

Innovator Next

未来を創る東大工学部

日経BPムック
「変革する大学」
シリーズ





Contents

4 **Innovator Next Special Interview**

テクノロジーで世界をリードする先輩イノベーター

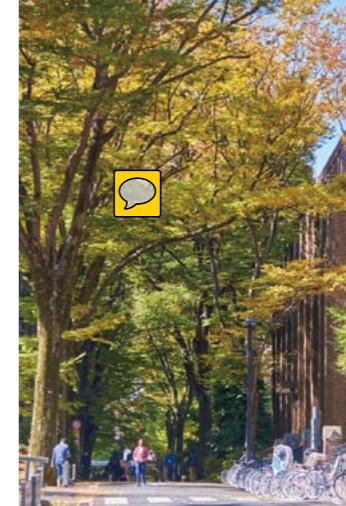
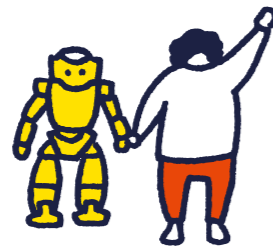
- 6 日立製作所 取締役会長 代表執行役 **中西宏明** 氏
- 8 東レ 代表取締役社長 **日覺昭廣** 氏
- 10 NTTデータ 代表取締役社長 **岩本敏男** 氏

12 **工学部の国際力**

14 **UTokyo Engineering Princesses**

20 **工学が未来を切り拓く**

- 22 東京大学工学部・大学院工学系研究科への進学ルートマップ
- 24 社会基盤学科
- 28 建築学科
- 32 都市工学科
- 36 機械工学科
- 40 機械情報工学科
- 44 航空宇宙工学科
- 48 精密工学科
- 52 電子情報工学科
- 56 電気電子工学科
- 60 物理工学科
- 64 計数工学科
- 68 マテリアル工学科
- 72 応用化学科
- 76 化学システム工学科
- 80 化学生命工学科
- 84 システム創成学科



日立製作所
取締役会長 代表執行役
中西宏明氏



テクノロジーで 世界をリードする 先輩イノベーター

東レ
代表取締役社長

日覺昭廣氏



NTTデータ
代表取締役社長
岩本敏男氏



東京大学工学部・大学院工学系研究科を卒業・修了した先輩たちは、社会の様々な分野の第一線で活躍し、先進的なイノベーションを実現しています。

世界に冠たる新幹線の技術を駆使し、鉄道発祥の国、英国で高速鉄道を手掛けるなど社会システムで新たな挑戦を続ける日立製作所の中西宏明会長。

最新鋭の旅客機の大幅な軽量化を実現した炭素繊維をはじめ、先進素材による技術革新で世界をリードする東レの日覺昭廣社長。

バチカン教皇庁図書館の“人類の資産”のデジタル化など世界中の複雑で困難な社会的課題のITソリューションによる解決に果敢に挑むNTTデータの岩本敏男社長。

工学の知見や技術、具体的な手法などが、様々な社会的課題を解決するために、いかに必要とされているか。未来を担う若い世代への大きな期待も込めて、世界を舞台に活躍する大先輩3人に語っていただきました。

技術や製品を通し
「社会を動かしている」と実感
工学部出身者は
他では得難い醍醐味を味わえる

日立製作所
取締役会長 代表執行役

中西宏明氏

(1970年卒業 電気工学科)

Hiroaki Nakanishi
1946年神奈川県生まれ。70年東京大学工学部電気工学科卒業後、日立製作所に入社。大みか工場計算制御設計部に配属。79年7月米スタンフォード大学院修了。90年大みか工場計算制御システム開発部長、93年大みか工場副工場長を経て98年日立ヨーロッパ社社長。2003年執行役常務、04年執行役専務、05年日立グローバル・ストレージ・テクノロジーズ社取締役会長兼CEOなどを歴任後、06年日立製作所副社長、10年社長に就任。14年会長兼CEOに。16年より現職。



学科の見学旅行で只見川水系ダムを訪れた際の写真。最前列で横になっている左側が中西氏(写真提供:中西氏)

もの見方と意識の持ち方
深く刷り込まれた2年半

今振り返っても、工学部のプログラムは非常に良くできていたと思います。といつても机に向かっているだけで、ガリガリ勉強させられたわけではありません。社会に出てから必要なものの見方や意識の持ち方を日々、深く刷り込むような教育を受けました。今の私に大きな影響を与えた2年半だと思っています。

実は理科一類に入った当初、後期課程では理学部に進もうと思っていました。工学というのは実学ですが、むしろそれは違う地理、地質などに興味があったので。教養学部の少し変わったゼミに入り、フィールドワークでハンマーを手によく山に登っていました。

ところが先生から「地質じゃ食えんぞ」と言われまして。卒業後の仕事を考えたやはり工学部に進むのがいいのかなと。少年時代にはラジオの組み立てに熱中したクチで工学も好きでしたし、実家が小さな電気メーカーを営んでいたこともあり、電気工学科を選びました。

工学部で徹底して教えられたことの二つは「理論と実際の両方を並

行して考える重要性」です。

私は卒業研究でインバーターの設計に取り組んだのですが、モノをつくって動かすだけではなく、計算機で回路のシミュレーションもやるように指導されました。短い期間で両方を完成させなくてはならず、悪戦苦闘して仕上げました。違う角度から物事を見ることの重要性を教え込んでくれたのだと解釈しています。

もう一つ、身につけたのは、「自分は電気工学のプロ。なんでも分かる」という意識です。電気工学と一口にいっても、モーター、半導体、エレクトロニクスと分野によって中身は全く違います。でも、先生方は「電気工学を学んでいるのだから分かるはず」「物理現象である点は変わらない」というスタンス。それが自然と我々学生にも伝播しました。

本当は知らないこと、分からないことはいっぱいあるんですよ。でも「少し勉強すればすぐに理解できる」という感覚が養われる。おかげで新しいことに遭遇しても抵抗感なく自信を持って接することができるようになりました。

こうした工学部での学びは、日立製作所に入社した後にも非常に

役に立ちました。私は入社後、工場でコンピュータ設計を担当しま

したが、システム設計というのは全体に目配りしながら部分を緻密に作り上げるもの。いろいろな視線が必要で、大学時代に物事を違う角度から、総合的に見て考える習慣をたたき込まれたことが助けになりました。プロ意識を養っていたことも、新しい仕事に対して果敢に取り組みチャレンジ精神につながったと思います。

こうしたものの見方、意識の持ち方は経営者にも不可欠な要素です。日立をはじめとして、電機メーカーの社長の多くが東大工学部出身。そんなこともあって私は入社した時から「いずれ社長になるぞ」と思っていました。幸運にも本当に社長になれたのは工学部で必要な要素を身につけていたからという面もあると思います。

学問以外にも工学部に入って良かったと思うのは非常に濃い人間関係を築けたことです。今もある制度のようですが、工学部は非常に面倒見が良く、3、4人の学生に1人、指導教官がついてくれます。勉強のこと、進路のことなど何でも相談できる、いわばメンターです。先生のお宅にもよくお邪魔

し、奥様とも家族的な温かい付き合いをさせてもらいました。

4年生になると卒業論文を書くために研究室に所属します。研究室には教授のほか、助手、大学院生など10人ほどがいて、折々に指導してもらえます。話題の文献が手に入ると輪講会を開いて夜通し語り合ったりもしました。卒論を完成させるまでの9カ月ほど、毎日学校で顔を合わせるから本当に付き合いが深くなる。ファミリーのようなものですね。こういう関係を築けたことは私の大きな財産となっています。

学生の間は分かりませんでした。卒業すると工学部の真の魅力に気づきます。それは学ぶ技術や製品が社会に直結していることです。私は入社後3年で新幹線の制御システムを構築しました。コンピュータ制御の黎明期で若造の私も最先端の仕事を任せられました。先輩方と議論しながら徹夜で作り上げたものが世に出ていくのは本当に感慨深い。こうした社会のフロンティアに関わり、自分が動かしている実感を得られるのは工学部ならではの醍醐味です。

皆さんにもぜひ工学部の門をたたくてほしいですね。





修士論文の研究などで使用した機器とともに写る日覺氏(写真提供:日覺氏)

東レ
代表取締役社長

日覺昭廣氏

(1973年修了 産業機械工学専攻)

自分で考え、行動し、
失敗してもあきらめない
研究活動を通して
新しいことに挑戦する姿勢を学ぶ

法学部出身者と渡り合うため 製造業を支える設備に注目
私は兵庫県三木市の出身です。大学進学率のさほど高くもない地元高校に通い、「一番難しい大学：学部に行こう」と勇んで理科一類に進学しました。今思うと田舎育ちで

世間知らずでしたね。大学に入ってから、「社会ではどうも法学部出身者が幅を利かせているぞ」と知ってびっくりしました。
私はもともと自動車やオートバイが好きで製造業に興味がありました。「法学部出身者と渡り合うには、製造業を支える設備の分野で力を発揮するのがいいだろう」と考えて工学部に進学しました。
船用機械工学科ではエンジンの設計などを学びました。卒業論文のテーマはエンジンを高速回転するためのバネの設計。教授のツテでトヨタ自動車や日産自動車に入りし、エンジニアの人たちの話を聞いたり、一緒にモノをつくったりしながら研究を進めました。
産業機械も学ぼうと大学院に進学。機械をコンピューターで動かす制御システムの研究に動きました。自分が挑戦したい研究を自由にやらせてもらえる環境で、目が見えない人のための教育システム開発などに没頭。夜通し研究室のコンピューターを動かし、早朝帰宅する日々を送りました。
学部・大学院での研究活動を通して学んだのは、自分で考え、行動し、失敗してもあきらめず、課題を見つけ、次にすべきことをまた考えるという姿勢です。1年や2年程度の研究で素晴らしい成果が出るなんてことはあり得ません。新しいことに挑戦し、試行錯誤す

ることこそが重要です。
先生方は学生の挑戦を温かく見守ってくれました。成果が出ない時も「しょうもないことやってるなあ」と笑って受け入れてくれて。アウトプットの完成度は低くても、過程で考えたこと、行動したことを評価するスタンスでした。
東レに入社したのはナイロンなど世界に先駆けて新しいモノを生み出す会社だったから。世の中にはモノをつくるには、世の中にない設備や機械が必要です。東レは自前でつくっていましたから、やりがいのある仕事ができると感じました。また、1970年代前半に繊維では世界初の「無人化工場」をつくるなど、新しいことに果敢に挑戦する社風も魅力的でした。
入社後は工場での設備設計や開発、建設などに携わりました。学生時代に材料力学、熱力学、機械工学、電子工学などの基礎をしっかりと学んだことが生きました。また、実際にバネをつくって機械に組み込み動かしたことが、学内外の人と議論し、知恵を出し合いな

からモノを作り上げたことなどの経験も大いに役立ちました。
最近の学生は工学部でも現物を見たり触ったりする経験が乏しいように見えます。そのため、現物の本質的な原理・原則の理解が不十分だと感じます。
フランス・リヨンに赴任しポリエステルフィルムの新工場を立ち上げた時のこと。設備がトラブルを起こす頻度が高く、思うように生産できない日が続いていました。ある優秀な大学を卒業した社員は「設備の故障はバスタブカバーを描くから仕方ない」とあきらめ顔です。バスタブカバーとは設備の故障の発生状況を縦軸に、使い始めからの時間を横軸にとって表したグラフの曲線を指します。設備の使用初期は故障が起きやすく、安定して動くようになると故障は減り、長期間使うと再び故障が増える。曲線の形がバスタブに似ていることから名付けられています。
トラブルが起きていく時、評論家的に状況を解説されても何の役にも立ちません。よく調べさせる

と、この時はクレイン部分の滑車の角度が急すぎ、ワイヤーが摩擦して切れやすかったことがトラブルの原因と分かりました。すぐに対処させて問題を解決しました。
答えは常に現場にあります。手軽に、効率的に答えを出そうとする風潮には疑問を感じますね。最近はやりのAI(人工知能)もそうです。データをインプットすれば何でも正解が出ると信じ込んで非常に危うい。大事なものはノウハウではなく、ノウホワイ(Know Why)。「なぜ、なぜ」と追求し、物事の本質を探る姿勢を持つべきです。そうして原理・原則にたどり着いてこそ、社会に山積する応用問題が解けるようになるのです。
武道や芸術の世界には「守破離」という言葉があります。基本に忠実に型や技を学ぶ「守」の段階があつてこそ、自分に合わせて型や技を発展させる「破」があり、独自の型や技を生み出す「離」がある。学生時代には徹底して守を身につけるつもりで学問に臨むことが必要ではないかと思えます。

と、この時はクレイン部分の滑車の角度が急すぎ、ワイヤーが摩擦して切れやすかったことがトラブルの原因と分かりました。すぐに対処させて問題を解決しました。
答えは常に現場にあります。手軽に、効率的に答えを出そうとする風潮には疑問を感じますね。最近はやりのAI(人工知能)もそうです。データをインプットすれば何でも正解が出ると信じ込んで非常に危うい。大事なものはノウハウではなく、ノウホワイ(Know Why)。「なぜ、なぜ」と追求し、物事の本質を探る姿勢を持つべきです。そうして原理・原則にたどり着いてこそ、社会に山積する応用問題が解けるようになるのです。
武道や芸術の世界には「守破離」という言葉があります。基本に忠実に型や技を学ぶ「守」の段階があつてこそ、自分に合わせて型や技を発展させる「破」があり、独自の型や技を生み出す「離」がある。学生時代には徹底して守を身につけるつもりで学問に臨むことが必要ではないかと思えます。



Akhiro Nikkaku
1949年兵庫県生まれ。71年東京大学工学部船用機械工学科卒業。73年東京大学大学院工学系研究科産業機械工学修士課程修了。73年東レ入社。2000年工務第2部長、01年理事エンジニアリング部門長を経て02年取締役役に就任。04年常務、06年専務、07年副社長を歴任。10年より現職。



NTTデータ
代表取締役社長

岩本敏男氏

(1976年卒業 精密機械工学科)

Toshio Iwamoto
1953年長野県生まれ。76年東京大学工学部精密工学科を卒業後、日本電信電話公社に入社。2005年NTTデータ執行役員に就任。07年に取締役常務執行役員、09年に代表取締役副社長を歴任後、12年より現職。

ミニコン使い放題の
ぜいたくな環境の中で
興味を持つ研究に
没頭できた

「最高の精密機械はアポロ」 教授の言葉に心を奪われた

科学の面白さに目覚めたのは小学生の時。科学雑誌の付録に鉱石ラジオの手作りキットがついてきたので、仕組みもよく分からないまま、説明書通りにつくってみました。エナメル線を巻いてコイルをつくり、半導体をつけ、アンテナをつなぎ……。最後にイヤホンを耳に入れてみると確かにラジオの音が聞こえます。「こんな簡単な道具でラジオがつかれるのか」と驚き、感動したのがエンジニアリングの原体験ですね。高校生の時には無線受信機の製作にはまり、自分でシャーシに穴を空けてつくったり、庭の木に20メートルほどのアンテナを張ったりもしました。実家のある長野県下諏訪町から東京・秋葉原まで出かけて行って電気部品を大量に買い込んだこともあります。物理には明らかに真理がありません。誰でもきちんと手順を踏めば想定通りの結果にたどり着く。そういう明快さが好きでした。

来が良い。やはり理系のほうが向いているのだろうと考えて理科一類に進学しました。本郷で精密機械工学科を専攻したのは2年生の時に受けた学科ガイダンスがきっかけです。私は精密機械産業メッカの諏訪出身。小さい時から慣れ親しんだ業界だけに正直、「時計やカメラはもういいよ」と思っていました。ところが、学科の担当教授は「今、世界で最高の精密機械は時計でもカメラでもない。アポロだ」と説明したんです。その瞬間、アポロ11号が人類初の月面着陸した時の光景がよみがえり心躍りました。アポロの月面着陸は1969年。物理好きの高校生だった私はその瞬間を見守ろうと、朝5時から起き出してテレビにかじりついていました。実はそうやってアポロで月に人間を送り込むには、ロケット、燃料、電気装置、食料、宇宙服などあらゆる工学的要素を総合的に取り入れることが必要です。その核となるのが精密機械工学。「精密機械工学科は総合工学科と名前を変えるべきだ」という教授の言葉に心を奪われ、進学を決めました。

手掛けた研究の一つが今でいう自動工場。カメラで旋盤工具の摩耗状態などを自動認識し、交換時期を把握するというものです。「フェイス・メソッド」の研究にも取り組みました。様々なパラメータを人間の顔の部分の表情に対応させ、笑顔、泣き顔など顔全体の表情で状況を視覚化します。五月祭では学生たちに就職先を考えるヒントにしておうと、各企業の財務状況をフェイス・メソッドで表示したパネルを作成・展示しました。業界によって顔の雰囲気や表情が違ったり、同じ業界でもトップ企業群と2番手企業群で表情が異なるといったことがひと目で分かり面白かったですね。

どる中央銀行のシステムですから失敗は許されません。都銀のシステムを超えるものを求められるプレッシャーもありました。都銀の担当者に話を聞きに行ったり、過去につくったシステムを参考にしたりしながら、基本アーキテクチャーから作り上げました。「すべてを賭けて挑戦した」といえるプロジェクトを遂行し、実際にシステムが動いた時の感動は一言では言い表せません。苦労があった分、喜びも大きかったですね。技術の裏付けを持って、仲間とともにモノを作り上げるエンジニアだからこそ味わえる感動だと思います。最近の若い社員を見ると、腰を据えて長期間のプロジェクトと対峙する忍耐力が不足していると感じます。特にA1のような新しい分野の仕事でないと、「こんな古くさい仕事を続けているのにな」と疑問に思うようです。けれど、どんな環境のどんな仕事からも学ぶべきことはあります。置かれた場で、扱うモノの技術を学び、プロジェクトのマネジメント力や顧客との関係づくりを身につけ、しっかりとエンジニアとしての基礎を培っていかねばいけません。勝負は10年後と捉え、目の前の仕事にひとつひとつ真摯に取り組む姿勢を持つてほしいですね。



研究室で五月祭に出展した際の写真。前から2列目、右から4人目が岩本氏。フェイス・メソッドで企業の財務状況を示した展示が注目を集めた(写真提供:岩本氏)

留学体験談 ①



内田聖菜さん

社会基盤学専攻(修士2年)
ロイヤルメルボルン工科大学(RMIT)

せっかく海外留学をするなら、ただ授業を受けるのではなく研究をしたい。そのような思いから、2016年7月から約半年間、オーストラリアのRMITに交換留学生として留学しました。

RMITでは履修授業や研究のことなど、親身になって相談のってくれる先生方がいたおかげで、希望通り研究主体の留学生活を送ることができました。ラッキーなことに、留学期間に開催されていた国際学会に参加することもでき、非常に勉強になりました。留学した当初はなかなか友人ができずに苦労しましたが、留学生向けイベントなどに参加し、多くの友人にも恵まれました。

外国での一人暮らしを体験したことで、自分に自信を持つこともできました。帰国後はよくしゃべるようになったと友人にも言われます。これからは自信を持って、自分のやりたいこと、興味のあることを追求していきたいと思っています。



留学体験談 ②



荻島諒也さん

機械情報工学科(学部4年)
マサチューセッツ工科大学(MIT)

以前から留学したいと思っていたのですが、留年を危惧してあと一步を踏み出せずにいました。そんな中、単位互換ができる交換留学の募集を知り、2016年9月から4カ月間、MITに留学しました。生活費と往復航空券は奨学金をいただくことができました。

留学中はMITの学部生向けの寮に滞在。大学では、ロボティクス、AI(人工知能)、デザイン思考など5つの授業を履修しました。これらの授業では、試験やレポートのほか、実験やプレゼン、宿題などで評価され、常に密な勉強を求められる大変さがある一方で、日本のように試験前になってあわてる必要はありませんでした。

授業のほか、学部生用研究プログラムでMITメディアラボの研究グループにも参加しました。ちょうど留学中に米国大統領選挙があり、友人たちと政治について議論するなど、たくさんの貴重な経験ができた留学となりました。



英語教育

英語を母国語としない留学生も含めた東京大学の全学生を対象としたスペシャル・イングリッシュ・レッスン(SEL)をはじめ、工学部・工学系研究科の学生を主な対象とした科学技術英語、工学的な英語を習得するためのeラーニングシステム(SNOWBALLS)、留学生が英語論文・レポートの書き方を教えるERICなど、工学部独自の英語教育プログラムを多数実施している。



キャンパスの国際化

2017年度は大学院で243、学部で84の講義が英語で行われた。「M-Skype/K-Skype」は、東大生とMIT学生、KTH学生がSkypeで英語と日本語を学び合うプログラム。金曜日のランチタイムには、様々な国籍の学生たちが語り合う「インターナショナル・フライデー・ラウンジ(IFL)」を実施。



キャンパス内には国際性豊かな教職員が多い。



で最も留学生が多く、共同研究を含め多数の国際交流が行われていますが、日本人学生にはもっと世界を知ってほしいと思っています。海外に行くことで視野を広げ、世界に友だちをつくる良い機会になりますし、留学を通じて得た自信は、その後の研究生活において大きな意味を持ちます」

そう話すのは、IEEEの浅見泰司機構長。工学部・工学系研究科では、世界が抱える社会課題の解決に向け、国際求心力の高い教育・研究環境のさらなる整備を進めていく。

工学系の主な留学プログラム

プログラム名	留学先	主な条件	期間	サポート内容
交換留学プログラム	カリフォルニア大学全校 (バークレー、ロサンゼルス、アーバイン、サンタバーバラ、サンタクルーズ、マルセッド、デービス、リバーサイド、サンディエゴ、サンフランシスコ)	●工学部・工学系研究科の正規課程に在学していること ●工学部必須TOEFL iBT79/IELTS6.5以上 各校の定めるTOEFL/IELTS	1年間	●授業料不徴収(留学先) ●優先的に入寮できる ●奨学金給付※
	マサチューセッツ工科大学	●工学部機械工学科、機械情報工学科、マテリアル工学科、システム創成学科のいずれかに在学していること ●TOEFL iBT79/IELTS6.5以上 (実際にはTOEFL iBT 105程度の英語能力があることが好ましい)	1学期間	●授業料不徴収(留学先) ●優先的に入寮できる ●渡航費支援 ●奨学金給付※
	上記以外の工学部・工学系研究科協定校 (ヨーロッパの工科系大学が中心)	●工学部・工学系研究科の正規課程に在学していること ●TOEFL iBT79/IELTS6.5以上	1年間	●授業料不徴収(留学先) ●優先的に入寮できる ●奨学金給付※
海外武者修行プログラム	各自でアレンジ	●工学系研究科修士課程学生のうち工学系研究科卓越大学院プログラム(試行)の準履修生および本履修生 ●海外の一流研究室を訪問し、訪問大学の研究者から学生自身の研究内容についてレビューを受ける	最大4週間	総額40万円を上限として、渡航費、滞在費等を支援
《薬学部主催》 理系学部女子学生 海外短期研修プログラム "Rikejo" Initiative	米国 Johnson & Johnson 本社、 研究施設およびスタンフォード大学等	理系学部在学している女子学生 (工学部より3人)	約10日間	渡航費、滞在費、 研修参加費を支援

※年度による

工学部の国際力

世界の様々な課題を工学的視点で解決し、グローバルな世界で活躍するためには、語学力や国際感覚が不可欠だ。東京大学工学部・大学院工学系研究科では、キャンパスの国際化や多彩な英語教育、交換留学プログラムなど、国際力を高めるための独自の取り組みを多数行っている。



国際化は日本の大学にとって最も重要な課題だ。東京大学工学部・大学院工学系研究科でも、国際工学教育推進機構(IEEE)が中心となり、世界のリーディング大学として不可欠な国際力の強化に努めている。

その一つとして取り組んでいるのが、バイリンガル・キャンパス構想。学部・大学院ともに英語講義を増やし、職員のバイリンガル化、国際プロジェクトの組織化および支援など、様々なアプローチで国際化を推進している。

また、世界中からやってきた留学生への支援を拡充。現在、大学院工学系研究科には修士課程と博士課程を併せて900人弱の留学生が在籍しているが、入試や奨学金、住居などの支援をはじめ、彼らに対する日本語教育や日本文化体験、スタディーツアーを企画している。

こうした国際力向上の取り組みは、外国人に限らず、日本人学生や若手研究者のためでもある。東京大学工学部は米国マサチューセッツ工科大学(MIT)やスウェーデン王立工科大学(KTH)など世界トップレベルの大学の工学部との交換留学を実施しているほか、修士学生のための海外武者修行プログラムなど、海外留学にチャレンジする機会も多数用意されている。

「工学部・工学系研究科は学内

UTokyo Engineer ring Princesses

数ある学問分野の中から、工学を選んだ6人の女性。
彼女たちが工学の道に進んだ理由、今のこと、将来のことを
学部、大学院、社会人とステージ別に話を聞いた。

東

京大には文科三類で入学し、進学振分けで工学部に転じました。中学生の頃から歴史や古文が好きで、高校2年で物理と化学から離れた私にとっては大きな決断でしたが、その一歩を踏み出したのは工学部の先生方との出会いがあったからです。

きっかけは学部前期課程で所属していた国際政治経済系のゼミでした。内容は毎週、英国工科大学誌からテーマを取り上げて議論するというもの。事前リサーチは大変でしたが、そのおかげで資源やエネルギー問題、環境対策などに視野が広がりました。

また、主題課題では千葉の天然ガスプラントを見学することができ、現場を訪ねる大切さを学びました。社会課題の解決には政治や経済や法律など文系的アプローチを採りますが、課題の理解には理系的アプローチが必要です。文理融合の機運が高まっていた時期でもあり、理系に転じました。

とはいえ、数ⅢC、流体力学や材料力学などの勉強は大変でした。同期の友人に助けられましたし、

どの先生方も丁寧に指導してくださったのがありがたかったです。今思えば、理系に転ずる不安や大変さよりも、現場に行けるというモチベーションのほうが大きかったかもしれません。特に、日本の最北端にある深地層研究センターで地下350mまで潜って最先端の研究を見学できたこと、中東アブダビの広大な太陽熱発電プラントや国際再生可能エネルギー機関を視察できたことは印象に残っています。

引き続き大学院で研究することも考えましたが、1日も早く社会に出たいという思いも強く、総合商社への就職を決めました。就職活動ではたくさんのOB・OGにお話を伺いました。その中でも、会社として社会的責任を果たしたいと将来の夢を語る方が多かった企業を選びました。

中

学3年生の時に小型の火薬エンジンを使用したモデルロケットの教育プログラムに参加し、その面白さから宇宙が大好きになりました。高校卒業後は地元に近い九州大学に進むつもりでしたが、先生から「宇宙を学ぶなら東京大学のほうがよいのでは」と勧められて、東大に入りました。

進学選択では航空宇宙工学科とマテリアル工学科で迷いました。ロケットを飛ばすには本体の構造や素材も重要で、その観点から研究するの也不错かなと思っただけです。でも、まずは一番好きな分野を第一志望にしようと決断。無事に希望通りの学科に進むことができました。

航空宇宙工学科には1学年60人弱の学生がいますが、私の代は女性ばかり。1つ上の代は4人、下の代は5人もいるそうなので、毎年1人だけというわけではないです。最初は不安もありましたが、女の子同士じゃないとできない会話って特になんてでもない。学科の友人は男女関係なく、普通に接してくれますから違和感もありません。

工学部には面白い人が多く、何気ない会話が楽しいです。日常生活の中で生じた疑問をふと口にする、それに対して真剣に答えを返してくれたら、議論が始まった



文系から理系に転向
視野を広げ社会課題に挑む

岩瀬陽子さん

学部4年 システム創成学科



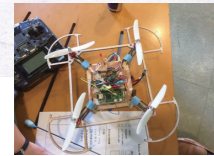
素朴な疑問が議論へ発展
工学部は会話が楽しい

山添有紗さん

学部3年 航空宇宙工学科

文章を書くのは結構好きで、工学部の広報誌「Time」のお手伝いをしてほかに、「宇宙広報団体TELESTAR」の副代表を務めています。この団体では宇宙産業活性化のために、中高生に宇宙の魅力伝えるフリーペーパーを発行しています。インカレ団体で他大学の他学部の学生と交流が持てるので、視野も広がりとっても楽しいです。

期ですが、私が所属する航空宇宙推進学コースには、様々なエンジンについて研究している研究室があるので、どこに行こうか考えているところなんです。将来的には大学院に進んでしっかり研究をして、ものづくりに関わりたいと思っています。決して手先が器用なほうではないのですが、将来はモデルロケットのように、チームの仲間と目標を達成する喜びを分かち合える仕事に就きたいです。



S semester (April~July) to "Flying Robot Project" course, I completed the multi-copter. I was in the same class with the members and in September I participated in the multi-copter department of the contest. I was in the top 10 before the contest. I was not able to fly, but I was able to complete the construction while repeating the test, and I was able to achieve stable flight. I was able to get 2nd place and I was very happy.



フィールドワークの一環としてアラブ首長国連邦の一つ、ドバイ首長国に10日間行ってきました。現地大学との交流、経済計画の担当官との対話、太陽光発電プラントの見学、石油関連企業の訪問など、もりだくさんの内容でした。日本とドバイでは価値観も言語も違いますが、お互いの国がこれからどういふ交流を図り理解を深めていくべきか、どうしたらお互いにWin-Winになれるイノベーションを起こして発展しているかなどを議論しました。

学

んだことを社会に還元できる。出口に近い学部を選びました。理系科目全般が好きで、生物、化学、物理などの境界領域に興味があり、ギリギリまでの学科に進むか悩みましたが、進学振分け直前に読んだ『京都大学人気講義』サイエンスの発想法 化学と生物学が融合すればアイデアがどんどん湧いてくる(祥伝社)という本に影響を受けて、化学生命工学科に進むことを決めました。

中でも私が所属する津本研究室は、物理化学的手法を用いて生体分子間相互作用について研究しており、高度で多彩な機能を持つタンパク質のエンジニアリングを学ぶことができるのが魅力でした。

実際に研究を始めてみると、思うようにデータは取れず、失敗ばかり。落ち込むことも多かったのですが、津本浩平教授はどんなデータでも議論の対象としてくださり、失敗した実験のデータからも学ぶべきものが多くあるということを教えてくださいました。そうやって学部時代にデータの見方や研究に対する向き合い方を学ばせていただき、徐々に自分なりの研

究ができるようになってきたのではないかと思います。

私は学士課程・修士課程と、ラウダ科の動物などが持っている特殊な抗体に関する研究をしています。人間を含む多くの動物の抗体は2本の軽鎖と2本の重鎖から構成されていますが、ラウダ科の動物は2本の重鎖のみからなる「重鎖抗体」というものを持っています。重鎖抗体の可変領域を切り出した分子であるVHH抗体は、低分子量の抗体として生産のしやすさや安定性の高さなどの点で注目を集めており、私はそのVHH抗体を用いて、生体内の情報伝達物質(サイトカイン)のシグナル制御ができないかと考えています。

VHH抗体の研究を進め 治療薬につなげたい

森 千夏さん
修士課程1年 化学生命工学専攻

津本研究室のスタッフの方々は学生のやりたいことを尊重し、温かくご指導してくださいますし、実験設備も非常に充実しています。

このような恵まれた環境で研究ができるのは学生だからこそ。ですので、この環境を思う存分活用して、まだ分からないことの多いVHH抗体の物性研究に取り組んでいくところです。そうして、いつかはこの抗体を使ってがんや自己免疫疾患を治療する薬をつくりたいと思っています。

小

学生の時に祖母をがんで亡くしたことから医療に興味を持ちました。

医学部進学を考えたこともありましたが、10代のうちに将来の職業まで決めてしまうことに抵抗があり、いろいろなことを勉強してから進路を決めたいと思っていたところ、学部2年の時に受講したオムニバス形式の講義で医工連携という学問領域があることを知りまし

た。そこで自分がつくったものが医療の役に立つ勉強ができる化学システム工学科を選択。学部4年で、医療用ハイドロゲルの研究をしました。

しかし、学部で1年間研究したくらいでは思ったような結果は出せません。では、大学院でしっかりと研究をするなら何がしたいかと考えたとき、思い浮かんだのがドラッグデリバリーシステム(DDS)でした。やはり祖母のような病気の治療に役立つ研究がしたいと思ったのです。

修士ではバイオエンジニアリング専攻のカプラー研究室に所属し、脳を標的としたDDSの研究をしています。脳は生命維持においても大変重要な部分なので、脳を守るためのバリア機能が備わっています。その機能があるせいで、ア

ルツハイマー病などの良い薬が開発されても、脳の重要な部分にはごくわずかしが薬が到達できないのです。そこで脳の中にまで薬を届けられるようなキャリアをつくる研究をしています。将来的にはコーロンなど、特定のターゲットに届くようにしたいのですが、まずは脳のバリアを効率よく超えることが目標です。

修士課程を修了したら、博士課程に進学します。この研究を2年間で終わらせるのもつたいないと感じ、もう少しがんばってみたいとなりました。今の研究は多くの人たちが時間をかけて研究してき

たことの中から発展させたテーマですが、博士課程に行くからには誰もやったことのないことに取り組んでみたいと思っています。

振り返ってみると、学部2年の後期に学んだ工学部の講義が大学院での研究にとっても役立ちました。そういった基礎的な知識があるかどうかで、その分野の論文を読んだときの理解がまるで違います。また、バイオエンジニアリング専攻の必修科目の授業はすべて英語で発表する機会もたくさんあります。大学院に進むのならば、英語力を身につけておくとうよいと思います。



医工連携に興味を持ち DDSの研究室に所属

中村乃理子さん
修士課程2年 バイオエンジニアリング専攻



生きた細胞を使うので、生き物相手ならではの難しさがありますし、手順通りに実験をしても教科書と同じ結果が出ないことも多く苦労しました。でも、細胞が元気に育ってくれるとうれしくて、細胞を見ることは癒しにもなっています。私が研究しているのはアルパカの抗体。研究でお世話になっているアルパカに会いたくて、牧場で行かせていただいたことも(笑)。本物のアルパカはすごくかわいくて、ますます研究に励まなくてはと気合いが入りました。

現

在の研究テーマは機械翻訳モデルの構築です。特に、言語に内在する構文構造情報に着目しています。

例えば、「We visited New York」という英文は「New」「York」の2単語で1つの名詞句を表し、直前に動詞「visited」をとることで動詞句が構成されています。このような文法情報は木構造データとして表現できるので、これを利用して効率的にデータから翻訳ルールを学習する研究に取り組んでいます。機械翻訳技術が精緻化されることで、世の中から言語の壁を取り除くことができます。多様化する社会の中で、迅速かつ円滑なコミュニケーションを可能にする技術として大きな期待が寄せられています。

博士課程ではニューヨーク大学とカリフォルニアのグーグル本社に、それぞれ3カ月ほど滞在しました。出身地も文化も異なる優秀な人たちとの交流を通して新たな視点を得ることができましたし、多角的な視点で自分自身を謙虚に見つめ直す良い機会になったと思います。技術や専門知識にとどまらない学びのおかげで、世の中には自分の知らないことが山のようにあり、私の可能性や伸びしろはまだ十分にあるのだと気づくことができました。

今年はいよいよ就職活動ですが、これからも研究活動を続けていき

たいと思っています。また、それら研究成果に基づいた実社会の問題を解決するための技術開発にも取り組みたいですね。研究分野では日々新たな挑戦がなされ、多くの成果が論文として広く共有されていますが、実社会には未解決の問題が山積しています。課題を探索するとともに、その解決策を模索し、広く社会に役立つ仕事ができるばとと考えています。

将来の夢は、コンピュータを利用して多種多様な言葉を理解し、それらの差異を埋める方法を明らかにすること、また、その成果を専門家の間にとどめることなく、誰にでも理解してもらえるように努めることです。コンピュータ科

学の技術は既に様々な形で社会に浸透しているため、自身の仕事を通して陰に陽に社会貢献を行いたいと考えています。

工学部の女性の割合はまだ少なく、それゆえの苦労も少ないわけではなく、それゆえの苦勞も少ないわけではなく、私自身もつらかったのは自分が何をしたいのかという問いに確固たる答えを持っていなかったときでした。この問いに答えるには継続して学ぶこと、常に挑戦し続けることが大切です。失敗を恐れることなく新しい世界に飛び込んでいってほしいです。

コンピュータ技術を通して
社会に貢献したい

江里口瑛子さん

博士課程3年 電気系工学専攻



普段はコンピューターでの作業が多く、長時間同じ姿勢のままでモニターを見続けることもあるため体に負担がかかります。そこでこのままではいけないと一念発起してジョギングなど運動をするようになりました。本郷キャンパスにある御殿下記念館のジム施設に週1、2回の頻度で通っています。また、中学生の頃に習い始めた茶道は日常から少し離れて気持ちを落ち着かせることができる良い方法の一つです。

2

017年に花王に入社した上野美希子さん。現在所属する香料開発研究所は、化粧品、ヘアケア製品、入浴剤、衣料用洗剤、柔軟剤など花王の全製品の香りを開発する部署だ。上野さんは主に東南アジア諸国(ASEAN)向けの衣料用洗剤の香り開発を担当している。

香りの開発は、数千種類の香料素材を調査して香りをつくる、パフューマー(調香師)と、香りの方向性を決めて評価をするエバリュエーターという2つの専門職が協力し合いながら行う。上野さんはエバリュエーターとして、商品開発の初期段階から関連部署と打ち合わせを重ね、商品像にあった香りを設計する。それを基にパフューマーと一緒に香りを創作する。出来上がった香りは実際に洗濯をして評価を行っている。

「香りの開発は未経験でしたが、ゼロから嗅覚のトレーニングを始めました。今も毎朝早めに出社して、同期の仲間たちと香りを覚えるトレーニングをしています。入社半年で、目標の135種類は覚えましたが、今後2、3年で400種類くらいの香りを覚えなければいけません。でも、パフューマーは千種類以上の香りを記憶しているので、とてもかかいませんね」

OGインタビュー



香り開発の研究者として
嗅覚トレーニングにも奮闘

上野美希子さん

花王 香料開発研究所

2017年マテリアル工学専攻修士課程修了

学部時代は再生医療の生体材料として使われるハイドロゲルを、大学院ではDNAを構成する核酸を使った核酸医薬品を研究対象としていた上野さん。修士課程修了後は大学に残って研究を続ける道もあったが、「消費者に近い応用研究をやりたい」と花王に就職した。

「製薬会社の研究職も考えましたが、できるだけたくさん商品の開発に携わりたかったのと、自分が開発したものが実際に使われているところを見たかったのです。それに、アカデミアの研究をやりたくなったら、社会人ドクターとして戻ることもできますから」

研究対象は変わったが、大学時代に身につけたことが役立つことは多いという。「香料は有機化合物なので物性値についての知識は必要ですし、構造式を見ればその香料の特徴が分かります。また、仮説を立て、検証して、その結果を踏まえてまた新しい仮説を立てるといった研究の一連の流れは、企業で研究している今も同じです」

アジアの人たちの香りの好みを取りたい、日々発見があり楽しい毎日。まずはエバリュエーターとして一人前になることが目標だが、将来的には別の研究分野にも関わってみたいと意欲的だ。

工学が未来を切り拓く

カリキュラムの特徴

東京大学工学部では、1年を4つのターム(期間)に分けた“4ターム制”を導入しカリキュラムを組んでいます。おおむね、4～5月がS1ターム、6月～7月がS2タームとなり、夏季休業期間を挟んで、9月末～11月初旬をA1ターム、11月初旬～1月をA2タームとして構成しています。1つのタームで完結する講義科目が増えつつあり、講義が週2回行われることで、短期間で集中して学ぶことができます。※2～3月は冬季休業期間になります。

価値創造を牽引する工学研究力

私たちの生活や人生で、工学はかけがえのないものとして確かに存在しています。東京大学工学部・大学院工学系研究科は、日本の高度成長期や企業が競争力を身につけるなかで、その工学をカタチあるものに変えながら中心的な役割を担ってきました。そして現在、社会にある様々な問題は、地球規模で高度化し、多様化し、ダイナミックに変化しています。こうした社会的な問題を解決する人材には何が求められるのでしょうか。研究力、そして新たな価値創造に挑戦するマインドです。東大工学部では、“工学が未来を切り拓く”という信念のもと、研究と教育の現場には元気と勇気があふれ、若手が輝いています。この学び舎で何を学ぶのか、16学科の紹介、研究者へのインタビューから多くの閃きが得られるはずです。

72 応用化学科

56 電気電子工学科

40 機械情報工学科

24 社会基盤学科

76 化学システム工学科

60 物理工学科

44 航空宇宙工学科

28 建築学科

80 化学生命工学科

64 計数工学科

48 精密工学科

32 都市工学科

84 システム創成学科

68 マテリアル工学科

52 電子情報工学科

36 機械工学科

ROUTE MAP

東京大学工学部・大学院工学系研究科への 進学ルートマップ

[進学・研究のステップアップと工学教育]

東京大学では、入学して最初の2年間を学部前期課程、その後の2年間を学部後期課程と呼んでいます。学部前期課程は、すべての学生が駒場キャンパスにある教養学部在籍し、リベラルアーツ教育のもと、基礎科目・展開科目・総合科目・主題科目の4層からなる授業を受講します。

人文科学・社会科学・自然科学など、様々な学問領域に触れた上で、2年生の夏学期に「進学選択」を行います。この時選ぶのが学部後期課程の学部・学科となります。進学選択にあたり、各学部・学科は「指定科類枠」と「全科類枠」を設け、工学部へは理科一類のほか、理科二、三類、文科各類などから

も進学できる定員を設定しています。最近の学際的研究には、分野横断的な広い視野が求められることが増えており、文科各類から工学部への進学も増加しています。工学の使命は、科学により知識を生み出し、テクノロジーの革新に挑戦し、豊かで活力ある社会をつくることです。

「工学」は、基礎科学の問題から科学技術全般・社会全体にわたる課題までを取り扱う広大な学問体系です。ますます広く、複雑になっており社会に変化をもたらしています。こうした変化は、すべて人間が生み出した知識とそれを活用する人間の意志の結果であり、この意思を実現する体系が「工学」だといえます。

工学部には、現在16の学科があります。各学科では、講義や輪講、課題解決型の演習、実験、工場実習、卒業研究など、多様な教育手法を駆使して、工学を教授しています。

卒業研究などでは、大学院と一体になっている研究室で、文字通り世界をリードする最先端の研究に触れることができます。こうした教育を通じて、工学部では、研究者としての基礎知識・素養を身につけ、問題発見力と問題解決力を磨き、人類社会の持続と発展に貢献できる人材を育成しています。

学部前期課程 (1, 2年)



工学部への進学者
(2018年度春進学予定)
合計=991人(留学生含む)
内訳=理科一類から829人
理科二類から123人
文科各類から23人
外国人留学生16人

学部後期課程 (3, 4年)

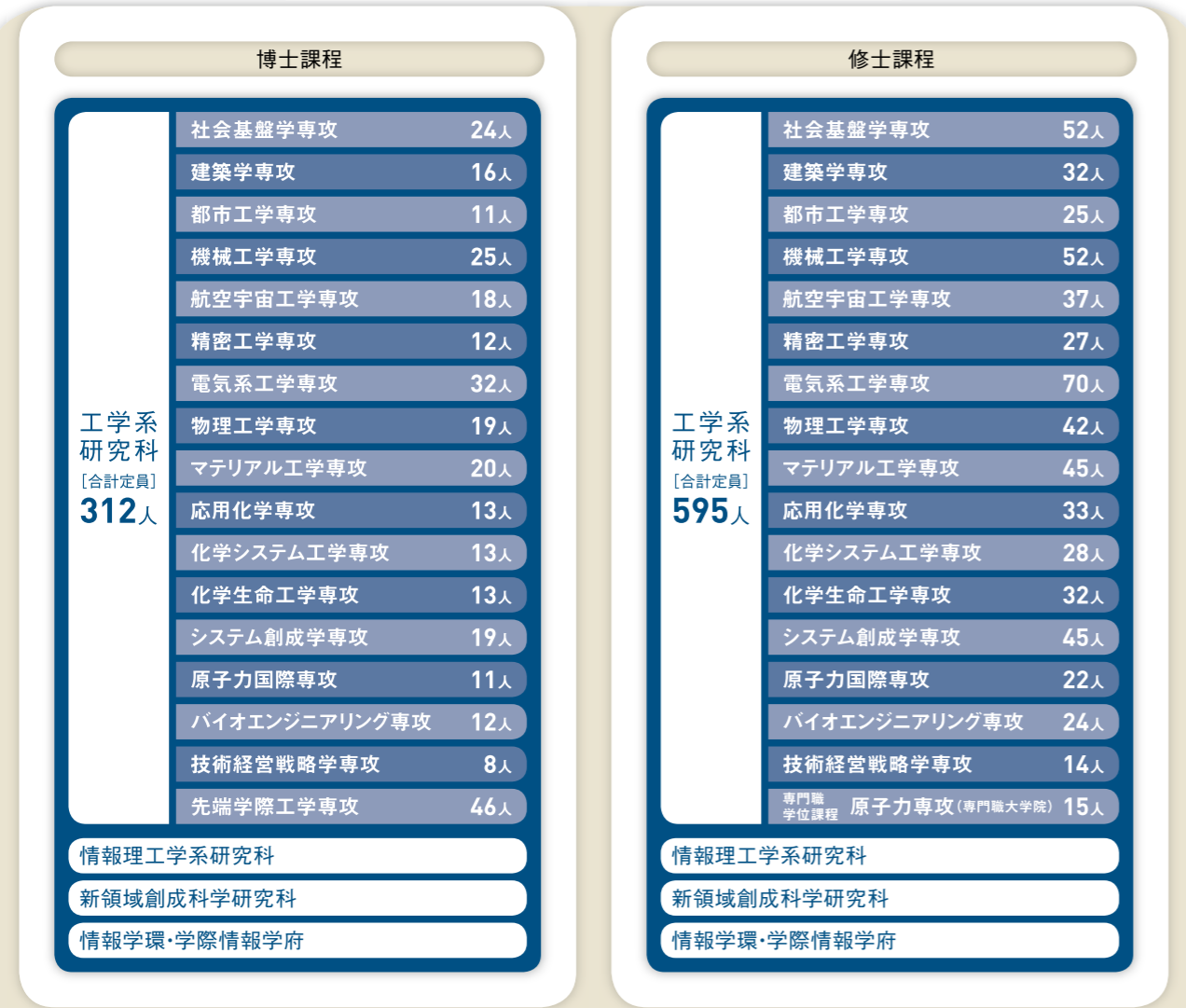
社会基盤学科	51人
建築学科	57人
都市工学科	53人
機械工学科	92人
機械情報工学科	41人
航空宇宙工学科	55人
精密工学科	45人
電子情報工学科 + 電気電子工学科	123人
物理工学科	52人
計数工学科	60人
マテリアル工学科	78人
応用化学科	53人
化学システム工学科	46人
化学生命工学科	49人
システム創成学科	129人

工学部 [合計定員] 984人

※上記数字は平成30年度の3年進学時の定数

編入学 募集人員 = 若干名

大学院 卒業生の約80%が進学



専攻	定員
社会基盤学専攻	52人
建築学専攻	32人
都市工学専攻	25人
機械工学専攻	52人
航空宇宙工学専攻	37人
精密工学専攻	27人
電気系工学専攻	70人
物理工学専攻	42人
マテリアル工学専攻	45人
応用化学専攻	33人
化学システム工学専攻	28人
化学生命工学専攻	32人
システム創成学専攻	45人
原子力国際専攻	22人
バイオエンジニアリング専攻	24人
技術経営戦略学専攻	14人
原子力専攻 (専門職大学院)	15人

工学系研究科 [合計定員] 595人

情報理工学系研究科

新領域創成科学研究科

情報学環・学際情報府

海外を含む他の大学・大学院から

大学と大学院の違い

大学の「学科」は大学院では「専攻」と呼びます。大学院は、大学より専門性の高い研究に携われる場所です。その大学院には修士

課程と博士課程があり、博士課程の目的はより高度な専門を学び専門家を育成することです。東京大学工学部では、その卒業生の大多数が大学院に進学します。

工学系研究科だけでなく、情報理工学系研究科や新領域創成科学研究科など、学べる内容も岐にわたります。

※破線の上がS1、下がS2

3年生の時間割例「S1S2」

	月	火	水	木	金
1限		開発とインフラ 交通学			開発とインフラ 交通学
2限	マネジメント原論 国際プロジェクトのケーススタディ	都市学 統計解析手法	河川流域の環境とその再生	マネジメント原論 国際プロジェクトのケーススタディ	都市学 統計解析手法
3限	地盤の工学	コンクリート工学 海岸工学	技術移転と政策 企業と技術経営		コンクリート工学 海岸工学
4限	国際コミュニケーション の基礎I	基礎プロジェクトII III IV	基礎プロジェクトII III IV		基礎プロジェクトI
5限	空間情報学I	基礎プロジェクトII III IV	基礎プロジェクトII III IV		基礎プロジェクトI
6限				社会基盤学倫理	

必須の工学基礎科目や、人文・社会・自然に関わる教養科目、計画方法論や開発経済学、国際交渉などの実践的科目をバランスよく配置。関心がある分野を各自で主体的に学ぶ。必修科目は「社会地盤プロジェクト(卒業研究)」と「フィールド演習」のみであり、他学科・他学部との関連講義科目への自由度を高めている。

個人の興味と将来像に応じた履修、研究活動が可能

社会基盤学科では、人間・自然環境の再生と創造を実現するために必要な、基盤技術デザイン・政策決定・マネジメントなどに関する研究・開発・実践を行っています。選べるコースは3つ。

「社会基盤学A(設計・技術戦略コース)」では、力学、設計論、技術論といった科目を中心に学びながら、人や自然が何を求め、どんな問題を抱えているのかを敏感に感じ取る人材を育成しています。

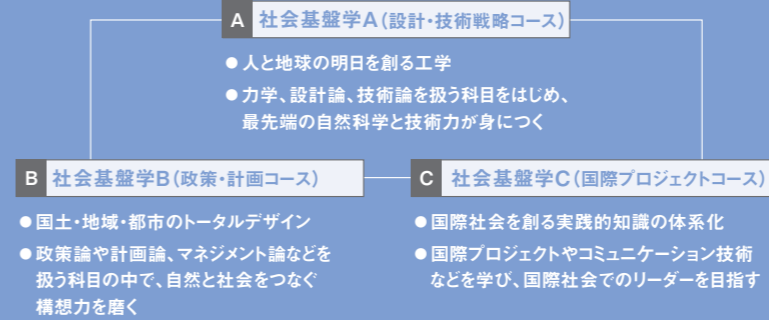
「社会基盤学B(政策・計画コース)」では、政策論や計画論、マネジメント論といった科目を学びながら、問題解決能力と都市や地域のビジョンを描ける人材を育てています。

「社会基盤学C(国際プロジェクトコース)」では、国際プロジェクトの基礎知識や国際社会でのコミュニケーション技術などを身につけ、より広い社会で活躍できる人材を育成しています。

JICA(国際協力機構)やJBIIC(国際協力銀行)をはじめ、国際的なNPOや企業グループなど、日本人が活躍できるフィールドが広がっているからです。

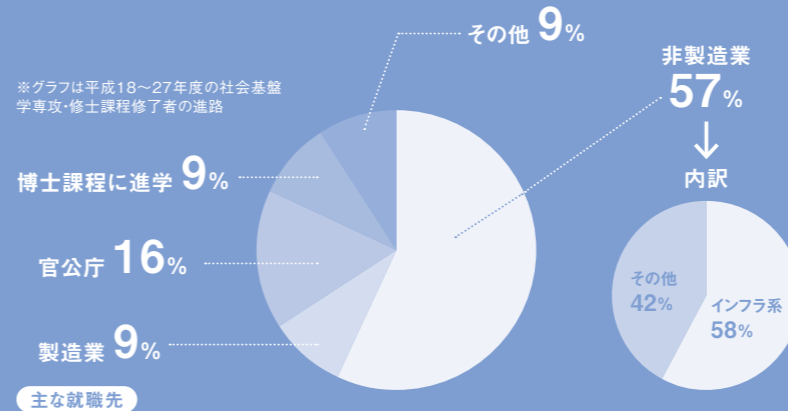
そのカリキュラムは、入門・基礎(構造力学、流体力学、材料、設計、計画学、空間情報学など)、応用という流れで講義・演習・実習が体系化しています。必修科目は「フィールド演習」「社会基盤プロジェクト(卒業研究)」のみとなり、学生一人ひとりが関心に合わせて学ぶ科目を選択できるのが特徴です。

選択できるコースの理念と目指す将来像



修士課程修了後の進路

地球環境から海岸・河川流域、交通、都市計画やまちづくり、橋などの構造物まで対象は多岐にわたり、それぞれの分野で政策立案やプロジェクト管理を行うプランナーやプロジェクトマネージャー、技術開発、設計・デザインなどを行うエンジニアとして国内外問わず活躍している。



社会基盤学科が対象にするのは、人間の日常生活を支える様々なインフラです。例えば、情報通信や道路、電気や水道といったライフライン、駅や鉄道をはじめ、川や海、森などの自然環境も含まれます。こうしたインフラを支える基盤技術を中心に、水環境や生態系、都市問題、防災、国土計画、社会資本政策、国際協力など、幅広いフィールドで研究に携わることができます。社会や環境の変化に応じて、人間・自然環境の再生と創造を実現するために必要な基盤技術・デザインなどを実践的に学ぶことができるのが特徴です。

生活基盤・自然環境づくりと、再生・創造の方法を幅広く編み出す



上/波の分析・数値モデル作成にはプログラミングが欠かせない
下/大事なことは研究室のデスク横にある白板にメモを残す

大学院工学系研究科
社会基盤学専攻 修士課程2年
海岸・沿岸環境研究室
松葉義直さん

沿岸部の波の動きを解明して 防災に貢献する数値モデルを作成したい

私がこの専攻を選んだワケ



Q 社会基盤学科、さらに研究室を選んだ理由は?

A 学部を選択する以前から海の理学部と工学部のどちらにしようか迷ったのですが、人が関わる部分から学べるということで工学部の社会基盤学科を選びました。海岸・沿岸環境研究室に決めたのは、海を通して防災に貢献できるからです。また、調査で現場を実際に行けるのも大きな理由の一つでした。

Q それほど海の研究にこだわった理由は何でしょうか?

A 高校2年の終わり頃に東日本大震災が起きました。津波被害のすさまじさに衝撃を受け、将来は防災に携わりたいという思いを持つとともに、海自体にも大きな興味を持ったんです。海の生物をひたすら撮っている映画が好きで、さらに大学に入ってからスクューバダイビングも始めたので、海をもっと知りたいという思いが高まってきました。

Q 研究室では、どんな研究に携わっているのですか?

A 沿岸域で波が伝わる過程の分析を主にしています。水深が浅い海域で長周期の波が生まれると、沿岸域の潮位自体が上昇した状態になり、台風で大きな波が打ち上げたときに被害が拡大します。この現象を解明するため、UAV(無人航空機)を活用して波の遡上や海面変動を撮影し、それを基に数値モデルを作成して長周期の波の再現に取り組んでいます。台風被災地域での被災調査もテーマの一つで、リーフ(珊瑚礁)に囲まれた島で超大型台風の被災状況を調査し、波の発達や遡上過程の分析を行っています。モデルを作成できれば、大きな波がきたときの被害状況予測が可能になり、将来的には防災に生かすことができます。

Q どういったところに面白さを感じていますか?

A 実際に現地へ赴いて調査できるところが面白いです。これまで石垣島、新潟、静岡など国内各地に何度も出かけています。2016年には超大型台風の被災調査でフィリピンにも行きました。

Q 将来についてはどのように考えていますか?

A 博士課程に進み、大学や研究機関で研究職に就くことができればと思っています。1つひとつの現場で起きている現象に対して、人間の視点からアプローチすることで、将来的には50年後や100年後にも役立つような研究につながれば、と考えています。



下園武範准教授

研究対象は、沿岸域(海岸線を境にして陸側と海側を含むエリア)における、波や砂、生態系、物質の循環など広範囲にわたります。こうした対象の動きや変化に加え、人工構造物との相互作用を解明しながら、海岸防災や海岸保全に向けた具体的な対策を研究。そのためにも、現地調査や現地観測が欠かせません。また、入手したデータを基に理論モデルや数値モデルを開発し、例えば自然災害の機構解明に役立つシミュレーションを完成させています。

海岸の波や砂の動きを解明し 暮らしに役立つ知見を生み出す

社会基盤学科には、3つのコースがあり、学部では6つの研究グループ、大学院では8つの研究グループに分かれている。基盤技術から都市国土計画、環境、防災、さらには社会政策まで幅広い領域をカバーする社会基盤学科において、下園武範准教授の研究室では、海岸部における波や砂の動きと人間が設置する構造物との関わりという視点から研究を行っている。自然の仕組みを解明しつつ人間の暮らしを良くしていくため、現地調査と防災など具体的な対策につながる数値モデルの構築が主な内容だ。

海岸にフォーカスし 自然と人間の関わりを追究

下園武範准教授の海岸・沿岸環境研究室は「水圏環境グループ」に属している。河川、海岸、さらにはもっと大きな地球スケールでの水の循環について研究するのが水圏環境グループである。

この学科における水域に関する研究は、自然のメカニズムの解明にとどまらず、人間社会が河川や海岸などに与える影響についても取り組む。人間が関わることで自然がどうなるか、自然とどう接するべきかにフォーカスするのが特徴だ。

海岸工学を専門とする下園准教授は、波や海の流れ、砂の動きを解明し、海岸の構造物が環境に与える影響を研究している。

「私は、海岸をエンジニアリングするという言い方をしています。自然を観察する立場ではなく、自然に積極的に働きかけるためです。そうして、自然とうまく折り合いをつけ、か

え、つくりつばなしではいけません。現場を観測し調査して現象を解明した上で改良していくことが大切なのです。工学は人間社会に直結するものですから、分らないでは済ませられません。現在の先端技術や知識を駆使して最適な解を導き出し、人間にとって必要なものを構築していかねばならないのです」と、下園准教授は語る。

多様なモニタリング手法で 具体的対策を研究し提案する

研究において、スタート地点となるのが現地でのモニタリングだ。

例えば天竜川の河口の海岸部に定点カメラを設置し、砂州の状態を10年以上も記録している研究もある。水位や川の流量、海の波が海浜地形や海底などにどんな影響を与えているのかを観測することで、土砂の流入との因果関係を解き明かす。

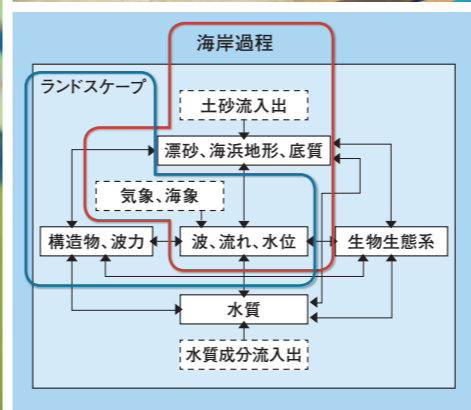
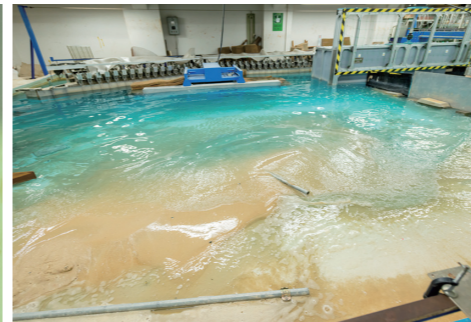
モニタリング手法もいろいろあり、人工衛星を活用したり、「ドローン」の通称で知られるUAV(無人航空機)などの新しい技術を積極的に取り入れるケースもある。海岸上空にUAVを飛ばして波の動きを撮影し、画像解析から必要なデータを抽出することで、波の動きをモデル化することが可能になっている。こうした多彩なモニタリング手法の構築も研究テーマの一つだという。

下園准教授は学部生時代に流体力学に興味を抱き「何か水に関係することを研究したい」と志した。大学院に進み、構築したモデルと現実がぴったりハマったときに得た一種の快感は今も

つ人間にメリットがあるように変更していくからです。その意味で、エンジニアリングという表現を使っています」

災害被災地を現地調査し 生きたデータからモデルを作成

自然災害によって津波や高潮が発生すると、沿岸部に大きな被害が出る可能性がある。下園准教授の研究室では、そうした災害への対策(海岸防災)が研究テーマの一つだ。



実際に現地へ赴き、何が起きたのかを調査し、記録に残す。そこで得た観測データを基に、起きた現象を定式化したり、再現したり、予測するための数値モデルを構築する。つまり自然現象を数学で表現するのである。そのモデルをパソコン上でシミュレーションし、実験設備を使って規模を縮小し再現する。

現実と同じ現象を引き出せたなら、次にどのような対策を取ればいいのかも見えてくる。観測対象は国内にと

どまらず、フィリピンやミャンマーなど海外にも及ぶ。もう一つの研究テーマは海岸保全だ。海岸、とりわけ砂浜には侵食の問題がある。日本の砂浜は全国的に失われ、縮小傾向にあると指摘されるが、それを食い止めるための研究である。例えば防潮堤や消波ブロックなどの人工構造物が設置されると、波の動きや流れが変わり、砂の流出が進むケースがあるという。

海岸の砂が失われても、以前であれば河川を通じて上流の山から砂が供給されていた。しかし現在は、陸上の災害を防ぐためのダムが山間部からの砂をせき止めてしまい、十分に供給されないなど、自然と人間の暮らしやすさの間で利害の対立が起きている。この海岸保全についても海岸防災と同様に現地調査を行い、データに基づいたモデルを構築し、砂浜喪失の予測とそれを防ぐための対策を研究する。

「人間が暮らしやすい環境を追求するため、海岸に人工構造物を設置すること自体はやはり必要です。とはい

大切な思い出だ。

「観測結果と計算結果を比較検証するのですが、最初からうまくいくことはありません。試行錯誤を経て、自然の動きを構築したモデルでうまく説明できたときは大きな喜びです」

工学部1号館の地下には様々な実験設備がある。例えば、波の動きを再現する振動流装置と造波水路、海岸を再現する精密多方向不規則造波水槽などを用いて、自然のメカニズムを解明し、具体的な対策まで考え提案するのが工学部ならではの醍醐味である。

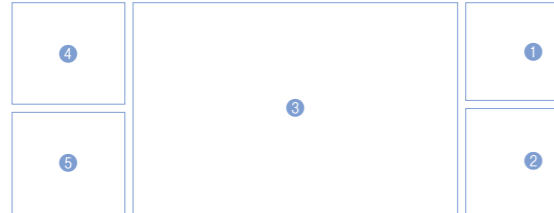
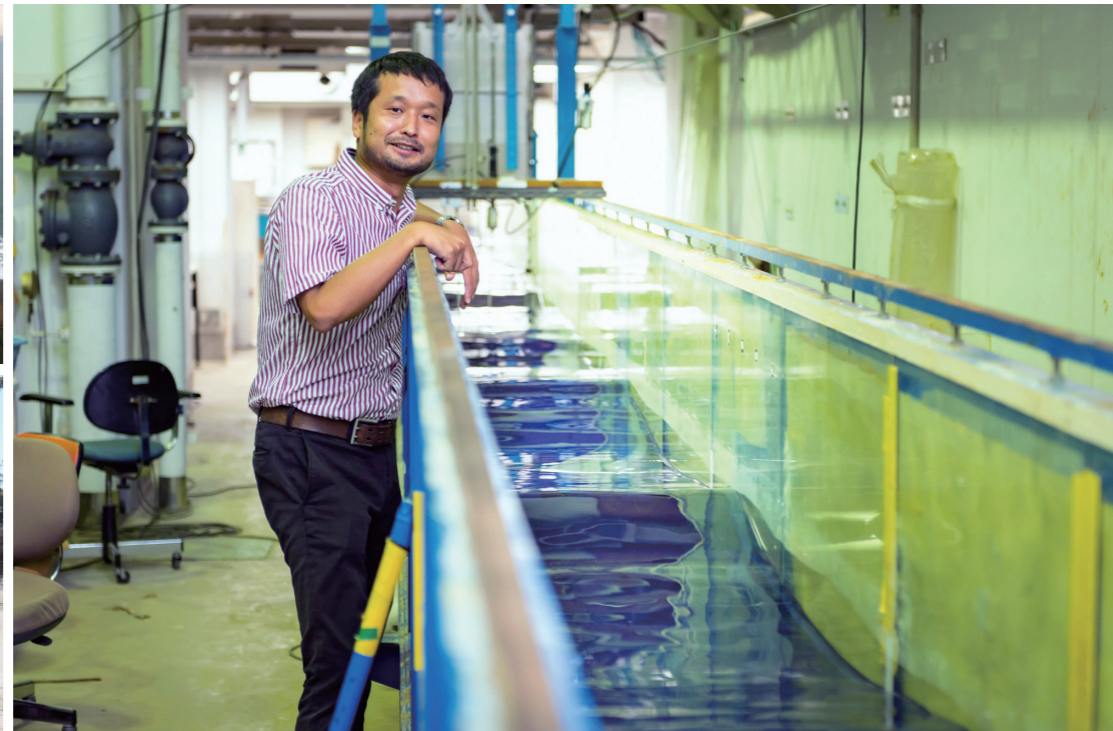
「社会にいかにも還元していくかが、工学部としての使命です」と下園准教授は語る。

将来の様々な状況に 対応できる力を身につける

進学して研究を行う意義について、下園准教授は次のように語る。

「大学院は自分主体で考え、テーマを決めていきます。工学の世界では、最新の高度な専門知識を身につけても、10年経てば陳腐化している可能性があります。だからこそ、知識だけでなく新しいものを取り入れるための方法論を身につけることが大切です。そうすることで今後の様々な状況に対応でき、大きな財産になります」

モデル構築と現実のマッチングがもたらす面白さを実感しながら、防災などの視点で社会貢献につながる貴重な研究が、この研究室で日々繰り返されている。



- 1 多方向かつ不規則な波を造ることができる実験設備。沿岸域の地形を再現し、現地観測で得た波浪の動きをシミュレーションを基に再現することで、実際の海岸保全対策に役立てることができる
- 2 海岸過程の全体像。海岸を構成するものがどう関わり合っているかを図式化してある。赤い囲みが海岸保全、青い囲みが海岸防災に関するテーマだ
- 3 観測データを基にプログラムを組み、ボタン1つで波浪を再現できる造波水路。下園准教授のもとでの研究は、現地観測と数値モデルの開発、実験が繰り返される
- 4 海岸の現象について、より広範囲かつ詳細なデータを取得したいという思いから、新しい海岸モニタリング技術の開発を続けている。写真は、UAV(ドローン)による波浪観測
- 5 2011年の東北地方太平洋沖地震津波の後、下園准教授は海岸被災実態の調査に携わった。この他、サイクロンNargis(2008年/ミャンマー)や台風Haiyan(2013年/フィリピン)など、アジア圏を中心とした海岸被災の実態調査に積極的に参加している



※破線の上がS1、下がS2

3年生の時間割例「S1S2」

	月	火	水	木	金
1限		建築構造解析第二	建築音環境	建築光環境・視環境	建築構法計画
2限	建築設計理論 第一・第二	建築材料科学	日本建築史	建築計画第一・第二	建築材料科学 溶接工学
3限		荷重外力論第二 建築空気環境・水環境	建築塑性学		建築生産 マネジメント概論
4限	建築設計製図 第三・第四		建築材料演習	建築設計製図 第三・第四	造形第三・第四
5限					
6限				建築倫理	

建築学科のカリキュラムは、学術体系から選び抜かれたエッセンスを理解するための講義群とこれらを体得する演習群から構成されている。この他、Aという演習でつくったものをBという演習で破壊試験するような関係性があり、分野をまたいでジョイントする指導体制となっている。

個人の知的興味に応じた建築・人を研究していく

東京大学建築学科は日本に最初で来た建築学科です。その起源は明治6年にさかのぼります。著名な卒業生・修了生も多く、辰野金吾、丹下健三、黒川紀章、横文彦、磯崎新、伊東豊雄をはじめ、近年においても世界のトップレベルで活躍する建築家や建築技術者、デザイナーを輩出しています。

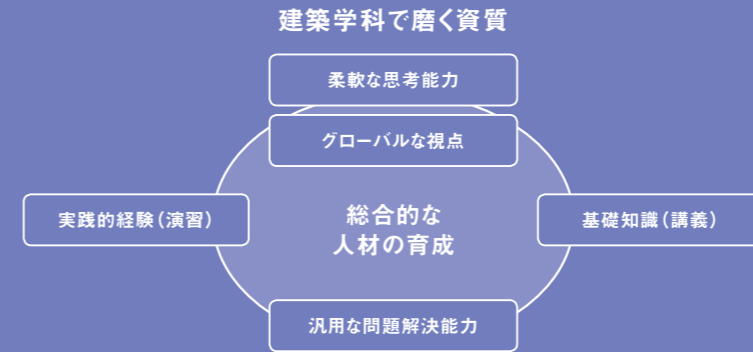
建築学は、家具や住宅から都市まで、人が活動するあらゆる環境を構想する学問です。様々な「もの」だけでなく、「ひと」も工学的に扱うのが建築学科の特徴です。

その学問領域は3つ用意されており、専門家としての歴史観を養成しつつ、先端の計画「デザインを行う」「計画・歴史・意匠系」、現在最も注目される環境問題に取り組む「設備・環境系」、地震先進国である強みを活かした先端のエンジニアリングとしての「構造・材料・構法系」があります。カリキュラム上では、2、3年でこれらの領域について基礎力を磨きます。学術体系を理解しエッセンスを習得する「講義群」と体得するための「演習群」の2つから構成されています。

4年からは各分野の専門性を深めるようになっており、幅広い総合力と高度な専門性を統合して建築を思考することのできる人物の育成を行っています。建築学科ではこうした学びの中にも柔軟な選択性があり、建築設計の基礎である設計製図第一、卒業論文、卒業制作以外はすべて選択科目となっています。

家具、住宅、都市など人が活動するあらゆる環境を構想する

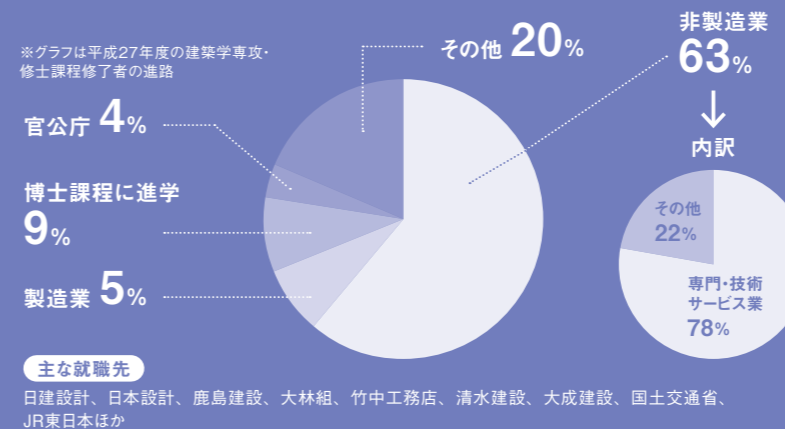
建築は日本の誇るべき「ものづくり」の一つです。その学術領域は実に広く、総合的であり、社会との関わり合いも密接です。例えば、何百年も使い続けられる古建築、高度な災害対策技術、「コミュニティ、建具なども含まれます。歴史や文化を残しながら社会に新しい活力を生み出す「場所」を提供することも重要な役目です。建築学科では、人間と空間について様々な現象について多角的な教育が受けられます。世界中の「もの」だけでなく、「ひと」を工学的に扱うことも大きな特徴です。



建築空間は世界中のあらゆる人間活動を支えている。そういう視点に立ったとき、世界規模で拡大する環境問題や都市問題に関わるには専門知識だけでなく、グローバルな視野と柔軟な思考力が欠かせない。

修士課程修了後の進路

建築設計事務所・ゼネコンのほか、不動産・デベロッパー・銀行といった建設業を支える仕事、業務の発注や監督をする官公庁・国際機関、地域に密着したまちづくりコンサルタントやNPO、改修・保存分野、グラフィック分野に進む人も増えている。



社会のニーズと技術がマッチングした新しいタイプの境界面を追究しています

私がこの専攻を選んだワケ



Q 建築学科、千葉研究室を選んだ理由とは？

A 大学選びの段階で、建築を学ぼうと考えていました。といっても高校の頃は建築家に興味があったわけではなく、どちらかというと建造物のほうで、美術志向でした。建築は文系と理系の間にあり、美術にもつながる部分があるので、建築学科に決めました。千葉先生の研究室に興味を持ったのは、都市のような大きなスケールから建具のような小さなもの、さらにはナノレベルの材料まで幅広く研究対象としているからです。スケールを横断して行ったり来たりしつつ、建築と社会のつながりを考えられるのが、この研究室の大きな魅力だと思います。

Q どのようなプロジェクトに携わっていますか？

A 千葉研究室では2015年から大日本印刷「すまいるらい研究所」との共同研究を行っています。私は、そこで住まいの境界面にまつわる建具の研究に携わっています。最初は日本の伝統的な建具をはじめとして世界中の建具をリサーチし、事例を収集するところから着手しました。夏と冬で環境が大きく変化する地域は建具が発達しているだろうということで、実際に北陸で調査も行いました。また、建具の素材も大きなテーマです。現在は新しい素材がドンドン

Q 研究のどの部分に面白さを感じていますか？

A 社会のニーズと素材や技術をマッチングさせ、内と外の新しい境界面をどうつくっていくかを考えるところに面白さを感じています。現在は人口が減り始め、空き家が増えています。それに伴い家族の在り方も変わってきている状況です。一方で建物は一度つくと建て替えはなかなか難しいものです。しかし境界面の建具であれば建物全体を更新しなくても取り替えられるので、変わり続けるこれからの社会において重要性が増すと考えています。

Q どんな将来像を描いていますか？

A 将来は大学や研究機関ではなく、設計の仕事に進みたいと考えています。研究室で建築と都市や社会とのつながりの中から建具や素材を知り、実務的な設計部分についても学ぶことで、自分の将来のベースにできればと思います。



上／共同研究の成果物。日本の伝統的な建具をはじめ世界中の建具をリサーチした
下／岡山県で開催された現代アートの国際展(2016年秋)では屋台の設計に参加した

大学院工学系研究科
建築学専攻 修士課程2年
千葉研究室
坂本陽太郎さん



建築の実務家である千葉学教授のもと、建築を都市空間とのつながりの中で捉え、新たな設計論の構築とそれに基づく実践的な設計プロジェクトの可能性を探る研究を行っています。特徴は、都市のような大きなスケールから建具のような小さなものなど、様々な視点から都市を分析しつつ、具体的な建築プロジェクトへと反映させていることです。

都市空間や社会とのつながりから 未来を見据えた建築の姿を考える

近年の建築は建物を建てるだけでなく、コミュニティや都市の活性化、災害対策、地球環境など様々なテーマが関わってくる。千葉学教授の研究室では、人々が暮らす都市空間やコミュニティとのつながりから建築の在り方を捉え直し、「人が集まる場」をどのように作るかをテーマとして、未来を見据えた新しい建築モデルを日々追究している。有名な建築に「日本盲導犬総合センター」(静岡県富士宮市/2008年竣工)などがある。

人が集まる場を どうつくるかがテーマ

建築家としても活躍し、日本建築学会賞作品賞など数々の受賞歴を持つ千葉学教授の研究室では、建築とデザインに関して理論的かつ実践的な研究を行っている。研究テーマの中心は、建築を都市空間とのつながりの中で捉えることだ。

背景にあるのは、戦後復興から半世紀以上の時間が経過し、現在は建物をただ建てればよいという時代ではなく、人口減少に伴う空き家の増加が問題となり、既存の建物をスクラップ・アンド・ビルドするのが容易ではない中、建築やデザインの役割を改めて考え直す必要があるという。

千葉研究室では、人間や暮らしといった小さなスケールから都市という大きなスケールまで、幅広いスケールからの視点を持って領域横断的に建築を捉える様々な試みを行っている。「重視しているのは「人はどう集まるか」を探究している。」

巨大廃墟に衝撃を受け 新時代の建築モデルを描く

かつて千葉教授は米国の地方都市を訪れた際、3棟の超高層ビルが空き家状態になっているのを目撃した。「あれほど大規模な建物が完全な空き家になると、シャッター商店街どころの騒ぎではなく、恐ろしい廃墟でした。とはいえ一度建ててしまった巨大建築は、壊そうにも莫大なエネルギーが必要になります。これは対岸の出来事ではなく、大規模な開発を繰り返す現在の日本においても起こり得ることです。本当にそれでいいのか、建築や街の開発は長い時間軸で捉え、未来像の中に位置づけて考えなければいけないのではないか。そのとき、20世紀の建築に代わる新しい建築の姿を描いてみたいという素朴な思いが生まれました」

そうした未来像を描くためにも、研究室では何か一つに絞ったテーマに取り組むのではなく、幅広い視野を持って建築に向き合うような指導を学生に行っているという。

「実際に建物や街という空間をつくる建築は実学です。ですが、どのような建築にも背後には経済の仕組みや様々な社会現象が絡んでいますし、もちろん環境や自然が反映されています。その意味で、建築は実社会から離れることのできない、まさに実学そのものなのです。ですから建築を学ぶと、社会を新しい観点から見ることができるようになります。そこが

るか」です。人の集まり方は都市や地域、コミュニティ、あるいはもっと小さな単位に至るまで、場面によって異なります。ただ、どのような場面においても建築は大きく関わってきます。建造物の大小、時には建築と呼べないような仕組みでもいいのですが、いずれにしても人が集まる場をどうつくるかが、私たちの研究の根本的なテーマだと考えています」

社会は人が集まることで形成され、人と社会は建造物や建築によってつながっているとも捉えられる。

幅広いスケールを横断し 時代や場所に即した建築を

千葉研究室が取り組む研究テーマは、大きく2つに分けられる。一つは建物の入口や窓などが外と接



「一番の面白さですね」

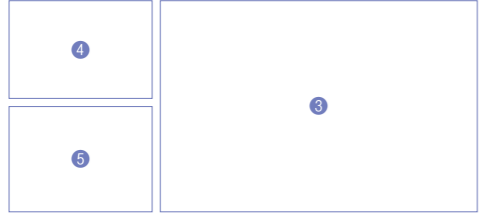
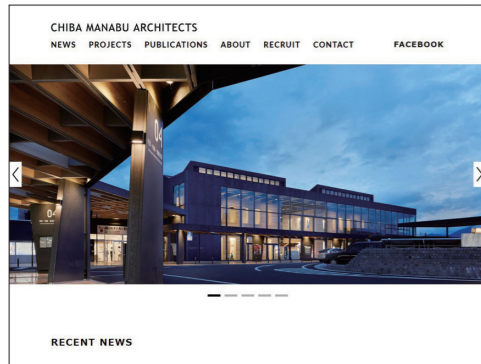
建築する人、生み出す人を 研究室で育てていく

「教育とは場づくりだ」と千葉教授は話す。自らの知識を学生に授けることが教育なのではなく、様々な個性を持った学生たちが集まり、それぞれの視点で興味を持ってテーマに関わっていくための場を用意することが教育だと考えている。

研究室では、建物や街並みを設計したり、設計に基づいてモデルを工作したりといった実務的な作業もあるが、一人ひとりの個性を大事にしつつ、議論を深めていく場という部分を重視している。「ここで育った学生たちには、できることなら建築という仕事に携わってほしいと千葉教授は願っている。」

千葉教授は、この研究室で繰り返される学生たちとの議論は充実した時間だと語る。実務家という立場では得られない瞬間であり、彼らの斬新なアイデアに触れられる貴重な場だと表情を和らげる。

「今はドンドンつくる時代ではないと言いましたが、太古の昔から人は建物をつくってきましたし、今後文明がある限り建築は続いていくでしょう。物理的な空間は、人間の生活や人と人との関係に直接影響を与えます。つまり、建築はどこか人間の本能に近いところがあるのだと思います。時代にに応じて変わっていく要素を取り入れながら、未来を見据え、いい建築を今後もつくり出してほしいと思います」



- 1 「日本盲導犬総合センター」(静岡県富士宮市/2008年竣工)は日本で唯一の常時見学可能な盲導犬訓練施設として千葉学建築計画事務所が建築
 - 2 「富士ハーネス」という愛称で知られる日本盲導犬総合センターは、様々な機能を持った部屋それぞれが独立しながらもつながることができる空間配置となっている
 - 3 1960年東京生まれの自転車好き。建築家の仕事に欠かせないのは、その地域や人の持つ唯一の魅力を読み取る力だと話す
 - 4 千葉学建築計画事務所のHP
 - 5 千葉学建築計画事務所が設計した工学院大学の創立125周年記念総合教育棟(2012年夏竣工)。免震層を利用したアースピットによる地熱利用など、環境への配慮や省エネルギー設備などを採用しているのが特徴だ
- ©西川公明 撮影(1,2,5の写真)

※破線の上がS1、下がS2

3年生の時間割例「S1S2」

	月	火	水	木	金
1限	応用水理学	国土及び地方計画	生態学・生態工学	環境微生物工学	地域デザイン論
2限	都市住宅論	都市保全計画	土地利用計画論	都市・まちづくりと法	水環境学
3限	応用統計 都市工学の技術と倫理	都市工学演習A 第一(計画)	環境反応論	都市工学演習A 第一(計画)	都市工学演習A 第一(計画)
4限	都市工学数理 都市工学の技術と倫理	都市工学演習B 第一(環境)		環境工学実験演習 第一(環境)	環境工学実験 演習第一(環境)
5限	都市工学グローバル 輪講第一(E)	都市工学輪講第一			
6限					

都市工学科のカリキュラムの特色は「演習」。様々な講義を通じて幅広く知識を身につけ、習得した知識・スキルを演習で活用し応用力を養う。街に出たり、自然環境の中で問題意識を持って見たり、学んだり、知恵を絞ることで、将来に生きる経験値となる。

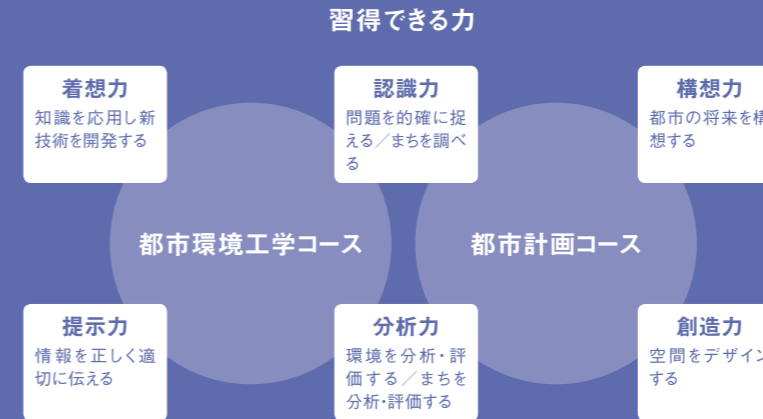
現代の社会的要請を受け、都市について深く考える。都市工学科は東京大学で唯一「都市」について専門的、総合的に教育、研究している学科です。選択できるコースは2つあり、都市を支える「都市環境工学コース」と、都市を構想する「都市計画コース」で構成されています。カリキュラムは分野別に深く学ぶ「講義」と、分野を統合した学びの場として「演習」があります。中心となるのは演習で、現実の課題に取り組み、自らの考えで都市問題や環境問題を捉え、分析・構想する力を養います。

都市問題や環境問題は多様化しており、その対象範囲は都市から農山漁村を含む広域圏、国土全体、地球規模にまで及びます。研究室は全部で16あり、都市計画コースに10室、都市環境工学コースに6室で構成されています。例えば土地利用、交通、デザイン、防災、地球環境、水環境、廃棄物など、一人ひとりが興味を持った分野について学ぶことができます。

都市問題や環境問題に欠かさない調査、解析、計画、デザインについての手法、技術を専門的かつ総合的に身につけられるのが特徴。その結果、皆で集まって暮らすかたちとしての「都市」を考え、皆でつくり出す私たちの「社会」の全体像を見渡すことができるようになります。こうした学びを積み重ね、都市の「フューチャリスト」から社会の「フューニャリスト」まで、幅広い人材を育成しています。

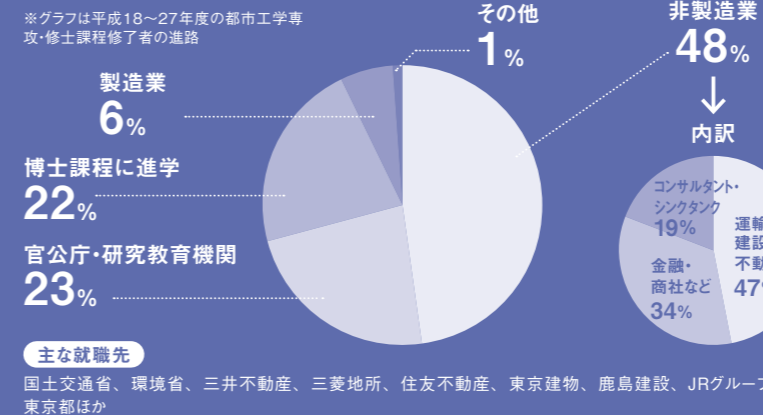
気候・風土・文化の多様性を踏まえ、未来視点で都市・環境をデザインする

都市工学科は1962年に設立された、工学部の中では比較的新しい学科です。その目的は、都市のフィジカルプランナーの教育・養成と、都市問題に対処するための工学的研究・教育です。フィジカルプランナーとは、物的・空間的存在によって形成される環境を計画・デザインする人材を指し、研究対象は都市や広域圏(農山漁村を含む)や国土全体、地球環境全体に及びます。人の暮らしに関わる研究領域であり、工学技術のほか、法学、経済学、社会学、歴史学、心理学、美学、哲学といった社会科学や人文科学と密接な関係にあるのが特徴となっています。



修士課程修了後の進路

都市計画やまちづくり、環境マネジメント、環境技術開発に直接的に携わる仕事のほか、多くの卒業生が商社や銀行などに就職しており、選択肢は幅広い。就職活動では学生の自主性を重んじている。学部生の約3分の2が修士課程に進学するのも特徴の1つ。



魅力的な都市空間をつくりたい!ダイレクトに都市に貢献できる分野です

私がこの専攻を選んだワケ



Q 文科一類から工学部、さらに都市工学を選んだ理由は?

A 知らない場所に行ったり、地図で調べたりすることがもともと好きでした。大学入学時に、まち、地域に関わりながら社会に貢献したいという意識を持っていました。学部1年の秋に都市工学科主催の講義を聞き、直接的に都市を対象として研究や実践をする分野があると初めて知りました。「あ、ここだ!」と思いました。都市計画研究室は、人口減少や経済の低成長などに対応しながら、持続可能な都市の在り方を探究することがテーマの一つ。ここなら僕のテーマを追求できると思ったのです。

Q 院進学時に、この研究室を選んだ理由は?

A 研究室の雰囲気が期待通りだったからです。研究テーマの選び方も手法も、基本的には自由に決められます。僕らの興味・関心を尊重していただけます。また、研究室会議では一人ひとり、じっくり時間をかけて議論します。広い視野で、研究を進めることができます。

Q 圓山さんの卒論のテーマは、繊維問屋街の変容ですね。

A はい。繊維産業が斜陽化する中で、名古屋市内と東京都内2カ所の繊維問屋街で、どのように空間変容が生じていたのか。それに対応して、どのような再生の取り組

みが展開されたのか明らかにするというのが目的です。現在は、東京23区を対象に、空間変容の実態と要因について研究しています。今後、より良い空間計画の在り方の探究に役立てたいと考えています。

Q 具体的な研究の進め方と面白さを教えてください。

A 現場を見たり、その土地の方たちのお話を聞いたりして、状況を把握します。現地に足を運ぶことで初めて分かることがたくさんあります。そのまちが、どのようにして今の形になったのかを、地図の上や地上から様々な視点で見ると、ある地域の空間変容が、近くの大規模再開発の影響なのか、地価が上がりが過ぎたせいなのかなど特徴が見えてくる。まちを対象に謎解きをする面白さがあるわけです。

Q 研究室に、じっとしてはいないのですか?

A 実際にまちへ繰り出して、現場での実践を通じて学ぶことができますのが都市工学の面白さです。おかげで、物事を多面的に捉える力、様々な意見を整理しまとめていく力がついたと思います。いずれ社会に出ても役に立つと思っています。



上/研究テーマで取り上げる地区の状況をマッピングする圓山さん
下/松戸市小金原地域の公共施設再編の検討のために開催されたワークショップに参加した研究室のメンバー(準備風景)

大学院工学系研究科
都市工学専攻 修士課程2年
都市計画(大方・村山)研究室
圓山王国さん



村山頭人准教授

人口減少や超高齢化、環境問題や自然災害の深刻化といった数々の課題に直面する都市空間を、いかに作り、維持管理するか。都市の空間像の構想と実現方策、都市空間の変容過程とそれへの効果的介入、多様な主体の協働手法などを主たるテーマにして研究に取り組んでいます。

「人々の暮らす場」が実験室 未来の都市・街をつくる

都市工学科には、都市を構想する都市計画コースと都市を支える都市環境工学コースの2種類があり、16の研究室がある。村山頭人准教授の研究室では、土地利用を中心とする、都市スケールでの計画立案や再開発・改善・保全を含む、地区スケールの市街地再生に関する研究と実践に取り組んでいる。例えば幹線道路に囲まれた16ヘクタール四方の地区の再生事例では、当事者が主体的に参加できる仕組みをつくり、まちづくり構想を策定し、それを実現する体制を構築、運用するところまでを支援する。

都市の未来を描くのが仕事 他大学にはない魅力も

もともと航空宇宙工学を志望していたという村山頭人准教授。ところが、米国から帰国して見た東京の混雑ぶりに驚きを覚え「遠い宇宙よりも身近な環境を考えよう」と、都市計画の道に進んだという。

一度東大を離れて気づいたのは、東大ほど都市工学が細分化され扱われている大学・大学院はないという点。都市を深く学び、都市を構想する実践的なスキルを身につけられるのは、東大ならではの特徴である。

「教室や研究室を出て、鳥の目、虫の目で多角的に都市や街を眺めながら、多くの人と共に未来を描けるのが、この分野の面白さです」

各研究を統合し 時代に応じた都市を構想

都市が抱える様々な課題の解決に取り組む都市工学。その現状について、村山准教授はこう説明する。

これらの課題に対し、鈴鹿市都市計画課をサポートする形で、村山准教授は国内外の成功例などを参考にしながら解決策を練り上げていく。

空間構想や空間構成では、住民や事業者といった利害関係者の要求を満たす計画案を検討し、具体的な都市の形として空間的解決策を図化していく。その計画案を市民に公開し意見を募ることで、専門家と市職員を中心とした議論では見えなかった隠れた課題をあぶり出していく。

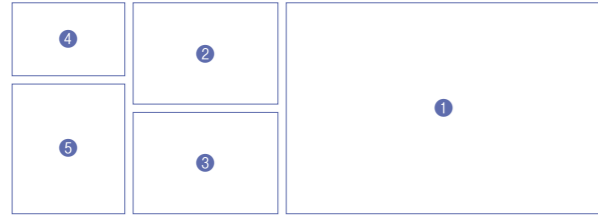
当然ながら「工場地帯はもっと広く」「この農地や緑地は保全すべき」といった要望も出てくる。それらに耳を傾け、計画案をブラッシュアップし、説明会や都市計画審議会での議論を通じて、合意形成や意思決定へと進んでいく。つまり、プランナーには工学的な技術だけでなく、社会学や経済学、心理学といった人文科学的な方法も必要となってくる。

山積する社会課題に取り組める 人材が求められている

村山准教授は、国内外の事例を広く集め、実際のプロジェクトで応用していく研究スタイルを取っている。

例えば、計画エリアの住民や事業者、行政機関ほか、多様な価値観を持つ当事者を巻き込む方法、円滑に合意を形成する方法、高度な計画案をつくる方法や技術を開発し、一般化していく。方法や技術を他のプロジェクトに活用するのが狙いだ。

学生は3年生の演習の中で、都市計画の実践を模擬的に体験する。2016年は週3回演習があり、10週



- ① 鈴鹿市における土地利用構想の検討風景
- ② 工学部14号館の屋上にて
- ③ 計画策定の3側面とそれらを支える技法を端的に示した図。科学的技法、創造的技法、政治的技法を組み合わせることで計画の完成度を高めていく
- ④ 名古屋市長二丁目のまちづくり構想
- ⑤ 商業や工業、防災や減災、居住地、交通など様々なレイヤーで地図を作成し、重ね合わせることで未来の都市の姿を空間化した

「超高齢社会や人口減少時代が到来した現在は、成長期につくられた都市のあちこちで社会的にも物理的にも空洞化が起きています。例えば人口減少が著しい自治体では、財政難からインフラやハコモノの維持が困難になり、都市の経営が立ち行かなくなる事態が起きています。都市計画という観点から見ると、社会の成長を前提とした都市計画から転換すべき時期がとっくに来ているといえます。」

そこで私たちは、いかにして街を維持管理しやすい形に変えるか、環境問題や自然災害にもしなやかに適応できるようにするかを検討し、新しい都市の姿を提案していくことを目指しています」

都市工学科には16の研究室があり、土地利用、都市デザイン、都市交通、防災・減災、水や緑の保全・創出、コミュニティ形成など、それぞれ独自の視点から都市の空間や都市の環境に

関する研究を行っている。その中で村山准教授は、実際の都市のマスタープラン(基本計画)の策定、市街地再生など、実務に深く関わる研究を行っている。ゆえに、都市・街が実験室だという。

経済学、社会学、心理学… 人文科学的な面白さもある

「都市空間の計画策定とは、将来を見据え、いろいろな要求を両立させながら、空間的解決策を導き出す取り組みです。計画策定には3つの観点が欠かせません。1つ目は現状分析と将来予測、2つ目は現状構想と空間構成、3つ目が合意形成と意思決定です」と村山准教授は語る。

村山准教授が携わる鈴鹿市の都市マスタープラン策定を例に説明する。鈴鹿市の現状分析と将来予測から見えてきたのは「住宅や工場などが散在している現状」「人口減少が進むとインフラの維持が困難になるという予測」「南海トラフ巨大地震への備えも必要という気付き」など。

間かけて横須賀市の都市マスタープランを作成した。「プランナーの育成は教育目的の一つなので、学生たちに現場との接点を意識して持たせています。実務と教育と研究が一体化している点が、都市工学科の特徴です」と村山准教授。出来上がったプランは自治体に提出し、職員からコメントを集め、社会での価値を確かめる機会となっている。

村山准教授は、他にも名古屋市、静岡市、松戸市、西東京市など、全国の都市計画に関わっている。自治体スケールだけでなく、もっと小さな地区スケールの再生や再開発の案件に参加することも増えている。

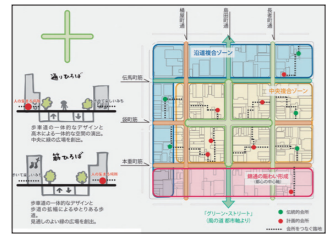
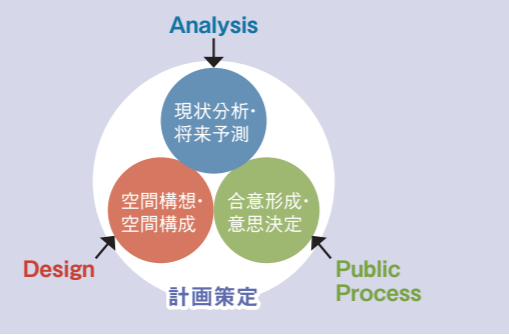
名古屋市長二丁目のプロジェクトでは「自分たちのまちを何とかしたい」という住民たちの自主的な活動をサポートし、まちづくり構想を策定し、名古屋市長二丁目地区事業の認定取得へと導いた。

日本の都市計画は、世界的にも注目されている。特に首都圏は3500万人以上が暮らす巨大都市圏だが、これだけの公共交通網が機能している首都圏は他に例がないという。

「これから人口の増加が想定されるアジアの都市に、都市計画のノウハウを提供することも可能です。反対に日本全体としては急激なスピードで超高齢化・人口減少が進んでいきます。先進諸国がいずれ通る道と言われており、日本全体が世界から注目を集める研究対象なのです。共同研究を行うパートナーからは、日本の研究者には最先端の都市の状況とそれへの対応策を発信していくミッションがある」と言われています。



計画策定の3側面とそれらを支える技法



※S1とS2を通して実施

3年生の時間割例「S1S2」

	月	火	水	木	金
1限	機械分子工学第一	熱工学第二	ヒューマン・インタフェース	生産システム	流れ学第二
2限	設計工学	ロボティクス	数学2B	システム制御2	材料力学第二
3限	機械工学総合演習第二	機械工学総合演習第二		機械工学総合演習第二	機械工学総合演習第二
4限					
5限			数理手法IV		
6限					

2年生の後半～3年生の前半では数学、材料力学、流れ学、熱工学、基礎力学など機械工学の基礎科目を勉強するとともに、実践的トレーニングを経験する。3～4年生では、企業で短期インターンシップによる就労経験を積んだ後、機械工学の先端・専門的な講義、ものづくりのための創造性を養う演習が設けられている。

「分析」と「統合」の学術コアが織り成す新価値創造へ

機械工学のミッションは「社会のための科学技術」を実践し、社会が直面する複雑な問題を解決することにあります。現在では、環境・資源制約の下で、安心安全で豊かさの感じられる持続的な社会を構築することにその重点が置かれています。学問・学術的には、伝統的な機械工学自身を深めると同時に、学際分野・基礎科学と連携して新領域を開拓し、社会に求められる技術や価値を創造するための基盤的な知の体系を築いていくことを常に目標としてきました。

例えば、生体工学、環境工学、分散エネルギーシステムの研究などは、時代の要請とともに広がってきた分野であり、分子熱工学、分子動力学などは現象解明の観点からマクロからミクロへと研究対象が移行して発生した分野です。

対象とする機械のスケールも、微細機械システムからインフラストラクチャーまで多様化しています。機械系学科では、これらの研究分野の進展がカリキュラムにも反映されるよう、常に刷新して対応する努力が行われています。

このように機械工学科では、学問研究や社会現象を俯瞰して機械工学の視点で共通原理・法則を導出し、他の学問分野や社会と密接に連携しながら、新産業創出を担う人材を育成します。

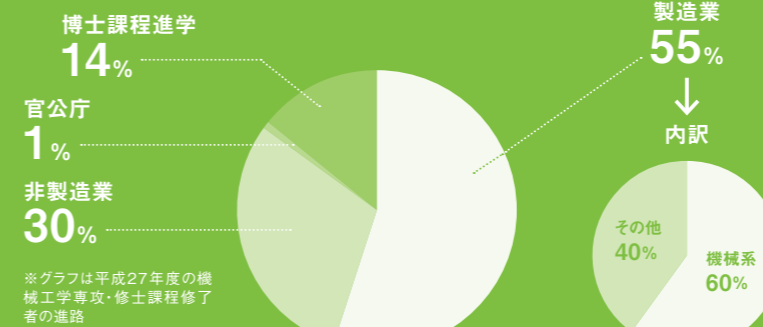
多様な分野で応用可能な技術を身につける



機械工学の学術基盤は、材料力学、熱工学、流体力学、機械力学の四力学を中心としたアナリシス(分析)の学術コアと、設計や生産などのシンセシス(統合)の学術コアとで織り成される縦系と横系のマトリクスである。このゆるぎないマトリクスの上に、多彩な応用技術に関わる知識体系が築かれている。

修士課程修了後の進路

機械工学科・機械工学専攻では就職の学科推薦を行っており、例年ほぼ半数の学生は学科推薦で就職する。その進路は、鉄道、自動車、造船、航空機をはじめ、半導体やバイオテクノロジーなど時代の要請を受けながら広がっている。



主な就職先

世界銀行、アジア開発銀行、ユネスコ、東日本電信電話、NTTデータ、JFEスチール、日立造船、JFEエンジニアリング、新日鐵住金エンジニアリング、前田建設工業、清水建設、大成建設、JR東日本、東京ガス、国土交通省、特許庁、経済産業省ほか

「デザイン・エネルギー・ダイナミクス」 社会のための科学技術の創造

機械工学科は1874年の創設以来、機械工学分野に多くの人材を送り出し、日本の工学の中心であり続けてきました。戦後の経済成長期にあつて、機械系では主に、鉄道、自動車、造船、航空機、重機、電機、鉄鋼など各種プラントなど、日本の基幹産業をつくり支える技術者の育成を担ってきました。現在では、産業界の進展に対応すべく、教育、研究分野も変貌をとげつつあります。機械工学科では、機械工学の知識を幅広く選択・融合・適用し、社会が希求する重点分野を担う人材を育成しています。

共同研究を通じて再認識した 未知の領域に挑む大学の研究

私がこの専攻を選んだワケ

Q 機械工学科を選んだ理由を教えてください。

A 高校時代から理数系が得意だったので理科一類に入学し、進学振分けでは迷わず工学部を選びました。机に座って勉強するよりも手を動かすほうが得意でしたし、ものづくりに関心があったからです。機械工学科については漠然と様々な大型機械を扱う学科だと思っていました。実はミクロの研究も多く、奥深さを感じています。現在手掛けている研究もミクロな世界で、直径数ミリメートルの管の流量を測定するセンサーをつくらうとしています。今はまだ原理確認レベルですが、この先はより小さい管に挑戦するとともに、素材や形状なども工夫したいと考えています。

Q 大学院進学は早期から決めていたのでしょうか？

A 学部時代に一度就職を考えたことがありますが、研究をここで終わらせるのはもったいないという思いもあったのですが、最終的には理系の修士号を持つ父から「自分のやりたい研究に挑戦するのは大学院だけだ」と言われたことが決め手になりました。実際、大学院では好きな研究に取り組んでいますし、2017年10月からはスイスに3カ月間留学します。現地では自律型ロボットの制御や製造を研究する計画です。

Q 研究室の先輩からは刺激を受けているそうですね。

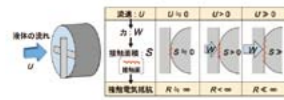
A 研究は楽しいですが、成果が出なくて試行錯誤を繰り返すことも多いです。そういうとき、研究室の先輩に相談すると的確にアドバイスしてもらって助かっています。今研究室にはたくさん先輩がいますが、他人の研究に助言するのは思っているよりも難しいです。改めて先輩たちの偉大さを感じています。

Q これから進学する後輩にぜひアドバイスを。

A 工学部は実際にモノを見て、触れることができる学部です。機械工学科は特にたくさんモノに触れますし、企業との共同研究が多いのも特徴ではないでしょうか。僕は企業との交流を通して、企業はモノをつくるのが目的であり、大学は分からないことを明らかにすることが目標なのだと感じました。工学部では基礎研究から社会での応用に近い領域まで、幅広く経験できると思います。大学でしかできないことは様々あると思います。課題を自ら見つけてそれを自らで解決する達成感はモノをつくる工学部の研究では大いに体感できるのではないかと考えています。



上/実際に手を動かして実験を重ね、試行錯誤することが研究の醍醐味
下/東坂さんは直径数mmの管の流量を測定するセンサーを研究する



大学院工学系研究科
機械工学専攻 修士課程1年
中尾・長藤・上田研究室
東坂達也さん



研究室紹介

[中尾・長藤・上田研究室]

<http://www.hnl.t.u-tokyo.ac.jp/top>

中尾・長藤・上田研究室は「ものづくり」の研究室です。取り組んでいるテーマは数多く、系統はそれぞれ異なりますが、どれも製品やサービスを設計し、世に送り出すための技術や方法論を追究しています。



長藤圭介准教授

単に早くて安いづくり方ではなく 機能を高めるづくり方を開発したい

機械工学科では様々なスケールの機械を扱っているが、この研究室では「ものづくり」をテーマに製品やサービスの設計、それらを実装する技術や方法論などを探究する。長藤圭介准教授のチームは「微細加工」が専門。燃料電池や3Dプリンタなどの機能向上に資する成果を目指して、日々実験と検証を繰り返している。

活用が広がる燃料電池 理論効率90%は達成可能か

燃料電池の原理が発見されたのは200年以上も前のこと。電池といっても、アルカリ乾電池のような放電のみの一次電池やリチウムイオン電池のような充放電を行う二次電池とは根本的に機構が違ふ。

負極に水素などを補充し、その化学エネルギーを電池内部で電気エネルギーに直接変換して取り出す発電装置である。

燃料電池は原理的にエネルギー効率が低い発電方式だが、中でも高温で作動する固体酸化燃料電池(SOFC: Solid Oxide Fuel Cell)は特に効率が高い。補充物質に水素だけでなく、炭化水素やアルコールなどを用いることができるのもメリットで研究開発が進められている。

長藤圭介准教授は微細加工の観点から、SOFCのポテンシャルを引き出したいと考えている。

「SOFCは理論上、90%の効率で動くはずですが、現状は50%程度にと

どまっています。理由の一つは電極の微細構造がランダムで、イオンと電子の流れがスムーズではないこと。当研究室では構造制御により、SOFCの効率向上に貢献したいと考えています。また、より良い材料を探している研究者や、系全体の制御を最適化しようとして組んでいる研究者もいます」

SOFCは、燃料極に「酸化物イオン」「電子」「ガス」の3種類の物質が流れることで反応が起こる。燃料極をつくる際にはセラミクス材料のジルコニア(YSZ)と、金属材料のニッケル

(Ni)を、樹脂に混ぜ込んで焼き固める。YSZとNiは燃えずに残るが、樹脂は燃焼し、そこが空隙になってガスの通り道になる。

こうして出来上がった燃料極では、イオンが流れるのはYSZが連なったところだけで、電子が流れるのはNiが連なったところだけとなる。連なりが途切れればイオンや電子は流れず、連なりが屈曲していれば流れが遠回りになる。これが効率低下の原因の一つだ。つまり、YSZとNiが途切れず整然と並んでいれば、

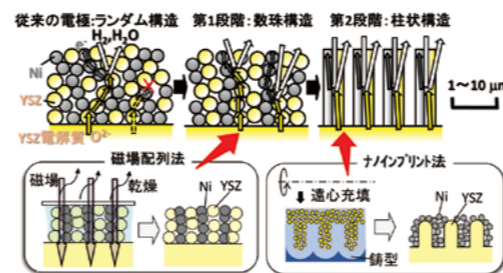
イオンと電子はスムーズに流れ、高い効率に結びつくというわけだ。

ミクロの世界でも 金型や遠心分離機が活躍

この課題に対して、長藤准教授は2つのアプローチを考えている。

一つは磁力を使う方法。基本的な原理はシンプルだ。YSZとNiと樹脂が混合している流体に磁場をかけてNiを一定方向に配列させるだけ。YSZは磁場の影響を受けるわけではないが、Niが配列する際に押しのけられる格好でYSZも動き、結果的にYSZとNiがそれぞれ整列して、イオンと電子が流れやすくなる。

もう一つはミクロン(1000分の1ミリメートル)オーダーの金型でYSZのピラー(柱)構造をつくり、ピラーの間にNiを並べる方法。まずはYSZの粉体をスクリーン印刷にかける。スクリーン印刷とは隙間が空いた型を置き、その上から対象物質を押し付けることで、隙間から物質が通り、その部分だけプリントされる手法だ。



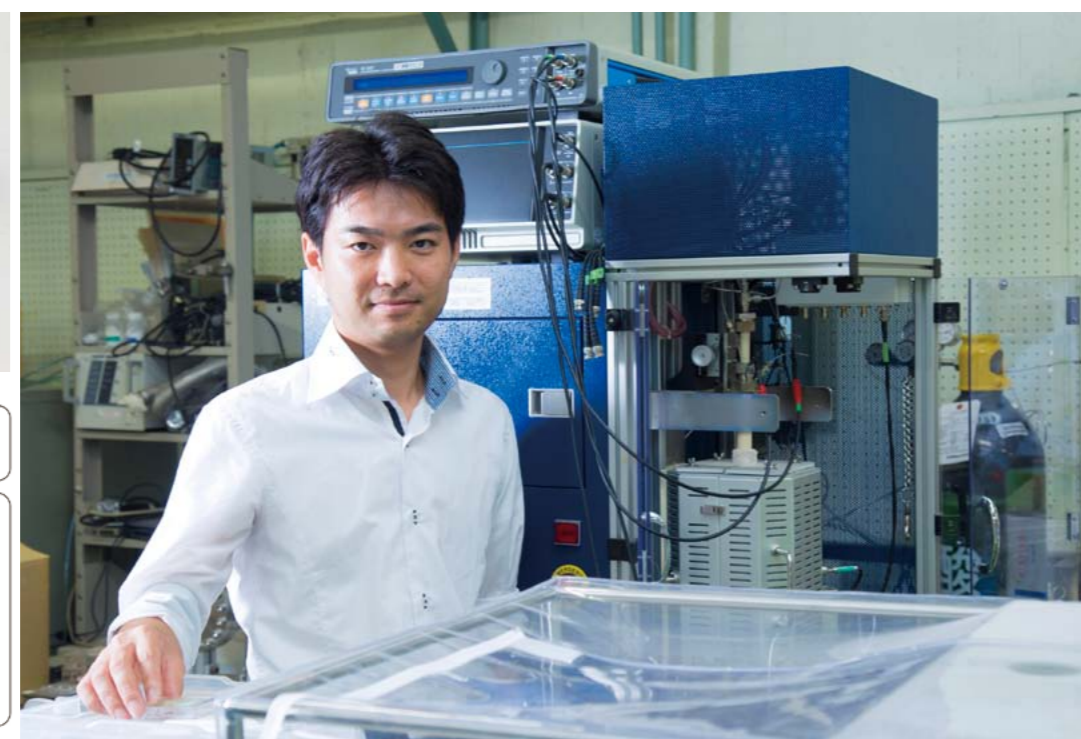
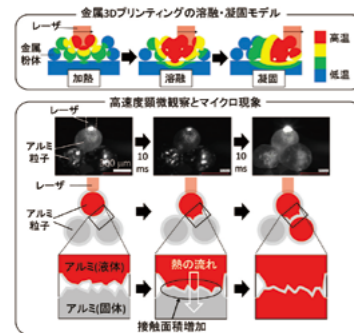
今回は隙間が狭く、押し付けても粉体が十分行きわたらないため、プリント後、遠心分離機にかけている。こうして出来上がったYSZのピラーの間にNiを入れていく。このときメッキの技術を使うことも可能だ。

微細構造の制御により 電池の可能性を引き出す

さらに、YSZとNiの物理的特性を利用し、材量の配合という観点から高効率化を図ることもできる。

「イオンと電子を同じ量で流したいので、理論的にはYSZとNiの体積比を1万:1にしたい。なぜならNiの電気伝導率はYSZのイオン伝導率の1万倍だから。YSZもNiもある大きさの粒子を用いるため、Niが少な過ぎると連なりが途切れてしまうので、現状50対50の量で入れています。前述の方法でそれぞれの材料が配列できれば、Niはもっと少なくできるはず」

YSZとNiは熱膨張率も異なる。先述の通り、燃料極をつくる際には樹脂を焼き切る工程がある。このときの熱膨張率はNiのほうがYSZよりも大きいので、Niが多く含まれるほどサイズの変化が激しく、構造的にもろい。言い換えれば、Niを少なくすれば、強く、耐久性に優れた燃料極ができるというわけだ。



「磁場を用いた方法でこれまでに80対20でも同程度の効率を得られています。最終的には90対10も可能ではないかと見込んでいます」

基礎研究と共同研究では どちらが学生に必要か

長藤准教授は燃料電池のほかに3Dプリンタの研究も行っている。今注力しているのは粉状の材料にレーザーを照射して溶かし固める粉末焼結積層造形法の研究だ。レーザーの使用や三次元構造といった違いはあっても、微細加工という観点では燃料電池の研究と通じるものがある。いずれのテーマも産業界の期待が大きいだけに、企業との共同研究も多いという。

「学生が共同研究から学ぶことは多いでしょう。ただ、共同研究は企業と一緒にスピード感を持って進められる反面、道筋が整い過ぎていて単純作業になりがちな面もあります。一方、基礎研究は何事も自分で考える本来の研究の姿といえます。道なき道ゆえに迷いが出て停滞することもあるので、どちらがよいとは言えません。ただ、近視眼的な成果を求めるのではなく、日本の産業を盛り上げる研究だという意識を持って挑戦してほしい」

この研究室は、長藤准教授のほか4人の教員が所属する大所帯。毎週金曜にはものづくりに関する動向を見ながら議論をする会を設けているほか、卒業生との交流会もあり、世代を超えて議論が盛り上がるという。その研究にかける熱い思いこそ、明日の社会を生み出す原動力になるのかもしれない。



※S1とS2を通して実施

3年生の時間割例「S1S2」

	月	火	水	木	金
1限	ソフトウェア第二	熱工学第二	ヒューマン・インタフェース	生産システム	流れ学第二
2限	設計工学	ロボティクス	数学2B	システム制御2	材料力学第二
3限	機械工学総合演習第二	機械工学総合演習第二		機械工学総合演習第二	機械工学総合演習第二
4限					
5限			数理手法Ⅳ		
6限					

3年生の夏には、機械工学と情報工学について発展した内容を学びます。演習では課題が与えられるだけでなく、自らが考えて設計した機械を製作することも取り入れられています。機械の基礎・情報の基礎と人間にまつわる知識を集中的に体得します。

情報に形を与え、モノに命を吹き込み、未来を創出する人を育てる学科

機械情報工学科は、創立以来、様々な産業分野に卒業生を輩出し、日本の産業界の発展を支え続けています。機械情報工学科は、人間と機械と情報を結び理論とシステムを創造可能なグローバルな視点を持ち、かつ、緻密な思考を行える次世代のリーダーや研究者を育成することを目的としています。そのため、情報学だけではなく、人を知り、デザインし、形あるものを創造する機械工学も学ぶことで、実世界に立脚した確固たる知識と経験を持つ人材を養成しています。

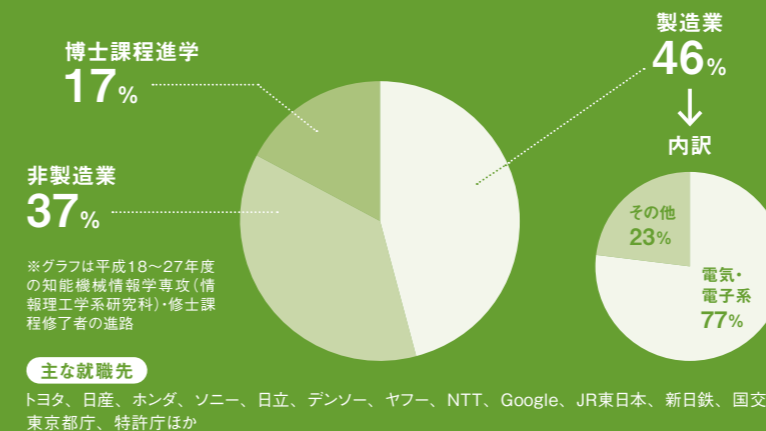
選択できる研究分野



4年生では上記のいずれかの研究室に配属され、卒業研究に取り組むことで世界をリードする成果を生み出すことを目指す。

修士課程修了後の進路

鉄道、自動車、造船、航空機、重機、電機、鉄鋼、発電プラントから半導体、バイオテクノロジーなどへと時代の要請を受けながら広がっている。企業と大学の長年の相互信頼関係の下、就職の学科推薦制度がある。



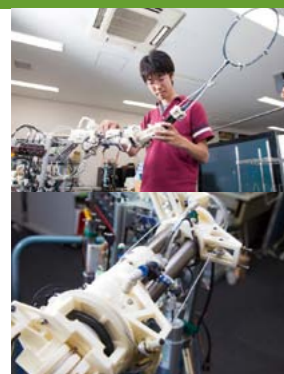
人を知りロボットを創る

知能、機械、情報といった知識を融合したものが、ロボット分野であり、機械・情報・生体などの分野を幅広く学ぶことが必要です。

機械情報工学科では、まずカリキュラムの前半に数学、四力学(材料力学・熱力学・流体力学・機械力学)などの基礎科目、機械系・情報系・人間系の専門科目を設け、情報の基礎と機械の基礎を体系的に学びます。

また、講義だけではなく、実際の設計や製作に必要な知識や経験を習得するために演習も非常に充実しており、3年生では、画像処理、マイコン、シミュレーション、コンピュータグラフィックス、ロボット製作・制御・行動プログラミングなどのスキルを獲得。その集大成として、企画、設計、製作から発表までを学生自身が自主的に行うプロジェクトを実施しています。

4年生では、次世代の知能ロボット、脳型情報処理、人工知能、バーチャリアリティ、ヒューマンインタフェース、医療情報処理、マイクロナンシなど多岐にわたる卒業研究に取り組みます。機械情報工学科は、技術・人間・社会の総合的視野に立って、ものを創造し価値を生み出すことを追求することにより、産業システムと社会全体に貢献する人材の育成を目指しています。



上/開発中のバドミントンロボットは1自由度の肘と3自由度の手首を備える
下/駆動部分は素早い動きが可能な空気圧アクチュエーターを採用

大学院情報理工学系研究科
知能機械情報学専攻 修士課程1年
國吉・新山研究室
森 翔太郎さん

従来のロボットにはないような速くてしなやかな動きを実現したい

私がこの専攻を選んだワケ

Q 進学のきっかけはロボットづくりだったとか?

A 大学1年の時にRobotics(ロボティクス)というロボコンサークルに入り、ロボットづくりにハマりました。他にもロボットを研究している学科はありますが、機械情報工学科では、特にロボットに注力しています。ここでは機械と情報というメカトロニクスにとって欠かせない2つの要素を学ぶことができるので、将来エンジニアになるときに役立つのではないかと考えました。

Q 研究室選びのポイントは何か?

A この研究室でつくっているロボットが自分の好みに合っていました。中でも新山先生が以前つくられたアスリートロボットは、ゆっくり動く従来のロボットとは違って、素早くしなやかに動くことができます。その他にも柔らかいロボットなど、普通じゃないロボットをつくってみたいと考えたのです。

Q 現在取り組んでいる研究テーマは何ですか?

A バドミントンをやるヒューマノイドロボットで、腕の部分の製作に取り組んでいます。バドミントンのシャトルを打つには、スイングの速さやスナップのしなやかさが求められます。しかし、人間の手の構造は大変複雑なので、まずは人間の構造を簡略化したロボットをつくりました。

現在、開発中のバドミントンロボットは、実際に人間と同じようなスイングができるよう、1自由度の肘と、3自由度の手首を備えています。この部分の開発だけでもかなりの時間を要しました。先生からの助言や研究室の仲間とも必要所で議論などをしながら研究のヒントにしています。最大の課題は、従来の制御手法では対応できないこと。バドミントンロボットでは速い動きが可能な空気圧のアクチュエーターを使っていますが、その反面応答が遅く、わずかな角度のズレを修正するのにとても時間がかかります。こうした課題を解決して、いざれば自律的に打ち返して人間相手にラリーができるようなヒューマノイドロボットをつくりたいと考えています。

Q 現時点で将来の進路はどのようになっていますか?

A 修士課程修了後は就職して、企業のエンジニアとしてロボットづくりを続けたいですね。ロボットをつくりたい、触ったりしている時間が好きなので、開発志望です。大学院では自分の好きな研究を進めながら世界の研究の最先端を学んでいます。ここで得られたスキルを将来生かしたいと考えています。





新山龍馬講師

生き物の動きを知ることで 今までにないロボットを創造する

ロボット研究には数々のアプローチ方法があるが、
機械情報工学科では「人間」「機械」「情報」という3つの視点でロボットづくりを考えている。
中でも國吉・新山研究室は「知能」に重きを置き、従来のメカニカルなロボットとは異なるアプローチでロボットを研究。
動物のようにしなやかに動き、柔らかなロボットをつくらうとしている。

金属的な動きではなく しなやかな動きを実現

人間を含む生き物は、柔らかい臓器や皮膚を持ち、しなやかに動くことができる。対してロボットは、素材も動きも硬くごちない。人間のように動くヒューマノイドロボットも多数存在するが、ギアドモーター特有の、ロボットの動作から抜け出せていない。

機械情報工学科の國吉・新山研究室では、知能や身体性という観点からこうした問題に取り組み、今までにないロボットをつくり出そうとしている。「人間を知る」というサイエンティフィックな興味に根ざしていると新山龍馬講師は話す。

「人間の体の仕組みは未解明な部分も多く、動かしにくいハードウェアは少なからずロボットより柔軟に動くのはなぜでしょうか。その理由を探り、ロボットという形で動かしてみたいと考えています。研究室では、神経や脳、感覚など生物的要素とロボットやものづくりとを融合させた研究を行っています。哲学などを含む人間

法を確立しなければいけないという難しさがあるのです」

材料も動きも柔らかい ソフトロボティクスも

現在力を入れているもう一つの研究分野がソフトロボティクス。近年世界で研究が進む新しい分野で、文字通り、柔らかいロボットが研究対象だ。ロボットの材料だけでなく、動きも含め、広い意味で柔らかさを追求する。ロボットの材質が柔らかくなれば、接触したときのリスクも軽減する。人間とロボットが共に作業することが増える今後を考えると、より安全なロボットという視点も重要になる。柔らかい材料としては、シリコンゴムや樹脂などを使用する。これらの材料は変形しやすい特性がメリットである一方、力の加わり方によってどう曲がるかの予想が難しい。コントローラ、センシング、駆動、どれをとっても、柔らかい材料を使うことで制御の難易度は格段に高くなる。

ロボットの駆動部には硬いモーターではなく、柔らかい人工筋肉を使う。また、人間の皮膚のように柔らかいフレキシブルセンサーをつくらうとしている。「私たちが考えるソフトロボティクスでは、電源や通信配線の問題まで見据えた、実用性の高いセンサーが必要だ。理想は、人間の皮膚のように全身を覆うようなセンサーであること。全身のセンシングが可能になれば、わずかな接触力を感知して転倒を防いだり、ロボット自身がどのよう動いたかを記録して学習したりすることにも役立てられます」

科学的な研究領域でもあるといえませんが、観察・解析による原理探究を行うだけではなく、ロボットという形でつくり出すという工学的アプローチをとるのが特徴です」

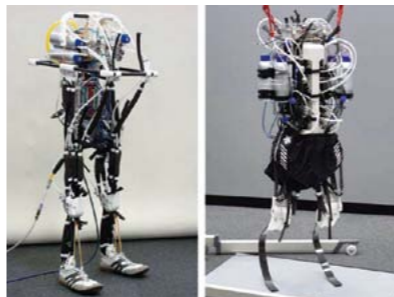
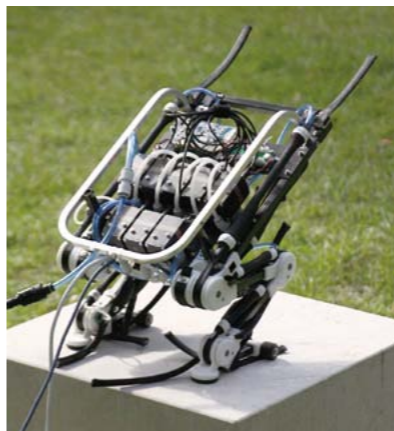
人間や動物の動きを模した 生物規範型ロボットを開発

新山講師がつくったロボットの代表格としては、壁に跳び乗るネコの動きを模したネコ型ロボット(脚力がつき過ぎて最終的にカエル型になった)、走る人間の脚を再現したアスリートロボットなどがある。生物の動きから学ぶこれらのロボットは、生物規範型ロ

ボットと呼ばれる。

ネコ型ロボットでは、ネコの動画をみて動きを調べたり、獣医学の専門書でネコの解剖学を学んだりすることから始めた。さらに脳神経科学的な動きのコントローラ、筋肉の動かし方など、ネコのダイナミックな動きを解析してロボットの動作に生かした。ネコらしい脚力を再現するために、駆動部にはモーターを使わず、空気圧人工筋肉を採用している。

人間のように走ったりジャンプしたりするヒト型のアスリートロボットも、ネコ型ロボットと同じ空気圧人工筋肉を使っている。従来のヒューマノイドロボットはプロポーションと関節の構成



がヒトらしいのが特徴だが、モーターで動くロボット独特のごちなさが残る。そこで新山講師は、形態と同時に、その動きのしなやかさを人間に近づけようとしたのだ。しかし、ヒト型でも、人工筋肉ならではの制御の難しさという問題に直面した。新山講師は次のように説明する。

「従来のロボットは関節の角度や足を置く位置などを、精密に制御しています。最近では、レーザーを使った距離センサーから環境情報などを受け取り、リアルタイムで動きを修正することも可能になりました。それでもロボット特有のごちなさは残りまます。対して人工筋肉は、そこまで詳細かに設定しなくても、走ったり、ジャンプしたりすることができます。人間が走ろうと腿を前に出せば膝下は自然に前に出るのと同じように、ある程度勢いに任せて動けばいいという考え方です。そのほうが省エネルギーで、自然な動きになります。このようにモーターと人工筋肉とはロボット制御に対する考え方が大きく異なるので、今までは違う制御手

動きの原理が分かれば ロボット以外への応用も可能

研究の学術的なゴールの一つは、人間の動きそのものを解明することだ。その成果が必ずしもロボットとして結実するとは限らない。人間が速く走る仕組みが明らかになれば、より効果的なコーチング術として活用したり、そのような理論に基づいたシューズを開発したりするなど、様々な応用が考えられる。また、生き物が歩行する仕組みから、階段や荒地など、どんな環境でも自律的に走行できる生物型ロボットがつかれるかもしれない。

「生き物の知見は、人工筋肉などのハードウェア技術、溝があったら飛び越えるなどの自律性や賢さ、なつくなどの「コミュニケーション」といった幅広い領域にまたがります。だからといってネコができることをすべて再現するのは難しいので、まずはジャンプする後ろ脚というように、興味深いところをそれぞれ取り上げて研究しています」

人間の赤ちゃんからアスリート、動物、昆虫と、幅広い対象からロボットの可能性を探る國吉・新山研究室では、あらゆることが研究対象になる。人間の筋骨格系を模したアスリートロボットでも、走高跳びをさせたり、バレーボールをさせたり、泳がせたり、様々な動きに特化した研究へと発展させることが可能だ。

「この研究室で取り組む分野は幅広いので、何にでも興味を持って学生に来てほしい。解明されていない課題を自ら見つけ出し、形あるもの、動くものをつくることの醍醐味を体感してみてください」



- 1 ネコが壁に跳び乗るダイナミックな動きを再現した跳躍ロボット
- 2 人体と同じような関節と人工筋肉からなるアスリートロボット
- 3 新山龍馬講師の代表作であるアスリートロボットは俊敏な運動が可能
- 4 カブトムシの翅の構造や動きを模した飛行ロボットも研究中
- 5 全身に触覚センサーを実装した等身大ヒューマノイド(國吉教授)





※破線の上がS1、下がS2

3年生の時間割例「S1S2」

	月	火	水	木	金
1限	航空宇宙自動制御第一	航空宇宙情報システム学第二		空気力学第二A 空気力学第二B	基礎振動論
2限	ジェットエンジン	航空機力学第二	数学2B	設計・機械力学・機構通論	弾性力学第一
3限	航空宇宙材料	宇宙工学演習		航空宇宙推進学第二	航空宇宙学基礎設計(隔週)
4限	航空機構造力学第一		航空宇宙学製図第二	航空宇宙学製図第二	
5限				航空宇宙学製図第二	
6限				航空宇宙学倫理	

航空宇宙工学科のカリキュラムの特色は、航空機、宇宙機、宇宙往還機、推進装置をはじめとする先端ハードウェアやデバイスのイメージを学部から大学院へと一貫して学ぶことができること。航空機や自動車の設計者、飛行制御機器技術者、宇宙飛行士まで、様々な分野に優秀な人材を輩出している。

航空宇宙工学での学びは 未開拓技術の宝庫

重力に逆らって飛ぶ飛行機や宇宙機には無駄のない極限的な設計が求められています。そこには、流体、構造・材料、飛行・制御、推進など、様々な工学分野の知識と経験が凝縮され、しかもバランスの取れた統合が要求されます。

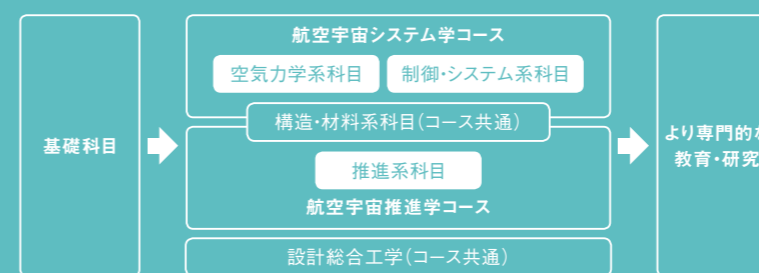
航空宇宙工学領域は、技術の展開速度が早く、技術集約の度合いが高いのが大きな特徴です。

3年生から選択できる2つのコース「航空宇宙システム学コース」「航空宇宙推進学コース」について、その履修内容は大きく4つの専門分野に分けられます。

「空気力学系科目」は、航空機やロケット周りの流れを解明し、より良い機体形状は何かを追求します。「制御システム系科目」は、機体を支配する力学、制御の基礎理論から最適制御およびその応用、宇宙機の軌道計画や機器システムなどを学びます。「構造・材料系科目」は航空機や宇宙機、およびそのエンジンなどについて構造設計に必要なことを力学的な基礎から実用理論までを学びます。「推進系科目」は、各種エンジンに関する工学的な問題解決に欠かせない基礎および応用学理を習得します。

こうした総合的なカリキュラムの結果として卒業生たちの活躍が挙げられます。航空機ばかりでなく自動車のボディやエンジン設計者、また飛行制御機器技術者からそれを操作する宇宙飛行士まで、様々な分野に優秀な人材を輩出しています。

システム統合能力を発展させる教育

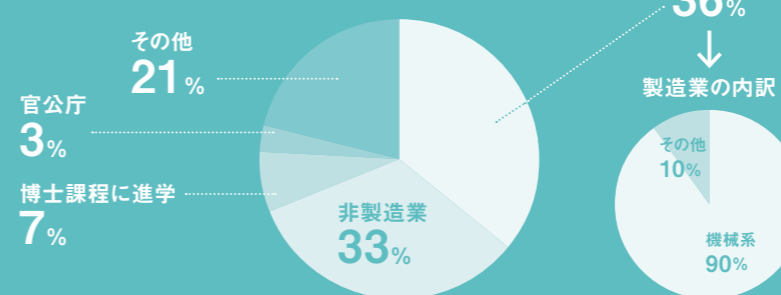


履修内容は大きく4つの専門分野に分けられる。最終的には、専門分野をまたいで総合する形で、航空機・宇宙機・人工衛星・推進機といった先進的ハードウェアを意識し創造する力が身につく。つまり、システム統合能力を発展させるための学びができる。

修士課程修了後の進路

修士課程を修了後に、JAXA(宇宙航空研究開発機構)などの官公庁、三菱重工業や全日本空輸といった民間企業への就職が多い。そのうち、航空宇宙関係の業務に就く人は全体の約20~30%を占めている。この他、自動車や電機系、情報系といった他分野に進んだ卒業生がいる。最先端の研究に触れる機会が多く、企業ニーズが高い専攻と見られている。

※グラフは平成27年度の航空宇宙工学専攻・修士課程修了者の進路



主な就職先
JAXA(宇宙航空研究開発機構)、三菱重工業、トヨタ自動車、IHI、日産自動車、経済産業省、全日本空輸、三菱電機、特許庁ほか

「天空への夢」を実現する 航空機・エンジン・人工衛星の研究

航空宇宙工学科では、3年生の前半までは幅広く学び、後半からは2つのコースに分かれます。空気力学、構造力学、航空機力学および制御に関して学ぶ「航空宇宙システム学コース」と航空機用のエンジンや宇宙機の打ち上げから惑星間航行に必要な推進装置などを学ぶ「航空宇宙推進学コース」です。春休みには航空宇宙メーカーや宇宙センター(種子島)、内之浦ロケット打ち上げ場への見学があります。こうした学びは、4年生の卒業設計時に航空機・エンジン・人工衛星を選ぶためのきっかけであり、近い将来に、技術者もしくは研究者へと巣立つための基礎教育となっています。天空への夢を持った学生を歓迎します。

レーザーを使ったアルミナ還元で 月面長期滞在を可能にする

私がこの専攻を選んだワケ

Q 航空宇宙工学科を選んだ理由を教えてください。

A ロケットや人工衛星のニーズを熱心に見る子どもで、星空を眺めたいと思ったのは高校生の時。進路指導の先生から航空宇宙工学科を勧められました。小紫・小泉研究室を選んだのは、人工衛星の推進機について研究したいと思ったから。学部時代はロケットエンジンの設計に取り組み、宇宙に行くまでを学んだので、修士では、宇宙に行つてからのこと、つまり人工衛星について研究しようと思いました。

Q 現在の研究内容について詳しく解説してください。

A 酸化アルミニウムを、レーザーを使って還元する研究をしています。これは、宇宙に長期滞在するための手段の一つなのです。JAXA(宇宙航空研究開発機構)では、月面に基地をつくる計画を進めています。人類が月に長期滞在するためには酸素が必要で、それを地球から月に運ぶのは大変です。そこで、月に豊富にある酸化アルミニウムを、レーザーを使って酸素とアルミニウムに分解し、酸素は我々の呼吸に、アルミニウムはロケットや人工衛星を推進するための燃料に使うと考えました。燃焼によつて生成された酸化アルミニウムは、再度レーザーで還元すれば、エネルギー

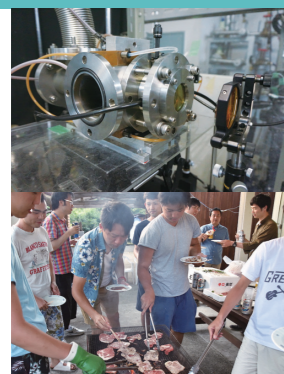
の備蓄として、半永久的に利用できます。これを、アルミニウム・エネルギーサイクルといい、そのための基礎研究を進めています。

Q 研究の面白みや醍醐味を感じるのとはどんな時ですか。

A 宇宙資源利用技術の開発という新たな分野を自分の手で切り拓いているという強い手応えを感じています。一見、ロケットや人工衛星とは無関係のように思えますが、実際に我々が宇宙に行き、長期滞在するためには、宇宙の資源を有効活用しなければなりません。そのための重要な研究の一つとして、大きなやりがいがあります。

Q 大学院や研究室の生活について教えてください。

A 院生31人、学部生7人が在籍する和気あいあいとした雰囲気の良い研究室です。週1回のゼミの発表会では、お互いの研究テーマについて活発な意見が飛び交います。小紫先生はもとより、先輩や同期からアドバイスをいただけるので、研究に行き詰つて1人で悩むということはありません。とても充実しています。



上/柏キャンパスの研究室にある集光レンズと真空チャンバー
下/研究室旅行は大人数でワイワイガヤガヤ

大学院工学系研究科
航空宇宙工学専攻 修士課程1年
小紫・小泉研究室
田中聖也さん

研究室紹介



小紫公也教授

[小紫・小泉研究室]

<http://www.al.t.u-tokyo.ac.jp/>

人類の宇宙進出には宇宙輸送システムの技術革新が不可欠です。マイクロ波ロケットや人工衛星の電気推進など、既存の化学ロケットの限界を超えるようなロケットや人工衛星の推進系の最先端研究を行っています。

誰でも宇宙旅行を楽しめて、長期滞在できる時代を目指す

未開拓技術の宝庫であり、産業としても大きな発展の可能性を持つ航空宇宙工学。航空宇宙工学科では「航空宇宙システム学コース」と「航空宇宙推進学コース」に分かれて勉強している。後者を代表する研究室の小紫・小泉研究室では、マイクロ波ロケットやワイヤレスエネルギー伝送などロケットと人工衛星に関する次世代の推進機を研究している。

「私が高校生だった1981年に、NASA(米国防空宇宙局)が初めてスペースシャトルを打ち上げました。これからは人類がより簡単に宇宙に行ける時代になると思い、強い衝撃を受けたのを今でもよく覚えています。スタンリー・キューブリック監督の映画『2001年宇宙の旅』の世界がいよいよ現実になるとワクワクしました。ところが、未だにそのような時代は訪れていません。それは、ロケットや人工衛星の推進機に性能の限界があるからです。私が長年にわたり、ロケットや人工衛星の革新的な推進機の研究開発に取り組んできたのは、高校時代に描いた夢を1日も早く実現させたいからなのです」。小紫公也教授は研究にかける熱い思いをこう語る。

ロケットも燃料から電気に移行する時代に

誰でも気軽に宇宙旅行を楽しみ、宇宙に長期滞在できるようにするには、宇宙推進システムに技術革新が必要だ。現在、ロケットの推進には、

「ちょうどホールスラストの研究を始めた頃と同じで、現在のところ、周囲からはSFの世界だと思われています。しかし、夢のある楽しみな研究テーマですので、ぜひとも実現させたいですね」と小紫教授。

ロケットの推進力を地上からワイヤレスで伝送

マイクロ波ロケット、レーザーロケットとは、その名の通り、マイクロ波やレーザーを使って推進するロケットのことだ。現在、マイクロ波ロケットに関しては、500キロワットのビームで、30ニュートンの推進力を実現しており、将来的には、例えば総重量約2万トンの太陽発電衛星の打ち上げを担うことを目指している。

そして、マイクロ波ロケット、レーザーロケットの中核となる技術の一つがワイヤレスエネルギー伝送・変換システムである。これは、地上からロケットに向かって、マイクロ波やレーザー光を発信し、ワイヤレスでエネルギーを供給しようというものだ。実現できれば、ロケットには推進用のエネルギーを一切搭載する必要がなくなるため、より多くの物資や人をロケットに載せることができるようになる。

「これが実現すれば、スペースコロニーなど大型宇宙構造物を建設する際に必要となる物資の輸送コストが劇的に減ります。また、宇宙旅行も燃料を心配することなく、より遠くまで行くことができるようになるでしょう」と小紫教授。

さらに、ワイヤレスエネルギー伝送・変換システムは、ロケットの推進だけ

燃料(化学エネルギー)が使われている。その重量はロケット全体の重量の90%以上にも及び、これでは、燃料を使つて燃料を輸送しているようなもの。したがって、宇宙に物資を輸送しようと思っても、1回のロケット発射で送ることができる物資はごくわずかだ。宇宙にホテルのような滞在施設を建設しようと思うと、莫大な費用と時間が必要となってしまふ。そこで、小紫教授が取り組んでいるのが、ロケットの推進力を化学エネルギーから電気エネルギーに替える研究だ。「30年以上にわたる研究がようやく

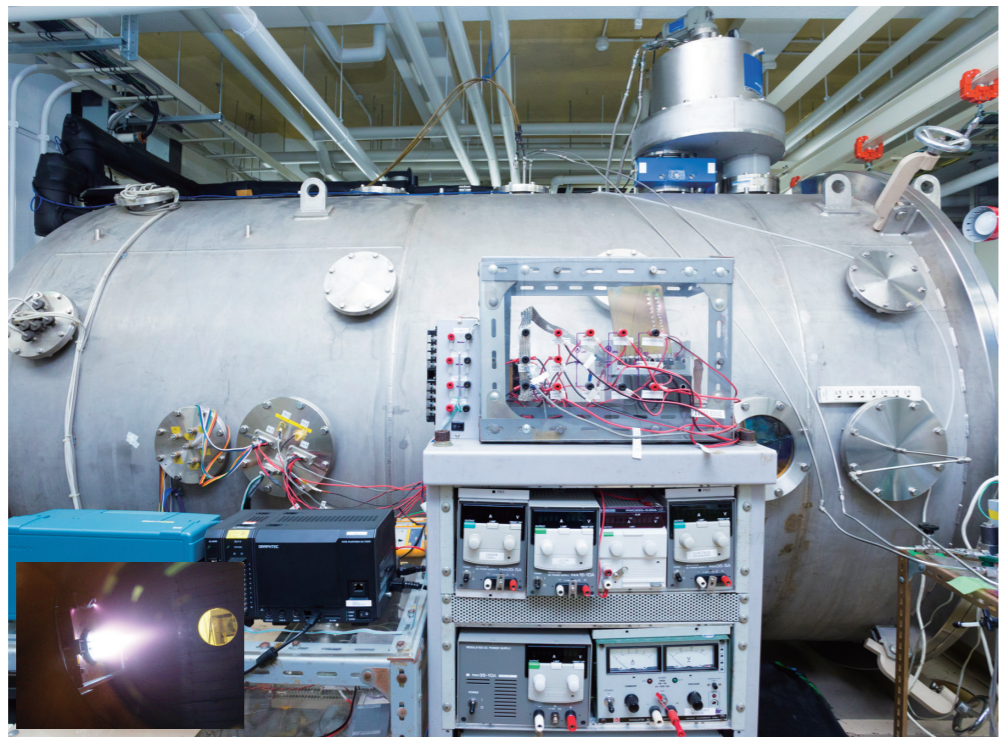
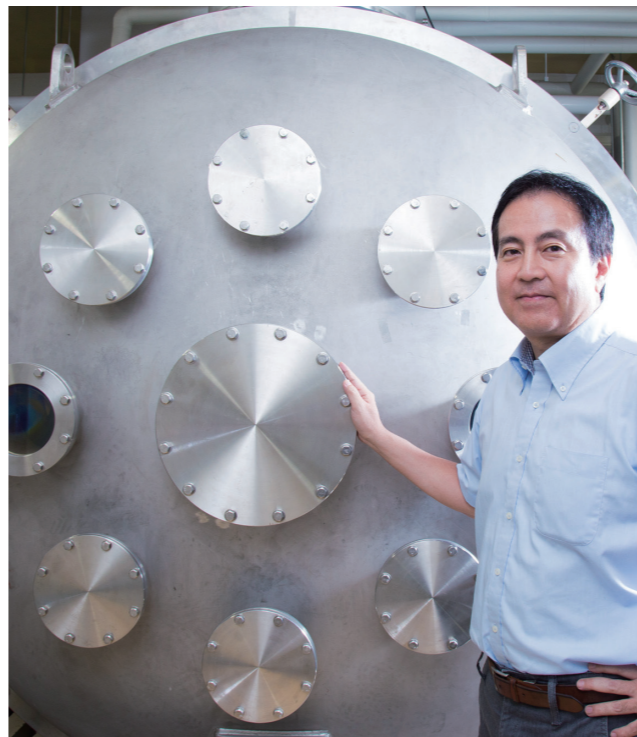
実を結び、自動車ガソリン車から電気自動車に移行するように、今まさに化学ロケットから電気ロケットへと移行しつつあります。電気ロケットに替わることで燃費は二気に1桁も向上しますので、今後、宇宙がより身近なものとなっていくはずですよ」と小紫教授は語る。

輸送にも使われる時代が訪れようとしている。

主流となる電気推進機は、「ホールスラスト」と呼ばれるもので、大きな推進力を持つホールスラストの研究開発に日本で先駆けて着手したのが小紫教授である。そのため、小紫・小泉研究室には、国内外からホールスラストについて研究したいという学生が数多くやってくる。

「現在は、25キロワットという大出力のホールスラストを日本の大学がオランダや日本などで実用化は目前です。一方、欧米でも実用化に向けた開発が急ピッチで進められています。大出力に加え、長寿命や安定性、低コストが求められる厳しい世界ですので、日欧米のうち、どの国のメーカーが勝ち残るかは分かりませんが、約30年前には夢物語、SFの世界と思われていたことが現実になるというのは、実に感慨深いものですね」

小紫教授は、さらに数十年前にも目を向けている。マイクロ波ロケットやレーザーロケット、ワイヤレスエネルギー伝送・変換システムの研究である。



でなく、電気自動車や体内に入り込んで患部を治療するマイクロロボットへのワイヤレス給電にも応用可能。実社会への波及効果も大きいという。

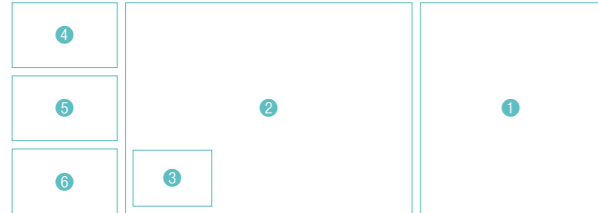
学生にはバイオニア精神で夢に向かって挑戦してほしい

そもそも小紫教授が航空宇宙工学の道を選んだ理由は、スペースシャトルに衝撃を受けたということもあったが、「最先端の研究をやっている」という印象が強かったからだという。

「大学に入学したばかりの頃、これから40年間、研究者人生を歩み続けるとした場合、常に色褪せない最先端の研究テーマを選びたいと強く思いました。それが、航空宇宙工学だったのです」と小紫教授は振り返る。

現在、学部では、ロケットの推進に関する講義を担当している小紫教授。ここでは、既存の化学ロケットについて、最高性能を引き出す液体燃料の混合比や人工衛星の推進機に関する設計方法などを教えている。しかし、化学推進には限界があり、既存のロケット技術の延長では、「2001年宇宙の旅」のような世界を手に入れることができないのは既述の通りだ。

「学生の皆さんには、たとえSFの世界の話だと言われようとも、バイオニア精神を持って、自分がイノベーションを起こすぞという意気込みで、研究に取り組んでほしいと願っています。特に、大学院は学部とは違って自由に研究を楽しむことができる場。ぜひ広い視野で世界を相手に、夢の実現に向けチャレンジしてほしいですね」と小紫教授は語る。



- 1 革新的な推進機の研究を行っている小紫公也教授
- 2 日本でも有数の巨大な真空チャンバー。宇宙は真空のため、この中でホールスラストに関する各種実験を行っている
- 3 数十年先の実用化を見据えたマイクロ波ロケットやレーザーロケットの研究も
- 4 ホールスラスト作動の様子
- 5
- 6

※破線の上がS1、下がS2

3年生の時間割例「S1S2」

	月	火	水	木	金
1限	機械運動学		アクチュエータ工学 電子回路工学		連続体力学応用 ライフサイクル工学
2限	制御工学I	センサ工学 数理計画と最適化I	数学2F	画像処理工学	設計学 数理計画と最適化I
3限	光工学		精密数理II-1	プログラミング応用I	(S1)精密 加工学I (S2)数理計画と 最適化II(演習)
4限	生体・生命概論	精密工学実践演習	精密数理II-2	プログラミング応用II	(S2)精密 計測工学I
5限					
6限			精密環境学	精密工学倫理	

精密工学科のカリキュラムの特色は、少人数制のグループで様々なテーマに取り組むプロジェクト演習。問題設定、解決法、実験を通して、主体的に実践力を身につけることができる。こうした経験を積みながら、プロジェクトマネジメントやプレゼンテーションにも磨きをかけていく。

ハードとソフトの両方を学んだ卒業生の大半は大学院進学後に就職する傾向にあります。精密・電機、自動車・機械関連などのメーカーのほか、情報・通信、コンサルティングや金融などサービス業界に進む学生も少なくありません。

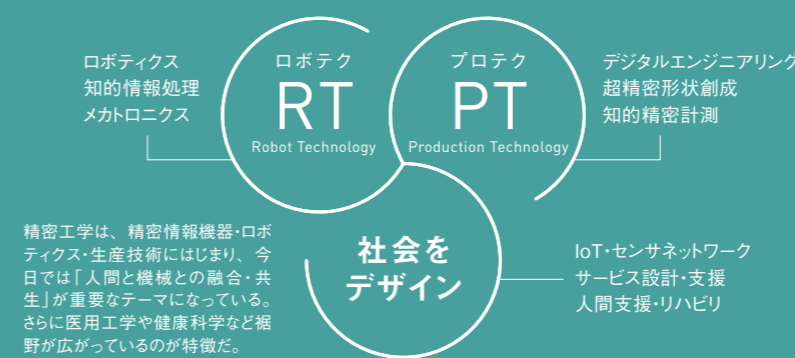
こうした学びや経験に加え、優れたエンジニアになるには、コンピュータだけでなく実物に触れることが大切と考えています。毎年多くの学生にとって「知識が頭の中で構造化されていく」ことを実感できる演習になっています。

カリキュラムの特徴は、2年生の後半から3年生にかけての専門科目では、基礎工学の学修を踏まえ、豊富な演習を交えて領域工学の知識と方法論を徹底的に習得します。3年生夏休みのインターンシップ、そして講義や工場見学を経て4年生進級と同時に研究室に配属され、1年間かけて卒業研究に取り組めます。

近年「ロボテック(Robot Technology)」と「プロテック(Production Technology)」は、未来を変える原動力ともいわれています。いずれも精密工学が先頭に立って切り拓き、互いに深く結びつきながら発展してきた関連の深い技術領域です。精密工学科では、その基礎から応用までをしっかりと身につける専門教育を行っており、システムの設計から、それを動かすソフトウェア、さらには社会への実装までを広く深く学ぶことができます。

豊富な就職実績を裏付ける基礎・最先端につながる研究

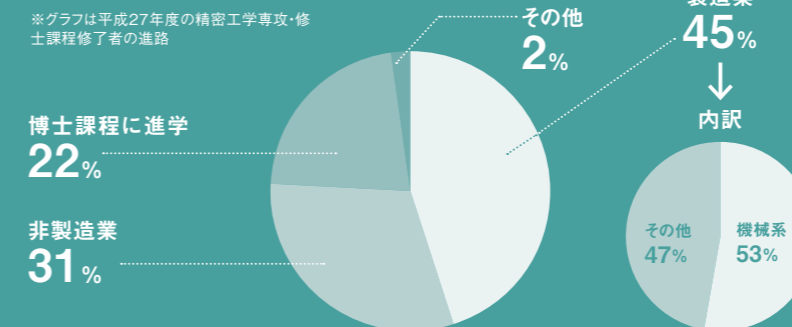
ひろがる精密工学科のフィールド



精密工学は、精密情報機器・ロボティクス・生産技術にはじまり、今日では「人間と機械との融合・共生」が重要なテーマになっている。さらに医用工学や健康科学など裾野が広がっているのが特徴だ。

修士課程修了後の進路

材料、加工、機械、電気、システムなど幅広い学びを経て社会に出るので、就職実績も幅広い。産業基盤を支える先端テクノロジーを研究対象に発展してきた工学領域であり、企業ニーズが高い。精密・電機、自動車・機械関連のメーカーを中心に、情報・通信やシンクタンク・コンサルタントといった業界からの求人も増えている。



主な就職先

ファナック、日立製作所、三菱電機、トヨタ自動車、デンソー、コマツ、新日鐵住金、東レ、富士フィルム、JR東日本、東京ガス、NTT東日本、ヤフー、日本IBM、アクセンチュア、リクルートホールディングス、電通、産業技術総合研究所、防衛省ほか

創造的な研究活動を通じて人と機械の未来をデザインしよう

精密工学は「産業基盤を支える先端テクノロジー」を対象として発展してきた工学領域です。例を挙げると、精密情報機器、ロボティクス、生産技術。こうした分野に加え、今日では、「人間と機械の融合・共生」や「生体」「環境」関連の分野など、ますます裾野が広がっており、社会をデザインする学問へと変わりつつあるのが特徴となっています。こうした時代の要請に応え、機械物理・情報数理・計測制御という「基礎工学」を土台に、精密工学の柱であるメカトロニクス・設計情報・生産という3分野を学びます。加えて少人数制のプロジェクト演習を通して、実践力を身につけることができます。

自分が好きなソフトウェア開発でものづくりに貢献していきたい

私がこの専攻を選んだワケ

Q 精密工学科を選んだ理由を教えてください。

A 子どもの頃から手を動かしてものをつくるのが好きで、プログラミング教室に通ったり、コンピュータの歴史を見に博物館に行ったりしていたこともあり、悩むことなく工学部を選択しました。精密工学科は、ものづくりからロボット、バイオメディカルまで幅広い分野を扱っていることを知り、そこに引かれました。学びながら、自分に合った研究テーマが見つかるのではないかと考えたのです。

Q 修士課程ではどのような研究に取り組んでいますか？

A 今は企業との共同研究の一環で、CTスキャン装置を使って自動車のボディに使われている金属板をスキャンし、3Dデータとしてコンピュータに読み込み、分析する作業をしています。そのためアルゴリズムの提案が、私の主な研究内容です。CTスキャンは医療用ではなく、学内にあるX線の強度がより高い産業用を使っています。企業からのリクエストは、溶接された金属板をデータ上で分離すること。CTスキャンを使えば組み上がった製品を壊すことなく部品の検査をすることができます。

Q 研究活動の面白みやりがいを感じる時とは？

A ソフトウェア開発に当たり、私

Q 大学院で発見したことや学部との違いは何ですか？

A インターンシップでソフトウェア会社に行くことができ、新しい刺激と自分の研究に対する意欲がものすごく上がりました。そこで会うことができたエンジニアの方々の知識の豊富さ、生き生きと働いている姿に素直に感動しました。自分の進路や研究と向き合う時間が持てるのは大学院進学の特長の一つです。

Q 今後の進路と将来の目標を聞かせてください。

A コンピューターに触れている時が一番楽しいので、修士課程修了後はソフトウェア開発の腕を生かせるIT系の企業に就職し、ものづくりの面で、世の中に貢献していきたいと思っています。



上/X線の強度が強い産業用のCTスキャンで金属板の寸法を測定
下/自由な雰囲気が魅力の鈴木・大竹研究室。2017年は親睦旅行で日光へ

大学院工学系研究科
精密工学専攻 修士課程1年
鈴木・大竹研究室
坂部直哉さん



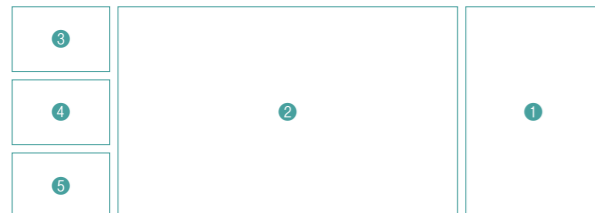
研究室紹介

【鈴木・大竹研究室】

<http://www.den.t.u-tokyo.ac.jp/>

コンピューター性能の向上に加え、3Dスキャナー、3Dプリンターの小型化、低価格化が進む中、これらを使って精密機械部品などから高精度の3Dデータを作成し解析する設計支援ソフトウェアの開発で、ものづくりの高度化を目指しています。

大竹豊准教授



- ① 開発したソフトで、エンジンを分解。3Dデータは部品ごとに色分けして可視化したり、精度よく寸法を評価できる(現物の提供：ヤマハ発動機)
- ② コンピューターサイエンスが専門でソフトウェア開発が得意な大竹豊准教授
- ③ 3Dスキャンした部品形状を基にして、力を与えた際の変形・応力をシミュレーションし、結果を3Dプリントした
- ④ 実物を3Dスキャナーでスキャンしたデータを基に3Dプリンターで10倍に出力したクロカタゾウムシ
- ⑤ やる気があり実用志向の高い学生求む

現物をベースとしたデジタル技術でものづくりの高度化に貢献

精密工学とは、ロボティクス、生産技術、医用工学などの様々な応用先を持ち「産業基盤を支える先端技術」を対象とする工学領域で、精度良く測る、作る、操る、計算することを武器としている。鈴木・大竹研究室では、精密機械部品の製造に不可欠な3D・CADなどのソフトウェア開発で、ものづくりの高度化、高精度化に貢献している。

実際の機械部品を高精度で解析するソフトを開発

今や、ものづくりに欠かせない3D CAD (Computer-Aided Design)。コンピューターによる設計支援ツールである。近年、コンピューター性能の飛躍的な向上や、3Dスキャナー、3Dプリンターの小型化、低価格化により、さらなる発展を続けている。

そんな中、自動車や飛行機に搭載する精密機械部品の製造に、独自に開発した設計支援ソフトで貢献しようというのが、鈴木・大竹研究室の大竹豊准教授だ。

「製造業の分野ではこれまで、3D CADで作成した設計を基に機械部品を製造する流れが主であり、製造した結果を活かして設計の高度化にうまくつなげることができていませんでした。それに対し、私の研究室では、実際に製造した機械部品を基に、3Dスキャナーを使って3Dデータをつくり、それを高精度で解析できる設計支援ソフトを開発しています。これにより、精密機械部品のさらなる

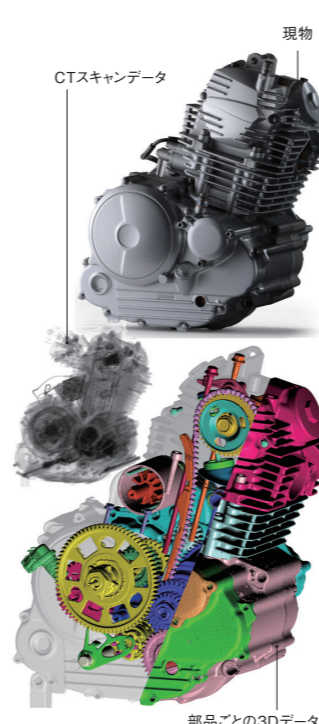
高性能化や製造効率の向上に貢献したいと考えています」と大竹准教授は語る。実現できる精度は手のひらサイズのものであれば数マイクロメートル(マイクロは100万分の1)だ。

3D・CADでいくら精密に設計しても、製造されてきた実物が、3D・CADデータ通り、高精度に仕上がっていないならば、元も子もない。大竹准教授は、そのために実世界とコンピューターの世界が融合したエンジニアリング技術を確立したいと語る。

そこで、現在取り組んでいるのが、光学式3Dスキャナーに加え、CTスキャン装置を使った3Dデータの設計支援ソフトの開発である。

CTで機器の内部もスキャン3Dデータを作成

3Dスキャナーとは、対象物の凹凸を感じて3Dデータとして取り込むための装置だ。光学式3Dスキャナーでは、対象物の表面にレーザー光などを照射しながら、3次元の座標データを取得していく。その取得したデータを「ポリゴン(多角形データ)」と呼ばれるものに変換して3Dデータをつくらせる。一方、CTスキャン装置のCTとはコンピューター断層撮影法とも呼ばれるもので、X線などを使って、対象物の内部の構造や材質を調べられる。病院では、体内に



部品ごとの3Dデータ

潜む病巣の発見などに利用されているほか、産業用としては、物質の内部の破壊や劣化を発見するための非破壊検査装置として活用されている。大竹准教授は、このCTスキャン装置を使って自動車のエンジンなどをスキャンし、得られた3Dデータを、設計支援ソフトを使って解析する研究に取り組んでいる。

「この設計支援ソフトを使えば、エンジンを構成する各部品の3Dデータを部品ごとに取り出すことができます。そのため、例えば、歯車同士のかみ合わせは設計通りか、部品間に不要な隙間はないか、想定外の摩擦は発生する恐れがないかなどを詳細に調べることができます。さらに、ストレスが掛かっている箇所や変形している箇所には色を変えて表示できるようにしたい。実現すれば、改良すべき箇所が分かりやすく、製品の完成までに掛かる期間の短縮にもつながります」と大竹准教授は語る。

現在は自動車部品メーカーなどからの依頼を受けて機械部品の性能を評価したり、希望に応じてライセン

契約を結んだ上でメーカーに設計支援ソフトを提供したりしている。

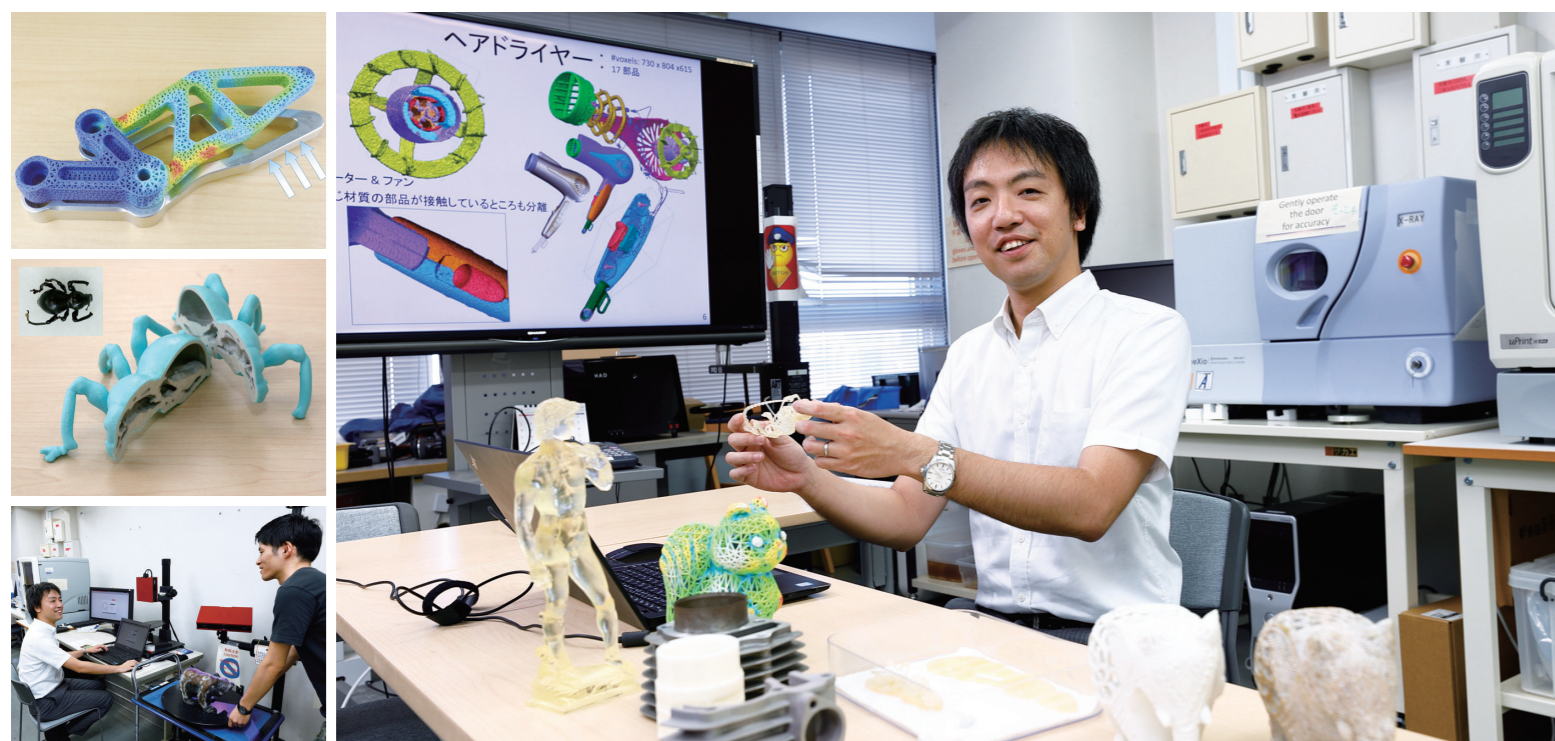
「メーカーの方々に、『使いやすい』『製品の性能向上に役立っている』『何百万円もするソフトでできなかったことが大竹先生のソフトを使ったら簡単にできた』と言われたときが、一番うれしいですね。大きなやりがいを感じます」と大竹准教授。

さらに最近、海外からも大きなオファーが舞い込んできた。ドイツの大手自動車メーカーBMWから自動車を1台丸ごとCTスキャン装置でスキャンした3Dデータを、大竹准教授が開発した設計支援ソフトを使って解析したいと依頼がきたのだ。

「ドイツには自動車を丸ごとスキャンできる世界最大規模のCTスキャン装置があります。BMWもそれを使って自動車をスキャンしたものの、データ量が巨大で扱うことができるソフトがないというのです。私の設計支援ソフトは、データ量が大きくても、高速処理できる工夫を施してあるので、要望に応えることができると思います。依頼を受けました」と大竹准教授。

近年、自動車は、地球温暖化防止や省エネルギーの観点から、ボディや各種搭載部品の軽量化と高強度化の両立が強く求められている。そのため、高強度は保ちつつ、素材を変えたり、金属部品の厚みを薄くしたいといった要望が高まっており、多くの自動車会社がそのニーズに応えるために動きだしたのだ。

加えて、最近では小型で安価な3Dプリンターが市販されていることから、大竹准教授は、設計支援ソフトで作成、解析した3Dデータの3Dプリン



3Dプリンターに必要なデータ作成をより簡単に

例えば、ストレスが掛かっている箇所や変形している箇所を色付けた3Dデータを、3Dプリンターで出力すれば、実際に手に取って確認することができる。また、ヘアドライヤーのような手に持つて使う製品の場合、どの部分を重くするかによって、使い勝手が異なる。そんな場合でも、大竹准教授の設計支援ソフトを使えば、コンピューター上で設定するだけで簡単に、指定した通りの重さの模型を3Dプリンターで出力できるという。

さらに大竹准教授はこう加える。「3Dプリンターが身近なものになり、誰でも手軽にものづくりできるようになりましたが、一方で、そのための3Dデータの作成技術は特殊で、誰でも使えるものではありません。そのため、私は現在の設計支援ソフトを基に、誰でも3Dデータの作成が思うようにできるようなソフトの開発を進めていきたいと思っています」

工学出身ではなかった大竹准教授がものづくりの楽しさや重要性を実感したのは、精密工学科に来てからだったという。そんな大竹准教授が最後に、進路に迷っている学生に向けてこう語ってくれた。「精密工学科はものづくりからロボット、バイオメダイカルまで幅広い分野を扱っており、自由な発想で研究できる環境にあります。ですから、きっと自分に合った研究テーマが見つかると思いますよ」

※S1とS2を通して実施

3年生の時間割例「S1S2」

	月	火	水	木	金
1限	制御工学第一	コンピュータアーキテクチャ	半導体デバイス工学	ネットワーク工学概論	電子回路I
2限	アルゴリズム	信号処理工学	数学2G	電気回路理論第二	ハードウェア設計論
3限	実験・演習第一	実験・演習第一	統計的機械学習	実験・演習第一	(工場見学)
4限			電磁波工学		
5限					
6限			特許法	電気電子情報工学倫理	

電子情報工学科のカリキュラムの特色は、情報系ながらもスマートフォンや電子機器のハードについても学べる点。というも、3年のS1S2までは、電気電子工学科とも共通性の高い基礎科目を履修することができるから。実験や演習を通じてアルゴリズムやプログラミングについても学ぶことができる。

こうした活躍を下支えしているのは約6000人を誇る卒業生たち。後輩のために幅広く豊富な進路を開拓しているのみならず、一人ひとりが得意分野で重要な役割を果たしているからです。

社会と密接な関係のある電子情報工学科の研究や成果は、しばしばメディアなどを通じて取り上げられています。例えば、コンピューター将棋の「激指」やコンピューター麻雀システム「爆打」などは、テレビなどでも紹介されています。

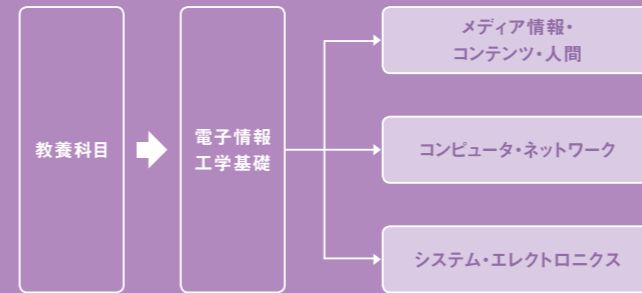
電子情報工学科とは緊密に連携しており、環境・エネルギー、ナノ物理、電子・光システムなど、幅広い分野の学問を身につけることができます。

例えば3年生のS1S2までは、共通性の高い基礎科目を履修します。実験・演習を通じてアルゴリズムやプログラミングを基礎から学びます。その後3年A1A2からは、より専門的な履修プランを「メディア情報・コンテンツ人間」「コンピュータネットワーク」「システム・エレクトロニクス」から選択します。

電子情報工学科では、コンピューティング技術、情報通信技術、メディアコンテンツ技術について、その根幹からソフト/ハード両面で体系的に学ぶことができます。計算知能、「ミニニケーション」、メディアデザインという分野を内包している研究領域なので、社会や文化に変革をもたらす、新しい時代を切り開いてきた学科ともいえます。

人を知り、コンピュータを考えた両者のかけ橋をデザインする

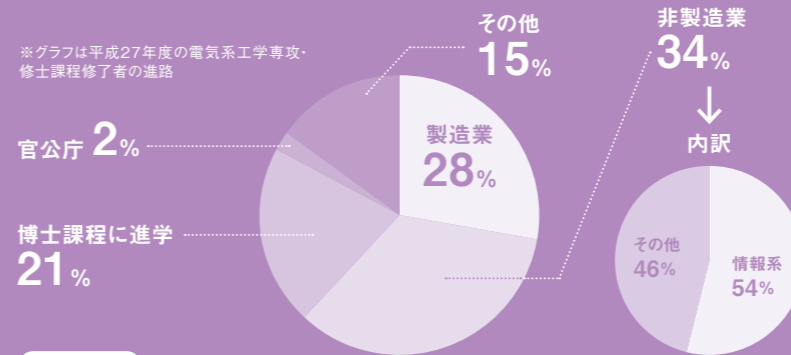
「情報」を基盤にした広範囲な教育



「目に見えない電子・情報の世界をデザインし、制御する」「広範な知識を統合し、これまでにないアイデアを創る」「興味ある分野、得意分野をとことん伸ばす」ことを教育の理念に掲げている。

修士課程修了後の進路

約8割を超える学生が修士課程に進学する。約6000人の卒業生が広範な分野で活躍していることもあり、この5年間に限っても200を超える企業や研究機関に学生が就職している。



※グラフは平成27年度の電気系工学専攻・修士課程修了者の進路

主な就職先

ソニー、日立製作所、富士通、NTTデータ、NTTドコモ、KDDI、ソフトバンク、Google、楽天、ヤフー、任天堂、JAXA(宇宙航空研究開発機構)、産業技術総合研究所ほか

計算知能からメディアデザインまで
情報分野で世界をリード

情報通信産業(メディア、インターネット、モバイル、ソーシャル、人工知能など)は、実質GDP成長の約3分の1をけん引する日本最大の産業です。活躍できるフィールドが幅広く、産業界からの人材ニーズが高いのも特徴です。電子・情報の世界をデザインし制御する人材をはじめ、知識を統合しアイデアを創る人材、情報系でありながら、スマホや電子機器のハードまで学ぶことができるのも学生に人気です。



上/3Dプリンターなどの新技術で従来にはないものの印刷に挑戦
下/オーストリアの科学芸術祭で薄く柔軟なモーターを用いたパビリオンを展示

大学院情報理工学系研究科
電子情報学専攻 博士課程1年
川原研究室
鳴海紘也さん

現実世界でも 欲しい物をコピー&ペーストしたい

私がこの専攻を選んだワケ

Q 文科一類から工学部に進学したのはなぜですか?

A 大学受験時には将来やりたいことが見つからず、文科一類に所属して漠然と過ごしていました。しかし、学部2年生の時に自分の手でものづくりをしてみたいと思い、文系から理系に転向して工学部電子情報工学科に進学しました。現在は大学院情報理工学系研究科の博士課程に在籍しています。所属する川原研究室を選んだ理由は、従来の研究の常識にとらわれない自由な雰囲気が入ったからです。

Q 現在どのような研究をしていますか?

A 私の研究は、市販のプリンターで導電性インクを印刷し、電気回路やセンサー、アンテナなどを試作する技術を出発点としています。学部4年では、導電性インクで描いた配線を消すペンなどを開発し、川原研の成果活用を推進するベンチャー企業で販売していただきました。その後、もしロボットを動かすアクチュエーターが簡単に印刷できれば、従来の印刷技術と組み合わせ、通信や給電、センシングを行える紙のロボットがつけられると考えました。そこで、後輩の中原健一君や新山龍馬講師と共同で、印刷できる薄く柔軟なモーターを開発しました。プラスチック製の袋に入った液体を、印刷したヒータ

ーで気化させて膨らませる仕組みです。これを銀ナノインク回路と組み合わせると、気温や人間の接触に応じて羽ばたくチョウなど簡単につくれます。

Q 将来の夢を聞かせてください。

A 電子情報工学科でモーターや食べ物をつくるという、電子や情報はやらないの不思議に思いますが、もちろんやるのですが、この学科はビット(情報)だけでなくアトム(物質)も対象にしています。私の研究する印刷によるものづくりは、パソコンの中だけではなく現実世界でもコピー&ペーストを実現するという意味で、ビットとアトムの両面に取り組みものです。将来はいつでもどこでも誰でも欲しい物をコピーできる社会になればいいと思っています。



川原圭博准教授

ユビキタス社会の実現に向けたコンピューティングを研究しています。センサー、無線給電、アクチュエーターなどの技術を組み合わせて、社会に役立つシステムを研究開発していきたいと考えています。

ユビキタス社会の実現に向け、 センサーやソフトロボットを開発

コンピューティング、通信、コンテンツの技術をソフトウェアとハードウェアの両面で学ぶ電子情報工学科。川原研究室では、ユビキタス・コンピューティングを研究している。プリンタブル・エレクトロニクス、空気圧を使ったアクチュエーターなどの先端技術を活用し、実際の社会問題解決に貢献する情報システムの実現に注力している。

スマートフォンなどの携帯情報端末はもとより、家電、自動車などあらゆるものがインターネットにつながり、自分が求める情報が必要ときに必要な場所で受けられるユビキタス社会。現在はIoT(モノのインターネット)社会という言葉が一般化している。そんなユビキタス社会の実現に向けて情報通信システム技術を研究しているのが、川原圭博准教授だ。

インクジェットプリンターで 誰でも電子回路が作れる

「ユビキタス・コンピューティングを研究しようと思ったのは、大学1年生の1996年のこと。米国のパロアルト研究所の技術主任で、後にユビキタス・コンピューティングの祖といわれたマーク・ワイザー氏が提唱するユビキタス社会の概念に触発され、強く興味を引かれたのがきっかけです」と川原准教授は振り返る。

ユビキタス社会を実現する上でキーデバイスとなるのが、環境から情報を収集し、ネットワークに送信する様々となる。現在は農業センサーシステムとして完成させ、2015年1月に設立された新たなベンチャー企業SenSprout(センズプラウト)が研究成果の事業化へ名乗りを上げた。現在、川原准教授は技術アドバイザーとして、IoTを使った農業の支援を行っている。

万有情報網プロジェクトで ソフトロボットを開発研究

一方、2015年には科学技術振興機構(JST)の戦略的創造研究推進事業総括実施型研究(ERATO)に採択され、2015年度から川原准教授を研究統括として「ERATO川原万有情報網プロジェクト」が5年半の計画で実施されることとなった。ERATO川原万有情報網プロジェクトでは、センサーを使ったシステムのほか、様々なテーマに取り組んでいる。その一つとして、「ソフトロボット」の開発を行っている。

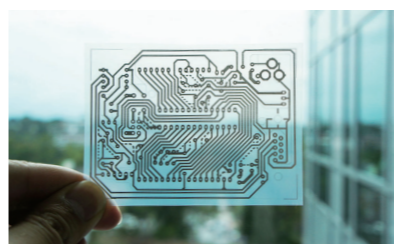
「プリンタブル・エレクトロニクスでセンサーだけでなくアクチュエーターも作成することができれば、その柔らかさを生かすことで人とぶつかったりも傷つけないソフトロボットができて考えました」と川原准教授。

そこで、研究開発チームが注目したのが、空気圧を使ったアクチュエーターだった。これは空気圧によりアクチュエーターの体積を変えることで、ソフトロボットの動きを制御しようという仕組みだ。

既存のアクチュエーターは空気圧を変えるのにモーターを使っていた。それに対し、川原准教授らの研究開発

なセンサーだ。川原准教授が最初に取り組んだのは、センサーの開発研究だった。

しかし、センサーを様々なものに搭載したとしても、電池が切れて稼働しなくなったのでは使えない。次に川原准教授が取り組んだのは無線給電。これは、無線を使って電気を供給する技術である。



一方で、センサーを多くのものや場所に設置するには、できる限り安価で簡単につくる必要がある。そこで川原准教授は、銀ナノインクという特殊なインクを使って、電子回路やセンサーをつくるプリンタブル・エレクトロニクスの研究に着手した。

「銀ナノインクを使った電子回路の設計データをネットワークを介して送信すれば、誰でもプリンターで簡単にいろいろな電子デバイスが作れるようになります」と川原准教授。2014年1月には、この研究成果を活用したキットなどを販売するベンチャー企業、AGIC(現エレファンテック)が立ち上がった。

農業のIoT化を センサーで支援

さらに、川原准教授は、研究の応用例として農業への利用を考えた。現在、日本では少子高齢化により農業の担い手が減少傾向にある。一方で、農作物の育成、管理は農業従事者の勘と経験に頼っている部分が多い。それならば、センサーを使って、温度や水、肥料を管理すれば、高齢な農業従事者の負担を減らすことができる。開発したセンサーは安価なので単価の低い農作物であっても採算が

チームは、樹脂など軟らかいフィルムの中に低温で沸騰する液体を入れて封止し、それをヒーターで温めて気化させることで体積を制御しようと考えた。ヒーターは、銀ナノインクで描いた配線に電流を流すことで発熱させる仕組みだ。

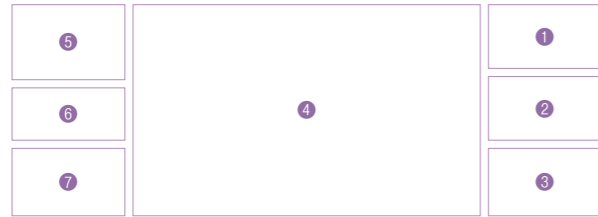
将来の様々な状況に 対応できる力を身につける

前ページで紹介した博士課程1年の鳴海紘也さんの蝶の形をしたソフトロボットは、応用例の一つだ。

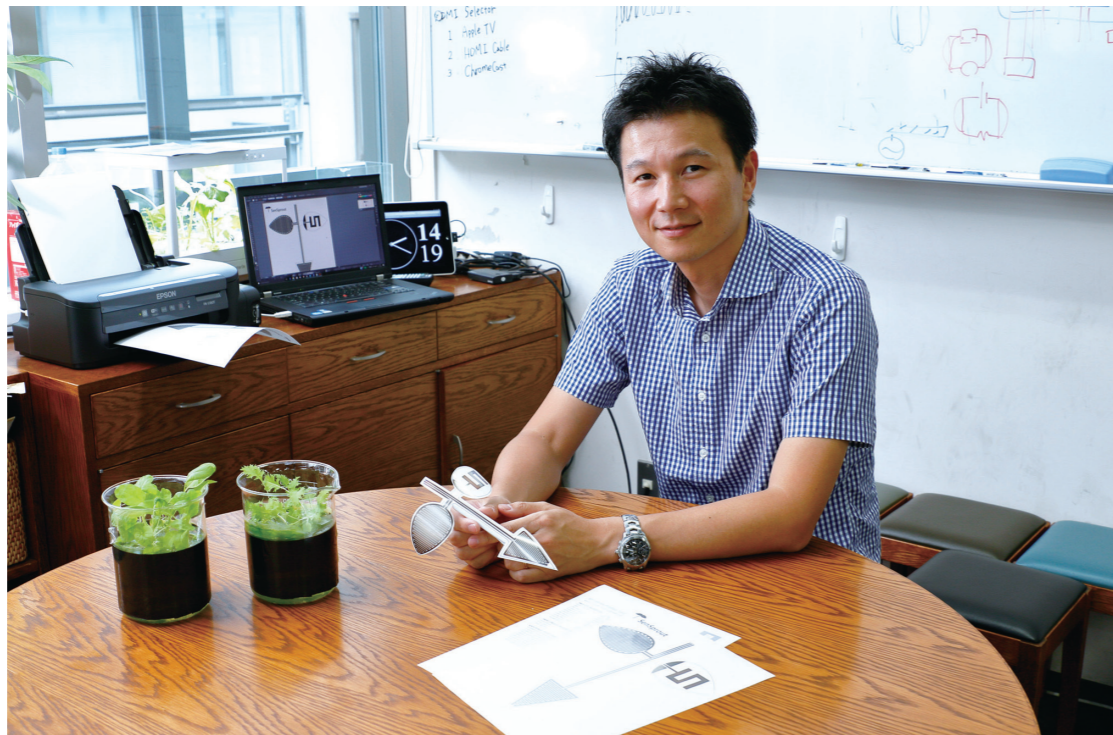
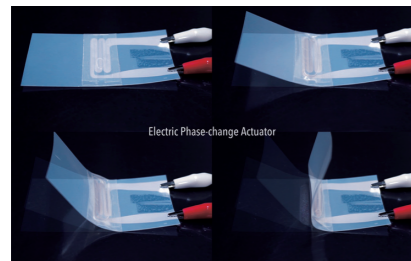
「新たなプリント技術やAI(人工知能)を活用すれば、既存の概念にとられないソフトロボットを実現できる余地があります。ドローンや車輪付きのロボットでは入っていない場所、例えば土の中、草むらの中で活躍するようなソフトロボットの開発を考えています」と川原准教授。

現在はプロジェクトに参加している慶應義塾大学の研究者など研究室内外のメンバーと共同で自由に発想を膨らませている段階だが、5年後、10年後には実現したいと川原准教授は意気込む。

「私たちの研究グループには、情報、電気、機械など複数の専門家がいます。センサー、無線給電、アクチュエーターなどいろいろな技術を組み合わせることで全体最適化を図り、社会に役立つシステムに仕上げていくデザイン力が私たちの強みだと考えています。今後も農業に限らず、様々な社会の課題やニーズに、ユビキタス・コンピューティングで貢献していきたいと思っています」と川原准教授は語る。



- 1 銀ナノインクを使ったプリンタブル・エレクトロニクスで作成した電子回路
- 2 ② インド農村部で実施した低価格土壌センシングシステムの実証実験
- 3 ③ 研究室での川原圭博准教授
- 4 ④ インクジェット印刷したタッチセンサーや配線パターンを統合したプリンタブル・ロボットの試作に向けた相転移アクチュエーター
- 5 ⑤ チョウ型のソフトロボット
- 6 ⑥ 楕円送電器と複数の受電器を用いた電界結合型無線給電システム
- 7



※S1とS2を通して実施

3年生の時間割例「S1S2」

	月	火	水	木	金
1限	制御工学第一	コンピュータアーキテクチャ	半導体デバイス工学	ネットワーク工学概論	電子回路I
2限	電気機器学基礎	電子物性基礎	数学2D	電気回路理論第二	ハードウェア設計論
3限	実験・演習第一	実験・演習第一		電磁波工学	実験・演習第一
4限					
5限					
6限			特許法	電気電子情報工学倫理	

電気電子工学科の特色は、物理系ながらもアルゴリズムやプログラミングが学べる点。というも、3年のS1S2までは、電子情報工学科とも共通性の高い基礎科目を履修することができる。ハードからソフトまで、最先端技術の基礎を切れ目なく学習できることが電気電子工学科の最大の魅力である。

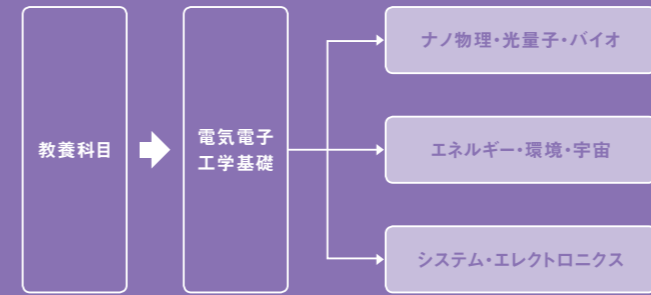
**ナノテクからAI、宇宙まで
世界の最先端を覗ける学科**

電気電子工学科では、次世代の科学技術や産業基盤を支える人材を育成しています。例えば、小惑星探査機「はやぶさ2」や国際宇宙ステーションの開発・運用など宇宙開発の様々な分野や電気自動車の開発でも、電気系工学専攻の教員や大学院生、卒業生が活躍しています。電気エネルギー輸送の大容量化、高効率化を可能とする世界最高110万ボルトの送電技術は、本学科の教員が取りまとめ、世界標準化を実現しました。また、人工知能、IoT、自動運転の中核をなす脳型LSIや最先端センシングデバイスの研究でも、本学科の教員が主導しています。

電気電子工学科と電子情報工学科は対象領域が重なり合っているため、当初履修できる科目のほとんどは共通です。専門分野で見ると「システム・エレクトロニクス」「ナノ物理・光子子バリオ」「エネルギー・環境・宇宙」といった広範囲な先端技術からテーマを選べます。特に新しいカリキュラムでは、最先端研究に接しながら、次世代技術を切り開く知識、時代の変化に適切できる応用力を学べるのが特徴です。

こうした学びの結果、先端テクノロジーを開発する世界のリーダーを育てるために「目に見えない電子、情報の世界をデザインし、制御する」「広範囲な知識を統合し、これまでにないアイデアを創る」「興味ある分野、得意分野を見つけてとことん伸ばす」というキーワードに沿った学びの機会をたくさん設けています。

「物理」を基盤にした広範囲な教育

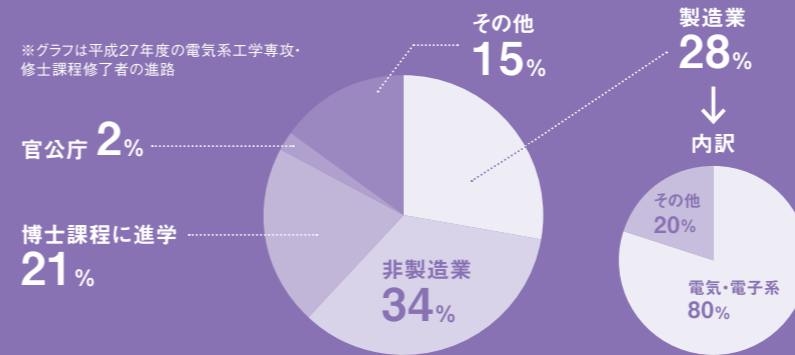


現代社会を担う科学技術の基礎から最先端テクノロジーまで学ぶことができる。広範囲なテクノロジーを学ぶことで、次世代の科学技術、産業基盤を支える人材の育成を狙っている。

修士課程修了後の進路

80%を超える学生が修士課程へ進学。修士課程修了後は約80%が電気・電子・情報産業へと就職していく。約6000人の卒業生が社会で活躍していることもあり、最近5年間に限っても200を超える企業や研究機関への就職実績がある。

※グラフは平成27年度の電気系工学専攻・修士課程修了者の進路



主な就職先

日立製作所、三菱電機、ファナック、JR東日本、三菱重工業、トヨタ自動車、日産自動車、JAXAほか

大学としては世界初の電気系専門学科として1873年に誕生したのが電気電子工学科です。歴史と伝統を継承し、常に時代を切り開く新しい概念や先端技術を生み出してきました。環境エネルギー、人工知能、ナノテクなど、様々なキーワードを核として発展し、電気電子工学科は常にそれらの改革の中心にいます。電磁気学・量子論を中心とした物理を基礎としながらも、電子情報工学科と連携することで、物理的側面と教理的側面を融合した教育を行っています。

地球環境から人工知能・ナノテクまで、
社会と人類の未来をデザインする



上／新しいトランジスタの製作は試行錯誤。期待していた成果が出せると喜びは大きい
下／2017年10月、研究室のメンバーと研究員の家族とともに栃木県・日光へ旅行に

大学院工学系研究科
電気系工学専攻 修士課程1年
高木・竹中研究室
高口遼太郎さん

Q 将来の夢を教えてください。
A 修士課程を修了したら、半導体関連の企業に就職したいと思っています。大学での研究にやりがいを感じていますが、企業では製品に近い研究や開発ができますし、自分が手掛けた製品が社会の役に立っていることがすぐ見えます。そこに魅力を感じています。自分にしかできない製品がいろいろなか場面で使われたらうれしいです。

Q 研究で行き詰まったらどう乗り越えますか。
A ひたすら手を動かして実験を重ね、研究室の先輩にも相談します。いろいろな手法を試した結果、期待していた成果が出たときはうれしかったですね。高木・竹中研究室は、学生の自主性を重んじ、自由に研究をさせてくれます。先生からも「どこがダメだったのかを考えて、解決方法を探ることが大切」と言われています。研究室での経験を通過して、自分で実践する力、自分で課題を見つける力は少しずつ身につけてきたかなと思っています。

つけないと思っています。

製品に近い領域でのものづくりを志向 うまくいかず試行錯誤も良い経験に

私がこの専攻を選んだワケ



Q 進学振り分けでは迷わずに決められましたか？
A ものづくりに関心がありましたので、実験を重視する工学部が私に向いていると思いました。研究室を選択するときも同様で、コミュニケーション系ではなく、実験をメインにしているところを選びました。高木・竹中研究室には、実際に半導体素子(トランジスタ)を製造するための装置や設備が整っています。様々な機器類を使って実験するのは、やはり大学の研究室だからこそ経験できることだと思います。

Q 現在の研究テーマについて教えてください。
A ゲルマニウム(Ge)を使ったトンネル効果トランジスタを研究しています。Geはシリコンよりもトンネル効果が大きいのですが、電流が流れ過ぎて信号の切り替えがうまくいかないという課題があります。理論的にはGe層を薄く加工すれば切り替えがうまくいくと考えられるので、ぜひ挑戦したいと思っています。

研究室紹介



高木信一教授

[高木・竹中研究室]

<http://www.mosfet.k.u-tokyo.ac.jp/>

LSIの性能向上に欠かせない半導体デバイスについて研究しています。Si基板上にGeやIII-V族半導体、グラフェンなどの異種半導体を集積化するなど、従来にはない手法に挑戦することで省電力LSIや光配線LSIを実現するのが目標です。

情報社会に欠かせない 超省電力トランジスタに挑む

電気電子工学科の各研究室では、学問としての基礎をpushしながら、最先端の製品に直接関わる研究を行っている。高木竹中研究室はLSIの性能向上を実現する半導体デバイスが研究テーマ。量子効果を利用したトンネルMOSFETなどの次世代トランジスタを開発している。半導体は国際的な競争が激しいが、だからこそ新しいものを世に送り出す好機といえる。

パソコンやスマートフォンのような情報通信機器はもろろんのこと、自動車、建築物、家電製品に至るまで、あらゆるところに半導体が使われている。今後は加速度的にIoT(モノのインターネット)が進展するといわれるが、はたして半導体はどこまで発展できるだろうか。

30年以上研究してもなお 新たな発見がある面白さ

インテルの共同創業者、ゴードン・ムーア氏は50年以上前に「半導体の集積度は18カ月で2倍になることを繰り返す」と予測した。ムーアの法則だ。これまでは法則通り、半導体素子(トランジスタ)は微細化することで指数的に進化してきたが、現在は物理的限界が見え始めている。つまり、半導体を発展させるには従来とは異なる観点が必要なのだ。

学生時代からこの分野の研究に取り組んできた高木信一教授は現状をこう説明する。

「情報社会で最も基礎的なハードウ

ーム、ヒ素などのIII-V族半導体が大きな電子移動度とトンネル確率を持つことから、次世代高性能MOSFETの材料として注目している。

理論や計算だけでなく 手を動かしながら考える

半導体の研究は適した材料を見つければよいものではない。理論上、最適な材料だとしても、物性によって集積加工が難しく、界面をコントロールできずに完成しないこともある。一方で、期待する結果が出なくても、配合や組み合わせる材料を変えて、うまくいくこともある。高木教授は、理論だけでなく、実際に手を動かしてトランジスタをつくり、実験で検証することを重視する。

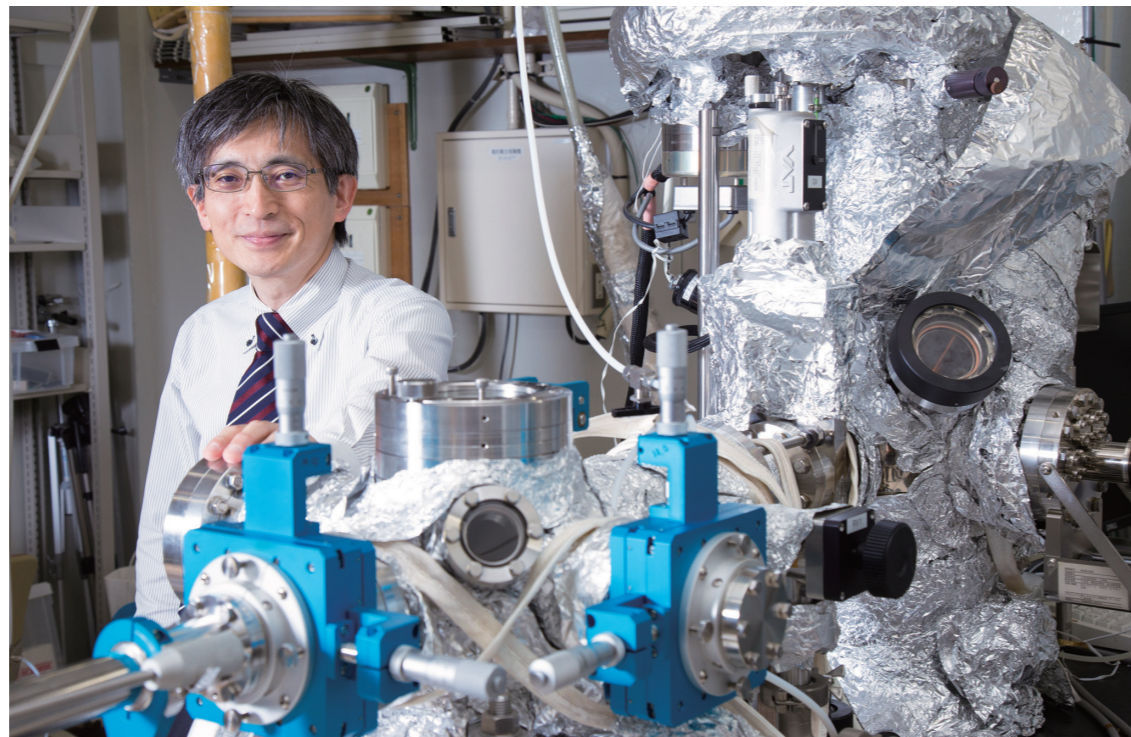
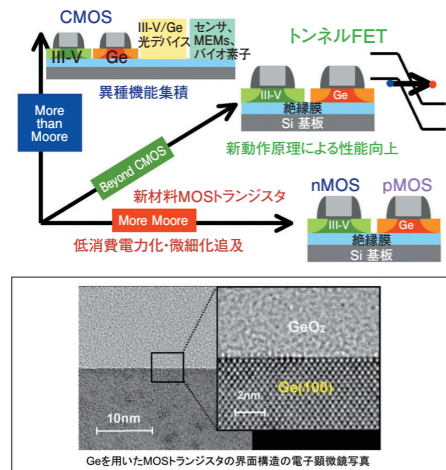
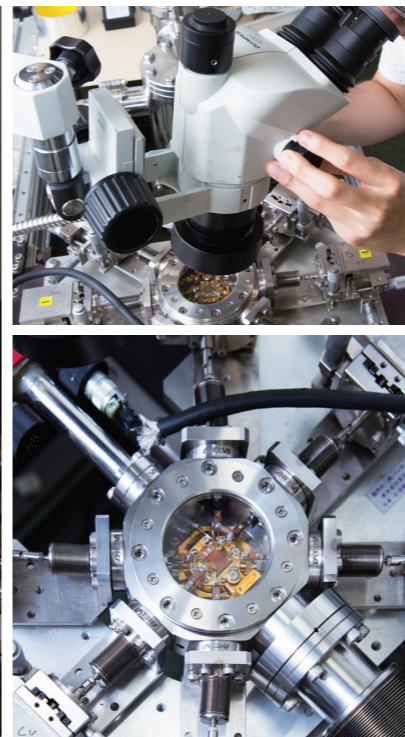
「トランジスタからLSI、ハードウェア、ソフトウェア、システムまで幅広くカバーする学問なのです。しかし現実には専門分野に分かれ、半導体だけでも、構造設計、シミュレーション、製造工程、評価などに細分化されています。しかし自分の担当分野しか見えていないと、新しい発想は生まれにくい。そこで研究室では、トランジスタをつくり上げるまで、1人で全工程を手掛けられるように指導しています」

学生は研究テーマに対して、どのような材料が考えられ、どういった構造が適し、どういった製造工程が考えられるのか、様々な角度から検討を重ねていく。方向性が定まったら試作し、性能を評価する。1つの製造工程に数時間を要することもあり、失敗す

エアである大規模集積回路(LSI)は多くの場面で使われ、IoTの新たなアイデアもたくさんある一方で、電力消費量が大きな課題になっています。トランジスタが高機能化し、省電力で動くことができれば、今までにない製品にも活用され、社会を大きく変えられるかもしれません。これまでトランジスタは主に微細化で発展してきましたが、材料や構造、回路設計に至るまで、あらゆる側面から高機能化に向けた研究を重ねる必要があると考えます」

高木教授は学生時代から一貫して、MOSトランジスタ(MOSFET)の研究に取り組んできた。博士課程修了後に就職した企業でもMOSFETの研究を継続し、2年間のスタンフォード大学留学を経て、2003年から自身が育った研究室を受け継ぐに至る。

「30年以上研究してきた経験を生かせる半面、今なお分からないことがあるところが面白いんです。トランジスタは電圧を制御することでオンオフを切り替えます。MOSFETの場



合は金属と半導体と絶縁膜という異なる材料が触れ合う界面で電子が動くことで機能を発揮します。材料を変えれば、界面の挙動も変わりますから、界面はMOSFETの心臓部なのです」

トンネル効果を利用した MOSFETを開発研究

MOSFETはオン・オフの切り替えに定以上の電圧を必要として省電力化を阻んでいたが、近年は量子効果によるトンネルMOSFETが期待されている。トンネルMOSFETは、電子が古典的には越えられなかったエネルギー障壁を量子効果で乗り越える際のトンネル電流を利用して低電圧化を図れるのだ。

高木教授は高いトンネル効果を得られる材料として、シリコン(Si)に応力を加えたはずみSiと、ゲルマニウム(Ge)の組み合わせに着目。2014年にはオン・オフの電流比の世界最高値を出す新型トランジスタの開発に成功した。また、インジウム、ガリ

れば何度でも繰り返す。構想開始から評価まで数週間から1カ月間を費やしても、思い通りの結果が出ないこともある。

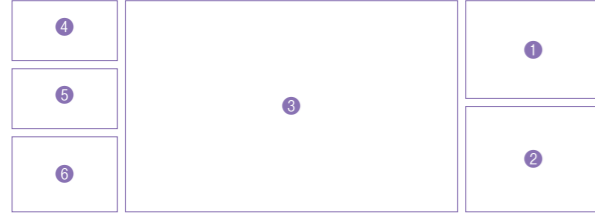
「研究ですから、たいはいはうまくいきません。大切なのはダメだったときに、なぜダメなのか、どのプロセスに課題があったのかを考えること。そこから何が重要かを学び取れるでしょう。この経験は半導体の研究を続ける上でも役立ち、ゼロから自分でつくり上げた経験は他の分野に進んでも生きてくるはずですよ」

社会で求められるのは 課題を発見し解決する力

電気電子工学科は扱う領域が広範だが、「学部時代は全体を学んでほしい」と高木教授は言う。

「さらに修士課程に進んだら、学部で学んだ幅広い基礎知識をベースに、自分なりの考えを持って研究を進めてほしい。そして、博士課程に進む学生が増えたらうれしいです。工学では自ら課題を発見し、解決することが大切で、その経験を積むには修士課程2年間で短いんです。私自身、企業と大学の両方を経験してきましたから、博士号を持つ人材が活躍する社会を願っています」

日本の半導体産業は今厳しい局面に置かれている。しかし、トランジスタの高機能化は世界共通の課題だ。「優れたアイデアを提案できれば、それが世界標準になる可能性がある」と高木教授は言う。情報社会に新たな価値を提供するトランジスタが生まれることを期待したい。



- 1 研究室にはトランジスタを製作する機器が備えられている
- 2 製作中のトランジスタ
- 3 「研究室では学生がトランジスタをつくる全工程を手掛けます」と語る高木信一教授
- 4 ムーアの法則を超えるトンネルFET
- 5 Geを用いたMOSトランジスタの界面構造の電子顕微鏡写真
- 6 電気電子工学科にはクリーンルームが設置されている

※S1とS2を通して実施

3年生の時間割例「S1S2」

	月	火	水	木	金
1限	回路学第一	統計力学第一	情報工学概論 (インターネット工学)	固体物理第一	信号処理論第一
2限	電磁気学第二	量子力学第二	数学2D	制御論第一	確率数理工学
3限	物理学実験法	物理学実験法		物理学演習第一	物理実験の基礎第一
4限				物理学基礎演習	
5限				物理学輪講第一	
6限			物理学工学倫理	物理学工学倫理	

物理工学科のカリキュラムの特色は、2年後期と3年の1年半をかけて数学と物理をみっちり学ぶこと。ここで学んだことが、大学院や社会に出てからの基礎知識となる。プロジェクト方式の実験もあり、具体的な問題を解決する力を身につけることができる。

数学と物理学の基礎を磨き 社会で役立つ応用力を

物理工学科では、数学と物理学の基礎を十分に学ぶことが重要だと考えています。それは卒業後のあらゆる場面で応用できる基礎力をつけるためです。そのために6本の柱からなるカリキュラムを用意しています。「基礎数学」「基礎物理学・先端物理学」「数学及物理学演習」「応用物理学・応用数理」「輪講」そして「実験・研究」です。

基礎を学んだ後は、最先端の実験物理学、理論・計算物理学の手法を学びます。これにより、創造性に富み、柔軟思考を持った人材を育てるのが本学科の教育の狙いです。

体系的に学べる環境があるからこそ、物理学そのものを究めたい人も、積極的に応用にトライしたい人も等しく歓迎しています。異なる視点を持つ者同士が物理学を通じて出会い、カリキュラムを介して相互作用することを狙っているからです。

実社会に目を向けると、このような物理と工学の本質的なクロスオーバーは、現代科学技術のいたるところで見られます。そして物理工学科は、そのような研究の最前線の拠点になっています。

学部卒業生の9割以上が大学院に進学し、一人ひとりが興味を持った研究テーマを深掘りしていきます。その背景にあるのは就職率の高さです。様々な業種、企業、研究機関などで卒業生が活躍しているのは、本学科出身者の基礎力の高さが求められているからと見ることもできます。

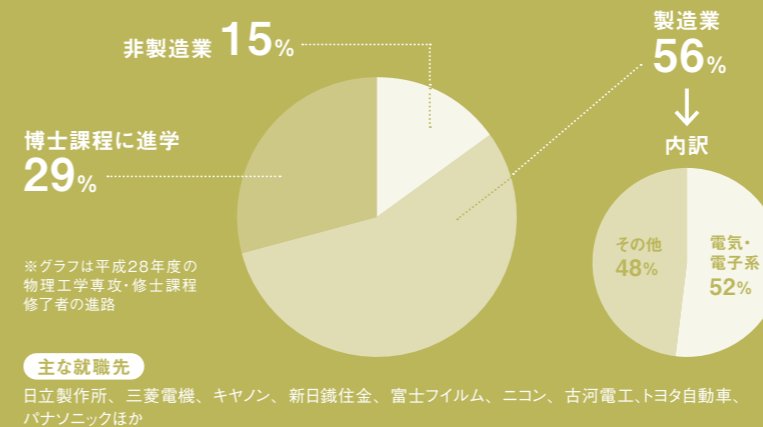
カリキュラムの6本の柱

基礎数学	数学及物理学演習
輪講	基礎物理学・先端物理学
応用物理学・応用数理	実験・研究

物理学を究めたい、応用を積極的に目指したいなど、多様な学生が等しく歓迎されるカリキュラム。卒業後のあらゆる場面で応用できる基礎力を身につけるための6つの柱があり、基礎と応用の融合をサポートする。

修士課程修了後の進路

毎年のように、約98%の学生が修士課程に進むのが特徴。そのうち約30%が博士課程に進学する。高い進学率は、学科の手厚い就職サポートによって支えられている。70社以上が参加する企業説明会のほか、見学会や先輩面接などがある。



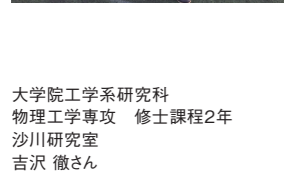
科学の源流を深く学び 得た知識を用いて社会に還元していく

科学者のたつた一つの知恵や発見が世界を塗り替えた歴史を私たちは何度も経験してきました。物理工学は、その物理学の源流を探り、科学の真理を究めると同時に、21世紀を支える新たなテクノロジーを生み出す学問領域といえます。

例えば、量子力学の発見、半導体科学の進展、エレクトロニクスの隆盛などはこの領域の成果です。そんな中、物理工学科では未来の科学技術を支える人材を育成することを目指しています。欠かせないのは数学と物理学の基礎。物理学を広く深く学びながら、それを工学へ応用したい、そして社会に役立てたいという志を持つ学生を歓迎しています。



上/研究室の先輩や同期と意見交換して、研究の新たな糸口を見つけ出す
下/キャッチボールをして気分転換(本郷キャンパスのグラウンドで)



大学院工学系研究科
物理学専攻 修士課程2年
沙川研究室
吉沢 徹さん

A 研究は、誰も知らないこと、分かっていることを解き明かす試みです。未知の領域を切り拓くという点で苦しい側面もありますが、それ以上に強いやりがいを感じています。研究室では、テーマ別に2つの班に分かれて研究しています。煮詰まった際には、班に関係なく研究室の先輩や同期と自由に意見交換させてもらうことで、視野が広がり新たな糸口を見つけ出すことができます。たまに仲間とキャッチボールなどをしてリフレッシュしています。

Q 大学院生活と今後の進路について教えてください。

A 私の研究は、紙と鉛筆、パソコンさえあればどこでもできますので、自宅で行う場合も少なくありません。学部時代に比べて研究活動の自由度は高いと思います。逆に、タイムマネジメントは自分の裁量に任されているので、自己管理が必要です。修士課程修了後はIT(情報技術)系の企業に就職します。コンピュータ・コミュニケーションに関する知識を生かしたソフトウェア開発を通して、社会に貢献していきたいと考えています。

物性を物理学の理論を使って理解したいと思い 物理工学を選びました

私がこの専攻を選んだワケ



Q 物理工学科を選んだ理由を聞かせてください。

A 高校時代から物理が好きで、大学では物理学を専攻しようと考えていました。私は物性物理学に興味があり、勉強したいテーマに合致していると思い、工学部物理工学科を選びました。

学部4年生では、グラフェンという炭素でできた物質の研究をしました。グラフェンは特殊な伝導特性を持ち、それを使った電子デバイスの研究を通して社会に役立つものづくりがしたいと思うようになりました。その点でも、物理工学科を選んでよかったと思っています。

Q 現在の研究内容を教えてください。

A 大学院では、統計力学に関する研究をしています。物性物理学も統計力学も、物質のマクロな性質をミクロな観点から研究する物理学の分野ですが、統計力学では特に物理学の基本原則に近いところを探求しています。理論計算とコンピュータ・シミュレーションを使って、ミクロな世界の基本法則である量子力学から、マクロな世界の基本法則である熱力学を導き出そうという試みです。現在所属している沙川研究室の中心テーマの一つでもあります。

Q 研究の醍醐味を聞かせてください。



沙川貴大准教授

情報理論と熱力学を融合させた「情報熱力学」を研究しています。物理学に立脚して、高効率な熱機関の設計原理の理解や、これまでにない情報処理技術の創出に貢献するのが目標です。

情報理論と熱力学の融合で ナノスケール情報処理の実現を目指す

科学の真理を探究すると同時に、革新的な技術へと発展させることを目指した理工学。実験物理学、計算物理学、そして理論物理学の三位一体で基礎と応用の融合を目指す。沙川研究室は、情報量と熱力学のエントロピーやエネルギーを対等に扱うことで、情報理論と熱力学を融合させた新たな物理理論「情報熱力学」で、世界中から注目されている。

2017年9月、物理学のニュースが関係者を驚かせた。ミクロな世界の基本法則である「量子力学」から、マクロな世界の基本法則である「熱力学第二法則」を導き出したとの発表があったからだ。発表したのは、沙川貴大准教授たちの研究グループである。

それに先立ち2010年頃から、沙川准教授は物理学者たちを悩ませ続けてきた「マクスウェルのデーモン」の実験に成功するなどの功績を上げてきた。その実力が認められ、13年に准教授に就任。16年には先端研究領域で活躍する研究者を表彰する第4回リサーチフロントアワード（米トムソン・ロイター主催）を受賞している。

情報を自由エネルギーに変換する情報熱力学を研究

「私の研究を一言でいえば、情報熱力学です。情報理論と熱力学を融合させた新たな物理理論で、現在では世界的に活発に研究されています」と沙川准教授は語る。

情報熱力学は、19世紀の物理学者

マクスウェルが考えた「マクスウェルのデーモン」という物理学の問題と密接に関係している。ここでデーモンとは、分子一つひとつを観測し、その観測結果の情報を使って分子を操作する存在のことだ。

マクロな世界の基本法則である熱力学第二法則では、熱機関によって使えるエネルギーには上限があるとされる。それに対し、1867年にマクスウェルが「このようなデーモンが存在

すれば、第二法則は破られてしまうのではないかと指摘したのだ。当初、デーモンは理論上の仮説にすぎないと思われたが、1929年に物理学者のレオシラードが思考実験により情報をエネルギーに変換できることを発見。それを行っているのが、デーモンだと考えた。約80年後の2010年、実験で実現してみせたのが、東北大学の鳥谷部祥一准教授と沙川准教授たちのグループだったのだ。

「情報と自由エネルギーを対等に扱うことで、デーモンと第二法則は帳尻が合うことを示したのです」と沙川准教授。

ここで情報とは、膨大な数の分子1個1個に関する位置や移動する方向をいう。第二法則で扱われる熱力学のエントロピーと情報量を対等に扱うことが情報熱力学の考え方だ。

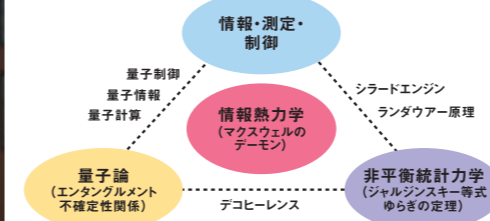
大腸菌が熱ゆらぎを活用

近年、情報熱力学は生体情報処理にも盛んに応用されている。

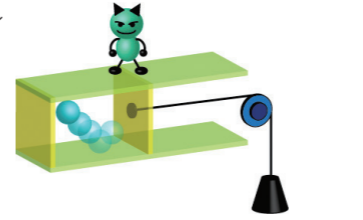
沙川准教授は2015年6月、北海道大学の伊藤創祐助教と共同で、大腸菌に潜む「マクスウェルのデーモン」の働きを解明した。

生物は変動する外界の情報を生体内に取り込んで、生体システムを維持している。大腸菌には、餌となる物質の濃度の高い方向に進む性質がある。これは走化性と呼ばれる。餌が大腸菌の受容体に結合し化学反応を起こすことで、ベンモーターが回転

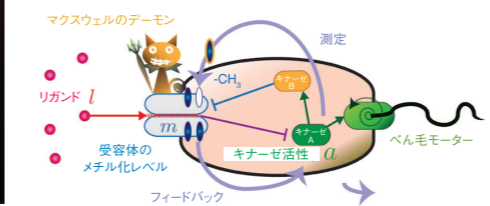
情報熱力学の全体像



シラードエンジン



生体システムに潜むマクスウェルのデーモン



- 1 情報熱力学の全体像
- 2 マクスウェルのデーモンの代表的なモデルであるシラードエンジンのイメージ
- 3 生体に潜むマクスウェルのデーモンのイメージ
- 4 情報と自由エネルギーを対等に扱うことでマクスウェルのデーモンと熱力学第二法則の整合性を証明した沙川准教授
- 5 最近、タブレットに数式などを書き込みながら検討することが多くなった
- 6 熱力学第二法則を量子力学から理論的に導出するために設定したシステムSと熱浴Bのイメージ
- 7 測定とフィードバックの模式図

- 1 情報熱力学の全体像
- 2 マクスウェルのデーモンの代表的なモデルであるシラードエンジンのイメージ
- 3 生体に潜むマクスウェルのデーモンのイメージ
- 4 情報と自由エネルギーを対等に扱うことでマクスウェルのデーモンと熱力学第二法則の整合性を証明した沙川准教授
- 5 最近、タブレットに数式などを書き込みながら検討することが多くなった
- 6 熱力学第二法則を量子力学から理論的に導出するために設定したシステムSと熱浴Bのイメージ
- 7 測定とフィードバックの模式図

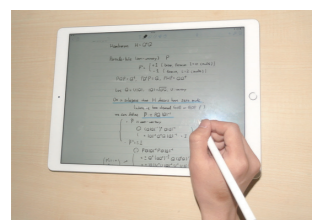
して餌の方向に進むという仕組みだ。走化性は外部からの情報に基づき行動を制御する。餌から得られた情報は、受容体に記録され、情報を基に化学反応が起こる。この受容体がデーモンの働きを考えると考えられている。沙川准教授が注目するのが、熱ゆらぎだ。大腸菌は情報処理に熱ゆらぎを活用しているという。生体のように、むしろ熱ゆらぎを活用するようなコンピュータができれば、高いエネルギー効率で稼働させられる可能性がある。

量子系の制御と熱力学

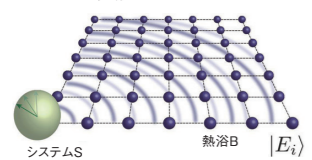
そしてもう一つ、沙川准教授が重要な研究テーマとして取り組んでいるのが、量子力学と熱力学を融合させた「量子熱力学」だ。冒頭で触れた量子力学からの熱力学第二法則の導出もその研究の一環である。

マクロな世界の基本法則である熱力学第二法則はエントロピー増大則であり、不可逆な変化に関する法則だ。不可逆とは、逆向きの変化は自発的には起きないということ。例えば、熱いコーヒーを室温に置いておくと冷めるが、これがひとりでに熱くなることはない。この不可逆性は、「時間の矢」とも呼ばれる。

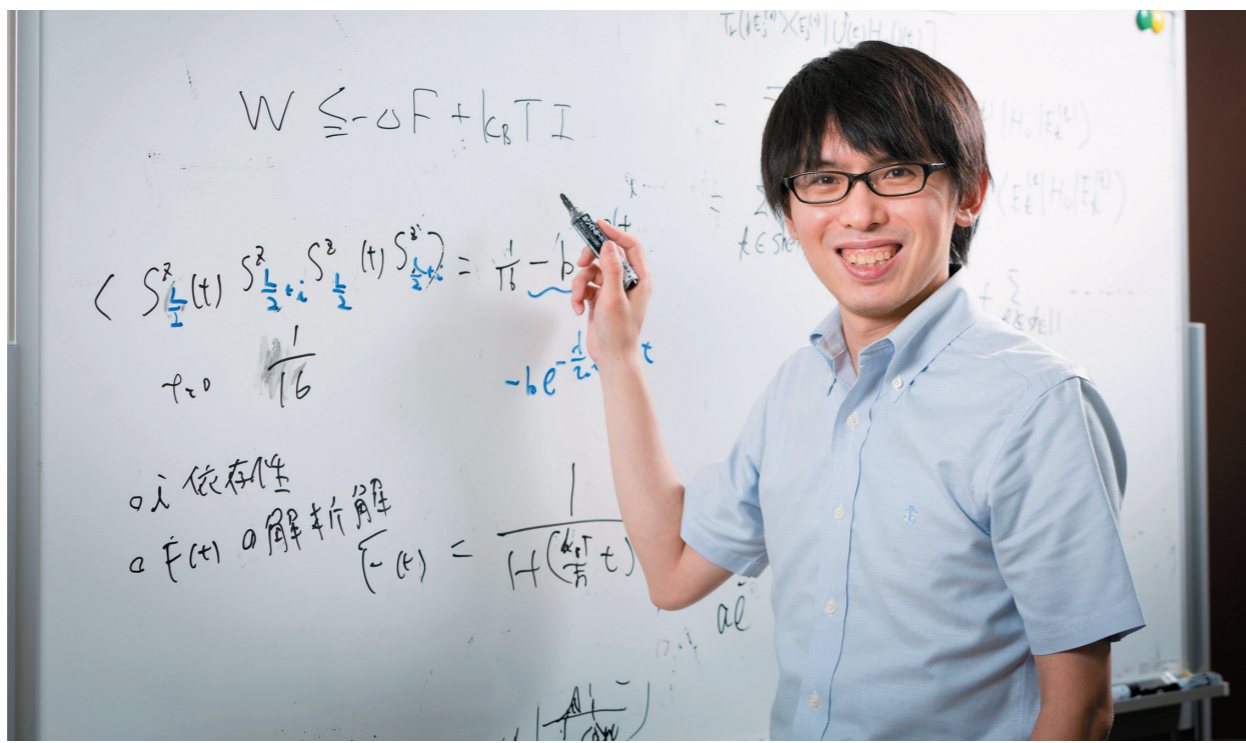
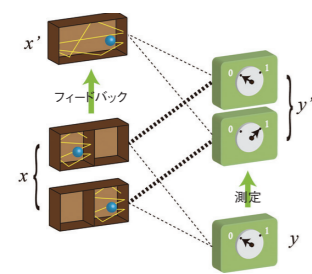
一方、量子力学はミクロな世界の基本法則だ。マクロな物質は、ミクロな原子や分子などで構成されている。量子力学の世界では、時間の向きを反転させても成り立つという性質を持っている。つまり、可逆性があるのだ。



システムSと熱浴B



測定とフィードバック



これは、不可逆性を表す熱力学第二法則と矛盾する。そのため、19世紀以降、どうすればミクロとマクロがつながるかが、物理学の世界では大きな難問とされてきた。

冷却原子気体で孤立量子系を実現

この古い難問に対し、近年新しい光が当たっている。実験的には、真空中でレーザーで捕獲した原子集団をミリケルビン以下の極低温にまで冷却し、さらにその原子を一つずつ観測することも可能になってきた。この冷却原子気体と呼ばれる技術で、ノイズのない理想的な孤立量子系が実現されるようになった。

このような冷却原子は、次世代の周波数標準といわれる「光格子時計」の舞台である（物理工学科の香取秀俊教授は、その開発者として世界的に大きな注目を集めている）。また冷却原子は、先述の「量子力学から熱力学がどのように創発するか」を研究する格好の舞台にもなっている。

「私の研究は、現段階では物理学の基本原理を深く探求するものですが、しかし中長期的に見ると、単なる理学的な問題にはとどまりません。物質が熱平衡状態に至るまでの緩和特性をどうやって自在に制御し、所望の物質を実現するか。どうやって高効率な熱機関が実現できるか。さらに、どうやってノイズのない量子情報処理を実現できるかといった、革新的な工学の研究につながっていくと考えています」と沙川准教授は意気込む。

計数工学科

Department of Mathematical Engineering and Information Physics

※破線の上がS1、下がS2

3年生の時間割例「S1S2」

	月	火	水	木	金
1限	回路学第一	統計力学第一	代数数理工学	解析数理工学	信号処理論第一
2限	電磁気学第二	量子力学第二 システム情報工学演習第一	数学2D	制御論第一	確率数理工学
3限	数理情報工学演習 第一-A	認識行動システム論 第一	数理情報工学演習 第一-A	計数工学実験	計算システム論第一
4限	システム情報工学設計 演習	計数工学プログラミング 演習	システム情報工学設計 演習		数学2D
5限		数理情報工学演習第一-C システム情報工学設計演習			
6限					

数理情報工学コースでは、代数・解析・幾何・確率・算法数理工学が基礎科目の柱となり、システム情報工学コースでは、計測・回路・制御・信号処理・システムが基礎科目の柱となっている。両コース共通の科目も多く、実験や卒業論文ではコース間の交流を促進するプログラムもある。先端科学技術への応用に向けた幅広いカリキュラムも提供されている。

基礎を深く、視野を広く

計数工学科では数理と物理のしっかりとした基礎の上にあらゆる工学システムの解析と構成を高いレベルで行うことのできる人材を養成しています。学科には「数理情報工学コース」と「システム情報工学コース」という互いに相補的な関係にある2つのコースが用意されています。

数理情報工学コースは、人間や環境を含むあらゆる物理システムや社会システムを対象として、それらに現れる諸問題を数理的アプローチで解決する方法論の構築を目指します。卒業生の進路としては、計測機器、制御システム、計算機のハードウェアとソフトウェア、ロボット、医用診断システム、音声・文字認識システムなど多岐にわたり、大規模工場の生産自動化システムや生産情報管理システムの分野でも中心的な役割を果たしています。

一方、システム情報工学コースは、実世界を強く意識し、物理世界と情報世界をつなぐ「認識と行動」に関する研究を行っています。卒業後の進路としては、情報通信系における計算機システムの開発および運用、鉄鋼、化学、機械、建設工事などにおける生産システムの設計と管理、諸産業、銀行、行政官庁などにおけるオペレーション・リサーチや情報システムの設計・管理などが多くなっています。

科学技術の基幹となる「普遍的な原理・方法論」を目指して

計数工学科の目指すところは、次世代の科学技術の創出に向けた「普遍的な原理・方法論」の構築です。特に情報の概念や情報技術をベースとして、個別分野に依存しない科学技術の根幹となる普遍的な概念や原理の提案および系統的な方法論の提供を志しています。

計数工学科では、数理的なアプローチで、ロボット・脳科学・ナノ・バイオなど、先端科学技術はもとより医用工学や金融工学など幅広い学問分野への展開に関して、世界トップレベルの研究が行われています。

システム情報工学コースのテーマ

認識システムの 知能化と実現	行動システムの 構成と応用
生体機能の 制御と再構築	次世代知能の 設計と実現

実世界を正しく認識し望みの機能を実現する

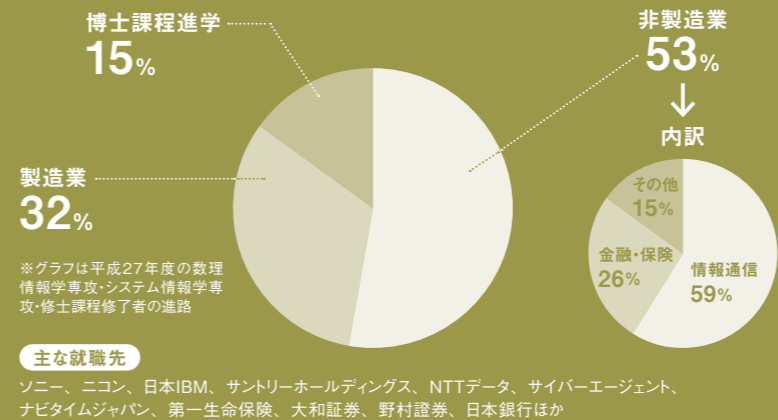
数理情報工学コースのテーマ

自然現象・ 社会現象の モデル化	数理モデルの 解析
問題解決の 方法論と その現実	諸分野への 応用

現象の本質をモデル化し問題解決手法を創り出す

修士課程修了後の進路

大学や研究機関のほか、企業への就職が約8割を占めている。コースによって就職先は多少異なるが、情報通信系をはじめ、鉄鋼、化学、機械、建設など、多岐にわたる。



様々な学問の基礎となる 数理を極めてみたいと考えました

私がこの専攻を選んだワケ



Q どのような研究に取り組んでいるのですか？

A 離散最適化といって、離散な構造上(例えば整数格子点上)に定義された目的関数を効率的に最小化、もしくは最大化するための方法論を考えています。特に、効率よく解ける問題の裏にひそんだ数理的な構造を解き明かし、その構造を利用した上手いアルゴリズムを構築することを目指しています。

Q 深い専門的な知識が必要になりますか？

A 研究室に入るまでは私も詳しくは理解していませんでした。昔から数学は好きでしたが、現在のような研究テーマを選択するとは想像もしていませんでした。進学振分けのときも、自分が何をしたいのかさえ明確ではなかった。ただ、いろいろな学問の基礎が数理だと聞いていたので、そこに魅かれて計数工学科を選びました。基礎となる学問を学んでから分野を絞り込もうと考えたのです。今ではその選択は間違っていないかと思っています。他分野に通じる数学的基礎を学ぶ講義が多く、最先端の研究の話も興味深いです。

Q 研究以外の時間はどのように過ごしていますか？

A 数理情報や計数工学の有志で「輪読」をしています。輪読はテーマとなる本を1冊選び、参加者

が本の内容について議論します。毎週開催しており、1回あたり2時間程度です。学科や専攻が同じ学生同士でも、専門分野が異なれば、同じ本でも違う視点から意見が出て非常に有意義なのです。いろいろな本を読む好機もあり、研究に行き詰ったときの気分転換にもなっています。

Q 今後の進路について教えてください。

A 自分が納得できる研究を継続できるとうれしく思います。もちろん企業に勤める可能性もあります。数学と工学をつなげるのが数理工学であり、広がりのある学問分野なので、これからのような道に進むのか、自分でも楽しみにしているほどです。実際に応用数理学会などに参加して、知見を広げています。海外留学も視野に入れています。それぞれ数週間ですが、これまでに英国や米国の大学の研究室に滞在した経験があります。欧米では博士課程に進学する学生が多く、国籍も多様で良い刺激を受けました。学部生の皆さんも、数学と英語は研究する上で基礎となる学問ですから、しっかり頑張ってください。



上/数学と工学をつなげるのが数理工学と聞き、興味を持った
下/応用数理学会でのプレゼンテーション風景

工学部計数工学科卒
大学院情報理工学系研究科
数理情報学専攻 博士課程2年
数理情報第2研究室
岩政勇仁さん



平井広志准教授

【数理情報第2研究室(定兼・平井研究室)】

http://www.misojiro.t.u-tokyo.ac.jp

数理的構造を重視し、組み合わせ最適化・アルゴリズム論・離散数学の工学的応用などを研究しています。

世の中の事象は数多の条件が複雑に絡み合いますが、これを数学的にモデル化し、最適解を導く際の助となることを目指しています。

時代が変わっても変わらない 普遍的な理論を追い求める学問

現象の本質をモデル化し、問題解決手法をつくり出すのが数理情報工学コース。平井広志准教授が属する数理情報第2研究室(離散情報学研究室)では「個性を伸ばして世界を目指す」ことをモットーに、「最適化理論や離散構造論などに取り組んでいる。こうした研究から導かれた理論はアルゴリズムを書く上での前提となるのだという。」

膨大な選択肢を計算可能な数にする条件を考える

例えば、 n 個の都市を持つ地域で送電網を敷くとする。1カ所の発電所から、すべての都市に送電したい。ただし発電所と都市を直接つなぐ必要はない。都市Aを経由して、都市Bに送電してもよい。「コストは最小化しなければならない。コストは電線の使用量に比例して増えるものとする。以上の条件を満たす送電網を設計するには、どうしたらよいだろうか。」

まず行うべきは事象をモデル化すること。この場合は発電所と、 n 個の都市をプロットしてグラフをつくる。そして、発電所を起点に、 n 個の頂点を線でつなぎ、線の長さの総和を最小にするつなぎ方を探す。

「すべての都市に送電できればよく、都市間で電力を融通するような仕組みは必要ありませんから、このグラフにはサイクルはできません。このようにサイクルがないグラフのことを「木」、頂点をつなぐ線を「枝」と呼び、枝の総和を最小化する問題を「最小木問題」と言います。」

トはあるだろうか。答えは否。通りに三差路があると、そこがポトルネックになってひと筆書きはできない。数学的に言えば、奇数の次数がある場合はひと筆書きができないということになる。

現実的に実行可能なアルゴリズム、すなわち多項式時間アルゴリズムは、このような数学的な解析により設計される。多項式とは乗数からなる単項式の和で、多項式時間とは大まかに言うと、 2 の n 乗のような膨大な時間ではなく、 n の 2 乗のような計算可能なスケールの時間のことだ。

「多項式時間アルゴリズムがある問題のクラスを「P」と呼びます。それに対して、何かしらの証拠を与えられれば、多項式時間で正しさをチェックでき、誰もが納得できる問題のクラスを「NP」と呼びます。構造的にはNPの中にPが含まれます。「NPはnot Pの意味」と誤解されることが多いのですが、そうではありません。NPにはNP完全という、さらに難しい問題があり、多項式時間アルゴリズムが存在しないのではと予想されています。これが有名な「P≠NP問題」でこの分野の大きな未解決問題です。私はPとNPの境界あたりを狙って、研究を進めています。」

「大学では授業や事務仕事もありまして、机に座って考えてもアイデアが浮かぶとは限りません。でも、常に頭の中にテーマがありますから、歩きながら考えることもできます。」

数理情報を学ぶ上で欠かせない有名な問題

最小木問題は数ある数理的な問題の一つに過ぎないが、このように現象の本質をモデル化して考えるのが数理情報工学の特徴だと平井広志准教授は説明する。

「巡回セールスマン問題」だ。営業担当者は地元の空港を起点に、 n 個の都市をすべて1回ずつ訪問し、起点に戻らなければならない。2地点間の距離は分かっている、旅費は距離に比例するものとする。営業担当者が最も経費をかけずに巡回するルートは、どのようにして導けばよいだろうか。」

これは点をたどることを考える問題だが、点と点の間の線に注目する問題もある。「中国人郵便配達問題」だ。村の通りには家が面している、配達員は村のすべての通りを通る必要がある。ただし、移動の無駄を省くため、どの通りも1回しか通らない。それは果たして可能かどうか。可能とする条件は何か。不可能ならば無駄を最小にするにはどうしたらよいかなどを考えていく。

研究室のメインテーマの一つが最適化理論、特に組み合わせ最適化理論である。例えば、宅配便の配送ルートを決める際には燃料代や移動時間、ドライバーの勤務シフトなどの要素が影響するが、最適解は全条件がベストバランスで満たされるルートである。そのルートをいかに見いだすかを追求するのが最適化理論だ。

「事象には離散と連続があります。離散は「点」で、連続は「面」です。つまり、離散とは何人、何本と数えられるものを指し、連続とは何リットルや何秒のような連続するものを指します。連続に対しては微分を適用できますが、配送先(点)を回るルートの最適化のような離散の事象には微分が使えない。それが組み合わせ最適化の難しさと言えます。」

この図はひと筆書きできるか 解を早く導くアルゴリズム

この問題はひと筆書きに置き換えて考えることができる。村の通りが漢字の「田」のように格子状に通っているとしたら、条件を満たす配達ルートを早く導くアルゴリズム

「巡回セールスマン問題」だ。営業担当者は地元の空港を起点に、 n 個の都市をすべて1回ずつ訪問し、起点に戻らなければならない。2地点間の距離は分かっている、旅費は距離に比例するものとする。営業担当者が最も経費をかけずに巡回するルートは、どのようにして導けばよいだろうか。」

AIなど注目分野多数 進路は引く手あまた

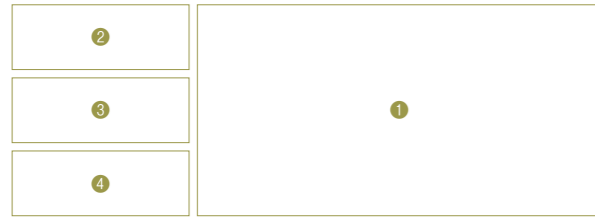
最近異なる分野の研究者や学外に向けてセミナーを行うことがあるという。出席者は何かしら数学的な分野に通じているが、専門分野はそれぞれ異なるので、必ずしも全員に同じように通じるわけではない。

「数学理論の追求はもちろん重要ですが、自分の研究テーマを専門以外の人も理解できるように伝える能力も身につける必要があります。そのため学生にはプレゼンテーションの方法やスライドの作り方なども指導しています。」

計数工学科の場合、研究室への配属は4年次の9月で、卒論は半年間で仕上げる。自分でテーマを決めて、じっくり研究に臨めるのは修士課程に入ってからだ。

「優秀な学生には修士だけでなく博士課程まで進学してほしい。数学科の専攻ではオーバードクターを心配する声が多いですが、今この分野はAIの進展で非常に注目されており、産業界はその資質を持つ人材を求めています。大学院でしっかり研究して産業界で活躍してくれることを期待しています。」

- ①「専門家以外にも分かりやすく伝えることが重要」と平井広志准教授
- ②研究テーマは学生の意思を尊重。想定外の発見や気づきもあるという
- ③まずは問題をモデリングして条件を整理し、解決の糸口を探る
- ④1950年代より続く学問領域で、研究内容は日々難問になっている



マテリアル工学科

Department of Materials Engineering



※破線の上がS1、下がS2

3年生の時間割例「S1S2」

	月	火	水	木	金
1限	材料力学II 高分子科学I	組織形成論		材料力学II 高分子科学I	組織形成論
2限	材料電気化学 金属材料学	応用熱力学 材料強度学	数学2F	材料電気化学 金属材料学	応用熱力学 材料強度学
3限	マテリアル工学 実験I	材料反応工学 半導体物性学		マテリアル工学 実験I	材料反応工学 半導体物性学
4限		固体物性学 表面・界面化学			固体物性学 表面・界面化学
5限		マテリアル シミュレーションI			マテリアル工学 輪講(E)
6限					

マテリアル工学科のカリキュラムの特色は、学生の志望分野とカリキュラムの関係を明確にし、将来を考えやすいようコース制となっている。3年生で基礎と応用を学び4年生で総括し、マテリアルを応用する上での俯瞰的な知識体系を完成させる。

世の中をマテリアルという視点で見わたす術が身につく

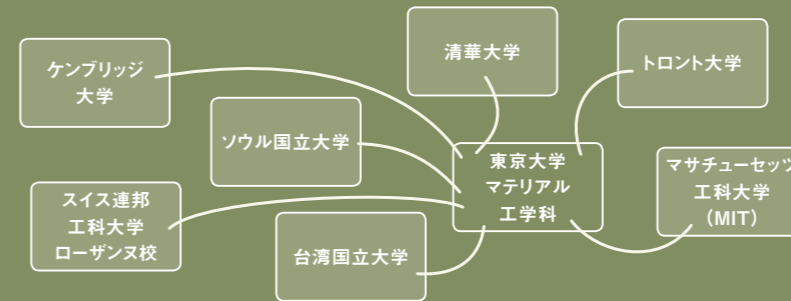
マテリアル工学科では、志望分野とカリキュラムの関係を明確にしたコース制を導入しています。2年A1A2時期を基礎・導入期間と位置づけ、3年S1S2からは「バイオマテリアルコース」「環境・基盤マテリアルコース」「ナノ・機能マテリアルコース」の応用科目も始まり、研究対象となるマテリアルについて基礎と応用に関する講義を受けます。そして4年S1S2の講義で総括し、マテリアルを応用する上での俯瞰的な知識体系が完成するように設計されています。

こうして個々のマテリアルの特色や用途を様々な切り口で学ぶとともに、未踏領域へ踏み出すために欠かせない基礎と根本的に考える能力を養うことが可能なカリキュラムとなっています。また、選択コースの科目を履修した上で、他のコース科目を自由に履修することも可能。

自由度の高いカリキュラムになっている理由は、学生が自分の将来をイメージしやすいようにするためです。既に志望分野を持っている人には具体的に進むべき道を示し、決まっていない人には最適な選択の手助けになるはずです。

本学科のもう一つの特徴は、マサチューセッツ工科大学(MIT)やケンブリッジ大学といった世界でも有数の大学との教育・研究ネットワークを生かして、3年生からでも海外遠征があること。将来の活躍の場をグローバルに考えている学生にも好評を得ています。

“マテ工”ならではの最先端ネットワーク

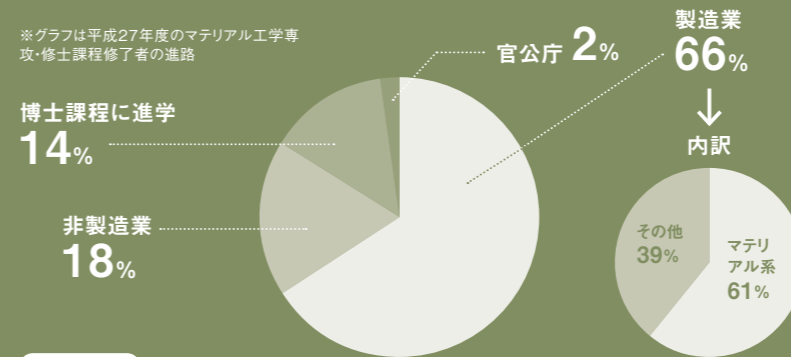


マサチューセッツ工科大学(MIT)との交換留学制度(学部生対象/半年)や学生ワークショップ(清華大-ソウル大-東大)をはじめ、学生・教員の派遣・受入や世界的な研究者を招いての講演・セミナー、共同ラボ(UTLAB)の設立など、海外とのネットワークを生かした学びができる。

修士課程修了後の進路

工学全般を支える領域ということもあり、民間企業からのニーズが高く、修士課程修了者の半数以上が製造業に就職する傾向にある。このほか、大学や研究機関などのアカデミア領域にも多数就職する。

※グラフは平成27年度のマテリアル工学専攻・修士課程修了者の進路

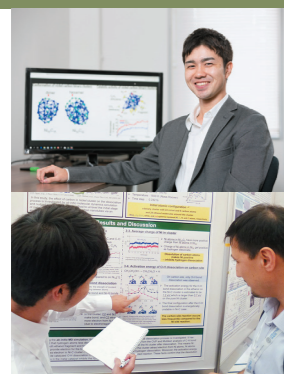


主な就職先

新日鐵住金、JFEスチール、日立製作所、三菱重工業、トヨタ自動車、東レ、日産自動車、三菱商事、アステラス製薬ほか

私たちは、金属、セラミックス、有機材料など目的に応じた特性の材料を使い分けています。経験と理論に裏打ちされたレジメを基に、様々な物質を組み合わせて魂を吹き込むことで材料が誕生します。魂とはそれぞれの材料が使命を果たすための機能や特性のことで、その信頼性や革新が陰日向となって文明の発展をもたらしてきました。つまり、現代の物質文明の基礎はマテリアルである、ともいえます。マテリアル工学科では、あらゆる物質・材料を研究対象とし、あらゆる科学技術を下支えしながら進化する、統合の工学として、研究を行っています。

日常・非日常なモノに新鮮な魂を吹き込む統合の工学



上/分子動力学を使って、カーボンナノチューブを合成するプロセスを研究している
下/2016年8月にウィーン大学で開催されたカーボンナノチューブの国際会議NT16で

大学院工学系研究科
マテリアル工学専攻 修士課程2年
濑田靖研究室
福原 智さん

Q 今後の進路について教えてください。

A 来年は博士課程に進み、最適な合成方法の確立を目指すとともに、実際の合成実験を行っている研究者とも協力したいと考えています。将来は、私が確立した合成方法が実用化され、社会に貢献できることを目指しています。

Q 現在の研究内容について教えてください。

A 学部4年生の時に、濑田靖研究室を選びました。材料の生成プロセスに興味があったからです。濑田研究室では、分子動力学と呼ばれる計算手法を使って、材料の生成プロセスを原子レベルで再現しているというお話でしたので、私もぜひやってみたいと思いました。

現在は、分子動力学を使ってカーボンナノチューブを効率良く合成するためのプロセスを研究しています。原料のエタノールを金属触媒で分解して合成する方法について、どの種類の金属触媒を使えば効率良くエタノールを分解できるのかをシミュレーションによって探っています。

Q 研究の面白みと今後の目標を聞かせてください。

A カーボンナノチューブが合成されていくプロセスをシミュレーションによって原子レベルで見ることができると非常に面白いですね。実験を行わずシミュレーションを中心としているのは、理由があります。材料の合成実験を体験した時に、圧力や温度を少し変えるだけで実験結果が異なることを知りました。その理由を探るにはシミュレーションが有効だということを知り、スキルを習得することが材料開発には不可欠だと考えたのです。

高校で知った宇宙エレベーターの話をつっかき材料研究の道に進みました

私がこの専攻を選んだワケ

Q マテリアル工学科を選んだ理由を聞かせてください。

A 高校生時代に本で読んだ宇宙エレベーターの話に心が躍ったのがきっかけです。宇宙エレベーターとは、地上と宇宙をつなぐ輸送機です。これを実現するには、地上から約10万キロメートル上空までを結ぶ軽量で高強度なロープが不可欠で、SFの世界の話だと思われていました。ところが、1990年代の初めにカーボンナノチューブと呼ばれる炭素素材が発見されて、にわかに現実味を帯びてきたのです。そこで、大学ではカーボンナノチューブなどの材料の研究をしようと思った。大学に入るまでマテリアル工学科の存在は知りませんでした。材料研究がしたいと思っていた私にとって、ここは自分にピッタリだと思い迷わず選びました。



研究室紹介



濑田靖准教授

[濑田研究室]

<http://www.mse.t.u-tokyo.ac.jp/>

スーパーコンピューターを使ったシミュレーションにより、金属材料やカーボンナノチューブなどの生成プロセスを原子レベルで再現しています。材料開発の最適化や高効率化を実現するのが目標です。

スーパーコンピューターで 材料開発の効率化・最適化を実現

マテリアル工学は、すべての工学の基礎となる材料を研究対象とした分野だ。濑田研究室では、スーパーコンピューターを使ったコンピューター・シミュレーションにより、材料を構成しているすべての原子の運動について運動方程式を解くなどして、材料の生成プロセスを原子レベルで再現する研究に取り組んでいる。

これまで金属材料の開発といえば、技術者の勘と経験に頼ってきた部分が大きかった。例えば、アルミニウムに銅や亜鉛などを加えた合金は、高強度かつ軽量であることから、自動車や飛行機の燃費向上に貢献するとして需要が高まっている。合金は加える金属の種類や量や比率によって特性が違っていき、しかしその詳細なメカニズムは分かっておらず、新たなアルミニウム合金を開発するにしても、試行錯誤を繰り返すしかないのが現状だった。

コンピューターの性能向上で 高まる実用性

これに対し、スーパーコンピューターを使ったシミュレーションで、材料の生成プロセスを原子レベルで再現しようとするのが濑田靖准教授だ。

「シミュレーションの利点は主に2点あります。1つは、実験では見ることができない生成プロセスを見ることができると。もう1つは、生成プロセスの最適条件を効率良く見つけ出すことです。」

「高校の化学では、金属は金属結合をしており、金属原子が規則正しく並んでいると習います。しかし実際は、金属原子が規則正しく無限に並んだ単結晶ではなく、結晶粒と呼ばれる金属の微細な粒が集まった微細組織構造をしているのです」と濑田准教授は説明する。

金属が液体から固体になる プロセスを解明

しかも、金属材料は結晶粒の大きさや結晶界面の状態によっても性能が異なってくる。また一般に、純金属よりも合金のほうが強度が高いのも結晶粒の構造や不純物が深く関わっていると考えられている。金属の融液から結晶粒が生成されるプロセスを再現することは、新たな金属材料を開発する上で大きな意義がある。

「実際の生成プロセスでは、結晶粒は不純物や容器の壁が核となり、そこから成長していきます。それに対し、我々は、核がない理想的な融液からどのように結晶粒が生成されるかに注目しました」と濑田准教授。そして2016年、TSUBAMEを使って、超大規模シミュレーションを実行したところ、不純物のない融液から自発的に核が発現し、これらの先行核を起点に新たな結晶粒が成長していく様子が再現された。

これにより金属が液体から固体に

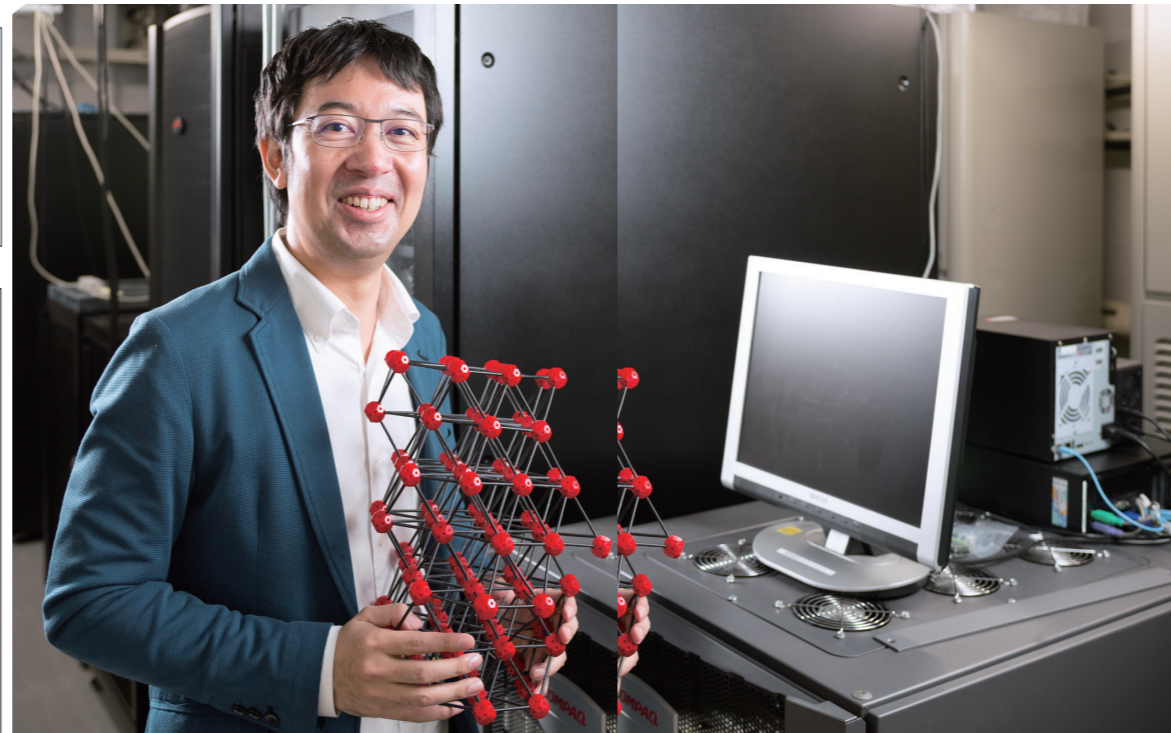
「すことができることです」

濑田准教授が研究しているのが分子動力学と呼ばれるシミュレーションの計算手法だ。材料を構成しているすべての原子の運動について、運動方程式を解くことで、材料の生成プロセスを再現できる。

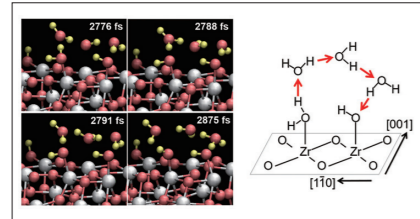
例えば、初期条件として原子の位置や速度、原子間に働く力などを与える。すると時間の経過とともに、勝手に原子同士が作用し、結晶が生成され成長していく。生成プロセスを、

原子レベルで1兆分の1秒単位で詳細に見ることができると。初期条件を変えていくことで、最適な生成方法を見つけ出すことができる上、生成メカニズムの解明にもつながる。

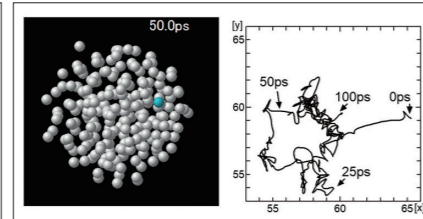
濑田准教授にとって転機となったのが、2011年に東京工業大学と京都工芸繊維大学のチームが、東工大のスーパーコンピューター「TSUBAME」を使って世界で初めて、融けた合金が凝固して結晶化するプロセスをシミュレーションにより詳細に再現する



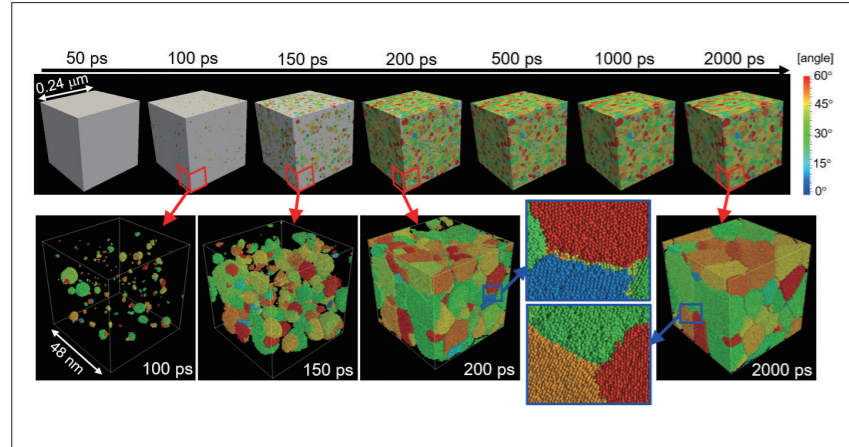
グロース機構によるH⁺輸送過程



Ar₂₁₈の原子挙動と1原子の軌跡



純鉄過冷却融液からの核生成・凝固過程



ことに成功したのだ。

「金属は融かして冷やし固めると、凝固プロセスで dendroライト(樹枝状結晶)を析出します。これを高精度に制御することが、金属材料分野の重要課題です。広範囲にわたる dendroライト競合成長プロセスが世界で初めて再現されたことで、高精度制御の方法を確立するきっかけが生まれたのです」と濑田准教授。

純金属が液体から固体に 変わるプロセスを再現

TSUBAMEはCPU(中央演算装置)に加えてGPU(画像処理演算装置)という画像処理に特化したプロセッサを大量に搭載しているのが特徴だ。濑田准教授が想定していた分子動力学による材料の生成プロセスのシミュレーションでは、約10億個の原子を扱う必要があったが、既存のハイパフォーマンスコンピューターでは性能が足りないと感じていた。

「しかし、TSUBAMEであれば実現できると希望を感じた」と濑田

なるプロセスの原子描像が解明されたのである。超大規模シミュレーションに基づく研究成果は、国際会議で驚きをもって受け止められた。

シミュレーションによる 材料開発の普及

「一方で、研究中はシミュレーション結果のデータが大きな課題となりました。シミュレーション結果のデータ量は20テラバイト(テラは1兆)にも及びました。そのデータを京都工芸繊維大学との間でやりとりするのに苦労したのです」と濑田准教授。インターネット経由だと1日に1〜2テラバイトしか送れなかったため、ハードディスクに保存して新幹線で運んだ。新幹線ならば20テラバイトでも3時間で送れる。「スーパーコンピューターを使った最先端の研究というイメージはよいですが、実際の現場では泥臭いことをやっているというのが実態です」と濑田准教授は笑う。

さらにこう加える。「これまで実験によるセレンディビティー(予想外の発見)は数多くありましたが、シミュレーションによるセレンディビティーはないだろうと思われてきました。しかし、シミュレーションが実験と同等かそれ以上のことができるようになった今、シミュレーションによるセレンディビティーも起こりうると感じています」

今後の濑田准教授の目標はシミュレーションによる材料開発の普及だ。「それにより、あらゆる材料開発の効率性を高め、革新的な材料の開発につなげていきたいですね」。濑田准教授はこう意気込む。

※S1とS2を通して実施

3年生の時間割例「S1S2」

	月	火	水	木	金
1限	物性論Ⅱ	物理化学Ⅱ	有機化学Ⅲ	量子化学Ⅱ	化学反応論Ⅰ
2限	化学工学Ⅱ	分析化学Ⅲ	数学2F	無機化学Ⅱ	高分子化学Ⅰ
3限	フロンティア化学	分析化学実験及演習・ 有機化学実験及演習・ コンピュータ化学演習	化学・生命研究倫理	分析化学実験及演習・ 有機化学実験及演習・ コンピュータ化学演習	分析化学実験及演習・ 有機化学実験及演習・ コンピュータ化学演習
4限	分子集合体化学				
5限			情報工学概論		
6限					

応用化学科のカリキュラムの特色は、自然科学の基礎から専門領域までを階層的に学べるようになってきていること。有機・無機・物性的な化学だけでなく、最先端の内容を扱うフロンティア化学にも触れることができる。

自然科学の基礎から専門まで階層的に学び成長を促す

応用化学科が対象とする研究分野は多岐にわたります。そのため、まずどの分野に進んでも必要になる自然科学の基礎を学びます。これが2年生の基礎科目(化学生命系共通)の学びであり、「化学の木」では「根」に当たります。

3年生では基礎科目に加え、専門科目と学生実験を通じて専門性の高い知識や基本的な実験スキルを身につけます。これが「幹」となります。

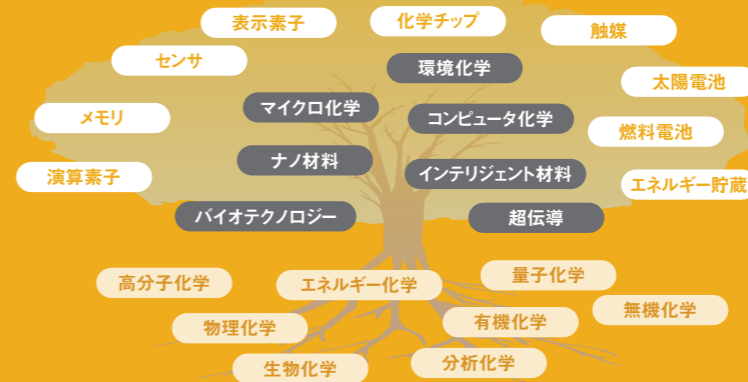
2、3年生の講義・実験は、化学系と生命系の3学科の教員が協力して行うのが特徴の一つ。異なる学科の教員によって様々な視点から研究対象を見るきっかけになります。

このほか、産・官より第一線で活躍している方を講師として招き、企業での研究開発の最新線や科学政策などに関する講義(フロンティア化学など)を開催しています。工場見学を通じて社会を知る機会を設けたり、他学科・他学部の講義を履修することができます。

4年生になると築き上げてきた「根」や「幹」をベースに、最先端研究(卒業論文)を進めながら、実践的な「実」のある研究に進んでいきます。

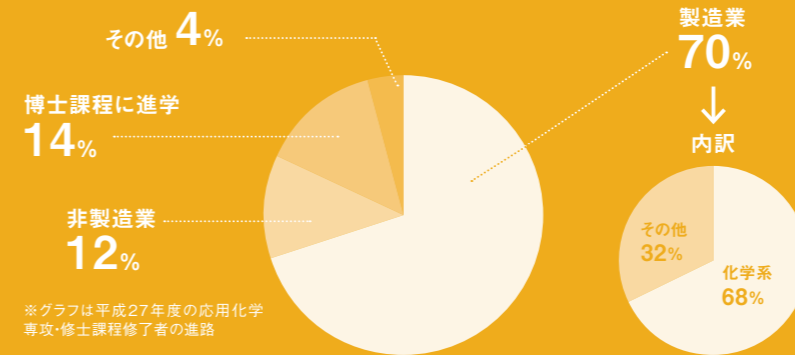
卒業後の進路は、例年9割以上が大学院に進学します。博士課程に進むのは約2割。就職先としては、化学生命系に進むのが約半数で、電気系、機械系、素材系、情報系と続き、企業内で研究開発に携わることが増えます。

応用化学の木



修士課程修了後の進路

修士課程への進学率は9割を超える。そのうち約2割は博士課程に進学する。製造業への就職が人気となっているが、材料、薬品など化学系メーカーへの就職が半数を超えている。



※グラフは平成27年度の応用化学専攻・修士課程修了者の進路
主な就職先
旭硝子、三菱化学、昭和電工、トヨタ自動車、三菱重工業、JX日鉱日石エネルギーほか

応用化学科が目指すのは、物質を様々な「デザイン」した社会に役立つ新しい機能を導き出すことです。無機、有機、バイオ、従来の分野ではくり切れ多彩な、そして最先端の研究を日々行っています。新しい機能が求められるのではなく、「獨創性」を大切にしています。

そのオリジナリティーを生み出す土壌となるのが、基礎研究(応用化学の木でいう「根」の部分)です。カリキュラムは、連携した「講義」と「実験」で構成され、化学の基礎的なセナスを磨く教育をベースに、社会を知る工場見学なども実施しています。4年生になると最先端研究(卒業論文)へと進み、実践的な能力を養っていきます。

化学をベースに物質を自在にデザインし、導き出した新しい機能を社会に還元する



上/大学院修士課程で極薄膜電池をテーマに薄膜の特性を研究
下/学内ではアカベラのサークルに所属。ライブハウスに出演

大学院工学系研究科
応用化学専攻 修士課程2年
宮山研究室
富士田 峻さん

研究活動を通して、これからの人生に役立つ自立性が身についたと思います!

私がこの専攻を選んだワケ

Q 応用化学科を選んだ理由を教えてください。

A もともと化学が好きで、将来は日常生活に役立つものを生み出したいと思っていましたので、応用化学科のある工学部を選びました。

工学部には他にも化学系の学科がありますが、炭素を中心とした有機化学よりも多様な物質を扱う無機化学のほうが面白そうだと感じましたし、バッテリーにも興味があったので、それだけに、応用科学科が自分に合っているかなと思っています。

Q 研究室の雰囲気はいかがでしたか?

A 工学部の化学系の学科では秋から春にかけて研究室対抗のスポーツ大会があり、4年生以上が参加します。僕はこれまでにソフトボールやサッカー、バドミントンなどに参加して、いくつかのトロフィーもいただきました。研究室は普段から先輩や先生に相談しやすい雰囲気です。年3回は合宿があり、そこでは研究以外のことも話します。

Q 研究テーマを教えてください。

A 学部時代は、バッテリーに使うイオン液体を研究しました。リチウムイオン電池などに使われる有機電解液は安全面に課題がありますが、イオン液体には燃えにくいものがあります。応用研究の事例も少ない

ので、難燃性の観点から研究を進めました。修士課程では、極薄膜電池を研究しています。膜の厚みは1ナノメートル程度。ティッシュペーパーの10万分の1くらいです。世界で最薄の電池を目指せるレベルですから、今までにない用途で様々な分野に活用できると思います。しかも薄膜は粉体とは異なる特異な特性を示すので、電池としての特性を向上させる可能性がります。

Q それだけ薄いと、実験は難しくありませんか?

A ナノサイズの酸化アルミニウムが分散した水溶液を専用の容器に入れて、界面に生じる膜を引き上げて生成するのですが、最初の半年間は薄膜づくりに奮闘しました。最近ようやく1ナノメートル程度の膜で特性を測れるようになりました。論文執筆までには薄膜ならではの特性が出る原因を明らかにしたいです。現在は電極をつくらなければならないので、電池全体を設計できたらと思っています。

学部での研究は1年間ですが、修士課程では2年間研究を深めることができます。学部とは異なり大変さもありませんが、これからの人生に役立つスキルが身についたと思っています。





宮山勝教授

化学エネルギーを高効率で取り出す手法を開発し、電気化学キャパシターや全固体プロトン電池への応用を目指しています。

不揮発性メモリなどに利用できる、情報・エネルギーを低損失で変換する強誘電体の開発にも挑んでいます。

化学の視点で新しい機能を見つけ 社会の発展につながるものを生み出す

あらゆる領域に研究対象が広がる応用化学科。宮山研究室では「無機化学」「物質の電気的な性質」を主軸にして、プロトン(H⁺)を使った全固体プロトン電池、エネルギー変換・情報変換に有用な強誘電体などを研究している。物質の機能の根源を探り、その深い理解のもとに社会の発展につながる新たな機能を創製することを目指す。

私たちの暮らしは多様な形態のエネルギーに囲まれている。例えば火力発電所では、化石燃料で蒸気を発生させてタービンを回し、電気をつくる。これは熱エネルギーを、運動エネルギー、さらには電気エネルギーに変換していることになる。

その中でも電気エネルギーは使い勝手がよく、熱エネルギー(給湯など)や光エネルギー(照明など)、運動エネルギー(電気自動車など)に変換して使える。ただし貯めるのが難しく、貯蔵には蓄電池が必要だ。

従来の課題を克服する 安全な全固体プロトン電池

パソコンやスマートフォンに使われるリチウムイオン電池はエネルギー密度が高いが、高活性電極や有機電解液を使用するため、安全性に不安が残る。しかも構造的に薄膜化は難しい。そこで注目されるのが全固体電池だ。宮山教授は電極の間を動くイオンにプロトン(H⁺)を使った全固体プロトン電池を研究する。

そうだ。

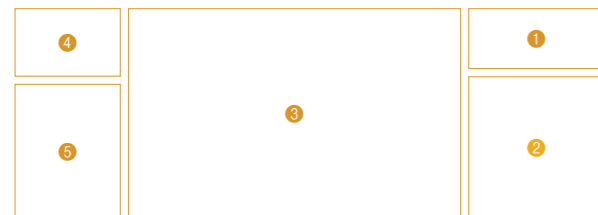
鉛を使わない強誘電体で 環境に優しいサイエンス

宮山教授は東京大学の応用化学科の出身で、セラミックスを扱う研究室に所属していた。当時はセラミックスに対して強度や形状が要求されたが、恩師が電気的な性質に着目しており、宮山教授も関心を寄せていた。「無機化学と物質の電気エネルギーを二大テーマとして掲げるようになったのは15年ほど前。学生には電池を含めて、エネルギーに関わる材料を研究したいという人が多いです」

研究室では全固体プロトン電池のほか、エネルギー変換・情報変換に有用な強誘電体の研究も進めている。強誘電体とは、格子状の酸化化合物の中にいるイオンが本来の位置よりもシフト(分極)していて、外部からの電圧で指向性を変えられる物質をいう。コンデンサー、圧電アクチュエーターのほか、指向性を変える電圧がかかるまでは定の状態を維持するため、メモリとしても活用されている。

結晶には鉛を含む金属酸化物が使われるが、鉛は人体に有害であることから、多方面で使用が規制されている。強誘電体の場合は鉛並みの性能を発揮する代替物質が見つかっていないため、例外的に規制対象外になっているにすぎない。

「結晶に欠陥が多いと、電圧をかけたも中のイオンの動き方が変わり、強誘電体としての性能の低下や向上が生じます。特に酸素の欠陥は、多くの場合、特性を低下させます。研



- ①全固体プロトン電池の特徴は安全性としなやかで柔軟なことにある
- ②全固体プロトン電池の作製
- ③「物質の機能を探り、社会の発展につながる新たな機能を創造したい」と語る宮山勝教授
- ④水面に浮かんでいるナノシートをガラス基板の上に転写する
- ⑤強誘電性BaTiO₃結晶の自発分極 P_sと光起電力

「プロトンはリチウムイオンよりも小さいので、高速充放電が可能です。エネルギー密度はリチウムイオン電池に比べるとやや低いです。電解質が有機物ではなく、かつ固体なので、安全性が高いという特性を持っています。我々はさらなる特性向上のために、無機ナノシートを積層した薄膜を電極などに用いた全固体プロトン電池を研究しています」

化物を、負極には酸化ルテニウムを、電解質には層状複水酸化物(LDH)を使う。基板上に正極と負極のコーティングをそれぞれ少し離して滴下し、乾燥させた後に、両電極を覆うようにLDH水溶液を重ねて乾燥させれば、完成である。

極めて薄いナノシートが重なった構造になることから、柔らかなポリマー基板の上に積層膜をつくるフレキシブルな電池がつけられます」

しなやかで柔軟 ウェアラブルにも応用可能

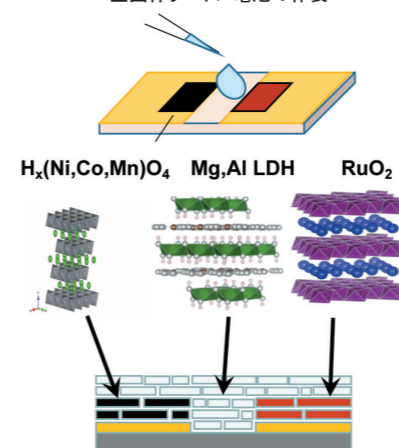
ナノシートの電池では、基盤を曲げても導電率が変わらないことが確認できた。積層したナノシートは接点を維持しながら、柔軟に変形していると見られる。

「フレキシブルな薄膜の全固体プロトン電池の特性は、有機液体を使わないがゆえの安全性であり、しなやかで柔軟なこと。情報端末の形状に合わせて貼り付けたり、メガネ型ウェアラブル端末のツルに巻き付けたりするなどの用途が考えられます」

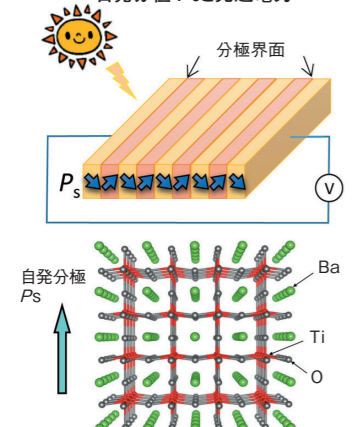
将来的な発展に期待がかかるが、万能ではない。例えば、自動車用の大型電池をつくることは難しい。しかし、応答性が早く高速充放電ができるので、エネルギー回生ブレーキのように、特性を生かした使い方もあり



全固体プロトン電池の作製



強誘電性BaTiO₃結晶の自発分極 P_sと光起電力



研究室では酸素欠陥を除く有効な手法をいくつか見出し、機能の制御に取り組んでいます」

有効な手法とは、結晶をつくる際に酸素が豊富な状態で行うこと、酸化物を添加するなどがある。酸素が抜けていても、添加物からの酸素が入り酸素欠陥が減ると考えられる。酸素が抜けないように格子の目を細かくするなど組成を変える手法もある。

なぜ、そうなるのか？ 機能の探究が新発見を生む

強誘電体は非鉛化が課題ではあるが、まったく新しい可能性も秘めていると、宮山教授は言う。

「強誘電体には大きな光起電力があります。シリコン型太陽電池は光を当てると半導体内の接合界面に電位差が生じて電流が流れます。強誘電体は結晶にひずみがあり、電子が進みやすい方向と進みにくい方向があって、半導体の接合界面のような役割を果たすので起電力が生じるのです。流れる電流はわずかなので、太陽電池とするのは難しいですが、起電力はたいへん大きい。光センサーや光メモリ、電圧で可変する光スイッチング素子などに応用できると考えています」

このように今までにない物性を探索できるのも、研究の醍醐味と言えるだろう。研究室では、研究の企画・開発から、実験、考察、社会への発表まで、すべてができる人材の育成を目指す。宮山教授は「自らの研究で、将来の社会を変える意欲を持ってほしい」と熱いメッセージを送る。



※S1とS2を通して実施

3年生の時間割例「S1S2」

	月	火	水	木	金
1限	化学工学II	環境システム工学I	有機化学III	プロセスシステム工学I	高分子化学I
2限	応用物性工学	量子化学II	数学2F	物理化学II	化学反応論I
3限		分析化学実験	物理化学演習II	分析化学実験	分析化学実験
4限					
5限		コンピュータ化学演習		コンピュータ化学演習	コンピュータ化学演習
6限					

学部教育は、講義、演習、実験、卒論からなり、特に、輪講やグループ研究による学生参加型講義、学生の自主的な取り組みを促す卒論を重視している。カリキュラムの内容は、物理化学・量子化学・化学反応論などの基礎化学、化学工学、反応工学・プロセスシステム工学・環境システム工学・エネルギー工学などの化学システム工学基礎からなる。

方法論を身につけて 社会課題の解決に挑む

化学システム工学は、地球温暖化、エネルギー問題、高齢化、医療とコストのような問題に対して、化学を基盤にシステムマチックにアプローチする学問です。国連の「持続可能な開発目標(SDGs)」が時代のキーワードになる中で、化学を中心とする様々な要素知識をシステム的に活用することで、複雑な社会課題に対する持続的なビジョンを示すことができます。化学システム工学科の特徴は、分子や物質、材料やデバイス、それらの製造プロセスを研究する際に、「求められる目的や機能は何か」を常に念頭に置いているという点です。このような目的志向で幅広い視野を持てる人材は、化学産業も含む多くの「ものづくり」の産業で求められており、就職も極めて好調です。

化学システム工学科の学生は、基礎としての「化学」に加え、物質・エネルギーの変化や移動を定量的に理解し、化学製品を実スケールで製造するための「化学工学」を学びます。原子・分子から地球環境までのレベルで起きる様々な現象を取り扱うための方法論を習得するのです。

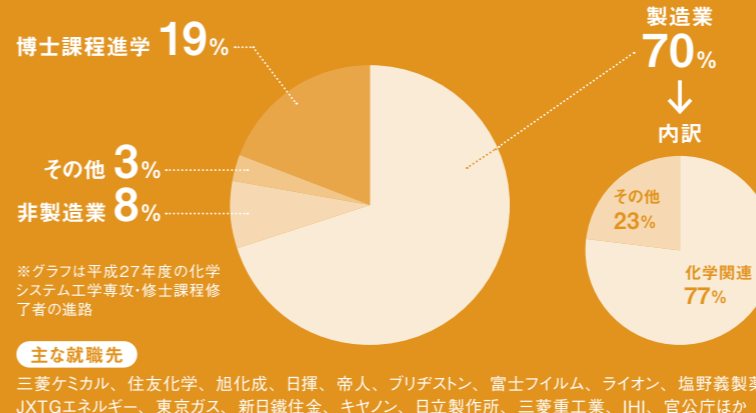
卒業する頃には、専門知識と周辺知識をバランスよく兼ね備え、分子から地球までを見わたせる「スペシャリスト」にして「ジェネラリスト」に成長できます。このような人材こそが、持続可能な社会の実現に向けた課題に対して、強固な学術基盤を持った上で、挑戦できると考えています。

目指すのは「スペシャリストでジェネラリスト」



修士課程修了後の進路

卒業生の多くは、大学院に進学した後就職する。化学系企業はもちろん、エネルギー・機械・エンジニアリングを中心とした製造業、さらには情報関係やシンクタンクなどへの就職にも強い。博士課程修了後は、国内外の大学や研究機関、民間企業の研究開発職で活躍している。



化学を基盤に、システム工学を強みに、持続可能な社会を構築する

地球温暖化、エネルギー問題、高齢化や医療とコストの問題など、私たちは多くの困難な課題に直面しています。例えば、CO₂排出の抑制。化石燃料の使用中止や焼き畑農業の禁止など、一見、理想的な解決方法はすぐに示すことができません。ところが多くの場合、利便性、コスト、人々の思いなどの様々な要因が絡み合っていて、実際に実行できる方法は容易には出せません。このようなときに、化学システム工学のアプローチが大きな力を発揮します。



上/医薬品製造プロセスの研究を通して社会に貢献したいという松並さん
下/化合物の粉体から錠剤をつくる過程では粉体の物性コントロールがカギ

大学院工学系研究科 化学システム工学専攻 平尾・杉山研究室 松並研作さん 修士課程2年

Q 研究室の様子を教えてください。

A 杉山先生をはじめコーヒー好きなメンバーが多いので、朝はコーヒーを淹れるのが研究室の日課です。研究はそれぞれのデスクで行いますが、気分転換したいときや相談事があるときはテーブルのある部屋へ行き、皆とコミュニケーションを取ります。立場や学年の垣根を超えて研究や趣味の話などをしています。夏の合宿では久しぶりにスイカ割りをして楽しい思い出が増えました。

Q 将来の進路は決めていますか？

A 博士課程に進学し、現在の研究を続ける予定です。博士課程を意識し始めたのは研究室に配属された頃から。研究が楽しいので、修士で終わらせるのではなく、博士課程も含めた6年間で研究成果を出したくなりました。もちろん、就職に不安を感じなかったわけではありません。博士課程に進んだ先輩たちにも相談しました。でも、大切なのは就職することではなく、どのように社会に貢献できるかです。私は研究を通して社会に貢献しようと考えてようになりました。

進路を考える上で大切にしたのは「どのように社会に貢献するか」でした

私がこの専攻を選んだワケ



Q 化学システム工学の魅力はどこなところでしょうか？

A 化学という化合物をつくるイメージが強いかもしれませんが、それとは少し違って、身近な現象をモデル化して数値で説明することを学びました。例えば、冷蔵庫にスイカを入れると、どのくらいで冷えるのか。そんな日常の出来事も熱の伝わり方として捉えればモデル化でき、定量的に語るができます。この学科に進んでから、身近な現象を計算できることに面白さを感じて研究を続けています。

Q 今取り組んでいる研究内容を教えてください。

A 錠剤の製造プロセスを研究しています。錠剤は複数の化合物の粉体を均一に混ぜて成形するので、粉体を適切に制御する必要があります。一般的には、粉体の物性を制御するため、流動性の良い顆粒をつくる造粒という操作を加えます。しかしこの操作は多くのツールを使うため、加工容器に粉体が付着してロスが生じます。創業の世界では新薬をいち早く製品化することが重視されますが、製造の際のロス低減や環境配慮も重要なテーマです。シミュレーションを通じて、より良い製造プロセスを追求したいと考えています。将来は、医薬品の製造プロセスの効率化を実現して社会に貢献できればとてもうれしく思います。

研究室紹介

[平尾・杉山研究室]

<http://www.pse.t.u-tokyo.ac.jp/>



杉山弘和准教授

持続可能社会の実現に向けたプロセスシステム工学とライフサイクル工学を研究しています。杉山准教授は、工業製品としての医薬品を上手につくり、使っていくためのツールや方法論の研究に挑戦しています。

高齢化で拡大する医薬品市場 製薬プロセス最適化を目指して

プロセスシステム工学とライフサイクル工学を扱う平尾・杉山研究室。未来のものづくりや実社会を意識した化学システム工学科ならではの研究をしている。対象の一つが医薬品。数百の分子量を持つ有効成分はいくつものステップを経て合成され、さらに複雑な工程を経て錠剤やカプセルなどの「薬」になる。工業製品としての薬を上手につくり、使っていくためのプロセスを組み上げるためには、何を考えればよいのか。

現場を見ることで 実際に役立つ研究にする

機械を操作するときや何かを組み立てるときに「なぜこの手順なのか」「これを先にするほうが効率的なのか」「と思ったことはないだろうか。」

杉山弘和准教授は、以前勤務していた製薬会社の製造工程に対して「あのプロセスを変えれば、もっと収率が上がるはず。なぜそうなっていないのだろうか?」と思うことがあったという。収率が上がれば、ロスを削減できる。製品価格を下げられる可能性もあり、社会的意義も大きい。

しかし、そこには様々な事情があった。医薬品は生命に関わるものだけに、企業の独断で製法を変えられない。日本なら医薬品医療機器総合機構という行政機関に新しい製法として認可を得る必要があり、それには相応の時間と労力を要する。

「新薬開発には多額の投資が必要ですが、化合物の特許は20年から25年で切れてしまいます。基礎研究の成果が製品化されるまでには概ね10

る世代は着実に減っていくのだ。

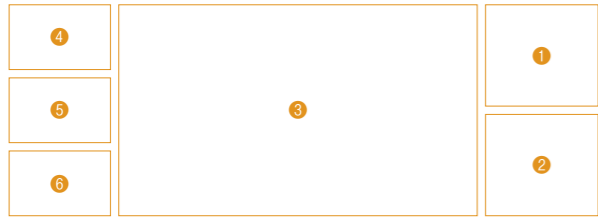
「今は医薬品の価格が高くても制度を維持できていますが、このままでは持ちません。今こそ流れを大きく変えるとき。国際的にも同じような問題意識を持った研究者が増えています。東大工学部、そしてこの化学システム工学科からムーブメントを起こしていかなばと考えています。」

製薬プロセスの最適化は 社会にとって有益

化学プロセス設計に関する研究は、化学工学の一分野である「プロセスシステム工学」として40年以上前から行われてきた。当初は工場内の最適化を目指していたが、環境への配慮から今ではライフサイクル全体を考慮した研究に発展している。杉山准教授らはこの「ライフサイクル工学」も取り入れた研究を行っている。

「最近ではシングルユースという、1回限りの使い捨てプラントが注目を集めています。簡単に言えば、樹脂製の容器で反応などの操作をし、終わったら廃棄するというもの。従来はステンレス製容器を毎回洗浄していましたが、その手間を省く技術です。使い捨ては「見もたない」ように感じますが、容器洗浄の大量の水が不要になるメリットもあります。どちらの技術が環境に良いのかは、ライフサイクルを考えて初めて分かることです。」

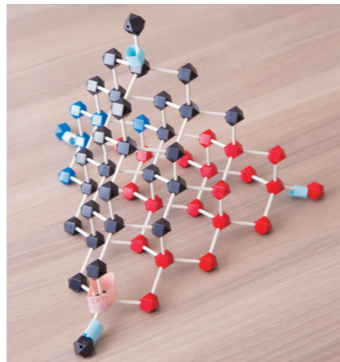
研究室では、国内外の大学や製薬関連企業と共同研究等も行っているほか、産業界の有志と月1回の研究会を開いている。学生はこれら学外との交流にも参加し、実際のプラント



- ① 分子模型を使ってトレードオフの概念を見える化し、思考を重ねる
- ② 杉山弘和准教授
- ③ 内部進学生はもちろん留学生も多く、活発な議論が交わされている
- ④ 企業のプラントを見学。実際の製造現場から得るものは大きい
- ⑤ 関連研究の全体像を把握。視座は高く、世界を見据えている
- ⑥ 国際シンポジウムで登壇する杉山准教授。学生にもこういった挑戦の場がある

年以上かかり、投資の回収期間は長くありません。企業としては、一日でも早く販売を開始するために、スピードを重視して研究開発する。本来なら多数の選択肢を吟味して最適なものを選びたいところですが、実際はそれが難しくなってしまうのです。」

「昨今はバイオ医薬品のシェア拡大や再生医療製品の市場化、ジェネリ



二気が高齢化が進む 日本の社会課題解決に貢献

杉山准教授らは、モデル化やシミュレーションの技術を駆使し、最適なプ

ック医薬品の推進など、大きな変化が起きています。製造技術も新しいものが次々と実用化されている。「持続可能な開発目標(SDGs)」には医薬品に関わる項目も含まれている。考えなければいけないことが劇的に増える中で、エキスパートに頼ってばかりでは、将来にわたって良いプロセスを生み出し続けられる保証はありません。」

プロセスにシステムチックにたどり着くためのツールや方法論を研究する。

例えば錠剤。原料の粉体を混合し、顆粒をつくらせ、型に入れて成形したものをコーティングして仕上げられる。混ぜ方や顆粒のつくり方などにはいくつもの選択肢がある。もしすべての選択肢をモデル、つまり数式で表現できれば、それらを組み合わせたプロセス全体も数式で表現できる。シミュレーションや最適化が可能になるというわけだ。

「そんなツールができたならプロセス設計にインベーションを起こせます。新しい設計の方法論を書いてみたいんです。」

杉山准教授が医薬品に注目する背景には高齢化の問題がある。国立社会保障・人口問題研究所によれば、65歳以上の老年人口の割合は2010年に23.0%だったものが、2060年には39.9%に増加するという。さらに、15歳から64歳までの生産年齢人口は63.8%から50.9%に低下すると予測。高齢化で医薬品や関連サービスの需要が増えても、医療保険制度を支え

を見学することもある。この経験は貴重で、シミュレーションでも、データ解析でも、現場を知るからこそその視点があるという。

今までにない方法論を 学生とともに生み出したい

これから専門を磨く学生に向けて、杉山准教授はこう助言する。

「これまで一生懸命に勉強してきた学生にこそ、実社会で起きている課題を扱う学科で学んでほしい。理論上は正しくても、生産スケールでは思わぬトラブルが起こることは多々あります。問題の構成要素は何かを論理的に考えられる能力は、卒業してから的人生で必ず生かれます。」

杉山准教授は、化学システム工学科で学んだ後、スイスの大学で博士号を取得。その後、現地の製薬企業に勤務したユニークな経歴を持つ。研究室は国際色豊かな環境で、博士課程生の中にはスイス出身の学生も含まれる。言葉や文化の壁を越えて研究に取り組んでいる。学生同士の議論は活発で、杉山准教授自身、学生から多くの気づきを得ているという。

「否定的な意見は研究に必要なもの。ですが研究と人格は別物。相互にリスペクトしているからこそ有益な議論に発展するのです。私はこの研究室を、梁山泊のようにしたい。それぞれが家言を持った専門家集団であり、友達とも家族とも違うユニークな信頼関係で成り立っている場という意味です。メンバーと共に、新しい方法論を生み出していきたいと考えています。」



※S1とS2を通して実施

3年生の時間割例「S1S2」

	月	火	水	木	金
1限	化学工学II		有機化学III	無機化学II	高分子化学I
2限	分子生物学I II	物理化学II	数学2F	量子化学II	化学反応論I
3限	バイオテクノロジーI		分子生物学I II		
4限	分子集合体化学	有機化学実験及演習 (分析化学実験及演習、 コンピューター化学演習)	化学・生命研究倫理	有機化学実験及演習 (分析化学実験及演習、 コンピューター化学演習)	有機化学実験及演習 (分析化学実験及演習、 コンピューター化学演習)
5限	化学生命工学最前線				
6限					

化学生命工学科のカリキュラムの特色は、有機化学や高分子化学などの化学系と生命科学や分子細胞生物学などの生命系の2つの学問領域を基礎、実験、演習から学ぶことができる点にある。3年生になると、午前中は講義で、午後からは実験中心のカリキュラムになる。

化学とバイオ、両方に興味を持つ学生をじっくり育てる

化学生命工学科の究極の目標は、有機化学と生命工学の融合による新物質・新機能の創造と応用です。例えば、化学生命工学の「化学」の領域では、高効率・高選択的な新しい有機合成・高分子合成の方法論を開拓し、それを基に、自然を凌駕する優れた機能を有する超分子・超材料の創造を目指しています。化学生命工学の「生命」の領域では、化学を有力な武器として生命現象を分子レベルで解明し、テクノロジーとして応用していくことにより、新たな生命分子・生命システムの創造と応用を目指しています。

こうした目標に近づくために、化学生命工学科では有機化学、高分子化学などの化学系と、生命科学や分子細胞生物学、バイオテクノロジーといった生命系の2つの学問領域を本格的に学びます。このダブルメジャーの教育は、化学と生命の融合に立脚した研究に欠かせません。また、将来様々な分野で活躍し、研究者もしくは企業人として新しい価値を生み出すための土台となります。

カリキュラムの特徴は、大まかにいえば午前中に専門科目を学び、午後からは実験と演習で培った知識を実践するようになっています。

卒業後の進路は様々ですが、多くの卒業生は学部・大学院での研究内容を生かした進路を選択しています。学部卒業生の多くは大学院に進学し、博士課程には約3割が進学する傾向にあります。

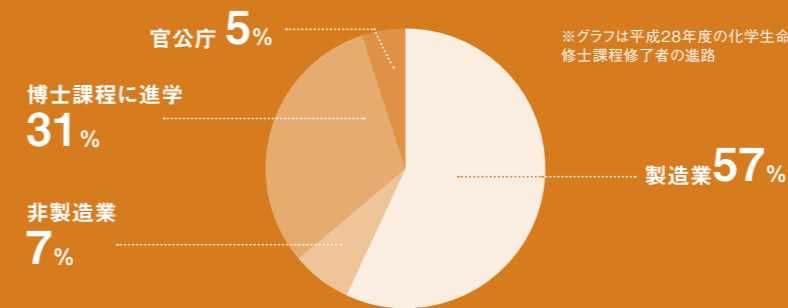
化学生命工学科の研究テーマ例



「分子」を共通のキーワードとして化学からバイオテクノロジーまでの幅広いスペクトルの研究と教育を行う。

修士課程修了後の進路

大学院への進学率は9割を超える。博士課程への進学を希望するのは約3割強というのが例年の傾向。就職先の約半数は化学系、バイオ・医療・食品系、エネルギー系で占めている。



主な就職先

富士フイルム、住友化学、三菱化学、花王、三井化学、東レ、中外製薬、資生堂、味の素、旭硝子、JXTGエネルギー、サントリーホールディングス、武田製薬工業、アステラス製薬ほか

有機化学と生命工学の融合による「新物質・新機能の創造」を目指す

化学生命工学は、有機化学と生命工学を融合し誕生した新しい学問領域です。分子をキーワードとして、化学からバイオテクノロジーまでの幅広い研究が行われています。なぜ分子なのか——様々な生命現象や高機能材料も最終的には分子レベル、化学反応レベルで説明できるからです。実際に活躍できるフィールドは、医療・創薬分野、環境・エネルギー関連分野などがあり、化学・生物・医療を対象とした工学的研究に携わることができます。

分子をコントロールすることで生命現象を深く理解したい

私がこの専攻を選んだワケ



Q 専攻・研究室を選んだ理由を教えてください。

A (熱田) もともと生物が好きなので、進学振分けでは理学部分野を学びたかったので工学部を選びました。研究室は先輩たちの楽しそうな様子で決めました。

Q 現在取り組んでいる研究テーマは何ですか？

A (熱田) 人工的につくった核酸分子を使って細胞膜上の受容体をコントロールし、iPS細胞の分化を制御しようとしています。

(古畑) 1分子DNAシーケンサーは次世代の遺伝子解析技術として注目されています。この読み取り精度を高めるために、有機化学と分子生物学的手法を組み合わせた新しい方法を開拓しています。

Q 研究のやりがいや醍醐味を教えてください。

A (熱田) 以前は生物や生命というものを概念的に理解していましたが、研究を通して、分子同士の相互作用など生命現象をよりクリアに感じられるようになりました。

(古畑) 同じ細胞を扱っていても個性があり、常に同じ実験結果が得られるとは限りません。でも、その個性こそが生命を維持する上で大事なのだと思います。生命は動的なものだと知り、生きていることは本当にすごいと単純に感じています。

Q 将来どのような道に進みたいですか？

A (熱田) 化学と生物に関する幅広い領域について学ぶことができるため、課題に関して様々な視点から考える姿勢が身につきます。大学院修了後は研究職としてメーカーで働く予定ですが、化生で学んだ知識や考え方を生かして企業での課題解決に取り組んでいきたいと思っています。

(古畑) 研究がとても面白いので、博士課程に進学して研究を続けたいと思います。卒業後は海外でも研究を行い、世界で活躍できるような研究者を目指したいと考えています。



上/分子デザイン、合成から細胞での実証実験まで、幅広い研究を進める
下/研究室ではメンバーの誕生会を開催するのが恒例行事となっている

大学院工学系研究科
化学生命工学専攻 修士課程2年
熱田早紀さん
同・博士課程1年
古畑隆史さん
(共に山東研究室)



山東信介教授

【山東研究室】

<http://park.itc.u-tokyo.ac.jp/sandolab/>

分子の集合体である生物が、どのようにして生命を維持しているのか——。分子をデザインすることで化学ツールをつくり出し、生命現象を解明しています。再生医療や医薬品開発などに応用可能な革命的分子技術を創成するのが目標です。

分子レベルで生命現象を解明して 医療や創薬などで社会に還元

有機化学と生命工学を融合することで新物質・新機能の創造を目指す化学生命工学科。山東研究室では、人工細胞増殖因子、人工ペプチドなど、生命現象の理解や制御に活用できる「機能性分子」を開発している。今までにない化学ツールをつくり出し、医療や医薬品開発の課題解決に挑む。

地球上に存在する物質は、分子により構成されている。人間も例外ではない。タンパク質や脂質などの分子により細胞がつくられ、それぞれに機能を果たしている。

化学生命工学では、化学と生命をつなぐものとして「分子」に着目。分子の働きから生命現象を解明し、分子をコントロールすることで新しい機能を持たせていく。

化学と生物をつなぎ 分子を自在にデザイン

「近年注目されている再生医療も、細胞の中の分子が行っていること。狙った通りに分子の働き方を制御する分子技術を開発し、新たな治療法や医薬品などに役立てたい」

そう話すのは、化学生命工学科の山東信介教授。工学という言葉からは機械や電気などをイメージしがちだが、分子の機能をデザインする化学の工学的価値は高いと説明する。

「再生医療の最先端研究を社会に応用しようとした場合、問題となる

にも耐えられずストックができない。実際に医療に使おうとすると、やはり莫大なコストが問題となる。

そこで山東教授は、狙った分子に対して特異的に結合する機能性分子を利用して、人工細胞増殖因子のデザインに取り組む。

「DNA(デオキシリボ核酸)は遺伝子として有名ですが、実はDNAを機能性分子としても利用できます。試験管内分子進化法という手法を用い、特定の受容体に作用するDNA配列を探索することが可能です。このDNA分子は化学的に合成可能であり、また細胞増殖因子と同様に細胞に働きかけ、分化や増殖を誘導できます。また、この方法でつくった機能性分子は熱や乾燥に強く、安価に大量生産することが可能です。分子に変異を入れることでさらに強い作用を持たせることも可能になるでしょう。医療応用に向けた展開を進めています」

中分子医薬に役立つ 人工ペプチドも研究

もう一つの研究テーマは、がんやアルツハイマー病などの難治疾患の治療薬として期待されるペプチド創薬だ。アミノ酸がつながってできたペプチドは中分子医薬品と位置づけられ、化学合成がしやすく、疾患関連タンパクに結合しやすい。ただし薬としての効果を発揮するには細胞膜内に入り込む必要があるが、細胞膜透過性が低いという課題がある。

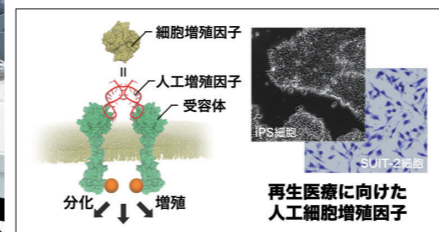
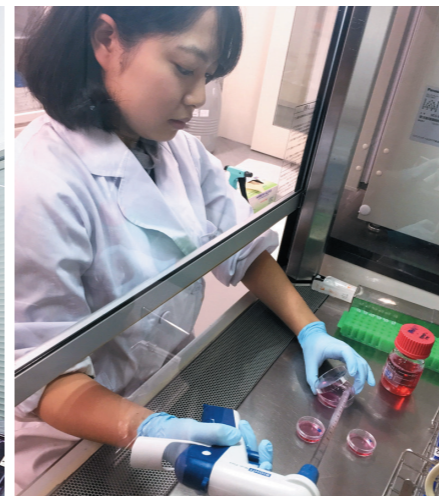
「天然のペプチドを超えた機能を持つ、人工ペプチド医薬品の開発を進めています。従来のように、一つひとつ

のはコストです。iPS細胞による治療をするには数千円かかります。最新のがん免疫療法でも年間3000万円以上かかるといわれています。このような状況では、素晴らしい治療法が誕生したとしても、実際の応用にはつながりません。しかし、従来の治療法で使っている生体由来の分子と同じ機能を持つ分子を人工的にデザインし、化学合成できれば、医薬品のコストを劇的に下げられるはず」

分子を設計して、合成するまでは有機合成化学の領域だが、山東研究

室では、分子レベルで生命現象を「観る」「操る」をポイントにさらに発展的な生物学研究を進めている。出口としては、医療領域が考えられる。その一つとして、生体内の分子の働きを観る技術を研究している。既存の技術では、分子プローブと呼ばれる目印を付けてがん細胞を見つけるPETなど、放射線を使って見る方法が一般的だ。しかし、特定の分子を見つけれないが、そこで何が起きているかは観測できない。

「生体の中で起きているさらに高次



人工ペプチド

がん関連たんぱく質

PDB: 4N5T

医薬品への応用を見据えた人工ペプチドのデザイン

な現象を知るために、核磁気共鳴(MRI)を用いて体の中の分子を見る方法をとっています。私たちは動的核磁気共鳴という造影剤の感度を理論上数万倍から数十万倍高めることができ、技術を用い、腫瘍の増殖に関連する酵素やタンパク質の活性など生体内の代謝をリアルタイムで見ようとしています。それが実現すれば、病気の早期診断はもとより、分子でできる生命の根源に近づくことになるはず」

分子をデザインして 人工細胞増殖因子をつくる

分子を操る研究では、大きく分けて2つのテーマに取り組んでいる。その一つが、人工細胞増殖因子の開発だ。細胞膜受容体に作用し、分化や増殖を引き起こす物質である細胞増殖因子は、病気の発生や予防、治療にも関わる存在として、医療分野で重視されている。

しかし、タンパク質からなる細胞増殖因子は調整が難しく、加熱や乾燥

つくって試すのではなく、10億種類以上の多様な人工ペプチドを一度に作成する最先端技術を用い、その中から特定の標的タンパク質に結合し、その働きを阻害する人工ペプチドを効率的に探索しようとしています。細胞膜を透過し、がん治療に応用できる次世代人工ペプチド医薬品の開発を目指しています」

動的な生命の営みを 工学的に解明する

山東教授の研究の原動力は「生命現象を知る」こと。そのためには、刻々と変化する生命の営みを分子レベルで見、理解する必要がある。

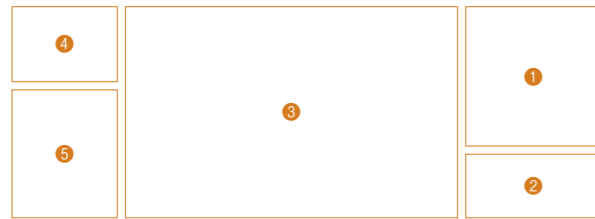
「今分かっているのは、静的な分子同士の関係性だけ。でも実際は、動的な変化の中で生命は成り立っています。動的な生命機能を分子レベルで理解し、制御することは、化学と生命を扱う化学生命工学の醍醐味の一つです」

研究室の学生たちは自分で分子をデザイン・合成する一方で、細胞を使った評価を行うなど、化学と生物学両方にまたがる最先端の研究を日々行っている。

生命と化学を結びつけるのにとどまらず、工学という視点を持つことの重要性も山東教授は強調する。

「医療に関わる研究が工学部でできることが十分に知られていません。人工細胞増殖因子やペプチド医薬品をつくり、ドラッグデリバリーに向けたポリマー材料を開発するなど、医療や医薬品開発での工学的発想が不可欠です」

- 1 研究室では細胞の培養が行われている
- 2 再生医療に向けた人工増殖細胞因子
- 3 実験室のNMR(核磁気共鳴)装置の前に立つ山東信介教授
- 4 「研究の原動力は生命現象を知ること」と語る山東教授
- 5 医薬品への応用を見据えた人工ペプチドのデザイン



※破線の左がS1、右がS2

3年生の時間割例「S1S2」

	月	火	水	木	金
1限	地球科学2	機械材料学	生命知ロコキウム	システムデータ解析	
2限	社会のための技術	放射線と環境 応用流体力学	設計学基礎	数理計画と最適化1	計測工学
3限	材料力学3	システム工学基礎	個体資源開発概論 金融市場の数理	プログラミング 応用I	プログラミング 応用II
4限	基礎プロジェクト	社会のための技術	経済学基礎	環境調和論 先端 コンピューティング 先進デザイン	環境・エネルギー プロジェクト 技術プロジェクト マネジメント
5限				応用のための物理IV	応用のための物理V
6限	システム創成倫理		特許法	環境問題総論 特許法	金融レジリエンス 情報学

トップダウン的な専門知識の伝授というスタイルの教育をやめ、学生が将来出会うであろう複雑で不明確な諸課題に対して「どのように対応するか」ということに力点を置いた教育を志している。そのために、知識や事実、法則、原理などのKnow-Whatに加え、それらの知識を使う方法、生かす方法、つまり「知」としてのKnow-Howを積極的に習得することを目標としている。

「知」の再構築と合流化を目指して

21世紀の特徴の一つは複雑な価値観の時代であると言えます。持続可能な地球環境を維持しながらも、国家を含むいろいろな組織が、問題解決能力を獲得し、新しい問題解決法を編み出し、新しいシステムを創造し、ハローとリズムをつくりながら社会と経済と環境に対してポジティブな「答え」を出していかなければ、日本と地球の繁栄はありません。

私たちが目指すのは、科学的論理性を中心軸に据えた新しい教育と研究の領域「システム創成」です。システム創成学科のカリキュラムは、産業や経済や行政の多様な問題を解決するだけではなく、もっと包括的な大局解を求め、大きなイノベーションを引き起こすことができる人材を養成するように設計・デザインされています。

高度にソフト化、システム化が進化する現代社会において、知識の伝達を中心とした従来型の産業基盤は過去のものとなり、設計、開発、研究に加えて、企画、教育、行政、プロデュース、コンサルティングなど、システム創成学科を卒業する学生の活躍の場は広がっています。同時に、基礎工学に関する解析的能力に加え、論理的、システマティックな思考力、統合力、リーダーシップ、コーディネーションといった能力が期待されています。

システム創成学科では、このような新しい社会状況に柔軟に対応でき、能力を発揮できる人材を育成しています。

新しい「知」を創造できる4つの新しい学習体系

汎工学

技術と社会、生命、環境・エネルギーなど新しい工学として必要な基礎的な考え方を学習します。

プラクティス

プラクティス(演習や応用的な課題、マルチメディアの利用)により、基礎的な学問の考え方や手法を学習します。

プロジェクト

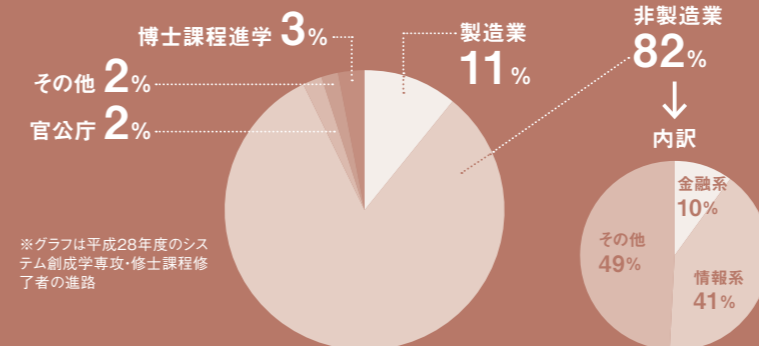
チームに分かれて与えられた課題に取り組む「プロジェクト」を通じて、課題探求能力を育成するとともに、プレゼンテーションやコミュニケーション能力を身につけます。

領域工学

領域工学、卒業研究によって専門知識を深めるとともに、技術を総合する能力、研究する能力を養います。

修士課程修了後の進路

就職先は製造、エネルギー、官公庁、金融、コンサルティングなど、産官学の各方面に広がっている。リーダーシップが求められる仕事が多く、身につけた問題解決力を発揮して活躍する卒業生が増えている。



主な就職先
経済産業省、環境省、国土交通省、東京電力、大阪ガス、野村総合研究所、三菱重工業、日本IBM、日立製作所、東芝、ニコン、ファナック、大正製薬、アクセンチュア、ゴールドマンサックスほか

システム・イノベーションを駆使して 新たな工学教育へ挑戦する

私たちは現在、複雑で多様な地球規模の様々な問題に直面しています。文明の持続・発展のためには、世界全体として新しい解決法を見いださなければなりません。しかし、これらの課題は、20世紀に構築された科学・工学技術のみでは対応できません。社会科学などの知識・技術も融合した俯瞰的視点を持ち、革新的なディシプリンの創出・深化・総合化をする必要があります。システム創成学科は、自然科学・工学から社会科学までを包含したカリキュラムで、複雑な社会の要望に対応できる多彩な能力を持つ人材を養成しています。

日本のエネルギー問題に着目し その解決を目指して進路を決定しました

私がこの専攻を選んだワケ

Q 進学を決めたきっかけは、東日本大震災だそうですね。

A 大学に入学したのは2011年、東日本大震災の直後でした。電力不足で計画停電が実施された、原子力発電施設が問題になったりと、電力を取り巻く環境で様々な変化が起こる中で、エネルギーは特に大きな問題だと感じました。進学振分けでシステム創成学科を選んだのは、原子力や海洋資源、再生可能エネルギーなどを幅広く扱っているため、学ぶ意義があると考えたからです。進学してとても満足しています。特に興味深いのは海洋分野です。浮体式洋上風力発電はもちろんですが、海洋環境の研究も興味深いですね。

Q 浮体式洋上風力発電について、研究内容を教えてください。

A 僕が担当しているのは浮体式洋上風力発電の周辺を航行する船舶のシミュレーションです。ウインドファームの実証を行っている海域は船舶の航路と近く、もしも船舶が操縦不能になれば、事故が起る可能性があります。研究は実際の海域の航行データなどを引用し、浮体と船舶の衝突事故はどのくらいの確率で起こるのか、衝突の影響はどのくらいか、係留用チェーンが断裂する可能性はあるか、浮体が漂流したら事故は連鎖するかなどをコンピューターでシミュレーションしています。

Q 実際に運用する際に、役立ちそうな研究ですね。

A 土台となるプログラムは研究室の先輩から代々受け継いでいるもので、僕はより現実的なシミュレーションができるように、ブラッシュアップを図っています。具体的には、船舶が流体から受ける力がやや過小評価されていたので、そこを見直し、より現実的な結果が得られるように工夫をしています。学部時代は時間が足りず実験が不十分だったので、修士課程ではきちんと実験データを踏まえたプログラムを提案したいと思っています。

Q 高瀬さんが描く、将来の夢は何でしょうか？

A エネルギー問題を解決したいと考えて進路を決めました。これからもエネルギー分野で自分が身につけた知識を生かしていきたいと考えています。日本は資源に乏しい国ですが、海洋や海中、海底には高いポテンシャルが眠っています。この立地を生かさない手はありません。洋上風力発電の実証ではなく、実現のために貢献したいですね。



上/エネルギー問題に関心を寄せたことが工学部を選びきっかけになった
下/研究室での集合写真

システム創成学科
環境・エネルギーコース 平成29年卒業
大学院新領域創成科学研究科
海洋技術環境学専攻 修士課程1年
海洋空間計画研究室
高瀬康一さん



研究室紹介

【鈴木・平林研究室】

<http://www.orca.k.u-tokyo.ac.jp/SuzukiLab/Home.html>

海洋の再生可能エネルギー開発、
海中や海底下の炭水素や鉱物資源の開発、
海洋空間利用などにおける資源エネルギー問題や
地球環境問題の解決に向けて研究を行っています。



平林紳一郎准教授

再生可能なエネルギーの確立を目指し 海洋という広大な領域を探究

地表の7割を占める海洋は環境問題と密接に関わりを持ち、膨大な資源やエネルギー、空間を有している。特に四方を海に囲まれた日本にとっては極めて重要な研究対象だ。平林紳一郎准教授の研究室では、海洋における再生可能エネルギーの開発、海中や海底下の資源開発、海洋空間利用の3つに取り組んでいる。

従来の欠点をカバーする 新しい風力発電ファーム

再生可能エネルギーの一つである風力発電。日本では陸上風力発電が多く設置されてきたが、近年は洋上風力発電に注目が集まっている。洋上は障害物がなく、風況の良い適地が多い上に、近隣への騒音や景観への影響も少ないことから、欧州では積極的に導入が進んでいる。

現在、主流の技術は海底に柱を立てる着床式だ。欧州は遠浅のエリアが多く、工事を行いやすいが、日本は急峻な海底地形のため建設費が膨らむ。また、老朽化などで発電を止めたと、海底に据え付けたコンクリートの基礎の撤去方法など、環境への影響が大きいと心配する声もある。

そうした中で着々と研究が進められているのが、浮体式、洋上風力発電だ。風車を浮体に載せて浮かべるので、設置場所の水深は問わない。浮体が流されないためにチェーンを使って係留する必要があるが、着床式と比べて海洋環境への影響は圧倒的に

少ない。

「東日本大震災をきっかけに、福島県沖合に浮体式洋上ウインドファームを建設するための実証研究が始まりました。浮体式かつファーム規模で運用するのは世界初です。先日、その第1フェーズが終了し、技術的には実現可能であることが分かりました。今後取り組むべき課題はコスト削減です」

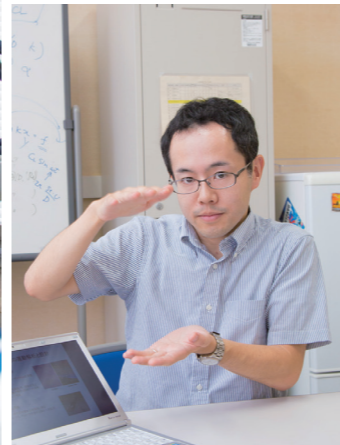
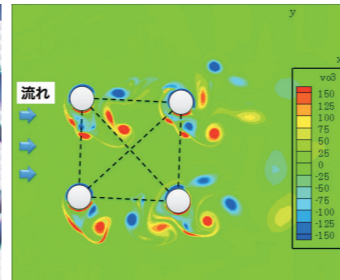
浮体式風車の実用化に 向けて解決すべき課題

鈴木・平林研究室では運動および係留にかかる研究と、ウインドファーム周辺を運航する船舶との共存に関

する研究を担っている。

洋上浮体構造物は歴史が古く、石油掘削プラットフォームなどで豊富な実績を有する。風力発電でもその知見が生かせるが、コストに対する考え方は決定的に違う。石油掘削は多大な利益を生むため、軽度のトラブルでも掘削が滞らないように手厚く修理を行うことが可能だという。一方で、風力発電は収支上そこまで手をかけられない現実がある。コスト削減はもろろんのこと、トラブルを起こさない仕組みが求められている。

平林准教授らを取り組んでいるのは浮体を係留するためのチェーンの長寿命化だ。



「流れがある水中では物体の周辺に渦が発生し、その渦が剝離するとき荷重がかかります。海底掘削では直径が数十センチメートルから1メートル、長さが1000メートルから3000メートルくらいの管を使いますが、海洋中では管の周囲に渦ができ、剝離時の荷重で管が振動します。これを渦励起振動と言います。管は硬いスチール製ですが、長さに対して直径が小さいので、渦励起振動でぐにやぐにやと曲がり、一定の限度を超えると金属疲労でボキンと折れてしまいます。これと似たことが係留用チェーンでも起こります」

洋上では、浮体の周りに発生した渦によって、浮体に渦励起運動と呼ばれる周期的な運動が発生する。この運動によって浮体を係留しているチェーンには張力変動が加わり、疲労や摩擦により最悪の場合は破断する可能性があるというわけだ。

将来的なウインドファーム構想では20年間使える浮体および風車を20億円で作るつもりとしている。これに対して、係留用チェーンの交換には1本2

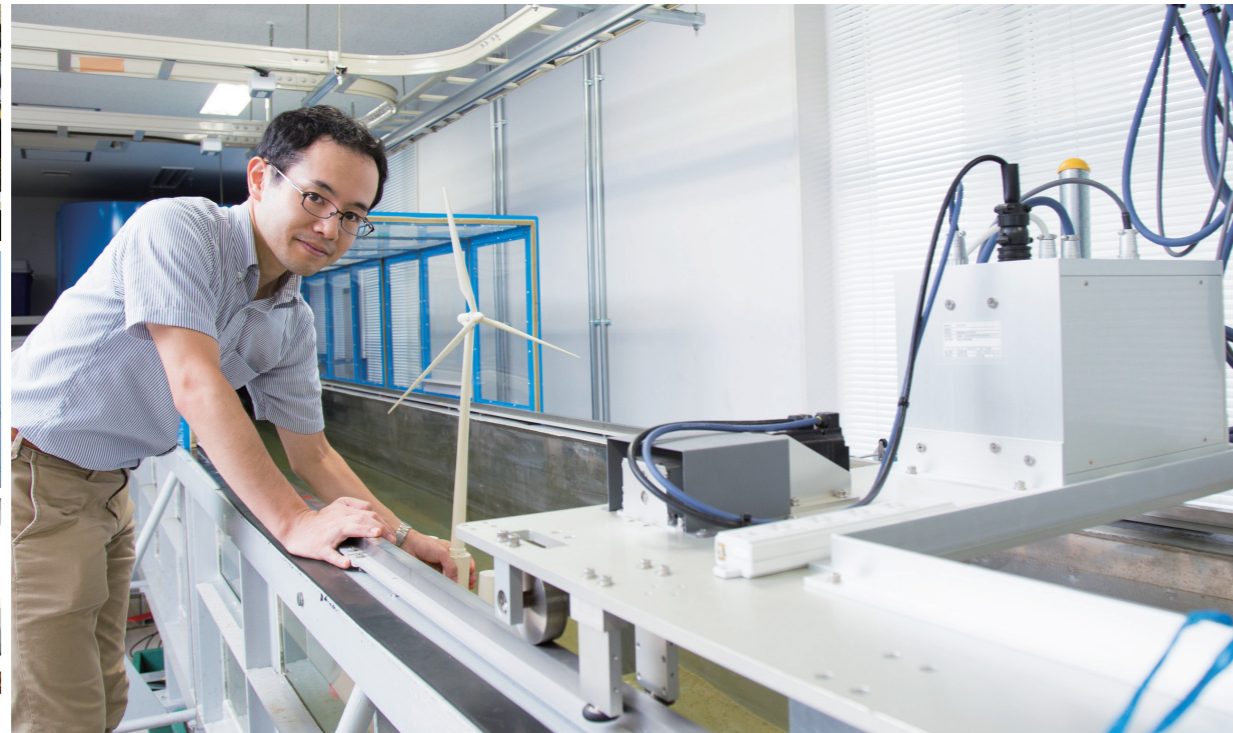
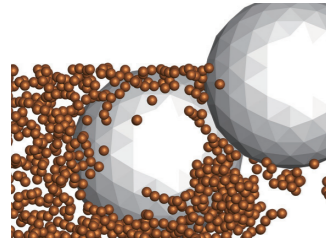
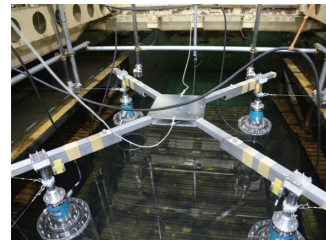
億円程度かかるといふ。高コストになるのは「交換用のチェーン代金だけでなく、船舶手配などの費用がかかる」ことが原因だ。平林准教授らは渦励起運動の挙動を研究することで、チェーンの長寿命化を図りたいと考えている。

海洋には解明すべき 未知の事象がたくさん！

渦励起運動の存在は以前から知られているが、その全容は解明がされていない。

「浮体構造物の基本的な運動特性を調べる実験は10分の1スケールの模型を実験用プールに浮かべて行います。十分に高精度のデータが取れますし、波や風といったパラメータを反映させて、実寸にスケールアップしても成立させられる法則も分かっています。ところが、渦励起振動についてはスケールが与える影響が大きく、この法則が適用できないのです。現在のコンピュータ技術では完全なシミュレーションはできませんので、実寸でデータを取るか、非現実的な速度の流れをつくって実験するか、特異な実験を重ねないと全容は明らかにできないかもしれません」

渦励起運動は、柱を海底に立てる着床式洋上風力発電や予算が豊富な石油掘削プラットフォームではそれほど大きな問題になっていない。浮体式という新しい技術に挑戦するからこそ、顕在化した課題だといえる。実は、ブラジルのサンパウロ大学もこのテーマに関心を寄せている。彼らは資源掘削が目的なのでターゲットは違うが、同じテーマに挑んでいるので共同研究や



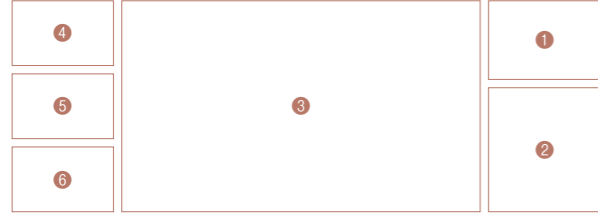
人材交流による緊密な情報交換をしているという。

「浮体やチェーンに対する渦の影響を抑える方法を考えています。物体の形状あるいは喫水の深度によって周辺の流れが変わりますし、渦の形状や荷重の度合いも変わります。ただし、構造物として必要な条件もあります。例えば、流れを受ける部分が細ければ、渦励起運動は発生しにくいですが、細すぎると強度を保てません。設計の最適化にはどのような条件を与えればいいのか、模型を使いながら研究を進めています」

研究をしながら 方法論を身につけてほしい

平林准教授は学生時代、海洋環境工学を専攻し、海底2000メートルの中心層において、熱や物質がどのように流れるかなどを研究していた。渦励起運動は現職に着任してから着手したテーマである。着任当時、ちょうどウインドファーム実証研究が動き出すところで、渦の研究ならば自分の強みを生かせると考えてプロジェクトへの参加を決めた。

「学生時代とテーマが変わっても、学んだことは確実に生かれます。我々の役割は問題を提起し、その解決方法を提案すること。実際に課題を解決するのは他の人でも構いません。何が本質で、どうすれば解決できるのかを考えられるかが大切なのだと思います。それは教科書に学ぶことではないので、学生には研究を通して、課題解決を考える素養を身につけてほしいと思っています」



- 1 水中では物体周辺に渦ができ、これが浮体運動を励起する
- 2 平林紳一郎准教授
- 3 平林准教授は学生時代から海洋の流れや渦の研究を手掛けてきた
- 4 曳航水槽での渦励起運動の実験の様子
- 5 福島県沖で進められている浮体式洋上風力発電システムの実証研究
- 6 メタンハイドレートなど海洋資源開発のプロジェクトにも携わる

博士号は未来へのパスポート

大学は学ぶ場。大学院は「研究の場」ともいえる。では、修士課程と博士課程ではどこが違うのだろうか。その疑問に明快に答えてくれたのが、大学院工学系研究科博士課程に通う上田倫久さん(化学生命工学専攻)だ。「大学院は研究の場。それも前のめりになって自分からテーマを見つけに行くイメージ」と話す。彼の研究歴をたどりながら博士課程の魅力について話を聞いた。

博士課程は未来をつかみ取る場所 もがきながらも充実しています

大学院工学系研究科化学生命工学専攻博士課程1年の上田倫久さんは、長崎県出身。生物と化学が好きで、将来はバイオ系の研究に携わりたいと考えていたという。なかでも生き物の体を形づくる分子を扱う有機化学は、上田さんの心を強く捉えていた。

この「生物寄りの化学」を学びたいという思いを胸に、東京大学に進学。同様の学問分野は薬学部や農学部にもあったが、授業や学生生活で親しみの深かった工学部化学生命工学科に進む道を選んだ。相田卓三教授の研究室を選択した理由について聞くと――。

「有機化学を生命科学から材料科学まで展開していて、自分の化学の視野を広げられると思った」と上田さん。実際に研究室を見て決めた部分もたくさんあったという。「相田先生はオープンでグローバルな視点から研究室を運営しており、留学生を数多く受け入れてくれます。ミーティングも英語で行うなど日頃から英語を使う環境が当たり前です。研究室を、学生が世

界へ羽ばたく準備の場にした」という先生の考え方にワクワクして選んだのを覚えています」

目の前の研究に没頭したら新しいテーマを発見できた
学部4年生で研究室に入り、手にした研究テーマは、導電性のらせん高分子ポリマーに関するもの。導電性の低分子をつなげてらせん状の高分子をつくる過程で、たまたま末端と末端がつながって環を形成する分子が見つかった。

「発見した分子をよく見るとキラリテイ・*があり、しかも加熱により左右の反転が可能であることが分かりました。そうした動的な挙動を示す分子の物性を見てみようというのが4年生の研究でした」
発見自体は偶然のもので、上田さん自身も「運が味方してくれた」と振り返る。有機化学の世界では何かをつくる過程で新しいものが見つかり、研究がどんどん派生的に広がっていくのが面白いと話す。相田教授からは「チャンスはどこにでも転がっているけれど、常に準備

をしているからこそ見つけれられるのだ」と励ましの言葉をかけてもらった。研究の楽しさを感じ、大学院への進学を決めた。

2015年の6月、上田さん(当時修士1年)は米国で開かれた学会のゴードン会議で、この分子に関する発表を行った。そこでスウェーデンの研究者から声をかけられた。「それまではこの分子を熱で動かしていたのですが、光でも動かせるのでは？」とアドバイスをもらい

ました。そこから「芳香族性」というキーワードが出てきました」

帰国後すぐに試してみると、光で動かせることが分かり、スウェーデンの研究者らとの共同研究がスタートした。ちなみに、この研究者の専門分野は計算機化学であり、異なる学問領域の知恵が研究成果にも生かされている。

「分子の左右が反転するキラル反転反応に着目し、分子が光を吸収した高エネルギー状態(励起状態)の時に吸収していない低エネルギー状態(基底状態)の時の活性化エネルギーをそれぞれ算出、比較しました。これにより、芳香族性は励起状態にある分子をどのくらい安定化させるのかについて、世界で初めて実験的に評価することに成功しました。基底状態での分子安定化効果の議論は昔からあったのですが、励起状態は瞬間的にしか存在しないので議論できていなかったのです」

この研究成果は、17年7月の「第29回不斉に関する国際会議」でBest Poster Presentation Awardを、8月には学術雑誌「Nature Communications」に掲載され、9月の「光化学討論会」で王立化学会 Photochemical & Photobiological Sciences Prizeを受賞することとなった。

上田さんにとって、もともとの興味は生命科学に関する研究だっ

たが、今では材料科学へと対象がシフトしている。

「研究対象を主体的に選べることも大学院の良さだと思えます」と上田さんは楽しそうに話す。

研究分野が広がるきっかけ「リーディング大学院」

研究したことが認められるのは、修士、博士を問わずうれしいものだ。上田さんの研究ライフをサポートしたのは「博士課程教育リーディングプログラム」(リーディング大学院)という博士課程前期・後期にわたる一貫した学位プログラム。12年度に採択された「統合物質科学リーダー養成プログラム(MERIT)」の一員として、上田さんは工学、理学、新領域創成科学など、学問領域を横断した学びと刺激を得ている。

「修士課程1年次後半から博士課程修了まで、月額20万円の奨励金が支給されるのはすごく心強いです。また、化学生命工学以外の物理、電気、材料工学系のメンバートのグループワークなどを通じて異分野の考え方に触れることができるのは、刺激的なだけでなく視野を広げたという意味で大きいですね」

一人前の研究者として前のめりになって深掘りする

上田さんにとって、大学院で研

究することは、どんな経験になっているのだろうか。

「学部は確立されたことを学ぶ場ですが、大学院は未知なるものを研究する場。それも前のめりになって自分からテーマを見つけに行くイメージです。その姿勢がないと、チャンスが転がっていても気づきません。修士も博士もその本質は変わりませんが、博士はより一人前の研究者として見られます。見つけたものをさらに深掘りし、実際につかみ取るうと、もがく。場所が博士課程だと思えます」

そして、何度でもがき、ステツプアップし、その度に楽しさが増えていくことを、上田さんは今も実感しているという。

将来的には、社会に出て科学に関わっていくことを考えているとのこと。最近興味を持っているのは政府系の独立行政法人だという。奨学金や奨励金を受けた経験から、科学の世界を目指す学生や研究者をサポートする側になりたいと考えているようになった。

「研究者から遠ざかるという意味ではなく、未来をつくる仕事に興味を感じています。僕自身、いくつかの奨学金や奨励金を受けたことで研究に集中できました。その恩を返すことも視野に入れてこれから道を考えていきたいです」
上田さんの、もがき楽しむ、日々は、まだまだ続いていく。

*キラリテイ……分子構造が右手と左手のように互いに非対称な性質

上田倫久さん
大学院工学系研究科
化学生命工学専攻
博士課程1年
相田研究室
日本学術振興会
特別研究員 DC1

日本学生支援機構奨学生数

(単位:人)

区分	奨学生数	在籍者数	比率
学部	290	2125	14%
修士課程	403	1688	24%
博士課程	42	612	7%

2017年5月1日現在

2016年度採用分日本学術振興会特別研究員採用状況

(単位:人)

区分	採用者数	申請者数	支給金額	応募資格
PD	4	17	36万2000円	博士学位取得者
RPD	1	2	36万2000円	
DC2	44	266	20万円	博士在学など
DC1	28	123	20万円	博士1年など
計	77	408		

2017年5月1日現在

2016年度TAおよびRAの採用実績

(単位:人)

区分	TA		RA
	夏学期	冬学期	
博士課程	76	62	292
修士課程	297	294	

東京大学大学院工学系研究科では、博士課程に進学した学生や若手研究者が、安心して研究に取り組めるよう手厚い経済サポートを行っている。例えば「博士課程学生特別リサーチアシスタント(SEUT-RA)」は、博士課程の学生が毎月5万円(タイプB)の支給を受けられる制度である。

特に優秀な学生には毎月12万円(タイプA)の支給があり、極めて優秀な学生に対しては毎月20万円(タイプS)が支給される。サポート額としては、世界の大学と比較しても遜色ない経済支援制度である。

民間支援基金の活用により運営されている制度もある。採用されると「奨学金20万円/月」に加え、「研究費100万円/年」が支給(若干名)される。

このほか、授業の実質的な補助・支援に関わる業務を行う「ティーチングアシスタント(TA)」は、夏学期と冬学期に分けて学生を募集している。博士課程の学生が採用されると、講義運営をサポートすることで時給1400円が支給される仕組みだ。

前ページに登場した上田さんが採用された「リーディング大学院奨励金」は、支給額だけでなく期間も手厚い。奨励金は月額20万円で、修士課程1年次後半から選考対象になっており、研究生活を乗り切るものになっている(ただし、2018年度の募集にて終了)。

「日本学術振興会特別研究員DC」をはじめ「東大フェロシップ」「外部資金等によるRA雇用」など、サポートの種類はかなり豊富だといえる。

18専攻、2附属施設、7附属センターから構成される工学系研究科にはたくさんのチャンスがある。約500人の教員と約200人の事務・技術職員のサポートと合わせて、自分に合ったサポートを選んでほしい。

(2017年11月現在)
(実績は各表を参照)

研究ライフを物心両面でサポートする制度が充実

博士学生経済的支援一覧

- ・リーディング大学院奨励金
- ・日本学術振興会特別研究員DC
- ・工学系研究科SEUT-RA
- ・入学料、授業料免除制度
- ・博士課程研究遂行協力制度
- ・日本学生支援機構(JASSO)奨学金
- ・外部資金等によるRA雇用
- ・民間奨学金
- ・東大フェロシップ
- ・東京大学外国人留学生支援基金
- ・国費留学生奨学金
- ・外国政府派遣留学生奨学金
- ・日本学生支援機構(JASSO)学習奨励費
- ・アジア開発銀行(ADB)奨学金

※工学系研究科の多くの博士課程学生は、博士課程教育リーディングプログラムや日本学術振興会などの経済支援制度を利用しています



A-Traction(エートラクション)
代表取締役社長

安藤岳洋氏

Takehiro Ando
2012年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博士課程修了。医系研究科での研究を経て、同年10月から東京大学大学院工学系研究科助教。一貫して医工連携の研究に携わる。15年8月にエートラクションを設立し現職。

人間とロボットの コラボレーションで 先進医療分野に挑む

独自の腹腔鏡手術支援ロボットを開発するエートラクション。この分野で独占状態にある米社「ダ・ヴィンチ」の牙城に挑む。

最大の特長は、人間とロボットの「コラボレーション」。これまででは、すべての手術のロボット化を目指すものばかりだったが、「人間のほうが向いている」ともあります。それぞれに得意なことを分担すれば、手術のクオリティをより高められるはず」というのが、代表取締役社長の安藤岳洋さんの持論だ。大

大学発
ベンチャーは
東大のお家芸*

起業家

羽ばたく

Entrepreneurs

超小型衛星開発で 注目の宇宙ベンチャー 自社で50機打ち上げへ

日本発の宇宙ベンチャーとして注目のアクセルスペース。代表取締役CEOの中村友哉さんは大学2年の時、衛星を手作りする研究室があると知り「人とは違う経験ができてエキサイティング」と航空宇宙工学科に進学。博士課程まで超小型衛星開発に打ち込んだ。

「超小型衛星を実用化して世の中の役に立ちたい」と進路を模索する中、大学発ベンチャー支援制度で教授が助成金を得たのを機に起業。北極海付近の氷の分布情報



AXELSPACE(アクセルスペース)
代表取締役CEO

中村友哉氏

Yuya Nakamura
1979年三重県生まれ。東京大学大学院工学系研究科航空宇宙工学専攻博士課程修了。在学中、3機の超小型衛星の開発にかかわる。卒業後、同専攻での特任研究員を経て2008年にアクセルスペースを設立、代表取締役役に就任。

大学3年で出会った メディアアートに感銘 人間とAIによる共創を目指す

「大学3年の時、あるメディアアート作品と出会ったのが今の道に至るきっかけです。AIを使った作品制作を手掛けるクリエイティブスタジオ、コスモの代表取締役CEOの徳井直生さんはこう振り返る。

「東大工学部で学べることは幅広く進路も多様。面白い経験ができると思います」。新しい分野で果敢に挑戦を続ける自身の歩みからそう太鼓判を押す。



Cosmo(コスモ)
代表取締役CEO

徳井直生氏

Nao Tokui
1976年石川県生まれ。2004年東京大学大学院工学系研究科電子工学専攻博士課程修了。ソニーコンピュータサイエンス研究所パリ客員研究員などを経て、09年にコスモを設立。AIと人の共生による創造性の拡張の可能性を模索している。



StockMark(ストックマーク)
取締役CTO

有馬幸介氏

Kosuke Arima
2008年東京大学工学部計数工学科卒業。10年東京大学大学院情報理工学系研究科修士課程修了。同年新日鉄住金ソリューションズ入社。16年に同社を退社し、大学の後輩だった林達氏(11年文学部卒、代表取締役CEO)と起業の準備を進める。同年11月ストックマークを設立し現職。

学生時代に深掘りした AI技術で起業 1年で300社超を顧客に

ストックマークの中心サービスは「Anews」。AI(人工知能)技術を駆使し、企業のニーズに合わせて業界動向、最新技術などのニュースを集め配信。業務効率化に役立つと評価は高い。取締役CTOの有馬幸介さんは「会社設立から1年弱で大

手企業を中心に300超の顧客を獲得しました。全上場企業に導入するのが当面の目標です」と意気盛んだ。学生時代から計数工学科でAIを研究していた有馬さん。大学院修了後、新日鉄住金ソリューションズでシステム開発に腕を振るったが、チーム到来を機に「AI技術をビジネスに結びつけたい」とサークルの後輩の林達さん(代表取締役CEO)とともに創業した。

*東京大学は国内の大学別大学発ベンチャー企業数で首位(経済産業省資料「平成28年度産業技術調査事業(大学発ベンチャーの設立状況等に関する調査)報告書」より)

Innovator Next

未来を創る東大工学部



Message
from
the Dean

染谷隆夫 工学系研究科長・工学部長

東京大学大学院工学系研究科長・工学部長

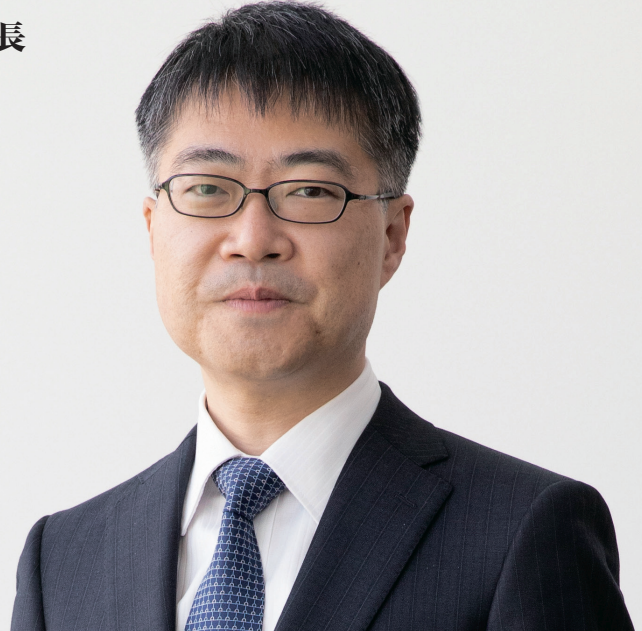
染谷隆夫

Someya Takao

Profile

1968年生まれ。92年東京大学工学部電子工学科卒業。
94年東京大学大学院工学系研究科電子工学専攻博士課程修了。
同年東京大学生産技術研究所助手、2000年東京大学先端科学技術研究センター講師を経て2003年東京大学大学院工学系研究科助教授に就任。2007年京大大学院工学系研究科准教授、2009年同教授に。同年米国プリンストン大学 Global Scholar、15年理化学研究所創発物性科学研究センターチームリーダーを経て、20年より現職。

工学は、夢を描き、
未来をつくる



「工学系研究科・工学部は、未来を切り拓く最前線を担っていきます」

工学は、人類の福祉、健康、安心・安全のために新しいモノやコトをつくる学問体系です。時代とともに変化する社会の要請に応えるため、東京大学工学部は1886年に帝国大学工科大学として誕生して以来、常にダイナミックに変化してきました。

現代社会が直面する問題は、差別や貧困、気候変動、社会の超高齢化など複雑さと困難さを増しています。私たちは、サステナビリティを第一に考え、グローバルコモンズを守り育てるとともに、限りある地球資源を大切に、環境に負荷を与えない社会への変革を先導します。同時に、人間の多様性を尊重し、一人ひとりの個性を活かすインクルーシブな社会の実現を目指します。

工学が真に人類の福祉へ貢献することを目指し、工学系研究科は18専攻、2附属施設、9附属センター、工学部は16学科で構成され、約540名の教員と約220人の事務・技術職員が所属し、日夜教育、研究に励んでいます。また、約2,200名の学部学生、約2,300名の修士課程学生、約1,100名の博士課程学生が工学を学び、研究活動を進めています。

工学は、基礎科学を追究する分野、追究して得た知識を活用して社会実装を主導する分野、新しい融合領域を開拓する分野など様々な分野で構成されています。私たちは、ダイバーシティ推進・若手支援・知識融合を主軸として、

国際的に卓越した工学研究を推進し、知識集約型社会における価値創造に貢献します。

社会の要請に応えるため、伝統と革新のバランスがとれた工学教育により、深い専門知識・アントレプレナーシップ・公共的かつ国際的な視野を涵養し、イノベーションを先導する知のプロフェッショナルを育成します。eラーニングやアクティブ・ラーニングの手法を取り込むことによって、学びたいときに学びたい科目をバランスよく履修できる教育環境も整備しています。また、社会に出てからも常に学び続けることが必要となっている状況を踏まえ、リカレント教育、ライフ・ロング・ラーニング、社会人の学びを支える教育プログラムを充実させ、社会と大学の新たな関係を構築します。

これらの研究、教育に基づく様々な社会貢献を通して、未来の社会を切り拓いていくことが工学系研究科・工学部の担う社会的な責務です。社会ニーズをスピーディーに捉えつつ、アカデミアでしかできない時間軸の長い大きな挑戦を実行できるように、研究教育基盤の強化・財源の多元化・規則の現代化を推進していきます。

工学系研究科・工学部は、皆さんとともに、未来を切り拓く最前線を担っていきます。

日本学生支援機構奨学生数(2017.5.1現在)

区分	奨学生数(人)	在籍者数(人)	比率
学部	290	2125	14%
修士課程	403	1688	24%
博士課程	42	612	7%

外部資金等受入状況

区分	2016年度	
	件数	金額(千円)
科学研究費助成事業	622	3,088,420
受託研究等	311	7,630,945
民間等との共同研究	427	2,541,595
寄附金	345	939,135
その他補助金等	72	1,559,595
計	1,777	15,759,690

社会・産業界との連携・協力により開設している講座

寄付講座一覧 (2017.11.1現在)

名称	寄附者	設置期間	設置専攻
品質・医療社会システム工学	トヨタ自動車、デンソー、積水化学工業、日本規格協会、日本科学技術連盟、ペリサーブ、パラマウントベッド、小林クリエイト、日本健康管理協会	2016.7.1~2021.6.30	化学システム工学
都市持続再生学	三井不動産、三菱地所、森ビル、大林組、鹿島建設、清水建設、大成建設、竹中工務店、積水ハウス、東日本旅客鉄道	2017.10.1~2022.9.30	都市工学
パワーフロンティア寄付講座	日立製作所、三菱電機、住友電気工業	2013.6.1~2018.5.31	電気系工学
ユビキタスパワーネットワーク寄付講座	東日本旅客鉄道、東芝、電源開発、富士電機、明電舎	2013.6.1~2018.5.31	電気系工学
建築構成材デザイン工学	旭硝子	2016.4.1~2019.3.31	建築学
建築生産マネジメント	大林組、鹿島建設、清水建設、大成建設、竹中工務店	2017.4.1~2022.3.31	建築学
環境調和型エネルギー資源開発工学寄付講座	JX日鉱日石開発	2013.4.1~2018.3.31	システム創成学
グローバル消費インテリジェンス寄付講座	リクルートホールディングス、カルチュア・コンビニエンス・クラブ、パナソニック、経営共創基盤、ウェルネス、KPIソリューションズ、ドワンゴ、ローソン、フィールズ、インタージホールディングス、トランスコスモス	2014.4.1~2019.3.31	技術経営戦略学
次世代IoT 活用の創出	William Henry Gates III (ビル・ゲイツ)	2017.4.1~2022.3.31	機械工学
基盤材料マネジメント工学	新日鐵住金、JFEスチール、神戸製鋼所、日新製鋼	2017.10.1~2022.9.30	マテリアル工学

社会連携講座一覧 (2017.11.1現在)

名称	民間企業等名	設置期間	設置専攻
産業機械の創成	小松製作所	2016.4.1~2019.3.31	機械工学
ロケット・宇宙機モデリングラボラトリー	国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構	2013.4.1~2018.3.31	航空宇宙工学
創発物性科学	国立研究開発法人理化学研究所	2014.4.1~2018.3.31	物理学
省エネルギー情報処理のための次世代ナノ・マイクロデバイスシステム	日本アイ・ビー・エム	2012.4.1~2020.3.31	国際工学教育推進機構
将来航空推進システム技術創成	IHI	2016.4.1~2019.3.31	航空宇宙工学
復興デザイン研究体講座	復建調査設計、アジア航測	2014.4.1~2019.3.31	社会基盤学
ガラスの先端技術の創出	旭硝子	2015.4.1~2018.3.31	機械工学
革新的ナノ無機材料の創製	日本触媒	2015.4.1~2018.3.31	応用化学
次世代の工作機械の探索	三菱重工工作機械	2016.4.1~2019.3.31	機械工学
センシング・ヒューマン・エーションデザイン	日本たばこ産業	2016.4.1~2019.3.31	機械工学
次世代分析機器学講座	日立ハイテクノロジーズ	2016.8.1~2019.7.31	応用化学
インテリジェント施工システム	フジタ	2016.10.1~2019.9.30	精密工学
フッ素および有機化学融合材料・生命科学講座	旭硝子	2017.4.1~2020.3.31	化学生命工学
インターネット・オブ・エナジー (IoE) 社会連携講座	立山科学工業、日立アイイーシステム、エディソン、インターネットイニシアティブ、グリーンリバー、電気技術開発、テセラ・テクノロジー、アナログ・デバイスズ、アスクル、みずほ証券	2017.4.1~2020.3.31	技術経営戦略学
先端風力発電技術開発社会連携講座	日本海事協会、日立製作所	2017.4.1~2020.3.31	社会基盤学
次世代モビリティの要素技術の探索	トヨタ自動車	2017.7.1~2020.6.30	機械工学
道徳感情数理工学	ソフトバンクロボティクスグループ	2017.9.1~2020.8.31	バイオエンジニアリング
水循環データ統合の展開学	アジア航測、建設技術研究所、東京建設コンサルタント、日本工営、パソコ、八千代エンジニアリング	2017.10.1~2020.9.30	社会基盤学
革新分子構造解析講座	味の素、エーザイ、小野薬品工業、三井化学分析センター、キリン、大日本住友製薬、高砂香料工業、日産化学工業、日本たばこ産業、リガク、Merck KGaA	2017.11.1~2020.10.31	応用化学

※国立研究開発法人の社会連携講座は4/1から「国立研究開発法人連携講座」となります。

データでみる

東京大学工学部・工学系研究科

2016年度卒業・修了者の進路(2017.3.31現在)

進路状況	学部			
	学部	修士	博士	
進学	大学院研究科	786	148	5
	他学部等への進学	9	1	
	専修学校・外国の学校等への入学		8	1
	小計	795	157	6
就職	鉱業・採石業、砂利採取業		6	
	建設業	6	70	3
	製造業	22	300	45
	電気・ガス・熱供給・水道業	4	22	1
	情報通信業	15	72	9
	運輸業、郵便業	6	26	2
	卸売業、小売業	5	8	
	金融業、保険業	13	41	4
	不動産業、物品賃貸業	6	8	
	学術研究、専門・技術サービス業	4	21	76
	生活関連サービス業、娯楽業	4	6	
	教育・学習支援業	2	3	16
	医療、福祉		2	1
	複合サービス事業	2	9	
	サービス業	8	17	
	公務	7	32	2
その他の企業等	9	39	9	
小計	113	682	168	
その他	86	123	131	
計	994	962	305(60)	

単位:人 ()内の数字は満期退学者数で内数

博士学位授与数(2017.3.31現在)

区分	旧制		新制(課程博士)		新制(論文博士)		計	
	累積	2016年度	累積	2016年度	累積	2016年度	累積	2016年度
工学博士	1,916		2,940		3,202		8,058	
博士(工学)		241	6,266	35	2,761	276	9,027	
博士(学術)		4	113	0	12	4	125	

単位:人

TAおよびRA採用実績(2016年度)

区分	TA		RA
	夏学期	冬学期	
修士課程	297	294	
博士課程	76	62	292

単位:人

工学部学生数(2017.5.1現在)

学科	学生数
社会基盤学科	108(19)
建築学科	144(31)
都市工学科	124(28)
機械系	
機械工学科	306(20)
機械情報工学科	
航空宇宙工学科	129(6)
精密工学科	100(14)
電子・情報系	
電子情報工学科	275(17)
電気電子工学科	
物理工学科	120(7)
計数工学科	127(9)
マテリアル工学科	168(14)
応用化学科	102(9)
化学システム工学科	102(17)
化学生命工学科	99(21)
システム創成学科	282(28)
計	2186(240)

単位:人 ()内の数字は女子学生数で内数

大学院工学系研究科学生数(2017.5.1現在)

専攻	修士課程	博士課程
社会基盤学	194(39)	92(25)
建築学	202(57)	117(43)
都市工学	142(33)	69(20)
機械工学	225(9)	75(8)
精密工学	111(9)	46(5)
システム創成学	170(19)	56(9)
航空宇宙工学	127(5)	58(7)
電気系工学	226(13)	117(6)
物理学	117(6)	70(3)
マテリアル工学	127(12)	55(5)
応用化学	88(9)	28(5)
化学システム工学	89(9)	43(12)
化学生命工学	123(33)	52(7)
先端学際工学		81(9)
原子力国際	60(7)	45(7)
バイオエンジニアリング	82(16)	55(18)
技術経営戦略学	79(15)	59(12)
計	2162(291)	1118(201)

単位:人 ()内の数字は女子学生数で内数



日経BPムック
「変革する大学」シリーズ

Innovator Next

未来を創る東大工学部

2018年1月27日発行

【発行人】
藤田憲治

【編集長】
桜井敬三

【編集】
廣田亮平
原沢節子
丹 啓
渡部修一

【販売】
仲野 哲
佐藤孝一

【取材・文】
牛島美苗
香川優喜
小林佳代
斉藤俊明
林 愛子
松田慶子
山田久美

【写真】
加藤 康
佐藤 久
高仲建次
竹井俊晴
野田知明
吉澤咲子

【デザイン】
Kuwa Design
桑原 徹
坂上啓美
高田菜央

【表紙イラスト】
加納徳博

【監修】
東京大学 大学院工学系研究科・
工学部 広報室

発行 日経BP社

発売 日経BPマーケティング
〒105-8308 東京都港区虎ノ門4-3-12

印刷・製本 大日本印刷

©日経BP社2017

Nikkei Business Publications, Inc.
ISBN978-4-8222-5770-5

◎本書の無断複写・複製(コピー)は著作権法上の例外を除き、禁じられています。
購入者以外の第三者による電子データ化および電子書籍化は私的使用を含めて認められていません。



1935年に完成した1号館は、改築や増築を重ね現在の姿に。国の有形文化財に登録されている。



安田講堂に近い2号館は、古い建物の上に、高層階の新しい建物がのる面白い構造。



弥生門の正面に位置する3号館にはガラス張りの開放的な図書館がある。



工学部キャンパスマップ

本郷キャンパスと浅野キャンパスにある工学部の建物と16学科の所在地を紹介します。

- 1号館 社会基盤学科 / 建築学科 / 計数工学科
 - 2号館 機械工学科 / 機械情報工学科 / 電子情報工学科 / 電気電子工学科
 - 3号館 機械工学科 / 電子情報工学科 / 電気電子工学科 / 応用化学科 / 化学システム工学科 / 化学生命工学科 / システム創成学科
 - 4号館 マテリアル工学科 / システム創成学科
 - 5号館 応用化学科 / 化学システム工学科 / 化学生命工学科
 - 6号館 物理工学科 / 計数工学科
 - 7号館 航空宇宙工学科
 - 8号館 機械工学科 / 物理工学科 / システム創成学科
 - 9号館 電子情報工学科 / 電気電子工学科 / 物理工学科
 - 10号館 電子情報工学科 / 電気電子工学科
 - 11号館 社会基盤学科 / 建築学科
 - 13号館 電子情報工学科 / 電気電子工学科
 - 14号館 都市工学科 / 精密工学科 / 計数工学科 / 応用化学科 / 化学システム工学科
- 武田先端知ビル 電子情報工学科 / 電気電子工学科

