# 創新



NFM~未来を切り拓く架橋~

Vol.2

早稲田大学ナノ・ライフ創新研究機構 ナノテクノロジーフォーラム



#### Contents

- 3 ナノテクノロジーフォーラム会長ごあいさつ
- 4 ナノ・ライフ創新研究機構 機構長ごあいさつ

#### ナノ・ライフ創新研究機構所属の研究者紹介

- ~未来の早稲田を担う研究者~
  - INTERVIEW No.11/2018年11月発行メールマガジン
- 5 松方 正彦(早稲田大学理工学術院/教授) INTERVIEW No.12/2019年2月発行メールマガジン
- 7 武田 直也(早稲田大学理工学術院/教授)
- INTERVIEW No.13/2019年9月発行メールマガジン
- INTERVIEW No.14/2020年12月発行メールマガジン
- 11 宇髙 勝之(早稲田大学理工学術院/教授)
- INTERVIEW No.15/2021年3月発行メールマガジン
- 13 武岡 真司(早稲田大学理工学術院/教授)

15 ナノ・ライフ創新研究機構 紹介

17 ナノテクノロジーフォーラム 紹介・入会案内

## WASEDA UNIVERSITY Nano technology forum

早稲田大学ナノテクノロジーフォーラム

# RESEARCH ORGANIZATION FOR NANO&LIFE INNOVATION

早稲田大学ナノ・ライフ創新研究機構



早稲田大学ナノテクノロジーフォーラム 会長(2020年6月就任) **里見 多一** 

日本パーカライジング株式会社 代表取締役会長

#### ◆ 機構長ごあいさつ

早稲田大学における本格的なナノテクノロジーに関する組織化活動は、2001年文部科学賞 COEプログラム「分子ナノ工学」の採択を契機に始まりました。理工学部内の分野横断の学際的 大学院専攻であるナノ理工学専攻を設置するとともに、教育と表裏一体で連携した研究機関とし てナノテクノロジー研究教育拠点であるナノ理丁学研究機構を設立し、これまで学内のみならず 世界的なナノ理工学研究の一端を牽引して参りました。その中心的研究施設として、世界的に見 てもトップレベルのクリーンルーム施設を備えたナノテクノロジーリサーチセンター(NTRC)を 文部科学省ナノプラットフォーム事業の支援の元に設置しました(2021年度に新たに採択された マテリアル先端リサーチインフラに引き継がれて行きます)。そして、これらの実績を引き継ぐと 共に、学内のバイオ・医療に関する研究連携組織であった先端科学・健康医療融合研究機構 (ASMeW)と合体して、環境・エネルギー、医療・生命科学、情報通信にまたがる非連続なイノベー ションを横断的に支え創出する基盤拠点として、2015年にナノ・ライフ創新研究機構を創設しま した。本機構のキーワードは、「グリーンデバイス」、「エネルギー」、「革新的マテリアル」そして「ラ イフサポート」で、現在6つのプロジェクト研究所を中心に、気鋭の研究者と学生が公的研究プロ ジェクトに加えて企業との多彩な連携により活発に活動しており、学生を含めて約300名の研究 者の成果創出の一大研究教育拠点となっています。さらに2004年にナノテクノロジーに関する 確官学連携プラットフォームとしてナノテクノロジーフォーラム(NFM)を設立し、産業界と大学、 学生の交流を推進し、研究シーズの社会展開や人材育成を行って参りました。 本フォーラムの 活動をベースとして共に育った若手人材が担い手となって、ナノ・ライフの分野において世界の技 術を牽引してくれることを期待しております。



早稲田大学ナノ・ライフ創新研究機構 機構長 **宇髙 勝之** 

早稲田大学理工学術院 教授

#### ◆ 会長ごあいさつ

早稲田大学ナノテクノロジーフォーラム(以下NFM)は、早稲田大学におけるナノテクノロジーおよび生命・医科学分野における先端研究を展開するナノ・ライフ創新研究機構を母体として産官学の連携を進め、さらなる研究の発展およびイノベーションを育む【場】として活発な活動を続けております。その具体的対象領域は今もっとも関心が寄せられている「健康・医療」、「環境・安全」、「クリーンエネルギー」、「グリーンエレクトロニクス」、「加工・計測・分析」の5分野を学術研究の中核としています。NFMではそれぞれの分野間連携を図る中で特に若手人材の育成に重きを置き、我が国の産業発展へ将来の担い手を送り出すための教育実習の場として、さまざまなイベント企画を実践しております。

2020年度は新型コロナウイルスにより活動が大きく制約を受けました。しかしながら会員企業若手人材を対象とした交流・勉強会は上記研究分野の先端を担う教授陣、講師の皆さんがアドバイザーとして積極的にイベント参加していただき、好評を博し充実した時間にすることができました。また会員企業による技術紹介は異業種間交流の場として好評を得ています。こうしたイベントは従来大学施設を利用して実施しておりましたが、全てWebを通じての活動を余儀なくされました。今後は、参加された皆さんのアンケートを参考に大学の感染症対策要領に従い、三密状態を回避するなかで極力本来の姿で実施する予定です。年2回実施する官民研究機関への見学会も状況が改善されることを祈り実施予定といたします。

一方、本冊子「創新」では、最先端技術を紹介するシリーズ「未来の早稲田を担う研究者」が既に15回を重ねております。今後、世界トップレベルの研究に携わる教授陣の協力をいただき、多くの紹介ができるよう企画いたします。会員の皆様の事業計画の一助、当会研究者とのコンサルティング・共同研究などのきっかけになれば幸いです。

世界を強襲する今パンデミックはいまだ収まる気配は見られませんが、出口のないトンネルはない如く、未来に明るい希望を託せる社会への貢献を合言葉にさらなる活動の充実に努めて参ります。皆さま方からのご支援、ご鞭撻をお願い申し上げます。





副機構長 朝日 透 早稲田大学理丁学術院 教授

副機構長 谷井 孝至 早稲田大学理工学術院 教授

#### 産官学連携・海外連携による ボーダレスな研究教育の推進

本機構は、前身のナノ理工学研究機構とASMeWで実 績を重ねた研究者と、最先端の装置群を結集しました。世 界でもトップレベルと自負する研究者・学生達の自由な発 想によるシーズの創出、基盤強化の裏付けのもと、世界的 課題を見据えたバックキャスティング型の研究開発を積 極的に推進して参ります。スマートエナジーシステム・イノ ベーションセンター(120号館)を中心に、学際的大型研究 費の導入に向けた体制を整備しながら、産官学連携によ るナノ・ライフイノベーション研究の世界的なプラット フォームを形成、若手研究者や技術者の高度教育機能も 強化し、社会の要請に応えうる人材の育成に努めます。ま た、学会との連携強化を図り、国際会議・大会等を主催す ることで本機構の国際認知度を向上させ、海外も含めた 連携研究体制を構築します。国内外の優秀な人材を獲得 し、ナノテクノロジーを基盤としたボーダレスな研究を推 進します。

未来の早稲田を担う研究者



早稲田大学 理工学術院/ナノ・ライフ創新研究機構 松方正彦 教授

ゼオライトを中心としたミクロ孔をもつ物質を材料に、その合成法や触媒・分離 膜としての利用法を開発。エネルギー・資源・環境問題に対して、触媒化学・膜分 離工学・エネルギー化学に係わるサイエンスおよびエンジニアリングを研究して いる。日本エネルギー学会進歩賞(2001年)、触媒学会獎励賞(1999年)などを 受賞する。



#### 2050年の社会を見据えて 炭素循環型化学産業をどう作っていくのか

工学の研究は、その研究の意義を見失わないよう、未来を見据えた研 究に取り組む必要があると考えています。つまり、2030年~2050年 頃、キャスティングボードを握っているエネルギーは何なのか。天然ガス なのか、それとも自然エネルギーなのか。そのエネルギーに対してどう いう技術が求められるのか。これらを逆算し、研究に打ち込む必要があ るのです。

将来の社会を考える上でヒントになるのが、2030年までの国際目標 「持続可能な開発目標(SDGs)」です。ここでは17のゴールに向けて 169の目標が設定され、世界は「低炭素社会」や「循環型社会」に舵を 切っていることがわかります。こと私の研究でいうならゼオライトの触媒 能や膜分離技術は、この「低炭素社会」や「循環型社会」と親和性が高い と言えるでしょう。

ゼオライトは結晶性化合物で、酸素(O)を仲介してケイ素(Si)とアル ミニウム(Al)が結合したSi-O-Al-O-Siを基本構造としています。これが 三次元方向に無限に連なることで、多様で立体的な骨格が形成されて います。また、肉眼では見ることはできませんが、スポンジのように直径 0.2~1.0nm程度の多孔質 (細かい穴=孔の空いた構造)が無数にある のもゼオライトの特徴です。このミクロの穴が、例えば、ガソリンを構成 している分子、二酸化炭素、メタン、窒素といった小さい分子とほぼ同じ サイズなので、このミクロ細孔の中で起きている現象を研究すれば、石 油など化石資源の変換技術・有効活用、エネルギー問題や環境問題の解 決に貢献できるということです。これが私の研究の大きな柱になります。

#### ゼオライトの触媒能や膜分離技術で省エネを実現

では、このゼオライトにはどのような特徴があるのかというと、まずは 吸着能や触媒機能です。分子とミクロ細孔の強い相互作用を利用した 吸着現象によって、物質を見分けることができます。さまざまな元素を

取り込めるので、ゼオライトのミクロな細孔の中で、特殊な吸着性能や、 分子の変換を効率的に行う触媒反応を引き出すことが可能です。バイオ エタノールは混合物ですが、このゼオライトの吸着機能を利用すること で、選択的に水だけを取り除くことができます。また、"ふるい"を思い浮 かべてみてください。「ふるいにかける」と言うように、格子状になった細 かい穴に物質を通すことで、網目の条件・基準に合わないものを除外す ることができます。細かい穴の空いた構造を持つゼオライトも同じで、こ のふるい分けを分子レベルで行うことができるんです。これを"分子ふる い"と呼びます。こうした特異な吸着能や触媒能は、石油精製や燃料製造 分野をはじめ、自動車や発電所・工場から排出される有害ガス成分を除 去する技術としても利用価値があります。

現在、私たちの研究室ではゼオライトを利用した膜分離技術にも取り 組んでいます。例えば、多孔体の酸化アルミニウムでできている長さ80 ~100㎝、直径が12㎜~16㎜の管を、ゼオライトの薄い膜で覆い、これ に混合物を流すと、ミクロ細孔に入る分子だけを抽出できます。従来の沸 点の差を利用した蒸留では莫大な熱エネルギーを必要としますが、ゼオ ライトを用いた分離システムでは、エネルギーのロスは殆どありません。 現在、膜メーカー、エンジニアリングメーカー、化学産業といったユー ザー側やベンチャー企業の人たちと、産学共同の研究を行っています。

化石燃料の歴史を振り返ると、石炭が動力エネルギー源の主役として 活躍したのが産業革命から20世紀中期までの200年余り、その座を 奪った石油も21世紀初期の100年足らずで天然ガス=シェールガスに 取って代わられた。そして2050年。「低炭素社会」や「循環型社会」といっ た自然エネルギーを主体にした社会になるなら、天然ガスの時代はたっ た40年ほどしかないことになります。それほどエネルギー転換の流れは 速いのです。そうした社会で、私たちの研究室ではエネルギー・化学産業 の川上であるものづくりの原料製造プロセスに関わる研究開発に携 わってきました。これは、すなわち、モノづくりのプロセス全体の効率化 に取り組む研究開発によって何十%もの省エネに貢献できる可能性を 意味しています。グローバルなエネルギー・環境問題解決に貢献できる 革新的な技術開発に繋がる研究に取り組めたらと考えています。

## ゼオライトの特徴

【構成】

■基本的にはSiとAlとOで骨格を形成

■アルミニウム(Al³+)の電荷不足を陽イオンで補完(カチオン交換性)

●けい素(Si<sup>4+</sup>)

【構造】 ■規則的な配列をした結晶で、現在200種類以上の構造が存在

■大きな表面積 ( > 400 m² g⁻¹)
■ナノメートル(10・8m)サイズの細孔をもち、構造によって

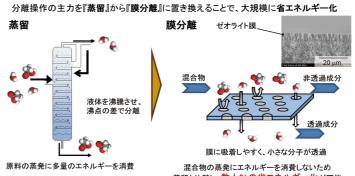
中に入ることができる分子が変化

【機能 1: 吸着】 ■分子を化学的な作用で捕らえて保持 ■アルミニウムの量やカチオンの種類で 吸着性能を制御可能 【機能2:触媒作用】 ■陽イオンがH+の場合、 酸性を発現するので酸触媒として機能 ■陽イオンが金属の場合、金属の触媒機能が付与 ●アルミニウム(AI3+) O水素(H+) ●ナトリウム(Na+) 【機能3:イオン交換】 ■各種の陽イオンと交換可能 ■構造とカチオンの種類によって、 交換されやすさが変化

> [例] Fauiasite型權告 価雄に 応用

#### ゼオライトを用いた分離膜素材の開発 ゼオライト触媒の活性向上

実用化にむけて進行中 門が 門 詳しくは→



様々な混合物の分離が可能

分離膜に

応用

蒸留と比較し、数十%の省エネルギー化が可能 細孔の大きさや吸着特性の異なるゼオライト膜により、

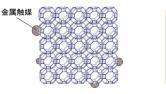
#### ゼオライト膜による膜反応器の開発 現在の反応器 膜反応器

反応装置と分離結制装置が別個に存在 反応器と分離精製装置が一体化 生成物 副生成物 主生成物 未反応原料 分離・精製工程が不要 未反応原料は一度分離・回収後リサイクル 装置の小型化・簡略化が可能

反応と分離を一度に行うことで、 原料の有効利用・省エネルギー化・省スペース化・低コスト化が可能

## 処理して大きな孔をつくったゼオライト 未加工のゼオライト 分子が移動しやすく 分子が移動しにくく 奥の活性点へのアクセスが困難 大きな孔を作ることで分子が活性点へ アクセスしやすくなり、触媒活性が向上

#### ゼオライトに金属触媒を効率的に付加



金属触媒活性は粒子の表面積に依存 活性点となる金属元素を細孔内に分散させて付加し、

細かく分散させると

#### 参考文献

16.6章 膜分離、新版 石油化学プロセス、石油学会編、講談社(2018) 編集責任者も担当

Physicochemical Characterization of Highly Dispersed Platinum and Chromium on Zeolite Beta Yoshivuki Izutsu, Yuki Oku, Yusuke Hidaka, Naoki Kanaya, Yoshiki Nakajima, Jun Fukuroi, Kaname Yoshida, Yukichi Sasaki, Yasushi Sekine, Masahiko Matsukata J. Phys. Chem. C. 118(20). 2014. 10746-10753

Reverse - Selective Microporous Membrane for Gas Separation Ken - ichi Sawamura, Teruaki Izumi, Kiyotoshi Kawasaki, Shintaro Daikohara, Tetsu Ohsuna, Mitsuko Takada, Yasushi Sekine, Eiichi Kikuchi. Masahiko Matsukata Chem, an Asian J., 4(7), 2009, 1070-1077

金属を効率よく使うことで触媒活性を向上

Alkali-treatment Technique - New Method for Modification of Structural and Acid-catalytic Properties of ZSM-5 Zeolites Masaru Ogura, Shin-va Shinomiva, JunkoTateno, Yasuto Nara, Mikihiro Nomura, Eiichi Kikuchi, Masahiko Matsukata Appl. Catal. A: Gen., 219(1-2), 2001, 33-43

Conversion of Dry Gel to Microporous Crystals in Gas Phase Masahiko Matsukata, Masaru Ogura, Takayuki Osaki, Poladi Raja Hari Prasad Rao, Mikihiro Nomura, Eiichi Kikuchi Topics in Catal., , 9(1-2), 1999, 77-92

http://www.matsukata-lab.jp/ 松方正彦研究室 http://www.matsukata-lab.ip/

未来の早稲田を担う研究者

12

早稲田大学 理工学術院/ナノ・ライフ創新研究機構 武田直也 教授

高分子を主体としたバイオマテリアルの開発を行う。これら高分子材料の修飾や 微細加工を施したソフト界面を作製し、培養器材に応用して細胞挙動の制御の研究も実施している。さらに、細胞から三次元の生体組織を構築し再生医療への応用を目指すなど、さまざまな研究を横断的に行う。

研究成果に対して第66回高分子討論会の高分子学会広報委員会パブリシティ賞 (2017年)、教育面では早稲田大学ティーチングアワード(2014年、2017年)などを受賞する。



#### 高機能な細胞培養用器材の開発: 足場材料のみで細胞挙動をコントロールする

我々の体は、200種類以上のおよそ37兆個の細胞から形成されています。これら細胞は、1個の大きさがおよそ10 μmであり、独立して生命活動を営む最小単位です。また、細胞同士や周囲の基質(微小環境と呼ばれます)に接着して、多くの情報を受け取りながらより大きく複雑な組織・臓器・個体を形成し、様々な機能を発揮します。この接着能のため、細胞を体の外で人工的に培養する際にも器材(足場と呼ぶこともあります)に接着させる手法が一般的なのですが、周囲の情報を検知する能力を上手く活用し、接着する材料を上手に設計して硬さや柔らかさなどの物性さらにはマイクロ・ナノスケールの微細な形状などを適宜加工することで、細胞の挙動を積極的に制御しようする研究が近年大きな注目を集めています。

対象とする細胞挙動には、例えば接着や剥離回収、遊走、極性変化、分化誘導などがあります。これらの制御は、これまでに生理活性因子を用いた生物学的手法が一般的でした。しかし、生物が産生する生理活性物質を単離精製するにはコストがかかり、ヒトの細胞に他動物由来の生理活性物質を用いる場合は細胞が汚染されるおそれもあります。これに対して、材料表面の特性で細胞の挙動を制御する手法では、安全に大量の細胞を安価に処理できます。将来、再生医療などにも貢献できる大きな可能性を秘めているのです。

私の研究室でも、様々な高分子材料を基盤とした培養器材を開発して、細胞の接着性や分化を制御する研究を進めています。これらの器材では、ガラス基材表面に高分子をわずか数~数十nmの厚さで修飾したものが多く、このような微小な高分子の層で細胞の挙動を制御できるのは面白く驚異的です。さらに、光に応答して表面物性やナノスケールの微細構造を動的に変化させられる高分子を用いた器材も開発しています。1、2このような培養器材では、光をあてるタイミングや場所を任意に設定することで、細胞挙動のON/OFF制御も実現できます。すなわち、細胞挙動の時空間制御が可能となります。

一例をあげると、UV光を照射すると細胞が接着できるようになり、接着した一部の細胞に可視光を照射すると可逆的かつ部位特異的に 剥離回収できる高分子表面があります(図1)。2細胞を剥がした部位に 再びUV光を照射して、今度は異なる種類の細胞を接着させること

で、異種の細胞を精緻に配置した複雑な生体組織を作製することも考えています。また、UV光を照射して表面に修飾した高分子の運動性を変化させられる器材もあります。この器材では、間葉系幹細胞(Mesenchymal Stem Cell: MSC)の分化挙動の制御を行っています。5MSCは、ES細胞やiPS細胞ほど万能ではありませんが、骨、軟骨、筋、脂肪、神経などの細胞に分化する能力を持っており、その分化挙動の制御は再生医療に応用できると考えています。

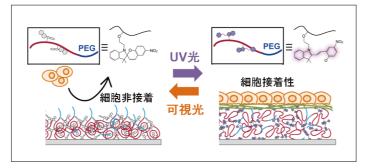


図1 光刺激で可逆的に細胞の接着・剥離を制御できる培養器材の模式図2

#### "紙"を使った培養器材の開発: あらたな灌流培養システムの構築

細胞培養では細胞に必要な栄養分などを含んだ培養液を与える必要がありますが、灌流培養とは、体内の血流のようにこの培養液を流動させて培養する方法です。このような液体の流れによる物理的なストレス(ずり応力)は、血管の発生など生物の体を形作る上で重要な役割を担っていることが分かってきました。そこで、灌流培養による細胞への流れストレスの付与も、積極的に活用されています。一方で、従来の灌流培養のシステムは、半導体チップ生産用の微細加工技術を応用した、高度なナノテク施設で作製された装置(マイクロ流体デバイスと呼びます)が一般的です。微細加工で作製するため、培養部位の面積が小さく閉鎖系であるなどの制限も問題でした。

そこで、誰もが利用できる低コストな灌流培養系を作れないかと考えた末、思いついたのが"紙"を使ったシステムの開発です。このシステムは、培養液灌流層にペーパータオル、細胞培養層に細胞の接着性



に優れたゼラチンで作製したマイクロファイバーを用いた二層構造の培養器材が基盤となります。ただし、通常、ペーパータオルは毛細管現象で一度培養液を吸収したら、それ以上は培養液が循環しません。そこで、培養液を満たし高低差をつけた二つのチャンバーを二層培養器材で橋掛けし、サイフォン原理を利用して連続的に培養液が流れるように工夫しました(図2)。3紙が送液の主体ですので、送液のためのポン

プも不要です。二つの培養液の高低差を適切に変えることで、培養液の流れる速度も調節できます。

このシステムで血管の元になる細胞を培養し、流れに沿って細胞の配向性を制御することを達成しています。さらに、物理的なストレスを上手く利用して、様々な組織を効率的に作製する研究も進めています。この二層培養器材を用いた灌流培養システムは、一見ローテクにみられがちですが、様々に優れた機能を有します。低コストで比較的簡単に作れる利点の他に、微細加工の場合とは逆に、培養部位の面積を大きくかつ開放系にできる点でも優れています。現状で面積はA4サイズの紙の約2枚分まで大きくでき、開放系であるため、体と同サイズの厚い大きな三次元再生組織を作れる可能性もあります。組織作製の研究もすでに開始して、成果も得られてきており、近く発表の予定です。

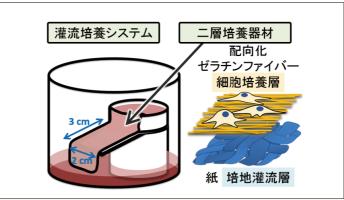


図2 紙とマイクロファイバーの二層器材を基盤とした灌流培養システムの模式図3

#### ファイバーを用いた様々なバイオマテリアル開発: 細胞から筋肉や血管組織の作製に成功

先にお話ししたように、私の研究は、バイオマテリアルを用いた「細胞の挙動制御」と「細胞からの生体組織の構築」という大きな二本の柱があります。後者の組織作製については、高分子からなる直径が数マイクロメートルサイズのファイバー(二層基材のマイクロファイバーと同じエレクトロスピニングという技術で作製します)を"ハープの弦"のように配向させて足場とし、各"弦"の間の空間も上手く利用しながら筋芽細胞を高密度に接着・配向させて、束状の筋組織の作製に成功しています(図3)。4この筋組織は生体組織と同じ横紋構造を持っており、収縮する能力があります。

さらに、材料と使い方が異なる、より太いファイバー培養場の開発

も進めています。このファイバー培養場の太さは約200 µmで、長さは数十cmからその気になればm(メートル)まで長くすることもできます。二層器材のところでお話した、(機構は異なりますが)マイクロ流体デバイスを用いて作製します。マイクロ流体デバイスは、ナノ理工学専攻の庄子習一教授との共同研究です。ファイバー培養場の材料はやはり高分子なのですが、ハイドロゲルというゼリー状の形態とし、ファイバーの中心軸に連続的に細胞を埋め込んで三次元的に培養をします。これら細胞には、我々の体と同じ三次元環境に置かれると自律的に組織を形づくる能力を持っているものを用います。特に、長さは数十cm以上の訳ですから、筋線維や血管のような細長い組織の作製に適しています。実際に、筋組織や中空構造を持つ血管組織を安定的に作製することにも成功しています。

ハイドロゲルを形成する高分子材料にも工夫を施しています。論文 発表前ですので詳細は省きますが、非常にユニークな物性をもつ高 分子材料を用いており、学会などでも注目を頂いています。産学連携 の研究でもあり、今後さらに積極的に展開していく予定です。そして、 移植治療に使える実用的な生体組織を作製し、再生医療に貢献して いくことを夢見て、今後も励んでいきます。

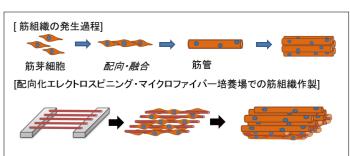


図3 筋芽細胞からの筋組織作製技術の模式図

#### 参考文献

[1]Kazuho Nagata, Tetsuya Kurebayashi, Keiichi Imato and Naoya Takeda\*, Photoresponsive Fiber Scaffolds with a Core-Sheath Nanostructure For Regulating Cell Behaviors, *J. Mater. Chem. B*, 2018, 6:2052–2056 (Back Cover). DOI: 10.1039/c8tb00469b

[2]Di He, Yoshinori Arisaka, Kenichi Masuda, Mitsuya Yamamoto, Naoya Takeda\*, A Photoresponsive Soft Interface Reversibly Controls Wettability and Cell Adhesion by Conformational Changes in a Spiropyran-Conjugated Amphiphilic Block Copolymer, *Acta Biomaterialia*, 2017, 51:101–111. DOI: 10.1016/j.actbio.2017.01.049

[3]Ai Ozaki, Yoshinori Arisaka, Naoya Takeda\*, Self-Driven Perfusion Culture System Using a Paper-Based Double-Layered Scaffold, *Biofabrication*, 2016, 8:035010. DOI: 10.1088/1758-5090/8/3/035010

[4]Naoya Takeda\*, Kenichi Tamura, Ryo Mineguchi, Yumiko Ishikawa, Yuji Haraguchi, Tatsuya Shimizu\*, Yusuke Hara, In Situ Cross-linked Electrospun Fiber Scaffold of Collagen for Fabricating Cell-dense Muscle Tissue, *J. Artif. Organs, 2016*, 19(2):141–148. DOI: 10.1007/s10047-015-0871-8

[5]Yoshinori Arisaka, Yuka Nishijima, Shin-ichi Yusa, Naoya Takeda\*, Photo-induced In Situ Crosslinking of Polymer Brushes With Dimethyl Maleimide Moieties for Dynamically Stimulating Stem Cell Differentiation, *J. Biomater. Sci. Polym. Ed.*, 2016, 27(13):1331–1340. DOI: 10.1080/09205063.2016.1196531

 武田直也研究室
 http://www.waseda.jp/sem-takeda/
 武田直也研究室

 http://www.waseda.jp/sem-takeda/
 計ttp://www.waseda.jp/sem-takeda/

未来の早稲田を担う研究者

13 No.

早稲田大学 理工学術院/先進理工学部 応用化学科 下嶋敦 教授

分子設計と自己組織化プロセスなどを駆使してケイ素、酸素を中心としたありふれた元素からなる無機、あるいは無機一有機複合系の精緻な構造体を構築し、ユニークな機能を有する新材料の創出を目指している。2006年度に日本セラミックス協会進歩賞、2017年度に早稲田大学リサーチアワード(国際研究発信力)を受賞している。



#### 無機骨格の新しい構造制御手法の確立とナノ空間材料への展開

持続可能かつ安心・安全な社会の実現に向けて、無機材料の貢献できる領域は数多くあります。分子設計に基づく化学的手法により無機物の構造を精密かつ階層的に制御して新しい高機能材料を生み出す。端的に言えば、私たちの研究はこれに尽きます。私たちの研究室では、シロキサン(Si-Q-Si)骨格からなる新材料創製に特に力を入れています。シリカ(SiO2)は地殻中に石英などとして多く含まれており、その高い熱的・化学的安定性や透明性などの特徴から、窓材やガラス器具、乾燥剤などとして身の回りで幅広く利用されています。こうした資源量の豊富な物質を主成分として新しい機能性材料を生み出すことは元素戦略的な観点からも意義があります。そのためには、分子レベルから新たに構造を設計することが有力なアプローチです。

シリカ系の無機物の構造制御によって機能が発現する例として、ナノ空間材料が挙げられます。多孔質結晶であるゼオライトは、三次元的なシロキサン骨格からなる直径0.2~1.0ナノメートル程度の均一な細孔構造ゆえに、分子ふるい効果、触媒能、吸着能といった機能を有し、工業的に広く利用されています。所望の機能を得るためには、骨格構造を自由自在に設計できることが重要です。しかしながら、ゼオライトの合成は一般に原料を密閉容器に入れて高温高圧の過酷な条件下で行うため、構造制御にはトライアンドエラー的な要素が少なからずありました。そこで、私たちは温和な条件下で、分子をボトムアップ的に組み上げる新しい手法を開拓しています。最近では、ゼオライトの部分構造でもあるカゴ型構造のシロキサン化合物をビルディングブロックとして用い、それらを規則的に配列・連結する手法を確立(図1)。その結果、熱や塩基に弱い有機基による無機骨格の修飾や、従来の手法では得られない新しい骨格構造の構築なども可能になりました[1]。数ナノメートルサイズのゼオライト類似の環状構造体の合

成にも成功しており[2]、その環径の可変性や有機溶媒への溶解性を利用した新たな応用を模索しています。このような精密なボトムアップ手法は、用いるビルディングブロックの構造や組み合わせ、連結様式によって多様な構造体が得られる、まさに高い設計性を誇る手法といえます。

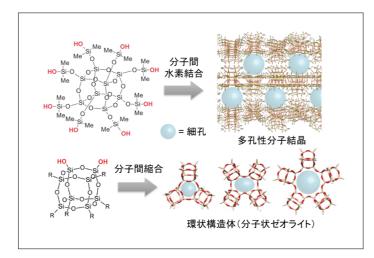


図1 カゴ型シロキサン化合物をビルディングブロックとしたナノ空間材料の構築

## 割れたガラスが元に戻る? 自己修復機能を備えたシリカ系ナノ材料

ひび割れ(クラック)などの損傷を自発的に修復する能力を持つ自己修復機能材料。私が今注力している研究対象のひとつです。比較的柔らかいポリマー系の自己修復材料の研究は世の中で進んでいますが、セラミックスやガラスのような硬い無機材料では、たとえ微細なクラックであっても修復には高温が必要で、常温常圧での自己修復は困難です。クラック発生時には原子間の結合が分断されるわけですので、再び結合を形成することが本質的な修復となります。しかしなが



ら、クラックによって生じる隙間では、原子からすると再結合すべき相手は遥か彼方にあることになります。そのため、修復にはまずその隙間を狭める必要があります。最近私たちは、シリカのナノ構造制御がその有効な方法であることを発見しました。ケイ酸種と界面活性剤の自己組織化を利用して多層構造のシリカ薄膜を作製すると、応力によって生じた

クラックが室温・高湿度下で自発的かつ速やかに修復されます(図2)[3]。吸湿による膜の膨張がクラック閉塞の駆動力となっており、ナノ構造が重要な役割を果たしています。単純なシリカではなく骨格中にSi-C結合を含む有機シロキサンを用いると、自己修復能が格段に向上することも最近見出しました。

自己修復材料は安心・安全、長寿命、メンテナンスフリーなどの観点から世界的に注目されている材料です。まだ基礎的な研究成果ではありますが、自己修復性と優れた材料物性を両立させることで、将来的には革新的な保護コーティングなどとして実用化を目指していきたいですね。

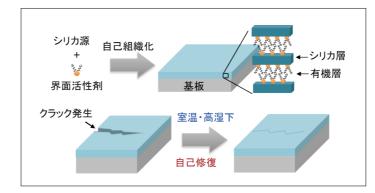


図2 多層シリカー有機ナノ複合体薄膜におけるクラックの自己修復

#### 光で曲がる!

#### 無機一有機複合系に展開したフォトメカニカル材料

ナノスケールの構造制御による、新しい動的機能材料の開発にも 力を入れています。その成果のひとつが、光照射によって変形する有 機シロキサン材料の創出です。

光応答性有機化合物の一種であるアゾベンゼンには、特定の波長の光が当たると異性化し、分子の形が可逆的に変わる性質があります。そこで、アゾベンゼンとケイ素アルコキシドが直接結合した分子を合成し、特定の条件を満たした環境を整えると、分子が重縮合反応過程で自己組織化して、薄いシロキサン層とアゾベンゼンの配列した層が積み重なった多層構造のフィルムが形成されます(図3)[4,5]。こ

のフィルムのシロキサン層の間では、アゾベンゼンが高密度かつ整然と配列しています。ここに紫外線や可視光を照射すると、表面近傍のアゾベンゼンの光異性化によってフィルム表面が膨張/収縮して、フィルム全体が曲がります。また最近では、光応答性分子としてジアリールエテンを用い、カゴ型シロキサン化合物と連結することによって、光照射によって屈曲する分子結晶の作製にも成功しています。このようなフォトメカニカル材料は有機材料では多数報告されていますが、無機一有機複合系に展開することで、弾性率や耐熱性の向上などが確認されており、光駆動アクチュエータなどの有力な候補材料のひとつとして期待されます。

ナノ構造材料の研究は世界的に盛んであり、応用分野も多岐にわたっています。精密な構造制御によってユニークな機能が今後も多く見出されると期待しています。学術的な無機合成化学の進歩も強く意識して、新しい領域を切り拓いていきたいと考えています。

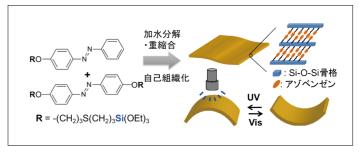


図3 光応答性多層有機シロキサンフィルム

#### 参考文献

[1]N. Sato, Y. Kuroda, H. Wada, A. Shimojima\*, K. Kuroda\*, "Preparation of Siloxane-Based Microporous Crystals from Hydrogen-Bonded Molecular Crystals of Cage Siloxanes", *Chem. Eur. J.*, 24, 17033-17038 (2018).

[2]S. Saito, H. Wada, A. Shimojima\*, K. Kuroda\*, "Synthesis of Zeolitic Macrocycles Using Site-Selective Condensation of Regioselectively Difunctionalized Cubic Siloxanes", *Inorg. Chem.*, 57, 14686-14691 (2018).

[3]S. Itoh, S. Kodama, M. Kobayashi, S. Hara, H. Wada, K. Kuroda, A. Shimojima\*, "Spontaneous Crack Healing in Nanostructured Silica-Based Thin Films", *ACS Nano*, 11, 10289-10294 (2017).

[4]S. Guo, K. Matsukawa, T. Miyata, T. Okubo, K. Kuroda, A. Shimojima\*, "Photoinduced Bending of Self-Assembled Azobenzene–Siloxane Hybrid", *J. Am. Chem. Soc.*, 137, 15434-15440 (2015).

[5]S. Guo, A. Sugawara-Narutaki, T. Okubo, A. Shimojima\*, "Synthesis of Ordered Photoresponsive Azobenzene—Siloxane Hybrids by Self-Assembly", *J. Mater. Chem. C*, 1, 6989-6995 (2013).

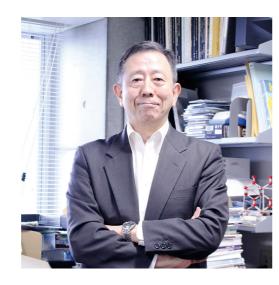
黒田・下嶋・和田研究室 https://www.waseda.jp/sem-kuroda\_lab/ 黒田・下嶋・和田研究室 https://www.waseda.jp/sem-kuroda\_lab/ の9

未来の早稲田を担う研究者

14

早稲田大学 理工学術院/ナノ・ライフ創新研究機構 宇高勝之 教授

データ通信量が指数関数的に増加し続けている現在の情報化社会。これを支える情報通信機器の高性能化、低消費電力化を目指し、量子ドット集積光源、シリコン光スイッチ、ファイバ間ポリマー光スイッチ、ナノ構造光センサなど、光デバイスの技術開発に挑む。



#### データセンタ用集積波長可変レーザの実現に向けて

情報通信技術の発達により、日々発信される情報量が爆発的に増えており、これに伴う関連機器の消費電力急増が深刻な問題となっています。我々は、光が電子と比べて「高速」「高エネルギー効率」デバイスが可能であることに着目し、光集積回路や光センサなど、デバイスに応用する研究を進めています。素子や情報機器、ひいては通信ネットワークの低消費電力化を図り、グリーンで安全安心な社会に貢献することを目指しています。

Wi-Fiや5Gサービスなど、無線は一般の消費者に最も近いところ にある通信手段ですが、その裏で世界中休みなくゼタバイト規模の情 報をやりとりしているのはグローバルな光ファイバネットワークです。 光ファイバが導入される前、衛星通信の時代には情報伝達に明らかな 遅延がありましたが、現在ではそれを感じることはほぼないでしょう。 この光ファイバ分野で日本はトップクラスの技術を有していますが、 中国をはじめとする他国の技術開発力におされ、日本の次世代光通 信研究は旗色が悪い状況にあります。この打開策のひとつとして、 NEDO未来開拓研究プロジェクト「超低消費電力型光エレクトロニク ス実装システム技術開発プロジェクト」(PL:東京大学特任教授・荒川 泰彦、2012-2022年)が立上げられました。本プロジェクトでは、大量 の情報を高速で扱うデータセンタを主なターゲットとして、LSI間を光 信号でつなぐ技術の実装を目指しています。この中で我々は、革新的 光源の研究を分担しており、Ⅲ-V族化合物半導体であるInAs/GaAs を用いた1.3µm帯量子ドットレーザと光変調器の集積化により、低閾 値、高温度安定、高機能な超小型光源の開発を図っています。具体的 には、東京大学との共同研究のもと、InAs/GaAs多重積層量子ドット 基板上に、我々のもつイオン注入と熱処理による組成混合(QDI)技 術を用いて光変調器をモノリシックに集積作製することで高機能で波 長可変なレーザの実現を目指しています。

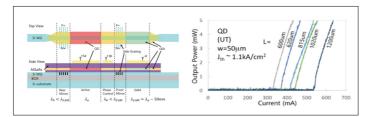


図1 データセンタ用革新的光源の断面図と特性

#### ・ 世界で誰も成し遂げていない偏光無依存高速動作光スイッチの実現へ

より高速な情報処理を行うために、スイッチングは非常に重要な技 術です。汎用的な通信用機器ではMOSFETなど、電気でスイッチング する素子が主力となっていますが、電気的応答速度に制限されず、低 消費電力で高速動作する光スイッチの小型化、低コスト化による市場 導入が望まれています。なかでも、既存の半導体技術を活用し安価な シリコンと組み合わせる技術であるシリコンフォトニクスが低コスト 化の点で有望です。私は、元々は遠くに大量の情報を飛ばすための光 源(レーザ)を専門としていましたが、切り替えることで色々な機器に、 そして人々につながっていくというところに面白さを感じ、光スイッチ をライフワークのように研究しています。近年は特に、実用化に向け てボトルネックとなっている特性である「偏光無依存性」かつ「高速動 作」の実現に向けて取り組んでいます。横波である光には偏光と呼ば れるその振動面に任意性がありますが、デバイスにおいてはどのよう な偏光でも変わらない特性を得ることが重要です。特に我々が取り組 んでいるマッハ・ツェンダ型光スイッチは導波路の屈折率変化を利用 して光変調を行いますが、導波路を伝搬する光の屈折率が偏光により 少しでも異なると期待する特性が得られません。そのため偏光によら ない屈折率変化を実現すると共に、他方、消費電力増大の要因となっ てしまうオフセットを電気を使わずに調整をするトリミング技術の開 発を進めています。

どのような素子構造により理想的な特性が得られるかというベースとなる基本的技術を大学で構築し、その先の実用化に向けた作製技術開発は産業界と協働して進められるのではないかと考えています。

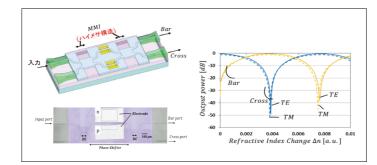


図2 高速光ネットワーク用シリコン光スイッチの構造と特性

また、低コストなスピンコート塗布によるポリマー光スイッチの研究も進めています。近年、伝送容量の増大を目的として、光ファイバを1本のコアだけで用いるのではなく、4コアなど複数で用いるマルチコアファイバの研究が進められていますが、いずれのコアの信号を取り出すか、あるいは切り替えるかという場面では必ず光スイッチが必要になります。現状のシリコンスイッチでは大きさが合わないため、ポリマー光スイッチを応用できないかと考えています。

#### 離れたところの微小な信号をキャッチする高感度光センサ

センサも非常に関心高く取り組んでいるテーマです。Society 5.0 の社会では、各機器がつながるだけではなく、何が起きているかを判断してフィードバックし、安全や健康に備える、というところまで期待されています。光センサならではの高感度性や光ファイバと融合させたリモート性などを活用できる用途開発を目指しています。

たとえば我々は、シリコンナノ構造による光センサの研究をして、世界トップクラスの感度を達成してきました。また表面プラズモン共鳴を応用して、局所的な屈折率の変化を計測できるセンサも研究しています。この実現には、従来クレッチマン方式というプリズムに金属薄膜を堆積し表面プラズモンを励起させる構成が採られますが、サイズが大きくなるばかりで無く、光ファイバとの融合性にも問題があります。 我々は、光スイッチでも用いているポリマーで導波路型クレッチマン構造を作製しており、理論値に近い感度が得られています。

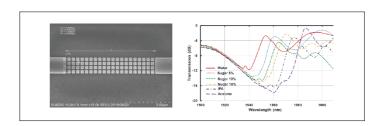


図3 シリコンナノ構造高感度光センサの構造写真と特性

以前カテーテル手術に接する機会がありましたが、カテーテルを入れて目的箇所まで通すという手法に着想を得て、上記の光センサと光ファイバとの融合により離れたところのセンシングに応用できない

か、と思うようになりました。光ファイバセンサ自体はすでにありますが、さらに光ファイバの先端にガラスやシリコン、プラズモンなどの高感度なナノ光センサを取り付ければ、たとえば離れた位置からプラント制御や閉塞内部の環境計測、さらに動物・農作物などの内部計測などごくわずかな変化や状態の確認が遠隔でできるようになると考えています。



デバイスの研究開発は既存の特性を凌駕する数値が出てこそ、という厳しい考え方があり、大学で実施する上では難しい面もあると思います。一方で私自身は、物理現象を理解して初めて新しい発想が生まれ、新しい設計指針を思いつき、そして特性指針を定められるのではないかとも考えています。この双方の考え方をうまく産業界とも共有しながら、デバイス開発、社会実装を進め、情報化社会に貢献していきたいと考えています。さらにこのような創造的かつ実用的な研究を大学で推進する上で、博士課程の学生の力が欠かせません。博士課程を経て育成される思考力と論理構築力、実行力を備えた人材は、今後より一層の競争激化が予想されるものづくり産業において必要不可欠であると考えておりますが、近年では博士課程に進学する学生が減っていることが現状です。博士課程進学を増やす上で産業界での博士課程卒人材の一層の高い評価や処遇が絶対的に必要であり、ぜひご理解をお願い致します。

#### 参考文献

- S. Heinsalu, Y. Isogai, Y. Matsushima, H. Ishikawa, and K. Utaka, "Record-high sensitivity compact multi-slot sub-wavelength Bragg grating refractive index sensor on SOI platform", Optics Express, vol.28, No.19, 28126, 2020. (Editor's pick)
- Y. Hiraishi, T. Shirai, J. Kwoen, Y. Matsushima, H. Ishikawa, Y. Arakawa, and K. Utaka, "InAs/GaAs quantum dot intermixing by dry Etching and ion implantation", Physica Status Solidi A, vol.217, issue 10, 1900851, 2020.
- S. Isawa, Y. Akashi, R. Morita, R. Kaneko, H. Okada, A. Matsumoto, K. Akahane, Y. Matsushima, H. Ishikawa, and K. Utaka, "Regional band-gap tailoring of 1550nm-band InAs quantum dot Intermixing by controlling ion implantation depth", Physica Status Solidi A, vol.217, issue 3, 1900521, 2020.
- Y. Akashi, S. Matsui, S. Isawa, A. Matsushita, A. Matsumoto, Y. Matsushima, H. Ishikawa, and K. Utaka, "Demonstration of all-optical logic gate device using MQW-SOA and 10Gbps XNOR operation", Physica Status Solidi A, 1800529, 2018.
- Y. Kimura, H. Kobayashi, K. Ema, Y. Matsushima, H. Ishikawa, and K. Utaka, "Polarization-independent and colorless switching operation of three-dimensional 4×4 polymer optical switch with two-layered waveguide structure", Japanese J. Appl. Phys., Rapid Communications, vol.56, No.12, 120304, 2018.

宇髙勝之研究室 http://www.f.waseda.jp/utaka/ 宇髙勝之研究室

未来の早稲田を担う研究者



早稲田大学 理工学術院/ナノ・ライフ創新研究機構 武岡真司 教授

生体分子や医用高分子が集合して構築する分子集合体やナノ構造体の設計から作製、デバイス化まで一貫して行い、医療のみならず、多様な領域へ応用展開することを目指す。早稲田大学大隈記念学術褒章奨励賞(2011年)を受賞。



#### 医用高分子で作製したナノシートの医療応用と新たな展開

35年前に卒業研究で取り組んだ「孔開き高分子化二分子膜小胞体(リポソーム)の電顕観察と構造制御」を端緒に、リポソームを利用した赤血球代替物や血小板代替物など、人工血液の研究に従事するようになりました。さらに、ナノ粒子に関する研究の過程で得られた知見から、ポリ乳酸などの汎用性医用高分子から自立性薄膜(ナノシート)を簡単に連続で作製できるrole-to-role法を確立し、その応用展開や実用化を目指して多くの産学共同研究を進めています。

ナノシートは透明で生体組織に密着する性質を持ち、さらに多層化や表面に様々な分子を担持させることにより多様な機能を持たせることができます。マウス実験の段階ですが、例えば、抗生物質を担持させたナノシートを細菌感染している皮膚の傷に貼ると、治癒速度の各段な向上がみられます。最近では、化学的な接着機能を付与したナノシートを、吻合した臓器の縫い目を覆う絆創膏として利用する研究や伸び縮するシリコン製(PDMS)ナノシートの研究も進めています。

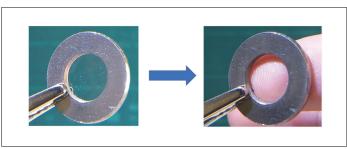


図1 厚さ100nmのPDMSナノシートがリングの中央に貼られている。 指で押し付けられても破れず、指の指紋にナノシートが追従しているのが分かる。

また、ポリ(3,4-エチレンジオキシチオフェン)とポリ(4-スチレンスルホン酸)からなる導電性高分子(PEDOT/PSS)のナノシート電極

や、アンテナコイルを導電性インクで印刷したナノシートを用いて、体内でLEDを無線給電で点灯させたり筋電や心電などの生体情報をモニタリングする研究も行っています。前者はがんの光線力学療法への応用、後者は厚みや重量があると影響がでる動作、例えば野球の投球における親指の付け根の筋電情報を正確かつ詳細に分析することができます。実験当初は、ナノシート電極をつないでいるワイヤーが受発信機とともに、投球動作による遠心力で吹っ飛んでしまったため、切り紙構造のエラストマーワイヤーを企業と共同研究することで、計測を実現しました。

音楽や芸術の分野でも、プロフェッショナルな手のひらや足裏の動作の解析ができるようになるのではないかと期待しています。さらには、お風呂に入っても剥がれない様にもできるので、入浴時の心電図をとることで、ヒートショックの機構解明につながるかもしれません。

#### ライフワークであるリポソームの新展開

リポソームはある温度でゲル/液晶相転移します。相転移温度を超えると発光する蛍光プローブをリポソームの二分子膜に導入すると、ゲル状態の時には凝集して発光せず、相転移温度(42℃)を超えて液晶状態になり凝集が解けた際に発光する、という特徴を持たせることができます。この特徴を利用して、前立腺がんマーカーであるPSAの検出に挑戦したところ、とても高い検出感度が得られています。熱源プレート上に担持させた抗体でPSAを捕獲し、そこに検出用抗体でサンドイッチさせた上で、温度応答性抗体結合リポソームを混合すると、検出用抗体に結合したリポソームのみ瞬時にプレートの熱が伝わり発光する、という仕組みです。結合していないリポソームは周囲の水と同じタイミングで温められ遅れて発光します。早いタイミングの発光

を検出することで、微量なPSAの濃度、すなわち前立腺がんかどうかの判断ができます。マルチプレートの発光のタイミングをハードウェア的に高精度化させようとすると非常に高額な装置が必要になりますので、将来の普及を視野に、画像処理というソフトウェア的な解決を試みています。私たちはこの領域は専門ではありませんので、画像情報工学により宇宙から地上を見る技術(リモートセンシング)を専門にしているグループに協力していただき、共同研究を進めています。さらに、この検出の仕組みを活用して、ウイルスの迅速・高感度な検出もできるのではないかと考えています。

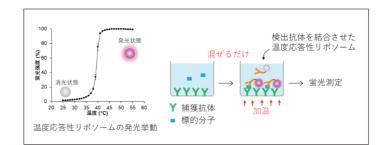


図2 温度応答性リポソームの発光挙動標的分子をサンドイッチした温度応答性リポソームが発光している。

博士号取得直後から関与してきた人工血液自体の研究も、最近大きな進展がありました。重篤な出血ショックモデル動物において、血小板代替物を投与してまず出血をおさえ、赤血球代替物の投与によって酸素を運搬して生命維持を図るという医工連携の共同研究において、血小板・赤血球輸血と同等の効果が得られました。私の指導教授(土田英俊先生)の永年の研究を受け継がせていただいている弟子の一人として臨床応用に繋ぐ責任を感じています。

#### 研究室の使命:開発した技術の継承と、産学連携への期待

大学における研究の担い手である学生は数年で入れ替わっていきます。研究成果をまとめて実際に論文が世に出るまでにはタイムラグがありますし、論文を世の中に出せば終わりではなく、良い成果ならばそれを社会に還元させるべく次のステージに移行します。すなわち医学部や企業との共同研究や開発です。その時には論文に携わった学生はもういませんし、何年もかかる場合もあります。そこで、研究室としては実験手技やノウハウが途絶えないように維持することを務めています。例えば、「血小板代替物を作ろう週間」を年に数回設けています。何度も改訂を重ねた標準手順書は大事に引き継いできていますが、それでも細かなノウハウの部分を残すことは困難です。学生には、その期間は自身のテーマの実験を一旦中断してもらい、試料作製のための、にわかチームに入って役割を分担してもらいます。初回はたいてい失敗して経済的にも痛いのですが、繰り返すうちに必ず規格に収まり、ノウハウが確実に継承されたと実感できます。この様に研

究室の核となる技術を毎年維持しながら、企業や共同研究先に試料を提供し、学生自身も「生体分子集合科学/ナノ医工学研究室(=武岡研究室)」における目玉テーマのモノづくりは一通りできるという自信をもって卒業してゆきます。

社会実装を見据えて研究を進め ているとはいえ、大学の研究室単 独でできることは実験結果を分析



して論文や特許にするところまでがほとんどです。研究者としてオリジナルな研究成果を論文として世に出すことはとても重要なことですが、より直接的に社会に貢献できる段階まで踏み込んで効率的に研究を進めることが現在の課題です。ですから、異分野や産業界の方々から具体的な用途や実用化に関するフィードバックをいただくことをとても楽しみにそして有難く思っています。近年では企業の方が博士課程に入ることも増えてきており、企業と大学とで線引きをするのではなく、むしろ融合したチームの状態でお互いに刺激をしあいながら基礎と応用の両方を行き来できれば楽しいですね。

#### 参考文献

(1)Mihara, S., Lee, H. L., & Takeoka, S. (2020). Electrocardiogram measurements in water using poly(3,4-ethylene dioxythiophene) :poly(styrene sulfonate) nanosheets waterproofed by polyurethane film. MRS Communications, 10(4), 628-635.

(2)Yamagishi, K., Nakanishi, T., Mihara, S., Azuma, M., Takeoka, S., Kanosue, K., Nagami, T., & Fujie, T. (2019). Elastic kirigami patch for electromyographic analysis of the palm muscle during baseball pitching. *NPG Asia Materials*, 11(1), [80].

(3)Yamagishi, K., Kirino, I., Takahashi, I., Amano, H., Takeoka, S., Morimoto, Y., & Fujie, T. (2019). Tissue-adhesive wirelessly powered optoelectronic device for metronomic photodynamic cancer therapy. *Nature Biomedical Engineering*, 3, 27-36.

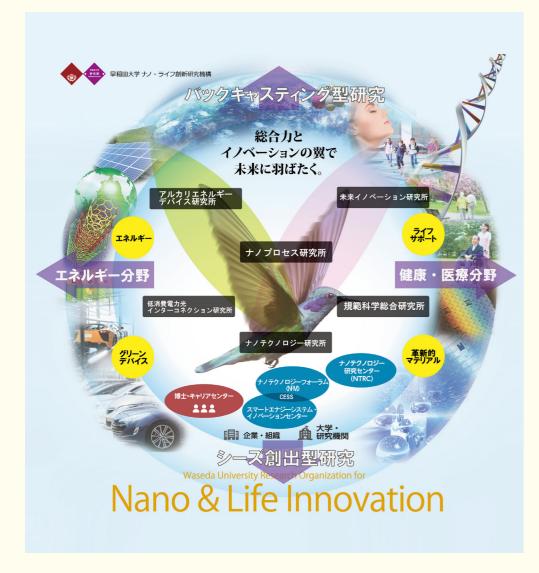
(4)Hagisawa, K., Kinoshita, M., Takikawa, M., Takeoka, S., Saitoh, D., Seki, S., & Sakai, H. (2019). Combination therapy using fibrinogen  $\gamma$ -chain peptide-coated, ADP-encapsulated liposomes and hemoglobin vesicles for trauma-induced massive hemorrhage in thrombocytopenic rabbits. *Transfusion*, 59(10), 3186-3196.

(5)Hu, R., Sou, K., & Takeoka, S. (2020). A rapid and highly sensitive biomarker detection platform based on a temperature-responsive liposome-linked immunosorbent assay. Scientific Reports, 10(1), [18086].

## NANO&LIFE INNOVATION

#### ナノ・ライフ創新研究機構

ノ・ゴ



#### 参画するプロジェクト 研究所群

研究者の自由な発想によるシーズ 創出のための基礎研究活動を尊重しつつ、将来ニーズの予測に基づくバックキャスティング型(未来志向)の研究開発をさらに強力に推進しており、基軸として、「ナノテクノロジー」「エネルギー」「健康医療」に「未来(学)」を加え、学術的にも社会的にも意義のある研究活動を展開します。



スマートエナジーシステム・イノベーションセンター (120号館) <2014年12月竣工>



リサーチイノベーションセンター (121号館)<2020年3月竣工>

#### ナノ・ライフ創新研究機構に属するプロジェクト研究所

#### 低消費電力光インターコネクション研究所 所長 宇髙 勝之(機構長/早稲田大学理工学術院 教授)

情報通信の爆発的増大による通信機器の消費電力急増は、世界的に深刻な社会問題となっています。特に、インターネットにおいて信号を転送するルータや、膨大なデータを蓄積し、転送するデータセンターに設置されたサーバなどで顕著です。本研究所では、多段並列処理チップ間から個々のLSI間に至るまで、信号遅延がほとんどない低消費電力・高速信号処理を可能とする光配線を実現し、さらなる情報社会の発展に貢献することを目指します。アーキテクチャからデバイス、プロセス、システムまで総合的に検討し、大規模シリコン細線導波路光スイッチマトリクス技術による低消費電力・高速化、超高速光信号処理素子技術による高速効率化、ヘテロ素子ハイブリッド集積化技術による効率的な製造技術の研究開発を推進します。



#### ナノテクノロジー研究所 所長 庄子 習一(早稲田大学理工学術院 教授)

本研究所では、4大学ナノマイクロ・ファブリケーションコンソーシアム、6大学連携プロジェクト、ナノテクノロジープラットフォームおよびマテリアルDXプラットフォームなどの学学/産学連携プロジェクトを推進しています。無機材料、有機材料、金属など多種多様な材料に対する三次元加工技術・装置を有しており、これら最先端の設備利用を通して、共同研究や問題解決の最短アプローチの提供、ナノテクノロジー分野の人材育成・技術者教育などを実施しています。応用展開として、たとえば、微量での分析/計測・バイオ系薬品や酵素の高効率化学合成等を可能にするナノマイクロシステムの開発と、ポイントオブケアやホームヘルスケアテスティングの実現、あるいは三次元加工技術による高効率燃料電池の開発などの実現を目指します。



#### 未来イノベーション研究所 所長 逢坂 哲彌(ナノ・ライフ創新研究機構 特任研究教授・名誉機構長)

今後、我が国がすでに突入している超高齢化社会において、経済活動の活性化を進めるために、高齢者を含めた人類の生活を支える科学技術の飛躍的延伸が求められています。この状況下で我々は、生活習慣病など疾病の危険性を日常の生活の中で早期かつ簡便に検知するための、超小型バイオセンサを開発してきました。このバイオセンシングシステムに加えて、更なる発展を目指して次世代蓄電エネルギー連携研究所を統合し、エネルギー・蓄電池診断センシングを取り込み、日常の生活の中で活用されるセンシングシステムを人間と機械の協奏化による調和を目指したものとして、総合的な診断システム開発に注力していきます。具体的には、バイオセンシングとしては、疾病予測および健康予測に係るバイオマーカーを対象に、界面設計とその最適化に取り組み、尿や唾液、汗などの扱いやすい検体での低侵襲検査のためのシステムの開発を推進します。また、我が国のエネルギー政策の基盤となる蓄電池の有効活用にむけた定置用蓄電池や電気自動車の導入に寄与する蓄電池の診断技術として、特に劣化による状況を非破壊で分別できる高信頼エネルギーシステムを開発しています。最終的にはこれらの診断法を統合的に人と機械の協奏を進めるプロジェクトとして、ライフ・イノベーションを展開していきます。

#### アルカリエネルギーデバイス研究所 所長 本間 敬之(早稲田大学理工学術院 教授)

低炭素社会の早期実現には、高効率でユビキタスなエネルギー変換デバイスの開発が重要課題である。リチウムイオンを始めとする各種二次電池や燃料電池、電解セルなど既に実用化と普及が進められているデバイスも多いが、性能と耐久性の改善の余地が大きい。我が国は本分野で現在世界をリードしてはいるものの、今後も優位性を維持し続けるためには継続的な技術革新が必要である。特に、小型軽量化を可能とする高分子薄膜と高性能な電極触媒の開発が次世代エネルギーデバイスの鍵を握っている。例えば燃料電池では高分子薄膜としてアニオン交換膜を用いることにより、白金などの責金属触媒を用いなくても高い性能が得られる可能性があり、その実用化には大きな期待が持たれている。本プロジェクト研究所では、イオン導電性と化学安定性を両立させるための独自の分子設計に基づいたアニオン交換膜の創製と高度化を進めると共に、各種アルカリ形エネルギーデバイスを社会実装できるためのブレークスルーを目指す。本プロジェクトはタカハタプレシジョン株式会社との共同研究として推進している。また研究所設立と同時に山梨大学・クリーンエネルギー研究センター・宮武健治教授が2020年度より本学先進理工学研究科にクロスアポイントメント教授として着任し、共同研究を推進している。タカハタプレシジョン株式会社は宮武教授とすでに7年以上に亘り共同研究を継続してきており、アニオン導電性とアルカリ安定性を大幅に改善したアニオン交換膜を世界に先駆けて提案している。本研究所ではこの基幹技術を基にして、アニオン交換膜のさらなる高性能化・低コスト化を進めると共に、種々のデバイス応用への展開を図る。



#### ナノプロセス研究所 所長 松方 正彦(早稲田大学理工学術院 教授)

2050年に向けた地球規模でのエネルギー・環境問題の解決には材料と化学プロセスの革新が重要であり、本研究所では、目的に叶った原子・分子の超高選択的反応、配列および高次構造形成の実用レベルでの達成とそれらを利用するプロセス・システムとのコンカレントな研究開発による、革新的物質変換・分離プロセス、環境浄化技術の創出を目指しています。このため、資源生産・エネルギー変換や燃料・化学品製造といった川上産業分野を対象に、カーボンリサイクルや資源循環技術、環境浄化技術の創出に貢献する、新規触媒、分離膜、吸着剤の開発とそれらを組み込んだ省エネルギー・高効率プロセスの研究開発を行っています。また、高機能性炭素材料などの高効率製造プロセスの開発を進め、新規デバイスの研究開発促進への展開を目指します。

#### 規範科学総合研究所 所長 竹山 春子(早稲田大学理工学術院 教授)

本研究所では、生命科学、医療、環境分野等における基礎研究、技術開発、さらにそれらの社会実装を推進することで、未来社会を創造し持続可能な発展に資することを目指します。学生・院生を含む社会人を対象に勉強会・シンポジウムを開講し、科学的知見と論理的思考によって本研究所で推進する分野とともに規範科学に関わる教育のあり方などについて調査研究を行い、人材育成にも貢献します。また、先端的な研究を産官学連携で推進し、実践科学の成果から社会実装、さらには科学技術政策への提言も積極的に推進します。具体的には、①バイオサイエンス・エンジニアリング研究、②ヘルスフード科学研究、③バイオマーカー解析研究、④エコシステム科学研究を辞として、環境・医療・健康・食などの重要課題の研究拠点化を目指します。



## NANO TECHNOLOGY FORUM

ナノテクノロジーフォーラム

#### 早稲田大学ナノテクノロジーフォーラムとは

早稲田大学ナノテクノロジーフォーラム(略称NFM)は2004年よりナノテクノロジーによる産業立国を期して、早稲田大学がナノテクノ ロジーに関する産官学の連携を進める「場」として誕生しました。

ナノテクノロジーは今やモノづくりの基盤拠点として様々な産業分野で用いられています。そこで、NFMは早稲田大学のナノテクノロ ジーの研究拠点であるナノ・ライフ創新研究機構を母体としてより広い産業分野と連携を深め、相互補完によって研究成果の社会還元、人 材育成、産学協働等によるナノテクノロジーの研究拠点形成展開活動を支援することを目指していきます。

#### 早稲田大学ナノテクノロジーフォーラムの概要

NFMは「健康・医療」「環境・安全」「クリーンエネルギー」「グリーンエレクトロニクス」「加工・計測・分析」の5つの研究分野について各種活動 を行っています。

#### 会 員

#### アクティブな参画



#### ●製品開発

- ●研究施設の利用
- ●最新情報収集
- ●技術者教育 ●学生リクルート

17

#### NFM(CESS\*)

#### コーディネーション

#### ●情報

研究成果報告会の開催 メールによる情報提供

技術者教育プログラムの企画 キャンパスツアーの実施 企業見学会の実施

#### ●イベント

セミナー シンポジウムの開催 出張講演会の受託 研究交流会の実施

> 異分野交流 シーズとニーズの マッチング

#### ナノ・ライフ創新研究機構

#### ●プロジェクト研究所

低消費電力インターコネクション研究所 ナノテクノロジー研究所 未来イノベーション研究所 アルカリエネルギーデバイス研究所 ナノプロセス研究所 規範科学総合研究所

#### ●研究リソース

研究者…約110名 配備装置…100台余 クリーンルーム…3室 ドライルーム・・・1室 化学実験室 バイオ実験室

#### ●共同研究·受託研究 ●研究者養成

- ●研究施設の提供
- ●研究ネットワーク
- ●産学協働大型研究







若手交流·勉強会 会員企業による技術紹介

#### 企業見学会

#### 早稲田大学ナノテクノロジーフォーラムの活動

## STEP1 情報共有および技術者養成 ~産・学が触れ合うキッカケを作ります~

研究者が推進している最新の研究成果や、基礎となる知見をシンポジウムや出張講演で提供することにより産学連携の協働に結び 付けます。また、ナノテクノロジーの最先端技術者に協力しています。

シンポジウム・セミナー・・・・・・ NFM主催のシンポジウムや共催セミナー等を通じて、最新情報の発信や、意見交換を行っています。

会員企業による技術紹介・・・・ NFM会員企業様による、最新技術などの意見交換会を行っています。

出張講演・・・・・・・ナナ・ライフ創新研究機構に所属する教授および研究者が直接企業に出向き、最新の研究成果など

の講義をいたします。社内研修会やサロン会などでご活用下さい。

ています。

若手交流・勉強会 ・・・・・・・・・ 会員企業様の若手を対象に、早稲田大学の研究者および、企業経営のプロフェッショナルを講師とし

た勉強会を開催しています。

NFM Award ······· 研究者支援を目的として、年に1回、研究業績に基づく選考を行い、育成およびイノベーション創出に

向けた助成をしています。

## STEP2 個別共同開発、受託研究 ~産・学が協働で社会貢献を目指します~

ナノ・ライフ創新研究機構に所属するプロジェクト研究所群が推進する、グリーンサイエンス・ライフサイエンスの最新・最先端の研 究成果を反映させることにより、産業界と協働して新技術を確立し、Made in JAPANで社会に貢献していくことを目指します。

#### STEP3 產学協働大型研究

STEP2の具体的成果を基盤として、チーム編成を行い大型研究費の申請・獲得に取り組みます。新製品の開発により、役割分担とし て企業は産業発展に寄与、大学は研究成果を広く公知し、社会貢献に努めます。

【例】大手電機メーカー数社と、ナノ・ライフ創新研究機構が協働し、スマートコミュニティシステムの構築に向けた実証研究を推進しています。 系統用大型蓄電池の運用及び安全性評価を本庄研究センターで展開しています。

#### 入会方法

会員種別および会費をご確認の上、裏面「早稲田大学ナノテクノロジーフォーラム事務局」へお申込み下さい。 ※会費は1□の年額を以下の通りとし、1□以上をお申込み下さい。入会金はありません。

会員種別	会員資格	年会費
法人会員A	ナノテクノロジーフォーラムの趣旨に賛同する企業・団体等	10万円
法人会員B	ナノ・ライフ創新研究機構において100万/年以上の共同研究・受託研究をしている企業・団体	免除
法人会員C	CESS(Consortium on Energy Storage System)会則に定める ※入会については別途ご相談下さい。	免除
賛助会員(個人会員)	ナノテクノロジーフォーラムの趣旨に賛同する個人	2万円
学内会員	早稲田大学に所属する教職員・研究員	免除

#### お申込み・お問合せ

#### 早稲田大学ナノテクノロジーフォーラム事務局

〒162-0041 東京都新宿区早稲田鶴巻町513 早稲田大学120-5号館201室(研究院事務所)

TEL: 03-3203-4364 FAX: 03-5286-9830 E-MAIL: nano-forum@list.waseda.jp

URL: https://www.waseda.jp/inst/nanolife/nanotechnologyforum/