

研究評価委員会
「低炭素社会を実現するナノ材料用化プロジェクト
(研究開発項目①-4～11、②-1-2、②-2、②-3-4～5)」(事後評価)分科会
議事録

日 時：平成 29 年 10 月 17 日（火） 10：00～16：30

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

出席者（敬称略、順不同）

＜分科会委員＞

分科会長	近藤 勝義	大阪大学 接合科学研究所 教授
分科会長代理	齋藤 弥八	名古屋大学 大学院工学研究科 応用物理学専攻 教授
委員	吾郷 浩樹	九州大学 グローバルイノベーションセンター 教授
委員	井上 翼	静岡大学工学部 電子物質科学科 教授
委員	大野 雄高	名古屋大学 未来材料・システム研究所 教授
委員	小野 真理子	独立行政法人労働者健康安全機構 労働安全衛生総合研究所 作業環境研究グループ 部長
委員	小柳 潤	東京理科大学 基礎工学部 材料工学科 准教授

＜推進部署＞

吉木 政行	NEDO 材料・ナノテクノロジー部 部長
多井 豊	NEDO 材料・ナノテクノロジー部 主任研究員
畠 康彦	NEDO 材料・ナノテクノロジー部 主査

＜実施者＞

湯村 守雄 (PL)	(独)産総研 ナノチューブ実用化研究センター	首席研究員
畠 賢治	(独)産総研 ナノチューブ実用化研究センター	研究センター長
岡崎 俊也	(独)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
長谷川 雅考	(独)産総研 ナノ材料研究部門 炭素系薄膜材料グループ	研究グループ長
藤田 克英	(独)産総研 安全科学研究部門 リスク評価戦略グループ	主任研究員
山田 健郎	(独)産総研 ナノチューブ実用化研究センター CNT 用途チーム	研究チーム長
小倉 勇	(独)産総研 安全科学研究部門 排出暴露解析グループ	主任研究員
南條 弘	(独)産総研 東北センター	SIC 上席イノベーションコーディネーター
佐々木 毅	(独)産総研 ナノ材料研究部門	研究部門長
荒川 公平	日本ゼオン(株)	特別経営技監
片浦 弘道	(独)産総研 ナノ材料研究部門	首席研究員

＜評価事務局＞

保坂 尚子	NEDO 評価部 部長
原 浩昭	NEDO 評価部 主査
中井 岳	NEDO 評価部 主任

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. 評価の実施方法について
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 ②-1-2 「ナノ炭素材料及びその応用製品の排出・暴露評価技術の確立」

(非公開セッション)

6. 2 ②-2 「ナノ炭素材料の分散体評価技術の開発」
6. 3 ②-3-4 「ナノ炭素材料の革新的応用材料開発」
6. 4 ②-3-5 「ナノ炭素材料の革新的薄膜形成技術開発」
6. 5 ①-4～1 1 (助成) 「ナノ炭素材料の実用化技術開発」
全体説明
日本ゼオン(株)
東レ(株)
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)

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

評価事務局より資料 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」の内 6.2～6.5 及び議題 7「全体を通しての質疑」は非公開とした。

4. 評価の実施方法について

評価の手順を評価事務局より資料 4-1～4-5 に基づき説明した。

5. プロジェクトの概要説明

(1) 事業の位置付け・必要性、研究開発マネジメント

推進部署より資料5-1に基づき説明が行われた。

(2) 研究開発成果、成果の実用化・事業化に向けた取組及び見通し

実施者より資料5-1に基づき説明が行われた。

上記 (1) と (2) の内容に対し質疑応答が行われた。

【近藤分科会長】 ご説明有難うございました。技術の詳細につきましては議題 6 で扱いますので、議題 5 におきましては主に先ほどご説明がありました事業の位置付け、必要性、マネジメントについて議論したいと思います。ただいまのご説明につきましてご意見ご質問等ございましたら宜しくお願い致します。

【齋藤分科会長代理】 前半のお話で、プロジェクトの市場効果が平成 32 年度 (2020 年度) は 658 億、平成 42 年度 (2030 年度) は 1,730 億というような見積りがされておりますが、これはどういう根拠に基づいているのでしょうか。

【梶主査】 これは NEDO がプロジェクトで始めようとしているテーマが成功したあかつきの製品を想定しまして、それがどのぐらい売れるだろうかという調査を委託した結果です。例えば銅線のケーブルが CNT (カーボンナノチューブ) のケーブルになります、あるいはトランジスタにグラフェンがどんどん使われていきますというようなことをいろいろ想定しまして、合算した数字です。内訳としては、平成 42 年で言えば CNT は 660 億円、グラフェンが 1,000 億円、フラーレンが 70 億円ぐらいのものになるというように見ております。

【齋藤分科会長代理】 これはフラーレンも入っているのでしょうか。

【梶主査】 はい。

【齋藤分科会長代理】 それから、海外の動向で、NEDO の場合は今回のこのプロジェクトに関しては 45 億円ということですね。

【梶主査】 はい。

【齋藤分科会長代理】 関連する国からの支出もあると思うのですが、その辺との関係はどうでしょうか。

【梶主査】 今回の平成 26 年～28 年という 3 年間で 45 億円ということです。ですので、19 年間あわせるともっと大きな数字にはなります。

【湯村 PL】 前期とあわせて7年間で100億円です。ただし、助成事業が約半分です。

【齋藤分科会長代理】 助成事業ですか。

【湯村 PL】 はい、このプロジェクトは助成事業で進めておりまして、半分が助成事業に対する支出となっております。

【齋藤分科会長代理】 それに対してヨーロッパではグラフェンがフラグシップですか、グラフェンだけで1,400億円ですか。

【島主査】 はい。

【齋藤分科会長代理】 これはすべてヨーロッパのEUからの公的機関からの支出ですか。

【島主査】 多分そうだと思います。

【湯村 PL】 そうです。

【齋藤分科会長代理】 あと、中国とか韓国が論文の数が増えてきていますね。

【湯村 PL】 はい、増えています。非常に増えています。

【齋藤分科会長代理】 中国、韓国のこの分野に対する投資、これはどんな具合ですか。それに対して今回のNEDOはどのような位置付けになっているのでしょうか。

【湯村 PL】 金額的にいえば、中国やヨーロッパなどのここ数年の投資には負けていなかったと思います。この19年間継続して投資したというのは非常に大きいですし、特に19年前はまだカーボンナノチューブ、これが産業にどう使われるか、まだはっきりしていない中でプロジェクトが始まり、公的資金を投入されました。当時としては世界的に見て決して小さくはなかったと思います。あの当時で年間10億ぐらいの予算が投入されたというのは非常に大きいと思いますし、それによって今のプロジェクトの中心になっている若い研究者、中堅研究者が平成10年(1998年)のプロジェクトのスタート以降カーボンナノチューブに参加しまして、今はリーダーとして中堅研究者として活躍していることを考えれば、単に金額だけに代えられない大きな研究所の資産が形成されていると思います。

【近藤分科会長】 ほか如何でしょうか。お願いします。

【井上委員】 開発題目の一番初めに低炭素社会という言葉が入っておりますが、先ほどのCO₂削減のところのページで、政府方針では平成32年(2020年)にCO₂の25%削減を掲げているということで、このプロジェクトが始まったようなことが書かれています。この平成32年度の42万t/年というのはパーセントで言うとどのくらいに相当するのでしょうか。

【島主査】 まず、平成42年(2030年)のCO₂の削減量を179万tと見ています。パーセントというのは何に対するパーセントでしょう。

【井上委員】 詳しくないのですが、恐らくある年を基準にして、そこからどのくらいかということではないかと思うのですが。

【湯村 PL】 このプロジェクトは素材ですので、素材からどれだけCO₂が削減、省エネされるかというのは直接的な効果というのは、なかなか見込みにくいところあります。ただ、今回成果としました300℃以上で使える高耐熱ゴムや450℃で使える樹脂、これらは自動車部品、内燃機関、それらのシーリング部品として軽量化やメンテナンスの容易さ、等での非常に大きな省エネ、省作業、そういうプロセスのメンテナンスを簡単にすることができると考えます。それというのは簡単に数字で表される、単純に数字で表される以上の省エネ効果、社会に対する利便性が提供されるものと考えております。

【島主査】 多分平成42年(2030年)の全体の削減量に対する割合を多分お尋ねになっていると思うのですが、その数字はちょっと今把握しておりません。申しわけありません。

【井上委員】 分かりました。

【近藤分科会長】 ほかは如何でしょうか。どうぞ。

【齋藤分科会長代理】 助成事業と委託事業の関係がちょっと私には良く分からないのですが、目標テーマによっては似ているようなものもあるわけですが、この2つの間の関係ですね、相乗効果とか、その辺どのようにマネージ、一方の成果が片方のほうにフィードバックされるのでしょうか。

【湯村 PL】 そういうのもありますし、助成事業は公募いたしましたので、独自の技術での実用化を目指した助成事業もありました。委託事業から派生した技術移転して、それらの成果を用いて助成事業で実用化を進めるといふのもあります。

【梶主査】 助成事業は先ほど挙げました7つの研究テーマに対して公募して、各社が提案してきます。ですので、同じテーマでも2社なり3社なりと、各社のアプローチにより狙うところが多少違っていけば、おもしろければ、実用性の可能性があると判断すれば複数の企業が採用されるというのが助成事業の枠組みです。

【湯村 PL】 この表をご覧ください。助成事業全体の中で赤く示しているところが何らかの共同研究、技術移転によって助成事業と委託事業が一緒になったものです。

【齋藤分科会長代理】 赤が委託事業と関連。

【湯村 PL】 共同もしくは技術移転を行った結果です。それ以外は独自に提案されてきて、公募の中から選びました。このナノカーボン技術プロジェクトの成果として期待できるものを採用し、実施しました。

【齋藤分科会長代理】 午後の詳細な報告のときに発表があるのかも分かりませんが、それぞれの助成事業の成果で、実用化あるいは事業化に対してどのステージまでいったかというようなことは、今回ここではお話しされませんでしたけれども、多分午後あるんですね。

【梶主査】 はい、助成事業で言えばその上に書いてあります実用化推進委員会を今年の1月、3月に開きました。全テーマの最終目標に対する状況評価して、事業化に対する状況の評価させてもらいました。その結果を報告致します。

【湯村 PL】 典型的な例として、トランジスタ、東レと日本電気、それから日本ゼオンのゴムもご紹介いたしました。今回、助成事業で発表して頂く東レと日本ゼオンに直接この成果をお話し頂きます。

【近藤分科会長】 ほか如何でしょうか。どうぞ。

【小野委員】 2点お尋ねします。先ほどCO₂削減量については単にこれだけでは評価できないとのお答えでしたが、それは勿論分かりますが、やはりNEDOのお金を使っている事業ですから、纏めて頂くときに、この面だけでは評価できないけれども、トータルとしてこういう効果があったという表現で報告書を纏めて頂く方法もあると思います。先ほど何%の削減に寄与しているのかというご質問がありましたけれども、どうしても評価のときには数値目標という話になってしまうこともありがちです。それは私としては納得いかない部分も分かるのですが、何らかのそういう説明が求められるということは仕方がないかなと思いますので、報告書の時点ではお願いできると良いかと思えます。

【梶主査】 参考補助資料として、そのCO₂の削減効果というのは全部内訳があります。それは何がどのくらい普及したときに何万トンという、そういう内訳がありますので、それは委員の方々にはその資料を。

【小野委員】 分かりました。あと、出荷額について一応こういう目標値とか推測値とか予想値が出されているのですが、この研究や、その後の追跡評価みたいなどころでどこまで追いかけていくという予定は、NEDOの方になるかもしれませんが、おありでしょうか。

【**島主査**】 はい、助成事業に関しては終了した翌年から5年間事業化状況の調査が継続してあります。その中でどうですかという話を聞いていきますので、追跡調査をしていきます。

【**近藤分科会長**】 ほか如何でしょうか。

【**吾郷委員**】 先ほどの質問とも関連するのですが、あと3年後に658億円の出荷があるというのがなかなか想像できないのですけれども、今現在、例えば平成29年度とか30年度だどどという感じで、それがどういう商品が出て、その658億円までいくのかというところを少し説明して頂きたい。

【**島主査**】 658億円というのはちょっとまだそこまで達していないと思います。というのと、もう一つは、まだことしの2月に終わったプロジェクトですので、事業化の状況というのは、まだ多分皆さんの計画でもそこまで進んでいませんので、もう少し先を見た評価をしていきたいと思っています。ですので、平成32年の658億円はちょっと高すぎたのかもしれない。

【**吾郷委員**】 となると、どれくらいまで本当は予想されるのですか。

【**島主査**】 これは4年前ぐらいの試算になります。

【**吾郷委員**】 先ほど湯村さんがおっしゃったように将来の投資なので重要だと思いますけれども。

【**湯村 PL**】 将来のそのような市場規模につきましては常に技術の現状と市場の現状を見ながら、再度見直すことが必要だと考えています。堅実な需要見通しのもとに投資がされると思います。現在、日本ゼオンなり東レなり各企業がこの後で複合材やそのほかの幾つかの共同研究あります。これはすべて民間が100%お金を出して商品化のための研究をやっています。それだけ民間が自社の資金を用いて、公的資金も助成金もなしに自社の製品開発をやるとするのは、それなりの市場規模を見込んでやっております。その市場規模はどれくらいかというのは本当のところは秘密です。それは簡単には明かせないと言いますか、もし、これこれの製品で、これこれの市場規模があるということが明らかになれば、もう他国はそこに向かってしゃかりきに人も予算も投入して追いついてきます。そういう面で、午後のセッションでも幾つか出てきますが、具体的な事業内容、売上というのは明かせないところはあります。

先ほど NEDO 島主査から紹介した数字というのは4年前にシンクタンクに調査依頼したものです。かなりアバウトなものであります。今回、私たちが想定しているいろいろな実用化というのは、100%民間資金で、しかも経営陣が関与した形で投資が決められております。それだけでかなりの事業としてもものになるものが幾つかあるのだということをご理解頂ければと思います。

【**大野委員**】 民間の資金というお話がありましたけれども、既にいろいろな企業がこの事業をもとにして自社資金を投入していると思いますが、もし可能でしたら、大体総額でどれくらいが既に投入されているのか、お話し頂けますか。

【**湯村 PL**】 それは島主査から答えることは可能ですか。

【**島研究センター長**】 私は全体のことは分からないのですが、ナノチューブのことに言えば、この先ほどの湯村 PL から紹介したカーボンナノチューブ・アライアンス・コンソーシアムは民間が産総研に投入している純資金が2.5億円/1年間、今年ですね。それ以外に民間が使っているお金は多分1.5億円ぐらいで、4億円以上は使っています。先ほどの冠研究所というのも、1年間1億円、民間資金が投入されています。なので、タスクというのが年間何億円のプロジェクトでしたけれども、タスクを終わった後の方がお金はいっぱいあるという状況です。それぐらいの規模感で動いています。

【**近藤分科会長**】 最後に1点私からお願いがございます。今 CO₂削減の話がありましたので、資

料を補助的にまとめられる際、分かりやすい比較を出して頂きたいですね。例えばトータルに対してパーセントも結構なのですが、例えば素材産業ですと、セメントや製鉄系ですと主たる CO₂ 排出分野というのがありますので、その数字がこれぐらいで、今回製造の観点から言うところだと、あと利用の観点で言うと例えば移動体に対してこれぐらいの効果があるとか、何か分野毎というのを大きな枠で結構ですから、そういう比較を出して頂くと分かりやすいかと思います。

【島主査】 CO₂削減というのはかなりターゲットを絞ってどうなるだろうという予測をしましたので、例えば9品目にこのぐらいの割合で普及した場合にはこのぐらいのCO₂削減効果というようになります。なので、例えば業界全体はこうで、それに対してこうだというよりは、この例えば自動車用のケーブルが例えばCNTに変わったときに、軽量とあれを組み合わせただけになります、というような試算結果の積上げという形にはなると思います。勿論それに加えてCO₂の削減全体目標で、例えば自動車がどのぐらいのことを狙っているのかというのを合わせて書いて、その比較ができるようには致します。

【近藤分科会長】 結構です。そういった何か相対的なメジャーになるものが数字であれば分かり良いと思いますので、そこはお任せしたいと思います。それでは、ちょうど時間になりましたので、ここで質疑応答を終わりたいと思います。どうも有難うございました。

6. プロジェクトの詳細説明

6-1 ②-1-2 「ナノ炭素材料及びその応用製品の排出・暴露評価技術の確立」

実施者より資料6-1に基づき説明が行われ、その内容に対し質疑応答が行われた。

【近藤分科会長】 どうも有難うございました。ただいまのご説明につきましてご意見ご質問等お願い致します。

【齋藤分科会長代理】 いろいろな種類のナノチューブについて毒性試験をされたということで、大変有意義だと思います。お聞きしたいのは、金属、半導体、シングルナノチューブに分けて調べられたとありますが、差はあるのですか。

【藤田主任研究員】 結論的に言いますと、差はありませんでした。

【齋藤分科会長代理】 それから、多層ナノチューブといっても非常にサイズ、形態、大きさが違いますね。太いものもあれば細いものもある。多層ナノチューブの場合どんなサンプルを分類して試験されたのでしょうか。

【藤田主任研究員】 4種類について多層CNTについては調べました。先ほどありましたとおり、特性はすべて太さあるいは長さが異なるのですけれども、今回では我々の調製の技術を使いまして、どのようなパラメータが培養細胞の特に炎症に関わるエンドポイントに関わってくるかということで、長さを大体統一した形で調製をして、また濃度も同じような形で培養細胞の試験を行いました。

結論を言いますと、太さ、あるいは凝集体のバンドルというものだけではなかなかパターンが読めないというのが率直なところで、太いから何か細胞が落ちて酸化ストレスがあるとかそういうものではなくて、いろいろなパターンがあって、率直に言うとはよく分からないというのが実情です。

【齋藤分科会長代理】 太さとかあるいは欠陥の密度ですね、多層ナノチューブの、そういうものをいろいろ調べられたけれども、何が一番効くかというのは分からないということですか。

【藤田主任研究員】 実際にはまだちょっとよく分からないところがあります。

【齋藤分科会長代理】 あと、ナノチューブをつくるときに、金属触媒を使いますね。金属触媒の影響はどのように考えていますか。

【藤田主任研究員】 まず、細胞試験についてですが、金属触媒の影響は余り無いのではないかとというのが我々の結論になります。どうしてかと言いますと、同じ CNT の中で金属のあるものと無いものを振り分けて作ることは製造の側から非常に難しいのですが、ほぼ似たようなもので触媒の量が多い場合と少ない場合をやりました。その結果、細胞の試験においては、例えば生存率が非常に下がったとか、酸化ストレスやサイトカインなどが上がったとかということが無かったので、細胞試験に関しましては触媒の影響は余り無いのではないかとというのが結論です。ただし、動物の試験については、これの比較試験というのはなかなか難しいので、そこのところは分からないということで、我々も分からないし、国内外の試験の結果からも、まだまだその結論というのは出されていないのが現状です。

【小野委員】 まず、タイトルの方に安全性というのが全くない中で、サブテーマとして安全性をおやりになったことに何か意図はございますか。

【藤田主任研究員】 先生のご質問というのは、その意味では安全性というのは有害性、いわゆるハザードの話でしょうか。

【小野委員】 そうです。

【藤田主任研究員】 なぜ安全性のテーマと入っていないのに、ハザードというようになっているのかということですが、これについては前プロジェクトのところでは、全体のところで安全性と排出の暴露と有害性がセットになっておりまして、それを比較的継続したという形にもなっております。ただ、今回のところは特に排出暴露の材料が CNT からいわゆる複合材料に、全体のプロジェクトとしてそちらの方に重きを置いたので、むしろそれに関しては排出暴露の方が重要なのではないかとということで、こちらの順番を最初に検討・開発致しました。有害性については継続して、そのような材料も絡みますので、有害性を残して続けたという形になるかと思えます。

【小野委員】 分かりました。それで、分散がやはり重要になるというのは勿論なのですが、作った分散液というのはビトロ (in vitro : 試験管での試験) とビボ (in vivo : マウス等の生体内での試験) と両方で共通して使用できる、気管内投与に使用できるものですね。

【藤田主任研究員】 はい、そうです。気管内投与なので、液中に分散させて、それを直接ラットの気管に投与するという形になります。我々としては動物試験、培養細胞試験にも共通してできると考えています。ここで重要なのは、通常の開発で使われている分散とは違いまして、培養細胞試験、また動物試験、それぞれに毒性をそのものが有しているような、界面活性剤の分散性が使えないので、簡単な BSA (Bovine Serum Albumin : アルブミン ウシ血清由来製品) というような水溶液です。牛の胎児の血清を使います。それは動物試験でも培養細胞試験でも使えたということで、これについては国際的に両方で使え、なおかつ界面活性剤を使っていない分散液の調製というのは余り無いので、我々の開発したものはかなり良いものができたと考えております。

【小野委員】 その辺につきましては特許取得とか、あるいは規格化というか、そういうことは進めていますか。

【藤田主任研究員】 まず、特許については、最初にありました通りに、安全性についてはできるだけオープンにしようという戦略がありましたので、特許はとりませんでした。規格化につきましては、こちらですね、これが ISO の技術書として TS (Technical Specification : 技術仕様) ですが、ナノ物体固有の特性の情報を与えるインビトロ試験のためのナノ物

体の作業懸濁液の特性ということで標準化文章をつくりました。これについては、先ほどの分散方法を主体としたときに、特にそこで何が重要になるのかということを書きました。例えば分散の安定性であるとか、金属のイオン濃度であるとか、培地の成分、これはCNT等に、培地の成分のタンパクとかカルシウムが吸着してしまう現象があるので、このようなところも非常に気を付けなければならない、というような文章を世界で初めてこのISOの技術仕様書にすることができました。これについては我々の分散方法や調製方法で開発して得られた知見を盛り込むことができました。

【小野委員】 あと、ビボ (in vivo) の方は、経産省のプロジェクトでずっとおやりになっている気管内投与があると思うのですが、基本的にはビボの方はそちらのプロジェクトで行い、こちらの方は基本的にはビトロ (in vitro) が中心で、文章の中ではビボで補完するという書き方になっていると思います。一般的にはビボの分をビトロで補完するというような、毒性のイメージとしてはそういうイメージなのですけれども、書き方が通常と逆になっているのは、このプロジェクトではどちらかというとビトロが中心という理解で宜しいですか。

【藤田主任研究員】 はい、そのとおりです。

【小野委員】 最後にもう1点、暴露評価の方なのですが、11のスライドの中で飛散の割合を形状で見ているという図があります。棒グラフです。11ページ、これです。これの右の棒グラフなのですけれども、これは製品を摩耗とかしたときに、左側のAというの中に入っているCNTが摩耗とかで出てきて、B、Cぐらいになると樹脂に埋もれたものが出てきて、Dは樹脂だけが出てきているという図と理解して宜しいですか。

【藤田主任研究員】 はい。

【小野委員】 では、それはその製品ごとに量で示されたデータがあつて、その割合も示されているということで丁寧にまだ内容を見ていないのですが、そういう評価になっていると理解で宜しいですか。

【藤田主任研究員】 はい。

【近藤分科会長】 有難うございました。ほか如何でしょうか。先生、どうぞ。

【吾郷委員】 吸入暴露試験は長期高コストで今回されなかったということですが、やはり20年後30年後にどうなるかということは多分ナノチューブを扱う方にとっては関心のあるところだと思うのですが、その点に関してはどのような考えでしょうか。

【藤田主任研究員】 吸入暴露試験については説明がありました通り、前NEDOプロジェクトでは、これは非常に短期間ではありますけれども、吸入暴露試験を行いました。実際には紛体を同じ濃度で継続的に暴露噴霧をするという技術は非常に難しいものでありまして、またそれを制御する、またそれを計測する技術というのは非常に難しいものになりますので、現実的にはそれを事業者に貸して、あるいは委託の試験企業でということなのですけれども、現実には委託試験企業でこれを持っている機関というのはございません。実際には日本バイオアッセイ研究センターしか持っておりませんので、それは現実的ではないだろうと思います。そこで気管内投与試験という液中にCNT等を分散させてその後の肺への影響を見るというのが現実的ではないかと考えます。

これにつきましては、先ほどのご質問の一つにありましたとおりに、経済産業省の方でこれを何とかして規格化をしながら現実に対応した動物試験ができるのではないかとということで、現在、数社の事業者と同じサンプルを使って気管内投与を調べ、その影響はどうかという国内のミニラウンドロビン試験を実施しております。

ここについて、やはり何かのCNTの調製試料が必要になりますので、そこに我々が今回

のプロジェクトで開発した調製液とかを提供することによって、きちっと分散したものを各事業者に渡して、その気管内投与試験の結果を比較検討して、最終的にはこれを標準化に持っていこうと、そこの川上の部分について我々は貢献することができました。

【吾郷委員】 分かりました。ということは、一応マニュアルに従ってちゃんとプロテクトすれば、多分 20 年後 30 年後問題がないと考えてよろしい。

【藤田主任研究員】 そうですね。気管内投与試験については、長期のものになりますと吸入暴露試験と同じように 2 年間の観察になりますので、そこで長期の影響評価ができるのではないかというのがこのプロジェクトの先にある部分になりますので、そこで長期の影響評価がなされるというのが現実的な国内外での対応になっております。

【吾郷委員】 分かりました。

【近藤分科会長】 如何でしょうか。

【大野委員】 今回のプロジェクトでは製造加工の現場でどういう排出、暴露が行われるかというところを中心にされたと思うのですが、製品をユーザーに出して、ユーザーのところでやはりナノチューブ、ナノカーボン材料が出てくる、あるいはそれを廃棄するところでも出てくる可能性があると思います。そのようなところでの排出あるいは暴露の可能性の調査、あるいはその廃棄のときの指針などについて、ある程度製造したところが責任を持ってやらないといけないのかなと思うのですけれども。そういった指針あるいは手順といったところは今後ご検討なさる予定なのでしょうか。

【藤田主任研究員】 これは全体に関わる話なのですが、プロジェクトが終わった後ではどうするかという話になると思います。プロジェクトの当初では、こうした形で現場調査とか、あるいは有害性も含めて CNT の現実の事業者は余り出てこなかったのですけれども、プロジェクトの後半になってきますと、世の中に出て行くという事業者が非常に多くなりました。それに対して個別に産総研の中の技術コンサルティングや共同研究や技術調査などのシステムを使いながら、対応しているという状況になります。それは事業者が製造する CNT のナノ炭素材料の製品がかなり多様になってきておりますので、一概に一つのもので括れないということがあります。そこについては事業者への個別の対応とした形で今実施している最中です。

【小倉主任研究員】 暴露の方を担当しました産総研の小倉です。少しだけ補足させて下さい。製造加工の現場がメインでやっていたのですが、このプロジェクトの中で使用時の摩耗ですとか、UV（紫外線）による劣化ですとか、あと廃棄時の破碎、粉碎というところも一部対象にしていました。工場では無いのですけれども、サンプル、部材を作っている企業から試料を提供して頂いて、それを同じような摩耗の模擬試験や粉碎試験を、ここに書かれている真ん中とか右上のところか摩耗試験や粉碎試験になるのですが、そういうことも一応行っております。

【近藤分科会長】 ほかに如何でしょうか。どうぞ。

【小野委員】 廃棄、これは物理的な力を加えてという方なのですけれども、論文的には燃やすとき、廃棄物処理の際に燃やすときに樹脂は燃えるけれども CNT が実は残っていて、CNT の排出が起こる可能性があるという報告があったり、あとは生産現場ですと大量に外に、もとの CNT が出てきて、それが何らかの拍子で排水にいくのではないかと、排水中の CNT はどうすべきか、という話があるのですが、今後のプロジェクトというか将来的にさらに量産化されたときにはその辺も検討なさるといふ理解で宜しいでしょうか。

【藤田主任研究員】 個別のところ、まずは技術相談みたいな形で、実際にどのような事例

があるのか、調査しながら今後進めていきたいと思っております。

【近藤分科会長】 私から1点だけ。これまでに報告書とか手引書というのがいろいろと配布されているということですが、それを受けられた方から何かフィードバックというのはありますか、質問等含めて。

【藤田主任研究員】 最後のところに示しましたような暴露評価または有害性で今技術コンサルティングや共同研究進めております。報告書や手順手引を非常によく読んで頂いている企業からの問い合わせが多く、ものを残してそれを無償で公開したことの貢献というのは非常に大きかったのではないかと我々は考えております。

【近藤分科会長】 有難うございました。それでは、ほかにも質問あろうかと思いますが、ちょうど時間がまいりましたので、これで終わりたいと思います。

(非公開セッション)

6. プロジェクトの詳細説明

省略

7. 全体を通しての質疑

省略

(公開セッション)

8. まとめ・講評

【近藤分科会長】 それでは、議題8のまとめ・講評としたいと思います。それでは、まず、小柳委員の方から順次講評をお願いしたいと思います。

【小柳委員】 かなりの確率で最初設定した目標がクリアされていて、本当に素晴らしいと思います。今は事業化で、CNTを添加することでコスト増になり、費用対効果が余りうまくいっていないという状況のものもあるかもしれないのですが、これからブラッシュアップされ、どんどん良くなっていくでしょうから、値段も安くなっていって本当にテクノロジーの発達に繋がるのではないかなというように感じます。特に私はグラフェンの開発のところがすごく印象的でして、ハイスループットと、あと液相、剥離プロセス、その辺が本当に感動しました。

また、CNTの糸ですね、2ギガパスカルの強度に達しているというのにはすごく驚いて、炭素繊維が一番強いのは10ギガパスカルとかありますけれども、このペースだったらいざれ追いついて抜かすのではないかなと思って、宇宙エレベータのケーブルですか、そういうのにも繋がっていくとうれしいですね。

それと、事業化とかそういうフェーズなので余り関係ないのかもしれませんが、さっきMI (Materials Integration) の話もちよっと出ましたけれども、もう少し計算機の支援があっても良いのではないかなと私は感じました。

あと、これは申し上げる必要は無いのかもしれませんが、この報告書がこんなに立派で、これを作っている間にもう少し進められるかもしれない、余りこういうのをたくさん要求しない方が良いのではないかなと個人的に思いました。

【小野委員】 目標設定に対して着実に進んでいるということに感銘を受けましたし、あと実用化に対してやはり時間がかかるというのはその通りで、20年近く前からナノマテリアルの話

が出てきて、なかなか良い用途が無いねという話をずっとしていたのですけれども、やっというろいろな技術とか考え方がまとまってきて前に進み始めているという実感があります。進み始めると異常なスピードで進んでいくということもあると思いますし、横から参入してくる各国もあると思いますので、その辺で日本は品質にこだわりすぎると言われることもあります。その低品質・低価格と高品質低価格でいけるかとか、進めば進むほど次の問題が出てくるという、問題というか課題が出てくるということはあると思います。そちらの方は専門家の方にお任せするとして、先ほど CNT の有害性のお話が出まして、中西準子先生の $30\mu\text{g}/\text{m}^3$ という濃度で環境中の CNT をコントロールしましょうとありましたが、それは環境ではなく、許容濃度ですから個人暴露を管理しましょうというお話がありました。あの数値も一応 15 年で見直しということですので、あと 10 年ぐらいはあるかと思いますが、それまでにまた CNT 自体が変わっていくということもあると思います。ただ、目安としてはあの値は良い数字かなと思っております。アメリカの NIOSH (米国立労働安全衛生研究所) のように $1\mu\text{g}/\text{m}^3$ という数字 (EPA(米国環境保護庁)としてはその REL(推奨暴露限界値)で暴露が不合理なリスクを与えないと決定する事はできないので採用しないとしている。) になりますと、多分工場の方もそれは無理です、絶対実用化できませんという数字だと思います。少なくともその 30 は維持しできるように管理して頂くということが重要なと思います。

あと、問題は、ナノではなくてミクロンサイズですね、やはり 5μ から下の粉塵はすべて毒ですというふうに私どもは申し上げます。ですから、ナノが出るかどうかということだけではなくて、いろいろな粉塵、CNT だけではなくて例えば絶縁とかいろいろなところで結晶性シリカさらに毒性が高いですけれども、そういうものを使っているケースもあるかもしれません。太陽電池の方でそういうお話を聞いたのですけれども、トータルでやはり安全ということをこれからも考えて、何かあったらそれでポシャるということがあると思いますので、そういうことには十分気をつけて、さらに進んで頂きたいと思います。

あと、ナノテク展のときとかに NEDO のこのグループのいろいろな企業の方とお話をしていくと、やはり測っていただいた数字が自分たちの健康とどう繋がるのか、企業の中でのリスクコミュニケーション、そうしたことも重要で、気持ち良く働いて頂くためには、そういうことも必要なと思いました。そのツールを誰が作っていくのか、私どもであるべきなのかもしれませんが、そういう面でも実用化、事業化のときには十分ご注意頂きたいというように考えました。

【大野委員】 今回のプロジェクトはこれまでにナノカーボンで 20 年弱投資をしてこられた中で最終的な集大成の形として実用化を目指すというところのプロジェクトであり、その結果として得られています実用化に至った部材が幾つか事例として出されていて、全体としては非常に成功に終わっているのではないかなと思います。特に、産総研でこれまでに実現されたスーパーグロースのナノチューブのちょうどまいところをちゃんと実用化に結びつけていくというプロジェクトの立てつけで非常に成功しているのではないかなと思います。また、グラフェンにつきましてもやはり実用化というところを一番重要に思われていて、ロール to ロールの高速で作るという基本的な技術ですけれども、実用化としては非常に重要な技術を開発しました。性能と高速製造を同時に実現されていて、素晴らしい成果がやはり出ているのではないかなと思います。

ただ、今回実用化に至った事例というのはナノカーボンの可能性のごく一部のところか

などと思います。特にエレクトロニクスの部分はようやく半導体のナノチューブが高純度に分離できているというところですので、これからこのエレクトロニクスの部分、どうやってナノカーボンを実用化に結びつけるか、今後そういったところも是非継続してご検討されると良いのかなと思います。

【井上委員】 まず、委託事業の方についてなのですが、全体的に非常に研究開発成果が優れていると思いました。特に CNT・PEEK (Poly Ether Ether Ketone) 材の複合材料や、分散状態の評価手法、またグラフェンのロール to ロールの合成など、世界的に見ても技術レベルは非常に高いということに感銘を受けました。

また、排出、暴露評価技術の評価につきましても、非常に重要かつ効果的な情報が提供されていると感じました。ただし、委託事業を受けられた今回の TASC (Technology Research Association for Single Wall Carbon Nanotubes : 単層 CNT 融合新材料研究開発機構) の皆さんは、このナノカーボン分野の日本のみならず世界的なリーディングリサーチャーという位置付けだと私は思うのですが、今回は主に TASC の取組の中では単層カーボンナノチューブの情報が非常に多かったように思いました。一方で、世界的なユーザーとしては多層カーボンナノチューブの方もそれなりにあると思いますし、海外のカーボンナノチューブの製造とか流通とかではマルチとかいろいろなタイプのカーボンナノチューブがありますので、国内の CNT のみならず、いろいろなタイプのカーボンナノチューブを使われる企業というのは日本国内にまだ多くあります。そういった企業に今回のような情報がシングルウォールのみならずいろいろなタイプの、つまり製造者が替わればカーボンナノチューブというのは全く別の化学物質になりますので、情報が与えられると良いなと思いました。すなわち、今回は主に特定の製品に関するこのタイプこのタイプといったような情報がありましたが、今後は例えばユニバーサルな情報と申しますか、カーボンナノチューブの製造者によらずこういうタイプ、こういうものがこういうふうな状況になるというような、評価法や、安全性ですとか分散性など、そういった開発指針が得られると良いなと感じました。

一方、助成事業の方なのですが、参加企業の多くが CNT を使ってもコストパフォーマンスの折り合いがつくものを大分見つけ出されているように感じました。そういうところはすばらしいと思いました。それというのは、これまでのカーボンナノチューブそのものの製造に関して、コストダウンに関する長い取組が功を奏していることを感じましたので、今後より大きな期待ができると思っております。

【吾郷委員】 ナノカーボンの実用化を目指しながら、安全性、分析、それから合成加工、応用開発まで広い範囲で研究をなされていて、とてもよいマネジメントがなされていたと考えます。特に実用化がどんどん見えてきていて、とてもすばらしいと思います。それから、テーマに関しましては、先ほどお話ありましたように、カーボンナノチューブかなり占めていて、もうちょっとグラフェンも、タイミングもあるかもしれないですが、入ったほうが良かったのかなという気もしました。

それから、材料開発はご存じのように長期間にわたる研究開発が必要なので、19 年にわたる長期的な支援はすばらしいとも思いました。ぜひ今後も NEDO からサポートを継続して、さらに研究開発を続けてもらったらと思います。

あと 1 点だけ、希望を言わせていただきますと。大学への運営費交付金というのが減ってきてまして、サイエンスにおける日本のプレゼンスはどんどん低下しています。ですので、今日も質問させてもらったのですが、すばらしい成果があるので、できれば論文も是非出してもらって、日本のステータスというのですか、が見えるようにして頂けたらと思います。も

ちろん企業と共同研究されていますので容易ではないということは分かりますけれども、こちらも評価してもらいたいと思います。

【齋藤分科会長代理】 カーボンナノチューブのような比較的新しい材料ですが、でもこれが世に広く認知されてもう 25 年以上たっています。こういう新材料は性能に優れていますが、実際にものにするというのは非常に難しいということは私も良く知っておりまして、既存の競合技術といかに戦っていくかということがあります。このプロジェクトも以前からのプロジェクトから数えますともう随分たっているわけで、着実に基礎から実用のレベルまでいっているという印象を受けました。

今日の報告を頂いたいろいろな個々のテーマについても、概ね目標を達成されていると感じました。ナノチューブとかグラフェンを中心にした工業製品、これを応用した製品を実用・事業化していくためには国内だけではなくて、国際的にも競争していかなくてはならないわけですが、その場合多分国際標準というのが重要になってくると思います。特に今回のプロジェクトでナノリスクについても考慮されて進められているので、とりあえずはスーパーグロース法 (Super Growth method) のものでも DIPS 法 (Direct injection pyrolytic synthesis) のものでも良いのですが、こういうものはこういう性能、安全性があるということをしっかり示されれば、それがスタンダードになっていくと思いますので、是非これからも応用を目指した研究をしていって頂きたいと思います。

【近藤分科会長】 まず、本日の評価委員会の開催に向けましてご準備いただきました湯村 PL はじめ関係者の皆様のご尽力にまずお礼申し上げたいと思います。そのおかげで非常に素晴らしい内容を分かりやすくご説明いただいたと思います。私を含め全委員もその内容に基づいて適切な質疑応答をさせて頂けたと思っております。

また、この事業に参画頂きました企業におかれまして、このタイトルにあります実用化・事業化に向けた課題も非常にクリアにされた上での取組であったというように私ども理解しております。したがって、この事業の大きな目的であります新しい産業を創出するという観点からは、それに本当に直結するような事業成果を今日ご紹介頂けたと思っております。これは産総研をはじめ、皆様のもともとの基礎研究の成果がこの実用化に直結していることを示しているものだと思っております。それは非常にうれしく思っております。

他方、きょう幾つかのアイテム、アプリケーションをご紹介頂いたわけでございまして、恐らく世界的にも優れたトップデータのご紹介だったと思います。言い換えますと、そこに答えがあるということを示されていますので、やはり後発部隊はそこを目指してくるわけですので、要はフロンティアとしてのアドバンテージを生かして、できるだけ早く実用化・事業化に結びつけて頂きたいと強く願っております。

それでは、推進部長並びに湯村 PL から一言ございましたらお願いしたいと思います。

【吉木部長】 きょうは 1 日有難うございました。いろいろ我々のプロジェクトもこのプロジェクトに限らず、CNT 関連で 19 年間投資して参りましたので、このところ事業化というのがポツポツ出てきております。我々としても記者会見なり、そういうリリースなりさせて頂いて、この成功例をどんどん広げていくことをやっていきたいと思っておりますので、今後ともフォローをしていきます。皆様にもいろいろご意見頂くこともあろうかと思っておりますので、今後ともどうぞ宜しくお願い致します。

【湯村 PL】 本日は長時間にわたりご審査いただき、有難うございました。ナノチューブのプロジェクトは 1998 年から 19 年間経産省、NEDO のプロジェクトとして続いてまいりました。

昨年度で終わりました、公的な支援でのプロジェクトはナノカーボンという形ではありませんが、民間資金を導入した新たな形態の実用化、これこそが本当の実用化だと考えており、これが今日ご紹介しました中にありますようにいろいろな動きがあります。ベンチャーもそうですし、CNT アライアンス、そして冠研究所、産総研の中でそういう民間資金を導入しながら新たなそういった動きがありますし、個々の参加頂いた企業の中で自社事業としての実用化も進んでおります。そして、助成事業の中でも幾つかの有望なものが出ております。公的なプロジェクトとしては昨年度で終わりましたが、実用化に向かっては、これから様々な展開が始まっていくと思います。ここ数年のうちにそれらの成果が皆さんにも見ていただけるものだと思っております。ぜひご期待ください。本日は有難うございました。

【近藤分科会長】 どうも有難うございました。それでは、以上をもちまして議題8を終了します。

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 5-1 プロジェクトの概要説明資料（公開）
- 資料 5-2 プロジェクトの詳細説明資料（公開）
- 資料 6 プロジェクトの詳細説明資料（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

以上