

「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)」

事後評価報告書（案）概要

目 次

分科会委員名簿	1
評価概要（案）	2
評点結果	8

はじめに

本書は、NEDO技術委員・技術委員会等規程第31条に基づき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）の研究評価委員会分科会（平成27年9月11日）及び現地調査会（平成27年8月25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45回研究評価委員会（平成27年11月20日）にて、その評価結果について報告するものである。

平成27年11月

国立研究開発法人新エネルギー・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）」分科会
（事後評価）

分科会長 阿知波 洋次

国立研究開発法人新エネルギー・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)

分科会委員名簿

(平成27年9月現在)

	氏名	所属、役職
分科 会長	あちば ようじ 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	おぎの としお 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	あごう ひろき 吾郷 浩樹	九州大学 先導物質化学研究所 融合材料部門 准教授
	いわはし ひとし 岩橋 均	岐阜大学 応用生物科学部 教授
	こんどう かつよし 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
	すみた ゆうぞう 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 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

敬称略、五十音順

「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)

評価概要 (案)

1. 総合評価

ナノ炭素材料の実用化に向けた本プロジェクトは、我が国が先導もしくは発明している炭素関連の産業競争力をさらに強固なものにするという点で重要である。課題すべてにおいて当初の目標を達成し、その中でも幾つかの課題では目標値を超えた質の高い結果を出している。また、計画より早期に目標を達成するなどの特筆すべき成果もみられる。実用化に直結する大きな進展があり、出口戦略としての企業との提携も密になされている。事業者が自主的な安全性確保の観点から作成した安全手順書を公表しており、プロジェクトのチーム構成と各チームのミッションがよく噛み合っている点も評価できる。

一方、カーボンナノチューブ (CNT) の安全性に関してはまだ事業者や国民の不安を完全に払拭するまでには至っておらず、さらに国の関係機関や学術機関と協力し安全基準に関する取り組みに貢献頂きたい。

今後、単層 CNT とグラフェンの使い分け、単層 CNT 内におけるスーパーグローブ法 CNT と直径制御合成技術 (enhanced Direct Injective Pyrolytic Synthesis : eDIPS 法) CNT の差別化等、ナノ炭素材料の生産コスト、物性をはじめとするそれぞれの特性をもう一度俯瞰的に整理し、個々の単層 CNT の特性を十分に活かした明確な指針を示した上で実用化に向けた研究開発を進めてほしい。

2. 各論

2. 1 事業の位置付け・必要性について

ナノ炭素材料、とりわけチューブ状の CNT および単層あるいは数層のグラファイト構造からなるグラフェンの実用化は、現時点において 21 世紀における基幹的な新産業創生に向けて遂行すべき重要かつ緊急性をもった課題であり、事業を進める意義としてきわめて妥当であったといえる。日本発の素材・技術の優位性が活かせるテーマであるが、実用化するには長期にわたる研究開発が必要であり、安全性を含む幅広い科学的な技術基盤が不可欠であることから、一民間企業で継続して成し遂げることは不可能で、NEDO 等の公的な施策のもとで取組む必然性がある。

今後、ナノ炭素材料の潜在的に有する優位性について、すべての可能性を十分吟味したか、本事業で対象とした材料が現在既に実用化されている他の材料に対してコスト面も含めて優位性が十分あるか、世界的に安価な多層 CNT の産業利用が進んでいる状況も踏まえ、冷静かつ精緻な比較、検討を進めてほしい。

2. 2 研究開発マネジメントについて

ナノカーボン材料の世界動向を踏まえ、グラフェンを評価対象に取り込む等、戦略的マネジメントがなされている。各課題における研究の背景や目標設定も明確である。素材の量産化から応用開発まで技術研究組合と産業界が緊密に連携して運営され、委託研究の成果を活かした助成事業への展開、実用化を促進するためサンプルの提供、あるいはサンプル提供先への必要に応じた助言等、研究開発マネジメントは極めて適切に行われている。

一方、安全性評価のため、単層 CNT の動物実験強化も望まれる。また、目標レベルや、知財戦略については、検討の余地がある。

今後、企業との連携を更に活性化するとともに、他の既存技術との融合によって、よりスピーディーに製品化・事業化を実現してほしい。また、大学の成果や研究者を取りこんだオープンイノベーションを図り、研究の幅を広げていただきたい。

2. 3 研究開発成果について

実用化への最終段階を迎えた現時点において、すべての項目において、目標値の達成または大幅達成の成果を挙げた点について非常に高く評価できる。単層 CNT の特性を活かした各研究成果は、単層 CNT を使用することの優位性を明確に示しており、実用化に向けた具体的な課題を明らかにしている。特に、スーパージョイント法 CNT は工業的生産段階まで進み、わずかな添加量で熱、電気特性を著しく向上させるなど、最大の懸案事項であるコスト面についても解決できる方向性を見出しており、日本のナノカーボンを牽引する本事業の最大の成果を創出した。半導体/金属分離、高熱伝導性多層グラフェン等も十分な成果であり、助成事業への技術提供も期待以上の数になっている。安全性の検討を設定していることも助成事業への移行が容易になったことに結びついており大きな成果といえる。

今後、本事業の展開時に大きな成果となり得る種がないか、今一度、推進・実施者間での意思疎通を図り共通認識を構築した上で、炭素ナノ材料の潜在的優位性を活かせる応用開拓を進めてほしい。

2. 4 実用化・事業化に向けての見通し及び取り組みについて

実用化、事業化に向けての取り組みは研究成果を十分把握した上での確になされており、特に、事業化に向けたスケールアップ時の問題点やコストはきちんと把握されている。また、企業へのサンプル提供をはじめ、その後のサポートなど様々な試みが行われ、助成事業が多数始まっており、成果の波及効果は大きいと認められる。人材交流も含めて産学連携が効率的に進められ、実用化に向けた戦略・方針も明確である。

一方、実用化、事業化に向けて、現行材料や他の現在開発中の新材料との特性比較、コスト面における優位性には十分注意する必要がある。安全性基準は国を挙げての省庁連携の体制を構築することも望まれる。

多層 CNT では成し得ない単層 CNT ならではの製品設定が極めて重要で、最終製品を開発するメーカーとの長期にわたる共同開発体制を継続し、より広範囲に応用製品を発掘する

ことに努めてほしい。

3. 個別テーマに関する評価

3. 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

3. 1. 1 研究開発成果について

動物実験に依存しないナノ炭素材料の有害性評価手法の開発において、安価かつ簡便な手法の開発に成功している。また、製造から廃棄までの諸過程における暴露に対して、迅速かつ簡便な手法により有効な手法の確立にも成功し、いずれも初期の目標に十分到達している。作業環境でのナノマテリアルの飛散測定や、細胞や動物を使用した肺を中心とする評価系の確立を行い、安全性の国際動向を調査・把握した上で、作業環境計測の手引き書やケーススタディ報告書の公開や知識の普及にも努めている。生産現場への指針から標準化活動まで幅広い活動がなされており、ナノチューブの産業応用を促す取り組みも行われた。

一方、中皮腫発がんも不安視されることから、単なる毒性だけでなく、中皮細胞や腹腔内投与を使用した動物実験データによる補完も望まれる。安全性に関しては、事業者による自主安全だけではなく、国を挙げての省庁連携の体制を構築することも望まれる。

今後、発がん性に関しては、可能な限り該当機関や発がんの専門家などと協力し、世界に向けて本成果を発信して、本成果が安全管理基準の世界標準に繋がることを期待する。

3. 1. 2 実用化に向けての見通し及び取り組みについて

安全性試験手順書、作業環境計測の手引き、自主安全管理のためのケーススタディ報告書はいずれも秀作である。CNTの毒性に関する安全性に関する成果は条件の設定等に十分に考察され、長期評価も検討されており、生産における安全基準は確立しつつあると認められる。また、企業の相談に乗るなど、安全性に関する普及活動も十分に行っている。

一方、CNT利用の事業化が本格化するのに応じて、加工、廃棄等におけるCNTの暴露形態は、さまざまな環境下で異なった状況になることが予想され、継続的な検討が必要となる。また、単層CNTと発がん性との関係については、事業化可能な材料での長期試験に対する考え方の整理も必要である。

今後、生産者とともに、ユーザが納得できる安全指針を示し、グローバルな安全基準を日本がリーダーシップをとって決定していくよう進めてほしい。

3. 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

3. 2. 1 研究開発成果について

合成・分離に関して世界的にみても素晴らしい成果がいくつも出ている。eDIPS法による形状制御、連続合成装置の開発は、透明導電用途におけるeDIPS材料の優位性を明らかにした。スーパーグロース法CNTの量産化については、大型反応炉での連続合成技術に関する実証も行われ、その成果を企業に技術移転した点などは目標達成に向けた十分な成果といえる。金属・半導体分離技術の開発は系統的かつ広範囲にそのメカニズムまで丁寧に研究され、新規大量分離法の発見に繋がる成果といえる。低欠陥高スループット分離法の開発で、

欠陥導入が避けがたい超音波破碎過程なしに孤立分散化を可能にする手法を明らかにした点は、今後の電子デバイス等への実用化においてきわめて重要である。ただし、eDIPS法での単層CNTの直径や結晶性などの物性に関するプロセス制御因子の説明に加えて、基礎となる原理・現象解明が望まれる。

今後、単層CNTの有している潜在的特性を十分に活かせる単一カイラリティ分離法の開発や、単一カイラリティCNT作成技術の開発などにも果敢に取り組んで戴きたい。本事業で開発された半金分離技術は極めて独創性・意外性が高いので、応用分野に特化した検討を強化してほしい。また、すべてのナノカーボン材料に共通の課題であるが、低コスト化にも引き続き挑戦してほしい。

3. 2. 2 実用化に向けての見通し及び取り組みについて

eDIPS法によって作成された単層CNTを用い、CNTを主たる材料として用いた実用化の可能性がCNTファイバー、フレキシブル透明電極、印刷エレクトロニクス等の分野において明示された。単層CNTの潜在的優位性は実用化に向けた研究開発によって明らかにされたが、同時に製造コストの問題がより明確になりつつあることも本事業の大きな成果である。スーパーグロース法の単層CNTは革新的な複合材料へ、eDIPS法の単層CNTは電子デバイスへ、グラフェンは熱伝導材料へと、個々のナノカーボンの性状と特性に合致した応用分野が少し見えてきた。

今後、単層CNTの本質的優位性を引き出すための最適なチューブ径の作製方法の探索、半導体CNT用途の発掘、金属CNTの利点を活かした用途探索に期待したい。また、従来からある複合材料への展開に加えて、半導体やフレキシブルデバイスといったエレクトロニクス分野での応用など、よりインパクトの大きな実用化に向けた展開にも期待する。

3. 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

3. 3. 1 研究開発成果について

フッ素ゴムを母材とする高分子材料やアルミニウム、銅の金属との複合体の安定的な構造形成に成功するとともに、これら複合体の実用化に現実味を与える高い熱および電気伝導特性を実現させたことは非常に高く評価できる。特にフッ素ゴムあるいはアルミニウムとの複合体形成において、炭素繊維を添加し、特性を著しく向上させたアイデアは特筆に値する。一方、CNTの単分散以外にもプロセス因子の影響を考える必要があり、CNT濃度や数量・サイズに関する知見も必要となる。

今後、単層CNTの中でもなぜスーパーグロース法CNTが高い特性を示すのか、CNTと高分子、炭素繊維、金属等との界面構造の物理、化学的性質の更なる解明、均一分散技術の実現を支える要因が何であるかを明確にし、学術論文での発表を積極的に行い、他の研究者との連携も進めて頂きたい。

3. 3. 2 実用化に向けての見通し及び取り組みについて

事業化に向けたコスト面、スケールアップに際しての困難な点等が丁寧かつ詳細に検討さ

れており高く評価できる。また、製品ターゲットに対して単層 CNT の優位性を保つ戦略も注意深く検討されている。実用化に向けては、独自技術であるスーパーストック法 CNT と、ターゲットとした複合材料の適合性が優れている点、kg 単位での生産性まで考慮されている点、すぐれた熱伝導性材料が開発された点が評価できる。多くの企業に技術移転がなされて、今後の実用化が期待できるものである。

ただし、樹脂・金属共に、量産製法に適用した際に目標特性が発現するかを早期に検証し、必要に応じて材料・プロセスにおいて改善・改良すべき内容の整理・検討が望まれる。今後、企業での量産工程に適用できるか否か、課題整理を早急に行い、国の研究開発機関がハブとなりながら各社間の情報共有を行い、一つでも多くの製品を世に出して頂きたい。

3. 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）

3. 4. 1. 1 研究開発成果について

プラズマ CVD 法によって単層から数層の高品質グラフェンが安定的に合成できる見通しを得た意義は大きく、2層グラフェンにおいて 850°C という比較的低温のプロセスで初期の目標の透明度、電気伝導度を達成したことは高く評価できる。材料基礎研究と応用基礎研究の連携相乗効果により A4 サイズまでの高品質透明導電膜まで短期間で到達したことは特筆に値する。基礎研究面における物質のキャラクタリゼーションは詳細に検討されており、今後グラフェン透明導電膜の本格的実用化に取り組む際の重要な知見となろう。多層グラフェン放熱材における開発研究においては、厚さ 0.9 - 2.1 μm のグラフェンフィルムにおいて非常に高い熱伝導性を実現し、フィルム状の構造を活かした新たな市場開拓を期待させる成果を生み出している。特に高熱伝導性多層グラフェンのビームセンサーへの応用は高く評価できる。ただし、透明電極応用におけるコストや品質、スループットの比較を十分行って戴きたい。

今後、プラズマ CVD によるグラフェン作製における最大の問題点は、炭素供給の最適化が未踏である点であり、研究開発を継続して良い成果を出していただきたい。

3. 4. 1. 2 実用化に向けての見通し及び取り組みについて

透明導電フィルムやセンサーなど具体的な製品での性能評価も進んでおり、特に機能を活かした高付加価値センサーの製品化は戦略的にも大変好ましい。グラフェン利用が有望な用途の抽出に活かされている。多層グラフェン加速器ビームセンサーとしても実用化が始まっている。こちらは世界的にも競争相手がいない程すばらしいものである。ただし、層間熱接続材料については、特徴をもっと明確にし、既存材料と代替可能であることを示してほしい。

今後、プラズマ CVD 法による数層のグラフェン応用の開発や、高熱伝導性多層グラフェンの用途拡大、ビームセンサーに加え、原子層材料として将来の超高性能積層デバイスやセンサーの基幹材料になるのではないかと期待される。企業連携も加速してほしい。

3. 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）

3. 4. 2. 1 研究開発成果について

ガスクラスタービームにより銅表面の平滑化を行い、炭素供給源としてショウノウを用いたり、プラズマ CVD 時に青色レーザーを同時照射し、グラフェンドメインの増加を狙ったりするなど、新しい試みが精力的になされた点は評価できる。ショウノウ炭素源の優位性は期限内に示すことができなかったが、グラフェン形成は、炭素源の初期分子構造上の特徴とは関係なしに進行し、原子状炭素まで分解した炭素源が銅表面を拡散するという従来モデルを裏付ける成果をもたらすとともに、グラフェンの低温合成の難しさを再確認させた。

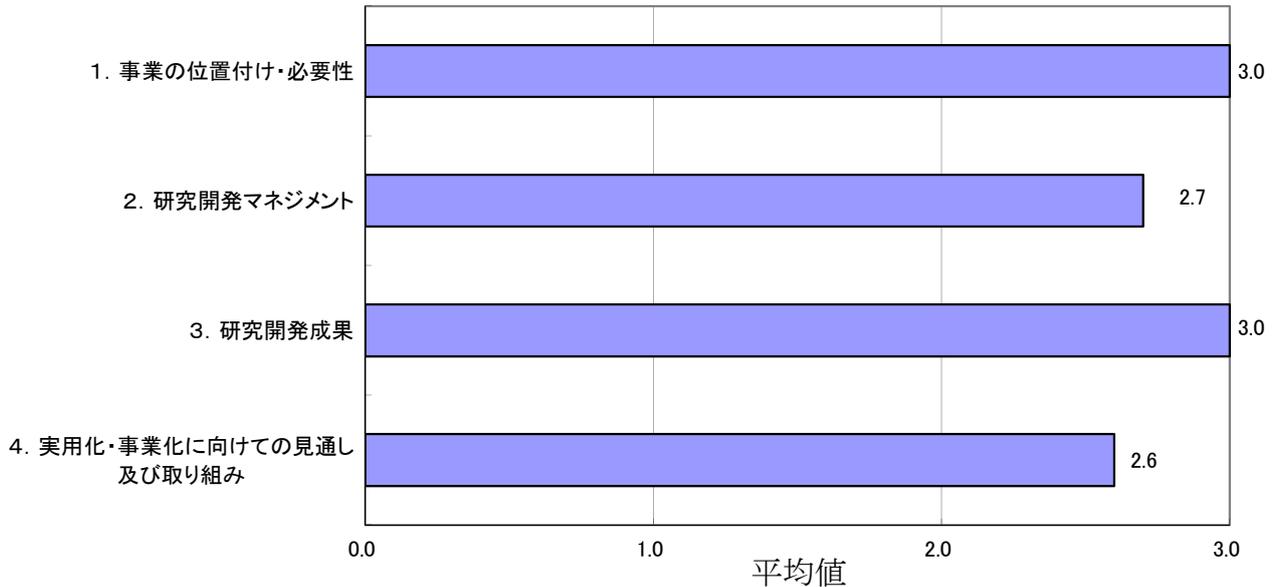
一方、レーザー照射による熱効果等、もう少し幅広く考察する必要がある、本手法によって得られた透明導電膜の性質は必ずしも高品質でなく、更なる技術の改良が必要である。既にステージゲートで研究開発は終了しているが、実施計画の遅延に対する問題がどこにあったかチーム間のマネジメントなど客観的に整理し、今後の研究開発に活かしてほしい。

3. 4. 2. 2 実用化に向けての見通し及び取り組みについて

グラフェン成膜用マイクロ波励起表面波プラズマ CVD 装置の実用化、事業化がメーカーと共同で進められており、ある程度の見通しがついているように思われる。また、ロール・ツー・ロール方式による大量生産にも取り組んでおり、事業化の方向性は見える。

一方、熱 CVD 法に比べて低温での成膜が可能となるとのことだが、それによる実用化・事業化に際しての利点が示されていないことは残念である。見通しの前提となる基礎研究段階の評価に精密さや厳密性が不足しているため、実用化や事業化の見通しの信頼性が欠け、さらなる精緻な検討が必要と思われる。大面積での成膜技術の構築、グラフェンのクオリティを高める研究、センサー用途への応用などを検討し、事業化に向けた具体的な構想を示してほしい。

評点結果〔プロジェクト全体〕



評価項目	平均値	素点 (注)							
1. 事業の位置付け・必要性について	3.0	A	A	A	A	A	A	A	A
2. 研究開発マネジメントについて	2.7	A	A	B	A	A	B	A	
3. 研究開発成果について	3.0	A	A	A	A	A	A	A	A
4. 実用化・事業化に向けての見通し及び取り組みについて	2.6	A	A	B	A	B	B	A	

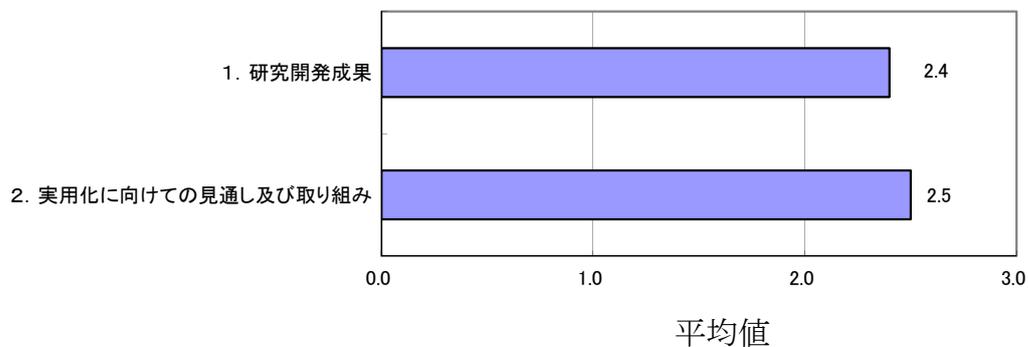
(注) 素点：各委員の評価。平均値は A=3、B=2、C=1、D=0 として事務局が数値に換算し算出。

〈判定基準〉

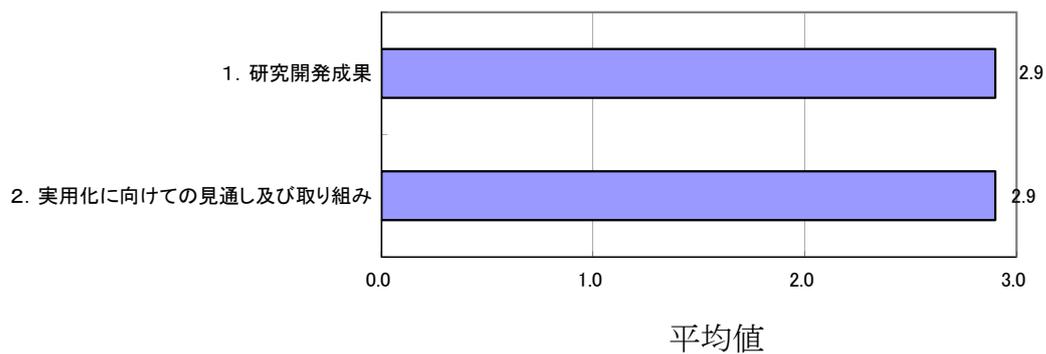
- | | |
|--------------------|------------------------------|
| 1. 事業の位置付け・必要性について | 3. 研究開発成果について |
| ・非常に重要 →A | ・非常によい →A |
| ・重要 →B | ・よい →B |
| ・概ね妥当 →C | ・概ね妥当 →C |
| ・妥当性がない、又は失われた →D | ・妥当とはいえない →D |
| 2. 研究開発マネジメントについて | 4. 実用化・事業化に向けての見通し及び取り組みについて |
| ・非常によい →A | ・明確 →A |
| ・よい →B | ・妥当 →B |
| ・概ね適切 →C | ・概ね妥当 →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〕

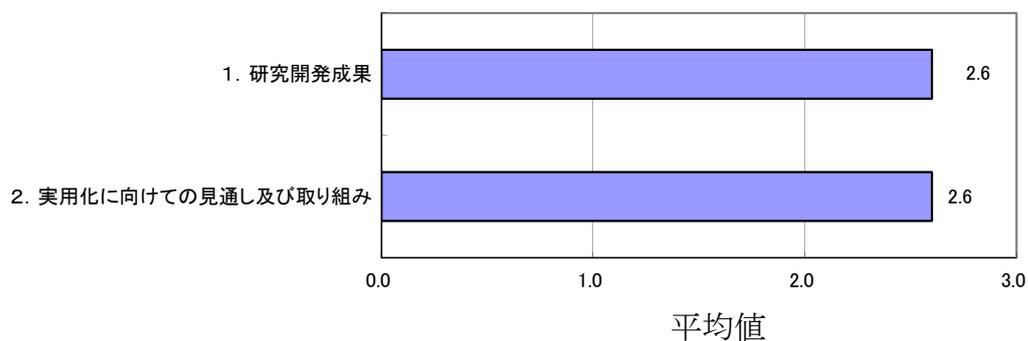
研究開発項目②-1-1 ナノ材料簡易自主安全管理技術の確立



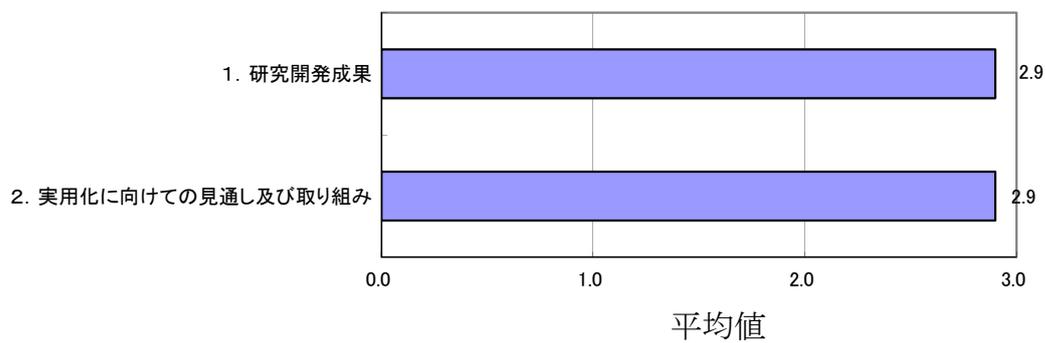
研究開発項目②-3-1 単層 CNT の形状、物性等の制御・分離・評価技術の開発



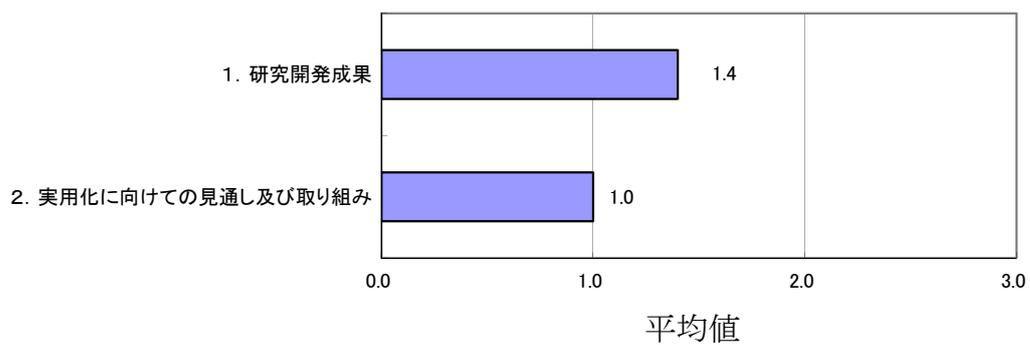
研究開発項目②-3-2 単層 CNT を既存材料中に均一に分散する技術の開発



研究開発項目②-3-3 グラフェン基盤研究開発（その1）



研究開発項目②-3-3 グラフェン基盤研究開発（その2）



注) ②-1-1の「実用化に向けての見通し及び取り組み」では、1委員が「採点無し」としているため、6名の平均値を示す。

評価項目	平均値	素点 (注)							
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									
1. 研究開発成果	2.4	A	A	B	B	A	B	B	
2. 実用化に向けての見通し及び取り組みについて	2.5	B	A		A	B	B	A	
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									
1. 研究開発成果	2.9	A	A	A	A	B	A	A	
2. 実用化に向けての見通し及び取り組みについて	2.9	A	A	A	A	B	A	A	
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									
1. 研究開発成果	2.6	A	A	B	B	A	B	A	
2. 実用化に向けての見通し及び取り組みについて	2.6	A	B	A	A	B	B	A	
研究開発項目②-3-3 グラフェン基盤研究開発 (その1)									
1. 研究開発成果	2.9	A	A	B	A	A	A	A	
2. 実用化に向けての見通し及び取り組みについて	2.9	A	A	A	A	A	B	A	
研究開発項目②-3-3 グラフェン基盤研究開発 (その2)									
1. 研究開発成果	1.4	C	C	C	B	B	D	A	
2. 実用化に向けての見通し及び取り組みについて	1.0	C	D	D	B	C	D	A	

(注) 素点：各委員の評価。平均値は A=3、B=2、C=1、D=0 として事務局が数値に換算し算出。

〈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. 実用化に向けての見通し及び取り組みについて

- ・明確 →A
- ・妥当 →B
- ・概ね妥当 →C
- ・見通しが不明 →D

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

日時：平成27年9月11日(金) 09:30～18:00

場所：WTCコンファレンスセンター Room A

〒105-6103 東京都港区浜松町2-4-1 世界貿易センタービル3階

議事次第(案)

【公開セッション】

1. 開会、資料の確認	09:30～09:35	(5分)
2. 分科会の設置について	09:35～09:40	(5分)
3. 分科会の公開について	09:40～09:45	(5分)
4. 評価資料の構成について	09:45～10:00	(15分)
5. プロジェクトの概要説明	[説明 30分、質疑 20分]	10:00～10:50 (50分)
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 (研究組合) [説明 25分、質疑 20分]	10:50～11:35	(45分)

----- 一般傍聴者退室 (5分) -----

【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 (研究組合) [説明 25分、質疑 20分]	11:40～12:25	(45分)
--	-------------	-------

----- 昼食・休憩 (40分) -----

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 (研究組合) [説明 25分、質疑 20分]	13:05～13:50	(45分)
--	-------------	-------

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) (研究組合) [説明 25分、質疑 18分、入替 2分]	13:50～14:35	(45分)
--	-------------	-------

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) (中部大学・名古屋工業大学・神港精機) [説明 10分、質疑 8分、入替 2分]	14:35～14:55	(20分)
--	-------------	-------

----- 休憩 (10分) -----

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) [説明 20分、質疑 18分、入替 2分]	15:05～15:45	(40分)
---	-------------	-------

6.6 研究開発項目①-2 導電性高分子複合材料の開発 (東レ) [説明 20分、質疑 18分、入替 2分]	15:45～16:25	(40分)
---	-------------	-------

6.7 研究開発項目①-3 単層CNT透明導電膜の開発 (日本ゼオン) [説明 20分、質疑 18分、入替 2分]	16:25～17:05	(40分)
--	-------------	-------

7. 全体を通しての質疑	17:05～17:30	(25分)
--------------	-------------	-------

----- 一般傍聴者入室 (5分) -----

【公開セッション】

- | | |
|-----------|-------------------|
| 8. まとめ・講評 | 17:30～17:55 (25分) |
| 9. 今後の予定 | 17:55～18:00 (5分) |
| 10. 閉会 | |

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、②-3-1~②-3-3」(事後評価)分科会

現地調査会

日時 :平成27年 8月25日(火) 13:30~17:30

場所 :産業技術総合研究所(茨城県)

中央第5事業所第2本館第2会議室(別添図参照ください)

(茨城県つくば市)

<集合場所:13:00 つくばエクスプレス線「つくば駅」A1出入口(地上)⑨番臨時バス停>

【議事次第】

- | | |
|------------------------------|-------------|
| 1.開会 | 13:30 |
| 2.挨拶・現地調査会の概略説明(NEDO) | 13:30~13:40 |
| 3.プロジェクト概要および研究開発成果の説明(TASC) | 13:40~14:20 |
| 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7分、質疑3分) | |
| 2)研究開発項目②-3-1 | |
| 単層CNTの形状、物性等の | |
| 4.TASC 実験施設現地説明 | 14:20~16:30 |
| (会議室→実験施設→会議室) | |
| 5.質疑応答 | 16:30~17:00 |
| 6.評価委員ご講評 | 17:00~17:30 |
| 7.閉会 | 17:30 |

以上

概要

最終更新日 平成 27 年 8 月 13 日

プログラム (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ナノ炭素材料実用化プロジェクト	プロジェクト番号	P10024
担当推進部 /担当者	電子・材料・ナノテクノロジー部 担当者氏名 賀川 昌俊 (平成 27 年 9 月現在) 電子・材料・ナノテクノロジー部 担当者氏名 榎田 毅彦 (平成 23 年 3 月～平成 25 年 2 月) 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>本プロジェクトの前半では、国内技術が海外と比べて優位性を持っていないが、実用化に至っていない単層CNTを対象に、複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、単層CNTの普及の上で必要な、CNT等のナノ炭素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。これらの基盤技術の成果と、研究開発動向等を踏まえて、単層CNT複合材料の実用化に向けた開発を行う。また、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開発を平行して行う。</p> <p>本プロジェクトの後半では、ナノ炭素材料(単層CNT、多層CNT、グラフェン、フラーレン等)が新たな実用化の段階に入ってきたと捉え、本プロジェクトは新たなフェーズに移行した新事業として、これらナノ炭素材料の実用化を加速する。これにより我が国の炭素産業の活性化を目指す。また、実用化に通じる安全性、分散体評価技術を共通基盤技術として開発し、試料提供、技術移転等を通じて、実用化を目指す企業をサポートする。</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た。さらに、平成 26 年度からは、NEDO委託事業「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」とし、プロジェクト後半の事業を実施している。</p> <p>また、「2020 年 CO₂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>◎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①-1～①-3に示す。</p> <ul style="list-style-type: none"> ○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 <ul style="list-style-type: none"> ・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を開発。 ○研究開発項目①-2：導電性高分子複合材料の開発 <ul style="list-style-type: none"> ・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。 ○研究開発項目①-3：単層CNT透明導電膜の開発 <ul style="list-style-type: none"> ・ITOを代替できる透明導電膜を、単層CNTを用いて開発。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。 <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達成すべき最終目標の詳細は、下記研究開発項目②-1-1、②-3-1～②-3-3に示す。</p> <ul style="list-style-type: none"> ○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 <ul style="list-style-type: none"> ・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。 ・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。 ・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。 		

事業の目標(つづき)

- ・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。
- ・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。
- ・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。
- ・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。

○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

- ・スーパーグロース法の合成実験機で、微粒子基材を用いて、平面基材の5倍以上の収量(面積当たり)のCNTが得られる合成技術を開発。
- ・スーパーグロース法の単層CNT結晶性を向上させる後工程プロセスを開発し、処理前と比較して5倍以上の電気・熱特性の向上を実現。
- ・デバイスとしての機能を発揮するのに十分な伝導性を有するCNTのeDIPS法による形状制御合成技術を開発。

- ・eDIPS法によるCNTから形成した糸の紡糸技術を確立し、100m以上のCNT糸の連続防止技術を達成。
- ・eDIPS法による単層CNT連続合成技術とスケールアップ技術を開発し、8時間以上の連続合成と3倍以上のスケールアップを達成。
- ・炭酸ガスレーザー蒸発法による単層CNTは、上記二合成法から得られるCNTに対する優位性を明らかにし、市場評価に耐えうる応用例を少なくとも1件開発。
- ・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/日以上以上の処理能力で分離できる技術を確立。また単層CNTの金属及び半導体分離工程において、両者の濃度をオンラインでモニターする手法、及び生成物の純度を正確に評価する手法、分離されたそれぞれの単層CNTの実際の電気伝導性等を実証レベルで評価する技術を開発。
- ・上記の合成制御技術を用途に応じて複数組み合わせ、形状と機能の関係に関する知見を活用し、高強度軽量複合材料、高導電でフレキシブル軽量な複合材料、高熱伝導な複合材料等に最適な単層CNTを開発し、その連続合成の基盤技術を開発。

○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

- ・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を確立し、特に以下の特性を達成する。
 - ・導電性ゴムにおいて200S/cm。
 - ・垂直方向の熱伝導率が20W/mK以上の高熱伝導性・単層CNT・ゴム複合材料を開発する。
 - ・単層CNTの添加量が0.05重量%以下で、 $10^{-4}\Omega\text{cm}$ 以下の導電性を有し、かつ力学特性がマトリックスと同等な、導電性単層CNT・樹脂(ゴム)複合材料を開発。
 - ・炭素繊維の層間に適応できる、不織布板状単層CNT・エポキシ樹脂複合材料を開発し、雷対策に十分な導電性を付与。
 - ・スーパーグロース法による単層CNTを用いた複合材料の事業希望者へのサンプル提供を継続し、事業希望者の仕様に合わせた複合材料を開発。
- ・単層CNTを金属中に均一に分散し、パワー半導体と密着性を保持するために、熱膨張率7.5から15 $\mu\text{m}/\text{K}$ の高伝熱単層CNT・アルミニウム複合材料を開発。
- ・配線等に用いるのに十分な、 $10^{-5}\Omega\text{cm}$ 台の体積(電気)抵抗率と $10^7\text{A}/\text{cm}^2$ 以上(銅以上)の許容電流を有する単層CNT・銅複合材料を開発。
- ・補強効果を発揮するのに十分な量として少なくとも高分子系材料に対して濃度1から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を開発する。

○研究開発項目②-3-3: グラフェン基盤研究開発

- ・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5mm×5mmサイズの高品質グラフェンの作製技術。
- ・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。

事業の計画内容	主な実施事項	H22fy	H23fy	H24fy	H25fy	H26fy	
	①-1 高熱伝導率単層CNT複合金属材料の応用研究開発						
	①-2 導電性高分子複合材料の開発						
	①-3 単層CNT透明導電膜の開発						
	②-1-1 ナノ材料簡易自主安産管理技術の開発						
	②-3-1 単層CNTの形状・物性等の制御・分離・評価技術の開発						
	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						
	②-3-3 グラフェン基盤技術開発						
開発予算 (会計・勘定別に事業費の実績額を記載) (単位：百万円) 契約種類： ○をつける (委託(○)) 助成(○)) 共同研究(負担率())	会計・勘定	H22fy	H23fy	H24fy	H25fy	H26fy	総額
	一般会計 (本予算/補正)	1,500/0	600 / 1,840	950/980	1,390/0		4,440 / 2,820
	特別会計					429	429
	加速予算 (成果普及費を含む)					120	120
	総予算額	1,500	2,440	1,930	1,390	549	7,809
	(委託)	1,500	2,440	1,550	1,090	272	6,852
	(助成) : 助成率 1/2			380	300	277	957
開発体制	経産省担当原課		産業技術環境局 研究開発課、製造産業局 ファインセラミックス・ナノテクノロジー・材料戦略室				

情勢変化への対応	プロジェクトリーダー	<ul style="list-style-type: none"> ・プロジェクトリーダー：湯村 守雄（産業技術総合研究所） ・サブプロジェクトリーダー：本田 一匡（産業技術総合研究所） 畠 賢治（産業技術総合研究所） 長谷川 雅孝（産業技術総合研究所） ・アドバイザー：飯島 澄男 	
	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①-1、①-2、①-3】</p> <p>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（現：住友理工）、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、ペクセルテクノロジーズ</p> <p>【研究開発項目②-1-1、②-3-1、②-3-2】</p> <p>委託先：技術研究組合単層CNT融合新材料研究開発機構CNT事業部（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） 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②-3-3】</p> <p>委託先：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（東レ、大日本印刷、カネカ、尾池、産業技術総合研究所） 中部大学、名古屋工業大学、神港精機</p>	
	中間評価結果への対応	<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①-1 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①-2 導電性複合材料の開発、研究開発項目①-3 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> <p>平成 25 年度には、ナノ炭素材料（単層CNT、多層CNT、グラフェン、フラーレン等）が新たな実用化の段階に入ってきたと捉え、本プロジェクトは新たなフェーズに移行した新事業として、これらナノ炭素材料の実用化の加速を図った。</p>	
	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
研究開発成果について	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（終了した研究開発項目）

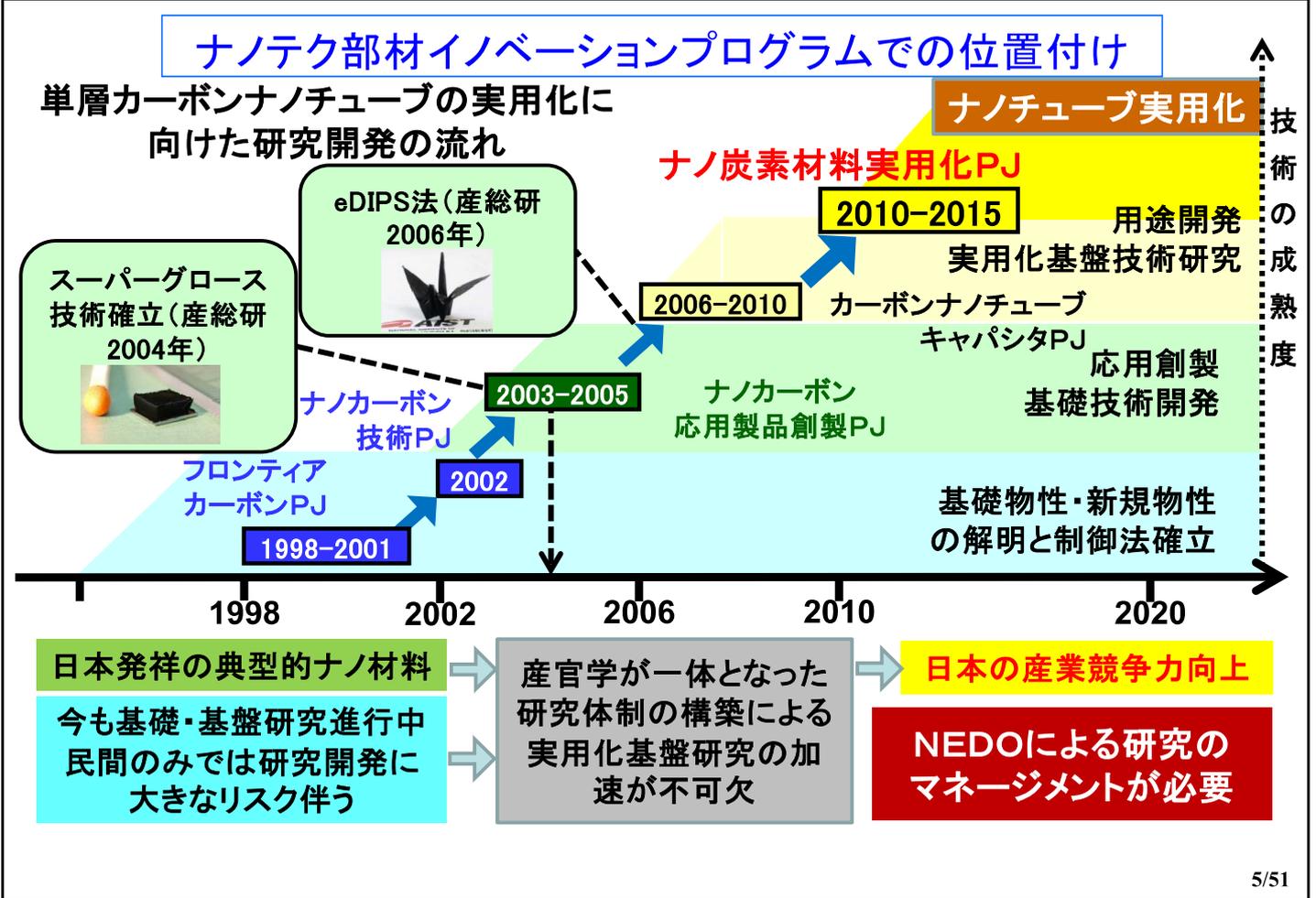
	<p>Ⅲ. 研究開発成果について</p>	<p>本プロジェクト(前半)の研究開発項目における事後評価までの主な成果概要は以下の通りである。</p> <p>研究開発項目②-1-1 ナノ材料簡易自主安全管理技術の確立 本プロジェクト(前半)の研究開発項目における事後評価までの主な成果概要は以下の通りである。</p> <p>研究開発項目②-1-1 ナノ材料簡易自主安全管理技術の確立</p> <ul style="list-style-type: none"> ・数種類の単層CNTをケーススタディとして、高い再現性を持ち、細胞への影響が少ない迅速簡便な分散液調製手順を開発し、さらに広範且つ精確な液中計測技術による評価を並行して実施することで、開発手順の堅牢性と有害性評価適用への妥当性を検証した。(③-(a)-1) ・細胞(in vitro)試験を実施し、細胞培地中での単層CNTの物性パラメータによる有害性発現メカニズムに関する知見を得ると共に、評価軸として最適な生体エンドポイントを選定し、スーパーグロース法単層CNTの実施例を含む手順書(暫定版)にまとめ公表した。(③-(a)-1) ・CNTの作業環境計測における小型・簡便な計測器や炭素分析の有効性評価等を進め、各CNTに対する応答係数や適切な測定条件を得た。(③-(a)-2) ・本プロジェクトで開発されたスーパーグロース法単層CNTをモデル化合物として、CNT等ナノ材料の自主管理基準濃度を設定し、その管理手順を具体的に示すケーススタディ報告書を作成し公表した。(③-(b)) ・諸外国の規制動向を情報提供するウェブサイトを開発し、20本程度の記事を掲載した。(③-(c)) <p>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</p> <ul style="list-style-type: none"> ・eDIPS法による単層CNTの形状制御合成技術に関して、高収率で長時間連続合成運転を可能とする巻取り回収装置を開発した。また、eDIPS法の直径範囲1~2nmにおいて分解能0.1nmで直径制御合成、結晶性を示すG/D比200以上を達成した。さらに平成22年度に導入した反応器容量として従来の4倍の大型eDIPS合成装置を用いて、量産のための基盤技術開発を開始した。(①-(a)-1) ・スーパーグロース法による単層CNT形状制御合成技術開発において、単層CNTの様々な合成条件探索を迅速に行い、効率的な最適合成条件探索をするため、異なる炭素源・触媒賦活物質のサンプルを100個同時に試験可能な「合成条件広範囲探索装置」(コンビナトリアル合成装置)を開発した。また、スーパーグロース法で得られる単層CNTにおいて、CNT配向係数0.13~0.85(分解能0.05)を実現し、CNT密度0.003~0.05g/cm³を分解能0.005g/cm³で、直径制御1.3~3.0nm(分解能0.1nm)を達成した。(①-(a)-2) ・単層CNTの半導体型と金属型を分離する技術において、ゲルカラムクロマトグラフィー分離法で収率90%以上、純度(金属97%、半導体95%)、処理量2g/dayを達成した。また、プラスチックフィルム上CNTトランジスタのチャンネル部分に単層CNT薄膜を均一に塗布、印刷する技術も併せて開発した。(①-(c)) ・スーパーグロース法で合成した無配向で触媒の無いCNTフォレストにおいて、-190℃から600℃の間で安定したエネルギー散逸性を示し、1000℃まで衝撃や振動伝達試験に影響が無く、さらにこのエネルギー散逸性が、周波数依存性も示さず、100万回の繰り返し試験後も疲労を示さないことを確認し、これらの点ではゴム等の一般的な粘弾性材料よりもはるかに優れていることを確認した。(①-(d)-2)
--	----------------------	---

<p>Ⅲ. 研究開発成果について（つづき）</p>		<p>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</p> <ul style="list-style-type: none"> ・単層CNTの溶媒への分散技術において、結晶性の指標であるG/D比を劣化することなく、CNT収率20%、0.6g/hの処理能の分散技術を確立した。(②-(a)) ・スーパーグローブ法で合成した単層CNTと相性の良いフッ素ゴムを母材として、単層CNT複合材料を開発し、これまで報告されているCNT添加量と同じものの中で最も高い体積導電率である10^{-3}S/cmの体積導電率を達成した。さらに、ピッチ系カーボンファイバーと単層CNT網目構造を融合することにより、カーボンファイバー20wt%に対して単層CNT網目を5phr添加することにより垂直方向で2W/mK、面内方向で25W/mKとチタン並みの高い熱伝導率をもつ複合材料の開発に成功した。(②-(b)) ・板状単層CNTに対して電界めっきを施すことにより、体積抵抗率$10^{-5}\Omega\cdot\text{cm}$以下の金属CNT複合材料（金属含有率90wt%）を開発した。(②-(c)) ・スーパーグローブ法で合成される単層CNTの溶媒への分散挙動を明確にすると共に、複合材料を大量に製造可能な分散基盤技術を見出し、単層CNTとフッ素ゴムとの複合材料として導電率100S/cm以上を実現した。(②-(d)) ・放電プラズマ焼結法を用いて単層CNTとアルミニウムとの複合材料を製造し、最大840W/mKの高熱伝導性を実現した。(②-(e)) <p>研究開発項目②-3-3 グラフェン基盤研究開発</p> <p>(1)フレキシブルグラフェン透明導電フィルムの開発</p> <ul style="list-style-type: none"> ・プラズマCVDによるグラフェン合成に関して、不純物取り込み抑制・低温合成による高品質化、合成用基材表面の最適化・前後処理の高度化などに取り組んだ。 ・透明導電フィルムの開発においては、ドーピング・改質・複合化・転写技術の高度化、欠陥制御・高品質化処理などの技術開発に取り組んだ。これらにより、グラフェンのみの透過率93%以上・シート抵抗150Ω以下、5mm角で透明基材を含めた透過率88%以上・シート抵抗150Ω以下を達成した。 ・円筒型マンドレル法（マンドレル径12mm）によるフレキシビリティ評価試験で、シート抵抗の変化がないことを確認した。 ・大面積グラフェンフィルムの評価を行い、有望な応用先の検討を行った。 <p>(2)高熱伝導性多層グラフェン放熱材の開発</p> <ul style="list-style-type: none"> ・超高温処理と昇温プロセスの改良、炭素化およびグラファイト化過程での皺発生を抑制する技術を開発し、多層グラフェンフィルム（厚さ：0.9、1.4、2.1μm）の面方向で2000W/m以上の熱伝導性を達成した。 ・周期加熱法ならびにレーザーフラッシュ法での測定結果を比較検証しながら精度の向上を図った。また厚さ方向の熱伝導度5~7W/mKを得た。面積については$2\times 2\text{cm}^2$以上を達成した。 ・1~3μmの多層グラフェンについてそのTIMとしての特性（熱抵抗特性）を評価した。 <p>(3)グラフェン高品質化のための評価技術の開発</p> <ul style="list-style-type: none"> ・分光エリプソメトリー法などの光学的手法により、光透過率とTEM断面観察で層数を見積もったグラフェン膜を評価した結果、酸化していないグラフェンの屈折率nと消衰係数kはHOPGの値と同じであることを明らかとした。 ・従来評価が困難であった多層グラフェン膜の熱伝導度の適切な評価法を確立した。レーザーラマン散乱スペクトル測定により、銅箔上のグラフェンの層数を簡便に非破壊で評価する手法を開発した。 ・プラズマCVDで合成したグラフェン膜の微細構造をプローブ顕微鏡により解析し、ドメインサイズが数nmから100nm程度であることを明らかにした。
---------------------------	--	--

<p>Ⅲ. 研究開発成果について（つづき）</p>		<p>(4) ショウノウを原料としたグラフェン作製技術の開発</p> <ul style="list-style-type: none"> ・マイクロ波プラズマ装置の製作を行った。既存の装置に対して、大きな設計変更が必要な箇所は、レーザー光導入とショウノウ供給器の二つが挙げられる。レーザー光導入部については、既存装置ではプラズマ源のサイズがΦ300mmであったところをΦ125mmまで小型化し、プラズマ源から50mmの位置のステージの中心に、22.5°でレーザー光を導入することができた。ショウノウ供給器については、パージおよびキャリアガスを出来るだけショウノウチャンバーの下部へ導入し、チャンバー内ガスが攪拌されるように考慮した。 ・大気圧下で、ショウノウをゆっくり蒸発させることにより、ショウノウからCu箔上にサイズが80μmの大きい単結晶グラフェンを作製することに成功した。 ・レーザーを照射しない状態で無ドーブでシート抵抗1.3kΩ/sq（最良値0.47kΩ/sq）、光透過率92.5%が、ドーブによりシート抵抗0.46kΩ/sq、光透過率91.8%と向上し、平成25年度の目標（シート抵抗1kΩ/sq以下、光透過率90%以上）を達成した。 <p>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</p> <ul style="list-style-type: none"> ・高熱伝導率複合金属材料の実用化に供するための周辺技術を開発し、高熱伝導率単層CNT複合金属材料を用いたヒートシンク等の放熱部材を設計・試作した。またヒートシンクを製造するためのろう付け、溶接、表面処理技術の信頼性を評価し、周辺技術を確立した。 <p>研究開発項目①-2 導電性高分子複合材料の開発</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ゴム、樹脂等の高分子材料と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を開発する。また、上記材料を用いたアプリケーションを開発した。 <p>1.5.2.3 研究開発項目①-3 単層CNT透明導電膜の開発</p> <ul style="list-style-type: none"> ・タッチパネル、電子ペーパー、太陽電池などに使用されるITOを代替できる透明導電膜を、単層CNTを用いて、表面抵抗、全光線透過率、機械的耐久性に関してITOと同程度以上となる性能を満たす透明導電膜として開発した。また、本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た。
---------------------------	--	---

	投稿論文		「査読付き」136件、「その他」34件
	特 許		「出願済」107件（うち国際出願 42件）
	その他の外部発表 (プレス発表等)		学会発表 460件、受賞 3件、プレス発表 11件
IV. 実用化、事業化の見通しについて			<p>安全性評価技術では、開発した成果をそれぞれ、安全性試験手順書、作業環境計測の手引き、自主安全管理のためのケーススタディ報告書としてウェブ上に公開し、学会や展示会などでの説明・配布、関連事業者・業界団体への説明、技術相談などを通して、普及活動を行った。</p> <p>革新的材料開発では、コストを含めた実用的な特性・性能の目途を付けるとともに、共同研究しているパートナー企業がある場合には、その実用化研究をそれぞれの目的とする用途に適したCNTを開発・試料提供することによってサポートし、それぞれの実用化を達成する。また、またTASC内外に実用化検討を行う企業のない、産総研独自で行っている研究や、他のアカデミックな共同研究先との共同研究の場合には、それぞれの実用的性能までを一般に示すことによって、パートナー企業を開拓するとともに、試料提供も積極的に行って実用化に貢献する。以上の取り組みから、新規事業における助成事業の創出、助成事業のユーザー創出を行った。委託事業と平行して実施した助成事業でも、平成32年を事業化の目標にすえ、開発を行っている。また、多層グラフェンは用途開拓の結果、組合員企業により平成27年に事業化された。</p>
V. 基本計画に関する事項	作成時期		平成23年1月 作成
	変更履歴		<p>平成24年1月 改訂（研究開発項目④、⑤、⑥の改訂とそれに伴う改訂）</p> <p>平成24年3月 改訂（研究開発項目⑦の追加とそれに伴う改訂）</p> <p>平成25年1月 改訂（中間評価に伴う改訂）</p> <p>平成26年3月 改訂（研究開発の実施内容の変更及び根拠法変更に伴う改訂）</p>

1. 事業の位置付け・必要性について (1)NEDOの事業としての妥当性

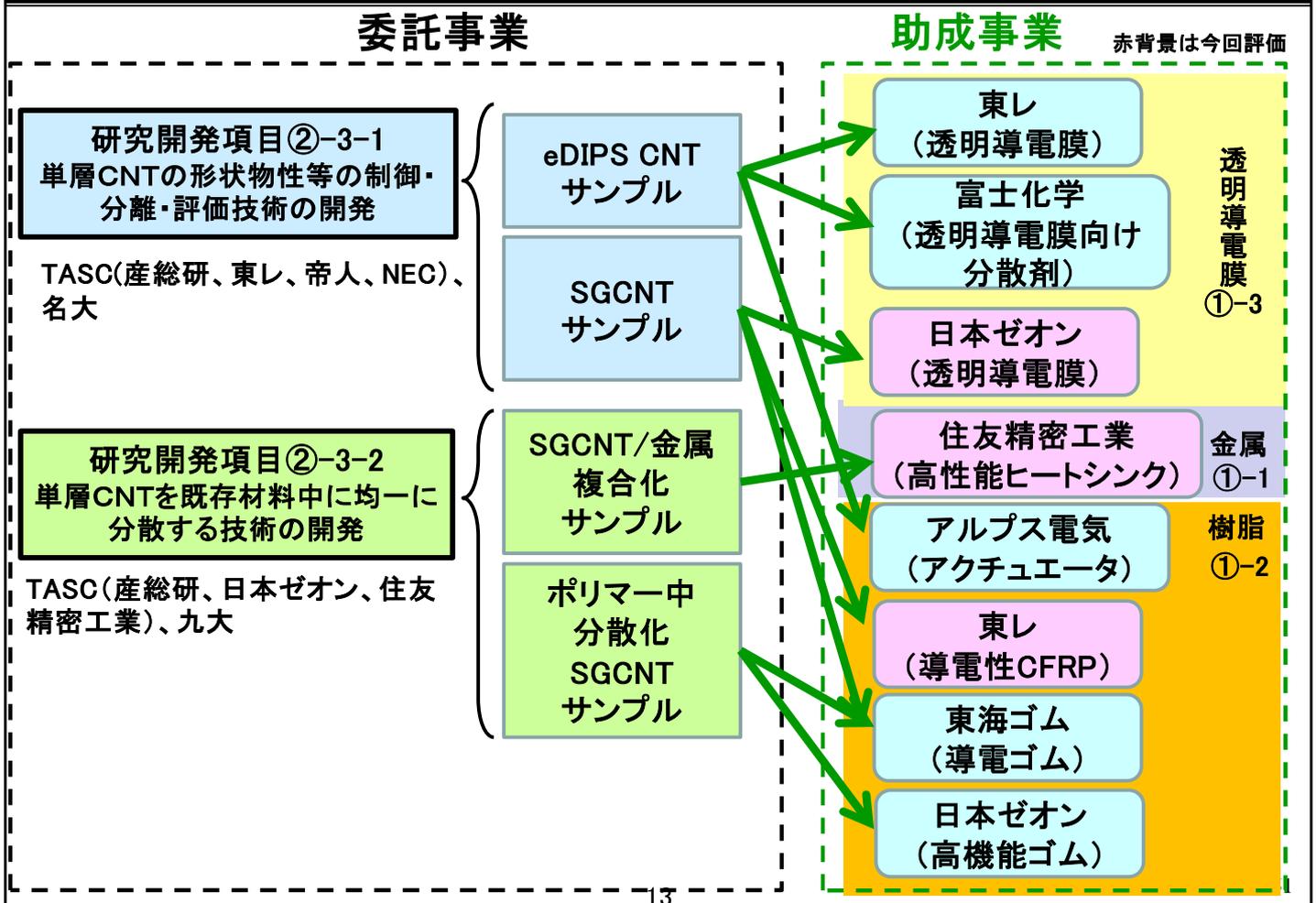
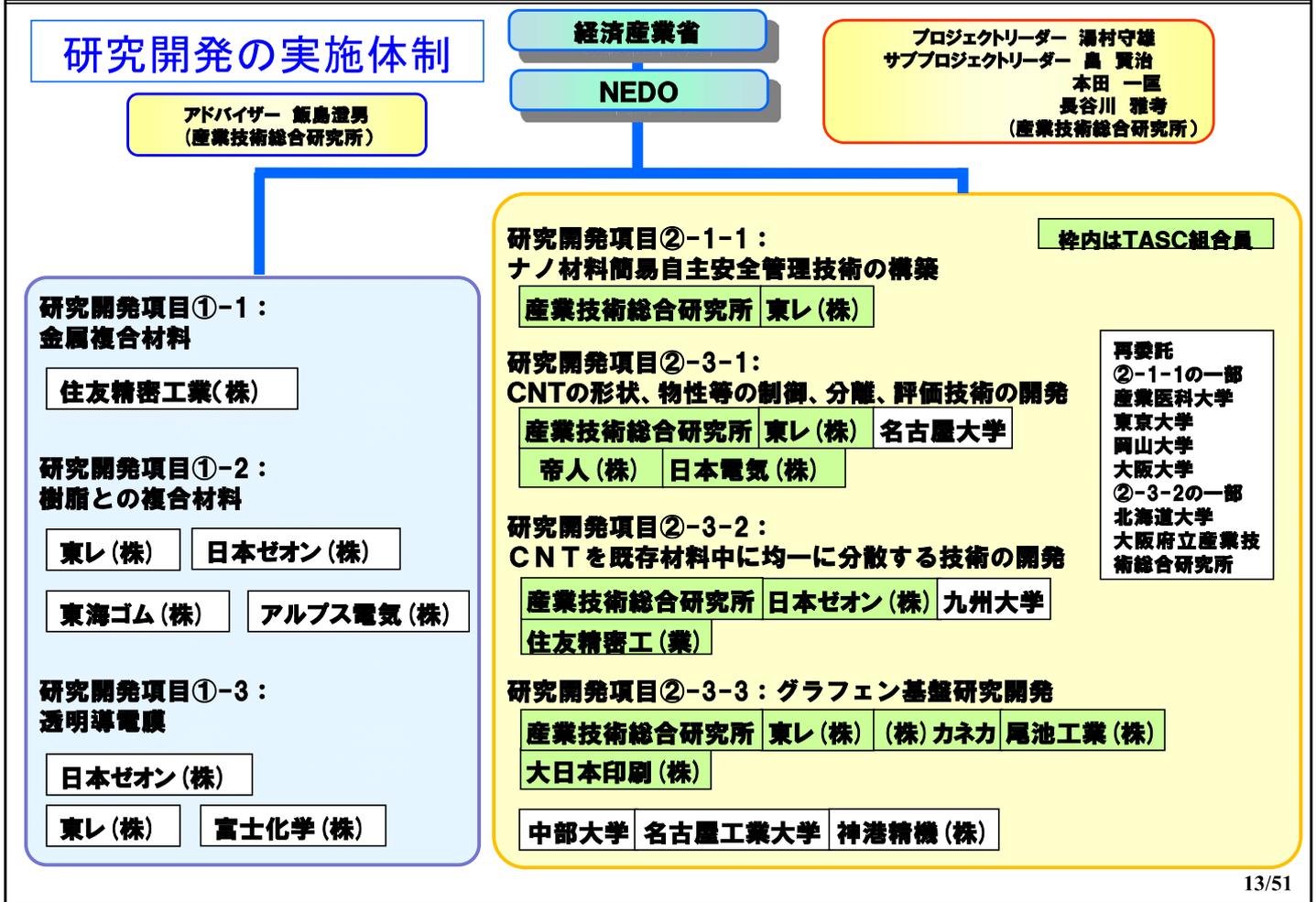


2. 研究開発マネジメントについて (2)研究開発計画の妥当性

		実施年度	目標	H22	H23	H24	H25	H26	H27	H28
① ナノ炭素の実用化技術 助成事業	単層CNTを用いた応用製品の開発	<ul style="list-style-type: none"> 高熱伝導性金属複合材料の開発(①-1) 樹脂との複合材料(①-2) 透明導電膜の開発(①-3) 				8件				
	ナノ炭素材料の実用化	<ul style="list-style-type: none"> 高耐熱複合部材の開発 高強度複合材料の開発 高電子移動度半導体デバイスの開発 軽量導線の開発 フレキシブル薄膜の開発 電磁波吸収部材の開発 大量生産技術の開発等 	<ul style="list-style-type: none"> 成果達成のため、研究開発項目の前倒し終了 実用化のステージが近づき、実用化へ重点を置いたプロジェクトへ移行(他のナノ炭素材料も対象) 					16件	21件	
② ナノ炭素材料の応用 基盤技術開発	安全性に係る技術の開発	評価技術と国際標準化	②-1-1 合成作業者の自主管理技術	METI				②-1-2 応用製品からの排出・暴露		
	分散体評価技術の開発	評価技術と機能発現メカニズムの解明						②-2 分散体評価技術の開発		
	応用材料技術開発	革新的応用材料と革新的成膜技術の開発とサンプル提供による用途開拓	②-3-1, ②-3-2 単層CNT合成・複合材料	METI				②-3-4 革新的応用材料開発		
			②-3-3 グラフェン基盤					②-3-5 ナノ炭素薄膜技術(大面積化による応用展開)		

用途明確化のため追加

12/51



助成事業の実施体制

赤背景は今回評価

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(株)「高熱伝導率単層CNT複合金属材料の応用研究開発」



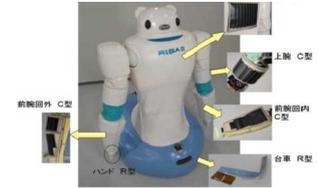
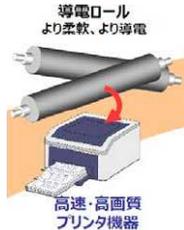
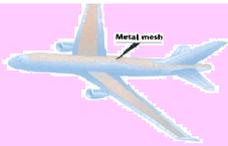
研究開発項目①-2: 導電性高分子複合材料の開発

日本ゼオン(株)「SG法単層CNTを用いた機能性有機複合材料の開発」

アルプス電気(株)「伸縮性単層CNT電極による高効率高分子アクチュエータの製品実用化開発」

東海ゴム工業(株)「単層CNTを活用した柔軟な電極とその製法開発」

東レ(株)「高導電性を有する炭素繊維複合材料製造技術の開発」



研究開発項目①-3: 単層CNT透明導電膜の開発

東レ(株)「単層CNT透明導電膜の開発」



日本ゼオン(株)「SG法単層CNTを用いた透明導電膜の開発及びその応用」



富士化学(株)「無機系分散剤を利用した耐熱性・耐候性・機械特性に優れた単層CNT透明導電膜の開発」

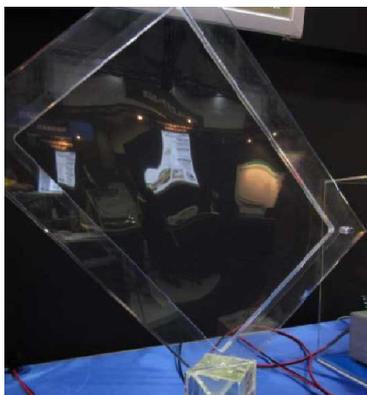
シリカコロイド シリカコロイド



グラフェン基盤研究開発の実施体制

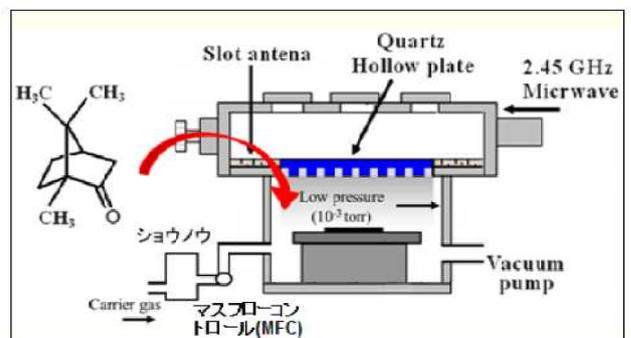
「フレキシブル透明導電フィルム」等への利用を念頭としたグラフェンの高品質合成技術と層数制御技術を確認し、それらの応用に必要な特性(電気抵抗、熱伝導性等)を実証。一部、原料としてショウノウの優位性を評価(中部大学グループ)

単層CNT融合新材料研究開発機構 (TASC)
(産総研、(株)カネカ、東レ(株)、尾池工業(株)、大日本印刷(株))



フレキシブルグラフェン透明導電フィルム、高熱伝導性多層グラフェン放熱材、グラフェン高品質化のための評価技術を開発。

中部大学、名古屋工業大学、神港精機(株)



マイクロ波表面波プラズマCVD法による成膜

ショウノウ由来グラフェン: 平成25年12月17日にステージゲートを実施。目標未達のため、平成26年度は延長せず、装置を譲渡することで、独自開発を促す。

2. 研究開発マネジメントについて (2) 研究開発計画の妥当性

研究開発スケジュール

単位(百万円)

研究開発項目	22年度	23年度	24年度	25年度	26年度	合計
①高機能ゴムの開発、他 (助成/国費 50%) 本予算/補正			0/380	300/0	277/0	577/380
②-1-1ナノ材料簡易自主安全管理技術の構築開発(委託) 本予算/補正	362/0	144/250	150/140	160/0	90/0	906/390
②-3-1CNTの形状、物性等の制御・分離・評価技術の開発(委託) 本予算/補正	736/0	302/638	325/305	290/0		1653/943
②-3-2CNTを既存材料中に均一に分散する技術の開発(委託) 本予算/補正	402/0	154/952	175/155	310/0		1041/1107
②-3-3グラフェン基盤研究開発 本予算/補正			240/0 (TASC) 60/0 (中部大)	263/0 (TASC) 67/0 (中部大)	62/0 (TASC)	565/0 (TASC) 127/0 (中部大)
合計(本予算/補正) (合計)	1500/0 (1500)	600/1840 (2440)	950/980 (1930)	1390/0 (1390)	429/0 (429)	4869/2820 (7689)