



学学連携 合同講演会
(東北大学・大阪府立大学)
大阪府立大学内



堺市茶室「伸庵」
(国登録有形文化財)
大阪府堺市堺区



定義如来 西方寺(本堂)
宮城県仙台市青葉区



八幡平(岩手県)

吹き抜ける冷たい風が自然の厳しさを肌で感じさせてくれる季節となってまいりましたが、皆様お元気でお過ごしでしょうか？ 私ども大阪センター教職員もこの寒さに負けることなく、材料の研究開発とものづくり教育を通して産業界のお役に立てるように今年も全力で駆け抜けていく所存ですので、どうかよろしくお願いたします。

さて新しい年がやってくるより一足早く今年の秋に日本の政治は新しい展開を遂げましたが、そこで大きく掲げられていることの一つに低炭素社会へ向けての数値目標があります。そもそも近年、人為的に排出されている70億炭素トン/年を越える二酸化炭素は自然の吸収能力である約30億炭素トン/年を大幅に上回っています。そしてこの変化が、地球が生まれてから数10憶年、人類が誕生してからでも数10万年という長い歴史の中で、産業革命後のわずか200年の間になされたわけです。この問題を解決するためには自然と仲良くし、成長よりも足ることを知るという価値観の切り換えとともに、いわゆる現行発電所の効率上昇や燃料電池等を用いた次世代エネルギー供給という個々の技術的課題を解決していくことが必要です。私ども大阪センターで扱っている耐熱材料や軽量高強度金属材料の開発はまさにそれにあたります。

国家や社会の方向選択と市民生活とは常に現実的な関わりを持っていることはいつの時代でも変わりませんが、環境・エネルギー問題ではそれが単なる政治的視点からというより、日常を取り囲む科学技術の視点から必然性をもった影響力をもち、また効果も定量的に現れるという点が大きな特徴です。それだけに企業、大学を問わず、研究者にとってやりがいのあるテーマといえるでしょう。

白銀の山々から照り返される太陽の輝きは眩しいだけでなく、自然の厳しさと優しさを同時に語りかけてくれているようです。私たちも、一つ一つの材料を支配しているのは物理や化学といった自然法則であることを忘れずに、かつ自然の一構成員として、人類がその社会と地球のために必要な材料を開発していきたいと考えています。皆様、今年も希望に満ちた年となるようにどうか温かいご指導ご鞭撻をお願いいたします。

固相接合による異種材料の接合

私どもの研究室は金属と化学の協調による新しい材料の創製に取り組んでいますが、そのためには金属・化学の各材料を熟知する必要があります。今回は金属分野の研究テーマの一つの接合を紹介します。

接合は半導体のpnジャンクションやボンディングワイヤーなどのマイクロサイズから、橋梁や建物のような構造物のマクロサイズに至るまで、幅広い分野で利用されている技術です。一般に金属の接合と言えば思い浮かぶのは溶接です。溶接は文字通り、材料を熔融状態にして接合する方法ですから、液相状態を経由します。液相にするには加熱する必要がありますが、その際に大気から酸素や窒素が混入し欠陥を形成することがあります。そのため、フラックスを熔融金属と反応させてスラグを形成し、大気の混入を防ぐことが行われています。一方、熔融金属が凝固する際の冷却速度は、組織や元素の分布、そしてクラックや気孔などの欠陥形成にも深く影響し、接合材の機械的性質を変化させることが知られています。

液相を経由しないで固相間で接合する方法を「固相接合」と称しますが、この場合、気体元素の混入や組織・組成の不均一化はおこらず、接合界面を形成する特徴があります。固体同士の接合のために、接合前の固体表面の粗さや汚染層が接合性に影響を与えます。また固相接合では原子拡散と塑性流動を促進することで密着性が高まるため、一般には高温で加圧して接合させます。理論の詳細は省略しますが、同種材料の固相接合では、接合した時の界面エネルギーの方が、接合前の固相の表面エネルギーの総和より低く、熱力学的に安定となります。固相接合のうち、緻密な接合を得る方法として多用されるのが「拡散接合」で、航空機躯体や燃料電池、熱交換機などのハニカム・中空化に実用されています。固相接合では接合させようとする材料間の物質移動により接合性が向上しますから、原子の拡散挙動を知ることが必要です。一例として図1にFe-16Al合金とマンガン鋼を固相接合させたときの界面近傍の組織と濃度プロファイルを示します。図から接合時間が長いほど、Fe-16Al合金から拡散したAlの拡散距離が長くなるのがわかります。原子の拡散距離は拡散定数と拡散条件に依存しますが、反応相を形成しない場合、高温で長時間ほど接合性は向上します。図1の組み合わせではAlがマンガン鋼に拡散することで、界面近傍のマンガン鋼中の炭素濃度が減少するために硬度が減少します(図2)。一方で、拡散時間が長いほど相互拡散が促進され、接合材のせん断強度は高くなります(図3)。すなわち異種材料の固相接合では、拡散による構成元素の再分配により、初期組成とは異なる組成の合金化が接合界面の近傍でおこるため機械的性質が変化します。このことを利用することで機能制御が可能となり多様なバイメタルを製造できます。

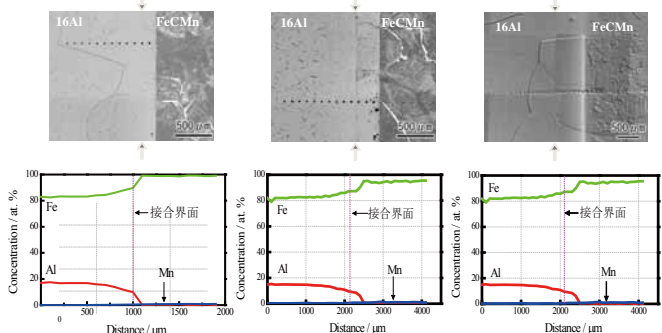


図1 Fe-16Al合金とFeCMn鋼の固相接合材の接合界面近傍組織(上段)と濃度分布(下段)組織写真の上下の矢印は接合前の界面で、濃度プロファイルではピンク色の破線に相当(左列:1050°C×12時間、中列:1050°C×48時間、下列:1050°C×192時間)

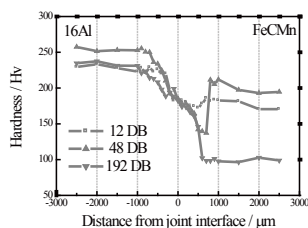


図2 Fe-16Al合金とFeCMn鋼接合材の界面近傍硬度の接合界面からの距離依存性

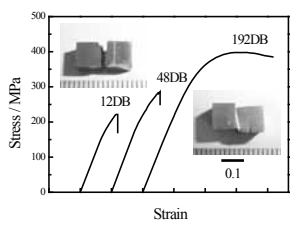


図3 Fe-16Al合金とFeCMn鋼接合材のせん断試験の応力-歪線図

相変態を利用した拡散接合

TiAl(γ 相)基金属間化合物合金は高温強度と軽量性に秀でることから航空機材料として期待され、その機体材料は超塑性加工と拡散接合で製造します。超塑性変形能に優れる $\beta + \gamma$ 微細二相TiAl合金を1000°Cで拡散接合させた接合材は、同じ接合条件で接合させたTiAl単相の接合材に比べて、接合強度は40%以上増加します。図4は $\beta + \gamma$ 微細二相TiAl合金を1000°Cで接合させた接合界面近傍のSEM像(a)とCrのmapping像(b)です。接合強度の増加は、準安定 β (bcc)相が γ (L1₀)相と α_2 (D0₁₉)相に相分解され、それに伴い構成元素であるCrの再分配に起因します。また接合界面では新粒の形成も確認でき、固相反応(相変態)による接合性向上の一例です。

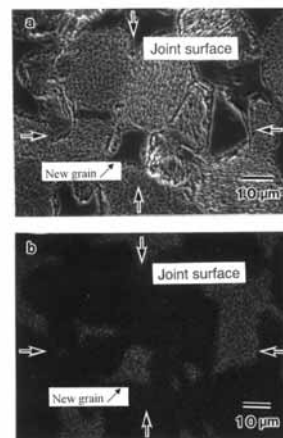


図4 $\beta + \gamma$ 微細二相TiAl合金を1000°Cで3.8 ks 固相接合させたときのSEM像(a)とCrマッピング像(b)。

新しい固相拡散接合

通常の拡散接合は接合面に垂直方向から圧力を加えます。温度は拡散に直接関与しますが、接合性に及ぼす圧力の効果はどうでしょうか? 図5はFe-20Al合金とCrMo鋼を大気圧で1050°Cにて48時間接合させた場合(a)と、HIPにより圧力印加(196MPa)下で同条件で接合させた場合(b)の接合界面近傍のOIM像です。OIMとは結晶配向と組織を同時に表す観察法で、Orientation Imaging Microscopyの略で、色の違いは結晶配向の違いに対応します。接合界面からCrMo鋼側に向かって柱状晶の発達を観察できます。接合温度は γ (fcc)相安定温度ですが、 α (bcc)相安定化元素であるAlがCrMo鋼側に拡散することで、界面で α 核を生成します。柱状晶はこの α 核がAlの拡散を駆動力に成長し形成します。圧力印加はCrMo鋼の γ 相の安定領域を広げますが、 α 核の生成に必要なAlが通常の接合材よりも多量に必要なため、柱状晶の発達が遅延し、(b)に観察されるように柱状晶の長さが短くなります。また柱状晶よりもCrMo鋼側で微細組織が観察でき硬度が4倍程度高くなります。この部分を電子顕微鏡(c)で観察すると微細粒からなり、その結晶配向がそろっている(d-g)という興味深い現象が確認できました。この組織は、高圧を印加して接合した拡散対のAlが拡散していないCrMo鋼の領域にだけ観察でき、Crの γ 相からマルテンサイト相へのエンタルピー変化と関連づけて考察しています。

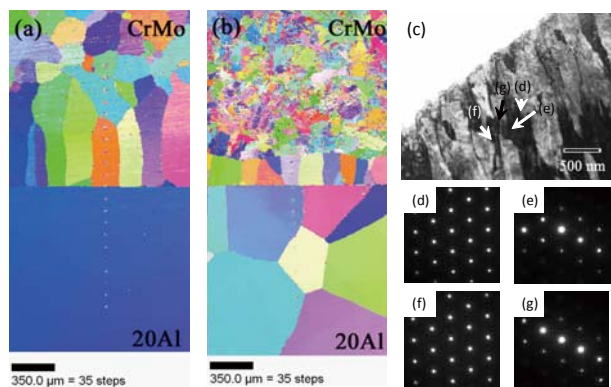


図5 Fe-20Al合金とCrMo鋼の固相接合(1050°C×48時間)材の接合界面近傍のOIM組織(通常接合材(a)、HIP印加材(b))と、試料(b)のCrMo鋼マトリックス側の電子顕微鏡組織(c)および電子回折像(d-g)。

実用的にはできるだけ短時間で高い接合強度を得る接合法が望まれます。接合性の向上には拡散の促進が必要ですから、短時間化とは相反します。拡散は拡散定数と温度や時間などの拡散条件に依存しますが、拡散定数は物質固有ですから不変です。一方、拡散の促進には高温・長時間が有利ですが、短時間化を達成するには温度を上げるしかありません。しかし固相接合ですから融点より低い温度で接合させなければなりませんし、融点直下の高温での接合はたとえ固相であっても、雰囲気からの不純物の混入による材質劣化が懸念されます。そこで私どもは固相ではあるものの局所的にエネルギーを高めることで拡散を促進できるかどうかを研究しています。この詳細は次の機会にご紹介します。

新素材製造分野では金属ガラスの実用化に向けて、関西圏の企業と共に開発研究を続けております。大阪センターで金属ガラスの開発研究が始まってから3年が経ち、共同研究開発による試作品とその製品化、特性の検証が本格化するなど、実用化に向かい着実に進んでおります。本稿では、開発事例を通して金属ガラスの特徴と開発成果の特徴を紹介いたします。

軽量部材の締結に貢献する金属ガラスねじ

金属ガラスが持つ低弾性率、高強度、高疲労強度、等のユニークな機械的特性を活かすことにより、軽量部材の締結に適した、ゆるみにくく、耐食性、耐久性に優れたねじの研究開発に成功しました⁽¹⁾。母合金を高周波誘導加熱・溶融させた後、直ちに鋳造、加圧鍛造を行なう溶融加圧鋳造法によるブランク材の作製および、ねじ山/ねじ溝を後工程の転造で成形するという金属ガラスねじ作製プロセス(図1)を新たに開発したことにより、金属ガラスねじを作製できるようになりました。

Zr₅₅Al₁₀Cu₃₀Ni₅金属ガラスを用いて作製したM3の六角穴付キャップねじ(図2)の引張強度は1500MPaを示し、高張力鋼製ねじの1.3倍の強度を持ちます。金属ガラスは室温で塑性変形をほとんど生じないにもかかわらず転造によりねじ山・溝の加工ができるという発見が、この金属ガラスねじの作製技術のブレークスルーでした。この転造加工中の応力状態について3次元剛塑性有限要素法により解析を行なったところ、加工領域のほぼ全範囲で圧縮応力が生じており、さらに、予加工により導入されるミクロ構造が金属ガラスの多重すべりによる変形を促進させていると考えられます。本開発は、このような転造技術に蓄積がある企業との共同研究でこそ成しえた成果であるといえます。

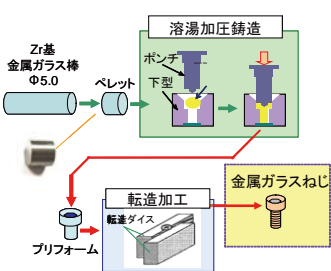


図1 金属ガラスねじ作製プロセス

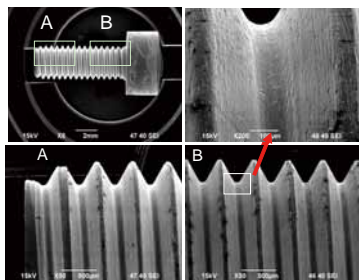


図2 金属ガラスねじ試作品

高精度磁歪式トルクセンサシステム

金属ガラスの磁歪特性を利用した非接触トルクセンサシステムを開発しました(図3)⁽²⁾。この軸(シャフト)トルクセンサシステムは検出センサ、金属ガラスを装着したカップリングおよび取付けバンドから構成されており、現行の回転シャフトに手を加えることなく簡単に装着でき、しかも高感度で直線性に優れた検出(図4)ができる点に特徴があります。シャフトのねじり歪み(トルク)は装着されたカップリングに伝達され、カップリング上の磁歪材料(Fe基金属ガラス)の磁気特性に変化が生じます。この変化をセンサにより検出することによりトルクが測定されます。共同研究により開発されたこのセンサは、電気自動車や風力発電などの軸トルク変動の大きな回転機械の動的制御を目的として研究開発が開始されましたが、上述のような特徴があることから、たとえば、回転軸の過負荷検出と



図3 金属ガラスを用いた回転トルクセンサ試作品の外観

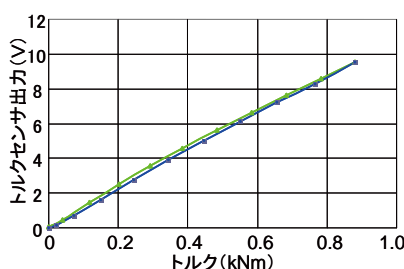


図4 トルクとセンサ出力の関係

破壊防止など、予想しなかった様々な業種からの問い合わせが寄せられており、今後の市場展開が期待されます。本共同研究では、検出センサを生産している企業からの磁歪材料の問合せから共同研究が開始しました。これまで、本システムの開発に必要な機器の開発を含めた研究開発支援を行い、中小企業の技術的・人的資源の開発も含め、地域に根ざした開発を行なって参りました。

金属ガラス製回折光学素子

金属ガラスの過冷却液体での粘性流動と、アモルファス構造に起因するナノメートルオーダーの等方均質性により、樹脂や酸化物ガラスと同様のナノ形状転写加工(ナノインプリント)が可能となり、その加工技術は金属ガラス製ナノデバイスの量産加工技術として期待されます。ポーラスアルミナを金型として用いてナノインプリントにより形成したナノピラー(図5)のような加工も容易に行なうことができます。金属ガラスのナノインプリント技術を有する大阪センターと、機械加工によるナノ金型創製と射出成形に優れた技術を有する企業との共同研究により、大面積光学素子の開発に成功しました。現在、大面積金属ガラス薄板素材の量産加工技術の開発に取り組んでおります。

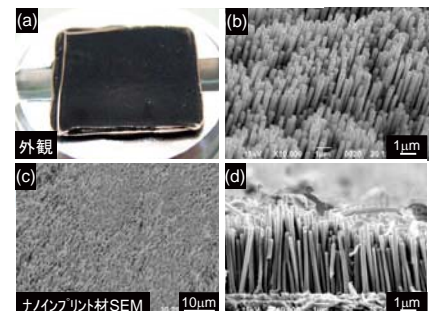


図5 金属ガラス製ナノピラー

高靱性高耐食性アモルファス合金

金属ガラスのマイクロマシン(MEMS)用部材、医用応用部材として利用可能な「高強度でしなやか」な素材の開発を目的として、金属ガラス素材の共同研究開発を行ない、新規なニッケル(Ni)基金属ガラスを開発しました⁽³⁾。開発したNiSiBCr系金属ガラスは、後加工等により加熱されても極端な脆化が生じず、耐折強度(破壊するまでの往復折曲げ回数)の減少もわずかです(図6)。この金属ガラス素材の低弾性率、高強度特性を利用した設計により、ポリイミド等の製品に比べて1/3のダウンサイジング、ポリイミドと同等のしなやかさとSUS304の10倍の耐屈曲疲労強度を有する製品開発が可能となりました。また、この合金は加熱によりガラス遷移を起こすので粘性流動による加工が可能であり、高耐食性が必要なMEMS部材に適した金属ガラスです。

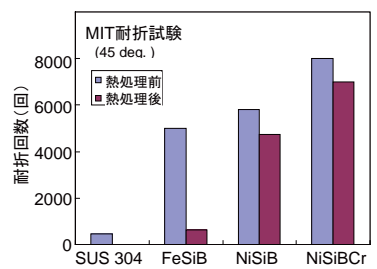


図6 金属リボンのMIT耐折度試験結果

以上、共同研究開発の事例を紹介してきましたが、これ以外にも関西圏の企業との共同研究が進行しています。金属ガラスの特性については、このニュースレターでも紹介しています⁽⁴⁾ので参考にしたいと思います。金属ガラスの優れた特性と御社の技術的強みを融合させた新製品の開発ができることを心待ちにしておりますので、ご連絡、お問合せの程よろしくお願いたします。

【連絡先】Tel:072-254-6362、Fax:072-254-6365 早乙女研究室

参考文献

- (1)山中、網谷、早乙女他、第60回塑性加工連合講演会講演論文集('09)、247
- (2)日刊工業新聞、2008.11.14
- (3)K. Amiya, IMR KINKEN Res. Highlights (2009)
- (4)東北大学金属材料研究所ニュースレター、vol.1, 2, 3, 5, 9

大阪センターでは企業との共同研究を進める上で開発研究を促進することを目指し、企業と連携し公的ないしは民間の様々な助成金申請を行っています。申請した案件のうち、この夏から秋にかけて発表のあった採択課題がいくつかありますので以下に紹介いたします。

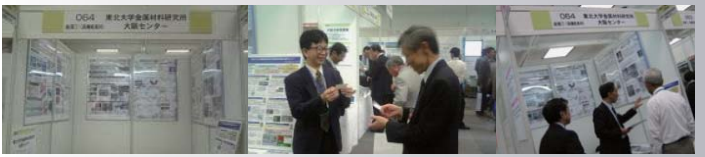
- ◆新素材創製分野：正橋直哉教授・水越克彰助教◆
 - ・ティグ(株)、科学技術振興機構フュージビリティスタディ、「高活性ルテル型光触媒二酸化チタンによる高機能水浄化装置の実用化」、2009-2010年度
 - ・ティグ(株)、ものづくり中小企業製品実証等支援事業、「チタン酸化物光触媒を利用した水質浄化装置の開発」、2009年度
 - ・瑞穂医科工業(株)、科学技術振興機構A-STEP本格研究開発ステージシーズ育成、「人工股関節用次世代チタン合金システムの開発」、2010-2012年度
- ◆新素材製造分野：早乙女康典教授・網谷健児助教◆
 - ・(株)サンエテック、ものづくり中小企業試作開発等支援事業、「高精度磁歪式トルクセンサに応用する金属ガラス溶射形成技術の開発」、2009年度
- ◆新素材加工分野：高杉隆幸教授・小林覚助教◆
 - ・アイセル(株)、科学技術振興機構フュージビリティスタディ、「自己組織化によりNi超微粒子を形成する金属間化合物を用いた高性能水素製造用触媒構造体の開発」、2009-2010年度
 - ・日本ビロブロック(株)、ものづくり中小企業製品実証等支援事業、「転造加工によるNi₃(Si,Ti)基金属間化合物合金を用いた特殊環境用玉軸受製造技術の開発」、2009年度
- ◆新素材企画部(先端分析研究部門)：今野豊彦教授・木口賢紀准教授・佐藤和久助教◆
 - ・イオックス(株)他、ものづくり中小企業試作開発等支援事業、「次世代高精密マイクロMIM製造用の銅およびニッケル超微粒子スラリー材料の量産試作」、2009年度

公的および民間を問わず補助金は競争倍率が高いために採択は容易ではありませんが、大阪センターでは大阪府庁や近畿経済産業局のご助言を頂戴しながら、企業の皆様のお役にたてるように引き続き活動を行うつもりです。

イベント報告

第10回ビジネスマッチングフェア(10月15日~16日)

10月15日(木)と16日(金)に株式会社池田銀行・自然総研主催の「第10回(池田銀行)TOYROビジネスマッチングフェア2009」がマイドーム大阪にて開催され、大阪センターもブースを出展して大阪センターの活動、および大学シーズの紹介を行いました。当日は二日間で40社ほどと名刺を交換し、即興の技術相談も何件か頂きました。フェアは7500名近くの入場者があり、盛況裏に終了しました。



大阪ものづくりイノベーションネットワーク事業 産学官連携コンベンション(10月19日)

10月19日(月)に株式会社りそな銀行・りそな総合研究所主催の「大阪ものづくりイノベーションネットワーク事業 産学官連携コンベンション」が、りそな銀行大阪本社にて開催されました。当日はクリエイションコア入居15大学が活動報告を行い、報告後に技術相談会場が設定されました。大阪センターも活動紹介の後に、短時間で10社近くの企業から技術相談を受けました。



東北大学金研大阪センター/大阪府立大学金属系新素材研究センター合同講演会

11月12日(金)に「第1回東北大学金研大阪センター/大阪府立大学金属系新素材研究センター合同講演会」が大阪府立大学・学術情報センターにて開催されました。当日は大阪センターから6名、新素材研究センターから3名の若手研究者が、それぞれ研究紹介を行いました。大阪センターと新素材研究センターは、東北大学金属材料研究所と大阪府立大学が大阪を中心とした関西の企業支援を効率的に推進するための最前線の活動部隊です。両センターの有機的な連携を通してこれまでも数多くの成果を出してきました。今回は両センターに所属する研究者の研究紹介を行うことで、相互の理解を深めるとともに大阪センター事業の更なる発展を目指した初めての試みとして開催しました。



特許技術紹介セミナーにて技術紹介(12月4日)

12月4日(金)に、株式会社矢野経済研究所主催で「特許技術ご紹介セミナー第2弾 エネルギー・環境技術～低炭素社会へ向けた取り組みのために～」がTKP新宿ビジネスセンターにて開催されました。セミナーでは東北地区の教育機関のもつ特許技術が6件紹介され、大阪センター新素材創製分野で研究しています陽極酸化光触媒も紹介されました。

第16回ものづくり基礎講座/第8回技術講習会(12月11日)

大阪センターと金属ガラスNEDO特別講座および(財)大阪産業振興機構の主催により、12月11日(金)に「ものづくり基礎講座」をクリエイション・コア東大阪にて開催し、金研・張先生と(株)BMG・真壁様の講演に、25名のご参加を頂きました。また、技術講習も開催し、金属ガラスの実演試作を含めた講習を行いました。



編集後記

衆院選での与交代劇など激動の年が明けて間もないですが、如何お過ごしでしょうか。昨年は科学研究関係の予算配分も急遽大幅に見直され、東北大を始めとする各大学・国研などではその影響は少なからずあったと思います。今後さらにどのような変革があるか未確定な要素が大変多いですが、将来をきちんと見据えた政策が実行されることを期待したいと思います。金研も昨年11月に中嶋教授から新家教授への所長交代があり、新所長のリーダーシップのもとで新たな出発をしたところですので、これから産官学連携の取り組みを一層強化していく予定です。今後ともよろしくご願ひ申し上げます。本年が皆様により良き年であることを祈りつつ。

応用構造材料研究分野 古原 忠 教授

蔵王 樹水

東北大学金属材料研究所

<http://www.osakacenter.imr.tohoku.ac.jp/index.html>

編集・発行

附属研究施設大阪センター
〒599-8531 大阪府堺市中区学園町1-2
大阪府立大学 産学官連携機構8F
TEL 072-254-6372 FAX 072-254-6375
Email imrosaka@imr.tohoku.ac.jp

大阪センター仙台サテライトオフィス
〒980-8577 宮城県仙台市青葉区片平2-1-1
TEL 022-215-2124 FAX 022-215-2126

クリエイション・コア東大阪
〒577-0011大阪府東大阪市荒本北1-4-1(南館2F-2207室)
TEL/FAX 06-4708-3550

