

有機結晶の実用化に向けて：ソフトロボット

早稲田大学 ナノ・ライフ創新研究機構 小島 秀子

本ニュースレターには 2010 年に巻頭言を書かせていただきましたので、今回は 2 回目の巻頭言ということになります。せっかくの機会を与えていただきましたので、これまでの本部会の変遷について振り返りつつ、現在、有機結晶に対してどのような思いを抱いているかについて少し述べたいと思います。

私は有機結晶部会が 1997 年に正式に発足する以前から、この集まりに参加させていただいている古株ですが、今でも現役の研究者として有機結晶を相手に研究を続けています。本部会は、有機結晶を切り口として、構造・反応・物性・機能・計測・理論など、様々な角度から研究する研究者の集まりです。最初の頃は、私も含めて結晶の反応についての研究がかなりあったと思うのですが、徐々に減少し、物性、機能についての研究が増えたように思います。また最近では結晶にとどまらず、液晶・ゲルなどの非晶質にも守備範囲を広げています。それに伴って新しい参加者も増えてきました。少し前からは若手育成に力を入れるようになり、毎年恒例の有機結晶シンポジウムの前日にプレシンポジウムが開催されて、若手、学生が大勢参加されていることはご承知の通りです。本部会は、有機化学、物理化学、材料科学、光化学、高分子化学、その他様々な専門分野が集まっています。この部会がなければ有機結晶シンポジウムも開催されず、日ごろ別々の学会で活動している研究者が一同に会する機会はありません。時代の変化に応じて本部会も徐々に変貌を遂げており、将来にわたって有機結晶に関する研究の発展を担う役割を果たすものと思います。

2014 年には私の研究環境も変わりましたが、25 年間も有機固体光化学を専門としてきました。最初の 15 年間は結晶の光反応を開発する研究を行っていましたが、10 年前から結晶のメカニカルな動きの研究にシフトさせています。自分の中では、ミクロスコピックな分子の動きの研究からマクロスコピックな結晶の動きの研究へと大きく舵を切ったと認識しています。

有機結晶は研究対象としては面白く、次々と新しい現象が見いだされるのですが、実用化された例はほとんどないのが残念でなりません。長年、有機結晶を相手に研究を続けてきた私にとって、有機結晶の出口を何とかしたいというのが今の正直な気持ちです。光で曲がる様々なフォトメカニカル結晶の開発研究を進めるに連れて、増々その気持ちが強くなってきました。数年前にふと、ロボットはメカニカル結晶の出口として最適ではないかと閃きました。単なるアクチュエータには魅力を感じなくても、ロボットならば解り易く誰にでもアピールできます。何よりもロボットには夢があります。少子高齢化に向かうこれからの社会においては、人に寄り添うロボットがますます必要となってきます。しかし、これまでのロボットは金属部品を組み合わせで作られていますので、硬くて重いのが欠点です。人とロボットが融和して日常的に触れ合う未来を考えると、私達人間と同じように有機材料でできた、柔らかくて軽い「ソフトロボット」の方が身体的にも心理的にも人間に適しています。このため最近では、有機材料でできた柔らかくて軽いソフトロボットが注目されるようになってきました。そこで一歩進めて、光

や熱などの外部刺激で材料自体が動く「有機メカニカル材料」を使って人と共生するソフトロボットを実現できれば、画期的で社会に貢献できます。

2016年に光や熱などにより分子レベルで伸縮したり回転したりする「分子マシン」の研究に対してノーベル化学賞が授与されました。次のステップはこれらの分子マシンを集積した巨視的な大きさで動くメカニカル材料の開発ですが、我が国では10年以上前から世界に先駆けて光、熱などによって動く有機メカニカル材料の研究が行われてきました。例えば、池田富樹先生は、アゾベンゼン液晶ポリマーフィルムに光を当てると屈曲することを、2003年のNatureに世界で初めて発表しました。本部会員の小島誠也先生を含む入江正浩先生達は、ジアリールエテン結晶に光を当てると屈曲することを2007年にNatureに報告し、結晶は固くて割れやすいという既成概念を覆しました。そしてこれ以降、世界的にメカニカル結晶の研究が盛んになりました。私もこれを契機としてメカニカル結晶の研究を始めた1人です。シクロデキストリンの分子ネックレスで知られる原田明先生は、2011年にシクロデキストリンのポリマーゲルと、ゲスト分子を結合させたポリマーゲルを水の中で揺ると、互にくっつく現象を見だし、ナノレベルの分子認識を目に見える材料の動きにリンクさせることに初めて成功し、世界の超分子化学者にどうして今までこのことに気がつかなかったのかと言わしめました（コロンブスの卵）。さらに2014年には、本部会員の高見澤聡先生は、有機結晶の超弾性現象を世界で初めて発見しました。金属材料では超弾性合金（形状記憶合金）はよく知られており、様々な用途に用いられていますが、有機系では初めての形状記憶有機結晶となります。

しかし現在は、有機メカニカル材料で作ったアクチュエータをロボットと称した論文が海外の研究者によってNature、Scienceなどに続々と発表されており、本家の我が国は先を越されているのが現状です。私としては、有機メカニカル材料を使ったソフトロボットを本気になって目指すのならば、材料屋だけでは到底無理で、ロボットの専門家と組んで一緒になって研究することが絶対に必要であり、その実現のためにしかるべき研究プロジェクトを何とかして走らせたいと思っています。そして、ここからが一番肝心なのですが、有機メカニカル材料と言うと誰でも思い浮かべるのは高分子材料であって、有機結晶をイメージする人は皆無です。結晶は脆くて割れやすいという既成概念があるためです。しかし、実際に有機結晶が光で屈曲する様子を目で見ていると、結晶はバネのようにしなやかに動き、耐久性もあります。つい最近私達は、アゾベンゼン結晶を加熱・冷却すると、尺取り虫のようにゆっくりと歩いたり、転がりながら高速で走る「ロボット結晶」の開発にも成功し、Nature Communicationsに発表しました。ガラスは硬くて割れますが、細いガラスファイバーとすればしなやかでどのようにも曲がるのと同様に、結晶も薄くすればメカニカル材料として十分使用可能と思います。有機結晶の長所を生かして、ソフトロボットの人工筋肉などを作るには、形や大きさの揃った結晶の作成、結晶の集積化、機械的強度の確保など、クリアしなければならない課題が沢山あります。これらの課題を克服する研究を通じて、有機結晶のサイエンス、テクノロジーもさらに進展するはずで、元気な若手研究者、学生さん達に積極的に参加していただければ、メカニカル有機結晶を使った新方式のソフトロボットが必ず実現できるものと信じています。