動や耐久性は、破壊進行領域におけるひび割れの形成と進展挙動に深く関係しています。当研究室では、コンクリート構造物の損傷過程を数値計算によって予測する際に必要となる構成材料レベルの力学的モデルの開発および数値解析によるコンクリート部材の力学的挙動の解明を目指しています。

上の写真は、ひび割れ面におけるコンクリートのせん断挙動を明らかにするために、二軸方向の加力をコンピュータにより独立に制御できる試験装置です。本装置により、ひび割れ面のせん断挙動は、拘束力だけでなく、拘束剛性（ひび割れ幅）の影響を強く受けることを明らかにしました。下の写真は耐震性能の向上と高寿命化のため過大なひび割れを防止する積極的な策として、高強度横補強筋を使用し、横方向プレストレスを導入したRC柱の拘束効果と破壊メカニズムを明らかにするために行った三次元有限要素法解析例と実験結果です。プレストレス導入による拘束効果およびせん断ひび割れ幅の抑制効果を明らかにしました。



始めに変位制御引張試験により所定のひび割れ幅を生成し、次に各種拘束条件下でせん断力を載荷できる二軸載荷試験装置



ひび割れひずみカウンター図とひび割れ状況  
 左プレストレス無し、右プレストレス有り

## RC構造および木質構造の力学的挙動を探る

鉄筋コンクリート構造物および木質構造物の力学的挙動の解明と安全性確保の確立を目指して、研究を行っている。主な研究課題は、以下の通りである。

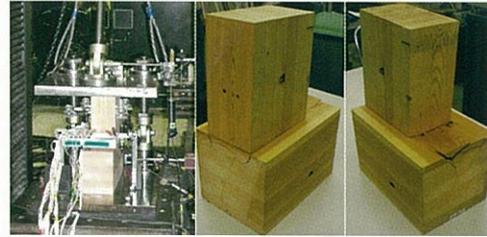
鉄筋コンクリート構造

- ①地震外力を受ける柱のひび割れ損傷に着目した新たな損傷指標の確立に向けた研究
- ②応力場から構築した曲げおよびせん断に対するマクロモデルを用いた変形解析
- ③損失制御設計を目指したPC圧着関節十字型骨組力学的挙動に関する実験

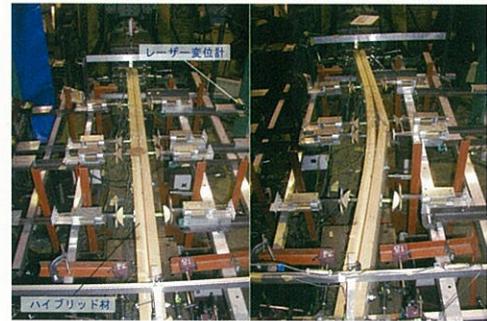
木質構造

- ①鋼材と集成材を用いたハイブリッド材の開発
- ②制振ダンパーを用いた木質制振壁の開発とそれを組み込んだ木質架構の動的挙動に関する実験研究
- ③軸力とせん断力およびその複合力を受ける金物を用いた木質接合部の力学的挙動に関する研究
- ④集成材同士の等変位・回転めり込み挙動に関する研究
- ⑤伝統構法における貫構造の力学的挙動に関する研究
- ⑥集成材を用いたモーメント抵抗接合部の力学的挙動に関する研究

坂田 弘安 助教授 (R3-606, 601)



回転めり込み加力後の試験体



加力前 加力後(全体座屈)  
「国産杉集成材+薄鋼板」のハイブリッド材圧縮実験

## 鋼構造建築の終局耐震性能の解明と展開

兵庫県南部地震では、多くの鋼構造建築で設計時に想定されていなかった梁端部における破断被害が発生しました。地震が設計レベルをはるかに超えるものであったことが多くの被害が発生した最大の原因ですが、研究者や設計者が鋼部材の変形能力を過大評価していたことも一因と言えます。梁端部において破断が発生するまでの変形能力については、地震被害が発生して以降も、早期に破断が発生した最大の要因である「床スラブ」の存在を反映しない研究が多く、変形能力を過大評価するデータに基づいて耐震性能の評価が

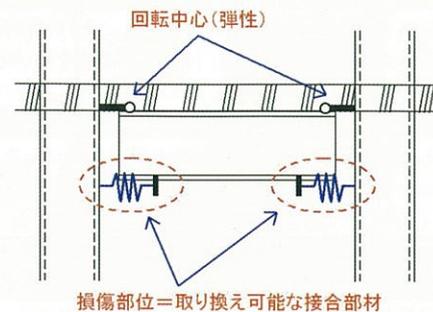
山田 哲 助教授 (J1-801)

行われています。山田研究室では、韓国浦項産業科学研究所と共同で、実大の試験体を用いて「床スラブ」を取り付けた合成梁の繰り返し載荷実験を行い、破断によって決まる梁部材の変形能力を定性的・定量的に明らかにしました。また、得られた知見に基づく骨組の解析から、部材の破断によって決まる鋼構造建築の現実的な終局耐震性能についても明らかにしました。最近では、新日本製鐵と共同で、耐震性能だけでなく震災後の補修性にも優れた新しい鋼構造の柱梁接合システムの開発も行っています。



合成梁の実大実験

### 新しい柱梁接合部システム

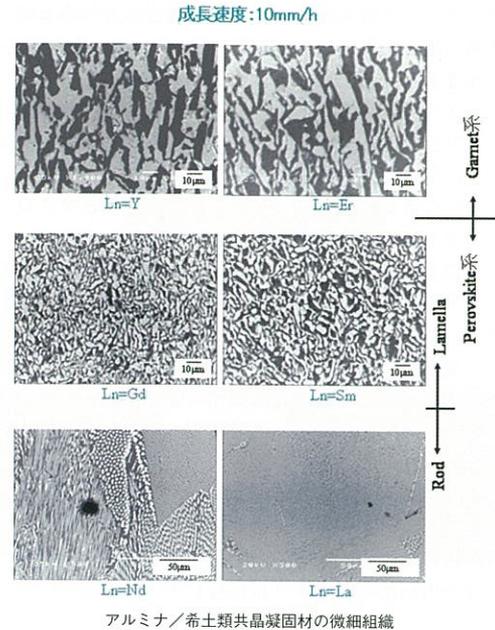


## 無機系複合材料の界面制御に関する研究とカーボンアロイの開発

安田 榮一 教授 (R3-602, 311)

セラミックスの粒界は、バルクセラミックスの力学的特性を大きく左右する。例えば、粒界は高速拡散路となるため、酸化物の高温クリープを押さえるためには、粒径を大きくする必要がある。しかし、粒界を整合粒界にすることにより粒界拡散は抑制され、耐クリープ性も上げられる。その究極の例が共晶系の一方向凝固材に求められることがMGCで実証されている。アルミナはシリ系が少ないことから、この系を中心にYAG系あるいはGAP系の一方向凝固材を作製し、その粒界の構造を調べ、内部摩擦を測定して耐クリープ性に優れた複合材料の探索を行っている。

日本の炭素関連の大学研究者90名の力を結集して科研費の特定領域研究「カーボンアロイ」を1997-2000年まで実施し、2003年にエルゼビア社から“Carbon Alloys”を出版した。C/C複合材料に関しても、これまで世界的に注目される研究成果をあげているが、これをカーボンアロイとして飛躍的に展開させるべく、田邊助教授をはじめ他大学の先生方との共同研究として、界面制御並びにナノコンポジットを中心に研究を進めている。



## ソフト溶液プロセスによる高機能無機材料の創製

吉村 昌弘 教授 (R3-501)

<http://www.msl.titech.ac.jp/~yoshimura/>

### 1. 研究内容

現在の人類社会は高度に発展した材料と資源やエネルギーの多量の消費によって支えられています。今までの方法では、セラミックスを用いた製品を作るには高温焼成による粉体合成、粉碎、成形、焼結といった高温プロセスを幾度も用いなければならないものでした。これらはコストがかかると同時にエネルギーのムダも甚だしいものです。近年の環境問題に対応すべく、溶液を使ったプロセスもいくつか提案されていますが、いずれも焼成のプロセスがどこかに必要です。これらに対して私たちは「より環境負荷の少ないプロセスで高機能材料を作製する手法を開発しよう、それには生態系や地球環境にできるだけ近い常温・常圧付近の水溶液を用いるプロセスを用いるべきではないか」と考え、この手法や考え方を「ソフト溶液プロセス」と名付けようと世界に提案してきました。これは溶液中の反応、あるいは溶液と固体(基材)との界面での反応を熱、電気、電気化学、超音波、光、錯体、あるいはそれらの組合せなどによる励起をうまく使って、低温や低エネルギーの条件下で、いわゆる「環境にやさしい」高機能材料の作り方といえます。近年ではこれらの励起を局部的に組み合わせて行うことによるダイレクトパターンニング法も開発しました。また、既に広く実用化されているインク

ジェットプリンターを用いてPdSのバターニングにも成功しました。このように溶液中あるいは溶液から局所励起によって化合物セラミックスや半導体のダイレクトバターニング(図1)が可能になったことは画期的で世界中から注目されています。従来の溶液法がパターン形成後必ず焼成や熱分解を必要としていたことに比べて原料やエネルギーの消費が少なく排気ガスも出ないので、はるかに低環境負荷であるからです。さらにこの手法を応用するとセラミックス/金属/有機物を組み合わせたプロセスを構築でき、デバイスの直接作製までを溶液中でおこなえる可能性もでてきたことになり今後が大いに楽しみです。



図1 室温水溶液中でレーザー照射により直接作製したBaTiO<sub>3</sub>結晶性膜マイクロパターン

## 超塑性の粒界ネットワーク・ダイナミクス

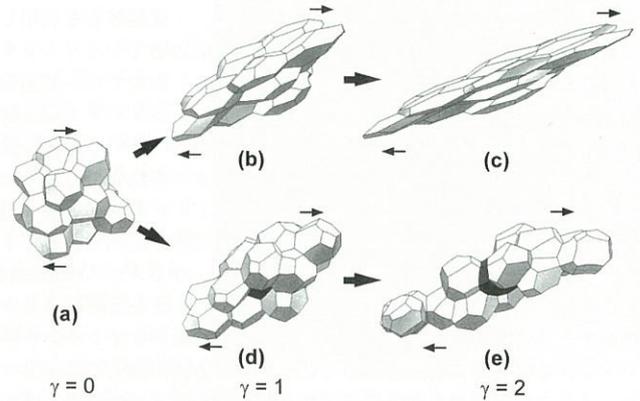
若井 史博 教授 (J1-502, 612)

未来技術のキーマテリアルとしてセラミックスが発展するためには、効率的でコスト競争力に優れたプロセス技術と、構造制御による飛躍的な機能、信頼性の向上が必要です。私たちは世界で最初にセラミックスの超塑性を発見し、それまで硬くて脆くほとんど変形することなく破壊することなく破壊すると考えられていたセラミックスの常識を打ち破りました。セラミックス超塑性の研究は、ジルコニアから窒化ケイ素、炭化ケイ素、バイオセラミックスへと展開しています。特に、最近、ジルコニア系複合材料で高速超塑性が実現し、超塑性を利用した成形加工技術は将来のセラミックス産業のあり方を一変させるかもしれない、という夢が少しずつ現実味を帯びてきています。

超塑性の特徴は図(a)に示した粒子クラスターが、図(b), (c)のような細長い結晶粒子となって伸びるのではなく、図(d), (e)のように等軸形状を保ちながら粒子が互いにすべって位置を入れ替えること(粒子スイッチング)で起こることです。これは、高温で結晶粒が極めて微細、サブミクロンからナノメートルスケール、になると起こります。

超塑性機構の研究を通じて、粒子間に作用する力と粒子の運動が、いかに粒界のネットワーク構造を変化させようかが垣間見えてきました。粒子界面の形成プロセスである焼結においても、超塑性と同

様に、粒子間の接触と分離、言い換えれば、界面の形成と消失という粒子スイッチングと似たようなことがおこっていそうです。私たちは粒界ネットワーク・ダイナミクスという視点から21世紀の材料科学の新しい地平を切り拓けるかもしれないと考えています。

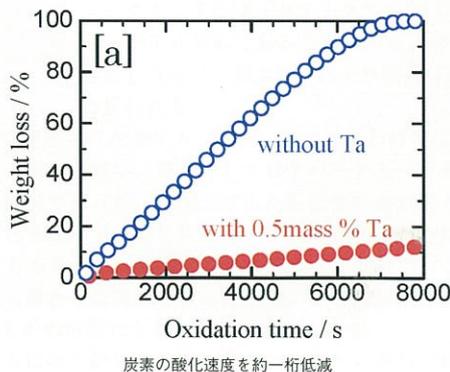


## 炭素系新規材料の創成と高速破壊挙動の解明

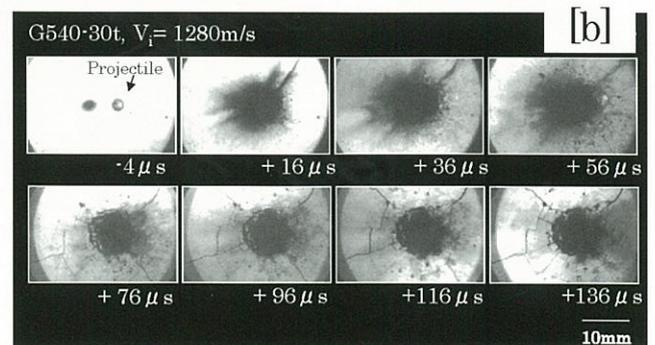
田邊 靖博 助教授 (R3-414)

エネルギーあるいは生体医用に関連したバルク状炭素系材料を省資源あるいは省エネルギーで創製する研究を進めています。研究の大きな柱は、前駆体あるいはプロセス中に他元素を作用させて優れた特性を有する炭素をデザインすること、溶液から所望の特性を有するSi-C-O系材料を作製する手法を確立すること、炭素化(熱分解)・黒鉛化機構ならびに酸化機構を解明すること、炭素系材料の高速破壊挙動(亀裂の発生・進展)を時間と空間をパラメータとして科学すること、です。

前駆体に特定の元素をごく少量(0.5mass%)添加することで耐酸化特性が飛躍的に向上することを見つめました[a]。ゾルゲル法を用いて耐酸化特性に優れた材料を通常法よりも200℃も低い温度で合成する手法



を確立しました。高い生体活性を有する自立膜を作製しました。非常に短い時間間隔でのin situ写真観察[b]と応力・歪計測を併用して炭素材料の高歪速度領域における特異現象を見いだしました。



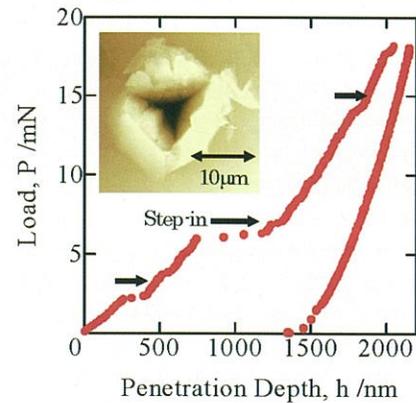
衝撃破壊過程の短時間観察写真 (1 μs露光)

## 局所高応力場でみるセラミックスの破壊と変形

赤津 隆 講師 (J1-502)

セラミックスは高温構造材料として実用化が期待されているが、典型的に「硬くて脆く」扱い難い材料である。それは亀裂先端、点接触部及び粒界等の極めて高い応力が集中するミクロな場での破壊や塑性変形に起因するからである。局所高応力場での力学的振舞いを探求し、優れた力学的性質を有するセラミックスの開発指針を得ることが基本的な研究方針である。現在では、(1)異種界面を利用した高靱性セラミックスの材料設計、(2)局所高応力場でのセラミックスの弾塑性変形、について研究を展開している。前者では、結晶粒界や複合材料中の異種界面を利用して元来脆いセラミックスを高靱性化するには如何なる微細構造デザインが必要か?という難問に挑戦している。具体的には、セラミックウイスキーを強化材としたセラミック/セラミック複合材料が通常セラミックスよりも高い破壊抵抗性を示す現象を実証し、その高靱性化機構を説明できるウイスキー亀裂面架橋モデルを提唱した。さらに、ウイスキーの配向状態やウイスキー/マトリックス界面の制御により更なる高靱性化が達成できることを明らかにした。一方、後者ではナノインデントーション法を駆使して研究を進めている。この方法の最大の特徴はセラミックスを室温でも塑性変形させる位の圧子直下での局所高応力場であり、それによる弾塑性変形解析から局所的な力学的性質を狙った場所で評価できることである。外的変形を排除した「真の押

込み深さ」を直接測定できるナノインデントーションを独自に開発することから研究に着手した。これを用いた精度の高い実験とFEMを用いたシミュレーションを併用してセラミックスのインデントーション挙動を評価・解析し、弾塑性変形と微細構造との関連から材料の「硬さ」について探求している。



高配向熱分解黒鉛のナノインデントーション挙動と圧痕のAFM像  
双晶変形に伴うStep-in挙動が観察される

## OBたより ~ The letter from OB ~

### 「大いに学び、大いに遊ぶ」

山梨大学 工学部 応用化学科 助手 宮嶋 尚哉

現在、山梨大学工学部応用化学科の助手として勤務しております。今年4月より新校舎(写真)へ学科が移り、併せて先の様に学科名も新たに変わりました。そのため昨年度は計3回の引越しがあり、1年の半分近くは30年以上も続いた研究室の歴史を片付ける作業に追われました。綺麗な校舎(吹き抜けの6階建て)で働ける喜びを感じたのはようやく最近になってのことです。所属研究室名も分離工学研究室と改め、スタッフ10名の小さな研究室ですが、イオン交換・吸着という現象を基盤に、高性能な環境浄化剤及びガス分離剤の開発とその技術システムの構築を行っております。

私が博士課程の学生として応用セラミックス研究所の安田・田邊研究室に在籍していたのは平成9年4月からの3年半ですが、現在も、共同研究等で両先生と交流を続けさせて頂いており大変感謝しています。さて、このような執筆の機会を頂き当時は振り返った時、最初に頭を過ぎったのは表題の「大いに学び、大いに遊ぶ」という言葉でした。研究室最初の歓迎会で、安田先生が20名程の所属学生の前で掛けられた言葉です。先生にとっては、メリハリを付けて学生生活を楽しみなさい、という何気ない応援のメッセージだったのかもしれませんが、右も左も分からない新参者の私にとってはその一言が強く心に残り、気持ちを新たにすることを覚えています。私が在籍した3年間は、文科省科研費補助金の特定領域研究「カーボンアロイ」が進行しており、「大いに学べ」の研究環境は十分過ぎるほど整えて頂きました。このプロジェクトに関わることとなった私は、その恩恵を一番受けていたかもしれません。世界の一線で活躍されている先生方から直接ご指導賜ることも数多く、短い期間ではありましたがイギリスのLeeds大学で勉強する機会も与えて頂きました。言うまでもなく「大いに遊ぶ」も十分実行しましたが、面白いことに遊びの中から得られることは意外に多く(研究に役立つこともそうでないことも)、2つの言葉がそれぞれ独立した意味ではないことにも気付かされました。

勝手ながら私も「大いに学び、大いに遊ぶ」を学生が研究室に配属になる際に、一緒にやり遂げようという気持ちを込めて使っております。言葉の本質はどうあれ、学生だけでなく常に自分自身に言い聞かせて、少しでも早くこの言葉が十分実践できる研究・教育環境が創れるようになればと思っております。応セラ研との共同研究をきっかけに、学生間の交流も少しずつですが始まりました。互いに刺激し合える関係を築いていきたいと考えています。「大いに学び、大いに遊ぶ」はまだ始まったばかりです。

最後に、今回このような機会を与えて下さいました広報委員の方々に感謝致します。



武蔵工業大学 工学部 建築学科 助手 大村 哲矢



写真は最近の筆者

私は修士課程に1993年に入学し、所属の専攻名は「環境理工学創造専攻」の前身である「環境物理工学専攻」であった。新旧専攻名が似ていると感じているのは私だけであろうか？新専攻名を未だ正確に覚えられず、本稿を執筆する際にも間違えては失礼であると思いHPで新専攻名を検索した。専攻名を「新」または「旧」などと言っているのは、私だけではないと願いたい。

私が入学した当時、「応用セラミックス研究所」は「工業材料研究所」であった。改組により研究所名が改名された。こちらは旧研究所名の名残がなく「応セラ研」という略称も覚えやすい。ただ、研究所の正式名称は「セラミックス」または「セラミクス」？(小さい「ッ」が入るのか?) 略称「応セラ研」と目頃から呼んでいると、どちらが正式名称であるか自信がないのは私だけではないと願いたい。「ceramics」の発音記号を辞書で調べてみようとしたが……残念!!、応セラ研は「Materials and Structures Lab.」となっており、それには様々な背景があると思われる。

検討に検討を重ねて命名された先生方に物言いをつけるわけでは決してなく、私の失礼な発言についてここにお詫び申し上げます。

話は変わるが応セラ研では毎年、草刈をしてビアパーティを楽しむことが恒例となっていると思う。私が学生のときも同様に草刈で汗を流した後のビールは格別であった。当時の学生たちは個性豊かな人材が多かった。うっかりしているとビールを冷やすための氷と冷水入りの大きなバケツに投げ込まれ、ずぶ濡れになっている者が何人かいたほど大騒ぎし、草刈の労をねぎらったものである。そのような大騒ぎをする者が多かったこともあり、私たちは先生方や応セラ研スタッフに迷惑をたくさんかけてきた。「親の心子知らず」……そのものである。修論・博論に関連した大掛かりな実験を行った際およびその試験体製作のときも先生方や多くのスタッフに支えられた。きっと、かけた迷惑は自分が気づいているものの何倍にもなっているであろう。

半人前の私も社会人になり約10年も経つと子の立場から親の立場へと移行しつつある。今までいかに先生方の懐に抱かれていたかをしみじみと感じるようになった。

この場を借りて先生方をはじめとするスタッフの方々に改めて感謝申し上げます。

1995年3月、環境物理工学専攻修士課程修了、2000年3月、同・博士課程修了(社会人)

すずかけ台キャンパスマップ& 応セラ研教官研究室マップ ~ Campus map ~

R 3 棟							
WC	601 和田研・坂田研	605	609 和田研	613			EV 6F
	602 安田研	606 坂田研	608	610	614	616	
WC	501 吉村研	503	505	507	509	511	EV 5F
	502	504	506	508	512	514	
暗室	401	405 石澤研	407	409	411	413	EV 4F
	402	404	406	410	412	414 田邊研	
WC	301	303	305 鯉沼研	307	309	311 安田研	EV 3F
	302		306	310	312	314	
WC	201	205	207	209	211	213	EV 2F
	202	206 安部研	210	212	216		
WC	101 鯉沼研(所長室)	105 秘書室	107 室長室	109 応セラ研 事務掛			EV 1F
	102 会議室	108 休養室	正面 玄関	112 倉庫	114 談話室		
		007	009	011	013		
	002	006	008	010	012	014	EV BF

J 1 棟							近藤研はR3-B2棟も公開いたします。
WC	901	903 田中研	905	909	913 近藤研		EV 9F
	902	904	906 中村研	908	910		
WC	801 山田研	809	813 伊藤・谷山研	815			EV 8F
	802	806	810	814			
WC	701	703	705	707	709	713	EV 7F
	702	704	706 阿竹研・川路研	710	714		
WC	601	605	609	613	615 神谷研		EV 6F
	602	606 細野研	608	610	612 若井研	614	
	501	503	505	509	511	513	EV 5F
WC	502	506 赤津研	508 佐々木研	510	512	516	
WC							EV 4F
					414		
					009	013	EV BF
		010	012	014 佐々木研			

R 3 - C 機能セラミックス研究棟						
2F	202	204	206	208	209	
	201	203	205	207		
	山内研・KARPPINEN研			吉本研		
1F	102 中村研					
			WC	104	105	
		101				
				103		

G 5 棟			
707 笠井研	708	709	
611	610 林研		
601	602	603	604
	篠原研		



応用セラミックス研究所ニュースレター通巻第13号

発行日 平成16年10月1日  
 編集・発行 東京工業大学応用セラミックス研究所  
 広報委員会  
 問い合わせ先 東京工業大学応用セラミックス研究所  
 〒226-8503 横浜市緑区長津田町4259 R3-28  
 TEL. 045-924-5967 FAX. 045-924-5978  
 電子メール h\_hirose@msl.titech.ac.jp  
 ホームページ http://www.msl.titech.ac.jp