

K y u r i z u k a i

新版

窮理図解

2021 October
no.

34

慶應義塾大学理工学部広報誌

<https://www.st.keio.ac.jp/education/kyurizukai/>

English versions are also available:

<https://www.st.keio.ac.jp/en/kyurizukai/>

慶應理工の 柔軟な 二次元材料の化学

分子を動かして機能させるための
柔軟な材料設計を求めて

応用化学科

お あ き ゆ う や
緒明佑哉

(准教授)



柔軟な二次元材料の構造と機能を追究

楽しみながら新材料・新機能をつくる

原子や分子を操り、暮らしに役立つ物質をつくり出す「応用化学」。何をどう扱うかには無限の可能性があるといい。応用化学科の緒明さんは「柔軟な二次元材料」に焦点を絞り、その構造をつくり込むことを楽しんでいる。そんな中から、「思わぬ発見」が生まれるのだという。

転機となった黒いサンプル瓶

研究の世界でも、思いがけず幸運な発見をすることを「セレンディピティ」と呼ぶ。化学でも、失敗した実験の結果から予想外の有用なデータや知見を得ることがある。応用化学科の緒明さんは、「約20年間研究をしてきて、2回セレンディピティと呼べるような体験をしました。それをきっかけに研究の方向性は大きく変わりました」と話し、今から10年ほど前に、「思わぬ発見」をすることになった真っ黒なサンプル瓶を見せてくださった(図1左)。

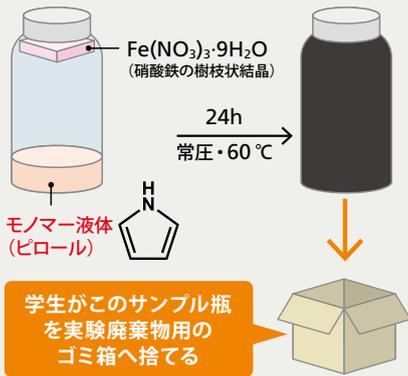


図1 2度のセレンディピティ

左・中：最初の「思わぬ発見」を講演で紹介する際に使う、当時の学生とのやり取りの再現。サンプル瓶のふたの部分に硝酸鉄結晶を貼り付け、コーティングの元となるモノマー液体を入れ、蓋を閉じる。これを60℃で静置するとモノマー液が蒸発し、硝酸鉄結晶の表面のみにポリピロールのコーティングを形成すると思われた。実際には、硝酸鉄と反応して活性化したモノマー蒸気が瓶を充満し、瓶内部全面をコーティングした。右：2回目の「思わぬ発見」。ピロールとベンゾキノンとを反応させるとネットワーク構造ができる(中)。これは簡単にはく離させることができ(写真)、そうして得られるナノシートには水素発生電極触媒になる性質があった。

大学の研究室では、教授や准教授などの教員のもとで学生たちが研究を行う。教員と学生は議論して研究の方向性や方法を定めるが、実際に実験を行うのは学生たちだ。緒明さんは、学生が実験する様子やできた試料を見て議論するのが好きだ。その日は、硝酸鉄の樹枝状結晶を電気回路に应用するため、結晶表面に導電性高分子をコーティングする実験を行っていた学生のこと気がなって話していた。すると、彼は実験に失敗したからといって、真っ黒なサンプル瓶を実験廃棄物用のゴミ箱に捨てた。

「ガラス瓶は、普通の汚れであれば洗えば落ちるので再利用するように注意しました。ところが逆に、『落ちないので

す』と言われたのです。ガラス瓶にこれほど黒く均一に強く付着する物質が生成するはずがない実験だったので、何か面白いことかもしれないと直感的に思いました」と緒明さん。

直感に従って黒い物質を調べてみると、硝酸鉄の結晶表面にできるはずのポリピロールの膜が、瓶の内壁全面にも付着していた。「ピロール(図参照)が連なったポリピロールは、共役高分子といわれる二重結合と単結合とが交互に連なった高分子です。化学構造が剛直なため溶媒に溶けません。つまり塗ってコーティングすることができないのです。そのため、共役高分子は導電性や耐熱性、酸化還元活性などの機能をもつものが多いのに、応用しにくくなっています。ところがこの失敗実験は、簡便に様々な基板や基材表面に共役高分子をコーティングできることを示していたのです」と、黒いサンプル瓶が失敗ではなく発見であることを説明された。

私何かおもしろい応用できないの?

いやー(苦笑)、ムズいっすね… 学

私 待った、捨てないで再利用しなよ

すみません、汚れが落ちなくて使えないです 学

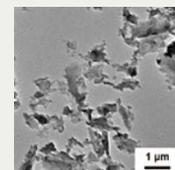
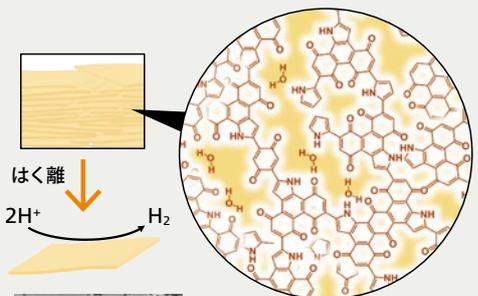
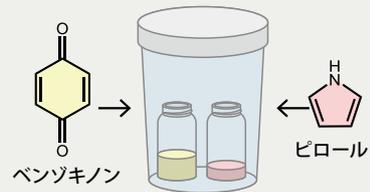
私 何で汚れるんだ?しかもなぜ黒い?

わからないっす、でもいつも黒いです 学

私 そこ見逃さず、考えどころじゃない?

そうっすね、了解です 学

低温・常圧で導電性高分子コーティングができています?



白金を超える水素発生電極触媒になるかも?

図2 研究開発が進む柔軟な二次元材料の例

上：ブラッシング力を可視化する層状ポリジアセチレンを使ったセンサー材料。

下：マテリアルズインフォマティクスを用いた材料開発。人工知能を用いて、目的達成（この場合は、はく離のプロセスを制御したい）のために重要な因子（例えば、分散に使う溶剤に求められる性質など）を導き出す。

水素製造の触媒開発に大きな一歩

応用するには、ポリピロール膜を簡単にコーティングできればいいというものではない。その性質が問われる。最初にできた膜は導電性が十分ではなかったが、この問題は、膜形成の際にピロールと組み合わせる酸化剤（ベンゾキノン誘導体）の強さを変えることで解決した。「これで研究は一段落と思ったら、今度は逆に学生から『ピロールと置換基なしのベンゾキノンの組み合わせでも重ねて膜をつくってみます』と言われました。私の化学的知見では『酸化力が足りず反応は進まないよ』と話したのですが、学生が知らないうちに実験をしていました」。

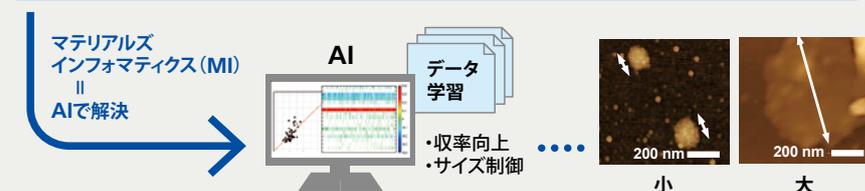
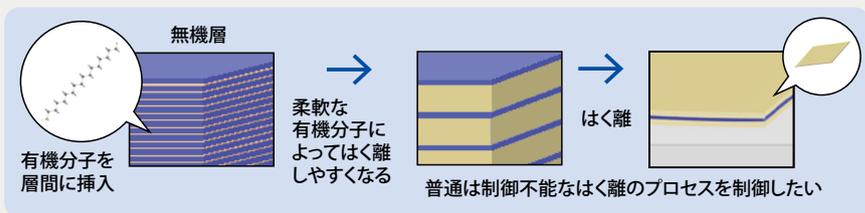
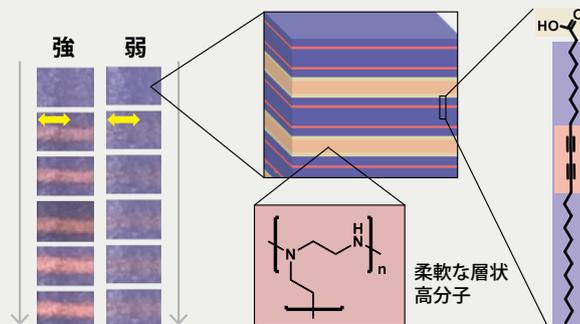
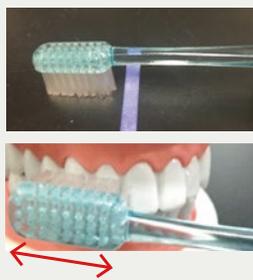
その結果、ピロールとベンゾキノンがランダムなネットワークを形成し、それがゆるく積層した新しい高分子材料をつくることに成功した(図1右)。この物質は簡単に剥離して薄いナノシートが得られるだけでなく、ナノシートには電気化学的にプロトン(H⁺)を水素(H₂)にする触媒作用があることがわかった。現在、水素は二酸化炭素を発生しないエネルギー源として注目されているが、現状では、その製造に白金触媒が必要なため、どうしてもコストや資源の問題が伴う。しかし、このナノシートはメタルフリー（金属資源を含まない）な有機化合物であり、こうした問題を解決できるだろうと注目されている。

2つの出来事について緒明さんはセレンディピティだったというが、幸運を生かすことができたのは、深い洞察力と化学の知識、そして学生の意見にも耳を傾け、常識にとらわれずに挑戦し続ける姿勢があったからだと話から伺える。

柔軟な二次元材料が面白い！

こうして、共役高分子を中心とした研究が始まった。その方針は、一般に剛直

ブラッシング力



とされる共役高分子に何らかの化学的な方法で柔軟性(分子の動きやすさ)を与え、層状構造やナノシートといった二次元材料になるようにして、それに機能をもちせようというものだ。だから緒明さんは、「まずは物質づくりを楽しむことが重要で、どんな機能が発揮されるかは後からついてくる」と考えている。前出のポリピロールとベンゾキノンからできた二次元材料も、それをつくったことが重要で、たまたま水素を発生させる触媒作用をもっていたともいえる。

同様の研究方針に沿って、熱や光、力を定量的に検出するセンサー材料の開発も進めている(図2上)。層状に並んだジアセチレン分子に紫外線を照射すると、三重結合の部分が互いに重畳して青色になる。このポリジアセチレンに熱や力、光などの刺激を与えると、分子鎖がねじれるなど、構造に微妙な変化が起こって色が変わる。層の間に入れる物質を工夫することで、刺激への応答性を調節できる点に特徴がある。これを応用して開発した材料の中には、ブラッシング程度の摩擦力によって色が変わるものがあり、適切な歯ブラシのブラッシング力が色でわかるようなセンサーをつくることができる。

人工知能で材料開発に新しい視点を

材料づくりを大切に考える緒明さんは、2016年から「マテリアルズインフォマティクス(MI)」を導入している(図2下)。材料(マテリアル)の研究に情報学(インフォマティクス)を活用しようというもので、研究開発を加速させるといわれている。具体的には人工知能に材料に関するデータをたくさん学ばせ、新物質の発見や性能の向上に必要な因子を見つけさせるのだ。ただ、多くの場合、人工知能が何を行ったのかわからなくなってしまう点が問題視されている。

緒明さんは、人工知能が重要だと提示した因子を、自らの化学的知見に基づいて正しいかどうかを判断することでこのブラックボックス化が起らないように努めている。「やはり要所では研究者が主導することが重要です。人工知能でできることは意外に多いので、上手に活用することです」。

緒明さんの洞察力が人工知能の助けを得てどこまで研ぎ澄まされるか、次の「思わぬ発見」が楽しみだ。

(取材・構成 池田亜希子)



化学の研究を一生懸命楽しむ

近年、応用や実用化研究に注目が集まりやすい化学の世界で、緒明さんは新しい材料をつくり出すことにこだわり、それを純粋に楽しみながら追究している。「私は納得しないとやらない人」と頑固な一面をのぞかせるが、その強いこだわりから生まれるパワーによって、人生も研究も切り拓いてきた。そして今、化学の楽しさを後進にも伝えていこうとしている。

—どのような子供時代を過ごされたのでしょうか。

小さい頃どんなふうにごろごりしていたのか、あまりよく覚えていないのです。中学・高校では、吹奏楽部でフルートをやっていたのはよく覚えています。母が音楽関係だったことの影響もあったと思いますが、部活動には夢中になりました。小さい頃にピアノをやられたことが嫌だったのを考えると、フルートは自分で選んだものだったから頑張れたのだと思います。

関東大会を目指して仲間と頑張ったことは非常に良い思い出になっています。今から考えれば昭和の根性論だったようにも思いますが、めげない精神が身に付きましたし、顧問の先生はたいへん厳しい方で、礼儀や人間関係、チームワークなどについても教えてもらいました。

—化学には、いつ頃興味をもつようになったのでしょうか。

中学ぐらいまでの勉強は、何故やらなければならないのかわからなくて、ずっと嫌いでした。最初に好きになったのは物理です。きっかけは高校の物理の先生が用意してくださった、たった1枚のプリントでした。物理の教科書に出てくる公式が單元ごとにまとめられていて、それらの意味や関係性がとてもわかりやすく解説されていました。

一方、化学は父が専門にしているというのに、あまり興味がありませんでした。ところが受験のために通った予備校の先生の教え方で「化学も暗記するものではないんだ」とわかって、面白いと思うようになりました。やはりどうしてそうなるかを理解しないと好きになれないのです。

—慶應義塾大学では応用化学を専攻して研究者の道を選ばれたのですね。



いろいろ迷った時期もありました。実は、大学受験の頃は、物理、化学、機械などのどの分野に進むか決められませんでした。慶應義塾にしたのは、2年生への進級時までに専門を決めればよかったからです。途中、医学部に行きたいと思ったこともありましたし、修士2年生の時には就職を考えました。ただ、いざ就職ということになったら、「まだ研究をやり切っていない」という気持ちが芽生えてきて博士課程に進むことにしました。

—先生の研究室はどのようなところでしょうか。

私は部屋に戻るときにフラッと学生のところに寄ったりします。「うるさいな」と思われているかもしれませんが、私は学生が実験する様子やその試料を見るのが、あたかも自分が実験しているみたいで楽しいのです。

学生のことは「国内外で一流の研究を楽しみましょう」という同じ目標をもつ「仕事仲間」だと思っています。

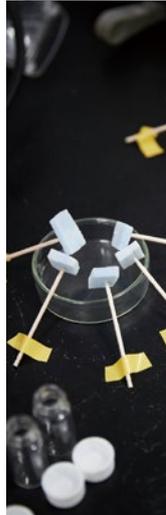
そして何よりも、自主的に興味を持って楽しんで研究に取り組んでほしい。そのために“その気”にさせるのが教員の役割だとも思っています。その気になる時期やきっかけは個々の学生によってまちまちですが、その気になると私の想像以上の進展があります。

—10年ほど前に大きく研究内容を変えましたね。

研究紹介で話したように、私も学生から刺激を受けており、「思わぬ発見」を一緒に経験してきました。その結果として、10年ほど前に自分の発見をもとにした研究内容に大きく変えようと思ったのです。

こういう過去の出来事を今の学生に話しているのも、実験中に変わったことが起きると学生の方からサンプルを見せにきます。「思わぬ発見」はそうそうありませんが、20個ほどの報告があれば1つくらいは面白いものがあります。思ったような結果にならないと失敗扱いになりがちですが、そういうときこそ、どうしたらうまくいくのかということはもちろん、視点を変えれば新しくないのか、予想外であったことはないのか、を考えてほしいと思います。

研究内容を変えたのには、もう1つ理由がありました。ちょうどその頃、何名かの研究者に「君の最近の研究には花がない」





「博士課程のテーマと違うことをやれ」「～だからできることをやるべき」と言われたのです。これをきっかけに、やはり「研究は自分の発見をもとに切り拓いて楽しもう」と思うようになり、この方法だから合成できる材料、この材料だから実現できる機能を目指し、独自性のある研究に転換したいと考えていたのです。

——研究で忙しいのに、学会活動の企画やアウトリーチなどにも積極的に参加されていますね。

次の世代を育てることや産学官の交流促進も、大事な仕事の1つだと考えています。こうした考えを学生たちにも持ってもらいたくて、「せっかく化学を勉強しているのだから、次の世代を育てる活動や産学官の交流に関する活動にも協力してください」と話しています。ただ、いろいろと手伝わせているだけかもしれませんが、良い体験になっていると信じています。

すでにお話ししたように、私は大学受験を前に予備校に通うようになるまで化学の面白さを知りませんでした。小学校、中学校の頃には化学の魅力に気付く場にめぐり合わなかったからです。機会さえあれば、化学を好きになる子供は大勢います。その子供たちのために、化学の面白さに触れる機会に協力したいと思っています。また、新しい講演会や学会誌の企画に携わることで、日本の化学が活性化し、もっと国民の注目を集めるようになってほしいと思います。

——慶應義塾は先生にとって、研究と同時に将来を託す後進の育成の場所なのですね。

そうですが、何も特別なことはしていません。学生と一緒に研究をしていけば、それが自然と教育につながっていきます。

最近は、他分野との学際的な共同研究が多いため、自分ひとりで研究できることは少なく共同研究者がいます。初めは専門用語も全く通じない他分野の研究者とどのように交流するか、どのように共同で楽しく研究して最大限の成果を得るか、研究者としてさらには人としてのコミュニケーションの取り方も学んでほしいと思っています。



——研究をする場所として、慶應義塾をどのように感じておいででしょうか。

各学部とも規模が大きいとはいえませんが、最近はそれがちょうどいいと思っています。規模は大きいほど有利だと考えていたこともありましたが、ある時、医学部の先生と話をする機会を得て、こんなに気軽に他分野の先生と話ができるのは慶應義塾が大きすぎないからであることと、一体感があるからだ気付いたのです。

この恵まれた環境を、研究に大いに利用していきたいし、利用してほしいと思っています。

◎ちょっと一言◎

学生さんから：

●さまざまな分野で、光や熱、力などの刺激の可視定量が求められており、私は刺激で色が変わる材料の研究を先輩から引き継いでやっています。研究内容の将来性を感じたことが、緒明先生との研究を選んだ一番の理由ですが、研究室の雰囲気良かったことも研究室を選ぶ決め手になりました。ここでは異なる分野出身の学生たちが、お互いに知識を共有し刺激し合いながら楽しく研究しています。修士課程を終えたら就職しますが、ここで学んだ研究やコミュニケーション能力を大切に、世界を広げていきたいと思っています(修士1年生)。

(取材・構成 池田亜希子)

さらに詳しい内容は
<https://www.st.keio.ac.jp/education/kyurizukai/>

「研究は自分の発見をもとに
 切り拓いて育てるものだ」
 と気付かされました。

緒明佑哉

Yuya Oaki

慶應義塾大学工学部応用化学科准教授。博士(工学)。専門は共役高分子材料、層状物質、ナノシート材料、マテリアルズインフォマティクス。2002年慶應義塾大学工学部応用化学科卒業。2006年同大学大学院工学研究科後期博士課程修了。日本学術振興会特別研究員(PD)を経て、2009年より慶應義塾大学応用化学科助教、2012年より専任講師、2016年より現職。2016年から2020年までJST さきがけ研究者、2018年から2020年まで文部科学省学術調査官を兼任。

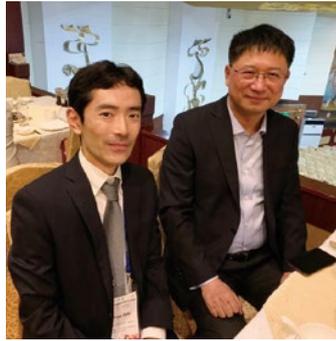


日中若手研究者の交流

2019年10月に中国の西安で開催された高分子科学に関する「第1回日中若手研究者交流シンポジウム」に、日本メンバーの一員として参加しました。近年、多くの分野で中国の研究レベルの高さが言われている中、それを知る良い機会になりました。



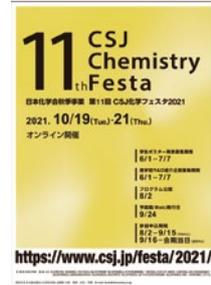
研究成果のプレゼンテーション



中国側講演者・ホストとの親睦を深める夕食会。右は組織委員長の張希 (Zhang Xi) 教授。

化学の普及・啓発活動

日本化学会の産学官の交流深耕を目指す「CSJ 化学フェスタ」、小中学生のための「化学だいすきクラブ」などの委員を10年近く務めています。化学を通じた産学官の交流や次世代に面白さが伝わることを願い、地道に続けています。委員会後の懇親会で、全国の先生方のいろいろな話題や企業の方からヒット商品の裏話などを聞けるのも楽しいところです。



緒明佑哉の ON と OFF

ON も OFF も 楽しいことさかし

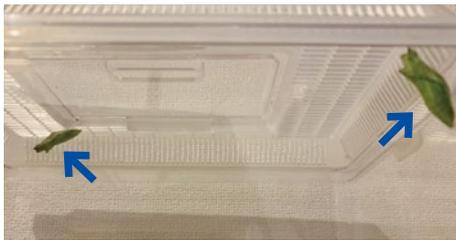


研究報告会

JST さきかけ (科学技術振興機構の研究プログラムの1つ) の合宿形式での研究報告会における議論。朝から夕方まで研究報告と質疑やディスカッションができ、研究の話題に集中できる良い機会でした。夕食後は、本プロジェクト研究のアドバイザーであるベテランの先生方から、笑い話も交え、多様なキャリアや研究に対する考えを聴くセッションがあり、これもとても勉強になりました。

家族で夏になると育てているチョウ

幼虫を見つけてきてチョウになるまで育てます。



さなぎの状態です。



羽を乾かし終わると巣立っていきます。

自宅で育てているナスとトマト

今年は植えるのが遅くなってしまい、豊作とはならず。

ナス：おいしいです。



トマト：やや酸っぱいので、もう少し甘くしたいです。

娘との遊びの一場面



パンダが多数派のおまごとも兼会食です (コロナ前)。

ブロック遊びや積み上げる系が多いです。



私の My favorite books 本棚



● ネイティブスピーカーの英文法

「ネイティブスピーカーの○○」シリーズの1冊で、父からもらった本です。研究成果に関する論文を英語で書くとき、定冠詞・不定冠詞や単数・複数の扱い、時制、前置詞、類義語の中からどの単語を使うべきかなど、いつも、今でも日々悩みます。この本では、○○の部分が、文法、前置詞などいくつかに分かれており、いずれもネイティブスピーカーのイメージやセンスがイラストとともに紹介されており、英語が苦手な私にも感覚的に受け入れやすく楽しく学べます。

● ドラえもん

糸なし糸でんわ=携帯電話、ほんやくコンニャク=翻訳機のように、すでに実現している秘密道具があると思います。また、これから実現しうる秘密道具もあると思います。そう考えると、作者の発想の斬新さに驚くとともに、研究者の成果の出口イメージを提案してくれているようにも思います。このように真面目に考えられる側面を強調してしまいましたが、純粋にストーリーや登場人物の起こす様々な出来事をぼんやりと読んで楽しんでいます。私のお気に入りのひとつは、17巻の「バイバイン」です。2ⁿのすこさをドラえもんが教えてくれています(バイバインを添加したくりまんじゅうが、5n分後(n=1, 2, ...)に2ⁿ個に増えていく話です)。

● 高分子エレクトロニクス

導電性高分子の合成、構造、特性がわかりやすく説明されています。特に、参考書としては珍しく、様々な共役高分子の合成方法について、具体的な試薬の量や反応温度なども書かれています。共役高分子の研究をはじめた頃には、このような情報がとても参考になりました。さらに、性質なども詳しくわかりやすく書かれており、共役高分子に関する基礎を知るにはとても良い本だと思います。博士研究員をしていた時の研究室で、先生に薦められて購入した1冊です。

● 100かいだてのいえ

「100かいだてのいえ」シリーズの1冊です。そら(空)、ちか(地下)などのテーマに分かれていて、10階ごとに住人が違います。招待された人や動物が、いえ(家)の100階に向かう絵本です。住んでいるのは、テーマごとに違いますが、例えば、リス、テントウムシ、かぜ、にじ、雷?などが、10階分のスペースにとっても独創的な部屋を築いて生活しています。この本は2~3年前に旅行先で偶然に出会いましたが、内容やイラストの斬新さ、楽しさ、思わず次のページをめくりたくなる構成に感動しました。研究もこのようにできれば、と思うばかりです。

● 季刊化学総説42 無機有機ナノ複合物質

私は学部生のとき、無機化学と有機化学が複合するということは想像すらできませんでした。大学院生のときに図書館で手に取ったこの本を読み、無機と有機が複合しうるもので、両者の良いところを融合していく考え方に感銘を受けました。特に、層状無機化合物の層間に機能分子を導入(インターカレーション)し、分子がナノスケールの空間に整列している状態が印象的でした。当時、この本を編集された先生にサインを頂く機会があり、「将来、このような本を作れるようがんばって下さい」と励まして頂きました。

層状だけに相乗効果？

緒明佑哉

私にとっての相乗効果は1+1が2以上より、よくばりですが、私の本棚で紹介したドラえもんのパイプインと同様、 2^n のnをいかに大きくできるかだと思っています。

本誌で取り上げて頂いたように、「柔軟な二次元材料の創製と機能開拓」を目指して研究をしています。組み込まれている分子を動かして働かせるために、やわらかく二次元異方的な構造をもつ材料を作っています。具体的には、ポリピロールなどのヘテロ芳香族高分子、キノン誘導体、層状ポリジアセチレン、層状無機化合物の「素材」に対し、やわらかい層状構造、ナノシート、ネットワーク高分子のような二次元的な特異な「構造」を付与することで分子をうまく動かし、リ

チウムイオン二次電池、水素発生電極触媒、光・熱・力センサーなどへ「応用」し、資源・環境・エネルギー・医療などの分野へ貢献したいと考えています。

分子や化合物などの素材の性質と二次元異方的な構造の相乗効果により、性能の飛躍的向上やこれまでできなかった機能を実現したいと思っています。学生には、上記の構造・応用を目指した研究テーマで、他の研究に比べて何がどう新しいのか、この方法だからできる材料なのか、この材料だからできる性能・機能なのかに徹底的にこだわってもらいます。若い学生には、私にはない優秀な頭脳やパワーがあります。これまでの研究で、大きな進展や予想外の発見には、必ず学生の力との相乗効果がありました。

偶然通りかかったときに持っていた試料のことを話してくれたり、やらなくていいのでは？といった実験を行った結

果がきっかけとなったこと、難解なプログラミングや原理を自分のものにしてきたり、気合でとてつもない数の実験をこなしたりなど、思い出すと様々な相乗効果やそのきっかけを生む事例があります。私の仕事は、学生の力との相乗効果を生み出せる環境を作ることかもしれません。

学内外の研究者との連携による相乗効果も大きいです。例えば、データをもとに材料の研究開発を加速させる「マテリアルズインフォマティクス」では、データ科学の専門家の先生にお世話になっています。分野が近い高分子化学の研究者はもちろん、データ科学、医師、産業界の研究者など、異分野との連携は、議論を重ねるごとに学生も私も新しい知見が得られ、研究に大きな相乗効果をもたらします。このような様々な場面での相乗効果により、 2^n のnがなるべく大きい研究がしたいと思っています。

理 工 学 Information

KEIO TECHNO-MALL 2021 第22回慶應科学技術展 「beyond imagination ~ススメ未来へ」

KEIO TECHNO-MALL (慶應科学技術展) は、慶應義塾大学理工学部・理工学研究科、医学部の研究成果を広く発信し、共同研究や技術移転など、産官学連携のきっかけとなる出会いの場を提供するイベントです。理工系の大学の展示会としては最大級の規模を誇り、毎年、企業や官公庁、他大学などから、多数の方々にご参加いただいています。

新型コロナウイルス感染症 (COVID-19) 感染拡大防止の観点

から、昨年に続いてオンラインで開催します。実開催時のブースを再現できるよう、オンラインイベントのツール(プラットフォーム)を活用し、インタラクティブなセッションを提供します。実物に触れていただくことはできませんが、オンライン開催の特長を生かした新たなKEIO TECHNO-MALLをお楽しみください。また、これまで会場に足をお運びいただくことが難しかった皆さまも、ぜひご参加ください。お待ちしております！

日時：2021年12月10日(金) 10:00~18:00(予定)

内容：研究成果の展示(説明ページ、紹介動画、資料等)

リアルタイムトークセッション等のイベント

オンライン研究紹介

主催：慶應義塾先端科学技術研究センター (KLL)

(慶應義塾大学理工学部・大学院理工学研究科・医学部)

詳細：www.kll.keio.ac.jp/ktm/

編集後記

活躍している研究者の立ち居振る舞いには学ぶことが多く、人間性も素晴らしいと話す緒明准教授。学生の話や聴くと、そんな緒明准教授自身が、学生にとって尊敬する人物の1人になっているようでした。撮影時にスタッフ全員分の飲料を差し入れてくださる心配りや、原稿の校正の緻密さなどから感じられる丁寧な人柄が、本誌から少しでも伝われば嬉しいです。

さて、COVID-19が流行し始めてから初の発行となった今号。マスクを着用して研究に取り組む学生の写真も見られます。次号をお届けする頃には、キャンパスに賑わいが戻っていることを願うばかりです。

(友久由梨奈)

今号の表紙：ナノシートを観察するための原子間力顕微鏡とともに。

新版 窮理図解



No.34 2021 October

編集 新版窮理図解編集委員会
写真 邑口京一郎
デザイン 八十島博明、石川幸彦 (GRID)
編集協力 サイテック・コミュニケーションズ
発行者 村上俊之
発行 慶應義塾大学理工学部
〒223-8522 横浜市港北区日吉3-14-1
問い合わせ先 (新版窮理図解全般)
kyurizukai@info.keio.ac.jp
問い合わせ先 (産学連携)
kll-liaison@adst.keio.ac.jp

web版

https://www.st.keio.ac.jp/education/kyurizukai/