

研究評価委員会
「低炭素社会を実現するナノ炭素材料実用化プロジェクト」
研究開発項目①-1~3、②-1-1、②-3-1~3-3」(事後評価) 分科会
議事録

日 時：平成27年9月11日(金) 9:30~18:00

場 所：WTC コンファレンスセンター(港区浜松町世界貿易センタービル3階) Room A

出席者(敬称略、順不同)

<分科会委員>

分科会長	阿知波 洋次	首都大学東京 大学院 理工学研究科・理工学系 客員教授
分科会長代理	荻野 俊郎	横浜国立大学 大学院 工学研究院 知的構造の創生部門 教授
委員	吾郷 浩樹	九州大学 先端物質化学研究所 融合材料部門 准教授
委員	岩橋 均	岐阜大学 応用生物科学部 教授
委員	近藤 勝義	大阪大学 接合科学研究所 複合化機構学分野 教授
委員	角田 裕三	有限会社 スミタ化学技術研究所 代表取締役
委員	豊國 伸哉	名古屋大学 大学院 医学系研究科 病理病態学講座 生体反応病理学/分子病診断学 教授

<推進部署>

山崎 知巳	NEDO 電子・材料・ナノテクノロジー部	部長
井上 貴仁	NEDO 電子・材料・ナノテクノロジー部	主任研究員
賀川 昌俊(PM)	NEDO 電子・材料・ナノテクノロジー部	主査
小森 浩	NEDO 電子・材料・ナノテクノロジー部	主査
小久保 研	NEDO 電子・材料・ナノテクノロジー部	主査

<実施者※メインテーブル着席者のみ>

湯村 守雄(PL)	技術研究組合単層 CNT 融合新材料研究開発機構 CNT 事業部	PJ 本部長
本田 一匡(SPL)	技術研究組合単層 CNT 融合新材料研究開発機構 CNT 事業部	PJ 副本部長
島 賢治(SPL)	技術研究組合単層 CNT 融合新材料研究開発機構 CNT 事業部	PJ 副本部長
長谷川 雅考(SPL)	技術研究組合単層 CNT 融合新材料研究開発機構グラフェン事業部	PJ 本部長
上島 貢(TL)	技術研究組合単層 CNT 融合新材料研究開発機構 CNT 事業部	
飯島 澄男	名城大学 教授	
篠原 久典	名古屋大学 教授	
中嶋 直敏	九州大学 教授	
遠藤 真	東レ株式会社 複合材料研究所	所長
本田 史郎	東レ株式会社 化成品研究所	所長
清家 聡	東レ株式会社 複合材料研究所	
上森 秀明	住友精密工業株式会社 研究部	部長
伊藤 洋平	住友精密工業株式会社 研究部	アシスタントマネージャ
梅野 正義	中部大学 研究推進機構	客員教授
曾我 哲夫	名古屋工業大学 大学院工学研究科未来材料創成工学専攻	教授

児島 清茂 日本ゼオン株式会社 特命 X1 プロジェクトグループ リーダー

<評価事務局等>

井関 隆之 NEDO 技術戦略研究センター 研究員
佐藤 嘉晃 NEDO 評価部 部長
徳岡 麻比古 NEDO 評価部 統括主幹
坂部 至 NEDO 評価部 主査

議事次第

(公開セッション)

1. 開会、資料の確認
2. 分科会の設置について
3. 分科会の公開について
4. 評価資料の構成について
5. プロジェクトの概要説明
6. プロジェクトの詳細説明
- 6.1 研究開発項目②-1-1 ナノ材料簡易自主安全管理技術の確立

(非公開セッション)

- 6.2 研究開発項目②-3-1 単層 CNT の形状、物性等の制御・分離・評価技術の開発
- 6.3 研究開発項目②-3-2 単層 CNT を既存材料中に均一に分散する技術の開発
- 6.4.1 研究開発項目②-3-3 グラフェン基盤研究開発 (その1)
- 6.4.2 研究開発項目②-3-3 グラフェン基盤研究開発 (その2)
- 6.5 研究開発項目①-1 高熱伝導率単層 CNT 複合金属材料の応用研究開発 (住友精密工業)
- 6.6 研究開発項目①-2 導電性高分子複合材料の開発
- 6.7 研究開発項目①-3 単層 CNT 透明導電膜の開発
7. 全体を通しての質疑

(公開セッション)

8. まとめ・講評
9. 今後の予定
10. 閉会

議事内容

(公開セッション)

1. 開会、資料の確認

- ・配布資料確認 (評価事務局)

2. 分科会の設置について

- ・研究評価委員会分科会の設置について、資料1に基づき事務局より説明。
- ・出席者の紹介 (評価事務局、推進部署)

3. 分科会の公開について

- ・阿知波 分科会長が議事進行
- ・事務局より資料2及び3に基づき説明し、議題6.「プロジェクトの詳細説明」を非公開とした。
また、事務局より資料3に基づき、分科会における秘密情報の守秘及び非公開資料の取扱いについての、捕捉説明があった。

4. 評価の実施方法及び評価報告書の構成

評価の手順及び評価報告書の構成について、事務局より資料4-1～4-5の要点をまとめたパワーポイント資料に基づき説明し、事務局案どおり了承された。

5. プロジェクトの概要説明

- ・説明
事業の位置付け・必要性、研究開発マネジメント、研究開発成果及び実用化、事業化の見通しについて推進部署(賀川PM：NEDO電子・材料・ナノテクノロジー部主査)及び実施者(湯村PL：技術研究組合単層CNT融合新材料研究開発機構(TASC)CNT事業部PJ本部長)より資料5に基づき説明が行われた。
- ・質疑応答

【阿知波分科会長】 この議題5では、概要の説明がありましたが、このあと技術的な詳細に関しては非公開セッションで、さらに詳しい説明がありますので、この部分では全体としての事業の位置付けや必要性、マネジメント、それから成果の全体的な概要等に関して、ご質疑を宜しくお願いします。

【豊國委員】 8月25日の現地調査会のときにも議論があったかと思うのですが、このタイトルの「低炭素社会を実現する」というところです。私はこちらの方面に関しては素人に近いと思うのですが、これは電気の使用量、エネルギーの使用量を減らすという解釈なのでしょうか。そここのところのコンセプトを少しご説明いただきたいと思います。

【湯村PL】 このCNTはいろいろな優れた特性を持っています。省電力、省エネという意味では、まずトランジスタではシリコンより使用電力が少ないものができています。いろいろな複合材をつくる上で、性能が向上することにより、それらの使用量を減らしたり、強度が増したりすることで、軽量化が進みます。それらが結果としてこういった低炭素社会をつくる上で非常に貢献をするというのがこのプロジェクトの大きなミッションであると考えています。

【豊國委員】 低炭素社会という言葉の定義になるかと思うのですが、これは二酸化炭素を出さないということで宜しいのですか。

【湯村PL】 低減するということです。

【豊國委員】 それをできるだけ低減する。エネルギーを効率よく使うという解釈ですね。

【湯村PL】 はい。このナノカーボンの素材を使うことによっていろいろな産業面での軽量化、電力使用量低減、省エネ化が進むものだと考えております。

【豊國委員】 有難うございます。

【阿知波分科会長】 他に如何でしょうか。

【近藤委員】 説明の中で想定していた計画よりも早くできたという報告があったと思います。他方、目標値に対しては恐らく大幅に性能が上がったという意味で、時間というよりも性能、質が向上したという良い面があったと思います。知りたいのは、どうしてそのようなことが達成できたかというのが一つです。もう一つは、残念ながら目標未達だったというようなコメントもグラフィエンの合成か何かのところの一つあったかと思えます。それはそもそも最初の目標のハードルが非常に高すぎたのか、失礼ながら最初の目論見が甘かったのか、よくよく考えると理屈に合わないことをしようとしていたのか、その辺の要因解析の結果、良い面と悪い面についてのコメントをいただければと思います。

【賀川 PM】 成果の前倒しに関しては、初年度が 15 億円の予算になっています。当初の計画では、これは 5 年目まで 15 億円を投入する予定でしたが、補正の予算を入れて 2 年目、3 年目、大きく予算を投入しています。こういった関係から成果が非常に早く出たと考えています。あとグラフィエンですが、これは採択のときにショウノウを原料にしました。ショウノウは資料 16/51 頁の図に示してありますが、もともと 5 員環を持っており、これがどのように製膜に作用するか、実際に他のウレタン等の原料に比べて、実際に本当に優位性があるのだろうかということをトライアル的にやろうということで、こちらのテーマは入れました。ただトライアル的なものでしたので、ステージゲートを設けて、期日までにある条件で作製することで実施しましたが、このときまでには目標が達成できませんでした。目標達成というのは、ショウノウの優位性を示すということで、こういうかたちでは終わりましたが、装置を譲渡して、独自に開発を促し、その後も検討を続けていただきました。今日お話があると思いますが、現時点ではかなりいい成果があると認識しています。以上で宜しいでしょうか。

【近藤委員】 最初のお話で、要は研究費を大幅投入すれば達成したというだけでは、多分無いと思います。もっと知恵があって、その実現したかったことに、結果的に現れたということですね。

【湯村 PL】 はい、マネジメントはそこがポイントになると思うのですが、非常に上手く行って成果が出そうなものに、その経過を見ながら、そのポイントで予算を重点的に投入するというのがマネジメントで非常に大事なところですね。今回はそういった意味で加速財源の投入はタイムリーに、そして適切に行われましたので、こういう進展ができたと思っています。また研究開発の全部が必ずしも上手く行っていない。これは研究開発では当然だと思います。全てのテーマが全部できるというのは、研究開発においてはありえないと思っています。このショウノウの研究に関しても、非常に難しいテーマを実施されたものです。これは中部大学で非常に熱心にやっていただきましたが、いろいろな課題を残したままですので、今後も中部大学で検討を続けられていくということで、これも必ず成果を上げていただけるものだと私は期待しています。

【角田委員】 資料 36/51 頁で、試料を提供したケースが全部で 112 件です。それで実際に評価した、つまり評価試料 B のほうは 93 件。ところが実際に助成とかそういうところに繋がったのが、最終的には今 15 件ということですか。

【湯村 PL】 助成以外に TASC 組合員でフォローした 13 件、新規が 14 件、これは実質的にまだ企業のほうで継続されています。助成には応募されておきませんが、そのようなかたちで開発を継続されています。これは 112 件のほうから見れば、私は過去の幾つかのプロジェクトにもサンプル提供しましたが、今回はフォローをきっちりしたことと用途技術、利用技術を私どものプロジェクトの中で開発してその技術指導も進みましたので、これはかなり歩留まりが高いと思います。

【角田委員】 その歩留りをもっと上げたいということで、グリーンで書かれたところが、いわゆる当初の目的ではなくて未達だったということですね。この会社が提案されているこのテーマに関しては、この材料を使ってこういうふうになれば、TASC がアドバイスしたとか、そういう例はあるのでしょうか。

【湯村 PL】 それは全部ブルーのところに含まれています。このグリーンのところは、市場、コスト、安全性で

断念した部分、それから特殊プロセスのためちょっと難しいものです。情報が全く開示されないものもあります。この情報が開示されれば、ある程度我々の技術がどのように貢献できるか、判明する可能性があります。単層 CNT の用途として、そもそもこれは不適合なのではないかというのが 23 件あって、そういうものは我々のほうでフォローを含めてもできないかと思います。この情報開示されなかった部分と、コストや安全性の面で断念された会社については、これからフォローすれば、さらに継続を考えていただける可能性はあるとは思っています。

【角田委員】 そうですね。そういうところでまず非常に関心を持ったけれども、明らかにできないという問題と、こちらからきちっと、あるいは向こう側からの情報のキャッチボールができれば、もっと進むような感じがしています。

【湯村 PL】 そういう意味で、この技術普及のために TASC から 2 人の方に、精力的に企業とお話しをしていただきました。研究者のほうでも何度もお話しした結果、ここまで来ることができました。情報開示をしてくれないというところはなかなか手ごわくて、これは難しいと思っています。

【角田委員】 そうですね。有難うございます。

【荻野分科会長代理】 助成事業に発展したものが非常にたくさんあって、大変すばらしい成果だったと思います。お聞きしたいのは、やはりこういう事業を始めるにあたって、どういうところに応用、事業化ができるかということをいろいろ調査されたと思うのですが、そうした中でどのぐらいの割合でそれが実現しているか、資料 36/51 頁の青で囲ったところには当初想定しなかった思わぬ用途も何か出てきたのではないかと思います。それはどういうものがあつたか、その辺の割合、あるいは当初予測で思ったとおりに事業化に向かったか、あるいは当然進むと思っていたのに行かなかったもの、思わぬ提案があつて実現したもの、それらがどういふ割合で事業化されているか、お聞きしたいのですが。

【湯村 PL】 上手くいかなかったのは、グリーンの数値だと思っていたら良いのですが、思わぬ性能が出たというのは、この中にあります。それは今全部含めて、期待想定以上のものが出てきたのは、3 件ほどあります。これを当初の期待と比べて多いか少ないか考えたときに、このサンプルの前に別の事業で 200 件ぐらいサンプルを配ったことがあります。そちらのほうで事業化というのは 10% も見つかりませんでした。それから考えても、今回のサンプルが CNT の粉だけではなく、こういった複合材、分散液などに関して行ったおかげもあると思います。この 34 件、37 件を含めると 4 割近い。企業で 90 ですから、5 割弱ぐらいのところまでできているのは、結構歩留まりが高いと言いますか、予想より展開がしっかりと企業に使っていただけたと感じています。

【荻野分科会長代理】 そうしますとやはり委託事業の中でかなりの部分までやっておかないと、事業化には行かないということですか。

【湯村 PL】 はい、実はそうなのです。紹介しますと、実用化する上で、量産から構造制御、分散、複合化、部材、こういうプロセスを経ることがあります。このプロセスの中で単層 CNT は絶対に優位を有する素材、部材としてやらなければいけません。そして安全としてやらなければいけない。これがこのプロジェクトの CNT を実用化する上での私たちのコンセプトです。そのためにはこの CNT の素材メーカーがあつたとしても、その中間加工メーカー、部材メーカー、そして用途メーカーがあります。これらについて、私ども TASC の技術を中間加工メーカーに対して技術移転によって育成しないとイケない。そして用途企業にエンド部材を提供する。こういう流れを確立しないと新素材はユーザで最終製品にはならないと考えました。そのために中間加工メーカー、部材メーカーへの技術移転を積極的に行って、分散液を配布した会社に対しては、その分散液をどうやって作っているのかということで、私どもが使っている分散用の機材、そして分散用のノウハウ、NDA を結んだ上で、技術移転しました。その結果、中間加工メーカーからは非常にご協力をいただいて、先ほどご紹介したような助成事業につながったケース、継続して自社企業での開発に進められたケースがあります。

【荻野分科会長代理】 どうも有難うございました。ここが重要だと思いました。これを入れておくべきですね。

【湯村 PL】 後からこれは配布させていただきます。

【岩橋委員】 特許は出されているという話は出てきていましたが、ここで聞くことではないかもしれませんが、それならば後でも良いのですが、戦略というのはどうなっているのか。それと国際標準との絡みで国としてどういう戦略を立てているのか。これは国のプロジェクトですから、俺は国の何を担っているのだということを知りたいと思います。

【湯村 PL】 日本の産業の育成、日本の国力の強化、これが私たちの役割だと思っています。そこでそういう特許戦略と国際標準化戦略、どうバランスさせるかというのは非常に高度なマネジメントになると考えています。特許戦略に関しては、賀川 PM より説明がありましたように、このプロジェクトそのものが当初オープンイノベーション、いろいろな企業の方に使っていただく共通基盤技術を開発するというで出発しました。それならば全部公開にして特許を取らなくても良いのではないかと考えられますが、それでは逆に一部の企業に独占を許す、競争相手、特に国外の企業等に独占される可能性があります。そうならないように基本的な特許については取得をする。自社で実用化しないにもかかわらずその特許だけを取得して、他社の実用化を阻害するとか、そういうことが起こらないように、用途開発する企業が自社で開発しようとしたときに、大事な水路を確保するための特許は出願しました。そして国際標準化とのバランスですが、国際標準化については、ISO/TC229 で私どもはいま見直しをしていますが、最初に評価技術、CNT の品質をどのように評価するか、そういった評価技術のほうの標準化を進めました。そうするといろいろな国の CNT の品質を評価したときに、その方法で評価すると、評価の良い CNT、悪い CNT が自然に明らかになります。それが行き過ぎて、日本の CNT は良い、だから日本の CNT のグレード付けをしようとすると、各国の CNT メーカーから猛反対が出ます。ですから標準化を進めるのは、そういう評価方法のところを進めることで、結果的に日本の CNT の優位性が出てくると思います。今後の国際標準化をどうやって進めるかについては、さらに用途とか、ユーザのところでは標準化を進めたほうが日本の企業の利益になる部分については、積極的に標準化を進めていくべきだと考えています。

【岩橋委員】 ぜひこのグループで、そういうリーダーシップを取ってやっていただきたいと思います。有難うございます。

【角田委員】 私は長く民間企業と材料開発から製品開発までを一貫してやってまいりました。そういう意味で、まさに素材から部材、最終製品という流れは非常に理解しやすく、こういうスタンスで、特に川下のほうからの見方が非常に重要になってくると思います。私自身は、実はマルチウォールの CNT を中心に用途開発を始めてきて、マーケット、ターゲットを決めると比較的製品になりやすい。まだまだ小さいですけども、そういう意味で先ほどの実際に助成事業として動いている中で、樹脂とかゴムという複合材料と、もう一つは金属、特にアルミ、次は銅とか、そういうものとの複合材料があると思うのですが、もう一つ忘れてはならないのは、無機材料だと思います。当然のことながら無機材料の世界は、これからも非常に大きな世界の産業をリードするような材料です。特に電池関係の分野ですが、こういうところのものが多分に先ほどのグリーンで書いてあるところの中にあつたのではないかと思います。やはり有機材料、金属材料、無機材料というこの中のお臍の部分に、私は MWCNT、SWCNT を含めたものがあるというスタンスで取り組んでおりますので、そういうところは実際にはありませんでしたでしょうか、あるいは水面下で、どこかの企業等がやっているということなのではないでしょうか。

【湯村 PL】 無機材料の中でセラミックスに CNT で導電性を与える用途はどうかといった場合、おもしろそうだと思いますし、これは行けるのかと思いましたが、意外と需要がありませんでした。セラミックス材料で、たとえば炭酸塩溶融型の燃料電池の電極に使えるというものもありますが、もともと導電性のあるセラミックスがありますので、そちらのほうがいかなる環境面で優れているということでした。今回、CNT と銅の複合材料の出現を見ると、いろいろなプロセス、作り方によって従来の無機材料、セラミックス材料を

超える材料ができるのではないかと、私も可能性を感じています。その辺は今回サンプルを配布した企業からみて、直ちにこれはというのは無かったのですが、何らかのプロセシ的なイノベーションなり、作り方、構造的なアドバンテージを持つものが出てくれば、これは非常に大きなマーケットが期待できるのではないかと考えています。

【豊國委員】 先ほどの岩橋委員の議論の続きでごく短い質問です。資料 8/51 頁の特許公開件数のところですが、CNT は最初日本がトップだったのに、だんだんと減ってきています。これは重要なものは押さえていると考えてよろしいのでしょうか。

【湯村 PL】 はい、私は 20 年以上 CNT の開発に携わっていますが、最初のころ CNT の特許は非常に取りやすかった。CNT という名前を入れて特許を出せば、ほぼ成立しました。最初の 10 年ぐらい、1990 年代はそうでしたが、90 年代後半から 2000 年にかけて特許が非常に取りにくくなりました。さらにまた競争相手もたくさん出てきました。そのころから特許を出す上で何が必要かという、いろいろな特許紛争で裁判になったときに勝てる特許でなければいけない。確実に市場を世の中で押さえられる特許にしなければいけない。そういう観点から見たときに、特許も網羅的に出すよりも、ポイント的に大事な特許、強い特許を出すことが戦略として非常に重要だということで、このプロジェクトが始まるころには、私たちが出す特許は、かなり強い特許で、しかも根幹を押さえる特許にしています。

【阿知波分科会長】 よろしいでしょうか。だいぶ時間が迫ってきてしまいましたので、技術的な問題に関しましては、このあとでまた説明がありますので、そのときに関連して質問していただければと思います。それではこの議題 5 に関しては、以上で終了したいと思います。

6. プロジェクトの詳細説明

6.1 研究開発項目②-1-1 ナノ材料簡易自主安全管理技術の確立

・説明

ナノ材料簡易自主安全管理技術の確立について実施者（本田 SPL：技術研究組合単層 CNT 融合新材料研究開発機構（TASC）CNT 事業部 PJ 副本部長）より資料 6.1 に基づき説明が行われた。

・質疑応答

【阿知波分科会長】 それでは質疑を宜しく願いいたします。

【豊國委員】 安全性の件で、特に飛散性とか非常に細かなところまでやっていると思いますが、国家プロジェクトとしてやっている以上、国民のナノ材料への恐れを払拭する必要があると思います。それに関しては WHO の下部機関である IARC が昨年 10 月末に出した、MWCNT-7 が possibly carcinogenic である、即ち Group2B と決められたということを、今後手順書等にも記載していただく必要はあるのではないかと思います。発がん性があるから使ってはいけないということは全くないと思います。ただ、どういったものが危ないかということ、特に工場で働く方などに良く説明をして、それなりのプロテクションをすることが重要だと思います。ですから MWCNT-7 を今後使ってはいけないということは全くなくて、非常にケアをして使えば良いのではないかと私どもは考えています。今までの IARC などの文書を読んでみても良いと思いますが、やはり MWCNT の場合、重要なのは直線性、結晶性、それからその直径に尽きるかだと思います。そのような解析から、これはヒトですので動物よりも非常に寿命が長い、ということでやはり中皮腫の危険性を、その手順書に少しは入れていただいたほうが良いのではないかと考えています。使っている細胞についても、できましたら中皮細胞自身も使っていただいたら良いのではないかと考えていますが、如何でしょうか。

【本田 SPL】 コメント有難うございます。このケーススタディ報告書に IARC の結果を取り込んでいくこと

は、実は最新のバージョンではやっています。ここは不親切で申し訳なかったのですが、この事業の成果ということですので、この事業の終了時点で作成した第2版を出させていただきます。IARCの結果はその後ぐらいに出てきています。ですので、それは最新のバージョンでは取り込んで紹介していくようにしたいと思います。ご指摘いただいた、どのようなマルチウォールというかCNTの形状が危ないと思われるだろうか、ということに関しては、現在、その辺も少し記述しており、きちんとしていきたいと思っています。一つは繊維病原性仮説ということだと思いますし、その発展系と言いますか、具体例としてきちんと示されているのは豊國先生のご研究と思いますが、それも一部紹介させていただいております。ですので、どういうものに関してこういう事例が出てきたということは充実させていきたいと思っています。あとは、いわゆる中皮細胞を使うという点ですが、それは十分承知をしています。このプロジェクトの開発機関でもマクロファージを中心にやってきたわけですが、それは、とにかく肺への炎症を見ることを最初に主眼に置いたもので、いわゆる白血球のほうをやりました。確かにご指摘の中皮細胞も大事だと思います。やってみようかという話もあったのですが、残念ながら時間的に間に合わなかったということがありますので、今後の課題とさせていただきますと思います。きちんとつくってきた分散調製方法は、中皮細胞の系にも使えますので、そういうものを取り入れて中皮細胞の評価系をつくっていくことは、それほどハードルは高くないのではないかと考えています。最終的に中皮腫が起きるかどうかが、発がん性についてどうかということ、詰めたほうが良いというご指摘かと思えます。それはもちろん非常に大事な点だと思います。われわれのプロジェクトでは、まずは簡便な評価系をつくることに注力してきましたので、あと動物試験も、そういう培養細胞系が動物試験と対応が取れているかということを確認するというところで進めました。恐らくその先に、その次のステップとして、はたして発がん性があるかどうかを突き詰めるというプロセスがあるのかもしれない。それなりの規模と時間がかかるような試験も考えなければいけないかもしれませんので、今後の課題ということにさせていただきますと思います。そういうものを全然排除しているわけではありません。そういうことでは事業者の中で、実際に中皮腫が出るかどうかを確かめたいというご相談もありましたので、それに関しては中皮腫を検出しやすいように腹腔内投与試験もしたら良いということで、実際にその事業者は実施されたという例もあります。結果はあまりリマーカブルなものではなかったのですが、我々も中皮へCNTが移行していくというプロセスを見ようというアプローチも若干いたしました。それは今後の課題にさせていただきますと思います。

【阿知波分科会長】 宜しいでしょうか。他に。

【近藤委員】 最後のほうのコメントで、確かに *in vitro* と *in vivo* の相関を見ることは最終目標で、できれば閾値をつくりたいということにチャレンジされていると思っているのですが、実は我々も同じように生体内に入れる材料のアレルギー反応を見るときに、やはり費用と時間がすごくかかります。ですからご提案のように *in vitro* で何か簡易な試験でスクリーニングできるという方法があれば一番良いと思います。今日のお話の中で、その指標の大小の比較は良いのだけれど、それが本当に使えること、一つのスクリーニングに使えることの検証が欠けているのではないかという気がしました。と申しますのは、例えば明らかにこの物質はNGである。先ほど豊國先生がおっしゃったようなIARCがGroup 2Bではなくて、Group 1で出しているような発がん性の恐れありの物質を、この試験で評価したら、それもスケールのナノスケールに合わせて、具体には確か結晶性シリカだと思うのですが、そういったもので評価するとこの試験で明らかに優位に数字が大きくなるというデータは取れないのでしょうか。

【本田 SPL】 発がんに至る過程は、非常に時間がかかるプロセスになります。今おっしゃった結晶性シリカは、また少し変わった挙動を示します。最初のうちは炎症反応みたいなものは殆ど出ない。でも確か半年ぐらい経つと突然反応が出てきて、そしてがんに至るというプロセスをたどる。そういう発がん性の有無をこの *vitro* 試験で見ようとするのは、残念ながらちょっと限界があると思っています。というのは、培養細胞試験系は、先ほども出てきましたが、数日間の試験で行います。これは、動物試験の初期の反応に主に対応

していると考えています。したがって非常に長期の反応を見ることに関して、この試験系では発がん性の有無を判断するところまで荷を負わせるのは、ちょっと荷が重いと思います。あくまでこの方法はスクリーニングとして使う。しかも炎症がどれだけ起きるだろうかというそのポテンシャルを相対的に調べる。背景データとして、一部の多層ナノチューブとか単層ナノチューブについては動物試験を実施して、そういうものとの比較データとして動物試験と培養細胞試験の初期の結果は持っていますので、見比べることによって新しい材料の反応が相対的にどうなのか、強いのか、弱いのか、同程度なのか、そういうことで最初のスクリーニングに使うことかと考えています。ティアード (Tiered) アプローチと言いますが、そういう使い方をさせていただくのがこの方法のコンセプトです。そうご理解いただければと思います。したがって発がん性を見る云々というのは、非常に難しい話になってくるので、はっきり申し上げて、それを培養細胞系でというのはなかなか難しいと思います。

【近藤委員】 分かりました。そのときに閾値というのはどうされるのですか。相対的に見るというときに、一つ参考閾値がほしいと思うのです。

【本田 SPL】 参考閾値としては、前のプロジェクトで、これをきちんと決めているわけですが、最初 $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ です。ですからこれより厳しい管理をすべきか、あるいは緩くていいということは多分ないと思うのですが、どの程度で良いか、そういう使い分けに使っていただこうと考えています。

【阿知波分科会長】 他に如何でしょうか。

【岩橋委員】 今のことと絡んでくるのかもしれませんが、毒性試験をやったときに、殆どの場合毒性がありましただけで終わってしまっていて、そのメカニズムなどが全然分からずに予測で終わってしまっていることが多い。特に産総研でできることは、キャラクターゼーションをきちんとすることだと思うのですが、そういった将来的な方向性として、今回は良いと思うのですが、そういう責任を果たしていくことがあるのかどうか。何を言いたいかという、ちゃんとしたキャラクターゼーションをした上で、メカニズムを解明するのだという気概を産総研に求めたいということがあるので、それに対して応えてほしいというのが一つです。それから、全くそれとは関係ないのですが、実際に現場で計測しているときに、アンダーセンのような粒子を粒径で分けるような装置を使って確認しているかどうか、現場を見ているかどうかということを教えてください。

【本田 SPL】 後のほうからお答えしますと、それは見えています。実際にサンプリングを行って粒径分布を電顕などで観察して見えています。この現場ではどのくらいのものが、どの程度飛んでいるかを押さえた上で、あれは一緒くたに出てきてしまうわけですが、ただしそれは正確な試験と相関していますので、日常的にはその相対的な変化で、プロセスが何かおかしくなっているか、日常と変わらないか、管理に使ってこういう考え方でやっています。それは最初にはきちんと見えています。メカニズムの解析に関しては、ご指摘の通りで、期待していただいて有り難いと思います。いまは試験評価方法を作成して、事例が積み重なってきているところです。ただし先ほど申しましたが、マルチウォールとシングルウォールに関して調べていると、特に遺伝子発現のところは違うので、それがはたしてマルチとシングルの、いわゆる生体反応発現が違うのかということに関して、このプロジェクトを離れた課題としてやってもらったら良いかなと考えています。せっかく担当者が来ているのでよろしいですか。藤田さん一言どうですか。

【藤田 (TASC)】 実施者の産総研、藤田です。本田から回答したことについては概ね正しいと思っています。最後のところで、マルチウォールの話が出ましたが、私たちは単層 CNT だけではなくて、三井の製品も含めた数種類のマルチウォールの CNT に対しての細胞試験、また一部ですが動物試験を実施しています。こうした中で単層 CNT、あるいは多層 CNT の中で現象の違いなどを見ながら、今後のプロジェクトの中で結果を出してメカニズムの解明をしていきたいと考えています。

【岩橋委員】 追加でお聞きしますが、今回は完全にヒトの暴露しか想定されていないと思うのですが、環境に出たときの環境に対する影響、環境生物に対する影響、あとリサイクルの問題、そういった将来的なところの

視点はまだ次のポイントなのでしょうか。

【本田 SPL】 一つは、計測が非常に難しいということがあります。作業環境でも、実は感度的に割とギリギリのところまで測っています。現時点ではナノ材料が環境に出て行って、そこそこの濃度があるという事象はありません。環境に出て行ったときの影響を調べるときに、計測をしなければいけないのですが、そこがないということなので、これは先の課題と申し上げたいと思います。ただし、OECDのほうで、いわゆる一般の化学物質に対して環境影響、生態影響を見るという試験方法が幾つかガイドライン化されていて、それはミジンコ、メダカなどに対して撒いてみるという話ですが、それは一応ここの試験でも行いました。結果はOECDに提出して、今年の6月でしたか、いわゆるドシエと称するナノ材料に関するいろいろな有害性情報をとりまとめた文書に収載されています。今申し上げた結果は、ケーススタディ報告書でも一部紹介させていただきます。資料30/35頁の「環境中運命」、「環境中の生物への影響」、これは文献のデータが多いのですが、あと一部、我々がやった試験の結果もここに紹介させていただきます。

【阿知波分科会長】 宜しいでしょうか。時間も迫ってきていますが、先ほど来何度か出ているマルチウォール、あるいは他のナノ炭素まで含むかどうかというのは、このプロジェクトとして微妙なところがあります。現実には殆ど単層CNTのプロジェクトということになっており、その辺を含めて、場合によっては全体議論のところ、ナノ炭素の中にどこまでプロジェクトの評価として含める話なのかということをもう少し話しても良いかなという印象を持ちましたが、他に何か短い質問があれば。

【荻野分科会長代理】 一言でお聞きしますと、今回スーパーグロースとeDIPSが主に使われていると思います。それに対する安全指針を出しておられるのですが、これは単層ナノチューブぐらいまでは大体カバーできていると考えて宜しいのでしょうか。

【本田 SPL】 ここでは単層ナノチューブを中心に作りましたが、先行するプロジェクトでマルチウォールなどをやっています。その結果はここで紹介させていただきますが、そういうことでCNTに関しては、大体評価はカバーしたと考えています。

【荻野分科会長代理】 ここであえてスーパーグロースとeDIPSと分けておられるので、かなり違うのかと考えてしまうわけですが、それでお聞きしました。

【本田 SPL】 製造方法とか用途によって使われる事業者が違うのかなと思ひまして、それで別のバージョンとして作りました。おっしゃられれば確かにそうですが、基本的な生体反応などは、似ていると言えば似ています。乱暴な言い方をすると、そんなひどい炎症が起きるものがないという点では似ています。

【阿知波分科会長】 最後に細かい話ですが1点だけ、メタリックとセミコンダクティングで炎症に差があるという話がありましたが、これは長さ方向だとか太さ方向は完全にリファインされて同じ条件下で……。

【本田 SPL】 完全にそろえることはできないのですが、それは大体同じぐらいになるように。あとそれは結果としてどういうもので評価したというキャラクターゼーションはきちんとして、その結果は残すようにしています。ご指摘のようにメカニズムがどうなのかということの前に、本当に半導体が高いのかというところ、特に生体に対して本当に影響を与えるとしたら、中長期的な影響をきちんと見なければいけないと思いますので、その辺まで観察期間を延ばした動物試験で、今影響を確認しているところです。

【阿知波分科会長】 最後の話は、多分発がん性の話と同じカテゴリーに入ってくるので、非常に時間がかかる話と受け止めています。時間が少し過ぎておりますので、大切な問題ではありますが、何かどうしてもというご質問があれば。宜しいですか。宜しければこのセッションはこれで終了したいと思います。どうも有難うございました。

(非公開セッション)

6.2 研究開発項目②-3-1 単層CNTの形状、物性等の制御・分離・評価技術の開発 【非公開】

- 6.3 研究開発項目②-3-2 単層 CNT を既存材料中に均一に分散する技術の開発【非公開】
- 6.4.1 研究開発項目②-3-3 グラフェン基盤研究開発（その1）【非公開】
- 6.4.2 研究開発項目②-3-3 グラフェン基盤研究開発（その2）【非公開】
- 6.5 研究開発項目①-1 高熱伝導率単層 CNT 複合金属材料の応用研究開発【非公開】
- 6.6 研究開発項目①-2 導電性高分子複合材料の開発【非公開】
- 6.7 研究開発項目①-3 単層 CNT 透明導電膜の開発【非公開】
- 7. 全体を通しての質疑【非公開】

（公開セッション）

8. まとめ・講評

【阿知波分科会長】 議題8「まとめ・講評」です。豊國委員から順番に講評を宜しくお願いいたします。

【豊國委員】 今日一日、大変勉強させていただきました。この事業自体の成果については、素人に近い私が聞いても非常に素晴らしくて、今後の日本の産業全体に大きな良い影響を与えていくのではないかと思います。今後とも、ぜひ頑張っていたきたいと思います。2000年を過ぎてからずっと問題になっている安全性にもかなり力を注いで、一定の成果を上げていると思います。特に事業者に対して情報を冊子で公開していることは、大変評価できると思います。発がん性や毒性がわからないまま社会に新しい物質が出て行っている中で、自主的にきちんと勉強していく態度は非常に重要だと思います。しかし最終的には法令や規制の問題になってきます。食品、医薬品の安全性に関する国の研究機関の方々や、あるいは化学としてこういうことをやっている方々と、チームとして緊密な連携を取りながら進めていくことが重要ではないかと思います。安全性の基準についても、グローバルにきちんとリーダーシップを取れることが重要だと思います。EU、OECD等、いろいろな会合があると思いますが、ぜひリーダーシップを取って、日本の官庁とも十分に連携を取って、日本の産業の発展に今後も頑張っていたきたいと思います。プロジェクト全体としても非常に上手く進行していると思います。

【角田委員】 先ほど講評めいたことを言ったので、あらためて言うこともないのですが、公開ということで申し上げます。私自身も材料屋の人間ですが、樹脂、ゴム、金属、無機材料という既存の素晴らしい材料の欠点を補えるカーボンナノチューブが、やっと日本の土俵に上がってきました。かなり量産もできそうです。スーパーグロス、eDIPS、半導体と金属を分けたもの、それから今日は議論になっていませんが、長尺のドロアブルなカーボンナノチューブも日本が先頭を走っています。グラフェンもここまで成果が出てきて、鬼に金棒の土台はできました。あとは着実に、製品のためにどういう材料を作り上げていくかについて、ぜひ国を挙げて取り組んでいただきたいと思います。先ほど私は苦言を申し上げましたが、そのためにはもっとPRが要ります。少し言葉は良くないかもしれませんが、上から目線で、プレス発表をしたから来るだろうというのではなくて、日本には素晴らしい中堅企業があり、職人の技を持った方がたくさんいて、日本の企業を支えているので、そういう人たちの力も巻き込む仕掛けをぜひ作っていただきたいと願っております。

【湯村 PL】 コメントして宜しいですか。昨日九州でナノカーボン実用化検討会を開きました。メンバーは必ずしも大企業だけではなくて、中堅企業の方にもたくさん参加していただいています。残念ながら私はこの会議があるので参加できませんでしたが、角田委員のおっしゃることにまったく同感です。私たちもそういうかたちで進めております。今後ともぜひ宜しくお願いいたします。

【角田委員】 私も行ってきました。

【近藤委員】 大変お疲れ様でした。それぞれの発表者の方が自信を持って説明されているのに加えて、質疑応答も非常に明確に対応していただきました。これは素晴らしい成果であることの裏づけだと理解しております。先ほども少し申し上げましたが、この優れた成果をうまく融合して、出口志向型のプロジェクトチームとして、一つでも多くの成果を早く出すという意識をさらに持って対応していただきたいと思います。それと関連して、アウトプットが出てくると海外を含めて追いかけられる側になるので、キャッチアップされないためにさらなるスピードアップを図ることと、もちろん知財戦略を上手く考えて、早くものにすることに一層の努力をお願いしたいと思います。

【岩橋委員】 CNTをはじめ、ナノ材料に関しては7~8年前から関係しています。有名になるのは毒性評価の人だけで、材料として本当に使えるのかという疑問を持ってやっていた経験がありますが、そろそろ見えてきて、この間の現地調査会でも申したように、スーパーグロースはあれだけの量ができるようになったのはすごい進歩だと思います。これからは材料を開発する人、利用する人がもっと有名になる時代になって欲しいと希望します。安全性に関しては、私自身はそんなに心配していませんが、そこまでやったかという感じを持たなかったところがあるので、特に批判的な人に「そこまでやったのか」と言わせるぐらいの検討をしても良いような気がします。戦略を練って、その中心になって、産総研として、NEDOとして、日本として世界と戦って欲しいと思います。

【吾郷委員】 私は先週韓国の国際会議に呼ばれて、そこで延世大学の先生とお話ししました。彼が言うには、韓国のファンディングエージェンシーはかなりせっかちで、もうグラフェンの次を求めていて、グラフェンは古いと言いつつあるようです。それに対してこのプロジェクトは長い間ナノチューブをやられて、とても良い成果を得ています。これは素晴らしいことで、それだけ長い期間をかけないと実用化は難しいと思います。そのおかげでナノチューブの合成技術、分離技術をはじめ、世界的な素晴らしい成果が得られていて大変良いと思いますし、グラフェンも日本を代表する成果が得られていて素晴らしいと思います。もちろん企業の方もたくさん入っていますが、お話を聞いていると、まだ継続した研究が必要だと思われます。NEDOをはじめ、それを支えて実用化あるいは事業化に結びつけていただけたらと思います。最後に評価に関するコメントです。皆さん数値目標を出して、〇が並んで良くできました、ハッピーエンドで終わりましたという感じですが、本当は、この目標設定は上手く行かなかった、これは上手く行ったというものもあるべきだと思います。今日は素晴らしい成果を見せていただき、ありがとうございました。

【荻野分科会長代理】 講評というほどではありませんが、まず、このプロジェクトは非常に成功したと思います。大変素晴らしい成果がたくさん上がったと思います。その理由ですが、普通は技術を出す側はこういう素晴らしいものがあると見せるだけで、受け取る側はこれだけでは事業化まで見通せないことから、その間のギャップがいつも言われます。しかし、このプロジェクトはそこを非常に丁寧に埋めている感じがします。午前中に出されたスライドでもありましたが、一つは技術を出す側がどうしたら使えるかというところまで良くフォローしたことが、今回の成果に繋がったのではないかと思います。もう一つは、安全性に関して目をつぶらなかったことです。今日もその部分だけは午前中に公開でやっています。プロジェクトリーダーも言われましたが、負の部分から目をそらさずに行ったことが、事業に繋げようというところが出てきた一つの理由だと確かに感じます。さらに付け加えると、カーボンナノチューブの中で一番目立つところだけやろうと思わなかったことが良かったと思います。1本で超高速トランジスタをつくるというように、あまり現実的でないところに目がいきがちですが、あるときは主役になろうと思わずスーパーグロースのように材料を供給する側に回るなど、現実的に実用化を進めてきたことも成功した一つの理由だと思います。大変素晴

らしい成果だったと思います。どうも有難うございました。

【阿知波分科会長】 最後に私から講評して、この部分を終わりたいと思います。私自身は一委員のときも含めて、ずいぶん昔からナノカーボンの評価に携わってきましたが、事後評価の結果については他の委員もおっしゃるように、目標設定はクリアだし、それに対する成果の出し方、見せ方、現実の問題、全てクリアではないかと思います。委員の先生方はみんな優しいので、概ね褒めることしか言いませんでしたが、評価そのものは〇が圧倒的に多くなっています。◎が始まったのが2年前で、その意味では製造、分離、その他の部分は、中間評価で思いもかけず成果が出た部分があったという印象がありました。要するに、ときめくような結果が示されましたが、今回はそのまま順調に伸びたという気が若干します。最後に個人的な評価になりますが、私自身は基礎的な研究をずっと続けてまいりました。いつも言っているので聞き飽きたかもしれませんが、ナノチューブの本質は1本1本の非常にファインなキャラクターにあります。カイラリティ（Chirality）コントロール、長さ方向の制御、それからいくつか基礎的な部分があると思うので、このプロジェクトではなくても産総研の内部、あるいは今後 NEDO が立ち上げるであろうプロジェクト等で、その部分にも目を向けて、本当のカーボンナノチューブの良さを出す世界をぜひ実現して下さい。このチームならできるのではないかという気がします。宜しくをお願いします。

プロジェクト推進部署の部長及びプロジェクトリーダーから一言ずつお願いしたいと思います。

【山崎部長】 担当部部長の山崎です。委員の皆様におかれましては、本日一日に亘り、大変貴重なご意見、ご助言をいただきまして有難うございます。これまで NEDO はナノ炭素材料のプロジェクトを 17 年間サポートしていますが、湯村 PL からもお話があったように、ようやく成果が世の中に出始めた段階です。委員の皆様のコメントを伺っていても、これまで忍耐強く関係の皆様が取り組んできた成果だと思っています。今日はカーボンナノチューブの生みの親である飯島先生もいらしていますが、生まれてから 25 年です。ただ一方で、炭素繊維は生まれてから実用化まで 50 年ということで、まだ道半ばですので、息長く見ていかなければいけないのではないかと私自身は思っております。これまで湯村 PL のご指導、実施者の熱心な取り組みによって、一定の成果が出ていますが、日本発の材料を日本の産業の強みとして、追従を許さない確固としたものにすべく、これからも NEDO としてサポートしていきたいと思っています。最後に委員長からお話のあった1本1本の質を上げるということと、何名かの委員からコメントをいただいた安全性については、後継プロジェクトでもしっかりやっていきたいと思っております。今日は経産省からも来ていただいておりますが、息の長い支援が必要であることをぜひご理解いただいて、われわれとともにサポートしていただければと期待しております。本日はどうも有難うございました。

【湯村 PL】 まず委員の先生方にお礼を申し上げます。長い時間本当にお疲れ様でした。朝の9時半からこの時間まで、これだけ長い会議にもかかわらず、ずっと熱心に聞いていただきまして本当にありがとうございます。今日はいろいろお褒めいただいた中でも厳しい指摘がございました。これは終わりましたが、NEDO の後継プロジェクトもございます。私どもはご指摘を真剣に受け止めて、日本生まれのナノカーボン、カーボンナノチューブ、グラフェンの産業を是非作っていききたいと思っております。今後ともご指導ご鞭撻、宜しくお願いいたします。本日は有難うございました。

9. 今後の予定

10. 閉会

配布資料

資料 1	研究評価委員会分科会の設置について
資料 2	研究評価委員会分科会の公開について
資料 3	研究評価委員会分科会における秘密情報の守秘と非公開資料の取り扱いについて
資料 4-1	NEDO における研究評価について
資料 4-2	評価項目・評価基準
資料 4-3	評点法の実施について
資料 4-4	評価コメント及び評点票
資料 4-5	評価報告書の構成について
資料 5	プロジェクトの概要説明資料【公開】
資料 6	プロジェクトの詳細説明資料
資料 6-1	研究開発項目②-1-1 ナノ材料簡易自主安全管理技術の確立【公開】
資料 6-2	研究開発項目②-3-1 単層 CNT の形状、物性等の制御・分離・評価技術の開発【非公開】
資料 6-3	研究開発項目②-3-2 単層 CNT を既存材料中に均一に分散する技術の開発【非公開】
資料 6-4-1	研究開発項目②-3-3 グラフェン基盤研究開発(その 1)【非公開】
資料 6-4-2	研究開発項目②-3-3 グラフェン基盤研究開発(その 2)【非公開】
資料 6-5	研究開発項目①-1 高熱伝導率単層 CNT 複合金属材料の応用研究開発【非公開】
資料 6-6	研究開発項目①-2 導電性高分子複合材料の開発【非公開】
資料 6-7	研究開発項目①-3 単層 CNT 透明導電膜の開発【非公開】
資料 7-1	事業原簿【公開】
資料 7-2	事業原簿【非公開】
資料 8	今後の予定
参考資料 1	NEDO 技術委員・技術委員会等規程
参考資料 2	技術評価実施規程

以上