

平成24年度実施方針

電子・材料・ナノテクノロジー部

1. 件名：プログラム名：ナノテク・部材イノベーションプログラム
(大項目) 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

2. 根拠法

独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構法第15条第1項第2号及び第3号

3. 背景及び目的・目標

日本で発見されたカーボンナノチューブ（以下、「CNT」という。）は、ナノメートルレベルの直径をもつ筒状の炭素からなる新規ナノ材料である。そのユニークな構造と物性から、発見以来種々の興味深い機能が見いだされ、ナノテクノロジーの中心的な存在となっている。

CNTはその構造から、多層CNT、単層CNTに大別される。多層CNTは、比較的生産が容易であることから、国内外において年数百トンレベルで生産され、電池、キャパシタ部材などで実用化への応用開発が推進されている。

一方、単層CNTは、多層CNTに比べ、軽量、高強度で高い柔軟性を持つ、電気や熱の伝導性が極めて高い、半導体となる等、多くの優れた特性を持つ。この単層CNTは、様々な分野の既存の素材と複合させることにより、従来に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。例えば軽量で放熱性の極めて高い材料、軽量・高強度構造材料、低消費電力の電子回路用材料などへの応用が想定される。しかしながら、このような複合材料の開発に必要な単層CNTの形状、物性の制御技術、分離精製技術等が確立しておらず、実用化を促進する上での隘路となっている。

本プロジェクトでは、国内技術が海外と比べて優位性をもっていながら、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、CNTと同様のナノ材料であるグラフェンについては、世界中で研究が活発化しており、CNTと同様の分野での実用化を目指している。そこで、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並行して行うこととする。

本プロジェクトは「ナノテク・部材イノベーションプログラム」の一環として、新たな複合材料の開発を通じて、新たな成長産業の創出による経済成長及び低炭素社会実現への貢献を目指し、我が国産業の国際競争力の維持・強化に資することを目的として、本プロジェクトにおいては、以下の研究開発を実施する。

[委託事業] 単層CNT基盤研究開発

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

最終目標（平成26年度）

単層CNT合成の単層CNT形状制御に関する各研究要素に対して、下記の目標を達成する。

1) 単層CNTの形状制御技術

- ・直径：複合材料における導電性や力学特性等を制御するため、単層CNTにおいて制御可能範囲0.8–3.0nmでかつ制御分解能が0.1nmの直径制御性を達成する。ただし、半導体用途に用いることに適している直径範囲0.8–2.5nmに関しては、バンドギャップ等電気特性の均一性が重要となるため、ガウス分布を仮定した直径分布標準偏差(σ)を0.2nm以内にする技術に関しても開発する。
- ・長さ：各種用途に対応するために1 μ m以下(信頼度90%)、1–10 μ m(信頼度80%)、及び10 μ m以上5mm以下(信頼度80%)の長さ制御を達成する。ここでいう信頼度とは、各長さ範囲に入っている単層CNTの本数の全体に対する割合のことである。
- ・表面積：2000m²/g以上の比表面積を達成する。
- ・結晶性：単層CNTの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以上を達成する。
- ・純度：金属触媒含有率200ppm以下を達成する。
- ・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)で制御する技術を開発する。
- ・集積状態：成形加工性が良好な単層CNTのために、合成後の制御密度範囲が0.05g/cm³から0.1g/cm³で精度が0.01g/cm³の単層CNT集積状態を作成する。

また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の複合材料、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確立する。

2) 単層CNT集合体の成形加工・配列化技術

a. 板状化技術の開発

平成26年度までに、電子デバイス等を開発するのに十分な、サイズが200mm×200mm以上(または8インチウェハー相当)の板状単層CNTを開発する。板状単層CNTは、長さ1mm以上の単層CNTより構成され、純度99%以上、比表面積1000m²/g以上、密度0.5g/cm³以上、配向度0.7以上な

どの所望の用途に必要な特性を複数最適化されたものとする。

b. 配列化技術

平成26年度までに、下記の技術要素を開発する。

- ・成形加工された板状単層CNTにおいて、位置精度 $1\mu\text{m}$ 以下、厚み精度 50nm 以下の配列化技術を確立する。
- ・単層CNTデバイス等の量産技術を開発するのに十分な、成形加工された複合化板状単層CNTにおいて、位置精度 $1\mu\text{m}$ 以下、厚み精度 100nm 以下の配列化技術を確立する。

3) 金属型及び半導体型の単層CNTを効率的に分離する技術

平成26年度までに、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、 $10\text{g}/\text{日}$ 以上の処理能力で分離できる技術を確立する。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確立する。

4) 単層CNTの精密計測評価技術

平成26年度までに、単層CNTの構造評価技術として、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($100\text{nm}-10\mu\text{m}$)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技術を開発する。

また、単層CNT集合体の機能と単層CNTの形状との関係、すなわち単層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)との関係を解明する。

中間目標(平成24年度)

単層CNT合成の単層CNT形状制御に関する各研究要素に対して、下記の目標を達成する。

1) 単層CNTの形状制御技術

単層CNT合成の単層CNT形状制御に関する各研究要素に対して、平成24年度までの達成を目指す具体的な目標は下記の通りである。

- ・直径: 複合材料における導電性や力学特性等を制御するため、制御可能範囲 $1.0-3.0\text{nm}$ でかつ制御分解能が 0.2nm の直径制御性を達成する。ただし、半導体用途に用いることに適している直径範囲 $1.0-2.0\text{nm}$ に関しては、バンドギャップ等電気特性の均一性が重要となる

ため、ガウス分布を仮定した直径分布標準偏差 (σ) を 0.3nm 以内に
する技術に関しても開発する。

- ・長さ：1 μ m 以下（信頼度 80%）、1–10 μ m（信頼度 70%）、100 μ m
以上 1mm 以下（信頼度 70%）の長さ制御を達成する。
- ・表面積：比表面積 1000m²/g。
- ・結晶性：単層CNTのラマンスペクトルの G-band と D-band の強度
比 G/D が 150 以上。
- ・純度：金属触媒含有率 500ppm 以下。
- ・配向性：配向係数（無配向 0、完全配向 1）を、0.2 から 0.8（分解能
0.2）で制御する技術を開発する。
- ・集積状態：分散性が良好な単層CNTのために、合成後の制御密度範
囲が 0.02g/cm³ から 0.06g/cm³ で精度が 0.01g/cm³ の単層CNT集
積状態を持つ試料の作製。

2) 単層CNT集合体の成形加工・配列化技術

a. 板状化技術の開発

平成24年度までに、サイズが 40mm×40mm 以上の板状単層CNT
を開発する。板状単層CNTは、長さ 1mm 以上の単層CNTより構成
され、純度 99%以上、比表面積 1000m²/g 以上、密度 0.5g/cm³ 以上、
配向度 0.7 以上のいずれかの特性を有するものとする。

b. 配列化技術

平成24年度までに、下記の材料、技術を開発する。

- ・成形加工された板状単層CNTにおいて、位置精度 5 μ m 以下、厚
み精度 200nm 以下の配列化技術を確立する。
- ・既存材料板状単層CNT複合材料において、位置精度 5 μ m 以下、
厚み精度 200nm 以下の配列化技術を確立する。

3) 金属型及び半導体型の単層CNTを効率的に分離する技術

平成24年度までに、金属型及び半導体型の単層CNTを、純度 95%以
上、収率 80%以上で、1g/日以上での処理能力で分離できる技術を確立する。
また、得られた分離単層CNTの電気伝導性等に影響を与えることの少な
い分離技術を確立する。

4) 単層CNTの精密計測評価技術

平成24年度までに、半導体及び金属単層CNTの直径及びカイラル指
数を広範囲（直径 0.7–1.6nm）にわたって、迅速に定量評価する手法及び
測定システムを開発する。

また、単層CNTの金属・半導体特性を効率的に計測できる手法を開発する。

さらに、単層CNT集合体の機能と単層CNTの形状との関係を解明するために、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・表面積・結晶性・純度・配向性・集積状態）の関連を評価する手法を確立する。

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」

最終目標（平成26年度）

1) 溶媒中に分散する技術の開発

平成26年度までに、単層CNTの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を開発する。特に金属型・半導体型分離技術に適応するための分散液として一本一本孤立した状態で、収率50%以上で分散する技術も確立する。

2) 単層CNT「網目」構造制御技術の開発

平成26年度までに、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を開発する。

3) 板状単層CNT複合材料の開発

平成26年度までに、板状単層CNTを既存材料と複合化する技術を開発し、特に、以下の特性を達成する。

- ・配線等に用いるのに十分な、板状単層CNTで10—5Ωcm台の体積（電気）抵抗率を有する、板状単層CNT・金属複合材料を開発する。
- ・直径0.02μm以下の微粒子が担持された板状単層CNT・微粒子複合材料を開発する。
- ・樹脂の5倍の力学強度を有する板状単層CNT・樹脂複合材料を開発する。

4) 樹脂・ゴムに分散する技術の開発

平成26年度までに、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 10^{10} （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する。特に導電性ゴムにおいて100S/cmを達成する。

5) 金属中に分散する技術の開発

平成26年度までに、熱伝導率 $1000\text{W} / \text{mK}$ 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、配向する技術を確立する。

6) 高分子系材料に分散する技術の開発

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1~5%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。

中間目標（平成24年度）

1) 溶媒中に分散する技術の開発

平成24年度までに、単層CNTの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10%以上劣化しない条件で、水や有機溶媒中に単層CNTを単分散させる技術を開発する。特に金属型・半導体型分離技術に適応するための分散液として一本一本孤立した状態で、収率5%以上で分散する技術も確立する。

2) 単層CNT「網目」構造制御技術の開発

平成24年度までに、収率50%以上で、1%から15%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を確立する。

3) 板状単層CNT複合材料の開発

平成24年度までに、板状単層CNTを既存材料と複合化する技術を開発し、特に、以下の特性を達成する。

- ・30 vol%以上、50 vol%以下の金属を含有する板状単層CNT・金属複合材料を開発する。
- ・微粒子が担持された板状単層CNT・微粒子複合材料を開発する。
- ・樹脂の3倍の力学強度を有する板状単層CNT・樹脂複合材料を開発する。

4) 樹脂・ゴムに分散する技術の開発

モデル物質となる樹脂・ゴム等に、熱伝導性、導電性等の物性が変化するのに十分な量の単層CNTを均一に分散する技術を開発する。特に導電性ゴムにおいて $80\text{S} / \text{cm}$ を達成する。

5) 金属中に分散する技術の開発

熱伝導率 900W / mK 以上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、配向する技術を確立する。

6) 高分子系材料に分散する技術の開発

補強効果を発揮するのに必要な量として少なくとも高分子系材料に対して濃度 0.5%程度で単層CNTを紡糸に適する高分子系材料の溶液中に分散する技術を開発する。

研究開発項目③ 「ナノ材料簡易自主安全管理技術の確立」

最終目標（平成26年度）

1) 自主安全管理のためのCNT等ナノ材料の安価かつ簡便な評価手法の確立

a. 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）を開発した上で、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を設定し、評価手法を確立する。

b. 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を確立する。

c. a. 及びb. を確立した上で、CNT等ナノ材料の安価かつ簡便な自主安全性評価手法を確立する。

2) CNT等ナノ材料の安価かつ簡便な自主安全管理手法の確立とケーススタディの実施

d. c. の自主安全性評価手法に基づき、CNT等ナノ材料生産事業者の自主安全管理手法（一般手法）を確立する。

e. 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）報告書を作成する。

3) 開発成果の活用

国際的な機関（OECD、ISO 等）の動向を的確に把握し、国際標準化に向けた取組みを行う。

中間目標（平成24年度）

1) 自主安全管理のためのCNT等ナノ材料の安価かつ簡便な評価手法の確立

a. 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）を開発した上で、安価かつ簡便な自主安全性評価のために最低限必要な

試験項目や試験系を設定し、評価手法を確立する。

- b. 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を確立する。

[助成事業（助成率：1／2）]

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」

最終目標（平成26年度）

金属と単層CNTを複合化することによって得られる高熱伝導率複合金属材料を用い、ヒートシンク等の放熱部材に応用するための技術開発を実施する。具体的には、他の金属材料へのろう付け、溶接、表面処理等の高熱伝導率複合金属材料を実用化に供するための周辺技術の開発および当該技術の信頼性評価のデータ取得を行う。

研究開発項目⑤ 「導電性高分子複合材料の開発」

最終目標（平成26年度）

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する。

研究開発項目⑥ 「単層CNT透明導電膜の開発」

最終目標（平成26年度）

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を開発する。また、上記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。

（参考）現行ITOの標準的仕様

<タッチパネル用>

- ・表面抵抗 : 300-500Ω / □
- ・全光線透過率 : 90%以上

<LCD用>

- ・表面抵抗 : 10Ω / □
- ・全光線透過率 : 80%以上

研究開発項目⑦ 「グラフェン基盤研究開発」

最終目標（平成26年度）

- (1) 層数を制御した上で、単結晶グラフェン相当の特性を示す5mm×5mmサイズの高品質グラフェンの作製技術を開発する。
- (2) (1)の技術で作製したグラフェンを、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を抽出する。

4. 実施内容及び進捗（達成）状況

4. 1 単層CNT基盤研究開発[委託事業]事業内容

(1) 平成22年度事業内容

本プロジェクトは、経済産業省が、企業、大学等の研究機関（委託先から再委託された研究開発実施者を含む）から公募によって研究開発実施者を選定し、共同研究契約等を締結する研究体を構築して、開始したものである。独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（以下「NEDO」という。）は、平成23年1月に運営・管理を承継したものであり、産業技術総合研究所の有する世界最高の単層CNT合成・分離・成形加工技術と民間企業の持つプラント開発技術、応用製品開発技術を有機的に組織し、製品開発の基盤となる融合基盤技術を開発し、これらの基盤技術の上に、様々な応用製品を開発し、我が国発の単層CNT産業を創成し、単層CNT部材が支える未来の省エネルギー社会の実現を目指すものである。

上記目的の実現のため、本プロジェクトでは、以下の3つの研究開発項目を実施することにより、直径、金属・半導体、純度、比表面積など種々の特性が作り分けられ、各種用途に応じてそれぞれの要求特性を満たす最適な形状の単層CNTの合成技術の開発並びに、成形加工・分散技術、既存材料と融合する技術を開発する。

研究開発項目①「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「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③「ナノ材料簡易自主安全管理技術の構築」

平成22年度における上記3つの研究開発項目における主な成果概要は以下の通りである。

研究開発項目①：

- ・ eDIPS法による単層CNTの形状制御合成技術に関して研究開発を開始し、また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。
- ・ 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。
- ・ CNTの金属型と半導体型を大量に分離する技術を開発において、分散プロセスや分散剤の選定を最適化することにより、高純度分離が可能である事を見いだした。
- ・ 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。

研究開発項目②：

- ・ スーパーグロース法により合成される長尺の単層CNTを用いて、単層CNT間の発達した高度なネットワークである網目構造を構築するために、湿式ジェットミルを用いた新規分散技術の開発を行った。また、網目の構造と特性の相関を明らかにするための評価技術を開発し、これらの基盤技術を元に網目構造を有する複合材料の製造技術の開発も開始した。
- ・ 九州大学と日本ゼオン研究員と共同の成果として、スーパーグロース法で合成される単層CNTに適用可能な分散剤は、HiPCOに代表される既存の単層CNTに適用可能な分散剤を、ほぼそのまま適用可能であることが確認され、中でも、より安全で、汎用性の高い界面活性剤が水に対して良好な分散特性を有していることが分かった。
- ・ CNTを用いた高熱伝導性材料を得るため、北海道大学、大阪府立産業技術総合研究所と共同で、量産性に優れたプロセスの開発を開始した。

研究開発項目③：

- ・ 作業者の吸入暴露による有害性の相対的な強度を、細胞 (in vitro) 試験を用いて予測する手法を開発することを目的に、各種単層CNTの細胞培地中の安定分散化手法の開発とその計測、さらにこれらから得られた調製試料を用いた有害性試験を実施した。
- ・ ナノ材料を扱う作業環境における飛散ポテンシャルの評価を実施するため、室内気流計測評価装置を導入し、本装置を用いて簡易的なチャンバーにおいてファンを用いた気流を発生させ、本装置の室内気流計測の可能性について試験的に評価した結果、本装置はナノ材料の作業環境を想定した室内気流を評価するにあたって必要十分な情報を得るために適したものであることが明らかとなった。
- ・ 2008～2010年に発表されたCNT等ナノ材料の細胞レベルでの毒性およびその機序を検討した文献を2種のデータベース(「MEDLINE」および「TOXCENTER」)を用いて検出し、その内の200件について詳細な解析を行った。
- ・ OECD/WPMNの各SGの動向、ISO/TC229の動向、欧州RoHS指令改正の動向、米国NIOSHのCIBドラフトなど多岐にわたった情報収集・発信を行った。また、3月にはナノ安全に関する欧米の法規制動向の最新情報に誰でもアクセスできるウェブサイトを開発するとともに、今後、本テーマで収集した情報は適宜ウェブサイトに掲載していく体制を整えた。

(2) 平成23年度事業内容

平成23年度における上記3つの研究開発項目における主な成果概要は以下の通りである。

研究開発項目①：

- ・ eDIPS 法の直径範囲 0.9～2.1nm において直径制御合成、結晶性を示す G/D 比 200 以上、を達成した。また平成 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。
- ・ 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、また直径制御 1.3～3.0nm(分解能 0.1nm)を達成した。
- ・ CNT の半導体型と金属型を分離する技術において収率 90%以上、純度(金属 97%、半導体 95%)、処理量 1.3g/day を達成した。

研究開発項目②：

- ・ 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。
- ・ CNT と相性の良いフッ素ゴムを母材として、CNT を添加した CNT 複合材料を開発し、これまで報告された CNT 複合材料において、CNT 添加量が同じものの中で最も高い体積導電率である 10⁻³S/cm の体積導電率を達成した。
- ・ 熱伝導性に優れた複合材料開発においては、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。
- ・ 電界めっき技術によって体積抵抗率 10⁻⁵Ω・cm 以下の金属 CNT 複合材料（金属含有率 90 重量%）を開発した。
- ・ SG 法の CNT を使用して 100S/cm 以上のフッ素ゴム複合材料の実現に成功した。
- ・ 放電プラズマ焼結法によって最大 840W/mK の高熱伝導性金属 CNT 複合材料を実現した。

研究開発項目③：

- ・ 細胞 (in vitro) 試験では平成 22 年度より開発を開始した分散調製方法に改良を加え、得られた安定分散した単層 CNT を添加し、マクロファージ細胞株の蛍光ラテックスビーズまたはザイモザンなどの単層 CNT の貪食機能の阻害や生体への影響評価を実施した結果、細胞培地中での二次的特性の異なる単層 CNT ごとのマクロファージへの影響を識別することに成功した。
- ・ 簡便な CNT 等ナノ材料計測手法として、「カーボンエアロゾル分析装置」による CNT の定量分析のための粒子捕集方法や分析条件を検討すると共に、分析の有効性や適用範囲の評価を行い、加えて、「デジタル粉じん計」や「カーボンモニター」などの計測器による計測値と、上記 CNT の定量値を比較することにより、それらの計測器の CNT に対する応答を評価した。
- ・ 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するプロセスの草案を作成した。また、CNT 等ナノ材料を生産または加工する事業者が実施すべき自主安全管理項目について、そのリストアップを行った。

- ・ eDIPS 法およびスーパーグロース法単層CNTについて、OECD の WPMN が実施しているスポンサーシッププログラムのプリンシパル材料として必要な試験データを取得した。

4. 2 単層CNT応用研究開発[助成事業]事業内容

基本計画に基づき助成先を公募し、応募のあった提案について外部有識者による事前調査を行った。契約・助成審査委員会を経て委託先を決定して、研究開発を開始する。

4. 3 実績推移

	22年度	23年度
一般勘定（百万円）	1500（経済産業省）	2440（NEDO）
特許出願件数（件）	0	10
論文発表数（報）	6	14
フォーラム等（件）	0	2

5. 事業内容

プロジェクトリーダーを設置し、以下の研究開発を実施する。実施体制については、別紙を参照のこと。

5. 1 平成24年度事業内容

(1) 単層CNT基盤研究開発 [委託事業]

①単層CNTの形状、物性等の制御・分離・評価技術の開発

- ・ 実用化検討が求められる導電用途向けにeDIPS法で比較的細い平均直径の単層CNT形状制御技術開発を進め、連続合成技術、連続加工技術についても検討を行う。
- ・ スーパーグロース法では低コスト化のため収率を改善する合成条件を探索する。
- ・ 以上のCNTの形状、配向性、結晶性の制御、半金分離等の後工程の検討および各工程の効率化を引き続き実施するとともに、単層CNTの大量供給開始を受けて、単層CNT形状制御、分離技術の開発を本格化する。

②単層CNTを既存材料中に均一に分散する技術の開発

- ・ CNTの高効率分散技術、単層CNT網目構造の乾式大量生産技術、白金・金属酸化物等微粒子担持複合化技術、ラテックス分散法技術、量産型高熱伝導性材料製造プロセス技術の開発を進める。

③ナノ材料簡易自主安全管理技術の確立

- ・単層CNT暴露による細胞試験、気管内注入したラット肺の生化学分析による動物試験等の比較により妥当性評価、有害性評価を実施する。
- ・CNTの飛散性を評価するため光散乱式粒子計数器の粒径別個数濃度の計測を実施し、CNT製品の製造、使用、廃棄、リサイクル時の粒子飛散を評価するため模擬排出試験を実施する。
- ・CNT等ナノ材料のライフサイクルに渡る安全性を確保するために、測定データを収集するとともに、暴露評価の手順を提案に着手する。

(2) 単層CNT応用研究開発 [助成事業]

④高熱伝導率単層CNT複合金属材料の応用開発

金属と単層CNTを複合化することによって得られる高熱伝導率複合金属材料を用い、ヒートシンク等の放熱部材に応用するための技術開発を実施する。具体的には、他の金属材料へのろう付け、溶接、表面処理等の高熱伝導率複合金属材料を実用化に供するための周辺技術の開発および当該技術の信頼性評価のデータ取得を行う。

⑤導電性高分子複合材料の開発

ゴム、樹脂等の高分子材料と単層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し、実用に耐えうる機能を持つことを確認する。

⑥単層CNT透明導電膜の開発

タッチパネル、電子ペーパー、太陽電池などに使用されているITOを代替できる透明導電膜を、単層CNTを用いて開発する。

(3) グラフェン基盤研究開発 [委託事業]

⑦グラフェン研究基盤開発

グラフェンの産業応用の可能性を適切に評価するため、大面積かつ単結晶のグラフェンを作製する技術を開発し、グラフェンの特性（電気抵抗、熱伝導、ガスバリア性等）を産業応用の観点で評価する。

5. 2 平成24年度事業規模

一般勘定（平成24年度通常予算額）	950百万円（継続・委託）
一般勘定（平成23年度補正予算額）	600百万円（継続 繰越・委託）
	事業規模については、変動があり得る。
一般勘定（平成23年度補正予算額）	600百万円（継続 繰越・助成率1/2）
	事業規模については、変動があり得る。

6. 事業の実施方式

6. 1 グラフェン基盤研究開発の公募

(1) 公募条件

(a) 対象とするカーボン材料

グラフェン

(b) 採択予定件数

採択予定件数は定めず、予算の範囲内で提案内容の優れているものを採択する。

(2) 掲載する媒体

「NEDOホームページ」及び「e-Rad ポータルサイト」で行う。

(3) 公募開始前の事前周知

公募開始の1ヶ月前にNEDOホームページで行う。本事業は、e-Rad 対象事業であり、e-Rad 参加の案内も併せて行う。

(4) 公募時期・公募回数

平成24年4月に行う。

(5) 公募期間

30日間以上とする。

(6) 公募説明会

神奈川県または東京都で行う。

6. 2 採択方法

(1) 審査方法

e-Rad システムへの応募基本情報の登録は必須とする。

委託事業者の選定・審査は、公募要領に合致する応募を対象にNEDOが設置する審査委員会（外部有識者で構成）で行う。審査委員会（非公開）は、委託事業提案書の内容について外部専門家（学識経験者、産業界の経験者等）を活用して行う評価（技術評価及び事業化評価）の結果を参考にし、本事業の目的の達成に有効と認められる委託事業者を選定した後、NEDOがその結果を踏まえて委託事業者を決定する。

申請者に対して、必要に応じてヒアリング等を実施する。

審査委員会は非公開のため、審査経過に関する問合せには応じない。

(2) 公募締切から採択決定までの審査等の期間

原則、45日以内とする。

(3) 採択結果の通知

採択結果については、NEDOから申請者に通知する。なお不採択の場合は、その明確な理由を添えて通知する。

(4) 採択結果の公表

採択案件については、申請者の名称、研究開発テーマの名称・概要を公表する。

7. その他重要事項

(1) 運営・管理

外部有識者を含む技術委員会を設置し、本プロジェクトの成果物の評価や、事業進捗の確認をする。

(2) 複数年度契約の実施

平成 22 年度～24 年度の複数年度契約を行う。

(3) 評価の方法

NEDOは、技術的及び政策的観点から、研究開発の意義、目標達成度、成果の技術的意義並びに将来の産業への波及効果等について、外部有識者による研究開発の事後評価を平成 27 年度に実施する。

(4) 研究開発成果の取扱い

a. 共通基盤技術の形成に資する成果の普及

得られた研究開発成果のうち、共通基盤技術に係るものについては、プロジェクト内で速やかに共有した後、NEDO及び実施者が協力して普及に努めるものとする。

b. 知的基盤整備事業または標準化等との連携

得られた研究開発の成果については、知的基盤整備または標準化等との連携を図るため、データベースへのデータの提供、国内外の標準化活動や規制見直し活動への情報提供等を積極的に行う。

c. 知的財産権の帰属

委託研究開発の成果に係る知的財産権については、「独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構新エネルギー業務方法書」第 26 条の規定等に基づき、原則として、すべて委託先に帰属させることとする。

(5) その他

本研究によって得られたあらゆる知的財産、また本研究の過程又は成果に基づき開発したプログラム、サンプル若しくは装置などの成果物について、本プロジェクト外（国内外）への供試・開示については、事前に研究開発責任者とNEDOに連絡する。その際に、NEDOが申請書の提出を求めた場合は、これに応じ速やかに提出する。

8. スケジュール（グラフェン基盤研究開発の公募）

平成 24 年 4 月中旬・・・公募開始

4 月中旬・・・公募説明会

5 月中旬・・・公募締切

6 月中旬・・・契約・助成審査委員会

6 月下旬・・・採択決定

9. 実施方針の改定履歴

(1) 平成24年 3月 制定

