

## 第 11 回研究情報交換会（9 月 4 日（月））開催報告 テーマ「ナノアーキテクニクスの現状と今後」

つくばサイエンス・アカデミー（SAT）では研究テーマを決め、異分野交流による「知の触発」を意識した研究情報交換会を開催しています。第 11 回研究情報交換会を開催しましたので報告します。

**日時：** 2017 年 9 月 4 日（月） 午後 5 時から 8 時 40 分

**場所：** つくば国際会議場 4 階 サロンレオ会議室

**テーマ：** 「ナノアーキテクニクスの現状と今後」

21 世紀の産業を革新するとして期待されているナノテクノロジーにおいて、ナノスケールの物質・材料を創る段階から、創った物質・材料をどう組織化し、構造化していくかというナノアーキテクニクス（ナノ建築学）が重要になっています。ナノの世界の現状と今後の方向について、国立研究開発法人 産業技術総合研究所フェロー 清水敏美氏（産総研界面ナノアーキテクニクス研究センター長などを歴任）と国立研究開発法人 物質・材料研究機構 国際ナノアーキテクニクス研究拠点 有賀克彦氏（主任研究者、超分子グループ長）に話題提供をいただき、ナノアーキテクニクスの現状と今後について、参加者の皆さんと自由に討論していただきました。

参加者は 18 名。

超分子化学を専門とする方をはじめ、半導体デバイス、触媒化学、表面・界面化学、材料科学、コロイド結晶、スマート材料、粉体プロセス、金属工学、地球科学などの専門分野からの参加でした。

岡田雅年 SAT 副会長の開会の挨拶から始まりました。

まず、お二人に以下の講演をいただきました。

**産業技術総合研究所 清水敏美フェロー**

### 「分子が自発的に集まってできる白いナノチューブ材料」

概要： カーボンナノチューブは炭素原子から構成されるグラフェンが丸まって筒状になった黒いナノ材料です。一方、洗剤に含まれる界面活性剤と呼ばれる分子は、水に馴染む部分と油に馴染む部分の両方をその構造中に含んでいます。我々は人工的に合成した界面活性剤の仲間が水などの液体中で自発的に集積して白いナノチューブ材料粉末を形成することを見いだしました。長年にわたって調べてきた分子構造の改変とナノチューブ材料への集積化に関する分子ナノアーキテクニクス（自己集積化メカニズム、ナノチューブの内径や外径の制御など）と夢のある応用について紹介します。

物質・材料研究機構 国際ナノアーキテクトゥクス研究拠点 有賀克彦主任研究者

## 「ナノアーキテクトゥクスが拓く未来技術：ナノカーレース、人間の手で動かせる分子マシンなど」

概要： 十億分の一のナノの世界を単に観察するだけではなく部品を組み立てるようにして新しい機能システムを作る、これがナノアーキテクトゥクス（ナノ建築学）です。分子の車が一千万分の一メートルの金のトラックを走って競争するナノカーレース、人間の手の動きで特定の分子をつかんだり放したりすることができる分子マシンなど、想像もしえないナノワールドの先端技術について紹介します。



写真 1 清水敏美氏（左）と有賀克彦氏（右）

その設計思想などの質問がありました。

その後、フリーディスカッションに入り、清水氏の白い有機ナノチューブに関しては、チューブ径・長さの制御法、チューブ形成のメカニズム、考えている材料イメージは何か、溶媒の影響などの質問が、有賀氏の分子構造を人間の手で操作する（Hand Operating Nanotechnology）という手法に関しては、水面上での分子二次元膜が必須か？ナノカーレースではナノカー

有機ナノチューブのナノ建築学（チューブなどになる機構の体系）に関しては、従来から研究されてきた両親媒性分子では概ね明らかになってきたが、最近研究されている複雑形状をもつ分子に関しては、なぜチューブになるのか完全に解明されていない例もあるとのことでした。また、球状になるのではなくチューブ状になる理由は、分子の形状と分子同士に働く水素結合などの弱い分子間力の影響との回答でした。材料として考えると、有機ナノチューブから構成されるハイドロゲル（水を多く含むゲル構造体であり、その基本構成単位が有機ナノチューブであるハイドロゲル）としての利用可能性があり、細胞培養用培地あるいは治療用コンタクトレンズなどが考えられていますとのことでした。有機ナノチューブの水溶液中での分散・凝集制御は課題であるようです。材料としての利用にあたっては大量合成が必要で、幾つかの有機チューブに関しては成功していますが、エタノールなどのアルコール類を使用して偶然見出した方法だそうです。

人間の手で動かせる分子マシンに関しては、分子集合体を柔らかい構造物として取り扱い、マクロな力で制御するという今まで考えられなかった独自の 방법으로、かつ分子集合体は水面上の2次元構造に限定されることはないとのことでした。ハイドロゲルの構成単位であるファイバーに架橋したシクロデキストリンに包接された薬物がハイドロゲルへの機

械的力の印加によって放出されるという例示（人間の力で動かせる分子マシンはバルク内にあっても可能という）がありました。確かに一味違うナノ建築と感じました。分子集合体の構造をチューニングして核酸塩基の分子認識を制御できる成果も示されました。

ナノカーレースに関しては、参加した6ヶ国のナノカーの概要紹介があり、提案したビナフチルを基本としたNIMSのナノカーはマクロな車構造とは根本的に違う構造にするという発想で考えたものとのことでした。PCなどのトラブルで棄権となったのですが、動くことは確認されました。ナノカーのスタートラインへのセットはどのような方法かに関しては、真空蒸着でとのことでした。



写真 2 会場風景

本題からは多少離れるのですが、

カーボンナノチューブ (CNT) の研究者からは、CNT と白い有機ナノチューブとの研究の進め方の違いに関する面白い紹介がありました。有機ナノチューブの研究の進め方は基礎科学として進められ、他方 CNT は発見当初から従来のグラファイトなどの炭素材料にはない優れた特性（機械的強度）や特異な物性（単層 CNT の径や構造により金属的、半導体的 CNT

となるなど）が理論的にわかっていて、材料としての応用分野も想定され CNT を製造するエンジニアリングの立場から力づくの研究の進め方になったとのこと。CNT の工業化にあたって克服すべき課題として、複合材料中への CNT の分散制御とのことでした。

ナノ建築学の今後について、清水氏はこの概念は有機ナノチューブ分野では当たり前と捉えており、今後はどういう社会・産業貢献ができるかが焦点であると。また今後はトップダウンとボトムアップが融合していくのではないかとの見解でした。他方有賀氏はある概念を提唱することは、ナノテクノロジーを世界的に浸透させたクリントン元大統領の例を見れば明らかであり、ナノテクノロジーの目指す方向としてナノ建築学を提示していくことが重要ではないかとのご意見でした。

お二人のナノ建築学は視点が違い、清水氏は自己集積化というボトムアップの革新、体系化をめざし、他方、有賀氏は分子集合体を柔らかい構造物としてとらえ、その構造をマクロな力でチューニングする「手で行うナノテク」と表現されているトップダウン的な革新を目指しているように思いました。そして新しい機能を有する有機ナノチューブが分子集合体として考えられ、その構造が手で行うナノテクでチューニング出来る日が来れば良いなと思いました。

閉会の挨拶は小玉喜三郎 SAT 総務委員にお願いしました。

懇親会では、講師を囲んで和やかな雰囲気での交流が進み、予定時間をこえて 8 時半過ぎにお開きとなりました。