

## 平成27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」（旧研究開発項目⑤）

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」（旧研究開発項目⑥）

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）

①-4 「ナノ炭素材料高耐熱・高熱伝導高分子複合部材の開発」

最終目標（平成28年度）

ナノ炭素材料と高分子材料を複合化することで、高耐熱性、高熱伝導性を有する高分子複合部材を開発する。耐熱性、化学的耐久性、熱伝導率の各性能で従来製品を凌駕する特性を確認し、事業化の見通しを得る。

①-5 「ナノ炭素材料高強度複合材料の開発」

最終目標（平成28年度）

既存材料の機械的強度を高めるため、ナノ炭素を用いた高強度複合材料を開発し、応用製品を考慮した状態で実用に耐えうる特性を有することを確認する。

①-6 「ナノ炭素材料高電子移動度半導体デバイスの開発」

最終目標（平成28年度）

高電子移動度半導体デバイスを実現するため、半導体型CNTを商業的に利用可

能な分離技術を開発し、装置の試作を行う。また、ナノ炭素材料が持つ高電子移動度を十分に発揮する半導体デバイスを開発し、その効果を実証する。

①－ 7 「ナノ炭素材料軽量導線の開発」

最終目標（平成 28 年度）

ナノ炭素材料を用いた軽量導線を開発し、強度、導電性の各性能面で金属導線を代替できる特性を有することを確認する。

①－ 8 「ナノ炭素材料フレキシブル薄膜の開発」

最終目標（平成 28 年度）

高い導電性と柔軟性を合わせ持つフレキシブル薄膜を、数種類のナノ炭素材料を用いて試作し、その特性を評価することで、それぞれに最適な作製技術を開発する。作製されたフレキシブル薄膜を評価し、フレキシブル薄膜に最適なナノ炭素材料を見出す。

①－ 9 「ナノ炭素材料電磁波吸収部材の開発」

最終目標（平成 28 年度）

原料となるナノ炭素材料の安定、連続生産技術を開発し、用いるナノ炭素材料の電磁波シールド性、熱伝導性を利用し、実用性に優れた電磁波吸収部材を開発する。また、試作品を評価し、実用化に供することを確認する。

①－ 10 「ナノ炭素材料高密度エネルギーデバイスの開発」

最終目標（平成 28 年度）

ナノ炭素を二次電池等の電極へ適用することで、高いエネルギー密度、および長寿命等の特性を備えることを確認し、実用化に供する負極材等を開発する。また、合わせて量産時に必要となる周辺技術に関しても、開発を行う。

①－ 11 「ナノ炭素材料大量生産技術の開発」

最終目標（平成 28 年度）

上記ナノ炭素材料を利用したアプリケーションを実用化する場合に供給が必要となる、効率的な合成技術、および分散技術を開発する。また、その効果を評価することで、実用化に供することを確認する。

[委託]

研究開発項目②「ナノ炭素材料の応用基盤研究開発」

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」（旧研究開発項目③）

#### 最終目標（平成25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.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。

#### 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、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り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～1mmの範囲で解析し、バンドル間距離を最小0.01μmの空間精度で、また電位を0.5mVの精度での評価技術を開発する。

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10μm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の形状制御技術の開発」(旧研究開発項目①)

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。

- ・スーパージ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。
- ・スーパージグロース法の単層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。

##### 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 nmで、かつ制御分解能が0.2 nm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 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( $\sigma$ )を0.3 nm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1 mm以下（信頼度70%）の長さ制御を達成する。
- ・表面積：比表面積1,000  $m^2/g$ 。
- ・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比が150以上。
- ・純度：金属触媒含有率500 ppm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0.02  $g/cm^3$ から0.06  $g/cm^3$ で精度が0.01  $g/cm^3$ 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40 mm×40 mm以上の板状単層CNTを開発する。板状単層CNTは、長さ1 mm以上の単層CNTより構成され、純度99%以上、比表面積1,000  $m^2/g$ 以上、密度0.5  $g/cm^3$ 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 $5\mu\text{m}$ 以下、厚み精度 $200\text{nm}$ 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 $5\mu\text{m}$ 以下、厚み精度 $200\text{nm}$ 以下の配列化技術を確立する。

3) 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、 $1\text{g}/\text{日}$ 以上の処理能力で分離できる技術を開発する。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。

#### 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 $0.7\text{--}1.6\text{nm}$ )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」

(旧研究開発項目②)

最終目標(平成25年度)

#### 1) 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開発し、特に以下の特性を達成する。

- ・導電性ゴムにおいて $100\text{S}/\text{cm}$ を達成する。
- ・垂直方向の熱伝導率が $20\text{W}/\text{mK}$ 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

平成26年度までに、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15ppm/Kの高伝熱単層CNT・アルミニウム複合材料を開発する。

平成26年度までに、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認する。

### 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。

- ・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ために十分な量の単層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。

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25年度)

- 1) 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。
- 2) (1)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%軽量のナノ炭素銅線材と配線を開発する。また、これまで両立が難しかった長尺、高品質を特徴とした、長さ500μm以上、G/D比が50以上のCNT集合体を合成し、導線等応用技術へ適用可能であることを確認する。

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。また、ナノ炭素材料の低欠陥化技術を開発し、グラフェンの導電率 $10,000\text{ S/cm}$ 以下等を実現し、グラフェン薄膜の高品質化を図る。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。さらに、大面積化が可能な手法で合成するグラフェンで、デバイス等へ適用する際に、他の材料に対し有意な差となるキャリア移動度 $20,000\text{ cm}^2/\text{Vs}$ を実現する基礎技術を確立する。

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技術開発[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（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」

研究開発項目①-2（旧研究開発項目⑤）「導電性高分子複合材料の開発」

研究開発項目①-3（旧研究開発項目⑥）「単層CNT透明導電膜の開発」

また、平成26年度から、実用化研究を拡張するため、以下の8つの研究開発項目を追加した。

研究開発項目①-4 「ナノ炭素材料高耐熱・高熱伝導高分子複合部材の開発」

研究開発項目①-5 「ナノ炭素材料高強度複合材料の開発」

研究開発項目①-6 「ナノ炭素材料高電子移動度半導体デバイスの開発」

研究開発項目①-7 「ナノ炭素材料軽量導線の開発」

研究開発項目①-8 「ナノ炭素材料フレキシブル薄膜の開発」

研究開発項目①-9 「ナノ炭素材料電磁波吸収部材の開発」

研究開発項目①-10 「ナノ炭素材料高密度エネルギーデバイスの開発」

研究開発項目①-11 「ナノ炭素材料大量生産技術の開発」

上記11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（旧研究開発項目④）：[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（旧研究開発項目⑤）：[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（旧研究開発項目⑥）：[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、スーパーグロス法CNT向けの特殊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（旧研究開発項目④）：[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のろう付けを行う際、放熱板内の複合材料に含ま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（旧研究開発項目⑤）：[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CF

R P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44 S/mという導電率を示した。しかし、現状では層間靱性(G1c)は目標の750 J/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、0.2 wt% 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 (旧研究開発項目⑥) : [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。

(3) 平成26年度事業内容

研究開発項目①-1 (旧研究開発項目④) : [住友精密工業]

- ・ 最終目標となる、放熱板と放熱フィンのろう付け技術が確立した。さらにグラファイトを利用した安価な複合材料を作成する技術も確立し、実用化を検討するために必要な技術が完成した。

研究開発項目①-2 (旧研究開発項目⑤) : [東レ、日本ゼオン、アルプス電気]

- ・ 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材料に縦方向の導通を持たせる必要がある。本年度は繊維マットへ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、導電率と相間靱性（G1c）に関して、目標となる $44\text{ S/m}$ 、および $750\text{ J/m}^2$ を達成した。

- ・ スーパーグロス法CNT（SGCNT）/ゴム複合材料の高効率生産技術の開発に関して、商用プラントに適合可能な有機溶剤フリーの製造技術開発を行った。また、極限環境用部材の開発を行い、目標とした耐熱性（ $230^\circ\text{C}$ <）を確認し、最適配合技術を確立した。
- ・ 高分子アクチュエータの応答性の向上と高耐久化に成功し、研究開発の目標を達成した。また、分散・製膜製の商用プロセス技術を開発することで、今後の事業化を推進する礎を築いた。

研究開発項目①-3（旧研究開発項目⑥）：[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、SGCNTを用いたDSCの目標となる発電効率を達成した。また、製造設計を詳細に検討することで、安定して目標値が得られる技術を開発し、モジュールを試作した。
- ・ 前年度の成果であるシリカSWCNT均一分散剤を用いて、透明導電膜を作製した。透過率90%の条件で実用的な特性を示す導電率 $300\ \Omega/\square$ を達成した。

研究開発項目①-4：[日本ゼオン、日信工業]

- ・ 界面化学制御技術を導入した高温、高耐圧性複合材料の耐久性評価を行い、従来技術に対し1.5倍となる成果を得た。また、同様に界面化学制御技術を導入した発熱複合材料では、ばらつきを抑えつつ、耐熱性、耐久性を両立させる見通しを得た。
- ・ 高熱伝導高分子複合材料の開発では厚み方向の熱伝導率の目標を達成した。アスカーC硬度に関しては目標値を達成する目途が得られた。また、目標達成のため、必要な検討事項を整理した。

研究開発項目①-5：[美津濃]

- ・ 複合時のマトリックス樹脂との結合力を高めるため、CNTの表面処理を行い、官能基化を行った。従来の技術と比較して、2倍以上の官能基値が得られ、構造欠陥も低いことを確認した。

研究開発項目①-6：[NEC、東レ、住友電気工業]

- ・ グラフェンテラヘルツデバイスの開発において、低ダメージプロセスを開発し、ドメインサイズ数 $10\ \mu\text{m}$ レベルを達成した。
- ・ 半導体型CNTの分離技術において、純度向上の阻害要因として支配的な金属触媒を除去する技術を開発した。また、分離速度向上のため、酸素濃度制御を行う技術開発に着手した。
- ・ 半導体型CNTの分離技術において、諸条件、および分離時のCNTの特性を評価することで、利用できる半導体型CNTを増やし、最終目標となる収率を実現した。また、アプリケーションでの実証を行い、その有効性を確認した。

研究開発項目①－ 7 : [帝人]

- ・ ナノ炭素材料軽量導線の開発において、e D I P S法で生成されたCNTを用いて、導線試作を行った。引っ張り強度、抵抗率等の評価を行った結果、従来を上回る特性を確認した。

研究開発項目①－ 8 : [東レ]

- ・ フレキシブル薄膜の開発において、CNTフレキシブル透明導電膜の開発を行った。CNT分散技術を検討し、複数のCNTで試作を行い、従来技術と比較し60%程度の低抵抗化が可能になった。

研究開発項目①－ 9 : [パナソニック]

- ・ グラフェンパウダーサイズが電磁波吸収部材の特性に影響を与えることを確認し、サイズを決定した。また、複合材料の母材、および混練技術を検討し、目標を達成する見通しを得た。

研究開発項目①－ 10 : [戸田工業]

- ・ S i系リチウムイオンバッテリー負極の開発において、L iの挿入・脱離を評価するための、電解システムを構築した。また、本装置を用いてマリモ状MWCNT－S i複合材料へのL i挿入を確認した。

研究開発項目①－ 11 : [日本ゼオン、昭和電工、G S Iクレオス、日本触媒、K J特殊紙、神戸製鋼所]

- ・ 単層CNTの大量合成技術開発において、原料ガスの最適化により、S G C N T合成の高効率化を実現した。また、原料濃度や還元温度などを最適することで、一層の触媒で従来法に比べて2倍の高収量を達成した。
- ・ フラーレンの合成技術開発において、化学反応シミュレーションを行い、温度制御の条件を算出することで、高純度、高収率のフラーレン合成装置を設計した。
- ・ 酸化グラフェンの大量生産技術開発において、最適な原料、混合や反応、精製等プロセスの最適条件を見出し、次年度の装置試作の準備を行った。
- ・ 爆轟現象を利用した多層グラフェン合成技術開発において、合成・フッ素付加された材料の分析を行い、フッ素付加が可能になることを示した。また、合成された多層グラフェンを、他の材料表面に塗布する技術を開発し、多層グラフェンの施工可能性を示した。
- ・ 高濃度CNT分散液量産化技術を開発する上で必要となる分散液を評価し、電線、面状発熱体等のアプリケーションを想定した目標を満足する条件を見出した。
- ・ CNT分散材料の大量生産技術開発では、複数条件で試作を実施し、量産型試験器を用いた場合でも所望の特性を得ることができることを確認した。

#### 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

##### (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（旧研究開発項目③）

「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（旧研究開発項目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②-3-2（旧研究開発項目②）

「CNTを既存材料中に均一に分散する技術の開発」

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（旧研究開発項目③）：

[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（旧研究開発項目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°Cの間で安定したエネルギー散逸性を示し、1000°C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（旧研究開発項目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（旧研究開発項目③）：

[技術研究組合 単層CNT融合新材料研究開発機構]

- ・ 細胞 (i n v i t r o) 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。
- ・ e D I P S 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 (旧研究開発項目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 法の直径範囲 0.9 nm から 2.1 nm 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 e D I P S 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 / c m<sup>3</sup> を分解能 0.005 g / c m<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 / d a y を達成した。

研究開発項目②-3-2 (旧研究開発項目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 / c m 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 $10^{-5}\Omega\cdot\text{cm}$ 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。

### (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（旧研究開発項目③）：

[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（旧研究開発項目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法で単層CNT収率1g/h以上での連続合成達成、単層CNT糸を180m/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 $\mu\text{m}$ 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、eDIPS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(0.033~0.1g $\cdot\text{cm}^3$ )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（旧研究開発項目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、スーパーグロース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0.5wt%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（旧研究開発項目③）：

[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（*in vitro*）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（旧研究開発項目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（旧研究開発項目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およびその他フィ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。更にそれらフィ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ィ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%軽量な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り組み、これまでの16倍のスケールアップを達成した。

(5) 平成26年度事業内容

平成26年度からは、民間企業のナノ炭素材料の実用化を強化するため、ナノ炭素材料実用化の障害になっている、ナノ炭素材料安全性評価技術、ナノ炭素材料の複合材料を他の材料と差別化するためのナノ炭素材料分散体評価技術、および革新的材料開発を行い、我が国発のナノ炭素産業を創成し、ナノ炭素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。上記目的のため、NEDOが公募によって研究開発実施者を選定し、次の4つの研究開発項目を開始した。

- 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」
- ②-2 「ナノ炭素材料の分散体評価技術の開発」
- ②-3-4 「ナノ炭素材料の革新的応用材料開発」
- ②-3-5 「ナノ炭素材料の革新的薄膜形成技術開発」

研究開発項目②-1-2：

[技術研究組合 単層CNT融合新材料研究開発機構、岡山大学、京都大学、産業医科大学]

- ・ 応用製品からの排出・暴露量を把握するための計測技術として、ナノ炭素材料の複合材料の切断、摩耗、破砕などのプロセスで発生するナノ炭素材料と母材等の混合粒子中のナノ炭素の総量を熱炭素分析により定量する方法を検討した。対象材料として、SGCNTとポリスチレン(PS)、市場化されているCNTとポリカーボネート(PC)、PS、ポリプロピレン(PP)とした。PS及びPPは無酸素状態での加熱により分離することが分かった。また、PCは有機溶媒による前処理を行っても分離が難しいことが分かった。また、ナノ炭素材料のライフサイクルで想定されるプロセスにおける排出や表面への露出を評価するために、3つの模擬排出試験を行った。
- ・ 応用製品に使用されるナノ炭素材料を対象にした迅速な培養細胞試験による有害性評価技術において、培養細胞試験に必要な分散安定性の高い調整液を得ることができた。また、有害性評価に重要な指標となるナノ炭素材料中の金属類等の不純物の測定を行った。これらの調整液を用いて、ラット肺胞マクロファージ細胞株等における培養細胞試験を同期的に実施し、ミトコンドリア脱水素阻害測定による細胞生存や細胞浸透性蛍光プローブを使った活性酸素種測定による酸化ストレス、透過型電子顕微鏡による細胞形態観察等のナノ炭素材料の有害性評価を行うために影響を反映する最低限必要な試験評価項目や試験系を設定した。

研究開発項目②-2：

[技術研究組合 単層CNT融合新材料研究開発機構、九州大学、山形大学]

- CNTバンドル間隔の指標として、水銀ポロシメータを用いた $0.01\mu\text{m}$ の分解能でバンドル間隔を計測する技術の開発に成功した。バンドルほぐれの指標として、CNT分散液ゼータ電位は有機溶剤系では評価に分散液が必要であること、また水/分散剤計ではCNT分散体の比表面積と相関を持つことを明らかにした。
- 複合材料中のCNT伝導パスを実空間計測する手法として、ロックイン式サーマルスコープを装備した「CNTネットワーク構造計測装置」を用いて、CNTゴムおよび樹脂複合材料に電流を印加し、電流が流れることによって発生するジュール熱をとらえることで、複合材中に形成されたCNT分散体ネットワーク構造を可視化することに成功した。
- CNTに極力ダメージを与えずに原料CNT集合体から不純物炭素成分ならびに金属触媒を除去する技術として、有機溶媒による洗浄処理、空気中加熱酸化処理・酸処理・遠心分離処理により、芳香族炭化水素化合物や非晶質炭素粒子・金属触媒微粒子など様々な形態にある不純物を除去する方法を検討した。また、CNT破片および直線性の低いCNTの定量解析法として、分散液の吸光度を指標とすることができることを明らかにした。この技術を用いて不純物を分離し、ばらつきを抑えたCNT分散体から作製したバッキーペーパーの特性を測定し、密度と電気特性が向上していることを確認した。
- 全反射型蛍光顕微鏡を用いて液体中の分散状態を観察する技術開発において、全反射条件を満たすように光を界面に導入するため、試料操作が簡単で、試料を移動させたときに焦点が合わせやすい対物レンズ法を検討した。本装置を用いて50nm以下の小さな薄層グラフアイト分散体の観察を行い、目標とする分解能での観察が可能であることを示した。

研究開発項目②-3-4:

[技術研究組合 単層CNT融合新材料研究開発機構、スペースリンク株式会社]

- 高耐久性を有する革新的樹脂・ゴム複合材料開発として、ラボスケールで二本ロールを用いたCNT硬化ゴムの試作を行い $320^{\circ}\text{C}$ の耐熱性を達成した。また、作製されたCNT硬化ゴムの高温引っ張り耐久特性、線膨張率、熱水耐性、圧縮永久ひずみ、硬度、熱膨張係数を評価し、耐熱水特性に顕著な特性を有することを明らかにした。
- CNTを用いた微細加工型マイクロキャパシタの工業的量产および集積安定化を可能にする歩留り向上技術を開発し、90%以上の歩留りを達成した。この結果、マイクロキャパシタ10個の集積化が可能になり、動作電圧10Vの駆動に成功した。
- CNT銅複合材料開発において、複合化プロセスの安定化を阻害する要因を特定した。この結果、数百ナノメートルサイズの微細な銅粒子を安定して、ち密に充填することが可能になった。また、紡糸で作製したCNTファイバにも適用できることを確認し、CNT銅ファイバの試作を行った。
- CNT不織布合成体用いた高エネルギー密度CNTキャパシタ開発において、最終目標となる $40\text{Wh/L}$ を達成した。本結果より、次年度以降の検討により、2倍のエネルギー密度を達成することが可能であることを示し、目標を修正した。

#### 研究開発項目②-3-5：

##### [技術研究組合 単層CNT融合新材料研究開発機構]

- 銅箔から供給される炭素と反応容器内部のアウトガスなどとグラフェン合成の関係を精査し、意図的に外部から供給するメタンガスなどの炭素源ガスにより、核発生密度を制御する手法へと発展させ、これを確立した。また、グラフェン成長初期段階の観察にもとづき、核発生密度やグラフェン結晶の2次元成長レートと、炭素源濃度、基材温度、プラズマ照射条件、プラズマ種、などへの依存性を明らかにした。さらに、既存のロール to ロールグラフェンCVD合成装置に銅箔の直接通電加熱機構を組み込んだ。これにより毎時100枚のA4サイズグラフェン膜を製造するスループットを達成した。
- 焼成多層グラフェンの検討では課題であった皺発生の対策として、平坦性に優れた鏡面グラッシーカーボンや、適度な凹凸と平滑性を併せ持つ基板に挟み込む事を検討した。また試料フィルムを、試料と同等の収縮、膨張を起こす基板に貼り付けた状態を作り、適度な張力をかけつつグラファイト化を行うことを検討した。これらの検討により、厚さ1 $\mu$ m、面積1 $\times$ 1 $\text{cm}^2$ 、2800 $^{\circ}\text{C}$ 処理においても皺のほとんど無い（鏡面）試料を作製する事に成功した。
- 黒鉛を原料とし、量産可能な剥離法で剥離したグラフェン薄片の導電率が2000 $\text{S}/\text{cm}$ 以上であることを確認した。また、レーザーによる剥離および不純物除去などによる特性の向上を試みた。

#### 4.3 グラフェン基盤研究開発

##### (1) 平成24年度実施内容

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。

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2-2-③（旧研究開発項目⑦）：

##### [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

研究開発項目2-2-③(旧研究開発項目⑦)：

[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	26年度
一般勘定(百万円)	1500 (経済産業省)	2440 (NEDO)	1950 (NEDO)	1540 (NEDO)	0
需給勘定(百万円)	0	0	0	0	1540 (NEDO)
特許出願件数(件)	0	10	8	14	28
論文発表数(報)	6	14	18	18	5

#### 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27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。

必要に応じ市場等の現状把握及び将来動向調査を目的とした調査を行う。

(1) ナノ炭素材料の実用化技術開発 [助成事業]

①-4 「ナノ炭素材料高耐熱・高熱伝導高分子複合部材の開発」

ナノ炭素材料と高分子材料を複合化し、従来にない高耐熱性、高熱伝導性を有し、かつ実用的な高分子複合部材を開発する。

①-5 「ナノ炭素材料高強度複合材料の開発」

既存材料の強度を高めるため、ナノ炭素を複合化し実用に耐えうる特性を有することを確認する。

①-6 「ナノ炭素材料高電子移動度半導体デバイスの開発」

ナノ炭素材料が持つ高電子移動度性を十分に発揮し、実用に供する半導体デバイスを開発する。

①-7 「ナノ炭素材料軽量導線の開発」

金属導線を代替できる特性を有する軽量導線をナノ炭素材料を用いて開発する。

①-8 「ナノ炭素材料フレキシブル薄膜の開発」

ナノ炭素材料を用いて、高い導電性と柔軟性を合わせ持つフレキシブル薄膜を開発する。

①-9 「ナノ炭素材料電磁波吸収部材の開発」

ナノ炭素材料の電磁波反射特性、熱伝導性を利用し、実用性に優れた電磁波吸収部材を開発する。

①-10 「ナノ炭素材料高密度エネルギーデバイスの開発」

ナノ炭素を二次電池等の電極へ適用することで、高いエネルギー密度、および長寿命等の特性を備えることを確認し、実用化に供する負極材等を開発する。

①-11 「ナノ炭素材料大量生産技術の開発」

上記ナノ炭素材料を利用したアプリケーションを実用化する場合に必要なナノ炭素材料を大量生産するための技術開発を行う。

①-12 (平成27年度選定テーマ)

具体的な目標は、採択結果を踏まえ平成27年度以降の適切な時期に設定する。

<助成選定概要>

(a) 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。

(b) 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。)

(c) 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

<助成条件>

- (a) 研究開発テーマの実施期間  
2年を限度とする。
- (b) 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) ナノ炭素材料基盤技術開発〔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係る技術開発
    - 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等ナノ炭素材料の作業環境における計測データを蓄積することにより、

既存の計測手法を検証し、改善点を明らかにする。また、応用製品からの排出・暴露評価に関して手法を確定する。

- ・ 多層CNT等を被験物質として、呼吸器への炎症を中心とした細胞試験等の安全性試験方法の手順書を作成する。
- ・ 単層CNTを基にして分離した金属型単層CNTと半導体型単層CNTを6ヶ月、および9ヶ月の期間で被験物質としてラットへの気管内投与試験を実施し、呼吸器への炎症を中心とした有害性の評価を行う。分散調製液のキャラクタリゼーション、肺や胸腔等の病理観察と生化学検査を実施する。さらに、肺胞内や胸腔内での単層CNTの移行を調べるために、電子顕微鏡等を使った解析を行う。
- ・ 事業者の自主安全管理を促進するための手段として、作業標準手順書（SOP）を作成し公開する。

#### ②-2 ナノ炭素材料の分散体評価技術の開発

- ・ ナノ炭素分散体ネットワークを流れる熱伝導パスを実空間計測できる種々の手法を比較検討し、本PJで研究する手法を確定する。
- ・ ナノ炭素とゴム複合材料の前分散および二本ロールによる硬化剤との分散プロセス全体を最適化し、硬化ゴムの物性、および成形加工したシーリング材の特性を評価する。高粘性の樹脂にナノ炭素を分散させる方法を確定させる。単層CNTおよび多層CNTに関して、CNTのほぐれ具合、ダメージの程度、分散体のサイズ、CNTバンドル間のポアサイズを定量的に評価できる分散液評価の手法を確定させる。
- ・ 半導体CNTからなるCNTトランジスタの導電性パスを実空間計測できる、種々の手法を比較検討し、本PJで開発する手法を決定する。
- ・ グラフェン分散体の蛍光顕微鏡観察技術において、顕微鏡観察条件の最適化、及び分散体開発キットの試作を行う。

#### ②-3 ナノ炭素材料の応用材料技術開発

##### ②-3-4 ナノ炭素材料の革新的応用材料開発

- ・ CNTによる炭素繊維プリプレグのオートクレーブ条件を最適化する。
- ・ CNTと銅の焼結による複合化技術開発に着手し、冷間延伸が可能な複合材料の実現を目指す。
- ・ CNT熱耐性材料開発に着手し、ゴム、樹脂への混合手法を確定する。
- ・ 合成装置を導入し、高結晶性・長尺CNTの合成に着手する。
- ・ 不織布含浸CNTキャパシタの性能に関する飛躍的向上に係る技術を開発する。

##### ②-3-5 ナノ炭素材料の革新的薄膜形成技術開発

- ・ 気相化学蒸着（CVD）法による薄膜形成技術の開発については、A4サイズの

大面積グラフェン透明導電薄膜の工業的な形成技術を開発する。また、CVD合成、剥離・転写、ドーピング、基板保持、などの各工程を精査し、高移動度実現に向けた課題の抽出と指針の探索を行う。収差型補正電子顕微鏡での欠陥形成プロセス観察技術により、欠陥形成プロセスを検証することで、CVD成膜時の欠陥をコントロールする方針を策定する。

- ・塗布法による薄膜形成技術の開発については、溶液プロセスを用いたグラフェン薄膜形成法の開発に取り組む。黒鉛からの剥離法を改良し、グラフェン薄片の欠陥をコントロールすることで、グラフェン薄膜の欠陥と集積膜の導電率の関係を把握する。また、グラフェン薄片の導電率 $10,000\text{ S/cm}$ を達成する。
- ・高分子焼成法による薄膜形成技術の開発については、原料高分子薄膜の熱処理過程の最適化によるグラフェン薄膜の高品質化を目指す。キャリア移動度 $10,000\text{ cm}^2/\text{Vs}$ を達成し、インターポザーや半導体などの配線等、用途を明確化する。

## 5. 2 平成27年度事業規模

需給勘定（平成27年度通常予算額） 1,750百万円

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27年3月、8月 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2カ所で開催する。

## 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

4 5 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 助成事業公募

平成 27 年 3 月上旬・・・公募開始  
3 月中旬・・・公募説明会  
4 月上旬・・・公募締切  
4 月中旬・・・契約・助成審査委員会  
5 月下旬・・・採択決定

### 7. 2 助成事業 2 次公募

平成 27 年 8 月下旬・・・公募開始  
9 月初旬・・・公募説明会  
10 月初旬・・・公募締切  
11 月初旬・・・契約・助成審査委員会  
11 月初旬・・・採択決定

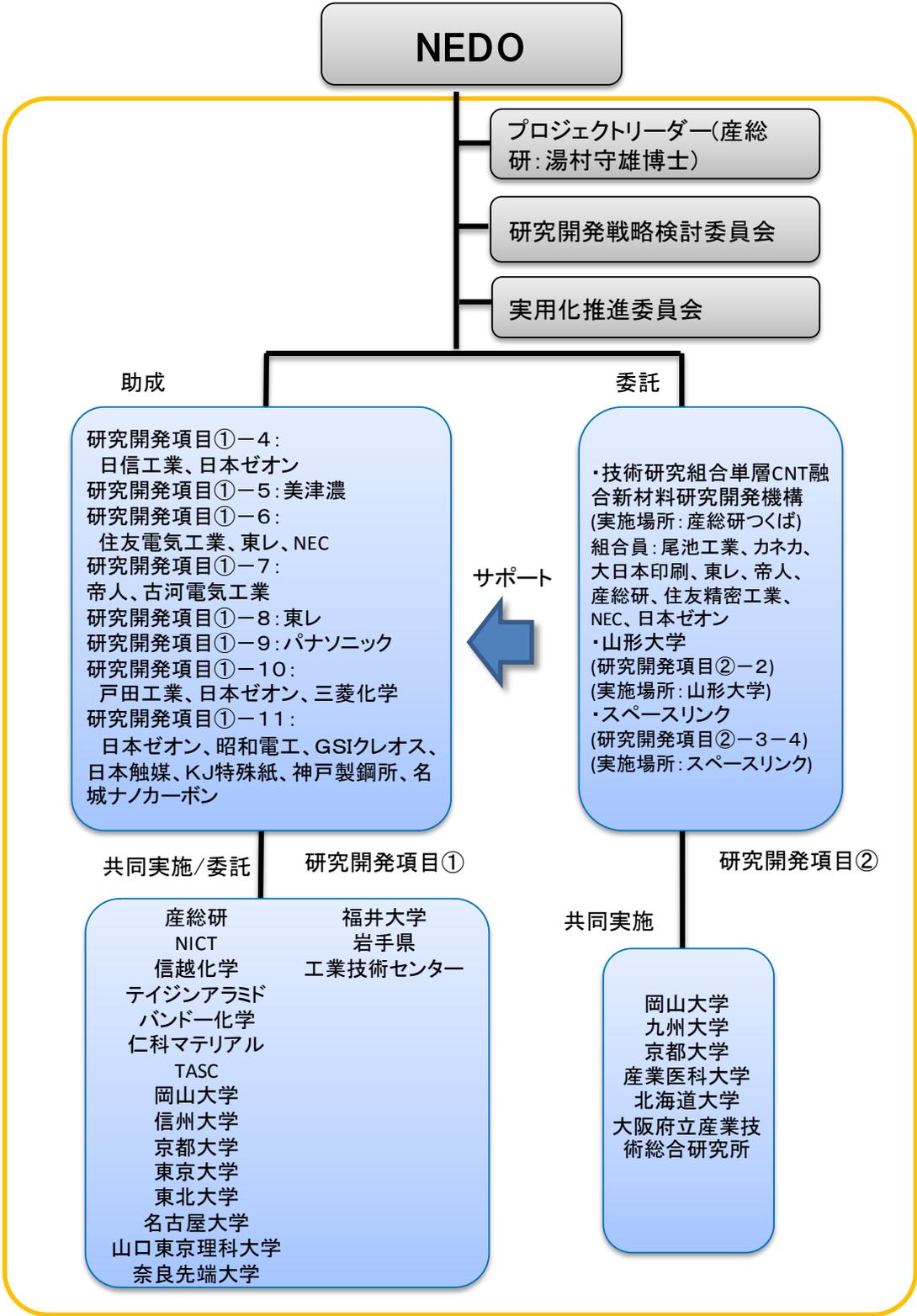
### 7. 3 助成事業の見直し

見直しが必要な研究開発項目は、12月に次年度の交付を判断する。

### 8. 実施方針の改定履歴

(1) 平成27年 3月 制定

(2) 平成27年 8月 改訂



研究開発項目① : ナノ炭素材料の実用化技術開発

研究開発項目② : ナノ炭素材料の応用基盤技術開発

