

Ttime!

学生が作る東大工学部広報誌

特集号

2017
夏



『生活に潜む工学』



東京大学工学部

工学は科学と生活を 橋渡しする。

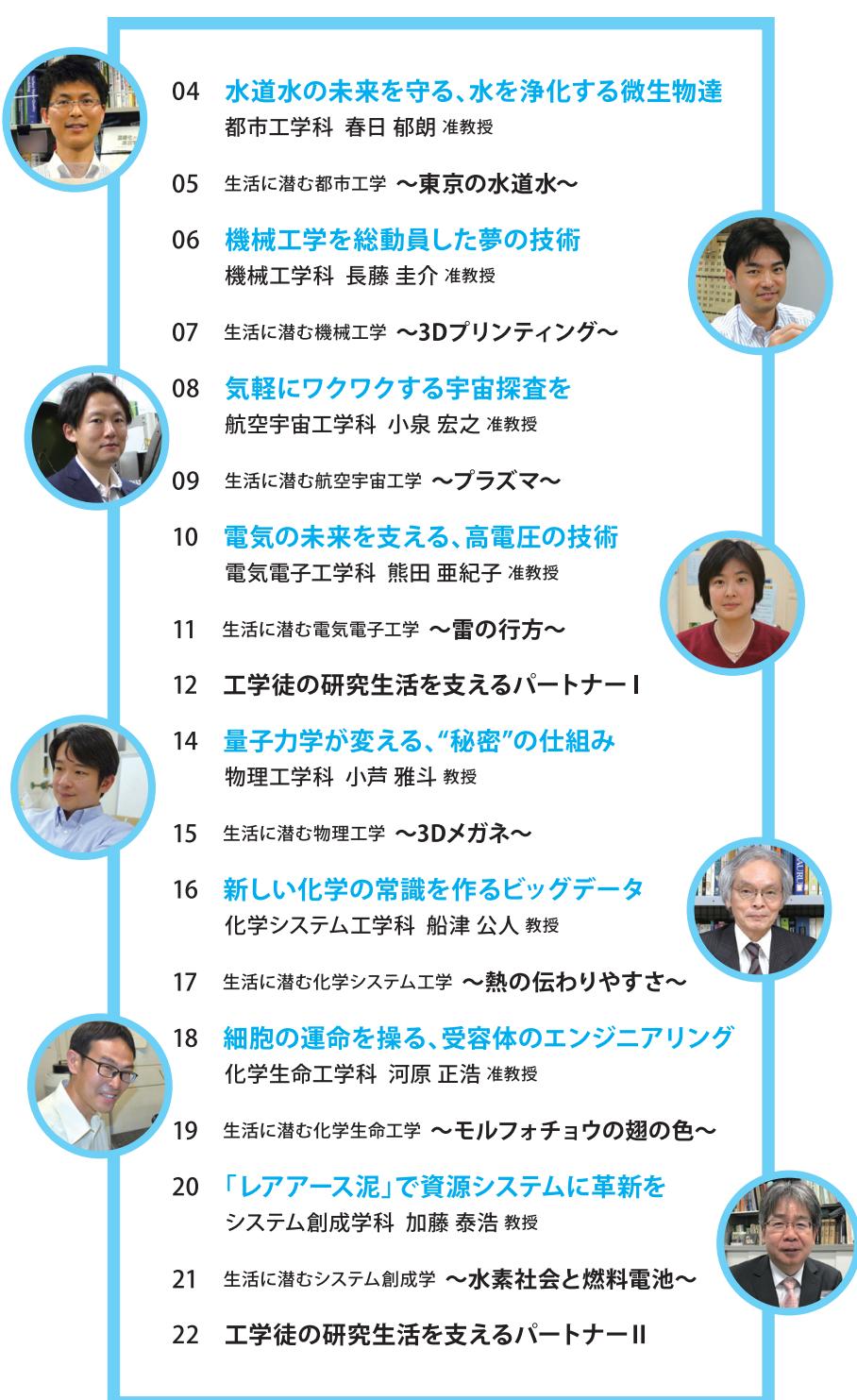
日常生活で触れるモノの中に工学を感じ取った少年。
もっと色々なモノの中に工学が潜んでいるのではないか、
そんな疑問を胸に東京大学のオープンキャンパスにやってきました。

好奇心に目を輝かせる少年に、
工学のコトバで身の周りの現象を語る研究者たちの目は、
やはり好奇心で輝いていました。

私たちの生活には、どんな工学が潜んでいるのでしょうか。



Contents



企画編集・取材

東京大学大学院工学系研究科 工学部広報室学生アシスタント

藤長 郁夫(編集長) 榎田 峻裕 中村 紘人 大島 健太郎
森 千夏(学生代表) 堀川 裕史 山田 大介 栢森 太郎
新谷 健太朗 水野 花春 山添 有紗 米澤 実保
白畑 春来 猪瀬 春香 堀口 博 佐伯 高明

協力

東京大学大学院工学系研究科 工学部広報室

梅田 靖(室長) 川瀬 珠江
田畠 仁(副室長) 宮川 弥生
小谷 潔 北原 美鈴
矢谷 浩司 西 克代

印刷・制作

株式会社アネスタ



Interviewer 櫛田 峻裕

水道水の未来を守る、水を浄化する微生物達

急激な人口減少が生み出す都市問題

元々都市工学科とは、高度経済成長期の人口過密に伴い発生した渋滞や公害などの都市問題を解決するために創設された学科です。しかし、今後の日本では、急激に人口が減少するため、都市問題自体も今までとは様相が大きく変容することが予想されます。例えば、快適な都市生活を支えてきた水道や下水道などのインフラを、我々は今後も維持することができるでしょうか。実際、アメリカのミシガン州フ林ント市では、経済の低迷に伴う人口・税収の減少により、浄水処理や水質管理にかけるコストを削減することになりました。その結果、水質管理に失敗し、水道水の深刻な鉛汚染やレジオネラ症の感染増加の兆候など、アメリカのような先進国では起りえないような問題が顕在化してしまいました。似たような問題が今後の日本で起こらないようにするためにどうすれば良いか、先回りして考えなくてはなりません。「急激な人口減少」という危機を、日本がどのように乗り越

えるのかは、世界から注目されています。

先人が築いた水道・下水道システムが支える私たちの生活

都市を支える水道、下水道システムは、これまでの先人のたゆまぬ努力の結晶です。都市工学科の図書館には、都市に関わる古い資料が多く保管されています。明治時代、日本に近代水道や近代下水道を導入・普及させた先人の図面を眺めると、研究のモチベーションも上がります。人口減少社会の中でこのようなシステムをいかにチューニングし、次世代に引き継いでいくのかという課題は、都市に住む一人ひとりに大きく関わりがあることなのです。

高度浄水処理を支える「生物活性炭」の研究

私は、高度浄水処理である「生物活性炭」の研究に主に取り組んでいます。生物活性炭とは、消臭剤などとしても用いられる活性炭に、様々な微生物が付着したものです。有機物など

の汚れを活性炭の吸着機能で物理的に除去するだけでなく、付着した微生物による生物学的な分解作用によって水を浄化し、良好な水質の水道水を作り出すことができます。東京をはじめとして、都市部の水道水の供給に広く活用されている浄水技術です。

生物活性炭処理では、直径1mm程度の活性炭1gあたりに1億～10億匹の微生物が付



図2:生物活性炭

着して水の浄化に関与しています。次世代シーケンサーを活用して遺伝子レベルで微生物の種類を調べると、生物活性炭上には極めて多様な微生物が共存していることがわかります。個々の微生物の役割のほとんどは不明であり、経験的な運用に依存しているのが現状です。そこで私は、生物活性炭に付着している微生物を解析し、「誰がどのような浄化に貢献しているのか」という点を解明することに取り組んでいます。これまでの研究において、カルキ臭の原因となるアンモニアを除去する微生物として、これまで考慮されていなかった古細菌の存在を発見するなど、生物活性炭の生物学的な浄化機構がわかりつつあります。多様な微生物の中から、浄水処理におけるキープレーヤーを探すことは、この研究の醍醐味です。微生物学的な知見に基づいて、生物活性炭の最適な運用方法を確立することができれば、より効率的な浄水処理が実現すると期待しています。

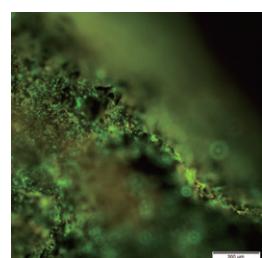
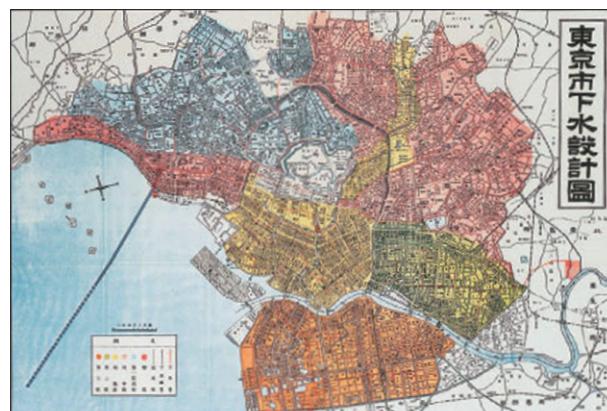
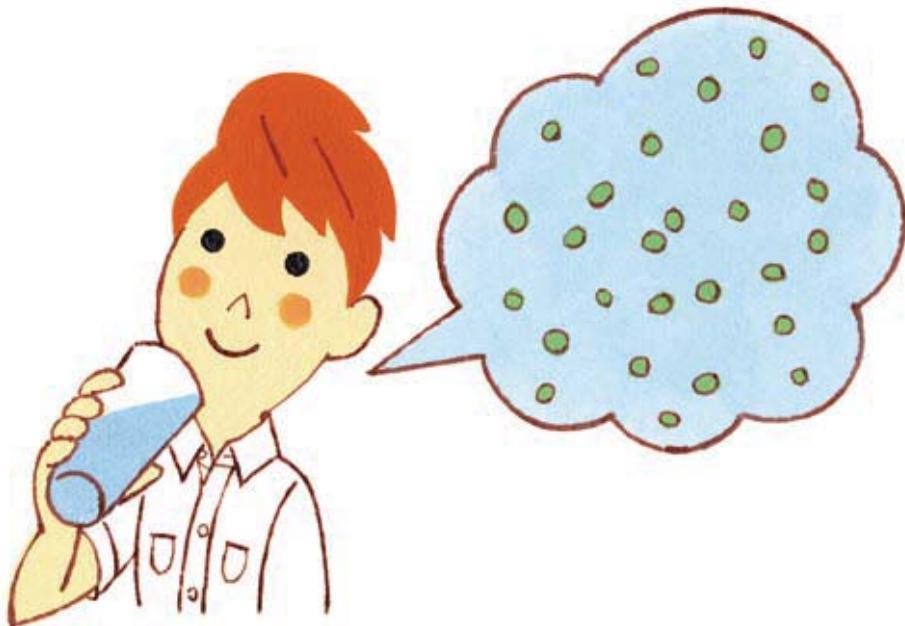


図3: 生物活性炭に付着している微生物

図1:明治時代の東京の下水道設計図(出典:東京市下水設計調査報告書)



～東京の水道水～



東京の水道水は美味しい!?

東京の水道水は美味しいって、知っていますか？東京の水よりも地方の水の方が美味しいと思っている方もいるかもしれません、東京の水も負けていません。東京都水道局が誇る「東京水」は、ペットボトルとしてもPRされています（図1）。東京の水道水が美味しい理由は、研究紹介でも一部説明した高度浄水処理にあります。



図1:「東京水」をはじめとした水道水のPR

東京の水道水を支える高度浄水処理

東京都水道局は高度浄水処理を平成元年から導入し、平成25年には利根川水系の全浄水場への導入を完了しました。高度浄水処理とは、図2に示すように、通常の処理に加えて、オゾン処理と生物活性炭処理とを組み合わせた処理のことです。オゾン処理では、強い酸化力を有するオゾンを水中に注入し、水中の異臭味成分などを分解します。次の工程である生物活性炭処理では、活性炭の吸着作用に加え、活性炭に付着した微生物が有機物やアンモニアなどを除去しています。東京では、1日に東京ドーム3~4杯分もの水が24時間絶え間なく浄化され、総延長27,000kmにも及ぶ水道管を通して供給されています。普段何気なく使用している東京の水道水は、実は微生物の活躍にも支えられているのです。

水道水を通して考える「工学」

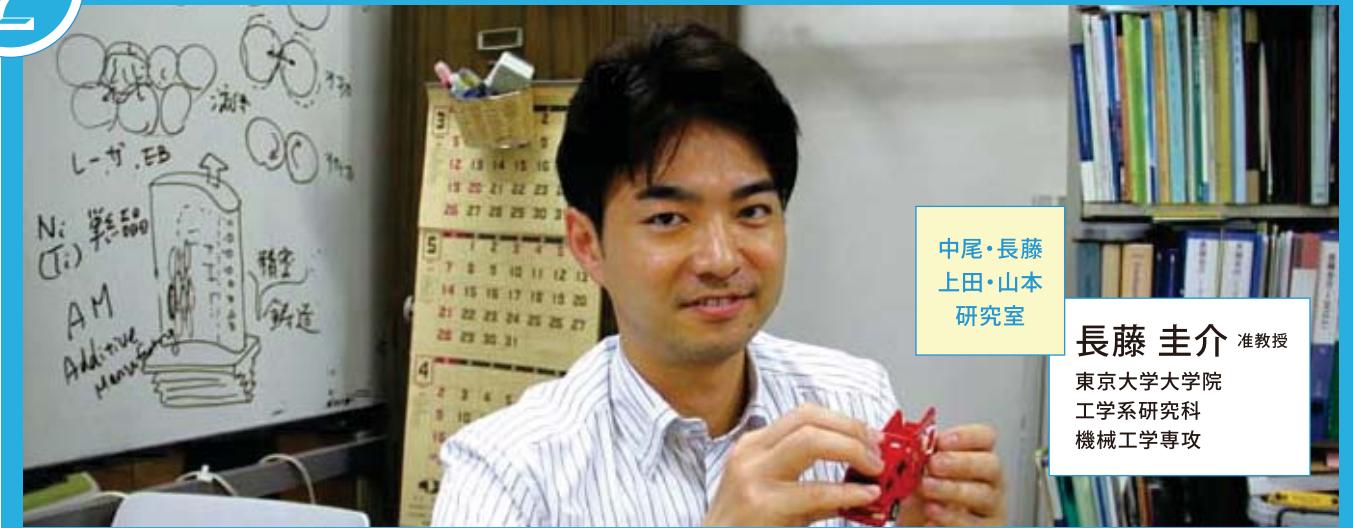
今回は「浄水処理」という一面だけを紹介しましたが、水道というのは、ある意味で総合工学です。水を貯水・取水するための土木施設、衛生的で安全な水道水を作り出す浄水処理技術、圧力を加えた水を送るための管路・ポンプ技術、複雑な施設を総合的に運用するためのIT・センシング技術など、山の上に降った一滴の雨粒が蛇口から出るまでには様々な工学が関わっています。身近な水道水を通して、工学の奥深さについて考えてみてはどうでしょう。



図2:高度浄水処理の流れ

A1

足の裏にびっしりと生えた毛が壁の凹凸と噛み合い、ファンデルワールス力が働くから。
ファンデルワールス力は弱い結合だが、膨大な数が合わさることで体を支えられる大きな力となっている。

中尾・長藤
上田・山本
研究室

長藤 圭介 准教授

東京大学大学院
工学系研究科
機械工学専攻

Interviewer 新谷 健太郎

機械工学を総動員した夢の技術

3Dプリント

皆さん、今話題の3Dプリンタをご存知でしょうか。3Dプリンタを使えばまるで紙にプリントするような手軽さで、写真のような3次元の立体物を自由に成形することができます。この技術のことを3Dプリントと呼び、その柔軟さから夢の技術と言われています。では一体どのような仕組みでそれほど自由な成形が可能なのでしょうか。

現在開発されている3Dプリントの技術のうち、実際に私が携わっている「粉末焼結積層造形法」について説明しましょう。この手法ではなんとレーザが活躍します。レーザの特徴はといえばピンポイントで加熱できるところでしょう。図のように、材料の粉を積み重ねたところにレーザを照射します。するとレーザを当てたところだけ、その大きな熱で溶けてつながっていきます。そうやって選んだところだけ固めていくことで、最後には好きな形に成形することができるのです。



図1:3Dプリント製作物(株式会社コイワイ提供)

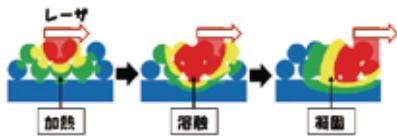


図2:粉末焼結積層造形法のイメージ

自動車部品から入ったレーザの世界

私の研究室では初めからいきなり3Dプリントの研究を始めたわけではありません。元々は、自動車部品の溶接へのレーザ活用がテーマで、私はその溶接のメカニズムの解析に携わることになりました。私がレーザ技術に関わるようになったのは、まさにそれからです。そしてさらに高度で研究のしがいのある技術を扱いたいと思った私は、今では新たなレーザ技術として3Dプリントと、その解析に力を注いでいます。

3DプリントのCAE化が夢

ただ実はこの3Dプリント技術は、これまで機械工学の専門家もなかなか手をつけられなかった、非常に複雑な現象です。一見、粉末にレーザを当てるというシンプルな操作に見えます。しかしこの操作が、機械工学の4力学と呼ばれる「材料力学」「機械力学」「熱力学」「流体力学」を全て組み合わせないと説明ができない大変な代物なのです。具体的には、粉末の変形特性は「材料力学」、粉末の動きは「機械力学」、

レーザによる加熱・伝熱は「熱力学」、粉末の溶融挙動は「流体力学」で説明されます。これらの物理現象が、粉ほどのミクロな小ささで複合的に起こっているのです。

私の夢は、この複雑な3Dプリント技術をCAE化することです。CAE(Computer-Aided Engineering)とは、製造工程や製品デザインの検討段階において、コンピュータ計算を利用する技術です。CAEを使えば、コンピュータ上で工程中の現象・製品の性能を予測してしまうことが可能で、現物で実験や試作をする手間を省くことができます。ただ、3Dプリントはその現象の複雑さゆえに未だCAEの開発が進んでいません。それを開発したいというのが私の思いです。

そのためには、前述した3Dプリントにおけるミクロ現象の解明と知識化に力を入れています。例えば、写真はアルミ粉末をレーザで加熱した際の時間経過です。アルミは加熱し続けると外側が酸化し殻のようになる一方、その中は高熱でドロドロに溶けます。中で溶けている液体が殻を破って出てこないと他の粉末とつながることができません。

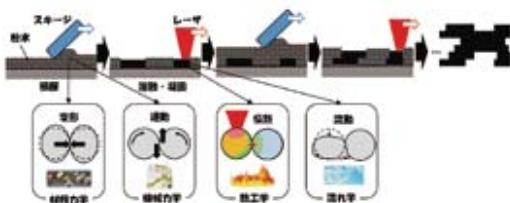
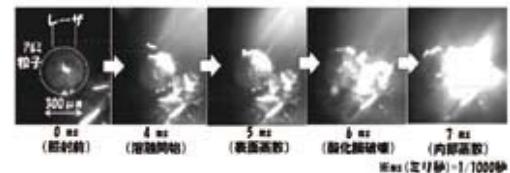


図3:粉体からの3次元成形工程

粉末3次元成形のメカニズム

図4:レーザ照射した時のアルミニウム粉末の挙動の時間経過



生活に潜む機械工学 ～3Dプリンティング～



樹脂は万能!?

マクドナルドのハッピーセットについたおまけ、スマホの筐体、自動車のバンパまで、これらはその多くが「樹脂」を材料にしています。現代の我々には、樹脂は切っては切り離せないほど幅広い製品に使われています。樹脂の特徴は、軽さ・色のバリエーション・しなやかさ・安価であることが挙げられます。ではなぜこれほど岐にわたり安価な製品な作ることができるのでしょうか。

その理由は樹脂製品が短時間で大量に成形できることにあります。それは樹脂の溶かしやすいという性質に由来しています。低い温度で溶け、また冷えて固まるのも速いため高速でどんどん成形することができます。そして、その成形で重要なのが「金型」です。この金型こそが、溶かした樹脂の液体に形を与えます(金型は、樹脂を取り出せるようにパーツは複数になっており、製品をよく見るとその跡が残っています)。実はこの金型成形、量産のため予想以上に綿密に設計されています。



図1:樹脂製品のいろいろ



図2:金型((株)精工技研提供)

樹脂は型に注入されていく間も冷えていきます。そのため、時間ごとに変化する変形能力と注入の速度や型の広さ、さらに冷却速度 자체も成形の効率に関わってきます。それらの複雑なバランスを追求し、最も効率よく作れるポイントで設計されます。最終的に、樹脂成形は10秒以下で一個作れるまでの速度になります。

ラピッドプロトタイピング

実はこの型成形にも3Dプリントが関わっています。そもそも3Dプリントが一番初めに用いられたのがこの領域でした。初めはラピッドプロトタイピング(Rapid Prototyping)という名前で登場しました。

型成形の強みは金型一組で幾つでも量産できることですが、実は金型一組作るのに100万円以上もかかります。今までにない新しい形を量産する場合は大抵量産の前に、まず試作品(プロトタイプ)を作り、出来を確認しながら適宜修正を加えていきます。が、とてもその一個のためだけに金型を作る訳にはいきません。したがって、以前はそのプロトタイプは手作り

していました(自動車ほどの大きなものは未だに手作りですね)。そこに登場したのが3Dプリントの技術です。早く簡単に、そして自由に成形することができるこの技術は、当時はまだラピッドプロトタイピングと呼ばれ、まさしく名前どおりこのプロトタイプのための技術であったのです。

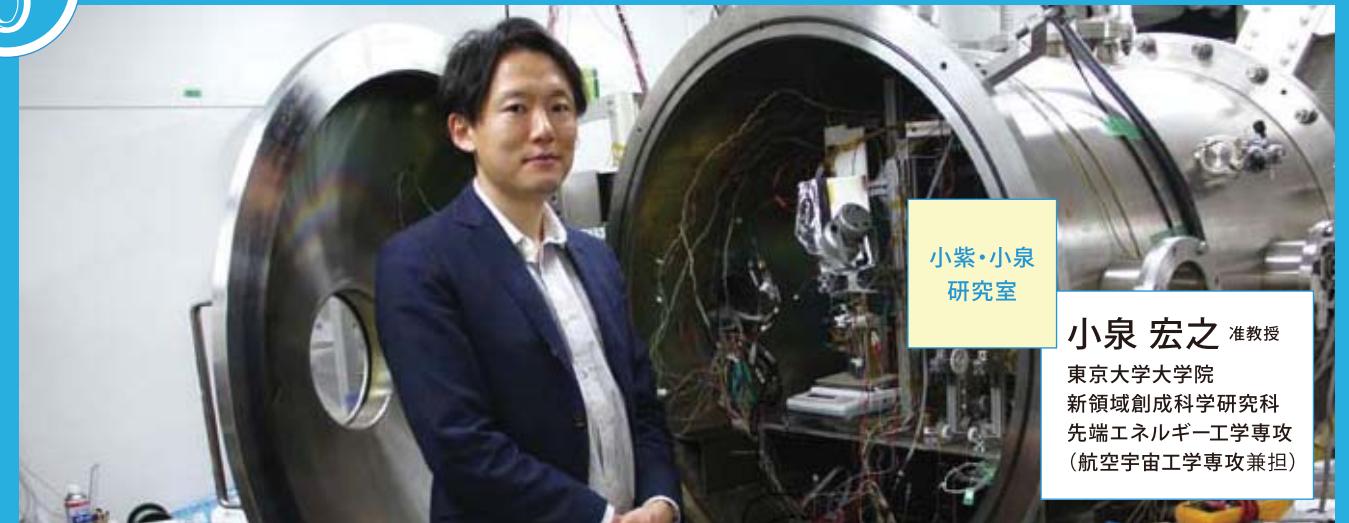
次は金型。 さらにその次は

3Dプリントの技術もますます発展し、今では金属も3Dプリントできるようになってきました。結果、プロトタイプではなく、今度は金型を造形してしまおうという話になってしまった。複雑な冷却流路など、そもそも今までの工作機械では作れなかった形状が作れます。

また、金属製品は融点が高いので前述の射出成形は困難です。その代わり、高温で溶けた金属を金型に流し込む「鋳造」や、高温の金属をたたいて変形させる「鍛造」が用いられます。その金型は樹脂の金型よりもっと高価です。そこで、金属製品を3Dプリントしてしまう挑戦がなされています。それでも、量産となると「鋳造」や「鍛造」に、コストでは勝てません。複雑な形状も、複数のパーツを溶接組立・仕上げ加工したほうが安い場合もあります。前述のように、粉末焼結構造のCAE化がより充実されれば、安くなるだけでなく、鋳造・鍛造・溶接・仕上げにはできなかつた精度や強度が達成される日が来れば、3Dプリンタが量産に用いられるかもしれません。

A2

マイクロ波が双極子やイオンにエネルギーを与えるから。
ちなみにこのエネルギーでは水素結合を切ることができないため、純粋な氷を解凍することはできない。

小紫・小泉
研究室

小泉 宏之 准教授

東京大学大学院
新領域創成科学研究科
先端エネルギー工学専攻
(航空宇宙工学専攻兼任)

Interviewer 山添 有紗

気軽にワクワクする宇宙探査を

楽しい探査をたくさんしたい

宇宙にはまだわかっていないこと、不思議なことがたくさんあります。まだ誰も行ったことがないところへ衛星を送り、探査して何があるか調べる、そう考えるとわくわくしませんか。しかし、実際は自分が探査してみたいところがあったとしても簡単にほいほいと衛星を送れるわけではありません。

現在、大半の宇宙探査では大型衛星を使用しています。そのため、非常に大がかりでプロジェクトを完了するまでに長い年月を要します。例えば2010年に小惑星イトカワから帰還して話題になったはやぶさもプロジェクトの開始から完了までに約25年かかりました。現在研究者や会社員が働く寿命が30~40年ほどであることを考えると、こういった探査は一生に一回関わる代りいいかどうかくらいです。さらに大型衛星は莫大なコストもかかるため、やはり、気軽に探査をすることはできません。

そこで小泉研究室では小型衛星のエンジンを中心に研究しています。小型衛星はうまくいけば1~2年ほどで運用まで持つていけ、コストも大型衛星に比べ、大幅に抑えられます。そのため、大型衛星ではなかなか難しい、ある程度リスクなことにも挑戦することができます。また、小型衛星でできることが増えれば宇宙産業自体が大きくなり、結果として大型衛星での探査コストを安くすることにもつながる可能性があります。

少ない推進剤で遠くへ

通常のロケットに使われているエンジンは化学推進というもので燃料を酸化剤と反応させて、高温・高圧のガスにして噴射することで推力を得ています。短時間に大きな推力を得ることができますが、大変効率が悪く、たくさんの燃料を必要とするのが特徴です。

そこで、小泉研究室では電気推進について研究しています。電気推進はその名の通り、電気エネルギーを用いて推力を得るもので、短時間に得られる推力は小さいですが、わずかな推進剤で遠くまで行くことができます。

様々な種類がありますが、代表例として、はやぶさで有名になったイオンエンジンがあります。

イオンエンジンはマイクロ波を使ってプラズマにしたイオンを静電場で加速して噴射するというものです。

より使いやすいイオンエンジンを

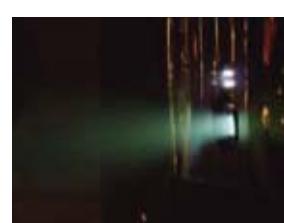
現在、イオンエンジンでは推進剤としてキセノンが使用されています。キセノンはプラズマになりやすいですが、宇宙で貯蔵・使用するためには8MPa程度（大気圧の約80倍）と、非常に高圧にする必要があります。高圧ガスは危険なため、貯蔵する容器の強度や取り扱いなどが法令で定められています。人工衛星は軽く作られるため、法令で定められている強度の基準を満たしておらず、特別な許可が必要になります。さらに、高圧ガスを推進剤としてしまうと、小型化しにくいという問題点もあります。

また、多くの小型衛星はメインとなる大型衛星を打ち上げる際、余ったスペースや推力を利

用して打ち上げます。メインの衛星に断られれば、当然ロケットには乗せてもらえない。メインの衛星からすると、高圧ガスのような危険物を積んだ衛星と一緒に乗せるのは怖いので断られる可能性は高くなってしまいます。

そこで研究されているのがキセノンの代わりに水を使用したイオンエンジンです。水は高圧ガスなどではないため、キセノンのように取り扱いが難しいこともあります。また、水は月や小惑星にも存在すると言われています。将来的に有人飛行を考えると水は必ず必要になるため、月や小惑星で水を採取する技術は進んでいくことが予想されます。月や小惑星で採取できるようになれば、現地で燃料を補給してまた遠くへ行くということもできるようになるかもしれません。

現在、水のイオンエンジン自体は動くことが実証されています。それを宇宙で作動させるためには、水をタンクから結露しないように供給しなければいけないので、水の供給システムの開発が必要になります。現在、航空宇宙工学科の中須賀・船瀬研究室と合同で開発中の衛星、EQUULEUSではエンジンとして、水のレジストジェットスラスターを使う予定です。レジストジェットスラスターも電気推進の一種で、水を電気の抵抗を通して加熱し、噴射するというものです。これで水の供給システムを完成させ、宇宙で作動することを実証させたいと考えています。

実際に宇宙で
使用した
イオンエンジン

生活に潜む航空宇宙工学

～プラズマ～



プラズマって何?

イオンエンジンでも使われている、プラズマとは固体・液体・気体に続く物質の第4の状態と言われるものです。

気体は分子の運動エネルギーが、分子間に働く結合力より大きくなつて、分子が自由に飛び回っている状態です。そこにさらにエネルギーを与えると、原子が電離して陽イオンと電子に分かれます。この状態がプラズマです。

私たちの身の回りにあるものの大半は固体または液体、気体なので、プラズマの状態で存在しているものはほとんどないと思う人も多いのではないかでしょうか。

しかし、実際には太陽や夜空に見える星(恒星)は全て巨大なプラズマの塊です。ダークマターなどを除くと、宇宙に存在する物質の質量のほとんどを恒星が占めます。そのため、宇宙の物質の99パーセント以上はプラズマだと言われています。また、恒星の他にも雷やオーロラもプラズマです。

実は身近なところにある プラズマ

物質のほとんどはプラズマとはいえ、地球上ではほとんどが非プラズマで存在しています。そのため、日常生活とプラズマはあまり関係ないと感じるかもしれません、実は蛍光灯など身近なところで使われています。蛍光灯の中には微量な水銀とアルゴンガスが含まれており、放電して電子を衝突させることでこれらをプラズマの状態にします。プラズマ中では高エネルギーの電子が存在します。その電子が原子に衝突すると、原子中の最も外側の軌道にある電子がエネルギーを得てひとつ上の軌道に移る、励起状態となります。励起状態の原子はエネルギーが高いため、不安定になり、元のエネルギーが低い状態(基底状態)に戻ろうとしますが、この時に紫外線が発生します。この紫外線を、蛍光管の内側に塗られている蛍光物質と反応させて、可視光線にしています。光の色はこの蛍光物質の種類によって変わります。

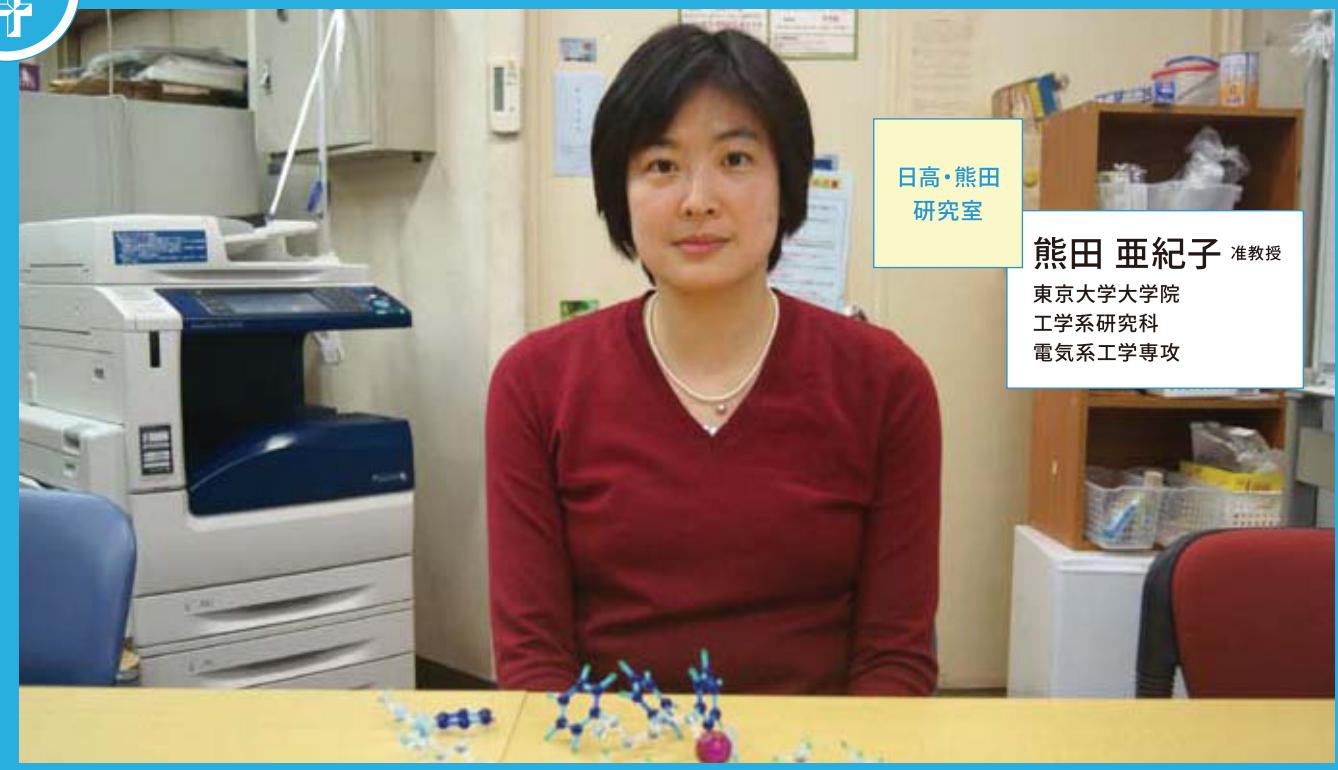
プラズマディスプレイも同じ原理を利用しておおり、微小なセルに赤・青・緑に発光する蛍光物質を別々に塗ることで、様々な色を作り出しています。

ものづくりの現場でも

プラズマは蛍光灯などの他にも、金属の加工や工業製品の表面加工技術などの面で、ものづくりの現場で利用されています。

プラズマは非常にエネルギーが高い状態です。そのため、金属の中では最も融点の高いタンゲステンでも、プラズマを照射すれば簡単に表面を削ることができます。また、表面に他の原子を埋め込んだり、表面層の状態を変えたりすることもできます。

表面層の状態を変える例としては、ダイヤモンドライカーボン(DLC)コーティングがあります。カーボンはその組み方によってグラファイトからダイヤモンドまでいろいろと性質を変えることができます。DLCコーティングは、カーボンをダイヤモンドに近い構造にして、金属表面層につけたものです。ダイヤモンドは天然なものでは最も硬い物質と言われていることからも考えられるように、DLCコーティングを使えば、表面層を非常に硬くすることができます。この技術はドリルの先端や、自動車のピストンなどをコーティングして摩耗に強くするために使われています。



Interviewer 中村 紘人

電気の未来を支える、高電圧の技術

継続的な電気の安定供給を目指して

電気は毎日の生活において必要不可欠です。エネルギーの安定供給のためには発電源となるエネルギーの確保も重要となります。一方で電気を安定的に行き届かせることもとても重要です。常に電気が行き届くことの大変さは事故が起きて初めてわかるのですが、普段から事故が起きるようではいけません。そこで私たちは、将来も電気が安定的に供給される世の中のために、放電の観点から電気の安定供給を支える研究をしています。

直流技術の重要性

エジソンの時代の後、100年くらい前から電力系統には主に交流が用いられていますが、近年では直流を利用する機会が増えています。例えば、再生可能エネルギーでは直流を用いることが多いです。再生可能エネルギーの発電源は直流電源(例:太陽電池)だったり、周波数の安定しない交流電源(例:風力発電)だったりします。そこで一旦全て直流に直してから、50Hzまたは60Hzの交流に直しています。

このように直流を利用する機会が増えると、今まで交流が中心の世界だったこともあり、従来の電気機器に様々な不具合が出ることも多くなってきます。そのため、直流で用いる機器

や、直流を交流に変換する機器でも意図しない放電が発生しないように様々な工夫が必要となります。

研究はどう関わっているか

私の研究室では主に3本立て構成で、電気を送る時に使う高電圧・高電界に密接に関わる研究を行っています。直流に関する技術向上の他にも、以下の2つの柱についても研究を行っています。

1つの柱が「計測手法の開発」です。高電圧下での測定には電気的なセンサーも用いますが、電気的なセンサーを入れることで高電界が流れたり、逆に高電圧電源がノイズ源となって測定結果に影響してしまうことが多いです。そこで私の研究室では、光によるセンサーを用いる手法を開発しています。この手法のおかげで、電界に影響を与えることなく光を通すだけでの測定、ノイズの低減、短いスパンで時間変化する放電現象の捕捉に成功しています。こう言うと新しい手法なのかと思われそうですが、実は20年前から研究していてずっと新しいと言われ続けています。

もう1つの柱が「放電原理の解明」です。放電が起きている物質中の現象や、放電が始まる・終わるまさにその瞬間の現象を、物理や化学の基礎となる理論やシミュレーションをもと

に解明する試みです。電気機器の中での意図しない放電の発生を防ぐにはどうすれば良いか、放電の発生をどうしたら止められるかを知る手がかりになります。近年では電気機器に高分子材料が用いられることが多くなったため、高分子材料の中での放電の仕組みも解明するのが最近の課題となっています。私もそうですが電気系に来た人は化学が苦手な場合もよくあります。しかし、高分子材料中での電荷の挙動などを調べようとするとしても化学の知識が必要です。たまに学生と一緒に分子模型を眺めて理解を深めています。

実験も計算も、高電圧・高電界に関する事なら何でも研究しています。どの内容も電気の安定供給の為には必要不可欠です。優れた計測手法が無ければ良い測定もできませんし、シミュレーション結果の正当性もわかりません。基礎となる理論やシミュレーションは、いかにして放電が起きるかをいろいろな材料中で解明する手助けとなります。それらのサポートの下で放電を断つたり、予防することで初めて、機器や電気供給の安定化に寄与できます。

～雷の行方～



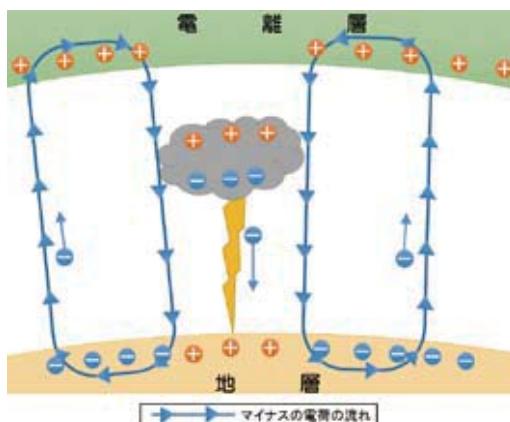
雷が落ちた! その後は?

雷も身近にある放電現象の1つだと、皆さんもどこかで聞いたことがあると思います。それでは、雷雲から地面にズドーンと落ちてきた電気が、その後どうなるかを考えたことはありますか？簡単な回路でもスイッチを切ると電気が流れないように、電気が流れているのであれば、閉じた回路ができていないと変ですよね。下向きに落ちた雷の電気の流れとは逆の流れが、どこかないとおかしいことになります。

では一体どうなっているのでしょうか。実は地球規模で大きな回路ができると言われています。

地球は大きな回路

まず、雷が発生する仕組みを説明します。積乱雲の下の方にマイナスの電荷がたまるにより地面にプラスの電荷が引き寄せられます。すると雲と地面が巨大なコンデンサーのようにどんどん電荷をためていき、強い電界が生じます。空気がこの強い電界に耐えられなくなると、放電が起きてマイナスの電荷が雲から地面に落ちてきます。これが、私たちが雷と呼んでいる現象です。さてこの後、電気はどのように流れいくのでしょうか。



(<http://www.ems.psu.edu/~Ino/Meteo437/Globcirc.jpg>と
http://www.kakioka-jma.go.jp/knowledge/ae_bg.htmlをもとに作成)

放電は色々な所に！

元々、地層はマイナスの電気を、大気の上層部にある電離層と呼ばれるところはプラスの電気を帯びています。空気中には自然に電離しているイオンが存在しますが、プラスの電荷を持つイオンは地層へ、マイナスの電荷を持つイオンは電離層へ引き寄せられて動きます。この流れが雷とは逆の流れに相当します。また、地層は水が含まれるため電気が流れますし、電離層ではイオンが自由に動いて電気が流れます。こうして、マイナスの電荷の流れを追うと、雲→地層→電離層→雲という回路が生じます。

他にも地球の周りでは様々なところで回路ができる正在とされています。地層と電離層の間の電界がうまく保たれています。雲と電離層の間、また電離層と宇宙の間でも電荷のやり取りがあり、ブルージェットと言われる上向きの雷が宇宙に向かって落ちることもあるようです。

雷は地球規模での自然現象ですが、他にも生活中で放電が見られたり応用されたりしている例がたくさんあります。例えば静電気も高電界の放電現象という観点から見れば雷と同じですので、放電に関する知識が静電気防止手袋などに利用されています。他にもなかなか気づきにくいかもしれません、蛍光灯やコピー機にも放電現象が使われています。

このように放電に関する知識は生活中でも様々なところで活かされています。

A4

回転している球の周りには、回転の方向に応じて圧力の高低差ができる。
この圧力差によるマグヌス効果で、進行方向に対して垂直な力が生まれ、球が曲がる。



都市工学科

ペッパー マイルドモットルウイルスなどのウイルスを
水に加えて濾過する実験をしています。
このウイルスは唐辛子やコショウなどに含まれており、
日本人なら多くの人がほぼ毎日口にしているものです。
環境中に大量に存在するウイルスとして
注目を浴びているウイルスのひとつです。

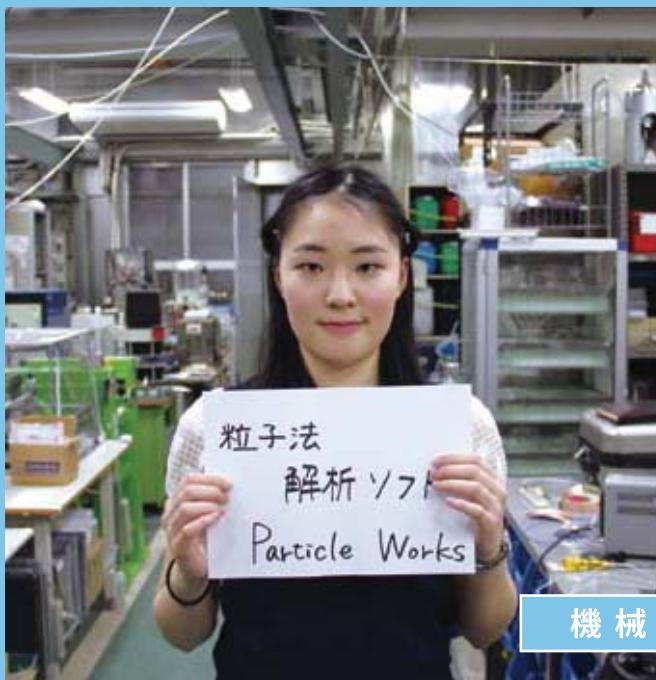


川の水などを水道水にする過程で有機物を除去する研究を行っています。
ガラス器具などに有機物が付着していると
コンタミ*(試料汚染)のリスクがあるので、
サンプリングに濾過器やガラス瓶などを用いる時には、
マッフル炉で焼いて炭素フリーにしています。

*コンタミ=コンタミネーションの略

「工学徒の研究生活を

人々の生活に潜む工学を作り出している工学徒たちは、いったい



機械工学科

粒子法といって、流体の挙動を粒子一つ一つの動きを
計算することで解析してくれるソフトです。
今まで解析できなかった現象を次々に計算する最新技術。
複雑な計算には何時間もかかることもしばしばですが、
その間つい気になってパソコンの前に張り付いてしまいます。

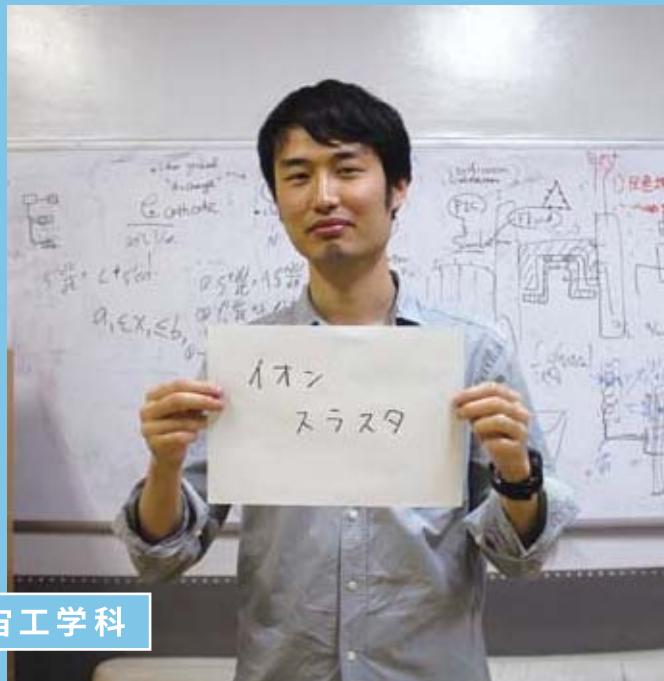


スクリーン印刷という、多種多様なものに印刷できる技術があります。
そのインクには、液体と個体の粒を混ぜたペーストが使われます。
無色透明のペーストをグリセリンとガラスから開発した際は、
ガラスの綺麗な粒が1g/10万円もしたため、
結局ガラスの粒は自分で碎いて用意しました。



航空宇宙工学科

レジストジェットは、人工衛星の推進機のひとつです。
温めたガスを吹き出すことで、その反作用により速度を得ます。
僕らが開発中のレジストジェットでは、上記のガスに水を水蒸気として用います。
水は安全で取扱いが良いため、超小型の衛星に向いています。



イオンスラスタは、高燃費が特徴である人工衛星用エンジンです。
特に超小型衛星(100 kg以下)用イオンスラスタの研究として、
性能向上のためにスラスタ本体の改良や、
性能測定のための装置開発を行っています。

支えるパートナー」I

どんなパートナーと共に研究生活を行っているのでしょうか



電気電子工学科

博士に進学してから始めましたが、
どこでもできる趣味は研究生活に重宝します。
スマホさえあればネット対戦やチュートリアルがいつでもできるので、
趣味を増やしたい院生の方にもオススメです。



最近はあまり時間がとれていませんが、研究に行き詰った時こそ、
弓を通じて己と向き合います。
この時だけは研究のことだけでなく、
日常の悩みも何もかも忘れてリフレッシュできますね(笑)。

小芦
研究室

小芦 雅斗 教授

東京大学大学院
工学系研究科附属
光量子科学研究センター

Interviewer 藤長 郁夫

量子力学が変える、“秘密”的仕組み

50年後も秘密を守れる世界を

「情報化社会」や「IoT」などといった単語が飛び交うこの世、情報技術によって様々なものが解明されるようになりました。同時に、そのような時代において秘匿情報の保護は喫緊の課題だと考えることができます。そこで登場したのが暗号技術です。しかしながら、現代の暗号技術は、理論的に解読するのに長い時間がかかるという点で、計算機の目まぐるしい発展とともに解読が容易になってしまい危険があります。その場限りの暗号であればそれで構わないのですが、例えば個人の遺伝情報や国家の機密情報などは未来永劫引き継がれるものであり、50年、100年、もっと長い間解読されないような仕組みが必要になります。このような背景から生まれたのが、量子暗号です。

量子暗号って何？

今回は簡便のため、量子の一例として光子を使って説明します。光子には、偏光という特性（右ページで詳しく紹介します）があり、従来の情報単位と同じように(0,1)の情報を乗せることができます。では、何が通常の情報と異なるのでしょうか？

量子力学の最も基本的な原理の1つに「ハイゼンベルクの不確定性原理」というものがあります。これは『量子の持つ情報である「運動量」と「位置」は、同時に精度よく定めることができない』という原理です。この原理を利用すると、第3者が情報を盗み取ろうとした場合、一定確率で情報が壊れ、情報の持ち主たちは傍受されたことを知ることができるという、新しい暗

号の形式を取ることができます。そしてこの量子暗号の安全性は解読の計算量に依存しないため、前述の課題を解決できる見込みがあるというわけです。

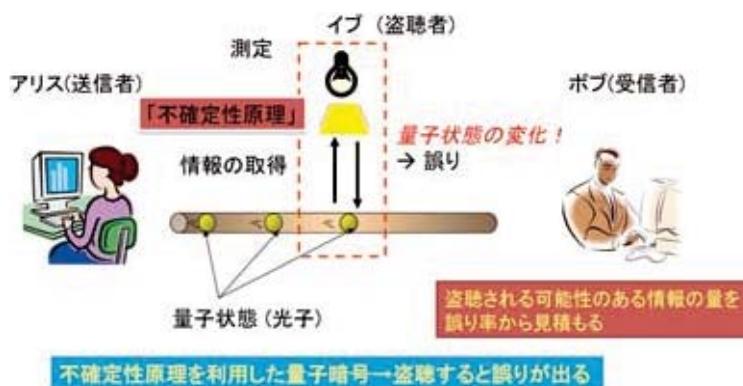
基礎研究と応用研究

量子暗号において、「情報が盗まれたかどうか」だけでなく「どの程度盗まれたのか」も、量子情報の壊れ方から同定することができます。元々、実際の通信には多少のノイズは不可避なので、受信者が情報を受信する際に情報はある程度壊れています。しかも、それは傍受による壊れと区別がつきません。それでも、傍受された情報の大きささえわかれば、傍受されていない部分をうまく取り出しが可能です。そこで、「この程度壊れているから、この程度傍受されたはずである」という定量的な関係を明らかにするのが私たちの研究です。

壊れた情報量から傍受された程度を再現するには、様々な量子力学の原理や定理を組み合わせることが必要になります。私たちの研究室でもそのような試行錯誤を行っていたのです

が、その過程の中で、なんと長年未解決だった量子情報サイズの定式化に成功してしまったのです。情報サイズを定量的に定めることは情報理論の根幹で、従来の情報理論でも「この情報のサイズは〇〇ビット」という言い方をしますが、その量子情報版というわけです。このように「量子暗号が盗聴者に覗かれる」という想定で行っていた応用研究から、長年謎に包まれていた量子情報の定量化という基礎物理研究の問題が解決してしまうこともあります。基礎研究あっての応用研究という順序で語られることが多いですが、応用研究から基礎研究に貢献できることもあるという、とても示唆的な経験になりました。

従来の量子暗号は、情報が傍受されたことが判明する反面、その傍受を遮蔽することはできていません。しかしながら、現在我々は、どうやっても全体のごく一部しか傍受できないような仕組みを持つ新しい量子暗号の開発を行っているところです。50年後も秘密を守れる世界の実現は、もうすぐそこにあるかもしれません。



～3Dメガネ～



3Dメガネって どういう原理なの?

皆さん、3Dメガネの原理はご存知でしょうか？そもそも我々の目がモノを立体的に見ることができているのは、目が2つあるからだという点はご存知だと思います。ここで大切なのは、目が2つあるということそのものではなく、モノと目の距離に依存する“ズレ”を持つ2つの情報が、2つの目という受信機にそれぞれ入ることです。そこで、「奥行きの情報を持たない2次元の映像に“ズレ”的な情報を加え、左右の目にそれぞれ届けることができれば、3次元の映像を見せることができるのではないか」という考え方から3Dメガネのコンセプトが誕生しました。

最初に登場した3Dメガネは、赤と青のフィルムを使ったものでした。このタイプの3Dメガネでは、赤と青で描かれた絵や映像が同じ色のフィルムを通して見えなくなることを利用して、左右の目にズレた情報を届けています。しかし、この原理では映像を立体的に見せることはできません、カラーで見せることはできないため、何か別の方法を考える必要がありました。

光の偏光を使った3Dメガネ

私たちが目にする光は、いろいろな振動方向を持つ波だと考えることができます。偏光板に光を当てると、特定の振動方向を持つ波の成分だけが板を透過します。この原理により、縦方向及び横方向の偏光を持った光に2種類の映像を載せて同時に発信すれば、どちらかの映像だけを偏光板で取り出すことができます。左右の3Dメガネに仕込まれた縦横の偏光板が、それぞれ縦横の情報のみを透過することにより映像が3Dで見えるというものが、現在の3Dメガネの原理です。

なお、量子暗号では、目に見える光よりもずっと弱い光を使うので、光は光子という粒となって飛んでいるイメージになりますが、それでもやはり、一つひとつの粒が偏光という波の性質を合わせ持っています。

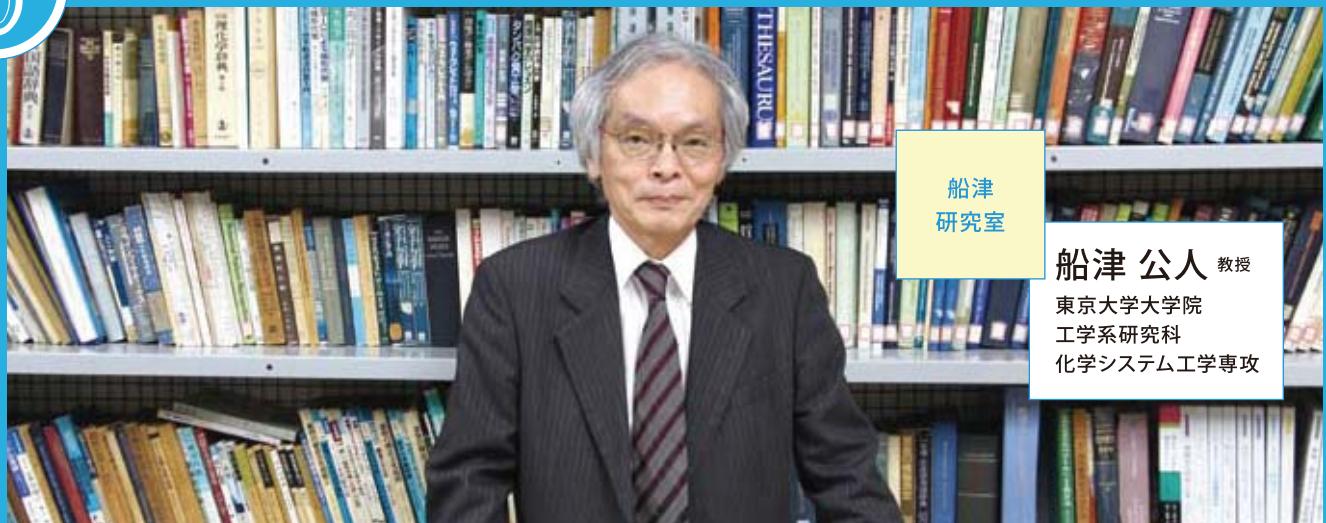
工学と生活の歩み寄り

ところで、皆さんは映画を鑑賞する時にどんな姿勢でいますか？行儀よく背筋を伸ばして目線を水平にして観ますか？それとも肘掛けにもたれかかり頭や目線を傾けて観ますか？おそらく映画を鑑賞している数時間の間、前者の姿勢を維持し続けている人はほとんどいないと思います。

前章で触れた偏光は、直線偏光と呼ばれる偏光です。直線偏光は縦横の2種類の情報を同時に発信可能であるため、縦横の偏光板と組み合わせることで3Dの映像を楽しめるという理屈でしたね。しかしどうでしょう！3Dメガネをかけた頭を傾けてしまうと、縦横の偏光板は斜めの偏光を透過する偏光板に様変わりし、左右それぞれの目に、縦横の偏光を持つ映像が混じり合った状態で届くことになってしまいます。

そこで登場するのが、もう1つの偏光である円偏光です。円偏光も直線偏光と同じように2種類の偏光を持つ現象ですが、その方向は右回りと左回りであり、偏光板の回転に対して寛容なのです。よって、工学が生活に歩み寄った結果生まれた円偏光の3Dメガネは、映像と偏光板が平行でなくとも、つまり頭を傾けた状態でも、混じり合うことのないズレを持つ情報を左右それぞれの目に届けることができるのです。

このように、理論的には機能する工学製品でも、実際に生活に適用する際には、工学と生活が歩み寄るような改良が求められています。

船津
研究室船津 公人 教授
東京大学大学院
工学系研究科
化学システム工学専攻

Interviewer 堀川 裕史

新しい化学の常識を作るビッグデータ

全ての化学研究の基礎に

私の研究は、化学情報を使って目的の特性を持つ分子や材料を合理的にしかも効率的に設計する手法、設計した分子や材料を合成する経路を設計する情報処理手法、そして化学プラントなどの製造装置を監視し目的の化学製品を安定した品質で製造できるように制御する手法の開発に大きく貢献するケモインフォマティクスという学問です。いわば化学分野の人工知能(AI)ということになります。従来でも実験をする際には、過去の実験データ、失敗や経験から目的的特性を有する分子や材料の構造などを予測・設計し合成実験などを行っていましたが、次第に関連するデータ・情報量が膨大となりそれらの関連性を適切に把握するには困難となっていました。広大な化学空間の中から先入観足りず合理的に新しい分子や材料を探し出す、ケモインフォマティクスはコンピュータの力を借りることで膨大な情報をモデル化して処理し、情報に基づいた迅速かつ合理的な設計を可能に

します。この考え方は化学のあらゆる分野に適用できるため、誰もが自身の研究を進める中でデータ・情報を蓄積し、その解析・モデル化を通して次の設計や予測に役立てていくという流れが生まれれば良いと思います。逆説的ではありますが、最終的にケモインフォマティクスというものが全ての化学研究で当たり前のものとなり、特別な研究分野としてはなくなってしまうのが理想です。

プロセス・インフォマティクス

ケモインフォマティクスの中でも、材料・製品の合成経路や反応条件までを含め蓄積されたデータをモデル化するプロセス・インフォマティクスについて研究しています。これにより、研究室から企業まで、新規分子・材料の開発からその製品化とそれに伴う品質管理までの一本化が可能になります。具体的には、研究室レベルでは反応生成物の物性の予測やモデルを逆解析させて特定の物性を満足する分子・材料の開発が可能となり、製造レベルではプラン

トの温度や圧力などのオンライン観測の容易な変数を使ってオンライン観測の難しい製造品物性などのリアルタイム監視を可能とする統計モデル(ソフトセンサー)を用いることで製造中の製品品質をオンライン・リアルタイムで予測して監視・制御することが可能となります。

企業との共同研究では、このプロセス・インフォマティクスの概念をもとに、分子・材料設計、プロセス設計、品質管理までの一気通貫の設計に携わっています。

ケモインフォマティクスの可能性

ケモインフォマティクスの必要性に対する意識は国内外を問わず高まっており、おそらくあと数年のうちに研究室→企業の一貫した考え方方が定着し、分子や材料の合理的な設計、そしてソフトセンサーの普及も相まって品質の安定化に大きく貢献するでしょう。また、ケモインフォマティクスにより実現可能になることも一気に拡大すると考えられます。例えば、最近では化学製品の長期毒性予測に関する研究を行っています。これまで実際に合成し長期間動物実験をしなければならないものでしたが、発現メカニズムをモデル化することで化学構造を入力すれば動物試験を実施することなく長期毒性の発現の有無が予測できることを目指しています。現在はモデル化するために欠落しているデータを様々な研究機関・企業から集めている段階であり、これが達成されれば製品開発の高速化につながります。ケモインフォマティクスは現在世界的に大きな期待とともに着実な成果を挙げています。

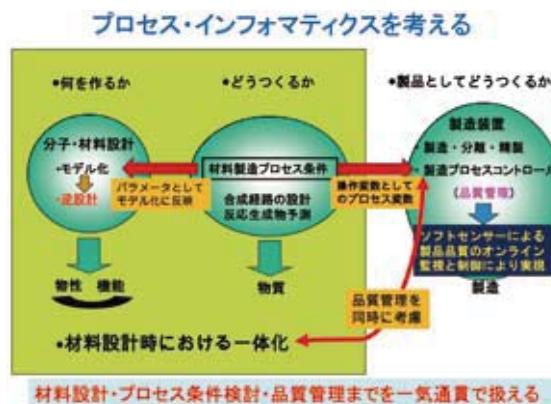
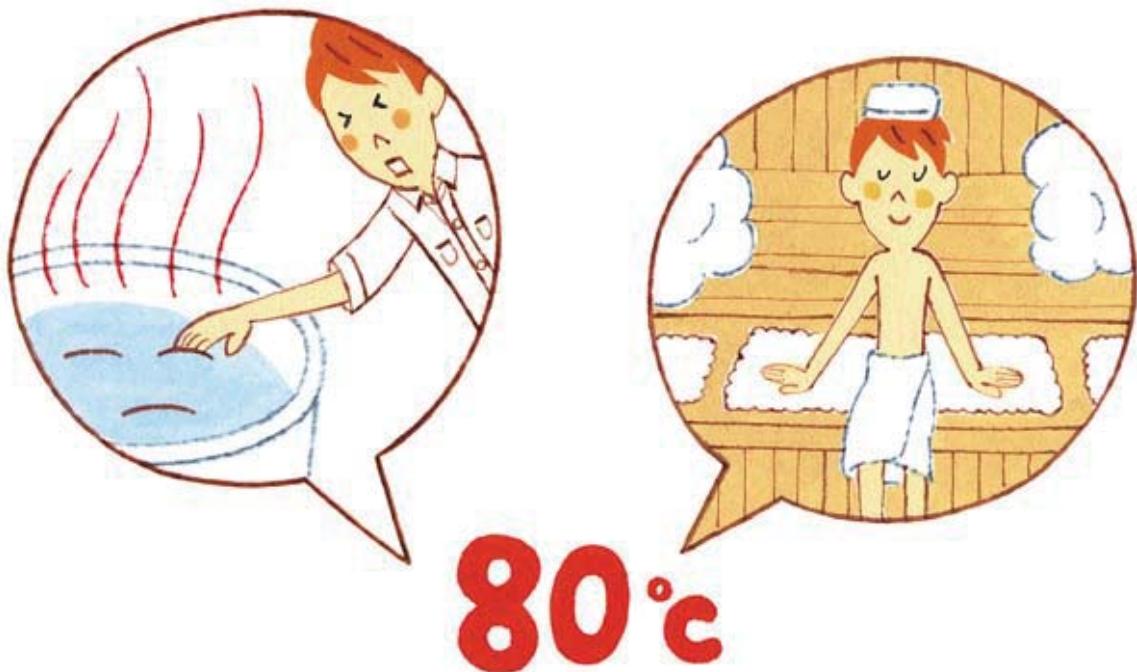


図1: プロセス・インフォマティクスの概念図

Q6 水に砂糖を溶かした時にモヤモヤして見えるのは何で?

～熱の伝わりやすさ～



ワインを早く冷やしたい！

私はお酒、特にワインが好きです。買ってきたワインを今すぐ飲みたい、しかし冷えていないので早く冷やしたい。こういう場合、皆さんならどうしますか？冷蔵庫に入れるでしょうか？もちろん、それでも冷やすことはできますが時間がかかりますね。もっと早く冷やしたい場合にはどうしたら良いでしょうか。

熱の伝わり方

これはごく身近な化学工学の例です。化学工学では、熱伝導の様子を簡単に記述するために、「二重境膜モデル」という考え方方が用い

られます。熱は温度の高い方から低い方へと移動しますが、二つの異なる物質間では物質同士それぞれの表面で温度勾配が生じているという考え方です。下に冷蔵庫と氷水、それぞれでワインボトルを冷やす場合のモデルを示します。熱を奪う媒体は冷蔵庫の場合は空気であり、氷水の場合は水となります。

また、熱伝導の様子を記述する場合には、フーリエの法則という次の式が用いられます。

$$\text{熱の移動速度} = -(\text{熱伝導度} \times \frac{\text{温度差}}{\text{距離}})$$

熱伝導度はある物質の中に温度差がある場合の熱の移動のしやすさを表しており、距離は境膜の厚さを示します。ここでは、空気と水の熱伝導度を比較することになります。80°Cのサウナに入ることはできても、80°Cのお風呂に入ると火傷をしてしまいますよね？つまり水は

空気に比べて熱伝導率が高いということになります。そのため、氷水は冷蔵庫に比べてワインボトルをより早く冷やすことができるというわけです。

まだまだ冷やせる!?

ワインをさらに早く冷やすためにできることがもうひとつあります。それは、氷水を入れたワインボトルを回転させることです。こうすることで内外の境膜の厚さを薄くすることができます、熱の移動速度をさらに大きくすることができます。知らず知らずのうちにこういった作業をしている人もいるかも知れませんが、これは立派な化学工学の考え方ですね。

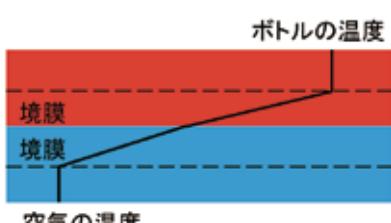


図2: 空気(左)と水(右)でワインボトルを冷やす場合の二重境膜モデル

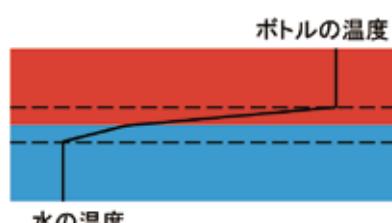
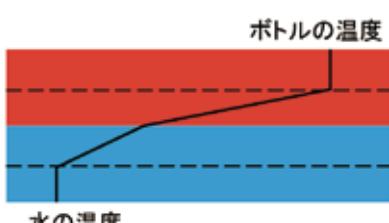
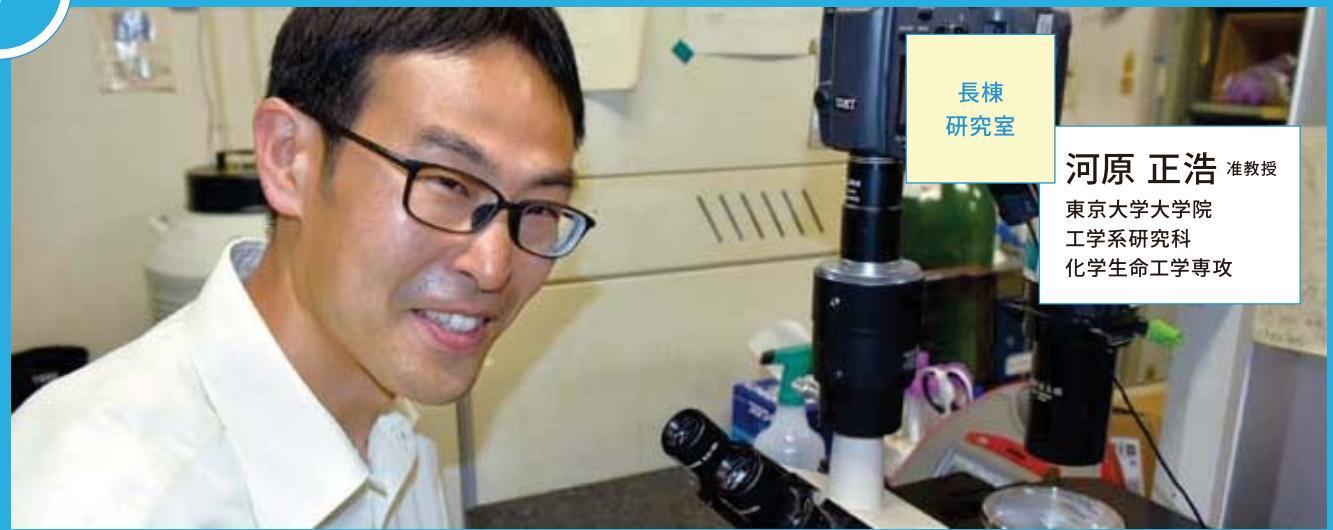


図3: ワインボトルを回転させた場合の二重境膜モデル。図2に比べ境膜が薄くなっている。

長棟
研究室

河原 正浩 準教授

東京大学大学院
工学系研究科
化学生命工学専攻

Interviewer 森 千夏

細胞の運命を操る、受容体のエンジニアリング

「天然を超えた細胞」を目指して

私たちの体は、いろいろな種類の細胞が様々な働きをすることで成り立っています。同じゲノムを持つ細胞が異なる役割を演じ、協調してひとつの個体を作るためには、細胞間及び細胞内での情報伝達が重要となります。その情報伝達によって、分裂・遊走・分化・死などの細胞運命が制御されているわけですが、私はそれを自在に操って望みの細胞を創造できるようなシステムを創る、つまり「天然を超えた細胞を創る」ことを目指して研究を行っています。細胞の運命をコントロールする技術は、再生医療や創薬への応用が期待されています。

キメラ受容体で細胞の運命を操る

細胞には外界の環境変化を細胞内に伝えるための受容体が細胞膜上に多数存在しています(図1)。受容体は細胞外シグナル分子を受け取り、細胞内のシグナル伝達経路を活性化します。すると一連の細胞内シグナル蛋白質がリレーのようにしてシグナルを伝え、最終的に遺

伝子調節蛋白質や代謝酵素、細胞骨格蛋白質などの活性を変化させることで、細胞の振る舞いが制御されています。私たちは、外からのシグナルを受信し、細胞内シグナル伝達の起点となる受容体に注目して、その機能を人為的に操作する研究を行ってきました。

例えば、私達は受容体の細胞外シグナル分子認識部位を、本来とは異なる分子を認識する一本鎖抗体(scFv)に置換することで、scFvの認識する分子に依存して細胞増殖・遊走・分化・死を引き起こす受容体の作製に成功しました(シグナル伝達抗体)。これによりサイトカインなどの高価な細胞外シグナル分子を使うことなく、安価な代用物質でシグナルを入れることができます。これを応用すれば、有用な再生医療用細胞を低コストで大量調製することが可能だと考えられます。

また、蛋白質間相互作用(PPI)の検出にキメラ受容体を用いることもできます。私たちの開発したKIPPIIS(c-Kit-based protein-protein interaction screening)というシステムは、増殖シグナルを伝達する受容体のシグナル伝達

領域と相互作用を検出したい蛋白質(A,B)を連結したキメラ受容体を細胞で共発現させ、両者に相互作用が生じた時の細胞増殖が見られることを利用して、PPIを検出するというものです。親和性の評価も可能であり、PPI阻害剤スクリーニングへの応用が期待できます。

私が受容体の研究を始めたのは、大学の卒業研究からです。当時のテーマはリガンド認識能に関するものでしたが、研究を進め深く受容体について考える中で、リガンド認識能だけでなく受容体のシグナル伝達能も含めてエンジニアリングしたいと思うようになりました。それが現在のキメラ受容体の研究につながっています。また、2年間アメリカで免疫の基礎研究に打ち込んだ経験によって、より広い視野を持って研究ができるようになりました。再生医療や創薬という大きな目標から考えて、目標と現状の間を埋めるには何をすべきなのかということを考えられるようになったと思います。

人工細胞で広がる夢

今後の研究の展開では、他の研究チームとのコラボレーションが重要になってくるでしょう。リポソームというリン脂質から成る小さな人工カプセルの中に細胞内で働く種々の分子を封入して細胞を再構成しているチームなどと共同研究し、私たちの開発した「細胞の運命を操る分子ツール」を搭載してもらえれば、免疫拒絶が起きない人工細胞や、感染細胞をやっつける人工細胞など非常に夢のあるものが作れるのではないかと考えています。既存の細胞を改変するだけではなく、一から作ることで社会に役立つ細胞が創れると信じて研究を進めています。

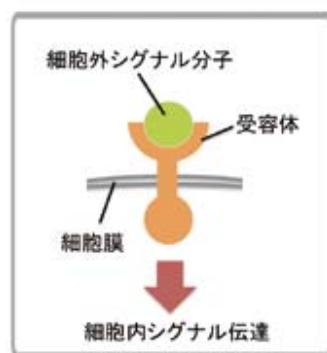


図1 受容体

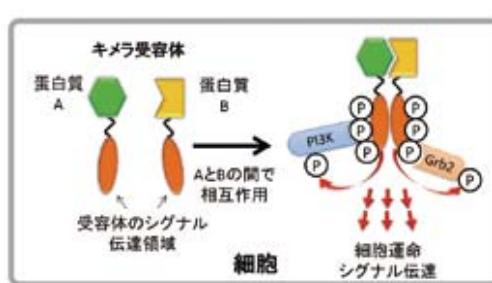
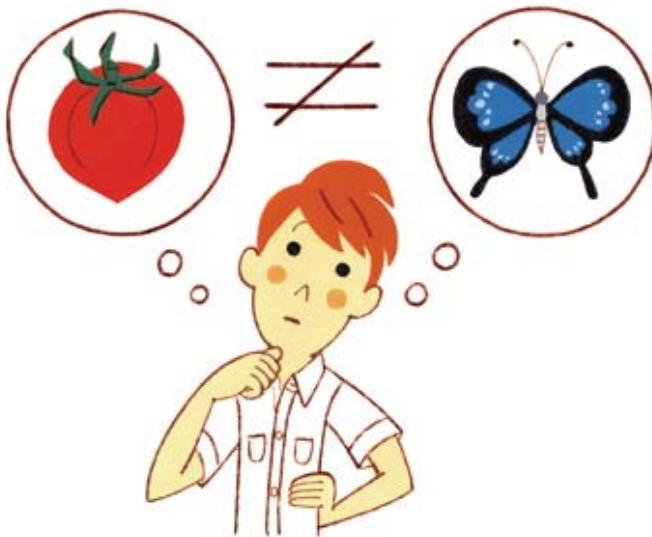


図2 KIPPIISの原理

～モルフォチョウの翅の色～



色ってなんだろう？

自然界には様々な色が存在しています。皆さんはどうにしてそれらの色が見えているか知っていますか？目に光が入り網膜に刺激を与えることによって、脳が色を知覚しているということをご存知の方も多いかと思いますが、単に色といってもその発色原理は様々です。例えばトマトやニンジンなどは、ある波長領域の光を色素が吸収し、吸収されずに反射された波長の光によって着色していますし、ホタルのように自ら特定の波長領域の光を発するものもあります。これらは分子と光の相互作用に起因する色です。これに対して、微細構造と光の相互作用によって発色する「構造色」というものがあります。

モルフォチョウの美しい色の秘密に迫る

モルフォチョウは「世界一美しい蝶」とも言われ、光沢のある鮮やかな青色の翅を持っています。この色は「構造色」に分類されるもので、光の干渉が深く関与しています。



図1 モルフォチョウ

まずモルフォチョウの発色原理に入る前に、より単純な「構造色」の例としてシャボン玉の表面などで見られる「薄膜干渉」の原理について見てみましょう。

う。透明薄膜に光が入射すると、膜表面で反射された光と、膜に入射した後裏面で反射された光は、位相が揃えば強め合い、位相が逆になれば打ち消し合うという干渉現象を起こします（図2,3）。結果として、条件を満たした特定の波長のみが強められ、干渉色が現れます。膜厚によって強められる波長は変わるため、重力や風の影響で膜厚が一定ではないシャボン玉は様々な色や模様を呈するのです。

さて、モルフォチョウに話を戻すと、こちらでは「多層膜干渉（図4）」という現象が起きています。モルフォチョウの翅にはびっしりと鱗粉がついており、鱗粉には約1μm程度の間隔で並んだリッジという筋状の構造があります。その筋の断面（図5）を見てみると、「棚構造」と呼ばれるひだが観察できます。この蛋白質と空気が何層にも重なった部分で「多層膜干渉」が起き、青色の光のみが干渉条件を満たして強められているのです。また、棚構造は林立して

おり、実際には切れ切れの多層膜構造となっています。棚構造が不均一性を持つため面内での干渉は起こりにくくなっていること、棚構造の間隔が波長程度に短いため回折が起きていること、棚構造の下にメラニン色素があることなどと相まって、モルフォチョウの美しい色ができ上がっています。

バイオミメティクス

生物の優れた性質を模倣して行うものづくりを「バイオミメティクス（生物模倣）」といいます。構造色は色素による色と比べて染料が不要で、紫外線などで色褪せせず、角度に応じて色彩が変化するという特徴があり、それを工学に応用しようと様々な研究開発が行われています。実際にモルフォチョウの発色原理は繊維や化粧品、塗料などに応用されています。

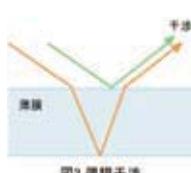


図2 薄膜干渉

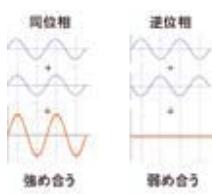
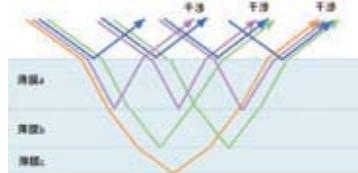
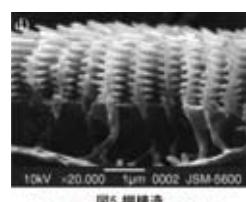


図3 波の重ね合わせ

図4 多層膜干渉
※尖端の色と光の色は関係ありません図5 棚構造
(ChemPhysChem 2005, 6, 1442より引用)

加藤・中村
研究室

加藤 泰浩 教授

東京大学大学院

工学系研究科

システム創成学専攻

Interviewer 山田 大介

「レアアース泥」で資源システムに革新を

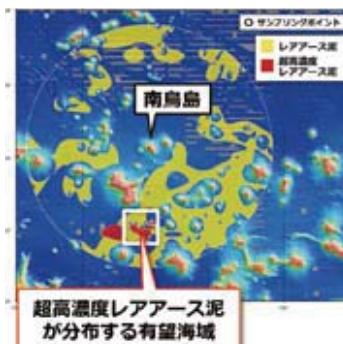
レアアースで日本を「資源立国」に

皆さんは「レアアース」をご存じでしょうか。レアアースとは、元素を配列した周期表の第3族に分類されるスカンジウム、イットリウム及びランタノイド15種の、合わせて17種類の元素の総称です。原子構造の特殊性により他の元素にはない特異な化学的・物理的性質を有しているため、最先端のハイテク製品や低環境負荷技術に必須の元素群です。日本は世界的に見てもレアアース製品の開発先進国です。レアアース製品の市場規模は年間約5兆円で、今後さらなる拡大が見込まれているため、原料の安定的な確保は日本にとって極めて重要な課題と言えます。しかし、現在レアアースは中国からの輸入にかなり依存しているため、この価格や供給量は中国の情勢に大きく影響を受けてしまいます。

我々は、日本の排他的経済水域(以下、EEZ)である南鳥島周辺海域の深海底に、このレアアースを高濃度で含む「レアアース泥」が多量に分布していることを発見しました。この泥を開発することで資源保有国としての地位を確立し、日本のレアアース産業を推進そして世界のレアアース産業を牽引していく、これが私たちの目標です。

夢の海底資源「レアアース泥」の発見

我々の研究グループは元々、海洋環境の変遷を解読するために海底の泥を調べていたのですが、その過程でレアアースを多量に含む泥があることに気づきました。そして、これまで誰も



注目していなかったこの「泥」が、新たなレアアース資源となりうることを2011年に発表しました。続く2012年には、日本のEEZである南鳥島周辺にもこの「レアアース泥」が分布することを明らかにし、日本がレアアース資源を独自に開発できる可能性を示しました。これは、「日本は資源に乏しい島国である」という従来の固定観念をひっくり返す画期的な発見であったと言えます。そして2013年に実施した調査により、超高濃度レアアース泥(中国の鉱山の20倍の濃度)がまさに南鳥島周辺の海底に分布して

いることを突き止めました。この有望海域内だけでも、日本の国内需要を千年分賄えるほどの資源が眠っているのです。

レアアース泥開発の事業化に向けて

これまで私たちが国や企業と共に進めてきた選鉱・製錬に関する基礎実験や開発プロジェクトの経済性評価、より詳細な資源分布把握のための調査航海などを通して、南鳥島のレアアース泥開発が十分に現実的であることが実証されてきました。事業化の目途が立ってきたこともあり、最近は「国をいかに動かすか」に注力しています。中国や米国など他国もレアアース泥開発に向け動きを見せている今、日本がレアアース産業で主権を握るためにいち早く事業を進める必要があるのですが、そのためには国の全面的なバックアップが不可欠です。そこで、私自ら国会の参考人として足を運んだり、閣僚と直接面会したりしていく中で、レアアース泥開発の有用性・必要性を説明しています。

今後、国の協力を得てレアアース泥を引き上げることができると実証されれば、EEZ内にいつでも生産可能な天然資源備蓄を保有している状態となります。近い将来日本が「資源立国」と呼ばれるようになるためには、この国家プロジェクトをいかにスピーディに進めていくかが鍵となるでしょう。

～水素社会と燃料電池～



次世代の担い手 「燃料電池」

皆さんは「水素社会」という言葉を聞いたことがありますか？

水素をエネルギー源として利用する社会のことを「水素社会」と呼んでいます。多岐にわたる分野において水素を活用することで、大幅な省エネルギー、環境負荷低減(CO₂削減)に大きく貢献できる可能性があるため、とても注目されています。

この水素社会に欠かせないのが「燃料電池」です。燃料電池は、水素と空気中の酸素を化学反応させて電気を生み出します。発電による生成物は水だけなので、とてもクリーンな発電です。

燃料電池って どんな風に使われるの？

燃料電池の利用例として「エネファーム」や「燃料電池車」が挙げられます。

エネファームは、数年前からCMでやっていて、販売台数も15万台を超えていることもあります。各家庭の都市ガスから水素を取り出し、その水素で燃料電池が発電を行い、同時に排熱を利用して給湯

も行うというシステムなので、電気代をかなり削減することができます。

燃料電池車は、文字通り燃料電池の発電による動力で走る車です。通常の車と同じような排気口が付いているのですが、燃料電池車からは水しか出てきません。日本ではまだ1500台ほどしかありませんが、水素ステーションの設置も徐々に進んできているので、これからさらなる普及が期待されています。

燃料電池の種類

さて、先ほどから度々「燃料電池」と言ってきましたが、燃料電池は使用する金属や方式により、様々な種類があります。今回は、実用化が期待されている燃料電池について詳しく説明します。

現在最も普及しているのは、PEFCと呼ばれる電池です。低コスト・長寿命なので家庭用として広く用いられていますが、発電効率が低く、大型化も難しいのが現状です。そこで近年注目されているのが、SOFCと呼ばれる、レアアースを用いた燃料電池です。PEFCと比べて発電効率が格段に良く、大規模発電も可能です。中でも、スカンジウム(Sc)という元素を用いたSOFCは、高い発電効率と、低コスト・長寿

命の両立を実現できる、夢のような電池で、まさしく水素社会実現のための「切り札」と言えるでしょう。

「水素社会」という 新たなシステムの創成

水素社会実現のためにはSc系SOFCの利用が最有力なですが、ひとつ大きな問題があります。それは、Scという元素の希少性です。Scの供給源は中国のみで、その量年間たった15トンです。もしSc系SOFCが広く普及したら、日本だけでも2030年までに1万トン以上のScが必要とされているので、このままではとても不可能です。

そこで、レアアース泥の出番です。南鳥島EEZに分布するレアアース泥には、315km²の有望海域だけで15万トンものScが含まれています。水素社会実現に向け必要なScは全て貰える上、余剰分で輸出用に製品開発すれば、次世代エネルギー技術で世界を牽引できるでしょう。レアアース泥を用いるだけで、水素社会実現への道が大きく開けるのです。

レアアース泥という純国産資源を活用し、革新的なエネルギーシステムを創り出す。これが私の思い描く「システム創成」です。



	発電効率	コスト	寿命	特徴
PEFC(固体高分子型)	30~40%	低	長い(~10年)	家庭用として普及しているが大型化が困難
Y系SOFC(固体酸化物型)	40~70%	高	短い(2~3年)	産業用として大型化可能
Sc系SOFC(固体酸化物型)	40~70%	低	長い(10年以上)	産業用として大型化可能



物理工学科

量子力学で時々出てくる泥臭い計算を一発でやってくれます。

しかも名前がそのまま。

例えば演算子Aの期待値はexpect(A,状態)で出でてしまします。

他にも状態の可視化をしてくれたり、

シミュレーションをしてくれたり、便利そうです。



私が量子コンピュータという言葉を初めて知った時は、

それが実現するのはまだ何年も先と言われていましたが、

近年この分野は革新的な成長を遂げ、小規模ながら演算を行えるようになりました。

現在の段階ではまだ5 qubitなので、できることは限られていますが、

「実際に量子コンピュータを使っている」という感慨はひとしおです。

「工学徒の研究生活を

人々の生活に潜む工学を作り出している工学徒たちは、いったい



化学システム工学科

早寝早起きができる時は、思考がクリアで研究が進みます。

また、研究が進めば、余裕を持って研究室から帰宅し、

規則正しい生活を送ることができます。

この意味で、両者は「相互に支え合って」いるため、パートナーです。



信頼できる仲間や先生方とのdiscussionは、自分の考えを整理し、他人の考えを取り入れる最高の場です。

成果を次の挑戦につなげ、

研究のサイクルを力強く回すエンジンだと考えています。



化学生命工学科

世界最速レベルの伸長性をもったDNA合成酵素です。
あっという間にPCR(polymerase chain reaction)を行えるので、
日々の実験でとても重宝しています。



微量の液体を計量する際に用いる
マイクロピペットが私の研究のパートナーです。
正確な実験には君が欠かせない!!

支えるパートナー」Ⅱ

どんなパートナーと共に研究生活を行っているのでしょうか



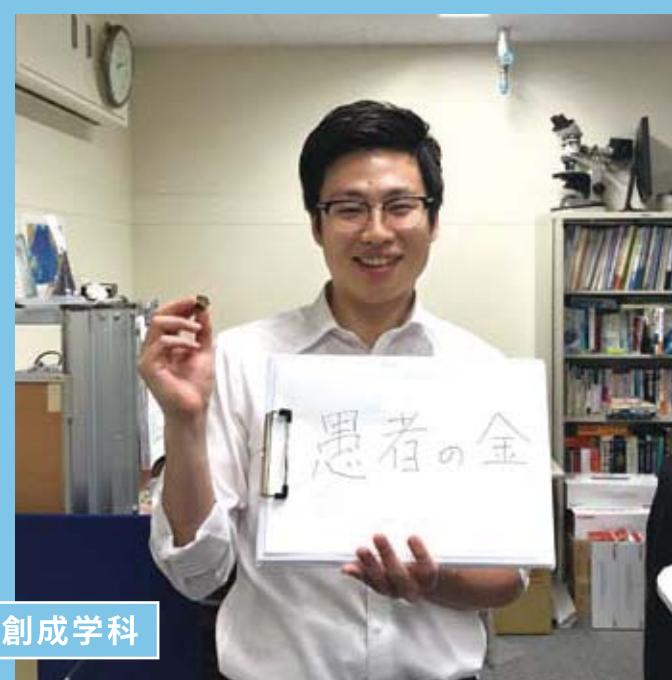
システム創成学科

研究のパートナーは深海から採取されたレアース泥です。

これまでに元素濃度の測定や、魚類の微小な歯化石の抽出などを行いました。

ちなみに写真の泥は、

卒業研究で発見した「超高濃度レアース泥」と呼ばれる泥です。



本物の"金"を見つけるために、
金と共存することの多い"愚者の金(黄鉄鉱)"を分析することで
金鉱床の成り立ちを考えています。
このまま愚者の金と向き合うだけで終わってしまうのだろうか、
いや終わらない。

工学部では、学生が作る広報誌「Ttime!」を発行しています。

◎バックナンバーはこちらから

http://www.t.u-tokyo.ac.jp/foe/public_relations/t_time.html

◎「Ttime!」Webでは、本誌に載せきれなかった情報を発信しています。

<http://ut-ttime.net/>

◎「Ttime!」は、全国の高校や予備校に無料で配布できます。

お問い合わせはこちらから。

 ttime.todai@gmail.com

※本誌掲載情報の無断転載を禁じます。

