

若手化学工学者としての私の履歴書

井藤 彰

学術と社会の関係には「学術専門を究めれば社会貢献に至る」という理解と、「学術成果と社会課題の間には橋渡しへの努力が必要」という理解がありうる。前者の理解はいうまでもなく成功を収めてきた。しかし並行して社会に別の難問が残り、また新たに難問が生じ、将来に向かっては後者の理解とも再バランスの必要が考えられる。こうした時代に今後を担う「若手科学者」の紹介を通じて、学術と社会の未来を考える。

科学への興味

1975年、第二次ベビーブーム直後に生まれる。現在の大学受験事情と同様に、筆者の高校生時代（1991～1994年）も学業成績の良い友人たちは皆一様に医学部志望だった。医学研究における生命の神秘への興味も然ることながら、SFや漫画が好きな筆者は、体内に入って病気を治す「ナノマシン」に興味をもち、医療系のバイオテクノロジーの研究がしたいと考えて志望校を探した。当時、名古屋大学工学部化学工学科で教官をしていた大伯父に相談したところ、化学工学にバイオテクノロジーを持ち込んだ「生物化学工学」を専門とする小林猛先生を紹介された。名古屋大学に合格して運よく小林先生の研究室に配属された筆者は、「磁性ナノ粒子を用いた癌の温熱療法」の研究テーマと出会った（1997年）。

酸化鉄であるマグネタイト（ Fe_3O_4 ）は生体適合性が高く、磁石にくっつくだけでなく、交流磁場を照射すると発熱する性質をもつ。マグネタイトを直径10 nmに調製した磁性ナノ粒子を腫瘍組織にだけ送達できるように化学修飾した「ナノマシン」を開発することができれば、血中投与によってMRI（核磁気共鳴イメージング）による癌診断が可能となり、

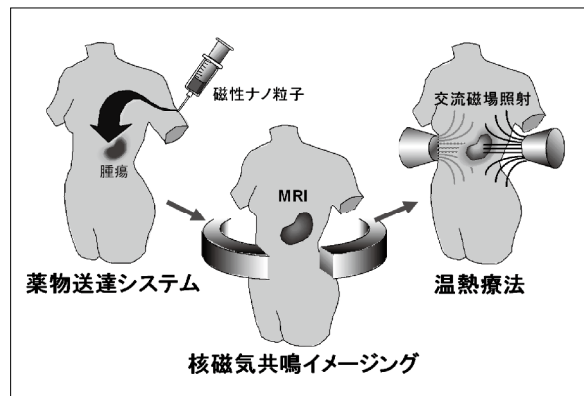


図1 磁性ナノ粒子を用いた癌の温熱療法

さらに体の外から交流磁場を照射して磁性ナノ粒子を発熱させることで癌を熱で殺す新しい癌治療法となる(図1)。高校生の頃に芽生えた科学への興味を生涯の仕事とすることができたのは奇跡か、あるいは、実は自分の意志ではなく、周りの先生の熱心なご指導で記憶が改ざんされているのかもしれない。「私は洗脳されたわけではなく、自分の意志で博士課程に進学しました」と言ったら、ある先生に「自分で気付いていないから洗脳って言うのだよ」と指摘されたことがある。

化学工学と私

筆者の専門は化学工学である。しかし、それに気が付いたのは修士課程在籍時(1998~2000年)で、化学工学会に参加するようになってからである。化学工学はプロセスの総合工学であり、化学のみならず、製鉄、金属精錬、繊維、プラスチック、紙パルプ工業、食品、医薬品などの各産業、さらに石油精錬、原子力などのエネルギー産業などに活用されている¹。つまり、何でもありだと学生の時は思っていた。しかしながら、名古屋大学大学院工学研究科の助手(2002年)に採用されて「若手化学工学者」になると、突然、化学工学会から招集されて「若手は化学工学の未来を考える」と言われる。

筆者は経団連の朝食会に参加したことがあるが、その際に配布された資料に化学工学を含むいくつかの分野(冶金・金属工学、土木工学など)が「絶滅危惧学問」と記載されていた。衝撃的な文言だが、これは「産業界にとって重要な学問だが、大学での教育機会が失われつつある分野」の意味で説明された。絶滅危惧の原因として、化学工学は学問体系がすでに成熟しており、新しい研究テーマの設定が難しく、先端研究分野への研究活動の焦点の移行に伴い学科

の維持が難しくなっていることが指摘される²。「磁性ナノ粒子を用いた癌の温熱療法」に関しても、化学工学の単位操作である分離プロセスに利用されていた磁性ナノ粒子を応用したり、磁性ナノ粒子表面への抗体などの固定化に生物化学工学の技術を利用したりしているが、研究活動の焦点は現在「癌細胞が熱をどのように感知して細胞死に陥るか」や「癌細胞にどのような細胞死を誘導すれば腫瘍免疫が誘導されるか」といった分子生物学的questionや「如何にして腫瘍組織にだけ磁性ナノ粒子を送達するか」や「如何に効率よく発熱する磁性ナノ粒子を調製するか」といった工学的questionに移行している。



プロフィール

井藤 彰 (いとう あきら)

- 日本学術会議若手アカデミー委員
- 日本学術会議連携会員
- 名古屋大学大学院工学研究科教授

専門 化学工学・生物工学

「若手は化学工学の未来を考えろ」は、学会の会員数減少に対する懸念の一端であろう。一方、埴淵と川口は、日本学術会議が指定する協力学術研究団体を対象とした定量的解析を行い、過去十年余りの間に個人会員数が減少した学会は3分の2にのぼるものの、それは中小規模で歴史の長い学会で顕著であり、大規模学会ではむしろ会員数を増加させていることを報告している³。大規模学会の会員数の増加は、多様化する学問分野を次々に包括していった結果であると考えられる。「若手は化学工学の未来を考えろ」に対して、「磁性ナノ粒子を用いた癌の温熱療法」はどう考えても化学工学ではないかと居た堪れなくなるが、その研究成果を発表する場を化学工学会は提供してくれる。一方で、学会内の研究分野が多岐にわたるとその専門家が少なくなり、深い議論ができなくなってしまうために学術集会としての学会の意義が薄れてしまうデメリットがある。学会の存在意義については、日本微生物生態学会で、喧々諤々の議論が繰り広げられ、「学会悪玉論というタブー」に真摯に向き合った記録が報告されている⁴。若手研究者を主体としたゼロベースでの学会存否の議論は、学会の未来を考えるうえで常に行われるべきである。40歳代の筆者が感じるのは、化学工学会のような大規模学会は「教会」のようなものだということである。学生が教員に毎年定期的で開催される学会に連れていかれる様は、まるで毎週日曜日に教会に連れていかれる子供のようなのである。自分の専門が何かも分からないまま化学工学会に参加して、自身のバックグラウンドを形成する。シニアの先生から、(主に懇親会で)その先生のそのまた先生の話聞かされ、その分野の聖書のような教科書に出てくる名前を身近に感じるようになる。30歳代になると「化学工学とは」みたいなことを言うようになって、学会で自分の研究をアピールすること

に躍起になり、40歳代になると日常業務が多忙になり、年に1～2回開催される学会に参加すると、ホームグラウンドの感覚でとにかく落ち着くのである。

30歳になり九州大学大学院工学研究院化学工学部門に准教授として着任した。30歳代(2005～2014年)の頃は化学工学に迎合する必要はないと考えていた。「最近の若い者は」というセリフはいつの時代も存在するようで、若者は生意気である。一方で、40～50歳代の化学工学の先輩たちは新たな研究対象を次々と化学工学会に持ち込んで来て下さった。医薬品産業において、化学工学をベースにした生産プロセスは必須である。一方で、有機合成で生産される低分子医薬品に加えて、現在、抗体などのタンパク質の薬(バイオ医薬品)が世界市場を賑わせている。バイオ医薬品は遺伝子組み換え細胞を使用して生産されるため、生物化学工学における動物細胞の大量培養技術が医薬品業界で必要とされるようになり、化学工学者が新しい研究領域としてそこに参入している。さらに、最近では細胞自体を医療に使用する再生医療の実用化が進んでいる。再生医療は以前、化学工学者の間では産業化が難しいと言われていた。その理由は、自己細胞を使用しなければならなかったために完全なオーダーメイド医療となってしまうからである。そこにゲームチェンジャーとなるiPS細胞⁵が登場した。この画期的な技術によって、採取しやすい細胞からiPS細胞を作製することが可能となり、iPS細胞は株化細胞とよばれる無限増殖可能なクローンであるので大量生産に適しており、さらに日本人に多いHLA(ヒト白血球抗原)の型をもつiPS細胞をバンク化しておくことで他人の細胞から作製したiPS細胞であっても免疫拒絶を受けることなく移植できる可能性がある。細胞製造のためのプロセスに化学工学のアプローチが必須であり、多くの化学工学者が再生医療分野に参

入している。筆者らは、磁性ナノ粒子が磁力に引き寄せられる性質を利用して、再生医療という次世代のバイオプロセス分野に「磁気細胞操作」という新しい方法論を創出した（図2）。

磁性ナノ粒子を様々な生体材料で修飾することで、機能をもった磁性ナノ粒子を開発し、再生医療の工程における細胞分離・高密度培養・遺伝子導入・三次元組織構築について、磁性ナノ粒子と磁力による磁気細胞操作技術を

巧みに利用することで、再生医療プロセスの高効率化に成功した。磁気細胞操作はリモートで行うことが可能であり、再生医療プロセスの自動化に有用であると考えられる。特に三次元組織構築は再生医療における最も重要なプロセスの一つであり、ティッシュエンジニアリング（Tissue Engineering）とよばれる技術が化学工学者であるLangerと小児外科医のVacantiによって提唱された⁶。LangerはMITで化学工学の博士号を取得後、ポスドクとしてハーバード大学で医学研究を行った医工学研究のパイオニアであり、現在彼が主宰するMITのKoch Institute for Integrative Cancer Researchの研究室は世界最大の医工学分野の研究室と言われており、筆者は2011年に彼の下へ留学する機会を頂いた。Langerは特に高分子科学の専門家であり、生分解性ポリマーからなるヒトの耳の形のスポンジを作製し、そこにヒト軟骨細胞を播いてマウスの背中に移植した。移植されたポリマーは徐々に溶けて、

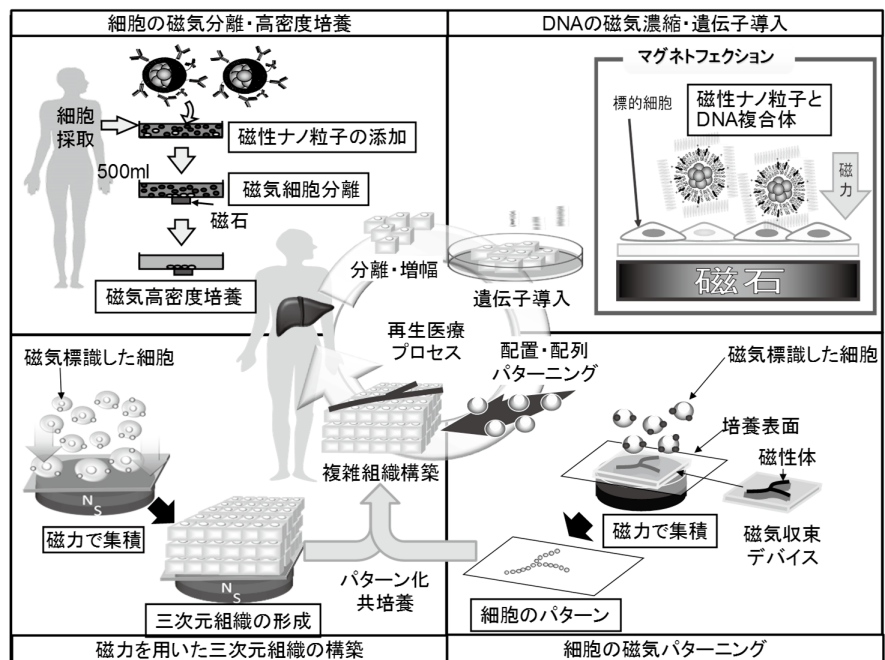


図2 磁性ナノ粒子を用いた再生医療プロセス

増殖したヒト軟骨細胞と置き換わり、ヒトの耳の形状の軟骨組織がマウスの背中に形成された。耳は整形外科分野では最も複雑な形状をもつ人体パーツの一つであり、耳の形が高分子で作れるということは体中のパーツが作製可能であることを示唆した。何より、ヒトの耳を背中に持つマウスが歩き回る映像がニュースで流れることで世界中の人々が驚いた。その耳に音を聴く機能はないが、生まれながらに耳が小さい小耳症の患者に移植するためのQOL（Quality of Life）の向上に寄与する移植片になる。一方、筆者らは磁力を用いて三次元組織を構築するアプローチをとった。標的細胞に磁性ナノ粒子をくっつけることで磁気標識し、磁力で細胞を積層して「動く」骨格筋などの三次元組織を試験管内で構築することに成功した。この技術は最近発展著しい3Dプリンターと組み合わせることで、プリンターから吐出された細胞を磁力で積み上げながら複雑な組織や臓器を試験管内で構築することができると考

え、研究開発を行っている。

化学工学と社会の未来

学会の存在意義として社会貢献がある。化学工学は産業界に直接的に必要とされている分野であることから、化学工学会のミッションは「化学工学の学術的水準の進展を支え、人材を育成し、それらの成果を社会に有機的に還元するための中心的学会として活動すること」としている¹。本シリーズ「学術と社会の未来を考える」の巻頭言⁷で狩野氏が述べているところの、学術と社会の関係性の理解としての「リニア（線形）モデル」（各専門の基礎科学を深めていけば、自動的に社会への貢献に至るモデル）と「ステークホルダー（利害関係者）モデル」（科学の成果と社会が必要とする内容は意識的に橋渡しされないと接続されないモデル）において、化学工学分野の研究は前者に当てはまるだろう。しかしながら、リニアモデルのような一つの分野を突き詰めていく方法論だけでは、学問の蝸壺化につながり、複雑な現代社会の諸問題に対応できなくなる可能性がある。

日本学術会議内に設置された「若手アカデミー」⁸は、文系・理系の様々な分野の若手科学者が委員として集まった会議である。筆者は2010年に若手アカデミーの前身である「若手アカデミー活動検討分科会」の委員として「若手アカデミーは必要なのか？」といったことから議論し、2011年に提言「若手アカデミー設置について」⁹が発出され、2015年に若手アカデミーが設置された。幸運にも若手アカデミーの委員として10年間活動させて頂いたことの最も大きな収穫は、文系の学者を含む真に多様な科学者とチームを組んで同じ課題について議論できたことである。SDGsのような世界規模の課題解

決には分野を超えた協働が必須なのは明白である。SDGsには化学工学と関連が深い項目が多い。ただ自分の研究がSDGsの何番に関連するかチェックして満足するのではなく、それを達成して社会を変えるのは自分一人の力では到底できないことをきちんと自覚し、協働する分野を深く認識してパートナーを探すべきである。さらに、ステークホルダーモデルにそった行動として、自分の研究分野を無理矢理にでもSDGsのどこかに適用できるか考えていくことが重要になるだろう。2019年に名古屋大学大学院工学研究科の教授として採用され、社会とのつながりと責任を一層強く感じるようになった。2020年4月、新型コロナウイルスの世界的大流行で、化学工学者として何ができるか考えながら本稿を執筆している。

参考文献

- 1 化学工学会HP. <http://www.scej.org/general/role.html>（最終閲覧日：2020年4月24日）
- 2 澤 寛, 化学工学は日本の大学教育から絶滅する学問であろうか, 化学工学, 80(11), 749-751, 2016.
- 3 埴淵知哉, 川口慎介, 日本における学術研究団体（学会）の現状, E-journal GEO, 15(1), 137-155, 2020.
- 4 高井 研, 川口慎介, 学会の功罪を問う——第31回日本微生物生態学会横須賀大会パネルディスカッション「学会って必要か？微生物生態学会ってホントにいるけ？」を通じた学会再考, 科学, 87(1), 12-15, 2017.
- 5 Takahashi K., Tanabe K., Ohnuki M., Narita M., Ichisaka T., Tomoda K., Yamanaka S., Induction of pluripotent stem cells from adult human fibroblasts by defined factors, Cell, 131(5), 861-872, 2007.
- 6 Langer R., Vacanti J.P., Tissue engineering, Science, 260(5110), 920-926, 1993.
- 7 狩野光伸, 学術と社会の未来を考える——開始に寄せて, 学術の動向, 25(4), 103, 2020.
- 8 日本学術会議若手アカデミー HP, <http://www.scj.go.jp/ja/scj/wakate/index.html>（最終閲覧日：2020年4月24日）
- 9 日本学術会議若手アカデミー委員会 若手アカデミー活動検討分科会, 提言 若手アカデミー設置について, <http://www.scj.go.jp/ja/info/kohyo/pdf/kohyo-21-t133-11.pdf>（最終閲覧日：2020年4月24日）