

「低炭素社会を実現する革新的カーボンナノチューブ  
複合材料開発プロジェクト」  
中間評価報告書（案）概要

目 次

|                |    |
|----------------|----|
| 分科会委員名簿 .....  | 1  |
| プロジェクト概要 ..... | 2  |
| 評価概要（案） .....  | 8  |
| 評点結果 .....     | 14 |

## はじめに

本書は、第31回研究評価委員会において設置された「低炭素社会を実現する革新的カーボンナノチューブ複合材料開発プロジェクト」（中間評価）の研究評価委員会分科会（第1回（平成24年7月20日））において策定した評価報告書（案）の概要であり、NEDO技術委員・技術委員会等規程第32条の規定に基づき、第34回研究評価委員会（平成25年1月15日）にて、その評価結果について報告するものである。

平成25年1月

独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構  
研究評価委員会「低炭素社会を実現する革新的カーボンナノチューブ  
複合材料開発プロジェクト」分科会  
（中間評価）

分科会長 阿知波 洋次

独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 研究評価委員会

「低炭素社会を実現する革新的カーボンナノチューブ

複合材料開発プロジェクト」(中間評価)

分科会委員名簿

(平成24年7月現在)

|            | 氏名                   | 所属、役職                                      |
|------------|----------------------|--|
| 分科会長       | あちば ようじ<br>阿知波 洋次    | 首都大学東京 大学院理工学研究科<br>客員教授                   |
| 分科会長<br>代理 | さいとう りいちろう<br>齋藤 理一郎 | 東北大学 大学院理学研究科 教授                           |
| 委員         | かわらだ ひろし<br>川原田 洋    | 早稲田大学 理工学術院 教授                             |
|            | かんの じゅん<br>菅野 純      | 厚生労働省 国立医薬品食品衛生研究所<br>安全性生物試験研究センター 毒性部 部長 |
|            | すみた ゆうぞう<br>角田 裕三    | 有限会社スミタ化学技術研究所 代表取締役                       |
|            | とよくに しんや<br>豊國 伸哉*   | 名古屋大学 大学院医学系研究科 教授                         |
|            | にしの ひとし<br>西野 仁      | 大阪ガス株式会社 エネルギー技術研究所<br>シニアリサーチャー           |

敬称略、五十音順

注\*：実施者の一部と同一大学であるが、所属部署が異なるため（実施者：名古屋大学 大学院理学研究科）「NEDO 技術委員・技術評価委員規程(平成23年7月7日改正)」第34条（評価における利害関係者の排除）により、利害関係はないとする。

## プロジェクト概要

|                    |   | 最終更新日    | 平成 24 年 7 月 5 日 |
|--------------------|---|----------|-----------------|
| プログラム<br>(又は施策)名   | ナノテク・部材イノベーションプログラム   |          |                 |
| プロジェクト名            | 低炭素社会を実現する革新的カーボンナノチューブ複合材料開発プロジェクト   | プロジェクト番号 | P10024          |
| 担当推進部<br>/担当者      | 電子・材料・ナノテクノロジー部 担当者氏名 榎田 毅彦 (平成 24 年 7 月現在)<br>電子・材料・ナノテクノロジー部 担当者氏名 鍵谷 圭 (平成 22 年 10 月～平成 23 年 3 月)  |          |                 |
| 0. 事業の概要           | <p>単層カーボンナノチューブ (以下 CNT という) は、超軽量・高強度で、熱の伝導性が極めて高く、導体、半導体、絶縁体となる等、多くの優れた特性を持つ。様々な分野の既存の素材と融合・組み合わせることにより、従来にはない機能や特徴を持つ新機能材料となることが期待できる。本プロジェクトでは、単層 CNT の大量・大面積合成技術の開発、融合材料の開発に必要な形状、物性の制御、分離精製技術などの基盤技術の開発を行う。また、新材料普及の上で必要なナノ材料の簡易自主安全管理等に関する技術の開発を併せて行う。これらの融合基盤技術の成果と、研究開発動向等を踏まえて、新材料の実用化に向けた応用開発を行う。</p>  |          |                 |
| I. 事業の位置付け・必要性について | <p>本プロジェクトは平成 22 年度に経済産業省からの委託事業「低炭素社会を実現する超軽量・高強度融合材料開発プロジェクト」として開始し、平成 23 年度からは NEDO 委託事業「低炭素社会を実現する革新的カーボンナノチューブ複合材料開発プロジェクト」として引き継がれ実施している。「2020 年 CO<sub>2</sub> の 25%削減の達成に向けたグリーンイノベーションへの取り組み強化」の政府方針に従い、低炭素化社会を実現するという世界に通ずる社会的要請に応え、CNT と既存材料との複合研究を通じ、広く適応可能な超軽量・高強度・高機能材料等の研究開発を促進し、新産業立ち上げの実現を図る。</p>  |          |                 |
| II. 研究開発マネジメントについて |   |          |                 |
| 事業の目標              | <p>◎基盤研究開発における目標(委託)</p> <p>平成 23 年度中に、研究開発目標の一部の特性あるいは機能を有する物質あるいは材料について、試用に供し得る段階まで作製し、企業、大学等の外部機関に対して試料を提供可能とするものとする。また平成 26 年度末までに単層 CNT と既存材料とを複合化し、新規な材料を開発する上で必要な基盤技術(単層 CNT の形状、物性等の制御・分離・評価技術、単層 CNT を既存材料中に均一に分散する技術)を確立する。さらに、CNT の産業応用を進めるため、ナノ材料簡易自主安全管理技術を確立する。なお、プロジェクト終了時までには達成すべき最終目標の詳細は、下記研究開発項目①～③に示す。</p> <p>○研究開発項目①：単層 CNT の形状、物性等の制御・分離・評価技術の開発</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・直径：単層 CNT において制御可能範囲 0.8～3.0nm (制御分解能 0.1nm) の直径制御性。</li> <li>・長さ：1μm 以下、1～10μm、及び 10μm 以上 5mm 以下の長さ制御。</li> <li>・表面積：2000m<sup>2</sup>/g 以上の比表面積。</li> <li>・結晶性：ラマンスペクトルの G-band と D-band の強度比 G/D (グラファイト性の物質の結晶性を示す指標) が 300 以上。</li> <li>・純度：金属触媒含有率 200ppm 以下。</li> <li>・配向性：配向係数(無配向で 0、完全配向で 1) を、0 から 0.8 (分解能 0.1) で制御。</li> <li>・集積状態：制御密度範囲が 0.005g/cm<sup>3</sup> から 0.1g/cm<sup>3</sup> (精度 0.01g/cm<sup>3</sup>) の集積状態。</li> <li>・サイズが 200mm×200mm 以上 (または 8 インチウエハー相当) の板状単層 CNT。</li> <li>・位置精度 1μm 以下、厚み精度 50nm 以下の成形加工された板状単層 CNT 配列化技術。</li> <li>・位置精度 1μm 以下、厚み精度 100nm 以下の成形加工された板状単層 CNT 配列化技術。</li> <li>・金属型及び半導体型の単層 CNT を、それぞれ分離純度 95%以上、収率 80%以上で、10g/日以上の処理能力で分離できる技術。</li> <li>・直径及びカイラル指数評価技術に加え、長さ分布を広範囲 (100nm～10μm) にわたって、迅速に評価する手法、更には、単層 CNT 中に含まれる吸着分子、原子空孔、転位及び不純物を検出する単層 CNT の構造評価技術。</li> <li>・単層 CNT 集合体の熱・電気・機械的特性・分散性と単層 CNT 集合体を構成する単層 CNT の形状 (直径・長さ・比表面積・結晶性 (構造欠陥量) ・純度・配向性・集積状態) との関係の解明。</li> </ul> <p>○研究開発項目②：単層 CNT を既存材料中に均一に分散する技術の開発</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ラマン分光法で評価した単層 CNT の結晶性 (G-band と D-band の強度比 G/D) が分散前の状態よりも劣化しない条件で、水や有機溶媒中に単層 CNT を単分散させる技術。</li> </ul> |          |                 |

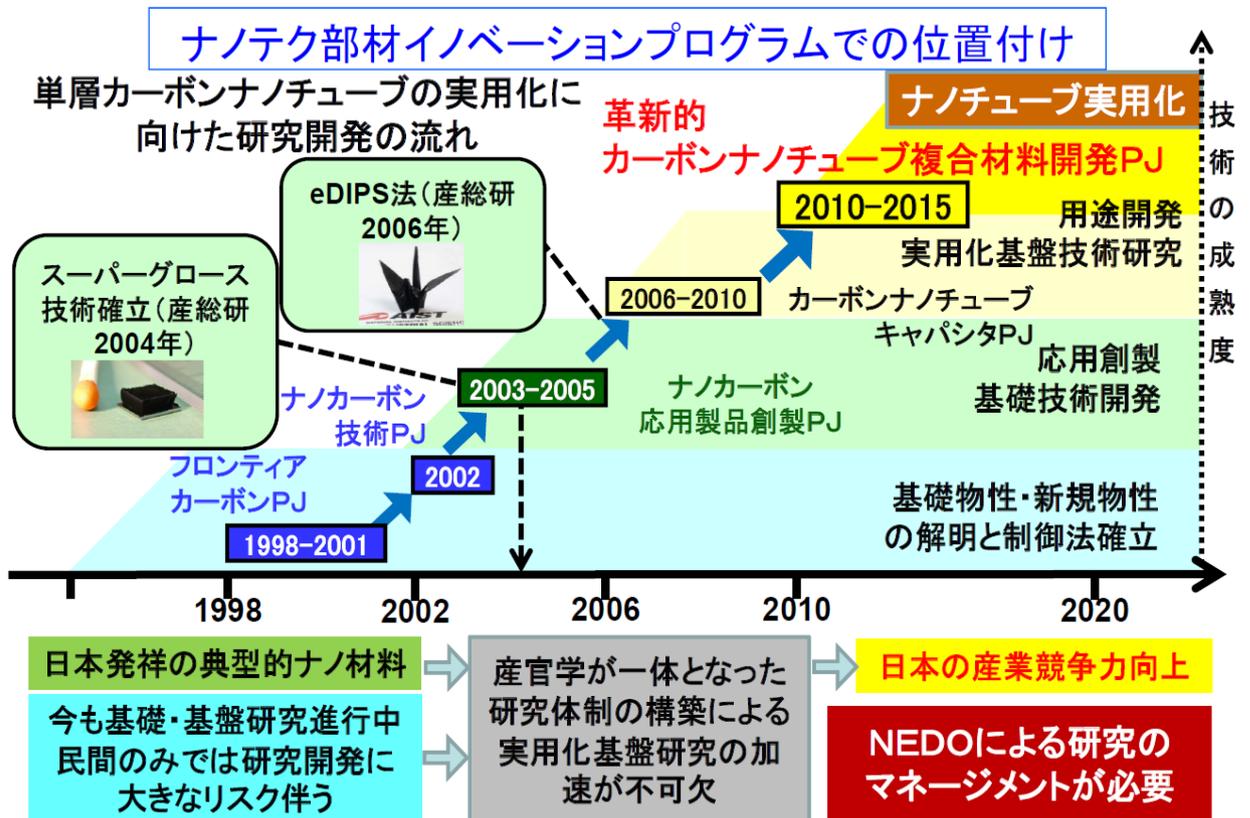
|                   |  |              |              |              |              |              |  |
|-------------------|--|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--|
| <p>事業の目標(つづき)</p> | <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 収率 90%以上で、20%の単層CNT重量充てん率を持ち、網目状かつ均一な単層CNTの分散複合材料を製造する技術。</li> <li>・ <math>10^{-5} \Omega \text{cm}</math> 台の体積(電気)抵抗率を有する、板状単層CNT・金属複合材料。</li> <li>・ 直径 <math>0.02 \mu\text{m}</math> 以下の微粒子が担持された板状単層CNT・微粒子複合材料。</li> <li>・ 樹脂の5倍の力学強度を有する板状単層CNT・樹脂複合材料。</li> <li>・ 実際の用途展開を想定した樹脂・ゴム等に、熱伝導率を10倍以上、電気伝導率を <math>10^{10}</math> (100億)倍以上改善するのに十分な量の単層CNTを樹脂・ゴム中に均一に分散する技術。</li> <li>・ 導電性ゴムにおいて導電性 <math>100 \text{ S/cm}</math>。</li> <li>・ 熱伝導率 <math>1000 \text{ W/mK}</math> 以上(アルミニウムの約5倍、銅の約3倍となる)を得られるのに十分な量の単層CNTを金属中に均一に分散し、配向する技術。</li> <li>・ 高分子系材料に対して濃度1~5%程度で単層CNTを紡糸に適する高分子系材料溶液中に分散する技術。</li> </ul> <p>○研究開発項目③：ナノ材料簡易自主安全管理技術の確立</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 動物実験に依存しないCNT等ナノ材料の有害性評価手法(簡易手法)を開発。</li> <li>・ 安価かつ簡便な自主安全性評価のために最低限必要な試験項目や試験系設定、手法確立。</li> <li>・ CNT等ナノ材料の実環境(製造から廃棄まで)におけるばく露を迅速かつ簡便に評価するための手法確立。</li> <li>・ CNT等ナノ材料の安価かつ簡便な自主安全性評価手法確立。</li> <li>・ CNT等ナノ材料生産事業者の自主安全管理手法(一般手法)確立。</li> <li>・ 具体的なナノ材料に適用した安全性管理に関する事例(ケーススタディ)報告書作成。</li> <li>・ 国際的な機関(OECD、ISO等)の動向の把握と、研究開発成果のインプット。</li> </ul> <p>◎応用研究開発における目標(助成)</p> <p>単層CNTを用いた複合材料を市場に提供し、その評価を受ける。なお、プロジェクト終了時までに達成すべき最終目標の詳細は、下記研究開発項目④~⑥に示す。</p> <p>○研究開発項目④：高熱伝導率単層CNT複合金属材料の応用研究開発</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 金属と単層CNTの複合化により得られる高熱伝導率複合金属材料を用い、放熱部材に応用するための技術開発を実施する。</li> </ul> <p>○研究開発項目⑤：導電性高分子複合材料の開発</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 高分子材料とCNTを複合化し、本来の物性を保持しつつ、新機能を有する材料及びそれを用いたアプリケーションを開発する。</li> </ul> <p>○研究開発項目⑥：単層CNT透明導電膜の開発</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ ITOを代替できる透明導電膜を、単層CNTを用いて開発する。またこの部材を用いたアプリケーションに適応した仕様の透明導電膜での事業化の見通しを得る。</li> </ul> <p>◎基盤研究開発における目標(委託)</p> <p>CNTと同様のナノ材料であるグラフェンの産業応用の可能性を見極めるための基盤研究を実施する。プロジェクト終了時までに達成すべき最終目標を研究開発項目⑦に示す。</p> <p>○研究開発項目⑦：グラフェン基盤研究開発</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 層数を制御した上で、単結晶グラフェン相当の特性を有する <math>5 \text{mm} \times 5 \text{mm}</math> サイズの高品質グラフェンの作製技術。</li> <li>・ 他の既存材料と比較検討した上で、グラフェン利用が有望な用途の抽出。</li> </ul> |              |              |              |              |              |  |
| <p>事業の計画内容</p>    | <p>主な実施事項</p>  | <p>H22fy</p> | <p>H23fy</p> | <p>H24fy</p> | <p>H25fy</p> | <p>H26fy</p> |  |
|                   | <p>① 単層CNTの形状・物性等の制御・分離・評価技術の開発</p>  |              |              |              |              | →            |  |
|                   | <p>② 単層CNTを既存材料中に均一に分散する技術の開発</p>  |              |              |              |              | →            |  |

|   |                                       |   |                |                |                 |                   |             |  |
|---|---------------------------------------|---|----------------|----------------|-----------------|-------------------|-------------|--|
|   | ③ ナノ材料簡易<br>自主安産管理<br>技術の確立           |   |                |                |                 |                   |             |  |
|   | ④ 高熱伝導率単<br>層CNT複合<br>金属材料の応<br>用研究開発 |   |                |                |                 |                   |             |  |
|   | ⑤ 導電性高分子<br>複合材料の開<br>発               |   |                |                |                 |                   |             |  |
|   | ⑥ 単層CNT透<br>明導電膜の開<br>発               |   |                |                |                 |                   |             |  |
|   | ⑦ グラフェン基<br>盤研究開発                     |   |                |                |                 |                   |             |  |
|   | 会計・勘定                                 | H22fy   | H23fy          | H24fy          | H25fy           | H26fy             | 総額          |  |
| 開発予算<br>(会計・勘定別<br>に事業費の実<br>績額を記載)<br>(単位:百万<br>円) | 一般会計<br>(本予算/補正)                      | 1,500 /<br>0  | 600 /<br>1,840 | 950 /<br>1,265 | 1,743/0<br>(予定) | 1,703 / 0<br>(予定) | 6,496/3,105 |  |
|   | 特別会計                                  |   |                |                |                 |                   |             |  |
|   | 加速予算<br>(成果普及費を含<br>む)                |   |                |                |                 |                   |             |  |
|   | 総予算額                                  | 1,500   | 2,440          | 2,215          | 1,743           | 1,703             | 9,601       |  |
|   | (委託)                                  | 1,500   | 2,440          | 1,850          | 1,440           | 1,440             | 8,670       |  |
|   | (助成)<br>: 助成率 1/2                     |   |                | 365            | 303             | 263               | 931         |  |
|   | (共同研究)<br>: 負担率△/□                    |   |                |                |                 |                   |             |  |
| 開発体制  | 経産省担当原課                               | 産業技術環境局 研究開発課   |                |                |                 |                   |             |  |
|   | プロジェクト<br>リーダー                        | <ul style="list-style-type: none"> <li>・プロジェクトリーダー: 湯村 守雄 (産業技術総合研究所)</li> <li>・サブプロジェクトリーダー: 中西 準子 (産業技術総合研究所)<br/>島 賢治 (産業技術総合研究所)</li> <li>・グループリーダー: 本田 史郎(東レ)、上島 貢 (日本ゼオン)、<br/>岸本 充生 (産業技術総合研究所)</li> <li>・アドバイザー: 飯島 澄男</li> </ul> |                |                |                 |                   |             |  |

|            |  |  |
|------------|--|--|
|            | 委託先（*委託先が管理法人の場合は参加企業数および参加企業名も記載）   | <p>【研究開発項目①、②、③】<br/>委託先：技術研究組合単層CNT融合新材料研究開発機構<br/>（東レ、帝人、日本ゼオン、住友精密工業、日本電気、産業技術総合研究所）<br/>名古屋大学、九州大学</p> <p>共同研究先：北海道大学、大阪府立産業技術総合研究所、産業医科大学、東京大学、岡山大学、大阪大学</p> <p>【研究開発項目④、⑤、⑥】<br/>助成先：東レ、日本ゼオン、住友精密工業、富士化学、東海ゴム工業アルプス電気</p> <p>共同研究先：産業技術総合研究所、九州大学、信州大学、諏訪東京理科大学、ベクセルテクノロジーズ</p> <p>【研究開発項目⑦】<br/>委託先：</p> |
| 情勢変化への対応   | <p>平成 23 年 3 月の大震災被災により設備導入遅れ、開発遅れが発生し、平成 22 年度計画は平成 23 年度 6 月まで延期となった。</p> <p>震災による設備補修、インフラ補修などの業務が発生、また東京電力管内の電力事情から、研究開発項目②「単層CNTを既存材料中に均一分散する技術の開発」のうち、金属との複合化技術開発に用いる放電プラズマ焼結装置を産総研つくば事業所から大阪府立産業技術総合研究所に移設実施するなどにより、研究計画が数カ月遅れとなった。後半研究開発を促進し遅れをほとんど取り戻しているが、一部設備導入が遅れ次年度繰越しとなっている。</p> <p>平成 23 年度には、研究開発項目④高熱伝導率単層CNT複合金属材料の応用研究開発、研究開発項目⑤導電性複合材料の開発、研究開発項目⑥単層CNT透明導電膜の開発に関する助成事業の公募、採択を実施し、本プロジェクトの応用研究開発の加速を図った。</p> <p>平成 24 年度には、研究開発項目⑦グラフェン基盤研究開発に関する委託事業の公募、採択を実施し、CNTと同じ炭素材料であるグラフェンの基盤研究開発の強化を図った。</p> |  |
| 中間評価結果への対応 | —  |  |
| 評価に関する事項   | 事前評価   | 平成 22 年度実施 担当部 電子・材料・ナノテクノロジー部   |
|            | 中間評価   | 平成 24 年度 中間評価実施  |
|            | 事後評価   | 平成 27 年度 事後評価実施予定  |

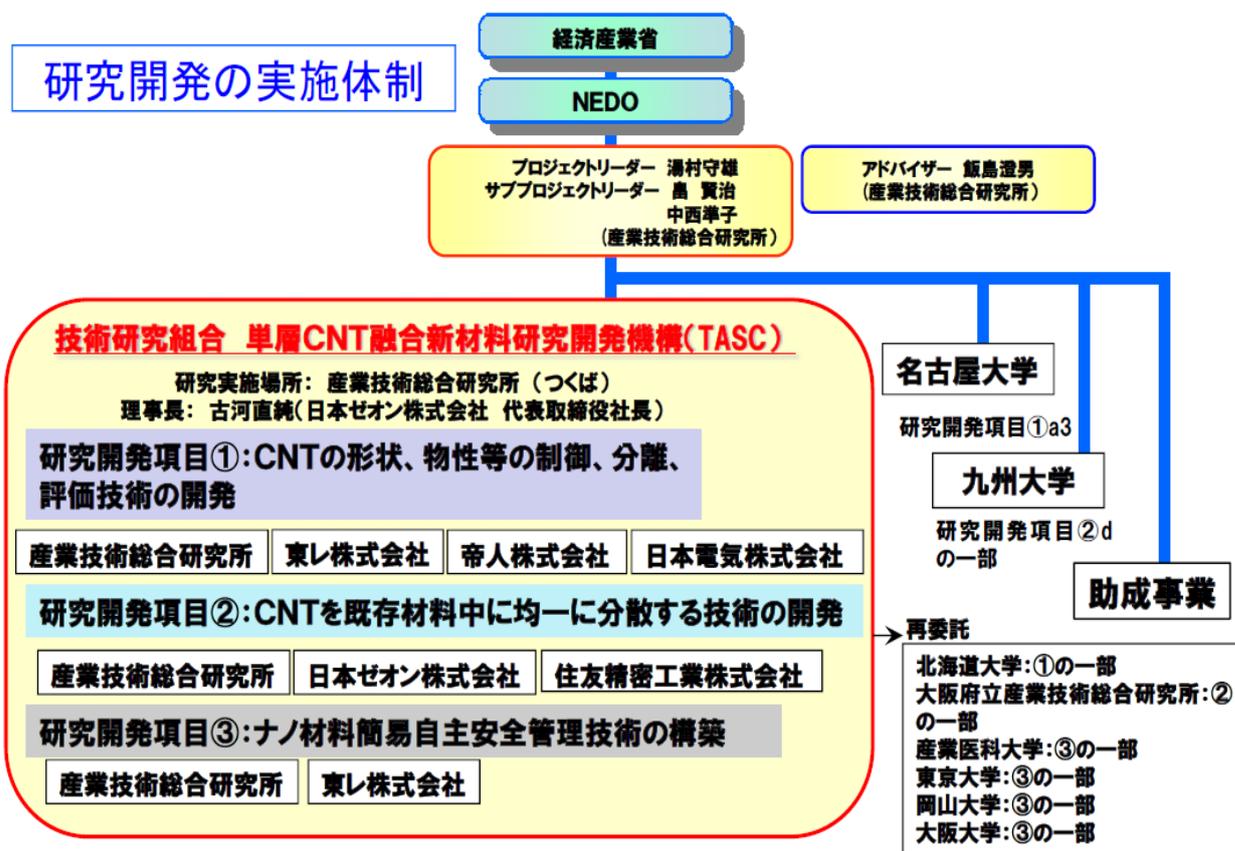
技術分野全体での位置づけ

(分科会資料6より抜粋)



「低炭素社会を実現する革新的カーボンナノチューブ  
複合材料開発プロジェクト」

全体の研究開発実施体制



# 「低炭素社会を実現する革新的カーボンナノチューブ

## 複合材料開発プロジェクト」(中間評価)

### 評価概要 (案)

#### 1. 総論

##### 1) 総合評価

SWCNT (単層カーボンナノチューブ) は、革新的先端材料としてその潜在的可能性を実用化、製品化することが強く望まれてきた新物質である。本プロジェクトでは、SWCNT 合成にて日本の優位性が示される eDIPS 法および SG (スーパーグロース) 法の高精度化と、合成された SWCNT を他の物質と複合化するための分散技術を開発しており、その技術は世界をリードしている。実用化への技術展開を促進する体制も精緻に構築されており、全体を統括する国のプロジェクトとして意義あるものとなっている。

ナノ材料簡易自主安全管理技術は、SWCNT 分散法の確立と同暴露評価手法の開発に顕著な成果が認められた。一方で、SWCNT のヒトへの暴露を最低限に管理するための評価手法を完成していくのに向けて、さらに何が必要か、項目や方法論の検討が必要である。たとえば、早期にバリデーションのための動物実験を実施することが望まれる。

##### 2) 今後に対する提言

広い用途展開のため、今後も材料の特性向上が重要であり、同時に、一層の低コスト製造のための技術開発が重要である。日本の技術の優位性を確保する観点からは、単層という形にこだわらず、機能重視で 2-3 層の細径 CNT も取り込む形で知的財産を確保した方が賢明である。国際的に認められることは、国際競争において重要である。学会や論文発表以外にも、さらなる波及効果を図るべく、Web ページの内容をより充実させ、英語の表記を増やすべきである。また、YouTube を使うなど世界にアピールする方法も考えてみてはどうか。

SWCNT のヒトへの暴露の影響は、今後の SWCNT の展開において必須であり、更なる検討と検証が強く望まれる。ヒトの病気を熟知した医学系出身のメンバーのより積極的な関与、あるいはアドバイザーを務める体制があった方がよい。

## 2. 各論

### 1) 事業の位置付け・必要性について

SWCNT を安価で大量合成を可能とする技術は、未だ確立していない。国が直接関与して、大量合成法の確立や製品化に直結する知見を蓄積する本研究プロジェクトは妥当であり、その効果が十分期待できる。新規材料開発に必要な基盤技術である SWCNT 形状・物性制御・分離・評価技術、SWCNT の分散技術、および安全管理技術であるナノ材料簡易自主安全管理技術は、民間活動のみでは不可能であり、NEDO の関与が必要である。ナノテクノロジー時代の『ものづくり大国』を目指す日本としては、キーマテリアルである高品質 SWCNT を世界に先駆けて量産化し、次世代高付加価値製品の開発を産業化する責務があり、「NEDO としての事業位置付け、その事業目的」は極めて妥当である。

### 2) 研究開発マネジメントについて

CNT 関連材料について国際的な優位性を維持、独走するために高い目標値を掲げており、高く評価できる。人的配置や組織の構成は適切であり、それぞれの役割分担は正確に理解されている。知財マネジメントの方針は明確に示されており、ユーザーの産業財産権に対しても柔軟に対応できるサンプル提供体制を構築している。

本プロジェクトにおける適切な研究開発マネジメントにより金属半導体分離など各種分離技術が開発されていることを踏まえると、今後それらの分離技術によって分離された特定の構造を有する CNT における有望な応用・製品化の見込みが得られれば、CNT の潜在的可能性をすべて引き出すための目標設定として SWCNT のカイラリティ依存性を強調した CNT 作製法の開発や単一カイラリティ CNT を用いた応用、製品化の目標設定も必要になると想定される。安全性評価の面からは、NEDO「ナノ粒子特性評価手法の研究開発」プロジェクトで実施した動物実験結果の引用や、新たに行う気管内注入試験を踏まえたうえで、*in vitro* 試験の位置付けを明確にすべきである。

### 3) 研究開発成果について

多くの項目で中間目標は達成しており、高く評価できる。多くの成果が学術的にも独創的であり、世界初あるいは世界最高水準のものが多い。さらに、最終目標に向け、連続性のある適切な中間目標設定がなされており、最終目標の達成可能性は高い。重要な成果は、世界的な学術雑誌に報告されており、適切に情報発信がなされている。学会での発表や論文の発表は、全般に十分に行われている。また、サンプル提供、特に知的財産権の扱いは公平である。

今後、SWCNT の中でトップというだけで満足せず、競合材料との客観的な

比較により、SWCNT 技術の現状を明らかにしてほしい。さらに、eDIPS 法と SG 法の 2 つの異なった手法により作成された SWCNT の特性の違いに関して、更なる検証や考察をしてほしい。

#### 4) 実用化の見通しについて

eDIPS 法と SG 法により大量合成されたそれぞれの SWCNT の特性を十分生かした製品化の実用化イメージは理解できる。対抗となる MWCNT (複層カーボンナノチューブ) 等の情報を広く収集しており、また、コストと市場について意識したうえで実用化の見込みが立てられている。合成手法の大型化に伴い、若手研究者の従事者は増大しており、今後、民間における製品化の開発事業において、大いに貢献するであろう。

また、実用化を考えた際、SWCNT の合成条件は狭い範囲であり、2-3 層の細径 CNT (10nm 径) の混入も許容すれば合成条件ははるかに楽になり、実用化のハードルも低くなる。材料開発における設定目標は、高い物性値が具体的に示されているが、最終目標に向けては、物性値と具体的用途の関係を明らかにして欲しい。一方、SWCNT の安全性評価について国際的に認められるには、バリデーションが必要であるため、*in vivo* の試験を踏まえた研究開発が必要である。

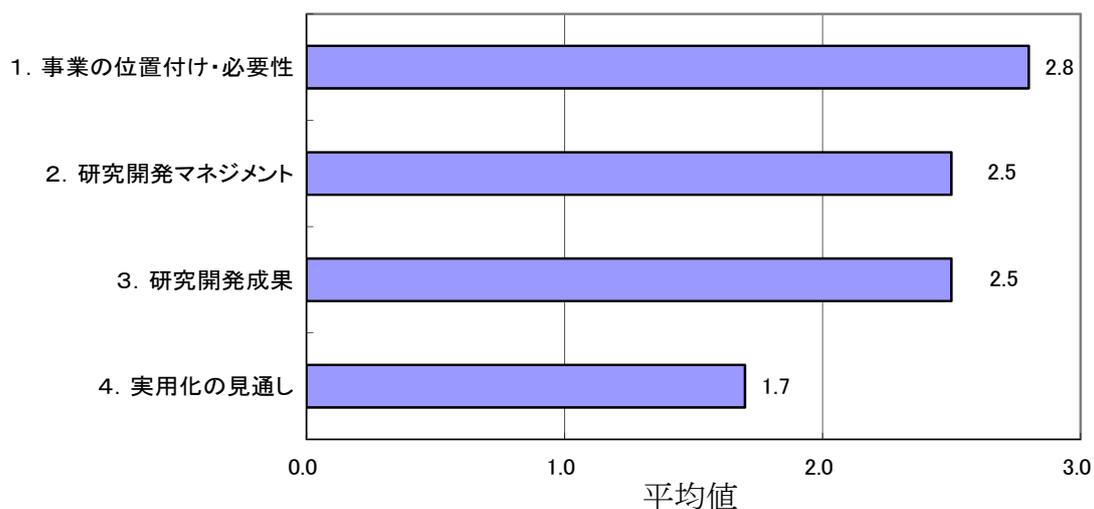
## 個別テーマに関する評価

|                              | 研究開発成果について   | 実用化の見通しについて今後の提言  | 今後に対する提言  |
|------------------------------|--|---|---|
| 単層 CNT の形状、物性等の制御・分離・評価技術の開発 | <p>eDIPS 法および SG 法による SWCNT の大量合成は、国内外において本プロジェクト以外では全く行われておらず、本プロジェクトの国内外における優位性はきわめて明確であり、大量合成法の確立のため、種々の目標値の達成度は秀逸であり、中間目標は十分達成している。eDIPS 法では、SWCNT の直径、長さ、結晶性において目標値を達成し、高い結晶性による電気伝導性の向上を得ている。SG 法では、直径、長さ、比表面積、純度、配向性、集積状態において目標値を達成している。さらに、助成事業との連携により、明確な用途展開も図り、高いレベルのシーズ技術をうまく展開している。</p> <p>ただし、SWCNT のカイラリティ分布（半導体、金属を含めて）の各合成条件下におけるキャラクタリゼーションが不足しており、更なる最適化の取り組みが効果的である。また、技</p> | <p>eDIPS 法、SG 法の両手法による SWCNT を用いた実用化イメージは鮮明であり、目標値の達成度は十分である。eDIPS 法 CNT は次世代デバイス用途に、SG 法 CNT は先端複合材料用途に、出口の方向性は見えてきた。Na イオンの濃度調整によるゲルクロマトグラフィーにて半導体と金属の分離技術が進展している。また、Na イオンが問題となる半導体デバイスへの応用を念頭にいた非イオン性界面活性剤による無担体電気泳動法での分離技術も出口イメージがしっかりしている。最終目標に向けた出口イメージも明確であり、引き続き研究開発が行われる見通しは明快である。</p> <p>一方、出口の方向性は見えてきたが、時間軸を入れた明確なターゲット設定をして注力する時期にある。</p> | <p>より一段高い目標を掲げても良いのではないかと。例えば、単一カイラリティチューブ合成法の開発などは一つの候補である。また、金属中の分散技術である放電プラズマによる熱処理での SG 法 CNT の結晶性向上によるさらなる展開を期待したい。</p> <p>一層の用途開発のため、現在進めている助成事業での検討やサンプル提供を継続、発展させることが重要である。さらに、民間企業が有する固有の技術やノウハウを活用すべきであり、知財や対価等に柔軟に対応してほしい。</p> |

|                                  |   |   |   |
|----------------------------------|---|---|---|
|                                  | <p>術移転を複数社にして競争させた方が、社会への還元効果が高くなるのではないか。無制限に提供させる必要はないが、例えば TASC に参画していない国内企業にも提供する機会を与えるのであれば、公平であると考えられる。</p>  |   |   |
| <p>単層 CNT の既存材料中均一に分散する技術の開発</p> | <p>個々の分散技術の結果は、他の CNT 複合化技術と比べると非常に高い水準にあり、溶媒中に分散する技術、SWCNT 網目構造制御技術、板状 SWCNT 複合材料、ラテックスを用いた分散技術などは高く評価できる。SWCNT が持つ固有の高い物性を有効に発現させる手法が着々と開発されている。</p> <p>複合材料の性能については、wt% だけでなく、ナノチューブの品質、長さ、絡み具合までも数値化した量などで規格した横軸を用いて評価することを期待したい。</p> | <p>それぞれの複合化項目において、実用化までのイメージがある。活発な成果報告とサンプル提供によりユーザーの開拓に注力し、商品イメージの明確化に積極的に取り組んでいる。低損失な高密度配線材料、半導体デバイスの放熱基板として、今後の技術の発展が期待でき、波及効果も大きい。また、SG 法 CNT の無機電極材料や金属材料との複合化は、その高純度で網目構造を作り易い構造から、市場性や社会性から鑑みて魅力的なターゲットである。</p> <p>今後の改善点としては、個々の分散技術の応用分野のターゲットを絞り、その応用分野での現状をどう改善できるのか、つまり性能がどの程度上がるか、代替が経済的か、あるいは環境負</p> | <p>SWCNT 分散による媒質材料との特性上のシナジー効果が顕在化する応用例を、今回開発した CNT/Cu に限らず、さらに試みてほしい。市場性、社会性、波及効果、インパクトなどの観点から設定ターゲットの妥当性を再検討してほしい。</p> <p>さらに、今後は、早期実用化のため、出口イメージをより明確にして、工程やコスト等、実用途としての技術課題を明らかにし、クリアしていく必要がある。</p> |

|                   |   |   |  |
|-------------------|---|---|--|
|                   |   | 荷としてどのような意味があるか等の検討が必要である。  |  |
| ナノ材料簡易自主安全管理技術の確立 | <p>SWCNT を中心とした自主的な安全管理技術をその応用技術の開発と並行して行ったことは意義が高い。簡易な細胞 (<i>in vitro</i>) 試験にて細胞に影響のない分散調整手順を開発している。</p> <p>しかしながら、単一細胞 (<i>in vitro</i>) による毒性評価だけでは十分とはいえない。SWCNT は小さくて、体内への吸収・体内動態・分布・修飾・排泄 (ADME) が定量・トレースできないため、定量測定可能なシステムを構築することが必要である。さらに、国際的に認められるにはバリデーションが必要であるため、<i>in vivo</i> の試験を踏まえた研究開発が必要である。</p> <p>この個別テーマは個別テーマ 1、及び 2 と両輪をなすので、バランスのよい研究の進展を望む。</p> | <p>安全管理技術である、飛散 CNT の定量方法として、粉塵計、ブラックカーボンモニターでの計測等の要素技術の開発、特に作業環境に注目した計測法検討を開始している。</p> <p>「簡易で迅速な有害性評価指標の開発」に関しては、OECD/WPMN や ISO/TC229 などでの発表を目指しているが、そのためには世界の科学者が納得するデータを収集するよう、より一層の努力が求められる。安全性は実用化に直結する問題であり、この具体的な解決が重要である。</p> | <p>培養細胞実験の意義をより確かなものとするためのバリデーションを実施することが望ましい。限られた期間で、安全性に関するデータを万全にするのは難しいが、実用化のため及び国民生活における安全確保のためには必要であり、今後も安全性に関連する継続した検討が求められる。</p> |

## 評点結果〔プロジェクト全体〕



| 評価項目               | 平均値 | 素点 (注) |   |   |   |   |   |   |  |
|--------------------|-----|--------|---|---|---|---|---|---|--|
|                    |     | A      | A | A | — | A | B | A |  |
| 1. 事業の位置付け・必要性について | 2.8 | A      | A | A | — | A | B | A |  |
| 2. 研究開発マネジメントについて  | 2.5 | A      | B | B | — | B | A | A |  |
| 3. 研究開発成果について      | 2.5 | A      | B | B | — | B | A | A |  |
| 4. 実用化の見通しについて     | 1.7 | B      | B | C | — | C | B | B |  |

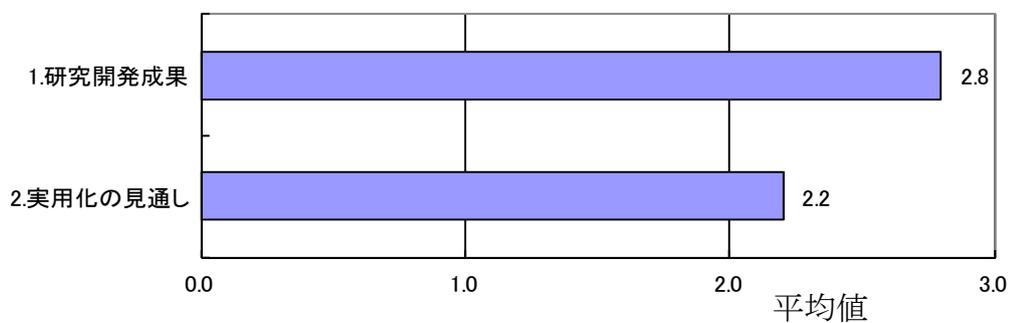
(注) A=3, B=2, C=1, D=0 として事務局が数値に換算し、平均値を算出。

### 〈判定基準〉

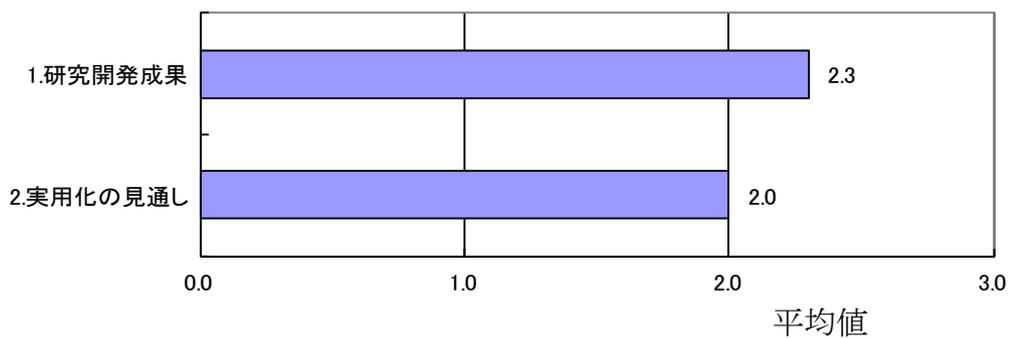
|                    |                   |
|--------------------|-------------------|
| 1. 事業の位置付け・必要性について | 3. 研究開発成果について     |
| ・非常に重要 →A          | ・非常によい →A         |
| ・重要 →B             | ・よい →B            |
| ・概ね妥当 →C           | ・概ね妥当 →C          |
| ・妥当性がない、又は失われた →D  | ・妥当とはいえない →D      |
| 2. 研究開発マネジメントについて  | 4. 実用化の見通しについて    |
| ・非常によい →A          | ・明確 →A            |
| ・よい →B             | ・妥当 →B            |
| ・概ね適切 →C           | ・概ね妥当であるが、課題あり →C |
| ・適切とはいえない →D       | ・見通しが不明 →D        |

## 評点結果〔個別テーマ〕

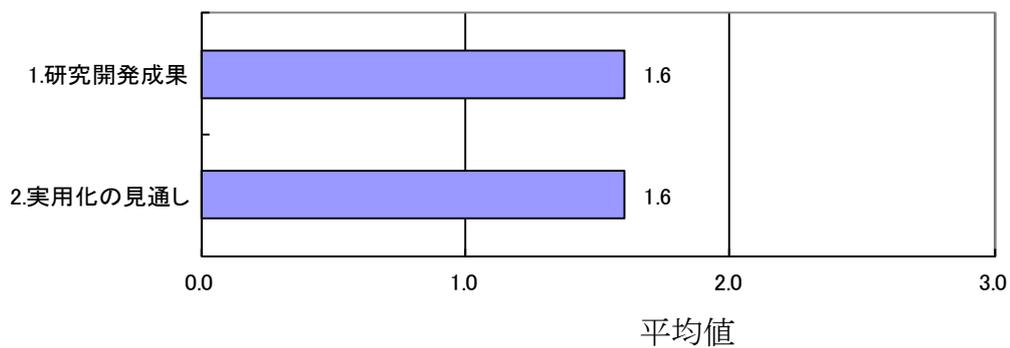
### 単層CNTの形状、物性等の制御・分離・評価技術の開発



### 単層CNTの既存材料中均一に分散する技術の開発



### ナノ材料簡易自主安全管理技術の確立



| 個別テーマ名と評価項目                | 平均値 | 素点 (注) |   |   |   |   |   |   |
|----------------------------|-----|--------|---|---|---|---|---|---|
| 単層CNTの形状、物性等の制御・分離・評価技術の開発 |     |        |   |   |   |   |   |   |
| 1. 研究開発成果                  | 2.8 | A      | B | A | — | A | A | A |
| 2. 実用化の見通し                 | 2.2 | A      | B | C | — | B | A | B |
| 単層CNTの既存材料中均一に分散する技術の開発    |     |        |   |   |   |   |   |   |
| 1. 研究開発成果                  | 2.3 | A      | B | B | — | B | B | A |
| 2. 実用化の見通し                 | 2.0 | B      | B | B | — | C | A | B |
| ナノ材料簡易自主安全管理技術の確立          |     |        |   |   |   |   |   |   |
| 1. 研究開発成果                  | 1.6 | A      | C | B | D | — | B | — |
| 2. 実用化の見通し                 | 1.6 | B      | B | B | D | — | B | — |

(注) A=3, B=2, C=1, D=0 として事務局が数値に換算し、平均値を算出。

〈判定基準〉

1. 研究開発成果について

- ・ 非常によい →A
- ・ よい →B
- ・ 概ね適切 →C
- ・ 適切とはいえない →D

2. 実用化の見通しについて

- ・ 明確 →A
- ・ 妥当 →B
- ・ 概ね妥当であるが、課題あり →C
- ・ 見通しが不明 →D