

研究所が世界に発信する革新的研究分野 —すずかけ台キャンパス学術研究公開にあたって—

所長 鯉沼 秀臣

ドイツの古都、アウグスブルグで開かれた第10回「酸化物エレクトロニクス」国際ワークショップ（9月11-13日）の帰途、飛行機の中で締め切りを過ぎた研究所ニュースレターの原稿を書き始めた。我々が始めたこのワークショップは、日米欧のサイクルで開催され年々活発化している。応セラ研は「酸化物エレクトロニクス」研究分野の老家として認知され、世界の研究をリードしている。

今回のニュースレターは、10月24日に開催される「第1回すずかけ台キャンパス学術研究公開」記念号である。研究室の公開は、昨年までも大学院受験生を対象とする春のオープンキャンパスと一般参加者向けのすずかけ祭の一環（任意参加）として行なわれてきた。今年から、すずかけ祭は春のオープンキャンパスに連動して5月開催に変更された。一方、来年4月から施行される国立大学の法人化に伴い、大学の自由度は増大するとともに新たな基準による各種評価を受け、その存在意義、活動内容が問われることになる。特に、研究所は学生教育の負担が軽い分、科学技術創造立国の核となる基礎科学研究、産業の振興につながる応用研究を積極的に進める役割をアピールする必要がある。研究所では、設置目的であるセラミックスおよび建築材料・構造研究のCOEとして、高い研究成果をあげることはもとより、独自に開発した設備を整備して全国共同利用研の機能の拡大に努めている。今年から始まる学術研究公開は、すずかけ台地区の研究科、研究所が協力して、専門的研究者にも役立つ日頃の研究活動と成果をPRし、大学間および官学共同研究、産学協同研究への展開を目的としている。酸化物エレクトロニクス以外にも、研究所では以下のような革新的研究を推進し世界に発信している。

- *セラミックスのソフト溶液プロセス
- *ナノサーモダイナミクス
- *多元性創出エンジニアリングセラミックス
- *超免震・制振建築構造、リユース建築
- *コンビナトリアル材料科学技術

研究所公開にあたり、法人化を控えた研究所の新たな発展と社会貢献に御支援を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 2
「電子相関効果」が創り出す新規機能性材料	教授 山内 尚雄 2
酸化物の新機能を探索する	教授 伊藤 満 3
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 3
水溶性錯体を用いた環境調和プロセスの開発	助教授 垣花 真人 4
光とナノプロセスで新機能薄膜を創る	助教授 吉本 護 4
物質創製のための「酸素エンジニアリング」	助教授 M.カルビネン 5
異端の材料が持つ無限の可能性	講師 神谷 利夫 5

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 6
物質を揺さぶって新材料を探る	教授 近藤 建一 6
結晶内原子の電子・磁気状態を調べる	教授 佐々木 聡 7
X線をつかって結晶内の電子密度分布をみる	助教授 石澤 伸夫 7
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 8

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 9
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 9
地震エネルギーの吸収で建物を守る	教授 笠井 和彦 10
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 10

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 11
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 11
RC構造および木質構造の力学的挙動を探索	助教授 坂田 弘安 12
鋼構造建築の終局耐震性能の解明と展開	助教授 山田 哲 12

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 13
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 13
超塑性の粒界ネットワーク・ダイナミクス	教授 若井 史博 14
高温超伝導線材を目指して	教授 長谷川 哲也 14
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 15

2. OBたより	
情熱に終わりは無い	稲熊 宜之氏 16
コンクリートリサイクル	橋田 浩氏 16
The Materials and Structures Laboratory in My Life	Yury Gogotsi 氏 17
Chemistry of superconducting materials	Sergey Lee 氏 18
—my research activities in MSU~MSL~ISTEC—	柳 博氏 18
これまでの短い研究生活を振り返ってみて	研究と遊びの両立を目指す“コイヌマン”の一員として
	大友 明氏 19

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	
	 20

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たち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のです。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2-3, 2-1)

最近、多彩な電磁特性（高温超伝導や、巨大磁気抵抗効果など）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（カルビネン助教授の紹介文を参照）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研究を幅広く行っています。

我々はこれまでに、(1)最も実用化が進んでいる高温超伝導体 $(\text{Bi,Pb})_2\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10+\delta}$ の単結晶育成とその超伝導特性評価（図1）(2)超巨大磁気抵抗(MR)化合物 $\text{Sr}_2\text{FeMoO}_6$ のTa置換によるMR効果の劇的な増大（図2）(3)高効率熱電変換酸化物 Na_xCoO_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、近未来応用が期待されるハーフメタルな

どの新規機能性材料の開発を目指し研究を進めています。

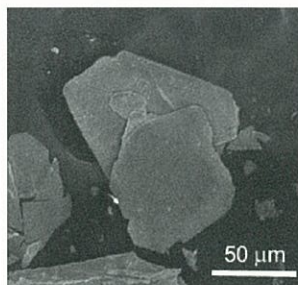
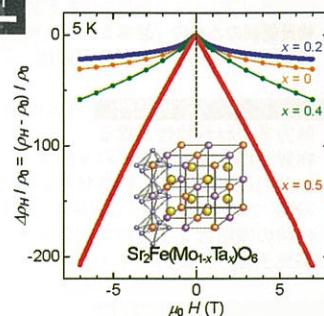


図1： $(\text{Bi,Pb})_2\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10+\delta}$ 単結晶

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LaCoO₃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SrTiO₃というペロブスカイトの強誘電転移温度T_c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。

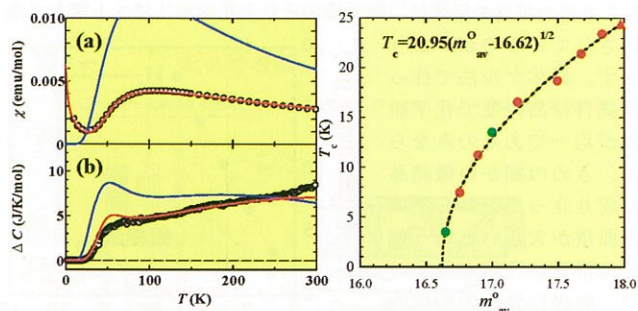


図1 LaCoO₃の磁化率と比熱。
○；実測値、赤線；計算値
(負の協同効果を考慮)、青線
(負の協同効果を考慮せず)

図2 SrTiO₃の酸素の平均質量と
T_cの関係。赤は¹⁸O、緑は
¹⁷O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、光照射により典型的絶縁物質の透明電子伝導体への変換、最強の酸化剤O⁺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光ファイバーなどを実現している。また、最近、干渉フェムト秒レーザーパルスでLiF

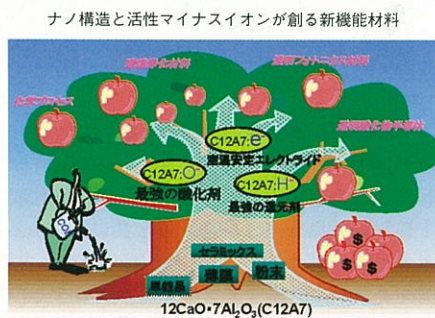


図1 ナノボウル結晶
12CaO·7Al₂O₃から創る驚異の新機能

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カラーセンタレーザが実現できました。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、基礎科学的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.に6報, Advanced Mater.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。

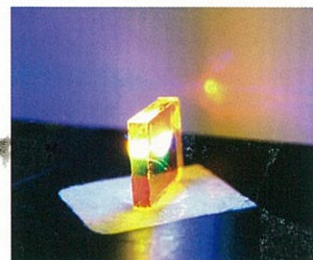
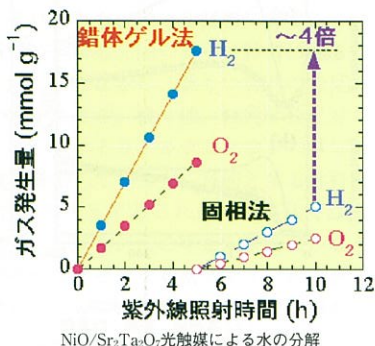


図2 LiF結晶中に光パルスの書き込みで実現したDFBカラーセンタレーザ

水溶性錯体を用いた環境調和プロセスの開発

垣花 真人 助教授 (R3-511)

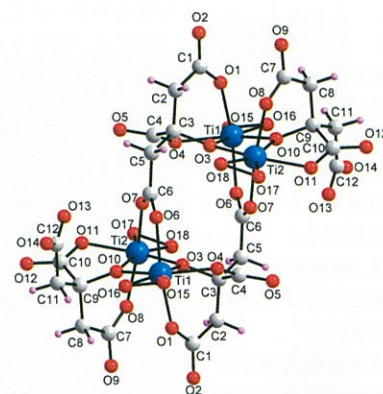
温和な条件でしかし選択性、加速性を有する溶液反応系に基礎をおく新規錯体ゲル法による機能性セラミックス（光触媒、超伝導物質、誘電体など）の合成と高機能化を展開しています。一例として、紫外光照射下で水を水素と酸素とに分解できる光触媒 $\text{NiO}/\text{Sr}_2\text{Ta}_2\text{O}_7$ の活性テストの結果を図に示します。「錯体ゲル法」により得た試料の活性は、従来法のそれと比べて4倍！と著しく改善されているのがわかります。錯体ゲル法で作った試料は高純度で化学組成が均一であるのみならず、きめの細かい微結晶で成り立っており、その表面積が大きいという他では得難い性状を示すので、触媒作製法の画期的な方法として注目されています。



$\text{NiO}/\text{Sr}_2\text{Ta}_2\text{O}_7$ 光触媒による水の分解

錯体ゲル法の発展的研究として、環境負荷の軽減を可能にする水溶性錯体と中性の水を用いた環境調和プロセスの展開があります。実際に私たちは、水に不溶であったチタン化合物の水溶化と無毒化

を同時に実現させるという画期的な錯体化学技術の開発に初めて成功しました。図は当研究室で発見した水溶性チタンペルオキソクエン酸アンモニウムイオンの構造を示しています。この化合物を用いれば、引火性・毒性・腐食性などを有する溶媒を使用しないで済みますので、中性の水を溶媒とするセラミックス作製プロセスやプラントの構築が容易になります。当該化合物は工業化され、環境調和および安全性を兼ね備えた新製品として市販もされています。安全な中性の水を溶媒として用いた環境調和型水溶液プロセスへの転換を実現し、グリーンケミストリーの観点から本技術を普及させることを目標としています。



水溶性チタンペルオキソクエン酸イオンの構造

光とナノプロセスで新機能薄膜を創る

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)

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。

ナノテクノロジー

新材料 環境 エネルギー

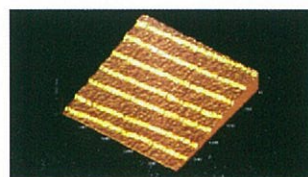


図1 ナノステップ基板

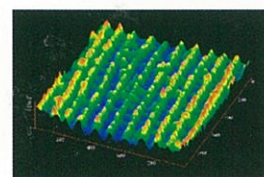


図2 強磁性ナノ細線配列

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)、ダイヤモンドライクカーボン (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

物質創製のための「酸素エンジニアリング」

カルピネン・マーリット ヨハンナ 助教授 (R3-C, 機能2-1, 2-3)

「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 ($\text{BiPb})_2\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10+\delta}$ 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 $\text{Na}_{0.36}\text{CoO}_2 \cdot 1.3\text{H}_2\text{O}$ のCoの酸化状態の決定、などを行い、特異物性と酸素不定比性に関する統一的理解に貢献しました。

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。

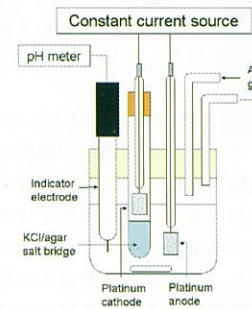


図1: クーロメトリー滴定法の実験装置

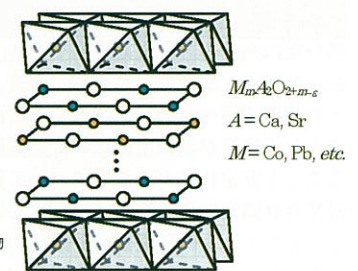


図2: ミスフィット層状コバルト酸化物の結晶構造

異端の材料が持つ無限の可能性

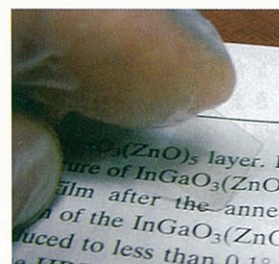
神谷 利夫 講師 (J1-615)

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。

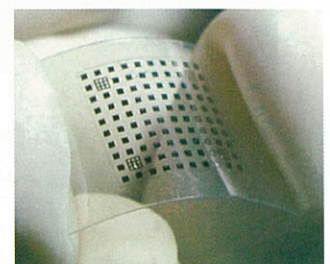
酸化物の多くは典型的な絶縁体であり、また、Zn(S,Se)に代表されるII-VI族半導体の開発が頓挫したこともあり、酸化物の電子機能材料としての可能性は過小評価されてきた。それにもかかわらず私たちは、酸化物が潜在的に有する新しい可能性を信じ、新機能材料の開発を行ってきた。

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)低キャリア濃度の精密制御、(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(左写真)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(右写真)。

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。透明トランジスタを作製した $\text{InGaO}_3(\text{ZnO})_5$ もそのような材料のひとつである。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ソスコピックデバイスを自己組織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) プラスチック上に作製したアモルファス酸化物ダイオード

熱力学で材料物性を探る

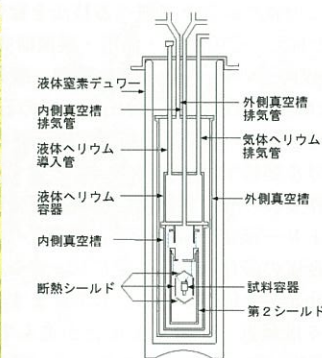
新材料の開発のためには物質の凝集機構の本質的な理解が不可欠です。私たちの研究室では、材料の機能性発現機構にかかわる構造と物性、とりわけ相転移現象に着目して主として熱力学的立場から基礎的研究を行っています。結晶中の物理的および化学的純度と微視的構造に基づき、誘電特性、イオン伝導性、超伝導性などの特性を理解し、相転移機構を解明しようとしています。とくに、世界最高精度の断熱型熱量計による精密熱容量（比熱）測定をはじめ、誘電率および磁化率測定、さらに種々の分光学的手法により結晶中の原子、分子運動の詳細を調べており、熱履歴現象や粒度効果、さらに歪や界面エネルギーの効果などについても検討しています。また、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

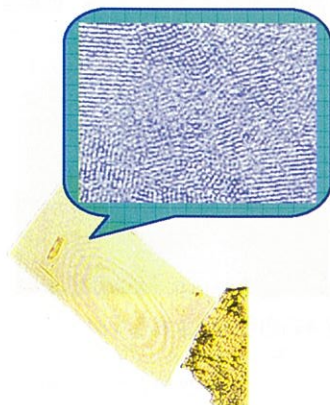
さらに熱力学的物性測定法の開発の観点から、本来熱力学的平衡状態で定義される静的物性量である熱容量の動的側面をとらえる熱容量分光法を開発しています。ガラス転移などの緩和現象が関与すると熱容量に周波数依存性が観測されるため、ガラス転移における緩和機構について詳細な解析を行っています。



断熱型熱量計

物質を揺さぶって新材料を探す

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5 nm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

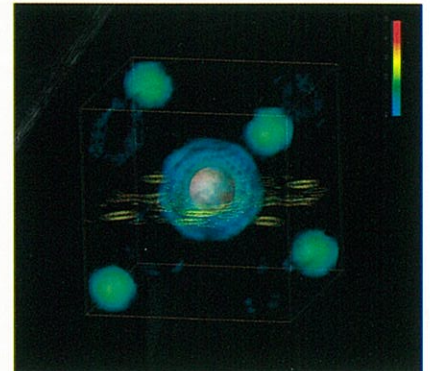
高温超伝導銅酸化物をはじめとする強相関電子系化合物では、電荷とスピンをもつ電子の振る舞いが特に重要である。スピントロニクスを利用して、新しい物性をもつ未来型機能性材料を開発するためには、原子が結晶という環境に束縛される結果として変化する電子状態や磁気構造を明らかにする必要がある。

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線の価数分離（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)

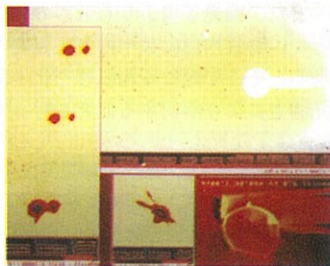
ている。他に、酸化物高温超伝導転移、 MgB_2 の超伝導転移、フェライトでの陽イオン分布や電子密度分布、スペckルと強誘電体メゾスコピック構造、Co-TiO₂系薄膜の磁気構造などの研究が行われている。



magnetite (A site) でのFeイオンの電子分布

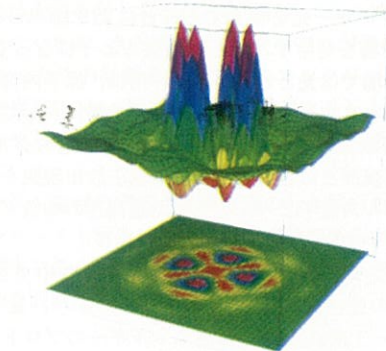
X線をつかって結晶内の電子密度分布をみる

本分野では、結晶内の電子密度分布、原子配列、結合状態などを単結晶X線回折法により正確に求め、物性との相関の解明を目指している。従来法と異なる点は、シンクロトン放射によって得られる強いX線を利用して10ミクロン程度の大きさの微小結晶を試料とすることにより、X線の消費現象をほぼ無視できる条件下で実験を行う点にある。このような実験手法の改善によって、今まで不可能に近かった精密な測定が可能になりつつある。成果として、酸化物高温超伝導体の電子密度分布、高酸素イオン導電性を示す希土類-ジルコニア固溶体結晶における原子配列の乱れ、カルコパイライト型光変調結晶の圧力誘起構造相転移の解明などをあげることができる。



サブミクロン大の大きさをもつ
チタン酸バリウム微小結晶の90°分域の
放射光ラウエ像

石澤 伸夫 助教授 (R3-405)



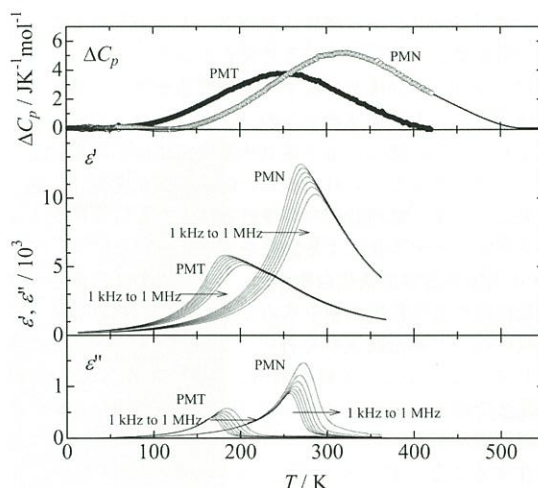
希土類元素を固溶した
立方晶系ジルコニア結晶中の
ジルコニウム原子の位置の乱れを示す
差フーリエ図

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 ($TW=10^{12}W$) 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 $10^{15}W/cm^2$ 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 $10^{17}W/cm^2$ 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)

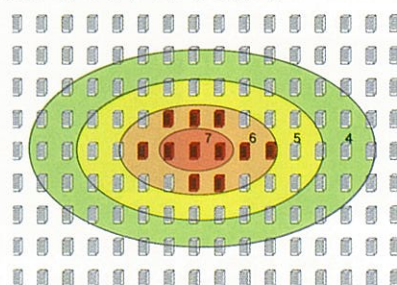
耐震構造として、免震構造、強度抵抗型構造、パッシブ制振構造、骨組の靱性に期待する構造など多くの方法が研究され、実際にこれらの方法により多くの建築物が建設されている。最も大きな耐震性を期待できるのが免震構造であり、兵庫県南部地震（1995）以前まで最も信頼されていた骨組の靱性に期待する構造は建築の総合的な耐震性として疑問があることがはっきりしてきた。技術への驕りは避けるべきであるが、設計用地震動の性質と大きさを決めれば、上記の4種の構造法それぞれの可能な範囲で、望む性能を発揮する耐震構造の設計が可能な段階になったといえる。

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はほぼ同じ費用で、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。

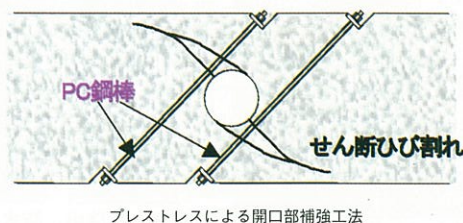
柱の崩壊過程と損傷評価：中小地震動による柱のひび割れは、経験したせん断応力やその後の耐久性を推定する上で重要な情報である。中小地震後の性能保証設計や地震後の被災度診断を目的として破壊に到るまでのひび割れの進展を経験せん断応力と関連付け、柱の損傷予測と評価に関する研究を行っている。

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ト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、耐久性は大幅に向上するが、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/mm²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。

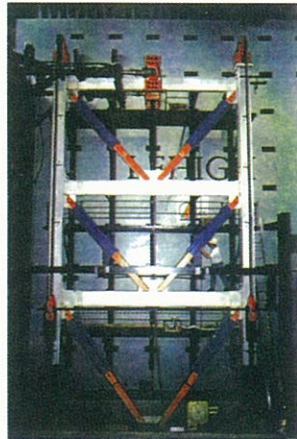
プレキャスト部材の利用：品質管理の行き届いた工場で作成するプレキャスト構造は損傷抑制上有効であるが、部材間の接合部に弱点が生じる。プレキャスト接合部における力の伝達機構の解明と合理的な設計法の確立を目指している。



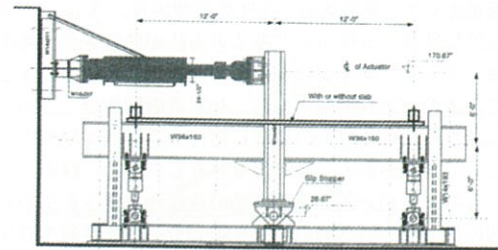
地震エネルギーの吸収で建物を守る

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

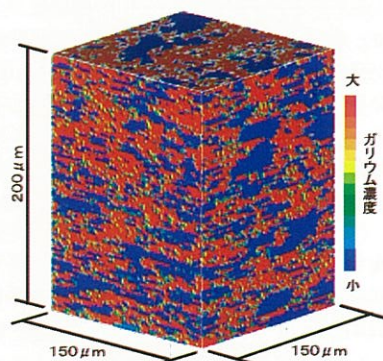


実物大鉄骨梁・柱・接合部の実験
(梁は高さ90cmのもの)

耐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。耐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圧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圧入法を開発し、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。さらに最近是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)

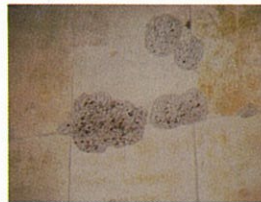
新宿歌舞伎町雑居ビル、旭化成延岡工場、新日鐵愛知製鉄所、ブリジストン黒磯工場など、衝撃的な火災事故が新聞紙上を賑わしている。特に、テロ行為による火災で上層階の破壊に起因したニューヨーク国際貿易センタービルの全体崩壊は衝撃的であった。

我が国では、年間、六万件を超す火災が発生し、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 $60\text{N}/\text{mm}^2$ 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



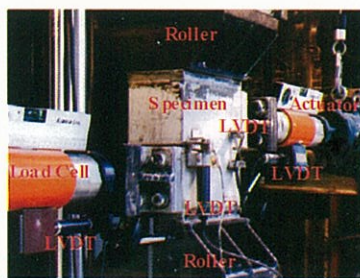
写真① 爆裂による表面コンクリートの剥落（東工大・火災）
写真② 安山岩系骨材コンクリート供試体（加熱温度800℃）
写真③ 石英質粗骨材コンクリート供試体（300℃で爆裂破壊）

多軸応力下におけるコンクリートの力学モデル

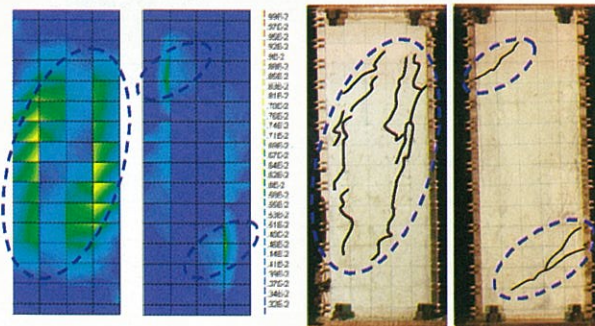
篠原 保二 助教授 (G5-602, 603)

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



ひび割れひずみコ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索

坂田 弘安 助教授 (R3-606, 601)

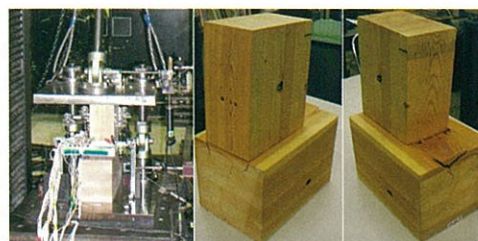
鉄筋コンクリート構造物および木質構造物の力学的挙動の解明と安全性確保の確立を目指して、研究を行っている。主な研究課題は、以下の通りである。

鉄筋コンクリート構造

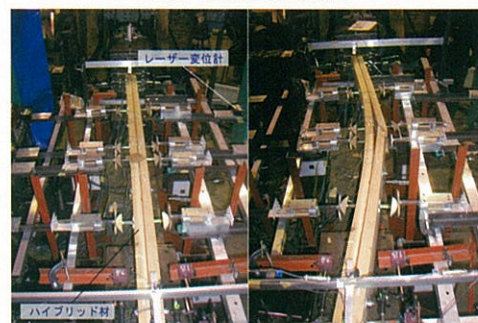
- ①地震外力を受ける柱のひび割れ損傷に着目した新たな損傷指標の確立に向けた研究
- ②応力場から構築した曲げおよびせん断に対するマクロモデルを用いた変形解析
- ③損失制御設計を目指したPC圧着関節十字型骨組力学的挙動に関する実験

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の力学的挙動に関する研究



回転めり込み加力後の試験体



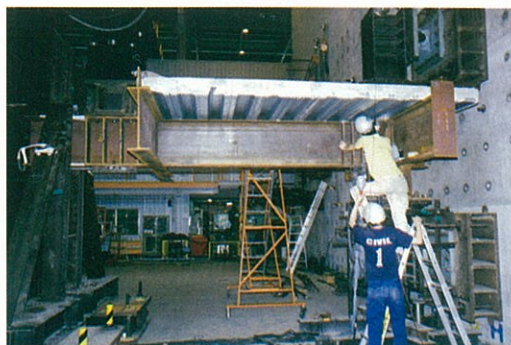
加力前 加力後（全体座屈）
「国産杉集成材+薄鋼板」のハイブリッド材圧縮実験

鋼構造建築の終局耐震性能の解明と展開

山田 哲 助教授 (J1-801)

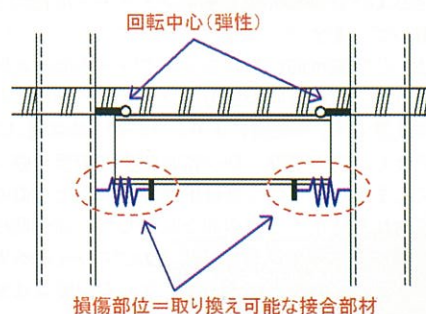
兵庫県南部地震では、多くの鋼構造建築で設計時に想定されていなかった梁端部における破断被害が発生しました。地震が設計レベルをはるかに超えるものであったことが多くの被害が発生した最大の原因ですが、研究者や設計者が鋼部材の変形能力を過大評価していたことも一因と言えます。梁端部において破断が発生するまでの変形能力については、地震被害が発生して以降も、早期に破断が発生した最大の要因である「床スラブ」の存在を反映しない研究が多く、変形能力を過大評価するデータに基づいて耐震性能の評価が

行われています。山田研究室では、韓国浦項産業科学研究院と共同で、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

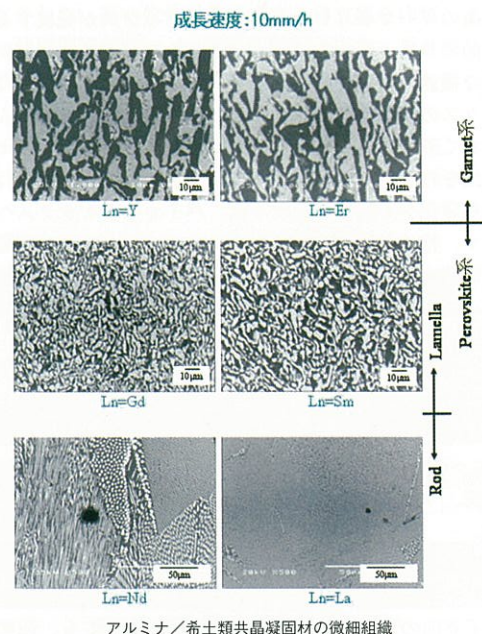


無機系複合材料の界面制御に関する研究とカーボンアロイの開発

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。アルミナは珪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所的に組み合わせる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のパ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パターニング(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BaTiO₃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

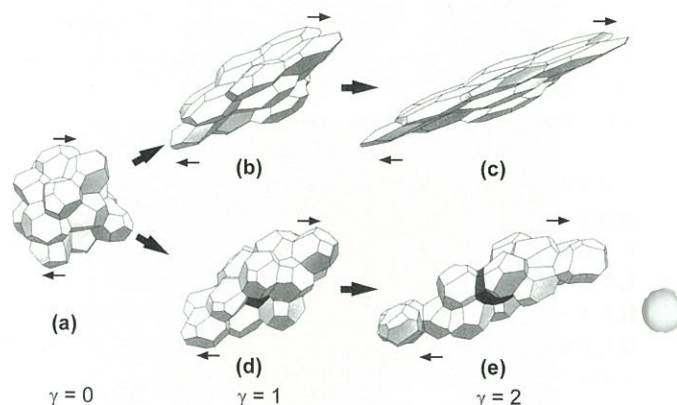
若井 史博 教授 (J1-502, 612)

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思わ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る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るように思います。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。

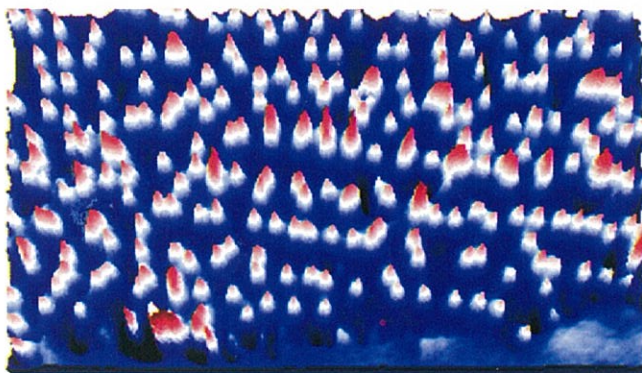


高温超伝導線材を目指して

長谷川 哲也 教授 (R3-211)

高温超伝導線材化を用いた送電ネットワークは、エネルギー問題を一挙に解決する魅力を含んでおり、物理、化学、工学など様々な面から研究が進められています。ここで、最大のネックとなっているのが、比較的高い温度では、線材に流せる電流値が急激に低下するという問題です。超伝導体に電流を流すと、必ず磁場が発生しますが、ある程度磁場が強くなると、超伝導体の一部に磁場が侵入し、量子化磁束を形成します。この量子化磁束が、電流によりローレンツ力を受けて動くと、エネルギーが失われ、もはや抵抗ゼロではなくなってしまいます。従って、多くの電流を流すためには、量子化磁束を捕捉するための、何らかの構造を導入する必要があります。問題はその大きさであり、特に高温超伝導体の場合、ナノメートル(=10億分の1メートル)程度の微細な構造が効果的であると考えられていますが、具体的に何が有効かは良くわかっていません。そこで、電子の分布や量子化磁束の周りの磁場の分布を精密に測定できる特殊な顕微鏡を用い、ナノ構造と量子化磁束との関係について調べてみました。まず、Pbを添加したBi系超伝導体について、超伝導状態がどの程度均一であるか測定した結果、まさにナノメートルのスケールで、超伝導領域と非超伝導領域とに分離(電子相分離)していることがわかりました。これは、特に低温で量子化磁束を有効に捕捉すると思われられます。このような不均一性は、高温超電導

体に特有な性質であり、酸素原子の配置の乱れと関係しています。一方、La系超伝導体では、下図のように、化学組成の僅かな揺らぎに従って、量子化磁束が細くされる現象を見つけることができました。もし、ナノメートルのスケールでこのような構造を作り出すことができれば、大電流を流す線材も夢ではありません。



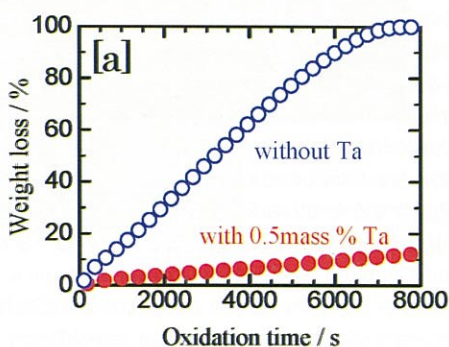
La系超伝導体に捕捉された量子化磁束

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)

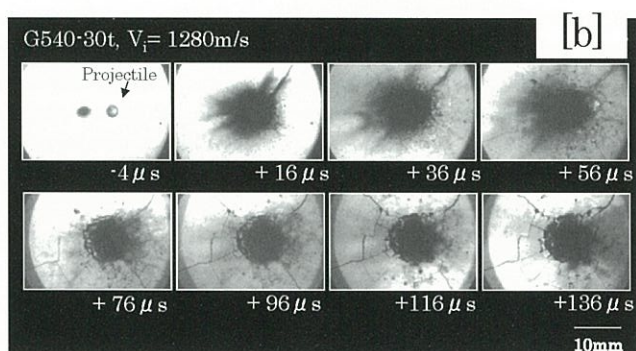
エネルギーあるいは生体医用に関連したバルク状炭素系材料を省資源あるいは省エネルギーで創製する研究を進めています。研究の大きな柱は、前駆体あるいはプロセス中に他元素を作用させて優れた特性を有する炭素をデザインすること、溶液から所望の特性を有するSi-C-O系材料を作製する手法を確立すること、炭素化（熱分解）・黒鉛化機構ならびに酸化機構を解明すること、炭素系材料の高速破壊挙動（亀裂の発生・進展）を時間と空間をパラメータとして科学すること、です。

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



炭素の酸化速度を約一桁低減

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。



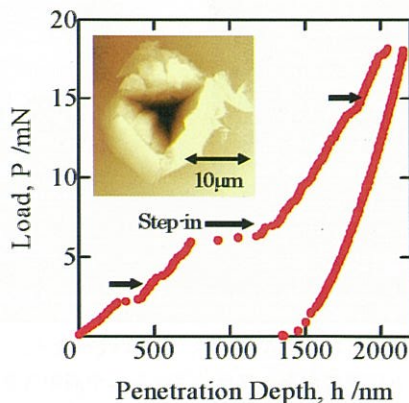
衝撃破壊過程の短時間観察写真（1 μs露光）

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の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 ~

情熱に終わりは無い

学習院大学 理学部 化学科 教授 稲熊 宜之

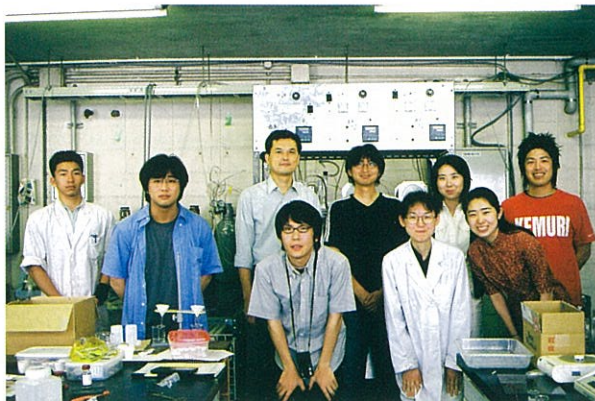
私が応用セラミックス研究所を離れ、学習院大学に移ってから今年で5年目になります。外見は髪の毛がやや後退し少し白くなりましたがいつも若い人と過ごしているせいかなり変わっていないと自負しています。応セラ研との関係は現在も続いており、伊藤先生や石澤先生をはじめ諸先生方には共同研究等でお世話になっています。

私が所属する理学部では、講師以上の教員が独立して研究室をもち、若手には研究費を多く与えるというかなり自由で暖かい雰囲気で行っています。反面、責任の重さを常に感じています。写真は、今年度の研究室のメンバーです。スタッフは、私と助手の勝又哲裕博士（伊藤研出身）の2名、学生は7名の計9名です。この中で学部4年生が5名と研究室の大半を占めています。したがって、研究への意欲を保ちつつ、いかに学生を教育するかが重要です。研究所との違いは学部教育に重きを置いているという点です。かなりこれに時間を費やしていることは事実です。しかし、学部での講義と学生実験だけでは不十分で、やはり研究室での研究が教育にとって必須であると考えています。「君の大学では、講義と学生実験だけあればいいよ」と言われたらもう存在価値はないでしょう。幸いにして勝又博士、そして学生とともに研究のための最低限の環境を整えることができ、あとは成果を出すだけです。いまだ、柱になるものは出てきていませんが、学習院大学でそしてこの研究室から新しい研究を発信することをつねに意識しています。学生には、「どんな小さなことでもよいから自分で何かを見つけて下さい。それが研究者としての第一歩だよ。」と言っています。将来どこへいっても柔軟に対応できるようになってくれればよいですね。

最後になりましたが、皆さんがこの文章を読まれている頃には、フランスにいる予定です。来年の3月までルマンにあるMaine大学に客員研究員として滞在する機会を得ました。現在、付け焼刃でフランス語を学んでいます。年齢には勝てずなかなか大変です。しかし、久しぶりに新しい事を学ぶ新鮮さ、言葉を通じて新しい文化に触れる楽しさも同時に感じています。果たしてフランスで研究漬けの生活を送っているのでしょうか。そして、日本に戻ってから研究教育に打ち込んでいるのでしょうか。「情熱に終わりは無い (La passion n' a pas de fin.)」と自分に言い聞かせて。

応用セラミックス研究所（工業材料研究所）助手として在籍

中村・伊藤研 平成3年10月～平成5年3月 伊藤研 平成5年4月～平成10年3月 澤岡研 平成10年4月～平成11年3月



コンクリートリサイクル

清水建設株式会社 技術研究所・生産技術開発センター
主任研究員 橋田 浩



現在私は、ゼネコン（総合建設会社）の技術研究所に勤務しています。ご存知の通り、業界は未曾有の不況ですが、従来の収益構造から脱却するため、スクラップ&ビルドの形態から、発注者により良いパートナーシップを組み、ライフサイクルを通じた施設建設・運用を行う形態へと、事業転換を推し進めています。環境ビジネスに積極的に取り組んでいるのもその一環と言えます。

私の主な業務は、コンクリートの材料・施工に係る研究開発です。現在、通常のコンクリートと変わらない品質をもつ再生コンクリートの実用化、汎用化を目指したプロジェクトのリーダーを任されています。解体された廃コンクリートから、砂利・砂（骨材）を出来るだけバージンに近い状態で取り出し、新規のコンクリート用骨材として再利用するシステムで、既に3物件の建物でこのシステムが採用されました。（写真は全てこの再生コンクリートで建設された建築物第1号です。世界的に見てもおそらく初めてでしょう。）廃棄物抑制のみならず、膨大な天然骨材採取に伴う自然破壊も抑制できる理想的な技術です。残された課題はその製造コストですが…。ただ、それを承知でこのシステムを採用してくれる

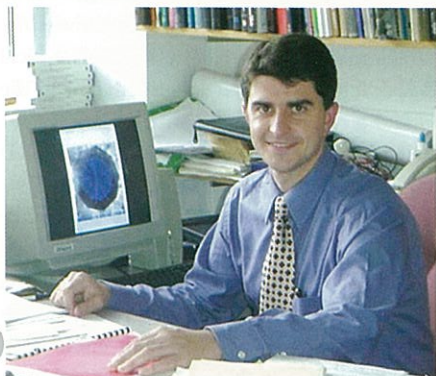
発注者（企業）もいるということが、心強いですね。

コンクリートは従来から、フライアッシュや高炉スラグなど他産業の副産物を多く受け入れてきました。セメントの原料・燃料は廃棄物利用割合が高く、廃棄物処理の救いの神的存在になっています。でも…何でもかんでもセメントやコンクリートに混ぜてしまえば良いという風潮があり、コンクリートに携わる技術者として、違和感（危機感というべき）を持っています。だからこそ、リサイクルの本質に立ち返り、多少コストは高くても、品質を維持したきちとした再生コンクリートを造ろう…それが使命だと考えている今日この頃です。実は、コンクリートに限らず、廃ガラス、廃タイル、廃木材、そしてこれらの建設混合廃棄物は、近い将来、大きな社会問題になるのではと危惧しています。応用セラミックス研究所の皆さんが、科学技術でこれらの廃棄物問題のいくつかを解決してくれることを願って止みません。

応用セラミックス研究所（工業材料研究所） 助手として在籍（小池・田中研究室）

The Materials and Structures Laboratory in My Life

Yury Gogotsi, PhD, DSc
Professor of Materials Science and Engineering,
Mechanical Engineering and Chemistry
Director, A.J. Drexel Nanotechnology Institute
Associate Dean of the College of Engineering
Drexel University, Pennsylvania, USA



Is Japan worth a year of your life? The answer is certainly “yes,” if you spent this year at the Materials and Structures Laboratory (MSL) of the Tokyo Institute of Technology (Tokyo Tech).

I came to Tokyo Tech to work with Professor Masahiro Yoshimura as a Fellow of the Japan Society for the Promotion of Science (JSPS) more than ten years ago, in October 1992. At that time I was already quite an experienced researcher with numerous journal papers and a book in my portfolio and had a well-defined area of research interests. However, the year that I spent at the Materials and Structures Laboratory was a turning point in my career. After my stay at Tokyo Tech, the direction of my research activities changed. Several of my current lines of research started at MSL, beginning with the use of Raman spectroscopy in materials research. I gained my first experience with a Raman spectrometer at MSL and fell in love with that technique. Now I have one of the best-equipped Raman

microspectroscopy facilities in the US, with lasers ranging from deep UV to near-IR, and numerous attachments such as a hot stage, mapping stage, AFM/NSOM and others. At Tokyo Tech, I was also introduced to “hydrothermal research” – another method I’ve relied on for more than a decade now. Finally, it was at MSL that my work on carbon began. Prof. Yoshimura and I published a paper on Hydrothermal Carbon in *Nature*, 1994. Today, carbon materials play an increasingly important role in my research, with more than half of my research group now working on carbon nanotubes, fibers, coatings, diamond and graphite.

There are many things that I tried for the first time in Japan – from eating raw fish to publishing in *Nature* magazine. What is more surprising – I liked most of them! As a European who had never visited Asia before that trip, I experienced a culture shock during my first months in Japan; but I left this country with a much better understanding of Japanese culture, mentality and way of living and working. This experience enriched my life and the life of my family.

Another very important aspect of my experience at Tokyo Tech is that the link to Tokyo Tech was not lost after I moved back to Europe and later to the US. We continued publishing and doing funded and informal research with Professor Yoshimura. At this time, we have about two dozen joint publications including papers in the most prestigious research journals, a patent and a book chapter. This collaboration has brought us an S. Somiya Award for International Cooperation from the International Union of the Materials Research Societies (IUMRS), and Kuczynski Prize from the International Institute for the Science of Sintering.

A new stage of my interaction with MSL starts this year – two of my PhD students will go to Japan to attend conferences organized by Prof. M. Yoshimura and one of them will conduct experiments at MSL and gain experience in one of the best equipped labs in the world. I hope that MSL will open for them a window to the big world of international research opportunities, as it did for me.

応用セラミックス研究所 吉村研究室 ポスドクとして在籍

Chemistry of superconducting materials

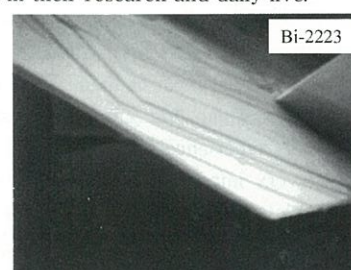
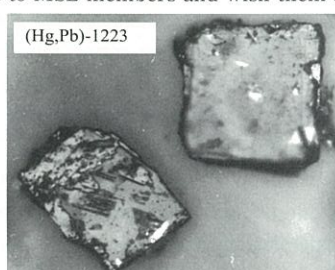
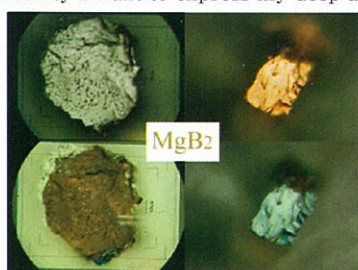
— my research activities in MSU ~ MSL ~ ISTECS —

超電導工学研究所 (STEC-SRL) Dr. Sergey Lee

I joined the Materials and Structures Laboratory (MSL) at Tokyo Institute of Technology in September 1997 as a JSPS fellow. Two years earlier I met Prof.H.Yamauchi (who initiated my application for JSPS fellowship) during conference on high T_c superconductors organized by Moscow State University (MSU). At that time I worked in MSU as a researcher of the Department of Chemistry studying Hg-based superconductors, discovered in 1993 on our department. These compounds were also a main topic of my activity in Prof.H.Yamauchi's lab. During two years, working in close collaboration with T.Akao and Dr.H.Suematsu, we succeeded in synthesis and crystal growth of high quality triple-layer Hg-1223 compounds with 2 partially substituted cation sites using modified encapsulation technique, which was not a trivial task at that time. By pure chemical approach we were able to reach a record high characteristics (irreversibility field and critical current density) at $T > 100\text{K}$. Studying these compounds we also found a peak effect in the J_c -H characteristic which was attributed to the existence of cation compositional modulations of the order of deca-nanometers. Working abroad I had a continuous support from my former MSU students. Finally, one of them (N.Kiryakov) came to MSL as an exchange student supported by Monbusho and in 2002 got a Ph.D degree under supervision of Profs. M.Karppinen and H.Yamauchi.

In 1999 I moved to the International Superconductivity Technology Center (ISTEC) and switched my research activity to another compounds and synthetic techniques. In spite of different chemical systems my personal interest remains unchanged: synthesis and crystal growth of emerging superconducting compounds, their chemical and structural modifications and study of its correlations with the practically important properties. As an example, we succeeded in fast synthesis and crystal growth of Pb-free and Pb-doped Bi-2223 phase by alkali chlorides flux technique and more recently in crystal growth of pure and carbon doped MgB_2 in Mg-B-N system under high mechanical pressure. Owing to these "rare" crystals we are able to perform the fundamental studies of these superconductors in collaboration with many research groups over the world.

Working in different institutions we still keep close personal and scientific contacts with the MSL colleagues and students and try to help each other in various aspects. I would say that in all senses I am considering MSL as my *alma mater* in Japan and taking this nice opportunity I want to express my deep appreciation to MSL members and wish them all the best in their research and daily live.



応用セラミックス研究所 山内研究室 研究員として在籍

これまでの短い研究生活を振り返ってみて

東京工業大学 応用セラミックス研究所 細野・神谷研究室
助手 柳 博

修士課程で東工大に入学した時から、私の応用セラミックス研究所での研究生活が始まりました。ここに来て最初に驚いたことは、研究に必要な実験設備がほぼ揃っていた事でした。学部時代にいた大学と比べると、それは全く信じられない事でした。ここで最初に取り組んだことは、市販されていない正逆光電子分光装置を立ち上げるというものでした。家が軒建ちそうな値段もする装置を、ほとんど素人同然である修士の学生の手任せた先生方も賭けであったと思いますが、任された方の身としてもなかなか大変なものがありました。しかも期限を半年と区切られていましたので尚更でした。しかし、この時に得た自信と経験は、今でもいろんな場面で生きているように思います。

博士課程の3年になる春に、初めてアメリカの学会で発表する機会に恵まれました。応用セラミックス研究所は、自分の努力次第で、学生であってもこういうチャンスをつかめる所なのだなと思いました。まさか通るとは思わずに応募したGraduate Student Awardsの最終選考会にも参加できたことは、私にとっては幸運で、刺激的でした。私はここで、こういう場で行うべき発表というものを、根本的に勘違いしていたことに気づかされました。最終選考の場でも「研究成果」を伝えることに重きを置いたのですが、アメリカの学生は「自分の独創性」を伝えることに終始していました。この時は目から鱗が落ちる思いがしました。完敗でした。このときの経験がどうしても忘れられず、さんざん迷った末、次の進路としてアメリカでのポストを選びました。

アメリカの地方大学へ私は行ったので設備面ではなかなか厳しい状況でした。実験のアイデアが浮かんでも、なかなか試せずに苦勞もしました。ただそれでも学ぶべきことは多々ありました。また、アメリカでお世話になった先生方は応用セラミックス研究所の先生方の研究をかなりよくご存知で、この研究所が世界的に注目されていることを改めて実感もしました。百聞は一見にしかずとはよく言ったもので、耳で聞いたアメリカと体感したアメリカには多少な違いがあったように思います。感じるものは人それぞれ違うと思いますので、興味がある人は行ってみるに限ると思います。

2年間のアメリカでの生活を終え、今年の7月からはまた、応用セラミックス研究所のお世話になっています。

研究と遊びの両立を目指す“コイヌマン”の一員として

東北大学金属材料研究所 超高压化学研究部門 川崎研究室
助手 大友 明

現在、私は東北大学金属材料研究所に所属し、助手として酸化物量子井戸構造を用いた光機能性デバイスや透明電界効果トランジスタに関する研究を行っています。私は、学部4年次に無機材料工学科から応用セラミックス研究所へ移り、当時高温超伝導薄膜デバイスにおける先進的な研究をされていた鯉沼先生の研究室に入りました。鯉沼研究室との出会いはその前年の1993年、当時私が東工大ヨット部に所属してときに遡ります。部費集めのために企画したヨット試乗会の催しに研究室の皆さんが参加されたのをきっかけに鯉沼研究室に興味を抱くようになりました。自分にぴったりのと思った鯉沼研究室も、所属して初めてその厳しさを知らされました。実験着はジャージが基本、朝から晩まで実験見習いと雑用、深夜から明け方近くまで飲んで適当なところに寝場所を探して崩れ落ちるという毎日でした。その反面、研究室で所持していたヨットやスキーツアーで余暇は存分に楽しみました。たまった鬱憤をたびたび研究室の先輩への暴言で晴らすというたちの悪い後輩だった私は、いまでも同窓会で非難的になりますが、当時はそれくらい研究にも遊びにも直球勝負でした。後で聞いた話によると、ジャージを着てタッパーウェア（実験道具や試料を持ち運ぶのに重宝していた）を持ち、駆け足で廊下や建物間を移動する私たちは、他の研究室の学生達に“コイヌマン”と呼ばれていました。R3棟地階で3年間、博士課程からはG1棟地階へ移動して、結局6年間文字通り日の目を見ることはありませんでしたが、地下室で黙々とやってきた実験は卒業後の手島記念賞（博士論文賞）と外国留学への切符によって報われました。こうした研究室生活にどっぷり浸かって遊びも欠かさないコイヌマン気質は、長津田キャンパスの隔絶された雰囲気と鯉沼先生のご信念によって培われてきたと思います。歴代のコイヌマンの各方面での御活躍を耳にするたびに、私はコイヌマンの一員であったことを誇りに思います。タフなコイヌマンの原型を作られたのは、なんといっても当時研究室の助手として活発なご研究をされていた川崎先生（現在、東北大学金属材料研究所教授）です。現在、私は川崎先生の指導のもと、“研究はひらめきと底力、人生はロングレース”を信条に日々の研究生生活を楽しんでいます。

在学中、応用セラミックス研究所所長鯉沼秀吉先生には多大なる御指導を賜りました。ここに改めて感謝いたします。

応用セラミックス研究所（工業材料研究所） 鯉沼研究室に在籍

卒研究生（1994年度、無機材料工学科からの委託指導）および大学院修士1・2年（1995～1996年度、総理工材料科学専攻）



（上）ソウル国際大学との合同シンポジウム（ソウル大キャンパスにて）
（下）ヨットを楽しんだ夏休み（鎌倉材木座海岸にて）

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 ~

R3棟									
WC	601	605	609	613					
	和田研・坂田研		和田研						
	602	606	608	610	614	616			
	安田研	坂田研							
WC	501	503	505	507	509	511	513	515	
	吉村研					垣花研			
	502	504	506	508	512	514			
暗室	401	405	407	409	411	413	415		
		石澤研							
	402	404	406	410	412	414			
						田邊研			
WC	301	303	305	307	309	311	313		
			鯉沼研			安田研			
	302		306	310	312	314	316		
WC	201	205	207	209	211	213	215		
					長谷川研				
	202		206	210	212	216			
			安部研						
WC	101	105	107		109				
	鯉沼研(所長室)	秘書室	室長室		応セラ研 事務掛				
	102	108	正面	112	114				
	会議室	休養室	玄関	倉庫	談話室				
			007	009	011	013			
	002	006	008	010	012	014			

J1棟									
WC	901	903	905	909	913				
		田中研			近藤研				
	902	904	906	908	910				
			中村研						
WC	801		809	813	815				
		山田研			伊藤研				
	802		806	810	814				
WC	701	703	705	707	709	713	715		
	702	704	706	710	714				
			阿竹研・川路研						
WC	601	605	609	613	615				
					神谷研				
	602	606	608	610	612	614			
		細野研			若井研				
	501	503	505	509	511	513			
WC		502	506	508	510	512	516		
		若井研・赤津研		佐々木研					
WC						414			
				009	013				
				010	012	014			
						佐々木研			

R3-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					

G5棟				
7F	707	708	709	
	笠井研			
6F	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11号

発行日 平成15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
TEL. 045-924-5973 FAX. 045-924-5360
電子メール k_kataoka@msl.titech.ac.jp
ホームページ http://www.msl.titech.ac.jp