

## 平成26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ナノ炭素材料実用化プロジェクト  
(旧：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1号ニ、第3号

## 3. 背景及び目的・目標

カーボンナノチューブ、グラフェン、フラーレン等のナノ炭素材料は、その発見、または、その後の研究の進展に日本の研究者が大きく貢献し、日本が世界トップレベルにある材料である。これら炭素材料は、非常に軽量であることから構造部材へ応用することで、高いエネルギー利用効率を期待することができる。また、電気や熱の伝導率が高く、放熱部材への応用や、導電性材料への応用で、省エネルギー効果を高めることも期待できる。資源に乏しい我が国では、無尽蔵ともいえる炭素を利用して、材料産業を活性化することが、国益に大きく貢献すると考えられる。

ナノ炭素材料のうち、特にカーボンナノチューブ（以下、「CNT」という。）は日本で発見され、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である。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、国内においても年数百トンレベルで生産され、Liイオン電池電極導電補助材等への実用化が推進されているが、用途が期待されたほど広がらず、かつ低コストで販売される海外の多層CNT素材との価格競争にさらされており、販売が伸び悩んでいるのが現状である。このため、CNTの優れた性能を生かせる新しい用途開発が急務となっている。また、新たな特性を有するCNTとして、近年、数層(2、3層)CNTが発表された。これらのCNTは分散性と電氣的な特性を比較的両立するのが容易であるとの観点から、にわかに着目を浴びている。

一方、単層CNTは、多層CNTに比べ、軽量、高強度で高い柔軟性、電気や熱の高伝導性、半導体特性等、多くの優れた特性を持つ。この単層CNTは、様々な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されている。また、単層CNTの工業的量产が間近になり、単層CNTの実用化に対する機運が非常に高まっている。日本は単層CNTの実用化研究において、世界に対して優位性を有しているが、単層CNTの用途をさらに拡大し、実用化を促進することが不可欠である。

グラフェンは、数年前から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。すでに、その基本的な産業応用の可能性が把握されつつあり、電子デバイスや熱

伝導材など実用化に近い用途も現れている。

フラーレンはCNTやグラフェンに対して発見が早く、研究開発も長期間行われているが、産業応用はそれほど進んでいない。既存材料であるカーボンブラックと比較して、コスト的な利点を見いだすことができなかったためである。しかしながら、近年、抗酸化剤や、有機半導体太陽電池への利用で、他の材料では実現できない特性を発揮することが明らかになり、注目されている。

本プロジェクトでは、ナノ炭素材料（単層CNT、多層CNT、グラフェン、フラーレン）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に係る技術の確立、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。

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する。本プロジェクトにおいては、以下の研究開発を実施する。

[助成事業（助成率：1／2）]

研究開発項目① 「ナノ炭素材料の実用化技術開発」

（平成23年度選定テーマ）

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」

（旧研究開発項目④）

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①－2 「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①－3 「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として開発する。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。

（平成26年度選定テーマ）

最終目標（平成28年度）

具体的な目標は、採択結果を踏まえ、平成26年度以降の適切な時期に設定する。例として、ナノ炭素材料高耐熱複合部材の開発、ナノ炭素材料高電子移動度デバイスの開発、ナノ炭素材料軽量導線の開発、ナノ炭素材料大量生産技術の開発等を行う。

[委託]

研究開発項目② 「ナノ炭素材料の応用基盤技術開発」

②－1 「ナノ炭素材料の安全性に係る技術開発」

②－1－1 「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）における暴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.および 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。さらに国際的な機関（OECD、ISO等）の動向を的確に把握した上で、この研究開発の中で作成された手法について、国際標準化等に向けた取組みを行う。
- (2) CNT等ナノ材料の安価かつ簡便な自主安全管理のための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自らが自主安全管理を実践することを支援するために、具体的なナノ材料に適用した安全管理に関する事例（ケーススタディ）報告書を作成する。

#### 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）における暴露を迅速かつ簡便に評価するための手法を確立する。

#### 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」

##### 最終目標（平成28年度）

ナノ炭素材料及びその応用製品の排出・暴露評価のデータ計測を行い、その評価技術を確認した上で、排出・暴露評価手引きとして策定し、普及を図る。また、応用製品に使用されるナノ炭素材料の有害性評価手法（培養試験を活用した簡易手法）のために最低限必要な試験項目や試験系を設定した上で、動物試験によるデータ補完も含めた自主安全性評価手順として、ナノ炭素材料の安全性試験総合手順書を策定し、普及を図る。これらの安全性評価手法等に基づき、ナノ炭素材料を取り扱う事業者が自主安全管理の参考とできるよう、具体的なナノ材料に適用した安全管理例（ケーススタディ）報告書を作成する。

安全性試験総合手順書、排出・暴露評価手引き、安全管理例（ケーススタディ）報告書を活用して技術普及を行う。また、国際的な機関（OECD、ISO等）の動向を的確に把握し、国際標準化へ向けた取組みを行っている経済産業省の担当課など日本の窓口機関と連携し、データ提供等を行う。

## ②-2 「ナノ炭素材料の分散体評価技術の開発」

最終目標（平成28年度）

ナノ炭素材料の分散液等分散体の評価技術として、溶液中のナノ炭素分散体のサイズ・分布、バンドル間隔、解れ等を定量的に示す指標を開発し、ナノ炭素に対して、それぞれに最適な分散体を開発する指針を策定する。分散手法や分散液等分散体の評価技術は、企業、大学等の外部機関に対して、マニュアル化して提供する。

分散液等分散体の評価技術では、各CNT分散サイズ・分布を400nmから1mmの範囲で解析し、バンドル間距離を最小0.01 $\mu$ mの空間精度で、また電位を0.5mVの精度での評価できる手法を開発する。

また、ナノ炭素分散体中のCNT等による熱や電気伝導パスを10 $\mu$ mの空間精度で実空間計測できる評価手法を開発する。用途開発企業の複合材料に対し、開発された評価手法を適応することで、高機能化への開発指針を策定する。

## 研究開発項目②-3 「ナノ炭素材料の応用材料技術開発」

### ②-3-1 「単層CNTの形状、物性等の制御・分離・評価技術の開発」

最終目標（平成25年度）

単層CNTの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。

- ・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する。
- ・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する。
- ・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する。
- ・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する。
- ・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する。
- ・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件開発する。
- ・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開発する。

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。

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、具体的な達成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1.0-3.0nm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1.0-2.0nm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( $\sigma$ )を0.3nm以内にする技術に関しても開発する。
- ・ 長さ：1 $\mu$ m以下（信頼度80%）、1-10 $\mu$ m（信頼度70%）、100 $\mu$ 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1000m<sup>2</sup>/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/cm<sup>3</sup>から0.06g/cm<sup>3</sup>で精度が0.01g/cm<sup>3</sup>の単層CNT集積状態を持つ試料の作製。
- ・ 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/日以上以上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開発する。

#### 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」

##### 最終目標（平成25年度）

###### (1) 樹脂・ゴム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10<sup>10</sup>（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100S/cmを達成する。
- ・ 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<sup>-4</sup> $\Omega$ 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）複合材料を開発する。

- ・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する。
- ・スーパージョイント法による単層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する。

## （2）金属中に分散する技術の開発

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 $15$  ppm/Kの高伝熱単層CNT・アルミニウム複合材料を開発する。

配線等に用いるのに十分な、 $10^{-5}$  Ω cm台の体積（電気）抵抗率と $10^7$  A/cm<sup>2</sup>以上（銅以上）の許容電流を有する単層CNT・銅複合材料を開発する。

## （3）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が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。

## 中間目標（平成24年度）

### （1）溶媒中に分散する技術の開発

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

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

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。

- ・30vol%以上、50vol%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80S/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。

②-3-3 「グラフェン基盤研究開発」(旧研究開発項目⑦)

最終目標(平成26年度)

- ・開発した高品質グラフェンの作製技術を用いて、サンプル評価可能な実用サイズの大面積グラフェン透明導電フィルムを試作する。

中間目標(平成25年度)

- ・将来的に大量生産に適する合成法を用いて、層数を制御した上で5mm×5mmサイズの高品質グラフェンの作成技術を開発する。
- ・上記の技術で作製したグラフェンについて、静電容量タッチパネルのスペックに見合う高性能フレキシブルグラフェン透明導電膜、および層間熱接続材料のスペックに見合う高熱伝導性多層グラフェン放熱材を目指して性能の向上を図る。

②-3-4 「ナノ炭素材料の革新的応用材料開発」

最終目標(平成28年度)

工業的に量産が可能で、大きな市場が目指せる革新的応用材料として、次の項目等を開発する。(1) 超高強度炭素繊維用分散剤を開発し、層間靱性0.4Nm以上を達成する。(2) 350℃の耐熱性を有するナノ炭素ゴム応用材料、450℃の耐熱性を有するナノ炭素樹脂応用材料を開発する。その生産能力は5kg/h以上とする。(3) 100℃以下の温度で、既存の銅配線と同等以上の導電性・許容電流



密度・熱伝導性を有し、30%軽量なナノ炭素銅線材と配線を開発する。

また、研究開発成果については、サンプル提供を実施し、その結果を研究開発へフィードバックすることで、より応用を見据えた研究開発とする。

#### ②-3-5 「ナノ炭素材料の革新的薄膜形成技術開発」

最終目標（平成28年度）

ナノ炭素材料の高品質で工業的な大面積薄膜形成技術開発等を行う。グラフェン等のナノ炭素材料の気相化学蒸着（CVD）法、塗布法、高分子焼成法等による工業的な薄膜形成技術の開発を行い、大面積ナノ炭素材料薄膜を企業、大学等の外部機関に対してサンプル提供可能とする。タッチパネル、電磁波遮蔽、有機EL、トランジスタ等の用途に向けた要求仕様を満たすナノ炭素材料薄膜の大面積薄膜形成技術としてロールツーロールの薄膜形成、および転写法によるA4サイズ100枚/時間相当の工業的量産基盤技術等を開発する。

また、研究開発成果については、サンプル提供を実施し、その結果を研究開発へフィードバックすることで、より応用を見据えた研究開発とする。

#### 4. 実施内容及び進捗（達成）状況

##### 4. 1 ナノ炭素材料の実用化研究開発[助成事業]事業内容

本プロジェクトでは、委託事業において、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していた。

一方、単層CNTの応用開発事例はほとんどなかった。日本発の炭素組成材料の研究として、海外と比べ技術的優位性を持っていながらも、実用化に至っていないのが実情であった。CNTの潜在的な物理特性を活かすためにも単層CNTに特化した応用研究開発を加速する必要があった。

本助成事業では、委託事業で開発した成果を活用すべく、「高熱伝導性単層CNT複合金属材料の応用研究開発」、「導電性高分子複合材料の開発」および「単層CNT透明導電膜の開発」を行うこととし、これらの材料を活用した材料特性評価、加工技術を確立し、有望なアプリケーションの提案を行うこととした。

研究開発項目①-1 「高熱伝導率単層CNT複合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」

研究開発項目①-3 「単層CNT透明導電膜の開発」

平成24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。

##### (1) 平成24年度事業内容

###### 研究開発項目①-1：[住友精密工業]

- ・ 高熱伝導率単層CNT複合金属材料を製品適用するための応用技術開発のために、同材料に対する表面処理技術、ろう付けならびにはんだ付け等の接合技術について実験検証を行った。その結果、高熱伝導率単層CNT複合金属材料の加工技術開発の実現見通しを得た。

###### 研究開発項目①-2：[東レ、日本ゼオン、アルプス電気、東海ゴム工業]

- ・ 航空機向けCFRP構造材料で要求される耐雷性を満たす導電性プリプレグの開発において、プリプレグへのCNT添加効果を検証した。その結果、適切な添加方法の選択により厚さ方向の導電性が大幅に向上することが分かった。
- ・ 導電ゴムの開発のために、スーパーグロスCNTの分散技術の応用と新規開発したラテックス技術の複合化を詳細に検討した。その結果、1wt%のごく少量添加にて高い導電率と複合材の硬度をそのまま維持できる材料設計を可能とする導電ロール向け導電ゴムの実現に目処を付けた。
- ・ 高分子アクチュエータの開発において、スーパーグロスCNTを効果的に電極材料として使うため、材料配合や分散製膜プロセスを詳細に検討したことで、従来のアクチュエータを超える特性や有効製膜面積を実現し、今年度目標を達成した。
- ・ 単層カーボンナノチューブを活用した柔軟な電極とその製法開発において、単層CNTと柔軟なポリマーの複合化を詳細に検討することにより、一般的な複層カーボンナノチューブより高い導電性を得た。

研究開発項目①-3：[東レ、日本ゼオン、富士化学]

- ・ 既存のITOを代替する透明導電膜の開発のために、eDIPS法により製造された単層CNTの分散および膜形成技術について詳細に検討し、抵抗膜式タッチパネルで想定される透明導電性の実現に目処を付けた。
- ・ 透明導電膜の開発とその応用において、スーパーグロース法CNT向けの特異な高分散液および製造方法の条件を検討した。その結果、所望のシート抵抗と光透過率の両立を達成し、色素増感太陽電池電極材料の透明電極として活用可能であることを確認した。またその応用技術により対向電極への適用可能性も見い出された。
- ・ 透明導電膜の開発のために、シリカ分散剤を用いて単層CNTを液中に均一に分散させる技術について検討し、有機物を含まない環境負荷の低い水系単層CNT分散液を開発した。また、これらの単層CNT分散液を利用した透明導電膜の製膜プロセスについて詳細に検討し、透明導電膜応用の要求仕様を満たすことに成功した。

(2) 平成25年度事業内容

研究開発項目①-1：[住友精密工業]

- ・ CNTとアルミニウムの金属複合材料による高熱伝導放熱板開発では、CNT以外の補助添加剤に安価なグラファイトが利用できる見込みが立ち、また複合材を作製するために用いているSpark-Plasma-Sintering法に比べ量産性に優れるHot-Isostatic-Pressing法でもほぼ同等の性能の複合材料を作製できることがわかった。課題としては、放熱板と放熱フィンとのろう付けを行う際、放熱板内の複合材料に包含されているガス成分の膨張により、形状変形を起こすことであるが、この原因となるガス成分のオリジンがわかりつつあり、それを低減する新しいプロセスの検証を開始した。

研究開発項目①-2：[東レ、日本ゼオン、アルプス電気、東海ゴム工業]

- ・ 航空機向けCFRP構造材料は導電性が低いため、耐雷性を有する材料とするためにCFRP材料に用いるエポキシ樹脂へCNTを配合することで電気伝導性を持たせることで縦方向の導通を持たせる。繊維マットへCNTを担持させて、このマットをCF構造の層間材料として用いることで、目標の2倍を上回る最大44S/mという導電率を示した。しかし、現状では層間靱性(GIc)は目標の750J/m<sup>2</sup>に比べ20%ほど低かった。層間靱性に関しては、層間材料に使用するエポキシ樹脂の粘性が大きく影響していることが今までの開発からわかっており、樹脂粘度も開発パラメータとして開発を進める。
- ・ スーパーグロース法CNT(SGCNT)/ゴム複合材料の高効率生産技術の開発を詳細に検討した。その結果、0.2wt%SGCNT分散液：60ℓ/日、SGCNT/ゴム複合材料：2kg/日、の、ベンチプラントスケール試作に成功し、日産kg単位の量産技術を確立させた。さらに、その試作品にて、加硫混練特性、加硫成型、および、加硫成形体物性評価に着手し、ゴムへの高温耐性付与の可能性が見いだされた。

- ・ 高分子アクチュエータの構造を無封止構造で作製できることがわかり、当初想定していたデバイス構造を封止するためのスパッタ工程が削減できることがわかった。性能についても発生力、連続駆動に関して目標をクリアした。100mm□サイズでのアクチュエータ構造試作の試作成功が目標であったが、スケールアップが可能と判断し、A4サイズの試作を実施している。現在A5サイズのアクチュエータ試作に成功している。
- ・ 単層カーボンナノチューブを活用した柔軟な電極とその製法開発において、単層CNTと柔軟なポリマーを用いた複合体によって作製した電極が導電性と柔軟性、電極機能において優れることを確認し、実用化への見通しを得た。

#### 研究開発項目①-3：[日本ゼオン、富士化学]

- ・ 透明導電膜の開発とその応用において、その応用となる対向電極向けに、特殊分散液が開発された。本分散液を用いることで、連続的な常温塗布プロセスでの対向電極の導電層の可能性が示唆される。また、本導電層を用いて色素増感光電池を作成したところ、白金を用いなくても同等の発電効率を発現させることが見出された。
- ・ 透明導電膜の開発のために、シリカ分散剤を用いたSWCNTの均一分散技術について検討した結果、分散性能を改良することができた。また、これらのSWCNT分散液を用いて透明導電膜の製膜技術について詳細に検討し、透明導電膜特性が向上するのを確認した。

#### 4.2 ナノ炭素材料の応用基盤研究開発[委託事業]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した。

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され、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した。

研究開発項目②-1-1：「ナノ材料簡易自主安全管理技術の構築」

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」

##### (1) 平成22年度事業内容

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②－１－１：

[技術研究組合 単層CNT融合新材料研究開発機構]

- ・ 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年から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設するとともに、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。

研究開発項目②－３－１：

[技術研究組合 単層CNT融合新材料研究開発機構、名古屋大学]

- ・ 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、また高効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②－３－２：

[技術研究組合 単層CNT融合新材料研究開発機構、九州大学]

- ・ 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。

## (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②-1-1：

[技術研究組合 単層CNT融合新材料研究開発機構]

- ・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ベリングまたはサ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。

研究開発項目②-3-1：

[技術研究組合 単層CNT融合新材料研究開発機構、名古屋大学]

- ・eDIPS法の直径範囲0.9nmから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から0.85(分解能0.05)を実現し、CNT密度0.003から0.05 g/cm<sup>3</sup>を分解能0.005 g/cm<sup>3</sup>で、また直径制御1.3から3.0 nm(分解能0.1 nm)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1.3 g/dayを達成した。

研究開発項目②-3-2 :

[技術研究組合 単層CNT融合新材料研究開発機構、九州大学]

- ・ 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%、0.6 g/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<sup>-3</sup> S/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ーバーと単層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<sup>-5</sup> Ω・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100 S/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840 W/mKの高熱伝導性金属CNT複合材料を実現した。

### (3) 平成24年度事業内容

平成24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②-1-1 :

[技術研究組合 単層CNT融合新材料研究開発機構]

- ・ これまで開発してきた分散手順と計測手順に基づいて、CNTの影響を適切に反映するエンドポイントを用いた各種の簡易で迅速な細胞(in vitro)試験結果を蓄積した。また、動物(in vivo)試験による妥当性の検証に着手した。
- ・ 粒子飛散および暴露濃度の予測手法の開発については、製品・プロセスの多様性を考慮し、実際に開発が進められているものを対象に評価事例の蓄積を行った。
- ・ TASCで作製されているSG単層CNTのケーススタディ報告書「ナノ材料自主安全管理の手引き—SG-単層CNT(初版)」を完成した。

研究開発項目②-3-1 :

[技術研究組合 単層CNT融合新材料研究開発機構、名古屋大学]

- ・ e D I P S法で単層CNT収率1 g/h以上での連続合成達成、単層CNT糸を180 m/hのスループットで連続巻取り回収することに成功し、これらの成果を生かしてサンプルワークを12社(NEDO助成事業向け4社、一般ユーザー向け8社)に対して行った。また、形状制御技術を高度化し、長さ制御1 μm以下(信頼度80%)達成するとともに、長さが長いほど導電性が向上する傾向を確認した。さらに、e D I P S法CNTがSG法を含む他の単層CNTおよび多層CNT等と比較して高導電性であることと透明導電用途における優位性を実証した。
- ・ 単層CNTフォレストの密度を広範囲(0.033~0.1 g・cm<sup>3</sup>)で制御する合成技術の開発、紙抄き法によるA3サイズ単層CNT厚膜成形技術を確立し、リソグラフィ技術による板状単層CNTの厚み制御を達成、さらにスクリーン印刷によるパターン形成に成功した。
- ・ 既存技術の1/20以下のコストで単層CNTを金属型と半導体型に分離する技術を開発し、金属型CNTで未分離の1/4のシート抵抗を実現した。また、無担体電気泳動法による高純度半導体型CNTの分離に成功し、これによってプラスチックフィルム上CNTトランジスタの高均一印刷形成を達成した。
- ・ 赤外吸収による単層CNT長さ評価法についての基礎開発に成功し、透明導電膜など各種CNTのアプリケーションにおける適用性を検証した。

研究開発項目②-3-2:

[技術研究組合 単層CNT融合新材料研究開発機構、九州大学]

- ・ 最大で体積導電率145 S/cmの低コスト複合材料の作製に成功した。
- ・ 放電プラズマ装置を用いて、スーパージョウ法によって生成された単層CNTを熱処理し、高結晶性の単層CNTを得た(G/D評価で従来の約5倍)。これにより単層CNTの直線性が増し、比表面積の減少(バンドル化)が確認され、分散性向上が得られた。実製品サイズの放電プラズマ焼結技術を開発し、パワー半導体放熱板(φ350)製作に成功した。この放熱板に関してサンプル提供を開始した。
- ・ 高分子に対して0.5 wt%の単層CNTを高分子溶液へ分散することに成功し、これを用いてマトリックスとなる高分子よりも力学特性に優れた高分子・CNT複合繊維を湿式紡糸によって試作した。

#### (4) 平成25年度事業内容

平成25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②-1-1:

[技術研究組合 単層CNT融合新材料研究開発機構]

- ・ CNT調製原液での安定的な分散と適切なキャラクタリゼーション、および細胞(i n v i t r o)試験とエンドポイントの選択についての手順を示した「カーボンナノチューブの安全性試験のための試料調製と計測、および細胞を用いたインビトロ試験の手順」の日本語版をウェブ公開した。



- ・ 炭素分析によるCNTの定量法や小型・簡便なエアロゾル計測器の有用性の評価、CNTの飛散性の模擬試験を進めるとともに、「カーボンナノチューブの作業環境計測の手引き」の日本語版と英語版を作成し、ウェブ公開した。
- ・ 上記の両文書について10月にプレスリリースを行った。
- ・ TASCが提供するSG-単層CNTおよびeDIPS-単層CNTのそれぞれについて、安全性情報と自主安全管理手法をまとめたケーススタディ報告書「安全性データおよびTASC自主安全管理の紹介（初版）」を完成し、関係者に配布した。

研究開発項目②-3-1：

[技術研究組合 単層CNT融合新材料研究開発機構、名古屋大学]

- ・ eDDIPS法単層CNT合成装置を用いた連続回収技術とスケールアップ技術の開発を行い、CNT透明導電膜としての性能が最も高いと見出された直径1.3nmの単層CNTを従来よりも一桁高いスループットで合成することに成功した。この成果により合成した50gの直径1.3nmの単層CNTを金属半導体分離研究のグループに試料提供した。
- ・ CNT複合材料開発に資する長さ評価法および品質評価法として、新たに複合材料中のCNTネットワーク構造を可視化するロックイン計測サーマルスコープ評価が有効であることを見出した。
- ・ 炭酸ガスレーザー蒸発法による単層CNT量産化装置の検討を行い、本製造技術における触媒としてニッケルテルビウムが有効であることを見出した。
- ・ スーパーグロース法による熱伝導材料用単層CNTの収量増加と連続合成技術の確立を目指して、微粒子基材（ビーズ）を用いた小型微粒子基材合成炉を立ち上げ、装置を改造してビーズ上の単層CNT合成における均一性を向上させることにより、目標であった10mg/cm<sup>2</sup>以上の収量を達成した。
- ・ ゲルカラムクロマトグラフィー法により高結晶性のeDIPS法単層CNTに混在する金属型と半導体型のCNTを分離する技術を開発し、これまでより回収が～10倍の飛躍的な改善を達成した。eDIPS法単層CNTを用いて半導体型単層CNTインクを電界誘起層分離法で分離精製し、これを用いて作製した印刷CNT-TFTにおいて、高速動作させた際の寄生成分の低減と出力電流の向上に成功するとともに、電子機器の制御回路への応用が可能な動作速度500kHzを実現した。

研究開発項目②-3-2：

[技術研究組合 単層CNT融合新材料研究開発機構、九州大学]

- ・ SGCNTゴム複合材料製造プロセスを確立し、技術移転を実施した。また、複合材料中の添加剤の効果を明らかにし、CNTの添加量を抑えたまま、複合材料の特性を改善する手法を見出した。サンプル提供を実施し、成果の普及に努めた。
- ・ SGCNT及び市販の多層CNTを用いて複合材料を作成し、その物性を評価することにより、複合材料化した際に各CNTが有する特徴・長所を明らかにした。特にSGCNT

複合材料は環境耐久性に優れることが明らかになったので、この点に注力して実用化に向けた検討を行った。また熱硬化性樹脂にSGCNTを分散させ、これをプリプレグ間の接着剤として用いることにより、材料の界面剥離靱性を4倍まで向上させることに成功した。

- ・ SGCNT複合材料の実用化を促進するために、CNT分散液作成技術および分散液中のCNT分散構造解析技術(粒径、解線度、バンドル間距離など)を開発し、技術移転契約に基づき企業への技術移転を7件、分散液評価を24件実施した(H26年1月)。また、それに付随する技術相談を18件実施した。
- ・ SG単層CNTおよびその他ファイラーに適切な熱処理を施すことにより、安定した熱特性を得ることに成功した。更にそれらファイラーの安定した分散・配向技術を開発し、熱特性の方向制御技術の向上に成功した。助成事業との連携強化およびサンプル提供を行い、その評価結果とニーズを検証することにより、対象市場の把握と、商品化に必要な技術的・コスト的な課題を明確化することが出来た。原料について、コストと熱特性のバランスの優れたファイラーの選択に成功しており、要求性能を満足する適切な配合と分散技術の検証試験を実施しつつある。生産方法は、コストと量産性に優れ、且つ安定した生産プロセスの検証を実施しつつある。
- ・ 単層CNT銅複合材料の工業的展開を図るため、微細配線形成技術を開発し、銅の100倍の電流容量とSiと同等の熱膨張係数を有し、40%軽量のCNT銅配線の作製に成功した。また、量産に向けて、電界めっきによる複合化の面積化に取組み、これまでの16倍のスケールアップを達成した。

#### 4.3 グラフェン基盤研究開発

グラフェンはカーボンナノチューブと同様の炭素原子とその結合からなるナノ材料であり、その優れた物性により、既存材料を凌ぐ機能性材料や放熱部材、次世代電子デバイスへの応用が期待された。

ただ、実際には高品質で大面積のグラフェン膜を再現性良く合成する技術が未確立であり、民間企業単独での研究開発はリスクが高かったため、本研究開発において大面積かつ単結晶相当のグラフェン作製技術を開発し、グラフェンの特性を産業応用の観点で評価する目的で研究開発を行った。

##### (1) 平成24年度実施内容

平成24年度における本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②-3-3:

##### 【技術研究組合 単層CNT融合新材料研究開発機構】

- ・ フレキシブルグラフェン透明導電フィルムの開発では、グラフェンの導電性向上のため、プラズマガス種混合比の最適化を図った。さらにこれをもとに、精密な層数制御技術の開発を実施した。また合成したグラフェンの品質を保持したまま透明基材に転写するための、ダメージの少ない転写技術の開発を実施した。

- ・ 高熱伝導性多層グラフェン放熱材の開発では、熱伝導性向上をめざして原料の高分子フィルムの高温度熱処理過程を精密に制御することで、多層グラフェンフィルムの結晶品質の向上を図った。
- ・ グラフェン高品質化のための評価技術の開発では、各種分光法による特性評価を実施した。これにより、グラフェンの層数評価のもととなる基礎物性値を得ることができた。さらに多層グラフェンフィルムの熱伝導特性の評価法の開発に取り組んだ。

[中部大学、名古屋工業大学、神港精機]

- ・ 大面積単結晶グラフェンの成膜技術の研究開発では、ガスクラスタイオンビーム(GCIB)加工により、グラフェン作成用Cu基板表面を平坦化した。プラズマCVD成膜によるグラフェンで、GCIB加工無しの単結晶サイズ10 $\mu$ mから、GCIB加工により350 $\mu$ mサイズの単結晶グラフェンの作成に成功した。またCu基板にレーザー光を照射することによってグラフェンの成膜表面がスムーズになった。レーザー光の照射なしの場合に数 $\mu$ mのグレインサイズのグラフェンが、レーザー照射により150 $\mu$ mの単結晶を得た。大面積グラフェンを作成するため、ショウノウを原料としたマイクロ波表面波プラズマCVD方式のグラフェン単結晶成膜装置を設計した。
- ・ グラフェンの物性、結晶性及び構造評価では、ショウノウを用いて金属箔上に成膜したグラフェンについて、ドメインサイズの測定とラマン散乱測定とにより、グラフェンの欠陥や結晶性の評価を行った。また、透過電子顕微鏡、走査電子顕微鏡、原子間力顕微鏡を用いた観察で、金属箔上に成膜したグラフェンの基板/グラフェンの界面表面を原子レベルで評価する準備を行った。
- ・ グラフェン透明導電膜の転写技術の開発では、成膜した高品質グラフェンをプラスチックフィルムに転写する技術の開発を進めた。転写後のグラフェンの光透過率及びシート抵抗を測定し、転写技術の評価した。

## (2) 平成25年度実施内容

平成25年度における上記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②-3-3：

[技術研究組合 単層CNT融合新材料研究開発機構]

- ・ フレキシブルグラフェン透明導電フィルムの開発では、より高い電気伝導性とより精密な透過率の制御性を達成するため、結晶核発生密度と成長速度を抑制し二次元成長を促進するグラフェン合成手法を開発した。これにより電気伝導性と透過率(グラフェン層数)制御性の格段の向上に成功した。
- ・ 高熱導電性多層グラフェン放熱材の開発については、熱伝導性向上をめざして原料の高分子フィルムの熱処理過程のさらなる最適化のため、昇温プロセスの精緻化に取り組み、熱伝導性の向上を達成した。
- ・ グラフェン高品質化のための評価技術の開発については、プローブ顕微鏡による局所領域の結晶構造評価を実施した。さらに多層グラフェン膜の熱伝導性評価法の信頼性を向上し

た。

[中部大学、名古屋工業大学、神港精機]

- ・ 大面積単結晶グラフェンの成膜技術の研究開発では、レーザー光照射マイクロ波励起表面波プラズマCVD装置を製作し、ショウノウを原料としてグラフェンの成膜を実施した結果、一辺200 $\mu$ mのドメインサイズを持つ大きなグラフェン結晶を成膜することができる成果を得た。
- ・ グラフェンの物性、結晶性及び構造評価では、原料として多分子ショウノウと小分子メタンを用いた場合について、ラマン分光、SEM観察等によりグラフェンの欠陥評価を実施した結果、5員環、6員環を持つショウノウによるグラフェンの結晶性は、小分子メタンに比べて、優れている成果を得た。
- ・ グラフェン透明導電膜の転写技術の開発では、銅箔上に550 $^{\circ}$ Cで成膜したグラフェンをエッチングで効率よく取り出し石英板に転写することを実施し、光透過率91.2%、表面抵抗840 $\Omega$ / $\square$ の透明導電膜を作製でき、当初の目標(90%, 1k $\Omega$ / $\square$ )を達成し、メタンに比べてショウノウの優位性を示す成果を得た。

#### 4.4 実績推移

	22年度	23年度	24年度	25年度
一般勘定(百万円)	1500 (経済産業省)	2440	1950	1540
特許出願件数(件)	0	10	8	14
論文発表数(報)	6	14	18	18

#### 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26年度事業内容

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。

###### (1) ナノ炭素材料の実用化技術開発 [助成事業]

###### ① 研究開発の内容

###### ①-1 「高熱伝導率単層CNT複合金属材料の応用研究開発」

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。

#### ①-2 「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。

#### ①-3 「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。

(平成26年度選定テーマ)

平成26年度に公募を行い、テーマおよび研究開発実施者を選定する。具体的な目標は、採択結果を踏まえ平成26年度以降の適切な時期に設定する。

例として、ナノ炭素材料高耐熱複合部材の開発、ナノ炭素材料高電子移動度デバイスの開発、ナノ炭素材料軽量導線の開発、ナノ炭素材料大量生産技術の開発等を想定している。

#### ② 助成対象事業者

助成対象事業者は、単独ないし複数で助成を希望する、原則本邦の企業、大学等の研究機関（原則、本邦の企業等で日本国内に研究開発拠点を有していること。なお、国外の企業等（大学、研究機関を含む）の特別の研究開発能力、研究施設等の活用または国際標準獲得の観点から国外企業等との連携が必要な部分を、国外企業等との連携により実施することができる。）とし、この対象事業者から、e-Radシステムを用いた公募によって研究開発実施者を選定する。

#### ③ 助成対象事業

以下の要件を満たす事業とする。

1) 助成対象事業は、基本計画に定められている研究開発計画の内、助成事業として定められている研究開発項目の実用化開発であること。

2) 助成対象事業終了後、本事業の実施により、国内生産・雇用、輸出、内外ライセンス収入、国内生産波及・誘発効果、国民の利便性向上等、様々な形態を通じ、我が国の経済再生に如何に貢献するかについて、バックデータも含め、具体的に説明を行うこと。

(我が国産業の競争力強化及び新規産業創出・新規起業促進への貢献の大きな提案を優先的に採択します。)

④ 審査項目

・事業者評価

技術的能力、助成事業を遂行する経験・ノウハウ、財務能力（経理的基礎）、経理等事務管理／処理能力

・事業化評価（実用化評価）

新規性（新規な開発又は事業への取り組み）、市場創出効果、市場規模、社会的目標達成への有効性（社会目標達成評価）

・企業化能力評価

実現性（企業化計画）、生産資源の確保、販路の確保

・技術評価

技術レベルと助成事業の目標達成の可能性、基となる研究開発の有無、保有特許等による優位性、技術の展開性、製品化の実現性、重要技術課題との整合性

・社会的目標への対応の妥当性

・海外の研究機関、企業とのパラレル支援等の自国費用自国負担による国際連携

特にNEDOの指定する相手国の公的支援機関の支援を受けている、あるいは受けようとしている相手国研究機関、企業との連携

<助成条件>

① 研究開発テーマの実施期間

3年を限度とする。

（必要に応じて延長する場合がある。）

② 研究開発テーマの規模・助成率

i) 助成額

1件あたり1億円程度／年間を助成金の上限として予算内で採択する。

ii) 助成率

1／2 以内

(2) ナノ炭素材料基盤研究開発 [委託事業]

② ナノ炭素材料の応用基盤技術開発

②-1 ナノ炭素材料の安全性にかかる技術開発

②-1-1 ナノ材料簡易自主安全管理技術の確立

金属型単層CNTと半導体型単層CNTの産業利用促進を支援するため、それぞれの有害性の相違を確認するための動物試験を加速的に実施する。

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

CNT等ナノ炭素材料を用いた応用製品について簡便な排出・暴露評価を行い、データを蓄積する。また、作業環境における計測データと比較し、応用製品についての簡便な排出・暴露評価技術を確立する。また、応用製品に使用されるナノ炭素

材料の安全評価に関して、動物実験よりも迅速な培養細胞実験による有害性評価手法（簡易手法）の構築について、動物実験によるデータ等の補完を行い、信頼性の高い安全性試験評価手法として普及を行う。さらに、データ検証した安全性評価手法に基づき、CNT等ナノ炭素材料を取り扱う事業者が自主安全管理の参考とできるよう、具体的なCNT等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。評価手順やケーススタディを紹介する文書を発行することで技術指導や技術移転を行う。また、国際的な機関（OECD、ISO等）の動向を的確に把握した上で、この研究開発の中で作成された手法の国際標準化に向けた取組みを経済産業省の担当課など日本の窓口機関と連携して行う。

平成26年度に公募を行い、研究開発実施者を選定する。具体的な目標は、採択結果を踏まえ平成26年度以降の適切な時期に設定する。

## ②-2 ナノ炭素材料の分散体評価技術の開発

複合材料中のCNT等のナノ炭素分散体の構造と機能を評価する技術を開発する。また、分散体の構造を応用面から評価するため、分散による機能付与のメカニズムを解明する。

平成26年度に公募を行い、研究開発実施者を選定する。具体的な目標は、採択結果を踏まえ平成26年度以降の適切な時期に設定する。

## ②-3 ナノ炭素材料の応用材料技術開発

### ②-3-3 グラフェン基盤研究開発

サンプル評価可能な実用サイズの大面積グラフェン透明導電膜フィルムの試作に取り組む。また、本研究開発項目で取り組んできた研究開発成果については、企業等の外部機関に対してサンプル提供し、用途開拓を行う。

### ②-3-4 ナノ炭素材料の革新的応用材料開発

超高強度炭素繊維プリプレグ、ナノ炭素銅線材・配線等に使用することができ、工業的に量産可能で、大きな市場が目指せるナノ炭素材料の分散液等の革新的応用材料を開発する。また、研究開発成果については、サンプル提供を実施し、その結果を研究開発へフィードバックすることで、より応用を見据えた研究開発とする。

平成26年度に公募を行い、研究開発実施者を選定する。具体的な目標は、採択結果を踏まえ平成26年度以降の適切な時期に設定する。

### ②-3-5 ナノ炭素材料の革新的薄膜形成技術開発

ナノ炭素材料の高品質で工業的な薄膜等の革新的形成技術の開発を行う。産業化の応用先として、タッチパネル、電磁波遮蔽、放熱材、有機EL、トランジスタなどに向けた、原子層ナノ炭素材料フィルムの熱やプラズマを利用する気相化学蒸着（CVD）法、塗布法、および高分子焼成法等による超大面積薄膜形成技術などの

革新的薄膜形成技術を開発する。また、研究開発成果については、サンプル提供を実施し、その結果を研究開発へフィードバックすることで、より応用を見据えた研究開発とする。

平成26年度に公募を行い、研究開発実施者を選定する。具体的な目標は、採択結果を踏まえ平成26年度以降の適切な時期に設定する。

## 5. 2 平成26年度事業規模

需給勘定（平成26年度通常予算額） 1, 625百万円

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 公募

#### (1) 掲載する媒体

「NEDOホームページ」及び「e-Rad ポータルサイト」で行う他、新聞、雑誌等に掲載する。

#### (2) 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。

#### (3) 公募時期・公募回数

- ・平成26年4月 助成事業、委託事業の公募
  - ・平成27年3月の助成事業の公募
- 以上、計2回行う。

#### (4) 公募期間

原則30日間とする。

#### (5) 公募説明会

全国各地で開催する予定。

### 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。

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 が設置する非公開の審査委員会（外部有識者で構成）で行う。審査委員会は、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、本事業の目的達成に有効と認められる事業者を選定した後、NEDO はその結果を踏まえて事業者を決定する。

なお、提案者に対して必要に応じてヒアリング等を実施する。また、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

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. スケジュール

### 7. 1 本年度のスケジュール：

平成26年4月上旬・・・公募開始  
4月上旬・・・公募説明会  
5月上旬・・・公募締切  
5月下旬・・・契約・助成審査委員会  
6月上旬・・・採択決定

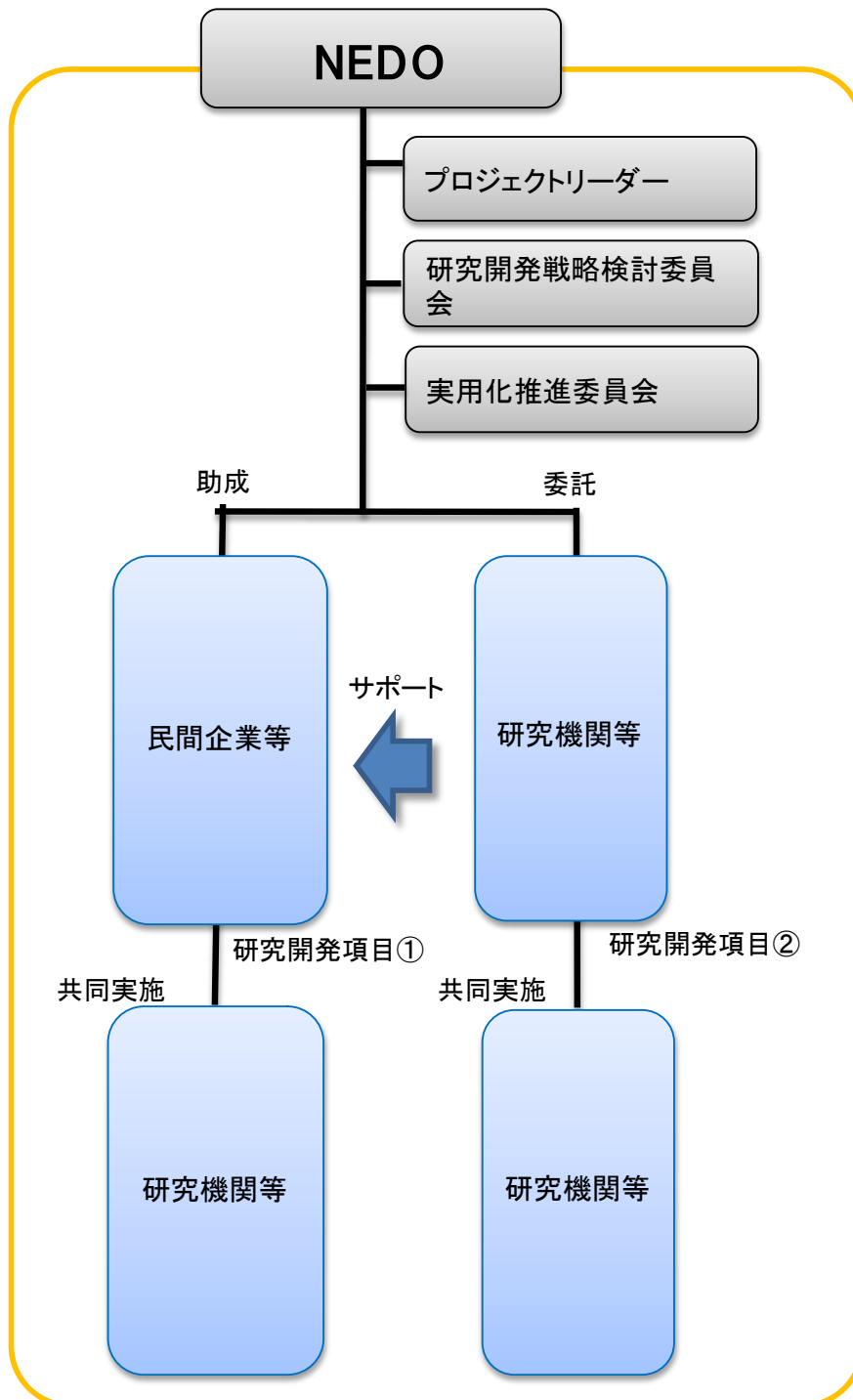
### 7. 2 来年度の公募について

事業の効率化を図るため、平成26年度中に平成27年度公募を開始する(但し、事業の内容は、別途平成27年度実施方針で定める)。

## 8. 実施方針の改定履歴

### (1) 平成26年 3月 制定

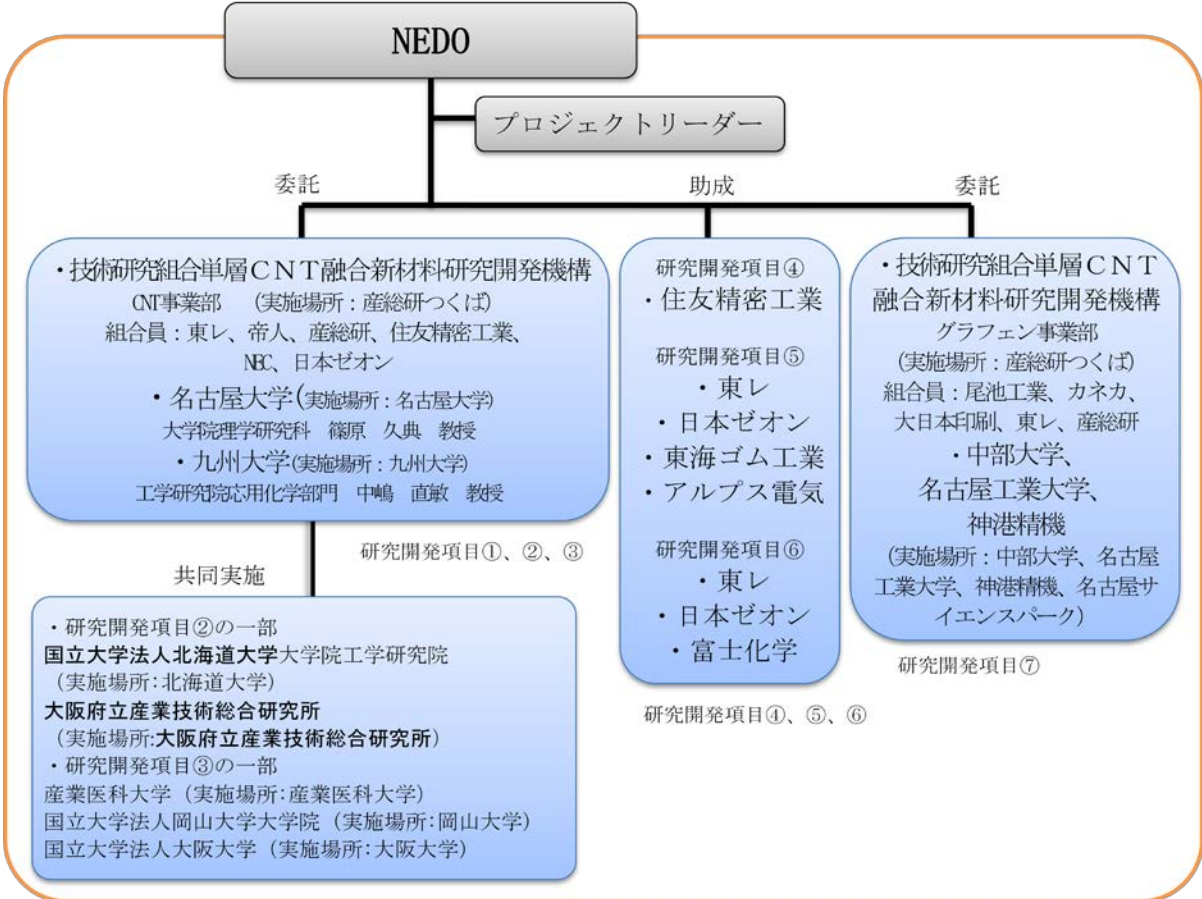
新体制



研究開発項目① : ナノ炭素材料の実用化研究開発

研究開発項目② : ナノ炭素材料の応用基盤技術開発

旧体制



- 旧研究開発項目① : 単層CNTの形状、物性等の制御・分離・評価技術の開発
- 旧研究開発項目② : 単層CNTを既存材料中に均一に分散する技術の開発
- 旧研究開発項目③ : ナノ材料簡易自主安全管理技術の確立
- 旧研究開発項目④ : 高熱伝導率単層CNT複合材料の応用研究開発
- 旧研究開発項目⑤ : 導電性高分子複合材料の開発
- 旧研究開発項目⑥ : 単層CNT透明導電膜の開発
- 旧研究開発項目⑦ : グラフェン基盤研究開発