

Materials & Structures Laboratory

News Letter

October 1 2012

No.29

| | | |
|----------|---|---|
| CONTENTS | 応セラ研・ノウ：物質と材料とリラクサーと | 1 |
| | 研究の展望：「安全な建物」から「安心な建物」へ | 2 |
| | 研究の周辺：酸素・水素がつくるアモルファス酸化物半導体の欠陥と不安定性 | 3 |
| | プロジェクト・ノウ：東工大元素戦略拠点（TIES）と元素戦略研究センター（MCES）の発足 | 4 |
| | グループによる共同研究・ノウ：高温・真空下で液体を操る新しい材料プロセス | 4 |
| | トピックス：化学的に組み立てた単電子トランジスタ | 5 |
| | STAC-6 開催報告 | 5 |
| | 受賞・ワークショップ・国際会議等・人事異動 | 6 |

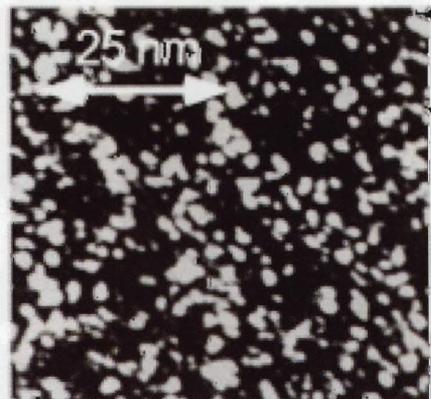
応セラ研・ナウ： 物質と材料とリラクサーと

教授 川路 均

随分前になるが、前身の工業材料研究所の時分、ある先生から物質と材料の違いについてのお話を伺ったことがある。主旨は、材料とは最終的に加工されて製品になるものを言うのであって物質とは異なることであった。当時、理学部化学科出身の私に材料の観点も含めて物質・材料科学を勉強しなさいとの意味合いだったのだろうと解釈したが、正直に言うとはよくわからなかった。化学でいうところの物質は、基本的に化学式で表現される物である。材料だって物なのだから、役に立つ（あるいは役に立つ可能性のある）物質を研究すれば材料科学を研究することになると思っていた。これが間違っていることに本当の意味で気がついたのはしばらく後になってのことであった

リラクサーと呼ばれる一連の誘電体物質群がある。この物質群は特定の温度で非常に大きな誘電率を示し、あたかも強誘電相転移をしているように見える。誘電率が広い温度範囲にわたって非常に大きいことやその固溶体が優れた電気機械結合特性を示すことから応用研究も盛んであり、材料たる可能性を持っている物質である。通常の強誘電体は、高温では常誘電体で冷却するとある温度で自発分極を持った強誘電体に相転移する。相転移とは、物理・化学的に均一で一定の性質を有するものとして定義される相が変化するものであり、結晶全体で変化が起こるものである。一方、リラクサーはこのような相転移は示さず、強誘電体的になった数ナノメートルの領域が生成することが分かっている。さらにそれぞれはバラバラな方向を向いて、常誘電体のマトリックスの中に無数に散らばっている。この構造が特徴的な性質の起源であり、数ナノメートル程度の構造を考えることが本質的に重要である。物質は原子分子のサイズであるオングストローム程度のミクロな目で見れば一様ではないが、マクロな目で見れば一様である。従来、マクロな目で見れば一様な相であるとか「物質」とかを見てきたのであるが、少なくともリラクサーを考えるときにはその中間サイズの階層が必須であり、物質概念を拡張しなければならないことを意味している。

一方、材料研究では、物性への微細構造の効果は非常に大きな古くからの問題である。従来の「物質研究」では、材料研究ではすでに重要な問題であったこの点には目をつぶり、理想化した「物質」に対象を限定してきたとも言える。役に立つかどうかということを基盤として物をとらえる材料研究が、自然をすなおにとらえる立場であり、物質概念が人類の知識の高度化とともに進化すべき概念であることを考えると、まさに物質研究を進めるうえで材料研究の観点が重要なのである。学生の頃に伺った先輩研究者の言葉の一端を理解できたような気がしている今日この頃である。



リラクサー中のナノ不均質構造

研究の展望： 「安全な建物」から「安心な建物」へ

教授 河野 進

2012年3月末に、内閣府有識者検討会が公表した東海・東南海・南海地震同時発生時の最大震度は、震度7になりうる地域が10県153市町村に及び、面積で従来想定との23倍に拡大しました。また、最大の津波高さは34.4メートルで、従来の想定にはなかった20メートル以上の津波が来る可能性がある地点は6都県23市町村に広がりました。これらの数値は、これまで工学者や行政者が頼りにしていた値を大きく覆すものとなりました。さて、このように大規模な地震・津波などの災害が再び起こった場合、2011年の東北地方太平洋沖地震同様の被害が起こらないように十分な備えができていますでしょうか。

1981年の新耐震設計法の基本方針は、中小地震に対しては建物の継続利用を目指し、大地震に対しては構造物の倒壊を防止することでした。つまり「安全な建物」を作ることを第1の目的としたのです。しかし、ここ20年間に発生した都市型地震の被害をみると、構造物の安全性確保はもちろん重要ですが、さらに修復不要なレベルまで損傷を低減し、建物の機能維持・早期復旧を図ることが、社会一般が求める耐震性能であることが改めて認識されました。これまでの「安全性」だけの性能に加え、「損傷制御」といった新しい性能を陽に付加し、私たちに「安心な建物」を提供することが求められるようになりました。

建築物の財産価値維持・再利用の可能性という要求に答える構造形式で代表的なものは免震構造や制振構造です。ただし、今後の免制振構造においては、地震時の揺れを制御するばかりではなく、地震後における早期復旧や機能維持といった性能を、陽に提示していくことが大切となります。例えば、2010年12月に三木市E-defenseで行われた実験では、図1のように優れた復元性を有するプレキャストプレストレスト（PCaPC）造の4層建物の性能確認を行いました（図2）。中地震想定（JMA神戸50%、レベル1相当）の加振では、同形状のRC造試験体に比較して応答変位が抑制され、建物をほぼ無損傷に抑えることができました。ただし、大地震想定（JMA神戸100%、レベル2）の加振では、高強度コンクリートを用いた1階柱脚のかぶり剥落するなど、解決すべき課題も見つかりました。

次の災害が起こるまでに、これまで研究を積み上げてきた強度型・靱性型の構造システムをさらに洗練しつつ、新しい損傷制御型構造システムを市場で競争力のある技術として普及させることが求められています。建築物理センターの教員は、災害時に「建築物」が私たちの生活を守る砦となるよう一層の努力を積み重ねていきます。

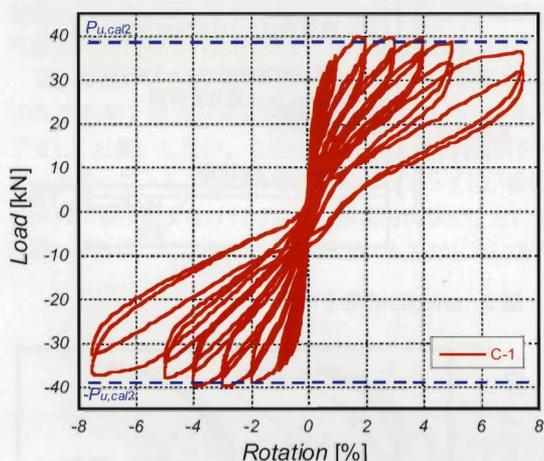


図1：PCaPC 部材の履歴性状は、エネルギーを消費しながらも残留変形が小さい特徴を有する。

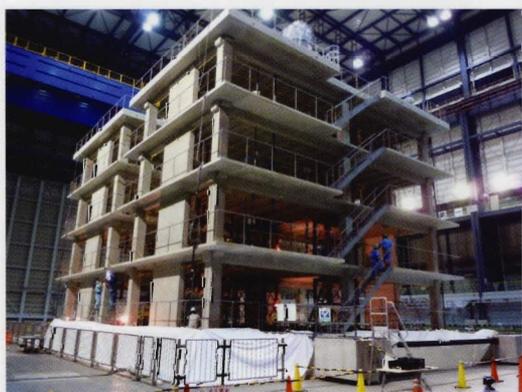


図2：高性能構造システムとして期待されるPCaPC造建物の実大振動台実験

研究の周辺:

酸素・水素がつくるアモルファス酸化物半導体の欠陥と不安定性

教授 神谷利夫

今年3月にAppleから新型iPadが発売されたが、その超高精細ディスプレイにアモルファス酸化物半導体(AOS)の薄膜トランジスタ(TFT)が採用された。これまでも酸化物導電体は透明電極などに使われているが、シリコンのように電子デバイスの能動層に使う試みでは、このAOS TFTが初めての実用化例になった。細野教授、野村前特任准教授らと開発を始め、2004年11月にNature誌に発表して以来、実に7年半かかったことになる。よく「新材料が実用化されるのに20年も30年もかかる」と言われる。それを考えると、この開発期間は非常に短いように思える。一方、水素化アモルファスシリコンが1975年に報告されてから、液晶ディスプレイの量産が始まるまでの経緯は、AOS TFTと非常に類似している。素性の良い材料とその特性にマッチしたニーズがあれば、思ってもみなかった速度で実用化が進展することの例ではないかと思う。この間、2005~2007年は、凸版印刷と韓国企業において2~4インチの小型ディスプレイで試作が進み、2008年からはノートPCサイズ以上へと大型化し、70インチ液晶、55インチ有機ELへと展開し、結局、iPadの中型高精細にとっかかりをみつけ、シャープが実用化に踏み切った。

このように、AOS TFTが実用化されたのはディスプレイメーカーの主導によるところが大きい。一方、我々は大学の研究グループとして、それらとは一線を画した研究姿勢でこの分野に寄与してきた。図2のように、AOSの代表であるa-InGaZnO₄ (a-IGZO) の欠陥電子構造を明らかにするとともに、酸化物の主成分であるはずの酸素が、強酸化条件で無理やり取り込むとむしろ欠陥を生成してしまうこと(図3)、原料に入れていないはずの水素が10²⁰ cm⁻³以上の高濃度で取り込まれ、特に300°C以下で起こる水の脱離に伴うキャリア密度の増大の一因になっていることなど、AOS TFTの特性・信頼性向上に不可欠な新しい知見を供給してきた。特に水素は、アモルファスシリコンでも、欠陥低減に重要な役割を持つ一方で、光劣化現象の一因ともなっていると考えられており、AOSにおいても、材料科学的な興味とともに工学的に本質的な重要性を持つものと考えられる。次の機会にはこれらの報告ができるような成果が挙がっていることを期待したい。

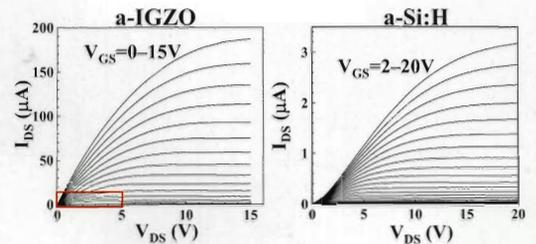


図1 a-IGZO TFTの動作特性

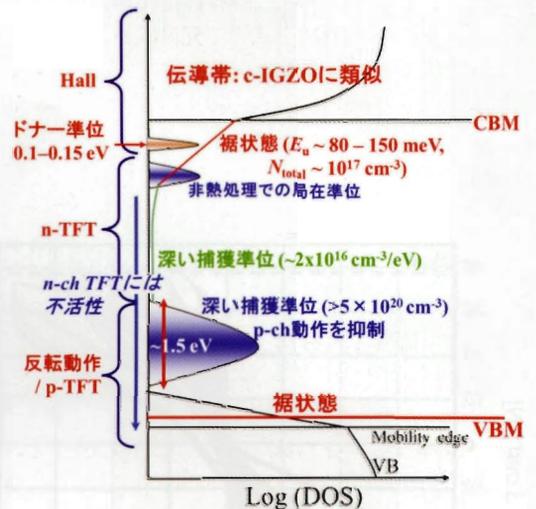


図2 a-IGZOの電子構造

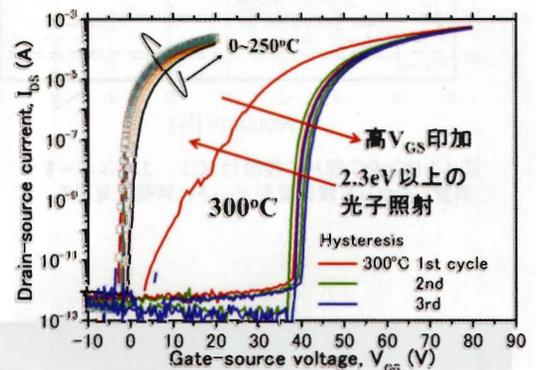


図3 弱結合酸素が欠陥として働く

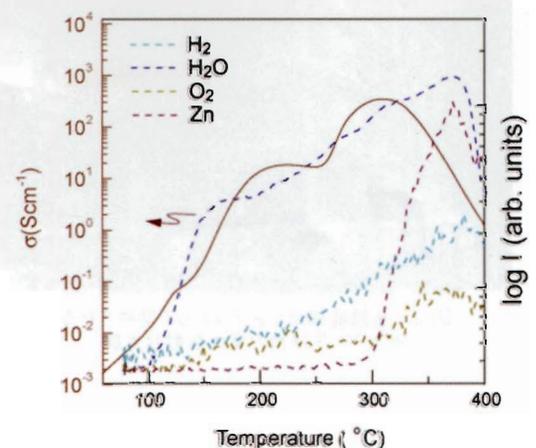


図4 意図せず取り込んだ水素の脱離と伝導度の異常増大

プロジェクト・ナウ： 東工大元素戦略拠点(TIES)と 元素戦略研究センター(MCES)の発足

教授 細野 秀雄

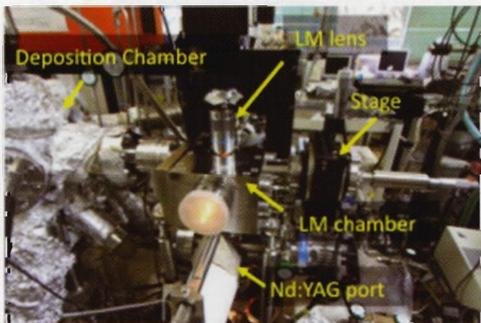
物質を構成するのは100余りの元素。多存元素を駆使して有用な機能を実現する処方箋は、21世紀の材料科学、最大の課題だ。2004年にJST主催のシンポジウム「夢の物質を求めて」(村井真二主宰。玉尾皓平議長)が箱根で開催された。熱心な討議は、中村栄一氏(東大)発案による「元素戦略」というコンセプトに収斂し、その典型例として筆者らのC12A7の機能発現が挙げられた。「元素戦略」は第3次科学技術政策のナノテク・材料分野の中で取り上げられ、平成19年から開始された文科省・経産省の連携プロジェクトの第一号の発足に繋がった。当時、こうした動向は日本だけであったが、中国の希土類元素の輸出制限問題を契機に状況は一変。米国、欧州、韓国、そして中国で次々に類似の政策が立ち上がった。特に米国の対応は迅速かつ斬新であった。輸入に頼っている産業と国防でキーとなる元素を指定して解決を目指すSecure and Critical Element Initiativeに続き、昨年6月には材料研究のジャンプアップを狙うMaterials Genome Initiativeを発表した。後者の内容は、ゲノム解析から創薬を目指すように、機能要素の解析から具体的材料を設計しようというもので、革新的材料科学の構築そのものといえる。日本も昨年初めから文科省ナノテク室主導で、元素戦略検討会が設置され、ナノの次の重点政策として元素戦略を如何に進めるかという議論が集中的に行われた。その結果、10年の研究期間で全国的な拠点を設置してオールジャパンで取り組むこと、材料創製と理論・計算科学、先端計測の緊密な連携、そして強力なリーダーを立てることという方針が決まった。担当室長の獅子奮迅の働きと財務当局の理解で、緊縮財政下の新規施策としては異例の予算措置がなされ、本年2月に磁石材料、電池・触媒材料、電子材料、構造材料という4つの領域でプロジェクトが公募となった。

筆者はこれまでの経緯と大学当局のプッシュにより、電子材料領域に応募をすべく準備を進めた。物質・材料研究機構(NIMS)の大橋領域長、高エネルギー研究機構(KEK)物質科学研究所の村上所長から連携の申し出を受け、東工大を拠点するTIES構想をまとめ公募に応じた。そして幸いなことに6月末に採択通知が届いた。膨大かつ詳細な応募書類の作成には、応セラ研メンバーの全面的協力によってなされた。改めて感謝の意を表したい。

TIESの遂行を主目的とする学内組織、元素戦略研究センター(Materials Research Center for Element Strategy, MCES)が8月1日から10年の期間で統合研究院の中に発足した。TIES関連の当所のメンバーが兼任されており、応セラ研と強い連携で運営することになるので宜しくお願いしたい。このセンターには産学連携を積極的に進める目的もあり、東工大の基礎研究から生まれた成果を見える形にしたいと思っている。いつまでも戦前のフェライトが看板では情けない。当所が全国共同利用研に転換する際の熱い議論の中で「野心的な研究に取り組みなければここに居場所はない」という感覚を憶えた。助教授として赴任して2年目のことである。その感覚が未だにずっと残っており、これをMRCESの運営にも生かしていきたいと考えている。元素戦略を幻想戦略に終わらせてはいけない。

グループによる共同研究・ナウ： 高温・真空下で液体を操る新しい材料プロセス

准教授 松本 祐司



レーザー加熱型高温・真空レーザー顕微鏡



SiC単結晶基板上の80%Si-Ni融液のその場観察(1460°C)

アリストテレスの「自然は真空を嫌う」という「真空嫌悪説」に対し、トリチェリーが水銀をつめたガラス管を倒立させて真空の存在を確認したのは17世紀半ばのことである。その後、アポロ計画での有人月面着陸の成功(1969年)に象徴される冷戦時代の激しい宇宙開発競争の結果、真空技術は身近なものになった。「Vacuum」や「Surface Science」などの真空技術に関連した学術雑誌が相次いでこの頃に刊行されたのは決して偶然ではない。

物質材料研究における様々な分析技術や最近のナノテク技術の発展には、今やこの真空技術は欠かせない。しかし、気体や固体と違い、液体は真空技術に対して、御法度とのイメージが先行してはいないだろうか?我々は、現行の6大学連携プロジェクトの前身である3研連携プロジェクトで、高温・真空下で物質材料の液体状態をその場観察できる高温・真空レーザー顕微鏡を開発した。パルスレーザー堆積などの真空薄膜作製装置との複合化も可能で、金属ガラスのぬれ性や酸化物融液の真空下での安定性について研究を行ってきた。

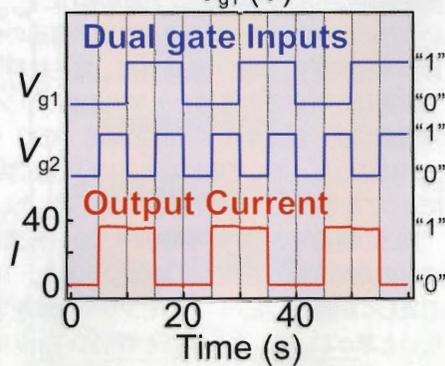
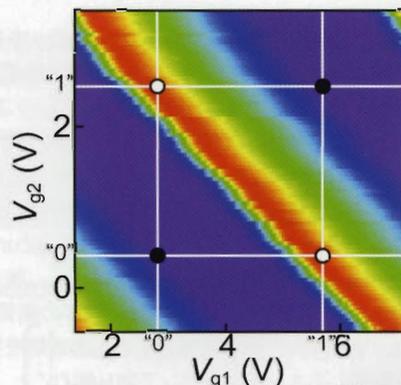
この装置は、その後改良され、レーザー加熱により、最高1600°Cまで液体挙動を真空下で観察できるようになり、信州大学(手嶋勝弥教授)との共同利用研究や、NEDOの新材料パワー半導体プロジェクト(産総研)SiCの溶液成長の共同研究にも威力を発揮し始めている。最近、このレーザー加熱型の高温・真空レーザー顕微鏡装置の商品化モデルが、オーストラリアのニューサウスウェールズ大学に納入され、これもまた国際共同研究へと発展しつつある。

トピックス:

化学的に組み立てた単電子トランジスタ

教授 真島 豊

ボトムアップ手法で単電子トランジスタを化学的に組み立てることができる。金ナノ粒子を合成し、無電解金メッキによりナノギャップ電極を製作し、アンカー分子としてジチオールを混合した自己組織化単分子膜をナノギャップ電極表面に形成し、金ナノ粒子をナノギャップ電極間に化学結合により導入する。このように、水溶液中で化学的に組み立てた単電子トランジスタは、理想的なクーロンダイヤモンド特性を示す。無電解メッキ前のナノギャップ電極は、トップダウン手法である電子ビーム露光により用意しているので、トップダウン手法と融合できるボトムアップ単電子トランジスタと考えることもできる。単電子トランジスタのゲート変調は、ゲート電圧によりチャンネルを形成する通常の電界効果型トランジスタとは異なり、単電子島としての金ナノ粒子上の電子数を、 $0.5e$ (e は素電荷) 変化させることにより、周期的にOn状態とOff状態を繰り返す、クーロン振動が観察される。したがって2つのゲート電極を用意すると、ゲート変調の足し合わせが可能となる(右上図)。2つのゲート電極の0と1に相当する電圧をそれぞれ定めると、排他的論理和(XOR)(右下図)、否定排他的論理和(XNOR)、論理積(AND)、否定論理積(NAND)、論理和(OR)、否定論理和(NOR)という2入力のすべての論理ゲート回路を、1つの単電子トランジスタで実現することができる(ACS NANO, 6, 2798 (2012))。



STAC-6 開催報告

准教授 須崎 友文

2012年6月26日～28日の日程で、メルパルク横浜において第6回先進セラミックス国際会議(The 6th International Conference on the Science and Technology for Advanced Ceramics (STAC-6))が開催されました。本会議は、セラミックスの基礎と応用を広く対象とし、第1回会議が2007年に応用セラミックス研究所主催により開催され、その後、応用セラミックス研究所、無機材料工学科、物質・材料研究機構(NIMS)が協力して年一回の開催を続けてきました。第6回となった今回はNIMSの主催により開催され、200件の論文発表が行われ、約240名の参加者により活発な議論が行われました。応用セラミックス研究所は、第3回、4回、5回に続き、元素戦略特別セッションを担当しました。

私個人としては、海外からの招待講演者の先生に、「過去のSTAC会議のプログラムを確認して、面白そうだったのでぜひ参加したいと思った」と言われたのが、主催者側として大変嬉しいことでした。本会議、第7回会議を2013年の6月に開催予定ですので、今後のアナウンスにぜひ注目下さい。



● 受賞

| 受賞者 | 受賞名 | 受賞年月日 | 認定団体 | 受賞内容 |
|------|-------------------------------|------------|-------|--------------|
| 原 亨和 | 平成24年度文部科学大臣表彰 科学技術賞（開発部門） | 平成24年4月17日 | 文部科学省 | 低炭素化固体酸触媒の開発 |

● 平成24年度応用セラミックス研究所長賞

| 受賞者 | 受賞部門 | 受賞内容 |
|---------------------------------|--------|--------------------------|
| 大韓民国 忠南大學校 建築工学科 宮内 博之 | 研究奨励部門 | 衝撃力に対する建築外皮材料の損傷評価 |
| 応用セラミックス研究所 セラミックス機能部門 谷口 博基 | 研究奨励部門 | 格子動力学的観点による強誘電体の相転移機構の解明 |
| 応用セラミックス研究所 セラミックス機能部門 笹川 崇男 | 研究業績部門 | 新しい固体電子状態をもつ物質の開拓 |

● ワークショップ・国際会議等

| 会議名 | 開催日 | 開催場所 | 主催・共催等 |
|--|----------------------|--------------------|-----------------------------|
| セキュアマテリアル概念に基づく次世代ファインセラミックスに関するワークショップ（共同利用研究） | 平成24年5月26日 | 東京工業大学 大岡山キャンパス | 応用セラミックス研究所 |
| The 6th International Conference on the Science and Technology for Advanced Ceramics（STAC-6） | 平成24年6月26日～ 6月28日 | メルパルク横浜 | （独）物質・材料研究機構 応用セラミックス研究所 |
| 安全・安心を材料の観点から推進するセキュアマテリアルの開拓に関するワークショップ（共同利用研究） | 平成24年9月13日 | 日本コンクリート工学会 | 応用セラミックス研究所 東京コンクリート診断士会 |

● 人事異動（平成24年4月～平成24年10月）

| | | | |
|-------------------|----------------|----|--|
| 平成24年6月1日～8月9日 | 何 長振 | | 外国人客員教授 （本務先：中国科学院福建物質構造研究所） |
| 平成24年8月10日～10月10日 | CARJA Gabriela | | 外国人客員教授 （本務先：Technical University Gh. Asachi of Iasi） |
| 平成24年9月1日 | 山崎 義弘 | 採用 | 材料融合システム部門 助教 |
| 平成24年9月30日 | 日比野 陽 | 退職 | 広島大学大学院工学研究院 准教授（昇任採用） |

応セラ研 教員室

J 1 棟

| | | |
|-------------|---------------|----|
| 河野 教授 901室 | 東 教授 904室 | 9F |
| 中村 准教授 913室 | | |
| 川路 教授 701室 | 伊藤(節) 教授 707室 | 7F |
| 細野 教授 606室 | 若井 教授 612室 | 6F |
| 神谷 教授 615室 | | 5F |
| 笹川 准教授 503室 | 佐々木 教授 508室 | |

J 2 棟

| | |
|---------------|----|
| 伊藤(満) 教授 703室 | 7F |
|---------------|----|

J 3 棟

| | | |
|-------------|-------------|----|
| 山田 准教授 709室 | 谷山 准教授 717室 | 7F |
|-------------|-------------|----|

G 5 棟

| | | |
|--------------|-------------|----|
| 笠井 教授 707室 | 7F | |
| 林(静) 教授 601室 | 篠原 准教授 604室 | 6F |

R 3 棟

| | | |
|---------------|-------------|----|
| 坂田 教授 606室 | 6F | |
| 岡田 教授 501室 | 松下 准教授 511室 | 5F |
| 原 教授 407室 | 真島 教授 410室 | 4F |
| 林(克) 准教授 303室 | 須崎 准教授 305室 | 3F |
| 阿藤 准教授 310室 | 赤津 准教授 311室 | 2F |
| 松本 准教授 205室 | 安部 准教授 206室 | |

R3C棟

| | |
|-------------|----|
| 平松 准教授 102室 | 1F |
|-------------|----|



応用セラミックス研究所 ニュースレター通巻 第29号

発行日 平成24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
 共同利用・研究支援室
 問い合わせ 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 R3-27
 TEL.045-924-5968 FAX.045-924-5978
 電子メール kenkyushien@msl.titech.ac.jp
 ホームページ <http://www.msl.titech.ac.jp>