

## 第 16 回研究情報交換会（2020 年 2 月 6 日（木））開催報告

### テーマ「カーボンナノチューブ（CNT）技術開発の現状と今後」

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。研究情報交換会では、テーマに関連して複数の研究者に講演をお願いし、その後、異分野の参加者を含む方々との自由討論を行います。

この度、第 16 回研究情報交換会を開催しましたので、報告します。参加者は 20 名でした。

**日時：** 2020 年 2 月 6 日（木） 午後 5 時から 8 時 30 分

**場所：** つくば国際会議場 4 階 サロンレオ会議室

**テーマ：** 「カーボンナノチューブ（CNT）技術開発の現状と今後」

（趣旨） カーボンナノチューブ（CNT）は 1991 年に飯島澄男先生によって発見されて以来、新しい炭素材料として世界的に注目を集めて今日に至っている。

現状は、産総研で研究開発されたスーパーグロス・カーボンナノチューブ（SGCNT）を日本ゼオン（株）が産総研との共同研究によって量産する技術の開発を行い、高品質の SGCNT のサンプル供給が行われ、各企業で CNT を含む材料・部材開発が行われているステージになっている。しかし産業応用が期待通りに展開されているかということこれからと言えるのではないかと。

そこで、まず CNT 技術開発の概要について産総研から紹介いただき、次いで SGCNT の量産技術とともに複合材料への応用展開に関する現状と課題について企業研究者（日本ゼオン）の立場から講演いただくとともに、CNT の特性解析や複合材料製造で重要な分散凝集などに関する評価研究を基礎的に検討している産総研研究者にも講演をお願いした。今後の展望について参加者とフリーディスカッションし、新しい発想に結びつくことができればと考えている。

### 第一部：研究情報交換会

・開会挨拶 板東義雄つくばサイエンス・アカデミー総務委員長

#### ・講演

- 産総研 ナノチューブ実用化研究センター 名誉リサーチャー 湯村守雄氏  
「単層カーボンナノチューブ」の研究開発と民間企業による事業化のスタート  
（産総研の技術シーズを橋渡し）
- 日本ゼオン株式会社 CNT 研究所 所長 上島 貢氏  
「カーボンナノチューブの事業化、今後の展望」
- 産総研 ナノチューブ実用化研究センター 副研究センター長 岡崎俊也氏  
「実用化のためのナノカーボン評価法開発」

#### ・フリーディスカッション

・閉会挨拶 丸山清明つくばサイエンス・アカデミー副会長

#### ・懇親会

**講演者の講演概要**を以下に記す。

- 産総研 ナノチューブ実用化研究センター 名誉リサーチャー 湯村守雄氏  
「単層カーボンナノチューブ」の研究開発と民間企業による事業化のスタート  
(産総研の技術シーズを橋渡し)

(概要) カーボンナノチューブ (CNT)は、様々な優れた特性を持ち、大きな注目を集めている。1991年に飯島澄男博士の論文が発表されて以来、産総研において、産業への応用を目指して研究開発を進めてきた。2004年に、高品質単層カーボンナノチューブ (スーパース・カーボンナノチューブ: SGCNT) の革新的量産技術が開発され、さらに複合材料への応用、評価技術の開発へと展開した。これらの産総研の技術シーズを産業界へ橋渡しを行い、産業界との共同開発により産業化を進めてきた。これまでの研究開発の概要を紹介するとともに今後の展開を展望する。

- 日本ゼオン株式会社 CNT 研究所 所長 上島 貢氏  
「カーボンナノチューブの事業化、今後の展望」

(概要) カーボンナノチューブはその優れた特徴から産業への展開が期待される材料であり、これまで多くの研究開発が実施されてきている。当社は 2006 年から NEDO プロジェクトに参加、産総研と連携し、産総研が開発した高品位な単層カーボンナノチューブ (SGCNT: 99%以上の高純度・数 mm の長尺・1,200m<sup>2</sup>/g の比表面積) 量産技術開発を進め、2015 年から量産工場の稼働をスタートさせてきている。当社における SGCNT 量産技術および産業応用分野の開発状況について紹介するとともに、今後の展開も併せて紹介する。

- 産総研 ナノチューブ実用化研究センター 副研究センター長 岡崎俊也氏  
「実用化のためのナノカーボン評価法開発」

(概要) 21 世紀になって起こったデジタル化によって、いつでもどこでも膨大な情報にアクセスすることができ、国境を越え、離れた場所でも人的ネットワークを形成することが可能になった。その結果、モノづくりの本質は製品をデザインする設計図をつくることとなっている。ナノ



写真 1 講演いただいた講師陣 (左より岡崎氏、湯村氏、上島氏)

チューブ実用化研究センターではナノカーボン材料の実用化に際し、その設計情報を得るために必要な種々の評価手法を開発してきた。用途に応じて異なる CNT の特性の違いや、これまでブラックボックス化していた CNT 凝集状態の評価法について材料加工・製造プロセスを「見える化」する手法開発の成果について紹介する。

続いての**フリーディスカッション**では、CNT は単独で使用されることは少なく、複合材料としての産業応用が主であ

ることから、「CNTの合成」→「CNTの解繊・分散」→「複合材料とするための創りこみ」に分けて議論していった。議論は単層カーボンナノチューブ（SWCNT）を前提として展開された。

**「CNTの合成」** Cnano社は400t/年、今年のアノテク展（2020年1月29～31日）で得た情報ではOCSiAl社は60t/年（能力）、実績は10t/年が現状である。「世界的に見てもCNT量産技術は進展してきている現状でCNT合成技術に関して課題はあるのか？」との問いかけに、「強度などの特性として理論的に予測されるようなSWCNTは合成されていない。特にカイラルティを制御した半導体のみのSWCNT合成技術は実現していない。すなわち、合成後の分離・精製工程が必要なSWCNTを使用している現状であり、理論予測された超高性能SWCNTを合成する技術開発は、基礎研究として、今後も検討していくべき課題である」と湯村氏は語った。「従来の気相高温での合成法で考えられる方法はすべて試みたと思うが、実現できていない。液相有機合成法など全く異なった合成法の研究が必要である。産総研では産業界から要望の強い、低コスト化の研究開発は継続しているものの、全く異なる合成法などのチャレンジングで基礎的な研究は、多くの資源を割けない。名古屋大学の伊丹教授らの有機合成化学的手法を用いたナノカーボンベルトの合成等、大学の基礎研究に期待するが、大学の現状はすぐに役立つ研究が重要視されつつある。」とのこと。

SWCNT合成後、半導体と金属型SWCNTを分離する技術は半導体型CNTの少量生産には十分機能するものの、「量産には合成して分離では難しい」というのが半・金SWCNT分離技術の開発者片浦氏の意見であった。

また、合成法の見直しによって直径の制御された長尺物のSWCNTの合成法についての議論もあったが、「気相での800℃程度の高圧条件下では触媒は熔融状態であったり、反応物である炭素分の定量供給が困難なことなどもあり、難しい」とのこと。

合成後のCNTのラマン分光測定値G/DのDの原因物質の不純物の除去も半導体などの産業応用分野では除去が必要になるとのことで、引き続き高性能CNT合成法は今後とも検討課題として残ると感じた。



写真 2 会場風景

**「CNTの解繊・分散」** CNTはアスペクト比（＝長さ/直径）が大きく、合成後はお互い分子間力でバンドル（束）になっており、CNTを短くすることなく、バンドル構造を解す（これを解繊と呼ぶ）ことが複合材料をつくる前に必要となる。「解繊と解繊したCNTがまたバンドル構造に戻ることを防ぐ分散の安定化が従来の材料と比較すると格段に難しい」との声があった。「バンドル構造をつくる分子間力は長尺CNTになると大きくなり解繊が難しくな

る。そのため超音波装置や高圧液相分散装置などを使用し、機械的な力をCNTバンドル構造に加えて解繊することになり、長尺CNTが短くなることは避けられない」と。

現状では解繊と解繊された CNT の分散安定化は各企業毎に個別に検討されている状況。産業応用分野が異なれば複合材料中のマトリックス材料が異なり、必要な界面活性剤や有機溶媒などが異なるので、当然といえば当然のことと考えられる。しかし、「各企業ごとの検討では効率的ではなく、この課題についてより効率的なやり方をしていくことが必要ではないか」と質問した。それに対して、「まさにそのために産総研ナノチューブ実用化研究センターは「実用化のためのナノカーボン評価法開発」を行ってきたこと、そして CNT の分散液やマスターバッチ (MB) も調製している」と。そして、岡崎氏から「今年 (2020 年) の 1 月 29 日～31 日まで開催されたナノテク展では、ナノカーボンオープンソリューションフェア (共催: ナノテクノロジービジネス協議会) を開催し、SGCNT の試料提供 (日本ゼオンから)、解繊・分散などの課題について産総研ナノチューブ実用化研究センターが企業の課題解決と一緒に取り組むための産学官連携活動をおこなっていることを広報した」とのことであった。CNT の解繊・分散技術の課題などを企業が産総研と一緒に検討することができればデータベースとして持っている研究成果を秘密保持契約などを結ぶことによって企業が有効活用することができる。CNT 技術分野での新しい産学官連携形態として今後の進展に期待したい。産総研が評価技術だけでなく、CNT 分散液やマスターバッチの調製まで自ら実施したところが従来から見ると一歩進んだところと思った。

**「複合材料とするための創りこみ」** この段階でも、まだ複合材料として使用する樹脂などとの創りこみに課題はある。しかし使用するマトリックス材料の特性・加工法に関してはそれぞれの企業がノウハウなどの形で企業秘密として持っている技術の出番で、製品の品質保証を実現してほしいと思った。サンアロー (株) の SGOINT-耐熱 O リングは日本ゼオン・サンアロー・産総研 CNT 複合材料研究拠点が開発した熱や化学薬品への耐久性の高いゴムパッキンであり、最終段階での品質保証に対する取り組みはつくばの研究者には想像もできないほど大変なものであったとの紹介があった (SGOINT に関しては (<http://www.sunarrow.co.jp/pickup/sgoint/>) を参照)。

### 「リスク管理」

企業としては CNT のリスク評価・管理について、どういう方法で、どこまで行えばよいのかなどについて明確に規制がなく、企業の経営者に CNT 開発を hesitate する傾向がまだあるようで、ある企業からそのような場合、どこに相談に行ったらよいのかというメールが私宛に送られてきたので、産総研の方を紹介したという話をした。リスク管理の点でも新材料開発に関し、公的研究機関の貢献は大きいと感じた。今回の研究情報交換会での上島氏の講演で「SGCNT はじめ、SWCNT は体内酵素分解性などが存在する」ことも知ることができた。

そのほかの議論を以下に記載する。

「CNT が発見されて 30 年近くになるが、今一番期待されている産業分野は何か」という質問があった。「CNT は非常にポテンシャルの高い材料で、今いろんな分野での応用展開が始まっているが、どの分野とは明確に企業として言えない状況」との回答があった。



グラフェンと CNT との合成法および特性比較や電池・電極などに使用する場合の両者の比較などについての質問も出ました。

CNT 技術開発とは関係はないのだが、科学・技術予算に関しての議論があった。「iPS の公的研究資金が減額されようとしているのを例として述べる。減額は良くないとの意見もあるが、同じバイオ分野の研究者としてみると、国の予算は限られた額であり、特定の研究のみが優遇される状況は如何なものか。その研究の目的（治療法のなかったがんを治療可能にする）を実現する他の研究課題にも配慮があってしかるべき。CNT の基礎的な研究に 20 年近く国家プロジェクトとして、研究資金が配分されたのだから、現状で基礎的な課題を研究していくことができる状況にはないことがあってもおかしくはないのではないかと。」との意見が西村暹先生からあった。これに対して、「日本の国家予算がすべての分野に十分な予算を配分することが難しいのは同感である。ただ、大学などで CNT に関する基礎的な研究まで実施しにくい状況は、日本の競争力を維持する上で改善の必要がある。これから企業での CNT 産業応用が進んで、その企業利益を CNT の基礎研究に充てていくことも一つの手段と思っている。」との意見が湯村氏から出された。

全体を通して、産総研の CNT 実用化研究センターの「技術を社会に還元していく」姿勢をより具体的に知ることができたことが良かった。公的研究機関が評価だけではなく、一歩進んで、材料・部材づくり（CNT の場合には CNT 分散液や MB の調製）も行いながら、評価によって分散液や MB をより高性能にしていくことがどこまで実現できるかを今後見守っていきたいものと思っている。

## 第 II 部 懇親会



写真 3 懇親会風景

会場をサロンレオ小会議室（サロンレオの応接室）に移しての懇親会となった。小玉喜三郎つくばサイエンス・アカデミー総務委員から開会のあいさつ及び乾杯の音頭を取っていただいた。名刺交換を挟んで、講師を囲んであるいは参加者間での温かい交流の場となった。

中締めは今回の研究情報交換会では、岡崎氏・上島氏を紹介いただくとともに、自らの講演も快諾されるなど、大変お世話になった湯村氏にお願いした。