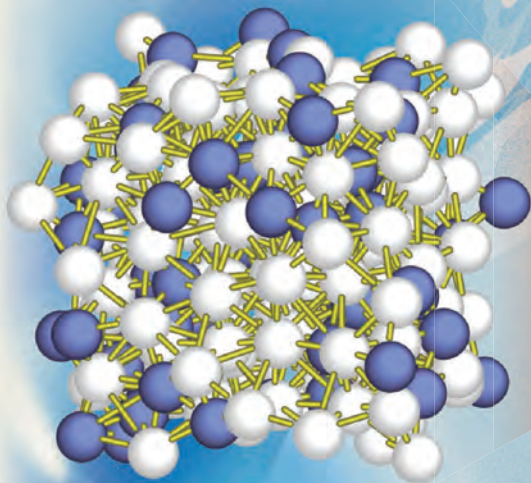


金属ガラスの世界



強くしなやかな 未来の金属材料

東日本大震災の影響で発行が遅れましたが、TOHOKU WPI通信vol.4をお届けします。報告したいことがたくさんありますので、ページを増やしています。文部科学省の世界トップレベル研究拠点プログラム（WPI）によって設立された東北大学原子分子材料科学高等研究機構（WPI-AIMR）のことを広く知っていただくために刊行された広報誌TOHOKU WPI通信も2年目を迎えました。これまでに、WPIプログラムの紹介、当機構の紹介、次世代の光を発生する材料、暮らしに欠かせないゴム・・・のお話をしてきました。今回紹介する材料は、東北大学が世界をリードする「金属ガラス」です。金属のガラス？ちょっと変ですね。ガラスって透き通っているのではないのでしょうか？でも、科学分野でのガラスの意味は実はちょっと違って、金属もガラスになるのです。この通信を読んでいただければ、その意味がおわかりいただけると思います。強くしてしなやかな未来の材料「金属ガラス」。その研究現場を訪ねてみましょう。

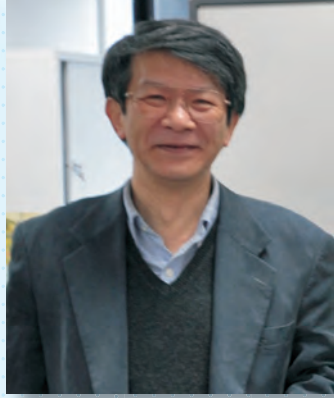
表紙：水焼き入れ法により作製された金属ガラス塊（右）と構成原子が示す無秩序配列（左）

研究室紹介

陳研究室・徳山研究室・ルズギン研究室



陳明偉 教授



徳山 道夫 教授



ドミトリ・ルズギン
(Dmitri Louzguine) 教授



陳先生、徳山先生、ルズギン先生、こんにちは。
今日はどんなお話を伺えるか、わくわくしています。



CHEN

びいくん、よく来てくれました。
今日は「金属ガラス」についてお話ししましょう。



金属がガラスなんて、何のことなのか、
よくわかりません。
ガラスって透明な感じがしますが、金属
も透明になるのですか？

ガラス?



TOKUYAMA

いやいや、実はガラスという言葉には、科学的には「透明」という意味は含まれていないのです。
今日は、それについても、しっかり勉強して帰っていただきますよ！

金属ガラス?

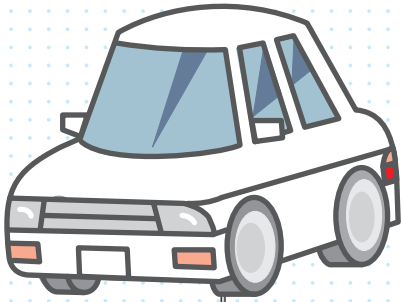


LOUZGUINE

しかも、金属ガラスには、普通の金属材料よりもずっと強かったり、しなやかな特徴があって、皆さんが知っている金属とは全く異なる未来の材料なのです。

強くて柔らかい金属ガラス

スチール鋼よりも5~10倍強い！



直径3mmの金属ガラス棒で、
何と3トンの物を持ち上げられる！

えっ？
こんなに細い棒で!?

金属ガラスは どうして
そんなに強いのですか？

直径3mm



竹内 章 准教授

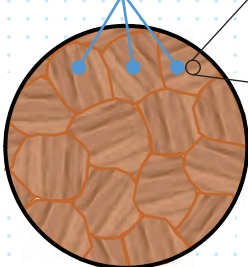
物質は、細かく分けていくと、最後は原子という粒になります。ふつう、固体の中では、原子が規則正しく並んだ「結晶」になっていますが、液体のように原子が無秩序の状態になったまま固まって固体になっているものを「非晶質」と呼びます。ガラスは非晶質の中でガラス転移点（ポイント解説をご覧ください）を持つものを指します。つまり、「ガラス」には「透明な材料」という意味はなく、原子が無秩序に集まった状態を指しています。かつて金属をガラス状態にするのは難しいと考えられていましたが、東北大学が世界に先駆けて開発した技術によって、それができるようになりました。



ガラス細工の光景
これと同じように、
柔らかくなる金属ガラスは、
製品の形を作りやすいのです。

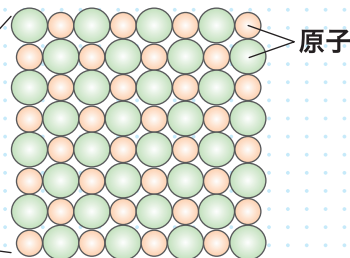


どれも結晶



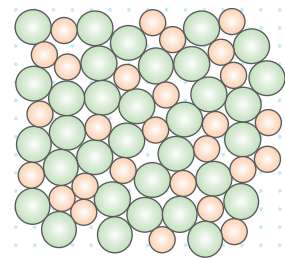
普通の金属を顕微鏡で観察すると
結晶の粒子が見える。

結晶



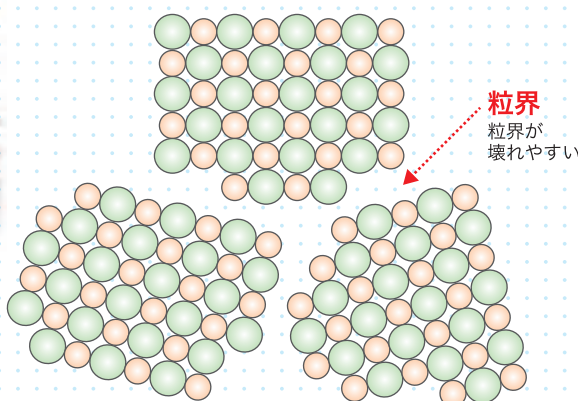
結晶の一部を更に拡大していくと
規則的に配列した原子に行きつく

非晶質(ガラス)

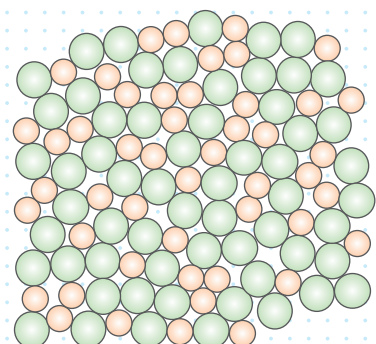


さて、普通の金属を顕微鏡で見てください。すると、たくさんの小さな結晶が集まってできていることがわかります。このような、小さな結晶がたくさん集まっている状態を「多結晶」と呼びます。また、結晶と結晶のつなぎ目を「粒界」と呼びます。結晶の1つ1つは強いのですが、この粒界の部分が弱く、壊れてしまうのです。ところが、金属ガラスでは、この粒界がないため、壊れにくく、強いのです。

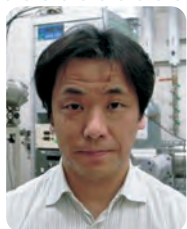
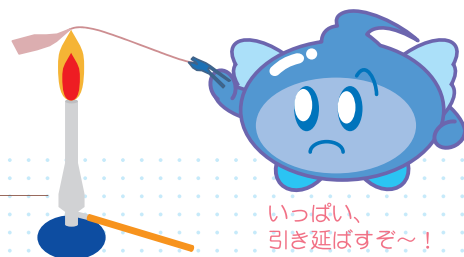
通常の金属(多結晶)



壊れやすい場所がない



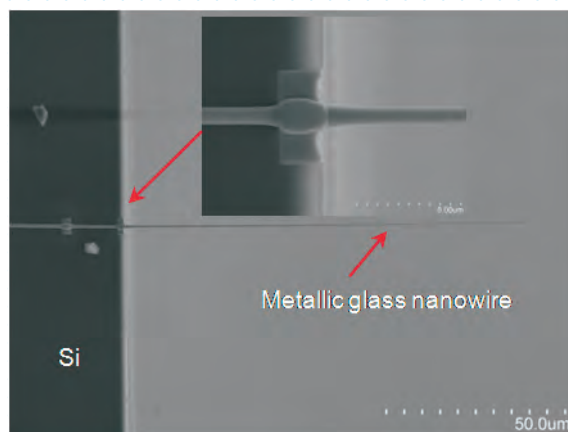
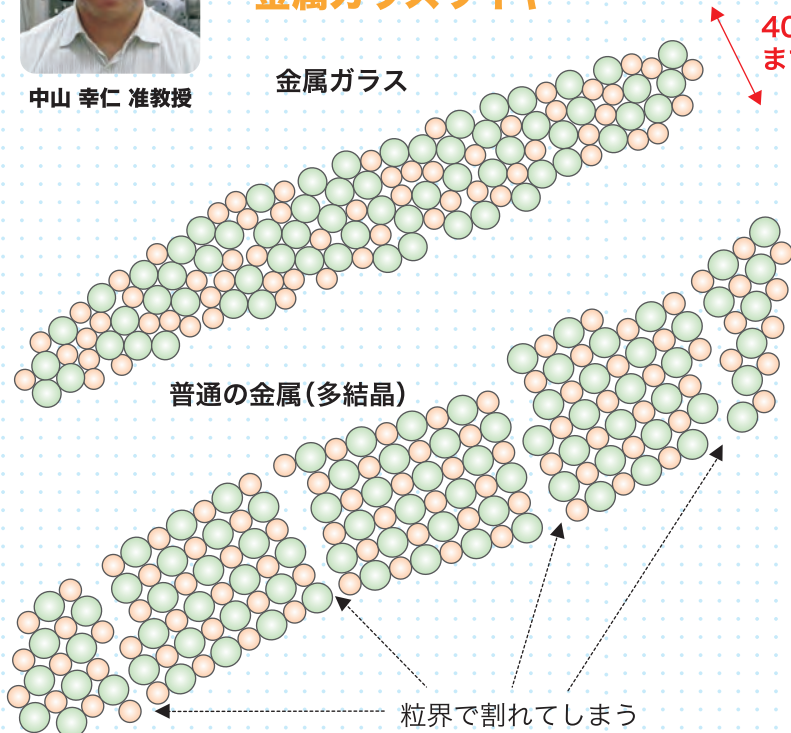
広がりゆく金属ガラスの世界



中山 幸仁 准教授

普通の金属であれば、細く延ばし過ぎると粒界で割れてしまうのですが、粒界のない金属ガラスであれば、細く細く引き延ばすことができます。この金属ガラスの性質を利用することによって初めて長尺化に成功した金属ガラスナノワイヤーは、ナノ共振器、触媒、磁気センサなど、いろいろな用途に応用できると期待されています。

金属ガラスワイヤー



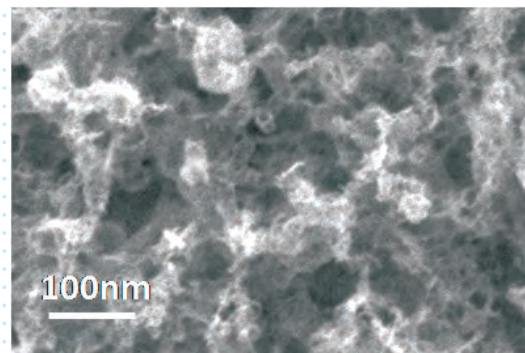
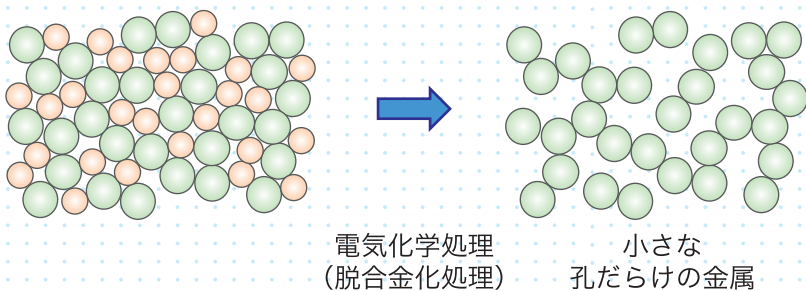
金属ガラスナノワイヤーで作ったナノ共振器



藤田 武志 准教授

金属ガラスのナノポーラス化

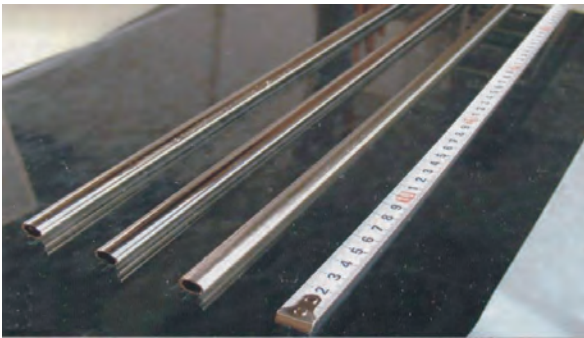
金属ガラスは、複数の種類の原子(元素)を混ぜて作った合金です。その中の特定の元素を電気化学処理(脱合金化処理)によって溶かし出すと、ナノメートルスケールの小さな孔(あな)がたくさんあいた金属、すなわち、ナノポーラス金属ができます。2010年のノーベル化学賞受賞(鈴木章・根岸英一両博士)で金属触媒の重要性が広く知られるようになりましたが、孔だらけにすることによって、この触媒の効果が飛躍的に向上します。今後の化学合成技術に大きく貢献すると期待されています。



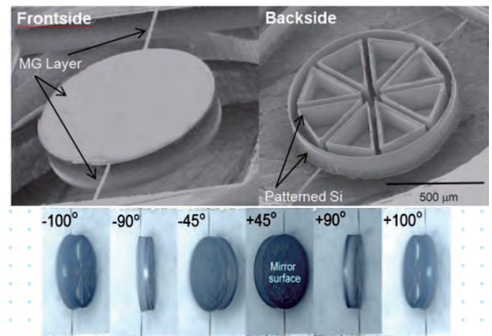
1ナノメートル(nm) = 1千万分の1センチメートル(cm)
= 10億分の1メートル(m)

無限の応用

金属ガラスはその際立った強さによって、様々な用途に使用されようとしています。例えば、普通の金属ではすぐに壊れてしまうような微小部品（微小ギヤ、微小モーター）などにも応用可能です。また、頑丈で柔らかいという性質から、センサー・アクチュエーター用のマイクロミラーへの応用も試みられています。更に、その電氣的・磁氣的な性質から、電子・磁気デバイスへの応用も期待されています。



このような長いパイプ状の金属ガラス材料を作ることでもできます。



金属ガラスの特徴とWPI-AIMRの微小電気機械システム (MEMS) 作製技術の融合でできたマイクロミラー。内視鏡内観察用スキャナーや自動車用センサーなどへの応用が期待されています。
(写真はMEMS材料研究室 林 育菁 助教の協力による)

金属ガラス研究グループのみなさん

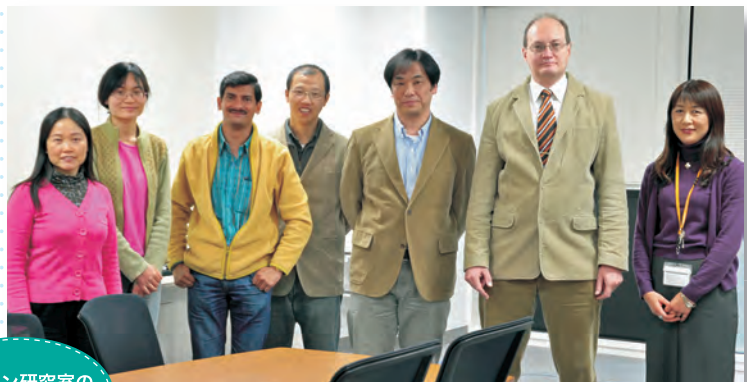


陳研究室のみなさん



徳山研究室のみなさん

先生方、今日のご案内ありがとうございました。
金属ガラスは東北大学が世界に誇る新材料で、無限の可能性があるのでですね。そして、この分野でも、目には見えない原子・分子レベルの基礎研究がとても重要なのですね。



ルズギン研究室のみなさん

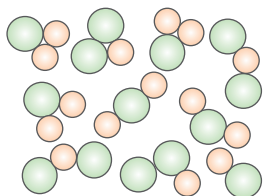
ポイント解説

興味をもってくださった読者のために、科学としての面白さや最近のトピックスを紹介します。



Point 1 なぜ、金属ガラスが作れるようになったのか？

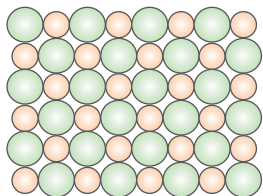
金属には原子が規則的に並ぶ性質があり、すなわち、原子が秩序を失っている液体の状態から冷却する間に、規則配列が進み、結晶になります。さて、これに、大きさが異なる別の原子を入れるとどうなるでしょう。規則正しい配列を実現しにくくなり、比較的速く冷却すれば、液体状態での無秩序状態が残ります。まだ金属がガラスになるメカニズムが完全に解明されているわけではありませんが、一般に、3種類以上の大きさの異なる原子を混ぜるとガラスになりやすいことが知られています。



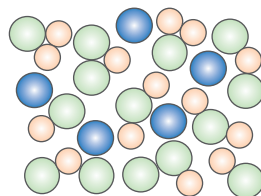
液体



速く冷やしても
結晶になりたがる



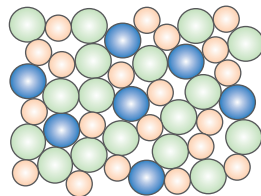
固体
(結晶)



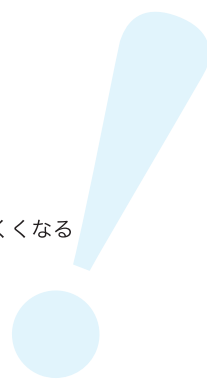
液体



規則的に配列しにくくなる



固体
(ガラス)



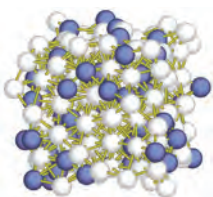
Point 2 無秩序の中の秩序



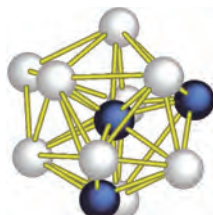
平田 秋彦 助教

これまで、ガラスの構造は無秩序と表現していましたが、最近の透過電子顕微鏡を用いた原子レベルの観察で、完全な無秩序状態ではなく、2種類以上の原子がいくつかの決まったクラスターの形を作っていることがわかってきました。

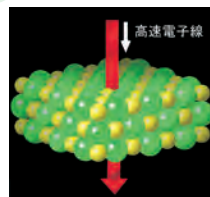
この発見は、金属ガラスがガラスになるメカニズム、そして金属ガラスが高強度になるメカニズムを解くカギになると期待されます。



全体的には
無秩序配列



発見したクラスター
構造の一つ



透過電子顕微鏡は高速に加速した電子線を薄い試料を通過させ像として観察する

透過電子顕微鏡



Point 3 ガラス転移とガラス転移点



沸点、融点については中学校で習いますが、ガラス転移点は今でも謎に包まれた研究対象です。硬いガラスを加熱していくと、ガラス転移点で急激に流動性が増し、液体的な挙動を示すようになります。この現象をガラス転移と呼びます。

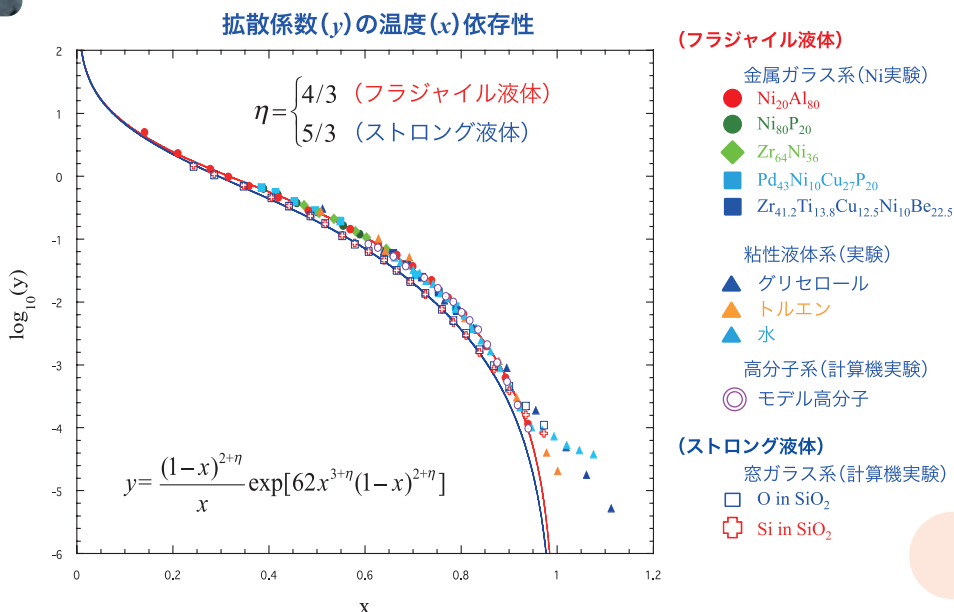
ガラス転移点の近くで一体何が起きているのか？これを解くカギとなる最近の研究成果を、Point 4で徳山教授が解説します。そのデータは、金属でも高分子でも、その背後に**普遍的な法則**があることを私たちに示してくれます。

Point 4 ガラス転移近傍のダイナミクス



徳山 教授

温度を下げていくと、あらゆる液体は原理的にガラスになりますが、ガラス転移温度を超えてガラスになる前に通常の液体とは全く異なる複雑な緩和現象を生じる過冷却液体となります。過冷却液体においては、原子1個の運動（拡散という）を追っかけると、その運動は金属ガラス系、粘性液体系や高分子系などのフラジイル液体と窓ガラス系などのストロング液体に分類でき、簡単な普遍式 ($y=f(x)$) によって記述されることが最近の私の理論研究で明らかにされました。データが実線で記述される場合は平衡状態で、ガラス状態（非平衡状態）では実線からずれて行きます。その点がガラス転移温度です。



実は、平衡過冷却液体から非平衡ガラス状態へのガラス転移現象のメカニズムはまだ明らかではなく、**現代科学においても未解決のノーベル賞級の問題の一つ**で、これから大学入学を目指す方には、是非、この問題を解くために、この分野に入って、一緒に考えていただきたいと思っています。

1

 アニュアル ワークショップ
 2011 WPI-AIMR Annual Workshop

2月22日から24日までの3日間、当機構の1年間で最も大きなイベント、2011 WPI-AIMR Annual Workshopが仙台国際センターで開催されました。第一線級の材料科学者約200名が内外から仙台に集い、グリーンイノベーションに資する先端的な機能材料について議論しました。ノーベル賞受賞者であるペドノルズ博士、グリュンベルク博士、文化勲章受章者である飯島澄男博士（本学出身）の特別講演も行われました。



山本機構長

開会の辞

黒木登志夫
WPIプログラム
ディレクター

WPIプログラムに関する講演



ペドノルズ博士

グリュンベルク
博士

飯島澄男博士

本ワークショップのテーマは、「グリーンイノベーションに向けた先端機能性材料」。環境問題、エネルギー問題が深刻となった現代において、創エネルギー、省エネルギー、環境浄化に資するグリーンマテリアルの創製を目指す当機構のビジョンを、このワークショップで明確に提示しました。

平成23年度前半のアウトリーチ活動では、学都仙台コンソーシアムサテライトキャンパス公開講座、学都「仙台・宮城」サイエンス・デイ2011、東北大学オープンキャンパス2011の3つのイベントで、講義を行ったり参加者の皆さんと体験実験を楽しみました。

今回の金属ガラス特集でも解説したように、材料には、原子や分子が規則正しく配列している結晶からなるものと、原子や分子が無秩序に配列した構造をもったもの（非晶質と呼び、ガラスがその代表例です）があります。透明な材料であれば、2枚の偏光板を使って、これらを見分けることができます。偏光板を扱うことで、光の性質も勉強できますし、材料に関する理解も楽しみながら深まる、という企画でした。今後も、このような形で、一緒に実験を楽しみながら、交流を深めるイベントをしていきたいと思っております。

2 学都仙台コンソーシアム サテライトキャンパス公開講座

「材料のおはなし

—石ころから暮らしを支える先端材料まで、そのつながりをひも解く—

6月11日(日)
東北工業大学
一番町ロビー4Fホール

震災後、サテライトキャンパス公開講座も開催が危ぶまれたようですが、主催の皆様のご尽力によって開催に至り、私どもも、講座を開くことができました。学都仙台コンソーシアムの運営に関わられている皆様と、このような状況下でも向学心をもって講義に参加くださった皆様に御礼を申し上げます。



3 東北大学オープンキャンパス2011

7月27日(水)・28日(木)



4

学都「仙台・宮城」サイエンス・デイ2011

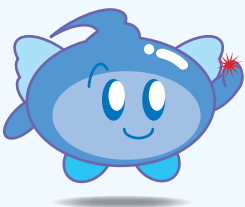
7月10日(日)
東北大学
川内北キャンパス



WPI-AIMR賞



学都「仙台・宮城」サイエンス・デイでは、今年度から、出展者に対して様々な視点から評価し表彰できる「サイエンスデイAWARD」の制度が始まり、当機構、山本嘉則機構長が「WPI-AIMR賞」を新設しました。WPI-AIMR独自の基準により審査し、「未来を拓く光輝くプラズマを触ってみよう!」を出展した東北大学 大学院工学研究科 畠山・金子研究室を表彰しました。7月19日(日)に東北大学片平さくらホールで行われた表彰式において、山本機構長から表彰状のほか、副賞として、WPI-AIMR機構グッズ、ならびにWPI-AIMR新本部種ラボツアー特別ご招待状が贈られました。



みんな～、
また一緒に実験しようね!



WPI-AIMRの今

3月11日の東日本大震災、ならびに4月7日の余震では東北大学も様々な被害を受けました。

WPI-AIMRも、建物や装置の損傷によって研究活動に遅れが見られましたが、懸命の復旧作業の結果、一部の施設、装置を除いて、震災前と同様の研究ができるようになっていました。また、震災の経験により、社会における材料科学者の役割を議論する機会も増えています。

WPI拠点が東日本大震災によって受けた影響やその後の復旧については、「東日本大震災の影響」と題して、黒木登志夫WPIプログラムディレクターが報告をしています。

http://www.wpi-aimr.tohoku.ac.jp/jp/modules/news/index.php?content_id=59



小谷元子教授がWPI-AIMRの副機構長に就任しました。



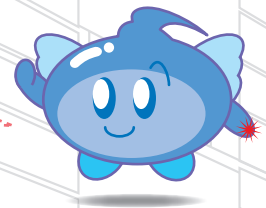
ごあいさつ

その昔、石や木を道具として利用するようになった人類は、更に便利な道具を得るために、青銅、鉄などの新たな材料を使用するようになりました。鉄はその加工に高温が必要なため、人類は次々に、高い技術を開発していきました。その結果、材料を科学的に理解し、優れた機能をもつ材料を、できるだけ小さなエネルギーで作っていくための知識体系、すなわち「材料科学」が構築されていきました。

20世紀には、様々な材料（金属、セラミックス、高分子・・・）ごとに独自の材料科学が確立しましたが、21世紀においては、より体系化された、総合的材料科学の必要性が指摘されています。特に、創エネルギー、省エネルギー、環境浄化に資するグリーンマテリアルを作り出すという当機構の目的を実現するためには、全ての材料に共通の原理原則を見出し、経験に頼らずとも新しい材料を開発できるような、正確な理論体系に裏打ちされた材料科学が必要です。

私は数学者ですが、全ての現象の背景にある普遍的原理を見出すことのできる「数学」という道具を使って、新しい材料科学創成のお手伝いができればと思っています。

小谷先生、
よろしくお祈いします！



WPI-AIMR新本部棟が完成しました



メンバー全員が片平キャンパスに集結し、異分野融合による新しい材料科学の創成が加速されます。

NEWS ニュース

2.1 栗原 和枝 教授

主任研究者の栗原和枝教授がオーストラリア化学会より「A. E. Alexander Lectureship」を受賞しました。

5.13 川崎 雅司 連携教授

川崎雅司連携教授が2011年第8回本多フロンティア賞を受賞しました。

9.11 板谷 謹悟 教授

主任研究者の板谷謹悟教授が国際電気化学会の“The Prix Jacques Tacussel Award of the International Society of Electrochemistry”を受賞しました。

INFORMATION インフォメーション

10/8,9 片平まつり・WPI-AIMR一般公開

ナノ・エキスポと題して、最先端材料科学の世界にご招待！
10月8日(土)・9日(日) 10:00~17:00
<http://www.wpi-aimr.tohoku.ac.jp/openhouse/>

11/3 2011東北大学祭

材料科学への招待
—最先端材料科学の紹介とおもしろ体験実験—
11月3日(木) 9:00~17:00
<http://www.festa-tohoku.org/>

11/12 WPI 6拠点 合同シンポジウム(福岡)

「最先端の科学と君たちの未来」
11月12日(土) 13:00~18:00
会場：福岡銀行本店ホール
<http://www.wpi2011.org/>

12/17,18 科学・技術フェスタ in 京都

12月17日(土)・18日(日)
会場：国立京都国際会館

編集後記

東日本大震災から半年が過ぎました。この間に様々なことがあり、本誌前号vol.3を発行(2月)したのが何年も前のように思えます。本来6月にvol.4を発行する予定でしたが、復旧を最優先する必要もあり、1回分延期して、今回vol.4の発行となりました。その分、ページ数を増やして、この間に起こった出来事をお伝えしています。東北大学からも既に、震災の経験をふまえたいろいろな取り組みの提案がなされていますが、震災を経験した研究機関として、研究に対する意識の変化があり、それを今後の研究に、どう活かしていくかが課題になってくると思います。

最後に、表紙の金属ガラス塊の写真は Intermetallics 19 (2011) 1546 より、また5ページのパイプ状金属ガラスの写真は Mater. Sci. Eng. A 375-377 (2004) 16 よりElsevierの許可を受け転載したことを記します。

過去のWPI通信 (vol.1~3) は、お届け先をご連絡いただければお送りいたします。

当機構のホームページ▼

http://www.wpi-aimr.tohoku.ac.jp/jp/modules/kenkyu/index.php?content_id=22 からダウンロードすることもできます。

SQUARE

読者の皆様との

“交流スクエア”

私たちの研究施設を初めて一般公開します。楽しみながら原子・分子の世界に触れられるイベントを多数企画しています。

皆様、お誘い合わせのうえ、ぜひおいでください。

片平まつり 2011
原子分子材料科学高等研究機構 (WPI-AIMR)
一般公開
ナノ・エキスポ
ナノって何なの?
日時 10月8日(土) 9日(日)
開 10:00 ▶ 15:00
会場 東北大学片平キャンパス WPI-AIMR本館
対象 小・中学生、高校生、大学生、一般
開催イベント
① 原子・分子ツアー (最先端顕微鏡で原子・分子の世界を覗く)
② アリよりも小さい鎖
③ ドロドロしるやまとあそぼう
④ コムの不思議を体験しよう
⑤ 不思議な水
⑥ アメリカン紙漉きショー
⑦ コンピュータの中の原子・分子
⑧ スライムをつくろう
会場案内
お問い合わせ
WPI-AIMR 一般公開専用ダイヤル(無料) 0120-350-350
〒980-8577 宮城県仙台市青葉区片平2-1-1
東北大学原子分子材料科学高等研究機構
E-mail: outreach@wpi-aimr.tohoku.ac.jp
URL: <http://www.wpi-aimr.tohoku.ac.jp/openhouse/>

片平まつり
WPI-AIMR一般公開
ナノ・エキスポ

- 片平まつり記念講演会 『免震ゴムの科学』
- 講師：西 敏夫 (WPI-AIMR教授)
- 日時：10月8日(土) 14:00~15:00
- 会場：生命科学プロジェクト 総合研究棟

みんな、見にきてね~



★ 最先端材料科学の世界にご招待！

最先端の顕微鏡を使って原子・分子の世界をのぞく研究室ツアーもあります。

<http://www.wpi-aimr.tohoku.ac.jp/openhouse/>

この原子・分子ツアーに参加ご希望の方は、

outreach@wpi-aimr.tohoku.ac.jp

にメールをお送りください。



WPI*AIMR

東北大学原子分子材料科学高等研究機構



問い合わせ先

〒980-8577 宮城県仙台市青葉区片平2-1-1

東北大学原子分子材料科学高等研究機構

アウトリーチ担当：池田 進

電話：022-217-5976

電子メール：outreach@wpi-aimr.tohoku.ac.jp

<http://www.wpi-aimr.tohoku.ac.jp/jp/index.php>