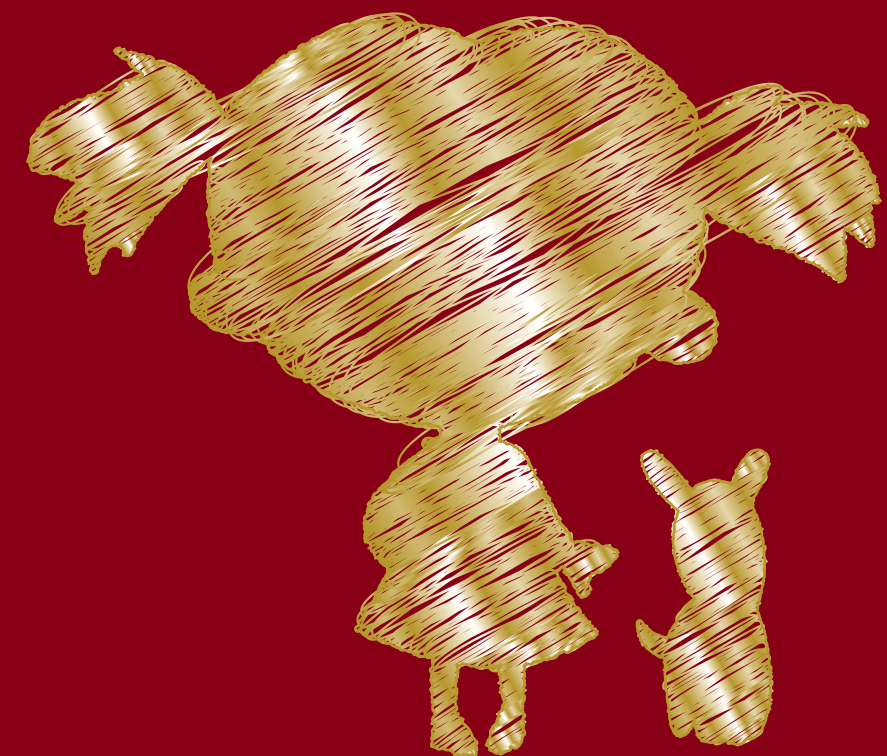


Ttime! 増刊号 2014

工学の不思議な世界

～学生が作る工学部広報誌 **Ttime!** 増刊号～



THE UNIVERSITY OF TOKYO
FACULTY OF ENGINEERING

東京大学工学部

contents 目次

～プロフィール～

- 1 生物学の新たな時代を切り開く数学 P03
計数工学 小林 徹也 准教授
- 2 未来医療の可能性を秘める、生体と人工物の界面 P05
マテリアル工学 高井 まどか 教授
- 3 高齢者を見守り、高齢者に見守られる街 P07
都市工学 大方 潤一郎 教授
- 4 学生インタビュー P09
～工学の世界の住人たち～
- 5 ものづくりを見越した様々な薄膜 P11
化学システム工学 辻 佳子 准教授
- 6 人間の能力を向上させるデジタル技術 P13
機械情報工学 谷川 智洋 講師
- 7 人を知り、人を導く、機械の案内人 P15
精密工学 浅間 一 教授
- 8 宇宙への道のりをぐっと短くする、スペースプレーン P17
航空宇宙工学 土屋 武司 准教授
- 9 プロフィール紹介 P19



ある日、女の子は東京大学の中を散歩していました。

道すがら、三四郎池という不思議な雰囲気に包まれた池に立ち寄ってみることにしました。

池を眺めていると、なにか池の中でキラキラ光っています。

なんだろう、と女の子は気になりました。つい手を伸ばしすぎてしまい…ぽちゃん！

女の子は池の中に落ちてしまいました。

池の中で光っているのは、キラキラした粉のようなものでした。ふと気が付くと、女の子の横に大きなクジラがいました。クジラの2本ある尾鰭の片方は数式でできています。

生物学の新たな時代を切り開く数学

数学を使って生物を理解しよう、そのような新しい研究が世界各地で盛んにおこなわれています。生物には、同じつくりをしていても行動はばらつくという大きな特徴があります。数学は、そのような生物の特徴を表現することに成功しました。では、新時代の生物学を知る旅へと出かけましょう。

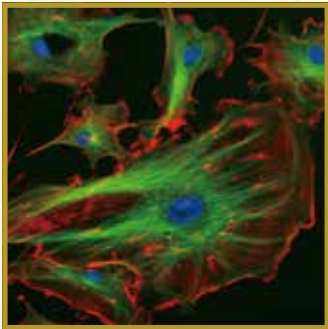
計数工学 小林 徹也 准教授

人工物と生物の違いは「ばらつき」にあった

近年の技術革新により、生物に関する様々なデータを得る手法が開発されました。その手法の一つが蛍光たんぱく質です。蛍光たんぱく質を使うと、図1のように細胞の膜や骨格に色を付けることができます。この方法であれば光しか使わないので、細胞を破壊することなく観察することが可能です。細胞は、活発に動いている状態、休眠をしている状態など、様々な状態を外部環境などの影響で取ります。ここで、細胞がある特定の状態の時にのみ多く持っている物質に色を付けると、細胞が動いている、休眠しているといった、細胞の状態を色によって表すことができ、またそこから個々の細胞の状態を視覚的に知ることができます。

蛍光たんぱく質を使った観測を枯草菌(納豆菌に類似する菌のグループ)で行うと、一部の菌だけが活動し、他の菌は休眠するという現象が見えます。これは人工物には基本的にない、生物特有の現象です。人間が作るものは、設計図が同じならば全てが同じ動きをします。しかし生物はそうではありません。枯草菌の観察では、全ての菌の遺伝子が同じであるため、細胞の設計図が同じであると言えます。にもかかわらず、生き物の場合は一つ一つの細胞がばらつきを持った振る舞いをするのです。このような振る舞いをしてもうまく機能する、生き物のシステムはどのようにできているのでしょうか？

図1



蛍光たんぱく質を使うことで細胞に色を付けることができます。(出典:Wikipedia)

「いいかげん」な生き物のセンサー

生き物のシステムがうまく機能している例として、細胞が外の環境を検知する機構があげられます。例えば、私たちは匂いの場所を嗅ぎつけることができます。つまり、匂い物質が多いところを私たちの鼻が感知し、どこに匂いの元があるのかを判断します。実は、細胞レベルでも同じことを行っているシステムがあり、体における免疫システムがその一つです。体内には外敵であるバクテリアと、そのバクテリアを食べる白血球がいます。ここで、白血球は自らのセンサーを使って、バクテリアが外的環境に放出する物質を検知することで、バクテリアの位置を把握することができます。

そしてバクテリアを追いかけて、最後には食べてしまいます。

バクテリアの位置を把握するためには、バクテリアが放出する物質が多いところ、つまり濃度が高いところを判断する機構が必要です。ここでは、細胞の前方と後方で、どちら側の濃度が大きいかを判断することとします。細胞が直面している状況を、図2の(A)のような、ある外部の環境を想定してシミュレーションします。この図は色が変わったところで濃度の高い部分が入れ替わっていることをあらわします。この環境では、実際の細胞は比較的高い確率(約5割)で濃度の差を見分けることができます。しかし、この環境の中で細胞のセンサーが感知する物質の量は、図2の(B)のように時と共に乱雑に変化し、ノイズが大きいのです。つまり、細胞の内部にはいい加減な情報しか送られていないとわかります。そのため、細胞の前方にてセンサーの得た情報と、後方で得た情報を比べても、ほとんど差がわかりません。生物が得ているセンサーの入力情報は実はこの程度なのです。にもかかわらず、濃度の差を見分けて行動することができる、高度なシステムを細胞は持っています。では、生物はどのようなシステムを有しているのでしょうか？

生き物が持つシステムの謎を「数学」で解き明かす

数学を使って、どのようなシステムが細胞にあれば、前方と後方でどちらの濃度が濃いかを細胞が判断できるのかを予想してみましょう。細胞の前方と後方で観測された物質の量のデータを、最適に処理する仮想的なシステムを数学的に考えます。このシステムを使って伝わる情報の量が、入力データから得られる情報の数学的な限界値です。そのシステムにセンサーからの入力を通すと、図2の(C)ようになります。色がついている部分でグラフの値が1にちかくなり、色がついていない部分でグラフの値は0に近くなっていることから、前方と後方の濃度の差が非常にわかりやすくなっているとわかります。このシステムはセンサーからの、ノイズが入った入力データの時間変化をもとにして、実際の濃度の差を統計的に推定するシステムです。まず、現時点までに入ってきたセンサーからのデータから、これから入ってくるだろう入力データを予想します。そして、その情報とセンサーの入力情報を元にして、前方と後方のどちらの濃度が濃いかを推定することができます。

ここで、情報量という値を使って定量的に情報の大きさを測ってみましょう。濃度が高いのが前方なのか後方なのかという情報は、1ビットという情報量の大きさであらわされます。そして、元々の入力データが0.03ビットであることに對して、この入力データをシステムで処理した情報は0.6ビットと、二十倍もの情報量になります。これは、1ビットの半分程度です。ここで、実際の細胞も約五割の確率で濃度の差を見分けられること(つまり0.5ビットに相当)から、生物のシステムが得ている情報は、数学的な限界の情報量にかなり近いとわかりました。つまり実際の生物も、数学を使って求める最適なシステムと同じような処理を行い、入力データから濃度の差の情報を非常に効率的に得ていることが示唆されるのです。

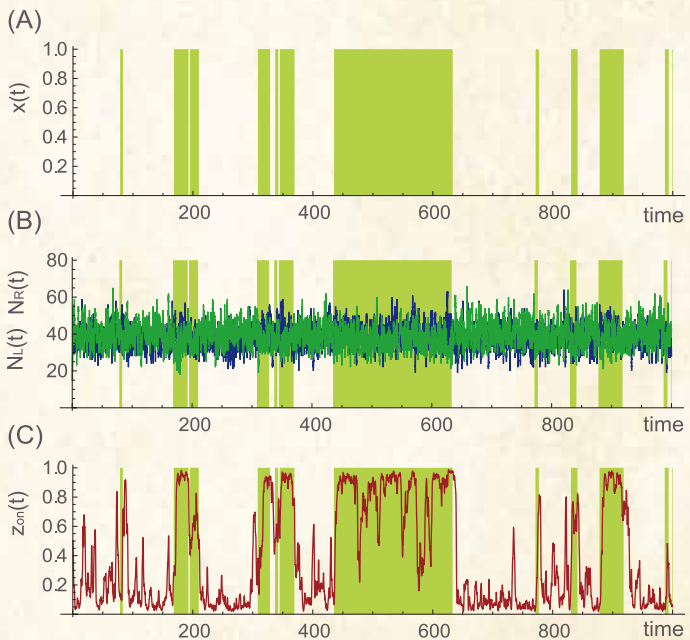
この数学的な処理を生体内でするためには、ある特定の機構が必要です。実は、このような処理ができる機構が細胞の中に存在していることがわかっています。

新しい時代の「生物学」とは

かつて生物学は、物理や工学が行っていたような研究の手法が使えませんでした。つまり、定量的にいろんなものを測って、そのデータを元に数学的手法を使って予測して知っていく、というアプローチをとれなかったのです。それは、必要なデータの測定ができなかったからです。しかし、測定技術の進歩のおかげでデータを取ることができるようになりました。計測のレベルが上がると予測の精度もより定量的になっていきます。その結果、2000年頃に、生物のデータと数学的手法を応用していく分野が生まれました。現在は、数学的手法を生物の中でも使っていこうという流れになってきています。数学的手法の役割は、本質的な構造、原理を探し、それを解析することです。数学的手法に落とし込めば、物事の構造がわかり、色々なものに応用することができます。これからは、工学や物理のバックグラウンドを持つ人が生物の研究をリードする時代になっていくことでしょう。

図2

色がついている部分とついていない部分で状況を変え、その状況の変化を検知するシステム。細胞のセンサーが受け取った情報の情報量は小さいが、数学的なシステムを通すと情報量が大きくなり、状況の変化を検知できる。(出典:小林徹也, 上村淳 生物物理誌 2013 Vol.53 No.2 p.89)



Go on to the next page



女の子がクジラを跳めていると、突然クジラは大きな口をあけて、キラキラした粉と一緒に、女の子は飲み込まれてしまいました。

クジラの体内に入った女の子、体の中を泳いでいます。よく見ると、先程のキラキラした粉が体の中のある部分に集まってくっついていま、そこでも光を放っていることに気づきました。女の子がその部分をよく見てみると、どうやら傷がついているようです。

未来医療の可能性を秘める、生体と人工物の界面

これからの医療では、新しい人工材料が開発されることが期待されています。そのような人工材料を人間の体内に入れたとき、拒否反応を起こさないようにしなくてははいけません。生体に入れた人工物の表面、つまり界面で起きている反応を研究することで、その問題を解決する助けができます。それでは、どのような人工材料に応用するためにどんな研究がなされているのか、実際に界面の世界を感じてみましょう。

マテリアル工学 高井 まどか 教授

🐾 生体の界面を知ること

生体と人工材料が接する界面、つまりバイオインターフェースについての研究を現在行っています。主に、生体との界面で起こる反応を分析して、医療器具に用いられる素材へ応用しています。生体に全く害を与えない材料を開発することが目標です。材料の例として、一つ目に、バイオセンシング、つまり、生体内にある化学物質の量や細胞の状態を正確に測定することで、疾患の様子や薬剤の効果を分析する技術に応用する材料があります。ナノスケールの材料を作り、生体内の細胞やタンパク質の様子を分析する機能を持たせます。

二つ目の例として、再生医療で用いられる材料があります。再生医療とは、例えば、臓器や骨などの体の一部を、人工的に修復する医学のことです。この分野では細胞の組織を再生させるための材料の開発が求められます。細胞が材料表面にどのように接着して生きていくのかをナノマイクロスケールで解析し、組織再生のための材料開発に繋がります。

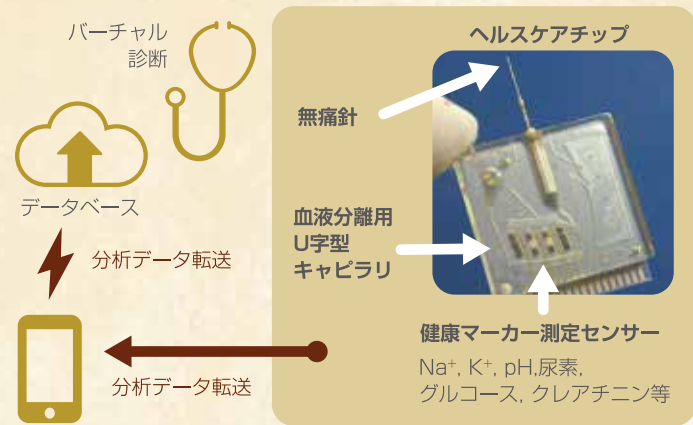
🐾 一滴の血液で健康状態を知る

バイオセンシングとは、生体内での特定の物質を感知するセンサのことで、具体的な応用例として図1のようなヘルスケアチップがあります。図のような小さいプラスチックのケースの中には小さな流路が詰まっており、マイクロサイズの分析機器といえます。

このチップは血液の成分を分析するための機器です。現在実用化されている血液検査の技術では、測定時間が長く、さらにクリニックなどでは外部業者に委託するため結果が分かるまでに日数がかかります。もし、ヘルスケアチップが実用化されれば、血液一滴という微量な血液で、すぐに検査ができるようになるのはとても便利になります。

このチップに関しては、センサーをにどのように作りこむか、また、感度をどのように上げるのかということを研究しています。また、将来的には、体内に埋め込んで、健康状態を常時測定するチップがあればと考えています。そのため、チップという人工物を生体内に埋め込んだときに異物反応が起こらないように、生体に優しいチップの材料の開発をする必要があります。また、長期に渡って埋め込むので、耐久性や、電源を外部からどのように供給するかという問題も解決しなくてははいけません。

図1 ヘルスケアチップとその応用例のイメージ図



🐾 病気に冒された細胞をイメージングする

バイオセンシングのもう一つの応用例として、がんやウイルスなどの病気に冒されている細胞を検知するナノ粒子の開発があります。病気の細胞は、正常な細胞とは異なる構造を持ち、例えばシアル酸という糖鎖を多く発現します。そこで、異常な構造を持つ細胞を検知するために、糖鎖に結合する能力をもつタンパク質であるレクチンをもった蛍光ナノ粒子をセンサーとして用います。このレクチンが糖鎖に結合したことをナノ粒子の蛍光輝度を測定することでウイルスに感染した細胞の場所や量をイメージングすることができます。

図2 がん細胞に結合したレクチン付き蛍光ナノ粒子の様子



がん細胞 MCF-7 Scale bar : 20 μ m

例えば、将来的にこの蛍光粒子をスプレー状にして、体に噴霧することで、ウイルスに冒された細胞がイメージングでき、感染したのかつまり病気なのかがいち早く診断できるのではと期待しています。先ほどのヘルスケアチップと同様、在宅で患者自身が科学的に病気を診断できる手法が発達すれば、遠隔地での診療も簡単に行うことができます。

🐾 生体内で人工臓器の表面は何か起きているのか

再生医療につながる研究では、細胞が複数集まった組織が、どのように再生されるのかを解析します。

例えばみなさんが怪我をした時、しばらくすると傷口にかさぶたができますね。これは血液が凝固し、細胞の組織を回復させようと自発的に起こる

反応です。同様の反応が、生体内に人工物を入れた時にも起こってしまいます。さらに様々な免疫反応が起きます。安全に生体内に人工物を入れるためには、このようないくつもの反応の様子を細胞レベルでも、タンパク質レベルでも解析することが求められます。人間の身体の中で、組織はどのような協同性をもって、その恒常性を保っているのか、生体のメカニズムを知る研究をすることで、新しい材料開発へ活かします。メカニズムを研究することで、新しい材料開発へ活かします。

🐾 界面は分からないからこそ魅力がある

わたしは学生時代は電気化学で金属材料を、就職後は真空技術で半導体材料を、現在はバイオ材料系の研究をしています。どの時にも、界面に関する研究をしてきました。つまり、溶液化学での界面反応を研究したり、また、太陽光発電パネルに用いるためのシリコンの薄膜が真空中ではどのように界面形成されるかを研究したり、生体内で人工物と生体の界面でどのような反応が起こるかを研究したりと、どの研究にも界面というキーワードがありました。なぜものとももの境界の面に惹かれるかということ、よく分かっていないことだから、と言えます。界面と一口に言っても、実際の反応の解析は難しく、例えば細胞の場合では細胞膜の表面にはいくつもの異なる分子の集合体であり、それぞれがどのように関連して機能を出しているのかもまだよくわかっていません。また、サイズも小さいですから、見えないものを見ることは大変です。しかし、生体の基礎単位となる細胞の界面の様子を知ること、さらに生理機能が理解でき、病気との関連がわかっていくというようにスケールアップできることにも魅力を感じています。

🐾 界面を工学として研究すること

工学の魅力は、ものづくりができることだと思います。基礎研究をたくさん行って理解することで、新しい、実用化できるものをつくることができます。また、のできたものは人に使ってもらうことを前提としています。そのため、基礎研究だけではなく、その基礎研究をどのように人々に生かすことができるのか、という研究ができることも、工学の醍醐味だと感じています。

Go on to the next page



女の子は、持っていた絆創膏をその部分に張ってあげました。そうしたら、クジラは元気になりました。クジラは元気にしてくれたお礼に、女の子を背中に乗せて、不思議な町へ連れて行ってくれました。

行き着いた街は、若い人も高齢者もみんな仲良く暮らしている街でした。街の人はみな、会話を楽しんだり、趣味を楽しんだり、と元気があり活気にあふれています。

高齢者を見守り、高齢者に見守られる街

「超高齢社会」と聞くとどんなイメージを持つでしょうか。もしかすると暗いイメージを持つ方が多いのではないのでしょうか。しかし、私たちのこれからの行動次第では、未来の生活は明るいものとなるのです。それではこの街で、明るい未来の創り方を探っていきましょう。

都市工学 大方 潤一郎 教授

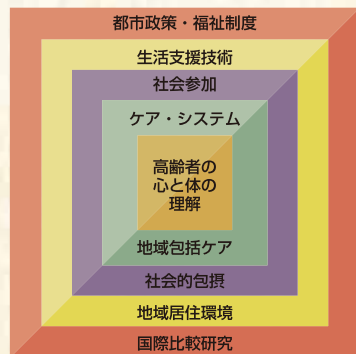
🐱 明るい超高齢社会を目指して

日本では出生率の低下に伴い、人口が減少しています。2030年には人口の1/3が65歳以上の高齢者、1/5が75歳以上の後期高齢者という超高齢社会になることが予想されています。また、単身の高齢者が増え、2050年には現在の倍以上の人々が要介護になると考えられています。高齢者は介護施設で一生を終え、若者は福祉の負担にあえぐ未来。何もせず時を過ごしているだけでは、そのような未来が待っているかもしれません。私たちはそんな未来を変えるため、活力ある超高齢社会を共創する取り組みをしています。

🐱 ”い・しょく・じゅう”のリデザイン

私たちの研究が目指すのは、高齢者が、自分の意志に関係なく介護施設に入れられるのではなく、住み慣れた自宅・地域・コミュニティで、家族・仲間と楽しみながら、自立的に人生を全うできる社会です。このような活力ある超高齢社会を実現するため、日々の生活を支える生活環境基盤の3領域”い(医)・しょく(食・職)・じゅう(住)”をリデザインする必要があります。

図1 社会全体の生活環境基盤
(高齢社会総合研究学の多重構造)



🐱 一滴の血液で健康状態を知る

第一に”い(医)”についてです。具体的には、医療、看護、介護などがあげられます。高齢者に、施設ではなく、住み慣れた自宅・地域で自立的に暮らしてもらうためには、これらのケアサポートの変革や、地域の健康づくり活動の推進が欠かせません。

第二に”しょく(食・職)”についてです。まず、食に関して具体的には、

図2 ”い・しょく・じゅう”のリデザインを
実際に進めている柏市豊四季台地域のまちづくり



しっかりとした食習慣による健康維持、高齢者が集まってご飯を食べる空間・コミュニティを創ることによる孤食の防止などがあげられます。そのために高齢者の食の実態調査を行い、高齢者の食べたい食べ物の開発や、高齢者が一緒に食事を食べたいような場の準備をしています。次に、職に関して具体的には、高齢者ビジネス、起業、高齢者による勉強会といった、セカンドライフ就労があげられます。就労することにより、生きがいや仲間が生まれます。このように”しょく(食・職)”のリデザインによって、社会参加をサポートすることで、高齢者は家の中に引きこもるのではなく、外の社会に自ら出て行って、仲間と共に豊かな生活を送ることができるようになります。

最後に”じゅう(住)”についてです。具体的には、住居環境、歩行環境、交通環境、オープンスペースの整備などがあげられます。実は家の中で高齢者が転倒し、骨折などの怪我を負ったり、最悪の場合死亡してしまう事故が絶えず起きてしまっています。このような事故を防ぐために、住居環境を変え、転倒してしまっても大丈夫な空間づくりを進めるとともに、歩行環境、オープンスペースの整備など生活環境をサポートすることで、高齢者が散歩を楽しみ、仲間と体を動かすことで転倒しにくい健康な身体づくりを進める必要があります。

このように、活力ある超高齢社会の実現のためには、日々の生活を支える生活環境基盤の3領域”い(医)・しょく(食・職)・じゅう(住)”を見直す必要があります。そのためには、多様な分野の専門家と手を組み、横の連携を強化しながら高齢社会問題に取り組むことのできる人材が必要となるのです。

🐱 高齢者の街は若者の街

では、超高齢社会に備えて若者はどう過ごしていけばよいのでしょうか。まず意識してほしいことは、「高齢者は特別な人々ではない」ということです。誰もがいずれは高齢者になります。ただ単に、歳を重ね、身体的な弱みやリスクが表面化しやすい人々というだけなのです。スウェーデンのボルボ

社が行ったモニタリングによれば、高齢者の使いやすいデザインは、若者も使いやすいデザインだそうです。まちづくりに関しても同じことが言えます。高齢者に対応したまちづくりといっても、それは同時に、若者に対応したまちづくりでもあります。高齢者に対応した社会を創り出せば、高齢者を支える若者の身体的・精神的負担が軽減されるはずです。つまり、高齢者に優しい社会は若者にも優しい社会なのです。高齢者を特別視せず、高齢者の割合が多いだけであると考えて、若者も主体的に高齢社会問題に取り組んでほしいと思います。

また、自分が高齢者になった時に、どんな生活を送りたいかを意識しておく必要があります。高齢者になったその時になって、自身の生活を嘆くことのないように、活力ある超高齢社会を自ら創っていく必要があります。そのためにも、自分の人生設計を早めに考え始め、準備してほしいと思います。今の若者が高齢者になった時に、未来の若者と手を取り合い、助け合えるような明るい社会になると良いですね。

Go on to
the next page



女の子は街の若者たちの話を聞きました。

若者たちは彼らがどのように工学部で過ごしているか、モニターに投影して話をしてくれます。
みなさん、楽しい学生生活を送っているようです。

Student interview

学生インタビュー～工学の世界の住人たち～

A day in my life ～ある日の過ごし方～



システム創成学科 3年
名和 愛乃
Nawa Yoshino

入学時の科類 理科2類

趣味 お風呂に入って
K-Popの動画を見る事

所属コース 知能社会システムコース

ある日の過ごし方

6:30 起床(寝坊する以外は早起きです。お昼寝も欠かせません。)
7:00 朝ごはん、ストレッチ、テレビを観てダラダラ。
8:00 家を出て本郷のバイト先へ。
8:20 バイト先のオフィスで英語の勉強、授業の予習
10:30 2限:安全学基礎。
12:10 友達と第二食堂でご飯。
第二食堂が一番本郷内で好きな食堂です。
13:00 3～5限:応用プロジェクト。一番楽しい授業。グループ
ワークで様々なタイプの課題に挑みます。
18:00 授業終了。自宅へ向かう。
18:30 西日暮里で有名なラーメン屋へ。夜ご飯を食べる。
20:10 お風呂を済ませたのち家庭教師先へ向かう。
20:45 家庭教師。
23:20 家庭教師が終わり帰宅。
24:00 部屋の片付けをして就寝。



精密工学専攻 修士2年
本山 央人
Motoyama Hiroto

入学時の科類 理科1類

趣味 整理整頓。自分の部屋を
整理してスペースを
確保できると嬉しい

研究テーマ 高精度軟X線光学素子の開発

ある日の過ごし方

8:00 起床。10時には研究室にいなければいけないルールな
ので、毎朝この時間くらいに起きる。
10:00 メールチェックや資料作りなどの事務作業。特に業者と
のやりとりは朝のうちに済ませてしまう。午後からの作
業に備えて部品作りを行うことも。
12:00 研究室の同期と昼食。主に第二食堂を利用。
純豆腐美味しい。
13:00 浅野キャンパスにある実験室へ。用意しておいた部品を
組み立てその効果を確認する。実験予定日に備えて、
着々と準備を進める。
18:00 本郷の研究室に戻る。1日の作業で判明した問題点な
どをチェックし、部品を設計したり、注文したりす
る。余裕があれば、再び資料作り。
21:00 夕飯はだいたい家で食べるので、あまり遅くならないよ
うに帰宅。
24:00 忙しい時は、事務作業だけ家に持ち帰り、その後就寝。

Department choice ～学科選びについて～

化学システム工学科 3年
清水 亮智
Shimizu Akinori

入学時の科類 理科1類

趣味 読書、ヨガ



学科を選んだ理由

前期教養の3学期頃からエネルギー問題とい
うものに興味が湧きました。どう関わるの
が良いか決めあぐねていましたが、色んな学
科の説明を聞く、調べるうちに材料やシミュ
レーション、システム等多角的にアプローチ
できるこの学科を選んでいました。

学科の雰囲気

元気な学生が多く仲は良いです。
応用化学科、化学生命工学科と共に化学・
生命系3学科として括られることが多く、
講義も一緒にすることが多いので、それぞれの
学科の人と関わる機会もたまにあります。

学科を選んだ理由

小さい頃にタイに住んでいて、バンコクが都市化し
ていく反面、公害問題が起きる様子を目の当たりに
していました。そのため、途上国における人間活動
と環境の関係に興味がありました。都市工学科で
は、飲み水やゴミなど人々の生活に密着したソフト
な面から、実際に国内外問わず様々な地域を対象に
して研究ができるので、この学科を選びました。

学科の雰囲気

研究では、指導教官1人につき、学生が
1人か2人しかつかないので、先生と
学生の距離が近く、指導がきめ細や
かなのが特徴です。また、グループ
ワーク形式の授業が多いため、学生
どうしが協力して課題に取り組む
機会が多く、とても仲が良いです。



都市工学科 4年

土屋 美樹
Tsuchiya Miki

入学時の科類 理科2類

研究テーマ タイチェンマイ盆地における
地下フッ素汚染対策検討

趣味 旅行(どこへでも！)

物理工学専攻 修士1年

岡田 彪利
Okada Ayato

入学時の科類 理科1類

研究テーマ マイクロ波を用いた
Feshbach共振の研究

趣味 読書



学科を選んだ理由

工学部のガイダンスで雰囲気がよかったた
め決めました。また、興味があつた物理学の
物性という分野が物理工学科で盛んに研究
されていること、基礎的な勉強を工学部の中
でも特に大切にしていることも専攻を選ん
だ理由です。

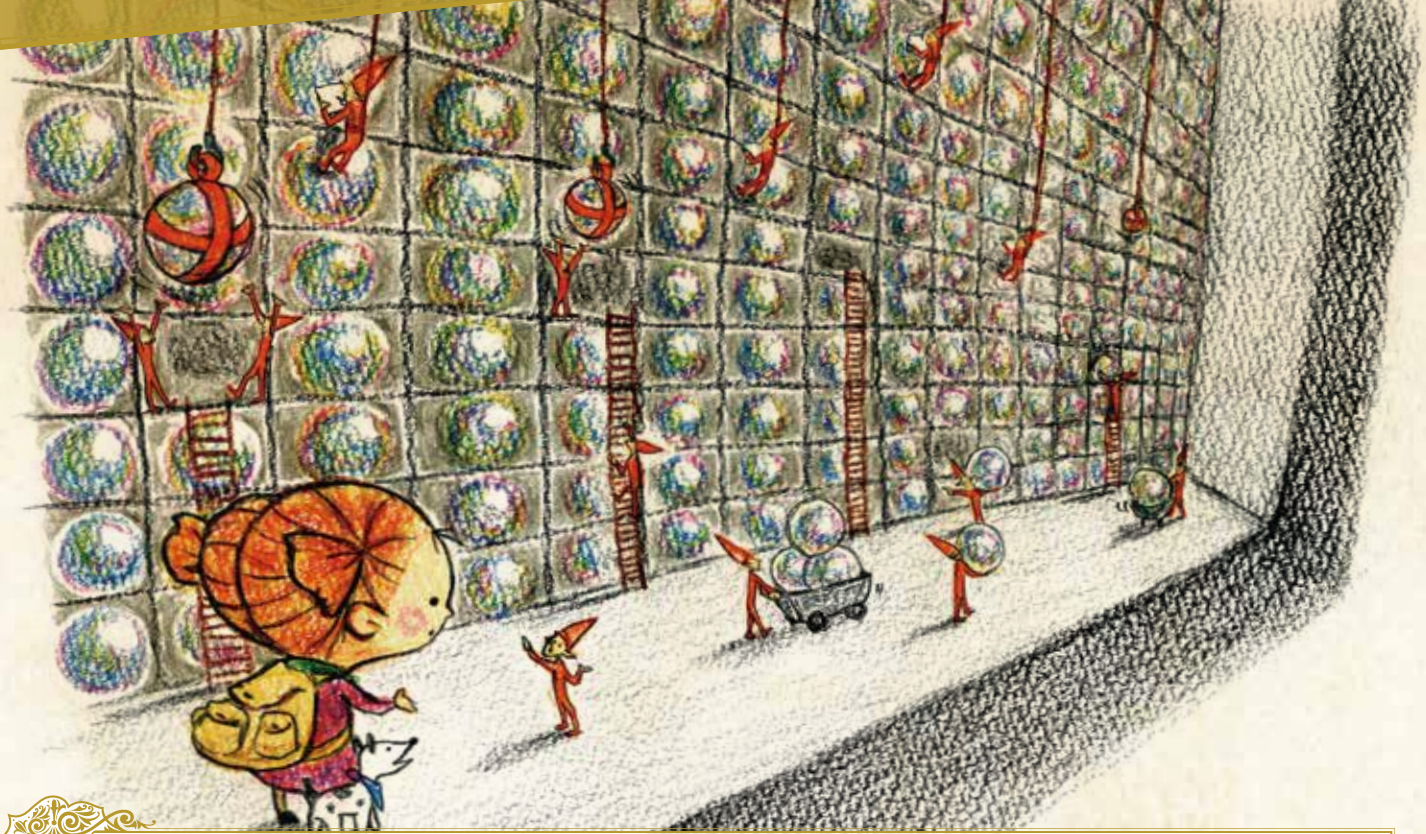
学科の雰囲気

学部生の時は勉強が多くレポートを提出す
るのが大変でした。授業が終わったら図書
館に行ったりして勉強することも多かった
です。また、自主的に勉強会を開催し、みん
なで勉強している人もいて、勉強熱心な人
が多い印象です。

Go on to
the next page

若者たちが使っていたテレビは、薄いのになんて見えたこともないくらい綺麗でした。女の子は不思議に
思っ、そのテレビを触ってみようと思えばいいけれど、テレビの中に引き込まれてしまいました。

体が小さくなった女の子はモニターの中にそのまゝ入ってしまいました。
中には小さな小人が沢山いて、原子や分子をきれいに並べています。



ものづくりを見越した様々な薄膜

ナノサイズ(10億分の1メートル)の粒子を並べることで特定の機能を持った膜を作る研究が近年では活発になってきています。粒子を綺麗に並べるにはどうしたら良いのでしょうか。並んだ粒子はどのように使われているのでしょうか。これから、小人の世界で薄膜の不思議を体験してみましょう。

化学システム工学 辻 佳子 准教授

ものづくりを見越した薄膜研究

私の研究は、広く言うと薄膜・ナノ粒子材料の研究です。その中でも現在は色々な応用が期待されている金属および半導体薄膜の開発を行っています。最終的なゴールは、大量生産にもつながることを見越した「質の良い物を早く安価に作製する」というところにあります。

たとえば、ハードディスク(図1)の記憶容量を大きくすることを考えます。ハードディスクに情報を書き込む際にはナノスケールの磁石のS/Nの向きで、1と0を表している(コンピューター内では情報を2進法で表します)ので、より小さく性能の良い磁石を基板の上に高密度に置けると性能が上がります。現在使われている容量のハードディスク(1Tbit/inch²)では10nmに1つ磁石が無いといけません。例えば鉄と白金の合金材料は、鉄と白金が縦方向に交互に配列し直方体を成すときに性能の良い磁石になります。鉄・白金合金で高性能な磁石を高密度に並べるには、真空装置の中で基板の温度を上げて、各原子を堆積させて最も安定な箇所に配置させます。ナノスケールで構造を制御してマクロスケールに構造体をつくり新たな機能を創製する技術を研究してきました。

一方、これからは、エネルギーデバイス、電子デバイス、表示デバイスの

低価格化および大面積化が求められている中、溶液中でナノ粒子や薄膜を作製する液相プロセスが重要となってきます。例えば、ロール状に巻いた大きな基板に膜を作製し、再びロールで巻き取っていくロール・トゥー・ロール・プロセスという手法が大型デバイスの作製に向いています。このような液相プロセスにおいても、機能を発現させるためにはナノ構造制御が必要になってきています。それだけでなく、今までは「産業のコメ」と呼ばれるシリコンを代表とする無機物が半導体材料に用いられていましたが、現在は軽量、柔軟性が利用できるという利点を持った有機材料も注目されてきています。有機半導体材料は有機溶媒に溶かすことができるので、その意味でも液相プロセスが重要となってきます。

学部および修士課程は工業化学・合成化学科および専攻(現応用化学科/専攻)に所属しており、要求性能を達成するための新しい材料合成に注目した研究を行っていました。卒業後、企業で研究した経験を経て、実際の製品に採用される生産性に優れた材料・デバイスプロセスに興味が向くようになりました。

現在所属している化学システム工学専攻では、ナノ粒子や薄膜作製に

おいて、原子や分子が薄膜になる過程、およびその過程と(材料)構造さらには機能の関係を解明しています。良好な特性を示すナノ粒子や薄膜を生産性良く作製する装置や作製プロセスを構築するのです。私は膨大な試行錯誤では実用化されていない薄膜・ナノ粒子材料研究において、プロセスを重視する化学工学的なアプローチで取り組むことで、事前の設計に基づいた材料合成が可能と考えています。

こんな実用化ができます

私が研究対象としているものは主にディスプレイなどの電子デバイスや太陽電池や熱電素子(熱エネルギーを電気エネルギーに変換する素子)などのエネルギーデバイスと呼ばれるものです。

電子デバイスの一例として、有機EL(図2)があげられます。バックライトからの光を素子によって部分的に透過させている液晶ディスプレイに比べて、1つ1つの画素(画像や映像の最も小さい1点を構成する単位)それぞれが自分で発光する仕組みになっています。有機ELの発光素子は陽極と陰極に挟まれた各役割を持った有機薄膜で構成されており、それぞれの薄膜は数十nmの厚みです。発光層は、電圧印加に注入された電子と正孔の電荷輸送を担当する分子と、輸送された電子と正孔の再結合によるエネルギーで発光する分子の二種類があります。この2種類の分子の混合溶液の塗布・乾燥プロセスによる分子配列制御がディスプレイの性能と寿命を決めています。

エネルギーデバイスでは、例えば熱電変換素子があります。熱電材料の高性能化を達成させるためには、高いゼーベック係数(温度差あたりの出力電圧を決める係数)と高い電気伝導度とともに、低い熱伝導率をもつ材料の開発が必要です。酸化物半導体材料の液相プロセスでのナノサイズレベルでの構造制御による実現を目指して研究を進めています。

実は医療にもナノ粒子を応用することが出来ます。バイオイメーシングという分野があって、例えば病理細胞がどこにあるのかを高精度で示す試みがなされています。現在は蛍光劣化の早い色素分子を用いた染色が主流ですが、蛍光寿命が長く、かつ毒性の低い材料としてシリコンナノ粒子が注目されています。特に、赤外～近赤外の波長域は、体内で吸収されにくいことから、この波長で発光する直径5、6nmのシリコンナノ粒子を大量に合成する研究も行っています。

工学的研究にやみつきになりました

企業に数年間勤めていた際に、幸運にも自分が業務とは別に研究していた材料が非常に良好な特性を示すことを見つけ、研究開発の末、商品に搭載されることになりました。こうなったらもうやめられないですね(笑)。これをきっかけに、生涯現役の研究者でいたいと考えようになりました。大学の研究室でも、学生の研究が私たちの生きている実社会での環境問題、エネルギー問題、資源問題、安全性の問題などを解決されていくことを実感出来るので、頑張ってもらいたいですね。

工学研究の魅力は、さまざまな要素が複雑に絡み合った実社会の課題に対して答えを見つけることです。

薄膜の魅力とは

膜の研究者って、研究の話をするとき、まるで自分が小さくなって膜の中に入って構造を覗いてきたかのような話し方をするんですよね。

具体的には、構造の直接観察、さらに様々な分析機器を使って分析することで、構造と物性とを結びつけます。予想した物性の実現できるととても面白いです。さらに薄膜に関して言うと、ナノメートルの世界でしか実現し得ないことが多くあります。薄膜特有の性質をいかに実用化に結びつけるのかを考えるのが、とても面白いです。

図1 大容量ハードディスクを実現可能にするFePt磁性体ナノ粒子

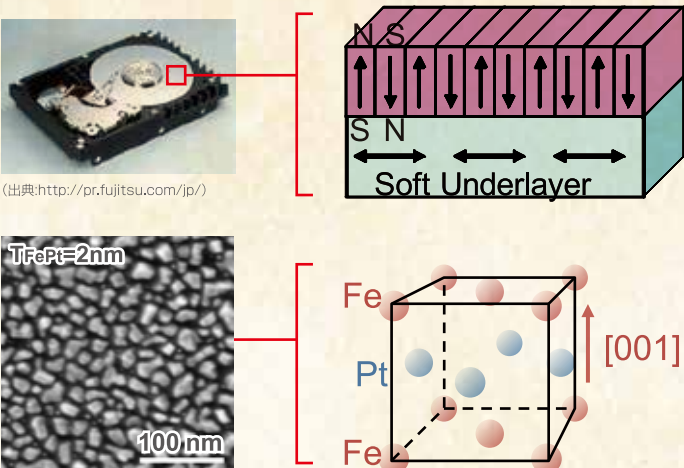


図2 有機ELにも用いられるプリンテッドエレクトロニクス技術



Go on to the next page



モニターから出た女の子は、町の人が集まる広場に行っておみました。

広場には、感覚や匂い、音まで全て思ったことを立体的に映し出してくれる機械がありました。女の子は、この機械を使って日常の様子を紹介しました。ママやパパと一緒にご飯を食べる、朝の風景が映っています。

人間の能力を向上させるデジタル技術

昨今のデジタル技術は、人間の記憶や五感にまで影響を及ぼすようになっています。デジタル技術が、あたかも人間の能力の一部であるかのように感じる日も近くないのかもしれませんが。さて、魔法の機械があなたを別世界へお連れしますよ。 機械情報工学 谷川 智洋 講師

人間の感覚や記憶を操作するデジタル技術

私の研究室は、バーチャルリアリティといって、その場には存在しない映像や音、匂い、触り心地などを再現することで、人があたかも別の世界にいるような錯覚を起こすシステムを研究しています。また私は、現在ライフログというものに着目しています。ライフログとは生活において人が見たり聞いたりしたものすべてのデジタルな記録のことです。バーチャルリアリティとは

人の感覚を拡張させる技術で、ライフログとは人の記憶を拡張させる技術だと言えます。図1は、バーチャルリアリティの技術によって再現した、すでに閉館した鉄道博物館の館内の様子を、図2は、ライフログ技術によって日々の生活を記録し、行動の支援をしている様子を表しています。

バーチャルリアリティを使うことによって、人間は、記録したデータの

図1 バーチャルリアリティによる鉄道博物館の再現



図2 ライフログによる生活の記録と行動支援



再現や、モデリング(予想技術)を利用した予測ができるようになります。前者に関して、例えば、中南米ホンジュラスにあるマヤ文明の遺跡のような遠くて簡単には行けない場所もすぐに五感で体験できる、いわゆるどこでもドアのような体験ができます。また、遺跡から当時の様子を再現でき、タイムマシンのような体験もすることもできます。また後者に関しては例えば、相対論などの物質の運動を記述する式をもとに光の速さの体感など、到底実感できないような体験もすることができます。これらについて、ただ再現するだけではなく、断片的な情報をいかに体系立てて再構築していくかということが大切になってきます。たとえば、ストリートビューのように車にカメラを付けて街並みを画像情報として記録し、それらを時間軸・空間軸に基づいて再構成することで、デジタル上でいつでもその地点に戻ることができるようになります。そのカメラを車ではなく人に付けると、その人が見た記憶や体験を後で自由に思い返すことができるという点で、人間の記憶を拡張させるライフログ研究へと繋がっていきます。ライフログの応用手段は様々ですが、私はライフログによる情報に基づいて予測を行い、行動や判断の支援に活用することに焦点を置いています。例えば応用例として、消費予想が挙げられ、消費活動を詳細に記録して次の行動のパターンを予測することで、節約などに役買うことができます。つまり、未来予測をすることによって人々の行動を変えていくことはできないか、という研究を行っています。

人間の感覚に訴える食事ログ

私が過去にやった大きなプロジェクトの一つに、食事ログがあります。個人の食生活のライフログを取り、それにもとづいて食事の生活習慣を変えようというものです。その食生活を変えるためのアプローチを、二つ試みました。一つは人間の感覚に訴えるタイプであり、食べ物の大きさを変えてみるということです。人は大きいクッキーを食べるとたくさん食べた気になってしまって、食べる量が少なくなります。しかし小さいクッキーだと、ついついたくさん食べてしまいます。そこで、食べ物を視覚的に大きい状態であるように見せて提供することで、過剰摂取を抑えようというものです。もう一つは、第三者の評価による食生活の改善です。人間の味覚や感覚は他の情報で容易に変わり得るため、WEBサイトで評価が高いところで食べると、

図3 iPhoneアプリ「Table For Two」



それほどおいしくないものでも満足感を得られることがあります。つまり、第三者による評価によって自分の食事の満足感は変動することがあるのです。実際に、SNSを通してヘルシーそうなもののおいしいそうなものだというフィードバックを与えると、自然とヘルシーな食事へと人の食生活は変化していくことが分かり、これを応用して健康的な食生活を保つことができるのです。この研究成果は、ヘルシーな食事をするとその分の寄付が主に発展途上国の子供たちになされていく、Table For TwoというiPhoneのアプリで応用されています。図3は、そのアプリの画像です。他の人が投稿した食事の画像を「ヘルシー!」「食べたい!」を押して評価すると、その食事の画像を投稿した人にpointとしてフィードバックされます。

デジタルな技術の更なる向上を

私は技術の発展によって人間のできることが広がることに非常に魅力を見出しています。そして、技術で人間の判断や行動を支援できるようにすることが私の夢です。世の中に還元できるようなことは何か、ということを常に考えてやっていきたいと思っています。

また最終的には、もっともっと人とデジタルの世界の垣根を無くしていきたいと思っています。バーチャルリアリティの世界を見れば、現実とは違うな、とやはり認識してしまうし、ライフログもまだ、膨大な記憶のデータの中から即座に思い出したい記録を取り出せる段階には来ていません。デジタルなデータを自分の記憶の一部、自分の脳の一部と認識するにはまだまだです。デジタルの世界を表すコンピュータの能力を、あたかもその人自身の能力の一部であると思えるまでに技術を向上させるのが最終的な目標です。

とにかく挑戦してみることに

世の中からポジティブなフィードバックを得られることで、自分の研究のモチベーションは非常に高まります。そういう意味で工学部というのは、世の中のニーズに基づいた研究をしているので、非常にやりがいがあります。難しいことをしている、と見られることもあるけれども理解不能なことをやっているわけではないし、いくらでもその気になればついていける内容をやっています。ですので、あまり深く考えずに興味を持ったらぜひ踏み込んでみてください。

Go on to the next page



女の子が家を出る場面が映りました。ママが「暗くなる前に帰ってきなさいね!」と言っています。もう帰らなきゃ!

帰るにはどうすればいいんだろう、と思っていた女の子のところにロボットが現れました。どうやら、家への道を教えてくれるようです。案内してくれるのはロボットだけではありません。壁に埋め込まれたプロジェクターも、女の子の動きに合わせて地面に矢印を映し出し、向かうべき方向を教えてくれます。

人を知り、人を導く、機械の案内人

機械が人を認識し、目的地まで案内してくれる……これはいまやS Fの中だけの話ではなく、人を案内する機械の実用化に向けた研究が進んでいます。では、このような機械はいったいどのような原理で動いているのでしょうか？機械に導かれながら、その仕組みを探っていきましょう。

精密工学 浅間 一 教授

🐱 新時代のロボット「サービスロボット」

これまでロボットといえば、工場の中など整備され人が入らない環境で動く、産業用ロボットが中心でした。ところがこれからのロボットには、人がいる環境で動き、何らかのサービスを提供することが求められてきています。このような背景から、我々はこのようなロボットを、産業用ロボットと区別して「サービスロボット」と呼んでいます。

図1 人を目的地まで案内する人間共存型サービスロボット



🐱 人と共存するには人を知ることが必要

ロボットを人のいる環境で動かすためにまず重要となるのは、人とぶつからないようにすることです。

そのためにはまず、人の存在や人の行動を検出しなければなりません。これには、カメラを使った画像処理や、レーザーなどによる環境計測などの方法があります。

次に、計測した人の位置や動きに応じて、どのようにロボットを動かすかを決めなければなりません。ここで人は、静止している障害物とは違い動き回るので、それを避けるのは結構難しい問題です。また、人もロボットを避けようするので、その結果、逆に衝突してしまうということも当然ありうる話です。

そのような問題を解決するには、人がそもそもどのように動く存在なのかをモデル化し、人の動きを予測することが重要になります。ただし、モデルといっても様々なレベルのモデルがあります。人の行動パターンに関する統計的なモデルもあれば、人の歩行などの動作における人体の仕組みをモデル化したものもあります。

🐱 人混みの中で案内するには

我々は研究の一つとして、人を目的地まで案内するサービスロボットの開発を行っています。このような案内ロボットを制御するには、まずゴールとなる目標位置が必要となります。また、ゴールに向かう途中で障害物があったらどのように避けるかということと、ある程度計画しなければなりません。さらに、経路の途中にいる人がいたり、またその人が思いがけない動きをすることもあるので、ロボットはその都度、計画や動作を変更する必要があります。目標位置に向かうための計画立案と、その場その場での動作生成は、相互に密接な関わりあいがあります。このような過程を経て、はじめてロボットを動かすことができるようになります。

次に、案内ロボットは、案内する相手にだけ付いて行き、それ以外の人は避けるといったような行動を取る必要があります。また、周囲に人が多い環境での使用も想定され、高度な回避機能が求められます。我々は人混みの中でも周囲の人の流れを知り、それに乗れば上手く行動できると考え、人の流れのモデル化や、そのモデルを用いた目的地に到達するためのアルゴリズムの開発も進めています。

🐱 位置と地図を手に入れる

案内ロボットは目的地まで長距離を移動するので、現在の自分の位置や、その位置が目的位置に対してどのような位置関係になっているのかということ把握する必要もあります。この問題に対処するには、ローカライゼーションとマッピングという機能が重要になってきます。ローカライゼーションは自分の位置がどこかを推定すること、マッピングは地図を作ることです。一般的に自分の位置がわかっていれば、そこを基準に周囲の様子を計測して地図を作ることができます。逆に地図がわかっていると、地図とカメラから得た画像を比べながら自分の位置が計算できます。すなわち一般には、一方がわからなければもう一方を計算することできません。

しかし、最近、SLAM (Simultaneous Localization and Mapping) という手法が開発され、両方分からない場合でも、その両方を知ることが可能になりました。これは、自分の位置も地図もわからない状態から、少し動いては環境計測をする、ということを繰り返し行い、積み重ねることにより、位置や地図を確率的に把握するという手法です。この手法はいま世界的に注目されていて、我々もその研究を行っています。

図2 モデル作成のためのデータ計測の様子



🐱 「ロボット技術」を用いた案内システム

これまで案内ロボットについて述べてきましたが、我々は他にも「ロボット技術」を用いた、ロボットではない案内システムの研究も行っています。我々が生活する空間にロボット技術を組み込むことで空間自体を知能化し、

身近なところで我々の様々なアクティビティを支援してくれることも可能になります。例えば、エアコンは家電であってロボットではないですが、センサが付いていて、人を検知して風向調節しますよね。このような技術も実はロボット技術なのです。

以前、大阪にあったサントリーミュージアムで、ロボット技術を用いた案内システムを導入したことがあります。導入前は、学芸員の設計した順路通りに来場者が動いてくれないことが問題になっていました。そこで我々は、展示室の入り口など、様々なところにカメラとプロジェクターを設置しました。展示室に入ってきたような人をカメラで検出し、プロジェクターを使って床や壁に矢印を投影し、それを動かします。そして人がそれに気づき、矢印について行くと、最初に見るべき絵のところに誘導できるという仕組みです。これを使い、フードコートのような場所で、空席に案内するデモシステムも構築しました。ここでも、人の行動モデルに基づき、その行動を予測して、矢印を投影しています。

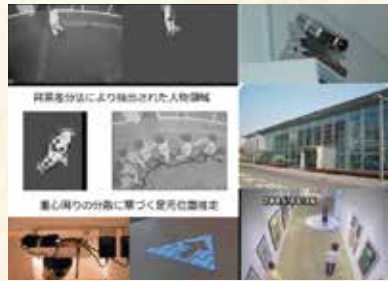
案内ロボットと比べると、プロジェクターは床や壁にでも矢印を投影することができ、衝突の危険がないことや、スペースを取らないことが利点となります。ただ、この手法にも欠点があり、明るいとところだとプロジェクターは使えません。そのような場所では案内ロボットに軍配が上がります。

🐱 これからの研究に求められること

今回は案内ロボットやシステムのための基礎的な研究を中心にお話しましたが、我々の研究室では現場の問題解決に貢献できるように、基礎研究、技術開発、現場での問題把握・実証試験の3つを並行して進めることを心掛けています。

問題を分解してパーツごとに考えることは確かに必要なのですが、分解が進みすぎると問題をパーツ単体でしか考えられなくなり、現場に役立たなくなってしまう場合があるので、そのバランスが重要です。これからの研究には、現場で問題をきちんと把握し、その解決に貢献するには一体何が必要なかを常に考えることが求められてくると思います。

図3
プロジェクションによる
人の誘導



Go on to
the next page



しばらく歩いていたら、空港が見えてきました。

空港にはカッコいい飛行機があります。女の子はその飛行機に乗りました。この飛行機は宇宙を飛ぶことができる凄い飛行機のようなです。女の子は宇宙を旅しました。

宇宙への道のりをぐっと短くする、スペースプレーン

現在、宇宙へ行くためには非常に多くのお金がかかります。乗り物であるロケットが、使い捨て型であることが大きな原因です。この問題を解決するために、繰り返し利用できるスペースプレーンが研究されています。誰もが安く宇宙に行けるような社会の実現が目標です。さあ、最後にスペースプレーンに乗って、工学の旅から帰還しましょう。

航空宇宙工学 土屋 武司 准教授

🐼 スペースプレーンとは？

現在宇宙へ行く手段として使われているロケットは、高い精度で作られた高級な部品が使われているにもかかわらず、1回のミッションを終えるごとに使い捨てられてしまいます。そのため、宇宙へ行くというのは大変お金がかかる行為になっています。例えば、1 kgのモノを周回軌道に打ち上げるためには、数百万円かかると言われています。人間を1人打ち上げるとしたら、億を超える費用が必要になっているのです。

そこで、部品を使い捨てることのない、何千回も地球と宇宙を繰り返し往復できるような乗り物を作って、宇宙飛行士でなくても海外旅行のような安い値段で宇宙に行けるようになったらいいですね。飛行機のように、空港から宇宙へ行って帰って来られるような乗り物が究極の目標です。その候補の一つとして、宇宙へ行って帰ってくるのできる飛行機、スペースプレーン(図1)が研究されています。

図1 JAXAによるスペースプレーンの構想



🐼 スペースプレーン開発の難しさ

一部再使用型であるスペースシャトルが登場した1980年代から、スペースプレーンの構想はありました。スペースシャトルの実現をきっかけに、飛行機のように離着陸をして宇宙に行く、スペースプレーンの研究が世界中で始まったのです。研究が始まった当初は、「あと30年もすれば実現するだろう」と言われていましたが、実際に研究を進めてみると、様々な課題が浮かび上がり、大変難しいということがわかってきました。現状でも、さらに30年以上かかると考えられます。

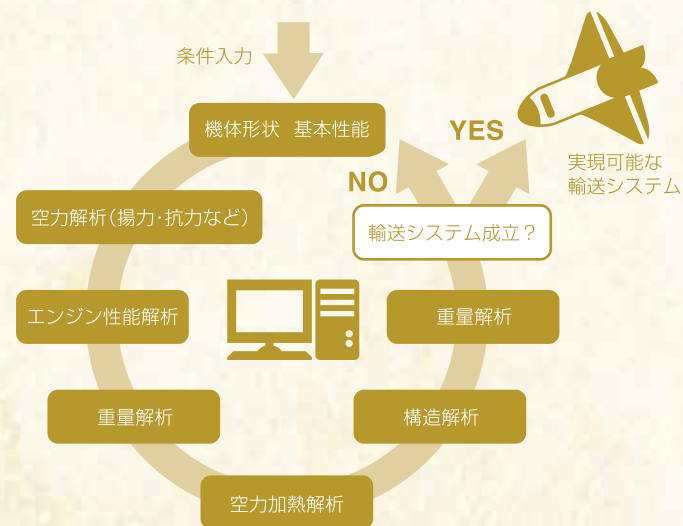
🐼 飛行機で宇宙空間に出るためには？

宇宙空間に出て、周回軌道に達するためには、マッハ23(音速の23倍の速さ:秒速7.9キロメートル)の第一宇宙速度まで加速する必要があります。現在使われているジェットエンジンは、空気を吸い込み、それを噴き出して推力を得る仕組みになっているのですが、マッハ2〜3を超えるとこの空気を吸い込む力が弱くなったり、エンジンが異常な高温になったりしてしまうという問題点があります。この問題を解決するために、まずは極超音速(マッハ5以上)を目指し、より高速まで加速可能なエンジンの研究開発が行われています。また、空気が無い所ではジェットエンジンは使えないので、最後はロケットエンジンの力も借りる必要がありますね。

🐼 開発と最適化

実際の開発の流れについて説明します。冒頭で、ロケットは使い捨てのシステムであるという話をしました。使い捨てで、これほどお金がかかるシステムが用いられているのは、やはり宇宙へ行くのはそれだけ難しいからなんですよ。そこで今ある技術を組み合わせてスペースプレーンを作るという無理難題を実現するためには、「最適化計算」が必要になってきます。一般に最適化とは、与えられた条件の中で最高の結果を得られるようなシステムを設計することです。図2のような色々な解析を組み合わせる最適化計算を行うのが、私の研究です。様々な分野の専門的な知識が必要になるため、JAXAや他の大学と共同研究で進めています。

図2 スペースプレーン実現のための最適化計算の流れ



例えば、機体のサイズやエンジンの方式を最初に指定すると、それに適した機体の形が決まります。そして、この機体が受ける空気力の解析や、エンジン性能の解析が行われます。さらに、「どういう飛ばし方をすれば、この機体は適切に宇宙に到達できるか?」というような、飛行経路が計算されます。ロケットなら一直線に飛ばせばいいのですが、前述したジェットエンジンをを用いる場合は、空気の力をうまく活かして効率的な速度と高度を維持しながら加速していかないとダメなのです。このような計算過程を経て、最初に指定した機体やエンジンの方式に対する、最も実現可能性が高いスペースプレーンのシステムが得られます。

実は現在、どのような計算をしても、スペースプレーンは実現しない、という結果になってしまっています。「機体があと何%軽くなったら……」という仮定の条件をつけてかろうじて成立するような状況です。本当に惜しいところです。

スペースプレーンには、単段式(図1 左)と二段式(右)が考えられています。単段式は一つの機体で離着陸全てを行うシステムで、二段式は離陸後に片方の機体を分離するというシステムです。二段式の方が実現しそうだ、という計算結果が得られています。ただし、比較的空気の濃い高度において極超音速で分離することになると考えられますが、この状態で図3のように安全に分離するのは現段階では難しいと考えられます。

図3 二段式スペースプレーンの分離の想像図



🐼 実現後の社会

もし宇宙へ行く値段が今と比較して100分の1になったら、一般の人でも宇宙へ行ったり、モノを運んだりできるようになります。宇宙旅行がよく言われていますが、他にも、今では思いもつかないような新しいビジネスや産業が生まれるはず。スペースプレーンの開発は大変に難しいことですが、実現によって大きなパラダイムシフトが生まれ、我々の発想の及ばないようなビジネスや産業につながると期待されます。

Go on to the next page

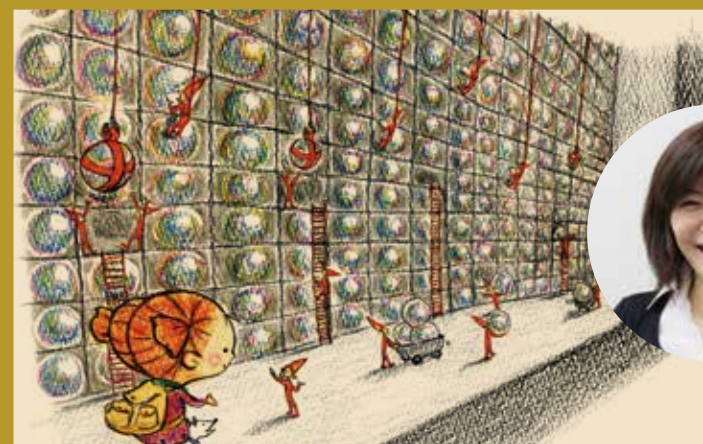


女の子は旅の最後に大気圏に突入して地球に帰ってきます。あたりが光につつまれました。気が付いたらそこは三四郎池の前でした。

Profile page

東京大学生産技術研究所准教授
(大学院工学系研究科電気系
工学専攻・情報理工学系研究科
数理情報学専攻 准教授・兼任)

小林 徹也

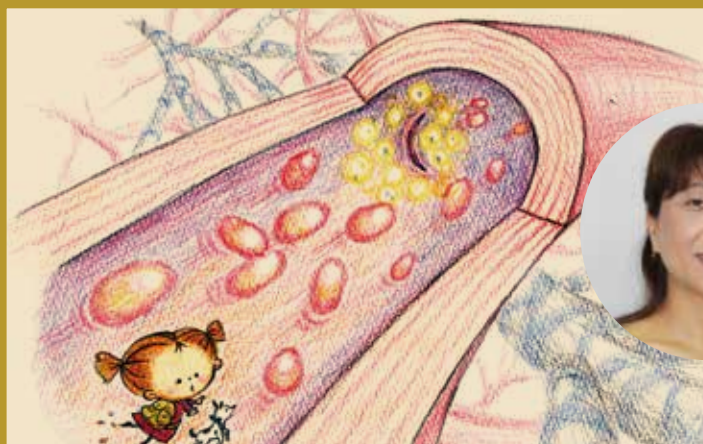


東京大学環境安全研究センター
准教授(大学院工学系研究科
化学システム工学専攻准教授・兼任)

辻 佳子

東京大学大学院
情報理工学系研究科
知能機械情報学専攻講師

谷川 智洋



東京大学大学院工学系研究科
バイオエンジニアリング専攻
教授

高井 まどか



東京大学大学院工学系研究科
精密工学専攻教授

浅間 一

東京大学大学院工学系研究科
都市工学専攻教授
(高齢社会総合研究機構機構長・兼任)

大方 潤一郎



東京大学大学院工学系研究科
航空宇宙工学専攻准教授

土屋 武司



～エピソード～



女の子は家に帰って、今日の冒険をママとパパに話します。

不思議なこと、楽しいこと、たくさんありました。

実は、女の子が体験した世界は未来の地球の様子かもしれません。

女の子は未来に希望を抱きながら、今日もすやすやと眠りました。

協力

東京大学大学院工学系研究科
工学部広報室

大澤 幸生
(室長)

近藤 高志
(副室長)

川瀬 珠江

永合 由美子

藤井 志帆

取材編集

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

伊藤 秀剛
(学生編集代表)

勝野 真輝

兼古 寛之

櫛田 峻裕

柴山 翔二郎

白畑 春来

星野 彰太郎

印刷

能登印刷株式会社

工学部では、学生が作る広報誌Ttime! を発行しています。Ttime! は、全国の高校や予備校に無料で配布しております。
バックナンバーはこちらから。
http://www.t.u-tokyo.ac.jp/public/t_time.html お問い合わせは  ttime.today@gmail.com から。

Ttime! Webでは、本誌に載せられなかった情報を発信しています。
<http://ut-ttime.net/>

本誌掲載記事の無断転載を禁じます