

T^{time!}

学生が作る工学部広報誌

Vol.51

2012.12

特集 マテリアル工学科

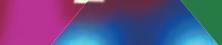
戦え！
東大マテリアル！

研究

- ◆ 人体の自己防衛反応と戦う
- ◆ マテリアルフロー解析による素材の需要予測
- ◆ マテリアルの力で半導体の限界を超える

特集

- ◆ 材料四天王！
- ◆ 学生座談会～マテリアル工学科で何を学ぶか～



High-K

酸化シリコ

シリコ

シリコ

シリコ

シリコ

シリコ

シリコ

人体の自己防衛反応と戦う

先生が対峙する最大の敵は人間の体そのもの。従来の医療用デバイスは人体の自己防衛反応による攻撃を避けることができませんでした。自己防衛反応という強敵に対し、自身の開発した必殺兵器で戦いを挑む石原先生にお話を伺いました。

写真1 MPCポリマーの分子モデル図

先生の敵は何ですか。

敵は人の自己防衛反応です。人体に人工血管、人工心臓などの医療用デバイスを入れると、人が本来持つ免疫系によって異物として認識され、様々な障害が発生します。そのため、免疫抑制剤等の薬を一生飲み続ける必要があるのです。現状では医療用デバイスの基となる材料が不完全なために薬を使って免疫機能を抑え、体を材料に合わせているのです。人体のもつ防衛反応、つまり人間の体そのものが最大の敵です。

先生の武器は何ですか。

私の武器はMPCポリマーという高分子材料です。人体はさまざまな種類の細胞から構成されますが、血液の細胞、筋肉の細胞、皮膚の細胞など、どの細胞の表面も同じ化合物からなる細胞膜でおおわれています。これがMPCポリマーなのです。つまり、このたった一つの化合物を人工的に作り、医療用デバイスの材料として用いれば、人体には自分の細胞と同じものとして見なされ、免疫系をうまく騙すことができるのです。私が武器とするMPCポリマーを用いることで、人体に移植しても自己防衛反応による攻撃を受けない医療用デバイスを作ることが可能になるのです。

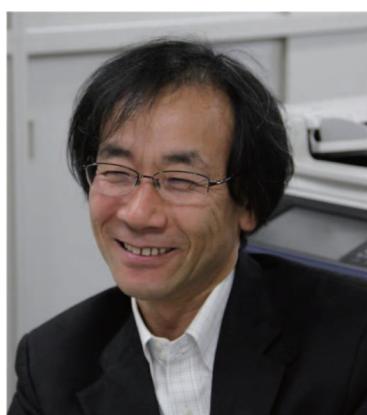
武器を使って敵とどう戦うのですか

MPCポリマー自体の機械的強度は弱いため、金属や、セラミックス等の材料を中に埋めこみます。金属やセラミックスのみを体に埋め込むと、体に異物として認識され自己防衛反応による攻撃を受けてしまいますが、表面をMPCポリマーで覆ってやることでうまく人体を騙すことができるのです。私が研究室でポリマーを合成していた時はフラスコの中で1年間に1kg合成するのがやっとでした。しかしこんなスケールだと、実験はできますが実用化はできず、材料としての役割を果たせません。工場での大量合成を行うために、さまざまな合成方法を検討し、最適化した結果、現在では一年間に10t製造できるようになりました。一般的な研究なら、研究室で行っていた実験が工場スケールで実用化できただけでも十分成功と言えるでしょう。しかし材料開発の場合はここがスタート地点です。やっと武器を持って敵に戦いを挑めるようになったところだといえます。MPCポリマーという武器を使って自己防衛反応を引き起こさない、より優しい医療を目指して挑戦しています。

実際にMPCポリマーを用いた医療用デバイスにはどのようなものがありますか

MPCポリマーを用いることで今まで

作成不可能と言われていた口径2mmの人工血管の作成に成功しました。従来の人工血管では、血液中のタンパク質を吸着し、血栓ができるために血管が詰まってしまうという問題がありました。しかしMPCポリマーには、タンパク質の吸着を低減し、血栓を作らない性質があるため、細い人工血管の作成が可能となつたのです。MPCポリマーは、細胞や生体分子の付着を強力に抑制するだけでなく、免疫応答の抑制効果も明らかにされていて、「限りなく生体に近い存在」として認識されているのです。この技術は世界でも大きな反響を呼び、すでに15年以上前からコンタクトレンズ、人工心臓、人工血管、薬物キャリア、バイオ



いしはら かずひこ
石原 一彦 教授

石原研究室（生体材料創成学）

チップと幅広い医療デバイスに応用されています。

日本で開発された人工心臓「エバハート」は、ポンプ内部、カニューレなど血液と接する全ての部分が MPC ポリマーで覆われています。動物実験レベルにおいて、エバハートを移植されたヤギが抗凝固剤なしで生存823日間を超え、世界記録を更新しています。現在、エバハートは、日本で治験が終了し、臨床使用されています。

常にチャレンジをし、自分なりの評価をしていく

実は私が MPC ポリマーの合成に取り組む以前に、細胞膜表面の構造と特性について研究し、この医療用デバイスへの応用について評価している研究があったのです。そして、この論文では細胞膜表面構造を作製しても、医療用デバイスとしての効果は期待できないだろうと結論づけられていきました。しかし私は使用されている化合物の純度が低いために良い結果が得られなかったのではないか、より純度の高い化合物を合成できれば医療用デバイスの材料として広く応用できるのではないかと考えました。「この研究はきっと面白いぞ！」と直感で思ったのです。今でも自分の経験から培われた感性を信じて、考えて、自分なりの評価をしていくことが大事だと思っています。



写真3 (左) 人工心臓「エバハート」(右) 人工関節「アクアラ (Aquala)」MPC ポリマーによって異物反応を抑え、機能性向上と高寿命化が可能となった。

同じデータを見っていても、他の人が見ると全く違う結果に見えることだってあるのです。実際、純度の高い化合物を合成することで、論文とは異なる、より良い結果を得ることができました。もちろん失敗はたくさんしました。でも失敗して落ち込むのは10秒間あれば十分です。未知のことにチャレンジしていたら、落とし穴も当然あります。でも、また這一上がればいい、這一上がれば前に進めますからね。失敗して積み重ねた経験から反省し、またチャレンジしていくけば、確実に前に進んでいますよ。

最後に学生に向けてメッセージをお願いします。

何事も楽しむことが一番のモチベーションになります。生活の中でも、毎日ちょっとしたことでもいいから面白いと思ってください。毎日単純に過ごすではなく、小さな違いを見過ごさないようにすごしていく中で、昨日と違う今日、明日を見つけることが出来るでしょう。

(インタビュアー 小川 灯)

既往の材料 MPCポリマー

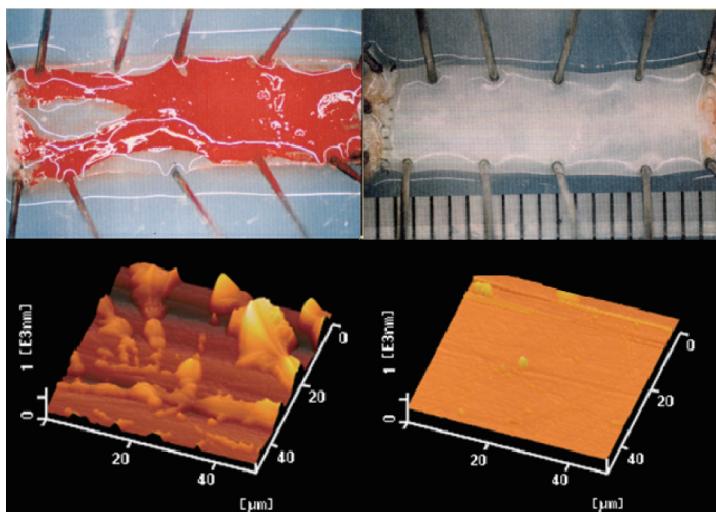


写真2

(上段) 人工血管。
MPC ポリマーを表面に加工すると血液凝固反応が起こらない
(下段) タンパク質汚れを表した図。MPC ポリマー表面ではタンパク質の吸着がほぼ起こらない。

マテリアルフロー解析による素材の需要予測

人間活動の発展とともに、いろんな素材が生まれました。中でも鋼材は、いまや世界で最も利用されている金属素材です。2010年の世界における鋼材蓄積量は160億トンにも上ります。経済学者がお金のフローとストックを解析するように、マテリアルフロー（素材の流れの）解析によって世界全体の鋼材の分布を把握することで環境問題に取り組んでいる松野泰也先生にお話を伺いました。

先生の敵は何ですか

環境問題の多くは、直接的には見えないものです。この目に見えないものを「見える化」することに取り組んでいます。

先生の武器はなんですか

敵と戦う武器の一つとして、マテリアルフロー解析を用いています。これは、実際に社会中に存在している素材の量を可視化するものです。例えば今、自動車や建造物に使用されている鋼材も数十年後にはスクラップになり、資源としてリサイクルされます。このような社会中の素材のフローとストックを明らかにしています。

どのように研究をすすめるのですか

このような研究においては、データがないと解析できません。統計データを精査することから始めます。しかし、途上国等ではデータが得られないことが多いですし、統計がしっかりとしていない場合は出てきたデータが正しいかどうかさえわかりません。

そこで、一つの試みとして人工衛星画

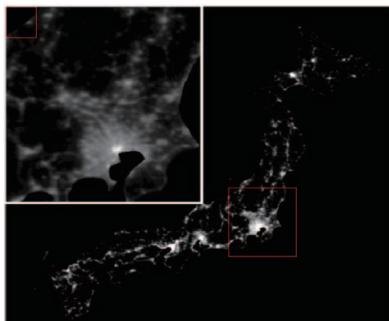


まつの やすなり
松野 泰也 准教授

マテリアル・サステナビリティ研究室

リサイクルペットを使用したジャケット着用中。軽くしわにならず通気性にも優れている。人前で着用することでエコプロダクトの普及に貢献。

像を活用しています。人工衛星で撮影された夜間光を解析するのです。地球全体をカバーした均一なデータを使用できます。光の強度が大きいところは人間活動が盛んであり、車があり、ビルがあり、鋼材のストックがあるわけです。夜間光を抽出して、強度を測ったデータと鋼材のストック量で相関をとります。それにより、統計データのないところも夜間光から鋼材の蓄積量を推定することができます。アジア等、地震頻発地域では、同じ強度の光に対して多くの鋼材が使用されているので、見積もり量にファクターとしてかけて調整します。鋼材を用いる建物は、頑丈な分、相対的にコストがかかるので、経済発展と鋼材の蓄積量にも関連があることがわかつてきました。



写真：人工衛星から撮影した夜間光
東京などの都市部が明るいことがわかる

解析したデータはどのように役立てられるのですか

この研究の面白さは鋼材の需要量に関して将来の予測が立てられることにあります。

一年の蓄積量の変化はその国・地域のGDP／人や人口の予測値により推計することができ、社会からの排出量は、過去の素材の投入量および最終製品の寿命分布により求めることができます。

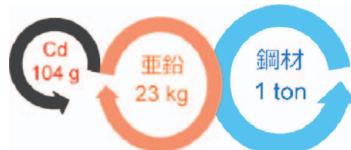
それゆえ、将来の社会への素材投入量

(つまり需要量)は以下の式により求められます。

$$\text{需要量} = \text{蓄積量の変化} + \text{社会からの排出量}$$

他にデータ解析の応用先としてはどのようなものがありますか

例えば、亜鉛は、用途の6割程度が鋼材のメッキです。そのため、将来、鋼材需要が増大すれば、亜鉛の需要も増大します。しかし、亜鉛には必ずカドミウムなどの元素が含まれています（下図）。



図：1トンの鋼材の製造に伴い、亜鉛が23kg消費され、それに伴いカドミウムが104g出てくる

カドミウムは、健康に悪影響を及ぼすことから近年需要が減少傾向にあります。加えて、社会には既にニッカド電池等大量のカドミウムが蓄積されています。このカドミウムの余剰問題を解決するために新たな用途を考える必要があります。

そこで目をつけたのがCdTe型の太陽電池でした。CdTeは低価格で効率の温度依存性が小さい太陽電池で、製造工程においてもしっかりと管理すればカドミウムの漏出の可能性は低いです。余剰のカドミウムを太陽電池として利用すれば、電力不足の解消にもつながります。

このように、将来の素材の需要量を予測することから、他の素材の需要・供給にどのような影響があるかが予測できます。その予測は環境に配慮した素材の利用方法の提言につながります。

（インタビュアー 西村 知）

マテリアルの力で 半導体の 限界を超える

パソコンや家電など、身の回りにあふれている電子情報機器。それらの基盤となるのは半導体、さらにそれを支えているのは…マテリアルの技術です。新しい電子デバイスをつくりだすべく半導体材料について研究されている鳥海先生に、材料の特徴を使って技術を開発していくことの魅力を、工学の面白さや読者へのメッセージとともに語っていただきました。

先生にとっての敵は何ですか

敵は「世の中の風潮」でしょうか。現在、半導体技術は既に成長しきったかのように見られる場合が多いのですが、当然まだまだ発展する領域が広がっています。新たなアイディアで新たな電子デバイスを生み出していくことが、大学の役割だと思っています。

その敵に向かうための武器は何になるのでしょうか

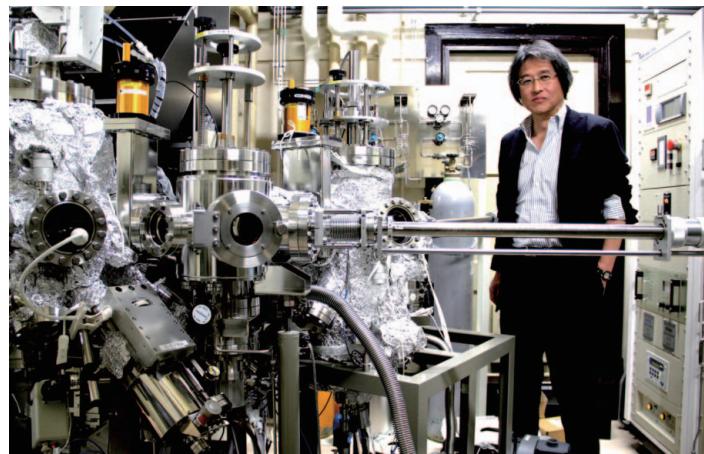
あえて言えば、「材料の個性」によって戦う、ということになります。さらに、材料のあるがままの性質を使うというだけでなく、それをデザインしていきたいと考えています。そうすることが、日本に強みが残るオリジナルな電子デバイスの出現につながるものと思います。

現在の研究テーマに沿って、その具体的な例を教えて下さい

今扱っているテーマの中で、特に思い入れのあるのは「High-k 膜」の研究です。パソコンなどの電子製品は、トランジスタが集まってできています。このトランジスタは、簡単に言うとコンデンサから構成されているので、以下の高校で習う式で理解することができます。

$$C = k\epsilon_0 \frac{S}{d}$$

コンデンサの性能を上げる（単位面積あたりの容量 C/S を大きくする）ためには、極板間距離 d を小さくする、つまり絶縁膜の厚さをなるべく薄くする必要があります。高校で習うコンデンサでは、この絶縁膜にあたるのは空気です



とりうみあきら
鳥海 明 教授 先端デバイス工学研究室

短波長のレーザーを使って厚さ1nm以下の薄膜を作る装置とともに

ね。トランジスタでは、シリコン酸化膜を絶縁膜として使っています。しかし、これをどんどん薄くして、1 nm くらいになると、今度は薄すぎて電流が流れてしまします（量子力学的トンネル効果）。これでは絶縁膜の機能としては本末転倒です。

そこで、トランジスタに High-k 膜という材料を使う手法が考えされました。High-k 膜というのは、比誘電率 k が大きい膜という意味です。すると、たとえば 2 nm のこの膜を使うと、シリコン酸化膜で 0.5 nm に相当する性能が達成できるようになりました。先の式を見ても k が大きければ d が小さくならなくても良いことはすぐにわかるでしょう。

ここに、まさに工学ならではの面白さがあります。つまり、今までの常識では“原理的にはダメ”なことが、材料の変更で OK ということになります。もちろん、研究の過程ではもっと難しいことも必要になりますが、メインに考えるところは高校でも習うこの式です。このような基本式を使って、材料の特性を上手く用いて柔軟な発想を働かせれば、突破口が見つかる可能性はまだまだあります。

この High-k 膜はすでに一部で実用化されていますが、電子の移動のスピードが遅くなるという欠点もあります。これ

を解決するために、実験的に探索しているところです。

また私の研究室では、この High-k 膜を酸化シリコン膜と合わせて絶縁体として利用しようとした時に、2つの膜の境界で「ダイポール」と呼ばれる電荷の偏りが発生することを、世界で初めて発見しました（左下図）。絶縁体と絶縁体の間にこんな電子の分布が出来るというのは、まったく予想外の結果でした。さらに進んで、この現象がなぜ起きるのかということについては、私の研究室も含めて、まさに今世界中で議論がなされている最中です。

このように、実際の材料に対して電子分布の偏りなどの物性的な視点を取り込んで研究を進め、新しい電子デバイスを作ることを目標としています。

先生にとって研究の楽しさは何ですか

研究そのものではないですが、本格的に研究を始めた修士課程の学生が、ぐんぐん力を付けて良い意味で“生意気”になっていくのを見るのは大変楽しいことです。研究を始めると、実力が指數関数的に伸びていきます。そんな場に立ち会えることは楽しいと思いますね。

読者へのメッセージをお願いします

たとえば、均一な 1 nm の厚さの膜を作るだけでも簡単なことではありません。そういう基本的なスキルを含めいろいろなことを自分でできるようになって初めて、他人の仕事に対するリスペクトが出来るようになります。ぜひ、若いうちにそのようなスキルを身につけ、その上でしなやかな思考を持って、一緒に工学を盛り上げていけたら嬉しいです。

（インタビュー 清水 裕介）



High-k 膜と酸化シリコン膜の間に、「ダイポール」が形成されることを発見

材料四天王！

マテリアル工学科の様々な材料を研究する先生方から寄稿をいただきました！

セラミックス、半導体、鉄鋼、ゲル……

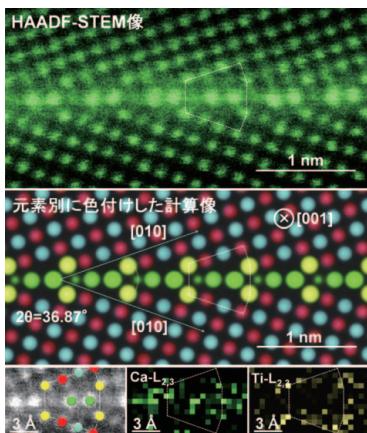
私達の身の回りにある材料たち。

そのような材料の最先端研究の世界へ

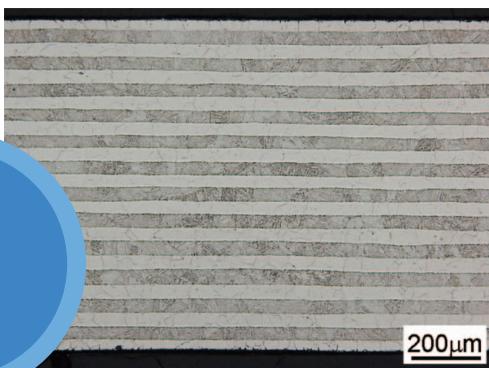
あなたも一步踏み出してみませんか？

我々はセラミックスを研究しています。材料の特性はその原子構造や電子状態によって決定されます。よって原子や電子の位置や状態を観察・解析することで、それらの役割を明らかにできれば、優れた特性を有する材料をつくることも夢ではありません。材料科学研究の面白さもそこにあります。我々は材料特性の理解のため、最先端の電子顕微鏡を用いて、セラミックスの原子一個のレベルにまで掘り下げた解析を行っています。（幾原教授）

セラミックス



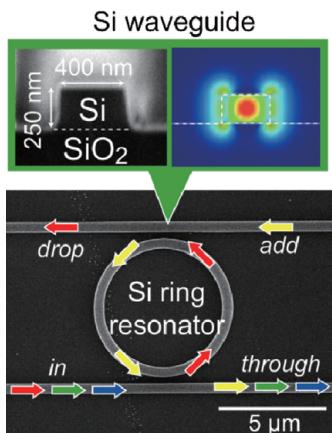
鉄 鋼



超高強度で高性能な鉄鋼材料の研究に取り組んでいます。それが更なる自動車や船の軽量化や衝突安全、ビルや橋の耐震性や多様な設計を可能にします。あのスカイツリーも高強度の鉄鋼材料によって作られました。しかし、これまでの単一の鉄鋼材料では限界があります。私たちは写真のような積層界面を制御して、複数の鋼や金属を複層化した材料を開発しています。これが超高強度でありながら、加工や衝撃変形が可能な革新的な鉄鋼材料を実現します。（小関教授）

シリコンはCPUやメモリといった、半導体電子デバイス材料として現代社会に不可欠な材料です。私たちはそのシリコンを用いた光デバイスの実現に取り組んでいます。今まで、光デバイス作製には受発光効率の良い化合物半導体が主に用いられてきました。しかし、不得意であった受発光機能を改善すれば、微細加工技術に優れたシリコンを用いるとチップ上で光と電子を自在に操ることができるようにになります。この光デバイスは、低電力で高速な情報処理をはじめ幅広い応用が期待されています。（石川准教授）

半導体



ゲル



ゲルとは、高分子が架橋されて三次元の網目を作り、水などの溶媒を吸収したもので、生体組織のようにソフトでウェットなマテリアルです。近年、精巧な分子設計により外部刺激をうけると膨潤収縮変化を起こし、運動や物質輸送、情報変換・伝達などを行うゲルが数多く開発されました。これらは生体機能材料としての応用が期待されています。このような刺激応答ゲルの他、我々は心筋のように自ら拍動するゲルも開発しています。（吉田教授）

(担当 伊藤 秀剛)

学生座談会 マテリアル工学科で何を学ぶか

マテリアル工学科には以下の3つのコースがあります。

Aコース（バイオマテリアル）

Bコース（環境基盤マテリアル）

Cコース（ナノマテリアル）

3つのコースは一見全く異なる分野に思えるかもしれません。

マテリアル工学科で学生はどのような教育を受けているのでしょうか。

マテリアル工学科から大学院同専攻に進学した3人の学生さんに、インタビューしました。



マテリアル工学科の3つのコース（A・B・C）の違いは何でしょうか。

蝦名：「最終製品が何か」というところで区別しやすそう。Aコース（バイオマテリアル）は、最終製品が医用材料。例えば細胞を育てる皿を良くするとか、バイオ実験に関する基礎的な部分を研究する人もいます。

瀧澤：Bコース（環境基盤マテリアル）の最終製品は、構造材料としての金属が中心。金属材料の強度の向上や、ロスの少ない生産プロセスの考案、材料を破壊せずに損傷を探知する手法の開発など、様々な観点から研究が行われています。

荒木：Cコース（ナノマテリアル）の最終製品は、パソコンの中におさまるくらいのサイズのものをイメージしてもらえばと思います。僕はマテリアル工学科進学当時Bコースで、今はCコースの研究室にいます。どのコースに入っても研究室配属は自由が効くんだなということを知ってもらいたいです。

瀧澤：2年・3年の頃は、そこまでコースの区別はないです。授業もだいたい皆同じものをとっています。

マテリアル工学科でどんな授業を受けていますか？

瀧澤：材料の組織や組成の制御であるとか、強度の計算に関わる授業をやってますね。例えば鉄は温度によって格子構造が変化するけれど、炭素原子が入り込んだまま格子構造が変化すると、格子が歪んで硬い鉄が出来るといったことなど。

蝦名：学科配属して初めて学ぶのは、全てのコースで役立ちそうなことです。例えば化学反応に一万年かけなければ作れない工業製品では意味がないので、化学反応速度について学びます。その後もバイオの研究室に行く人であっても鉄のことを学ぶし、金属を研究する人でも有機化学は習います。自分が驚いたのは、金属だけでなく高分子も構造に規則性があるということ。同じ化学式の高分子でも、どんな方向で分子同士をつなげるかで材料の強さや透明度が変わるので、そこも制御しなければならない。

今の研究に最も関係している授業はどれですか？

荒木：自分はシリコンを用いた光デバイスについて研究していますが、それに近い研究をしているCコースの先生に研究に関係することを教わりました。

自分のコース以外の先生の授業を受けるのは、どんな良いことがあるのでしょうか。

荒木：自分の使う材料だけじゃなくて他の材料についても知つておくと、新しいアイディアを生むのに役立つかも。

瀧澤：実際社会で「こういう目的でこういうものを作りたい」ってなった時に、広い幅の知識があるとその中から良い材料を取捨選択できると思いますね。鉄鋼は建物や自動車からハサミに至るまで日常で多様な用途に使われているのですが、それは他の材料に比べて強度や伸びの良さを簡単に制御できるから。

蝦名：研究室の先輩に「会社に入ると、バックグラウンドの全然違う人がいても、だいたい相手の研究の話が分かる」と聞いたことがあります。

荒木：他の学科の人としゃべっているときにも「どの材料使っているの？」って聞いてきっかけが作れるのは、マテリアル工学科くらいだと思います。自分の研究室だったら電気電子工学科とか物理工学科とか、近いことを研究している学科が他にもある。

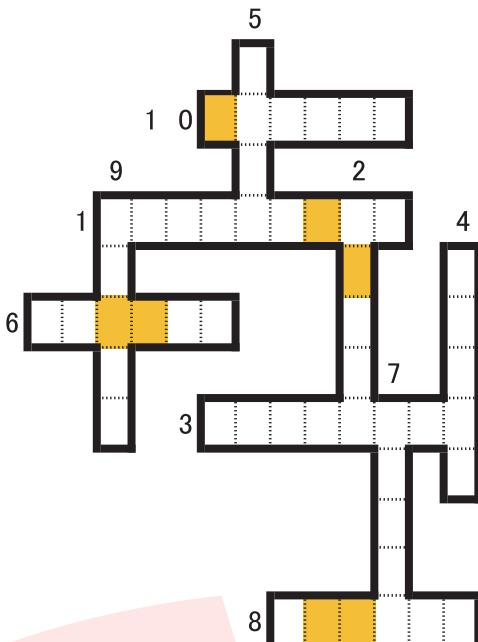
マテリアル工学科に興味を抱く読者へメッセージを。

瀧澤：自分の研究している鉄鋼材料は、例えば地震に対して強い建物とかスカイツリーのように安全性の要求されるものに使われている。研究室で頑張ったことがそのまま社会の利便性や安全性を向上させることにつながります。やりがいがあってすごく楽しいと思うので、是非来て下さい。

蝦名：マテリアル工学科の先生の「医者は一人の命を助けるけれど、我々は、例えば橋を作るなら橋を通る数百万人の命を預かる」という言葉が印象に残っています。目立たないかもしれないけど、重いものを背負っている、そして社会貢献もできる学科だと思います。

荒木：子どもが抱きそうな「これは何で出来るの？」っていうシンプルな疑問に答えてくれる学科です。材料は、工学部の中でも一番下の土台となる学問なので、研究に進む前に学んでおいて間違いないと思う。身の回りのいろんなものに理解が及び、なおさら興味ができます。

(インタビュアー 花村 奈未)



CROSS WORD 問題

色のついた部分を並べてください。

マテリアル工学科のロゴマークのコンセプトが…
答えはTtime!ホームページから！（沼田）

1. 松野先生が戦っている“目に見えない敵”は？
2. High-k膜と酸化シリコン膜の境界における電荷の偏り
3. 社会に存在する素材を可視化したもの
4. 本誌で紹介されたポリマーを用いた人工心臓の名称
5. シリコンは重要な○○○○体電子デバイス材料
6. 金属酸化物を高温で焼き固めたもの。材料四天王の一人
7. 複数の鋼や金属を○○○○○すると、高強度で高性能な鉄鋼
材料になる。
8. 非常に細かい領域を加工すること。
9. ○○○○○の余剰問題を解決するものとして、太陽電池への
応用が考えられている。
10. 従来の人工血管に血栓ができるのは○○○○○○の吸着による。

編集後記

Ttime!12月号では、マテリアル工学科特集をお届けしました。

今回は「戦え！東大マテリアル」のテーマの下、様々な分野の問題を材料の力で解決する先生方に取材を行いました。私たちは普段から大量の物質に囲まれて生活し、知らず知らずのうちにそれらの多様な性質を利用しています。現代の優れた文明は、幅広い性質を持つ物質が存在しているからこそ、そして研究者がそれらの性質を最大限利用し技術を作り出しているからこそ、実現していると言っても過言ではないのではないでしょうか。今までも、またこれからも、新しい問題にチャレンジし続けるマテリアル工学の世界の一端を感じていただけましたら幸いです。（伊藤 秀剛）

表紙について…五人のレンジャーたち、実は広報アシスタントの影なのです。

躍動感あふれる「戦う」イメージを表現してみました。

表紙編集担当（柳本）



<広報アシスタント>

企画：伊藤 秀剛、岡田 彪利、大嶽 晴佳

逢澤 正憲、朝倉 彰洋、伊與木健太、上田 倫久、上野美希子
岡 功、小川 灯、大原 寛司、兼古 寛之、木原 郁
黒川 大地、柴山翔二郎、清水 裕介、須原 宜史、龍田 誠
土屋 美樹、西村 知、沼田 恵里、長谷川拓人、花村 奈未
星野彰太郎、本田 信吾、間部 悟、松浦 慧介、本山 央人
森西 亨太、谷中 瞳、柳本 史教、横山 深智

<広報室>

吉田 亮（マテリアル工学専攻）
佐久間一郎（広報室長・精密工学専攻）
川瀬 珠江、永合由美子

Twitter、Facebookでも情報を配信しています。



@UTtime
Follow me



工学部広報誌 Ttime!



WebでTtime!が読めます！

<http://park.itc.u-tokyo.ac.jp/t-pr/ttime/>

ブログはこちらから

<http://d.hatena.ne.jp/ttime/>