

## サムコ科学技術振興財団 2025年度 第9回 研究助成金贈呈式 記念講演 「夢を形に！ナノテクノロジーで創る体内病院 ～病が気にならない社会を目指して～」

今年の贈呈式では、片岡一則先生をお招きし、記念講演を行っていただきました。

講演のテーマは、「DDS（ドラッグデリバリーシステム）」とその「社会実装」についてです。先生はご自身の研究人生を振り返りながら、財団からの助成金を受領された若手研究者に向けて、長期的な視点を持つことの重要性を強調されました。



公益財団法人川崎市産業振興財団  
ナノ医療イノベーションセンター センター長  
東京大学名誉教授

か た お か か ず の り

# 片岡 一則 先生

経 歴 1974年 東京大学 工学部 合成化学科 卒業  
1979年 東京大学 大学院工学系研究科 合成化学専攻 博士課程修了 工学博士  
1979年 東京女子医科大学 医用工学研究施設 助手  
1988年 東京女子医科大学 医用工学研究施設 助教授  
1994年 東京理科大学 基礎工学部 教授  
1998年 東京大学 大学院工学系研究科 マテリアル工学専攻 教授  
2004年 東京大学 大学院医学系研究科 疾患生命工学センター 教授（併任）  
2015年 公益財団法人川崎市産業振興財団 ナノ医療イノベーションセンター センター長（現任）  
2016年 東京大学名誉教授  
2016年 公益財団法人川崎産業振興財団 副理事長（現任）

### ▶ はじめに

サムコ科学技術振興財団の研究助成金贈呈式において講演をさせていただく機会をいただき、大変光栄に思っております。私が今日お話しするのは一風変わったタイトルで、「夢を形に！ナノテクノロジーで創る体内病院～病が気にならない社会を目指して～」について講演させていただきます。私は大学院で、分子量の大きな分子である高分子を作る高分子化学を専門としていました。博士課程に進みたいと思い、恩師である鶴田禎二先生に相談したところ、「今の研究を続けるのもいいが、どうせやるなら、これから重要になるであろう人類の健康や医療に関係する分野をやってみないか」と背中を押していただきました。こうして、私はバイオマテリアル、すなわちドラッグデリバリーシステム（DDS）の世界に飛び込んだのです。

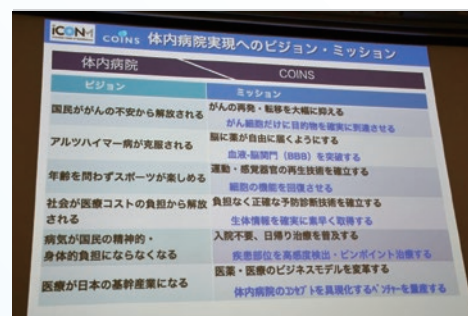
### ▶ ナノ医療イノベーションセンター（iCONM）について

現在、私は東京大学を退官しましたが、川崎産業振興財団のナノ医療イノベーションセンター（iCONM）で活動しています。このセン

ターは、ちょうど私が定年を迎える頃に設立され、今年で10年になります。iCONMは、東京と横浜に挟まれた川崎市にあります。この辺りは重化学工業地帯で、JFEスチールの製鉄所などが中心となっていました。しかし、21世紀は健康医療の産業を起こす必要があるという国と川崎市の考えから、この地の再開発が始まりました。iCONMは、羽田空港の対岸にあり、2年前に多摩川スカイブリッジができたおかげで、第3ターミナルから車で5分で来られるようになりました。この利便性から、外国の方々も気軽に立ち寄ってくれるようになり、世界に開かれた場所となっています。現在、iCONMには14のライフサイエンス関連機関が入居しており、大手の製薬会社よりも化学メーカーやスタートアップ企業が多いのが特徴です。センターの建物は、オープンイノベーションを促進するために、中央が3フロアの吹き抜けになっており、企業や大学の研究者が自由に交流できる設計になっています。また、ナノテクノロジーの医療展開を効率よく進めるため、1階は微細加工、2階は高分子合成、3階は細胞実験、4階は動物実験と、一つの建物内で研究を完結できる工夫がされています。

### ▶ 体内病院とナノマシン

私たちが目指すイノベーションは体内病院です。カメラやオーディオ、携帯電話などバラバラだったものが一つになってスマートフォンになったように、医療機器



や薬、病院の機能をウイルスサイズのスマートナノマシンに集約させるのです。これにより、未来の医療を変えていこうと考えています。このビジョンは、私たちの世代がよく知っている映画『ミクロの決死圏（Fantastic Voyage, 1966）』からヒントを得ています。人間を小さくすることはできませんが、小型の乗り物を作って体の中に入り、病気の診断や治療を自在に行うことを目指しているのです。このプロジェクトは、文部科学省の「センター・オブ・イノベーションプログラム」に選出され、私たちは2045年の完成を目指しています。これはバックキャストという手法で、将来の望ましい社会を先に考え、そこから逆算して研究開発を進めるというものです。私たちが考える社会は、「いつでもどこでも誰もが社会的負担の大きい疾患から解放され、気づかないうちに健康になる社会」です。この体内病院を具体的に実現するデバイスがナノマシンとなります。

ナノマシンの大きさについて、具体的にイメージしてもらうために例を挙げます。もし人間の身長が地球と同じサイズだとすると、細胞は東京ドーム、ナノマシンはサッカーボールの





サイズに相当します。ナノマシンは、歯車のような機械ではなく、分子を組み上げて作るものです。水に馴染みやすい部分と機能を持つ部分からなる高分子（ブロックポリマー）を水中で混ぜると、薬を内包したナノ粒子が自動的に自己組織化によって形成されます。このナノ粒子は、電子顕微鏡で見ると、A型肝炎ウイルスやインフルエンザウイルスとほぼ同じサイズに見えます。このナノマシンが体内に入っても異物と見なされないようにするステルス機能が非常に重要です。ポリエチレングリコールのような親水性の高分子でナノ粒子を完全に覆うことで、血中で凝集することなく、安定して循環させることができます。ナノマシンによるドラッグデリバリーシステム（DDS）は、薬を必要な場所に効率よく届けることを可能にします。通常、薬を血管に入れると全身に広がってしまい、副作用が出ますが、DDSは薬を目的の場所だけに届けることができます。これは、紀元前のヒポクラテスが「良い薬とは、効いてほしいところでだけ効く薬である」と書いたことと、同じ考え方です。

### ▶ DDSの社会実装

DDSでは、薬が心臓から全身を循環して戻ってくる際に、肝臓や腎臓で取り除かれずに工夫することが重要です。実際に、私たちが開発した代表的なDDSである高分子ミセルは、投与した抗がん剤の血中濃度を維持し、裸の薬に比べて飛躍的にがんへの到達率を高めることに成功しています。なぜなら、がんの血管は、正常な血管とは異なり、隙間が空いていて透過性が高いからです。ナノマシンは正常な血管からは漏れませんが、がん組織の隙間から選択的に取り込まれるのです。私たちは、高速共焦点レーザー顕微鏡を使って、マウスの体内で実際にこの現象が起きていることを確認しました。

さらに、ナノマシンには環境認識機能や刺激応答機能を持たせることができます。例えば、がん細胞に入ったナノマシンは、細胞内の酸性の環境（エンドソーム）を検知して薬を放出し、がん細胞を死滅させます。この技術は、高い治療効果だけでなく、副作用の軽減にもつながります。シスプラチンという抗がん剤は、腎臓や内耳への副作用がありますが、ナノマシンを用いることで、聴力障害が全く起きないことがモルモットの実験、さらには臨床試験においてヒトでも確認されています。

また、私たちは光を使った治療にも取り組んでいます。光増感剤を搭載したナノマシンを使い、光を当てることで活性酸素を発生させ、がん細胞を死滅させる光線力学治療です。これにより、膀胱がんの治療で、膀胱全体にダメージを与えることなく、がんだけを小さくすることが可能になりました。

さらに最近では、音響力学療法という、集束



超音波を使った治療法も進めています。これは、超音波エネルギーを吸収して活性酸素を出す物質をナノマシンに搭載し、患部に超音波を当てることでがん細胞を死滅させるものです。この治療法は、実際にがんになったペットの犬で劇的な改善が見られ、現在、人間の膵臓がん患者を対象とした臨床研究も行われており、安全性が確認されています。

そして、私たちは核酸医薬という分野にも力を入れています。ゲノムのわずか1.5%しかタンパク質をコードしていないことから、残りの99%のノンコーディング領域に病気の原因があることが分かってきました。核酸医薬は、このノンコーディング領域に作用できるため、非常に注目されています。私たちは、悪性脳腫瘍である膠芽腫に対する核酸医薬の研究を進めています。脳は、元々薬が届きにくい血液脳関門というバリアがありますが、私たちはナノマシンをダウンサイズすることで、このバリアをうまく通り抜けることができるユニットカプセル型ナノマシンを開発しました。これは、簡単なプロセスで作ることができ、約17ナノメートルという抗体と同じサイズです。このナノマシンは、脳に確実に集まり、がん細胞の増殖を90%以上抑制し、高い生存率を達成しました。この技術は、2024年から臨床試験が開始されています。

さらに、メッセンジャーRNA（mRNA）を用いた再生医療にも取り組んでいます。mRNAはDNAと違い、遺伝子を傷つけることがなく安全です。私たちは、軟骨を再生させるmRNAを搭載したナノマシンを開発し、動物実験で軟骨がスムーズに再生することを確認しました。この治療法は、変形性関節症の治療に向けて、今年7月にオーストラリアで臨床試験が申請され、まもなく世界初のmRNA再生医療治療が始まる予定です。最終的な夢としては、ナノマシンを使って脳の中にmRNAを送り込み、神経細胞を若返らせるブレイン・リジェネレーションを実現することです。これはまだできていませんが、若い人たちにぜひこれを実現してほしいと願っています。

### ▶ 質疑応答

Q. 「体内病院」というコンセプトは、どのようにして生まれたのですか？

A. 奇想天外なタイトルですが、文部科学省のCOIプログラムの構想を考えている時に、

チームメンバーと議論をして生まれました。私たちが体内で起きる現象や、刺激に応答するナノマシンの仕組みを説明していると、「それは体の中に病院があるのと同じだ」というアイデアが出て、それで「体内病院」と名付けられました。このプロジェクトは、3年や5年でできるものではないので、2045年という長期目標を設定し、そこから逆算してロードマップを作りました。

Q. ナノマシンは一度使用すると機能しなくなるのですか？大量に必要なのでは？

A. 非常に鋭いご質問です。現在のナノマシンは、一度で構造が壊れるタイプです。しかし、がん細胞の全てに薬を届ける必要はありません。がん細胞が死ぬときに特殊なタンパク質を放出し、それが免疫細胞を活性化させて、がんを攻撃するT細胞を集めてくれるのです。つまり、免疫の力を使ってがんを治すため、すべての細胞に薬を入れる必要はないのです。

Q. 究極の夢は不老不死だと思いますが、可能なのでしょうか？

A. 残念ながら、それは絶対に不可能です。ただ、健康寿命を延ばすことは可能だと考えています。私たちの後継プロジェクトでは、老化の原因となる老化細胞をターゲットにしています。老化細胞を潰すことで、老化を遅らせたり、がんになりにくくしたりする可能性があります。科学技術は、できないことを可能にすることで選択肢を増やすものです。それを社会がどう利用していくかは、皆で考えるべき問題だと思います。

Q. 若手研究者への一言メッセージをお願いします。

A. 最も難しいご質問ですね。私の基本的な心構えは、越境する好奇心です。私は指導教官に背中を押されて、全く未知の分野に行きましたが、そこで分かったのは、自分の研究を客観的に見られるようになったことです。居心地の良い研究領域にいるのも良いですが、そこから飛び出して、一見違う分野に足を踏み入れてみると、面白い発見があるはずです。日本の科学技術は非常に優れていますから、皆さんにはぜひ、そういうことに挑戦してほしいと思います。

講演日：2025年9月25日 @ 京都リサーチパーク

