

## (ナノテク・部材イノベーションプログラム)

## 「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」基本計画

## 材料・ナノテクノロジー部

## 1. 研究開発の目的・目標・内容

## (1) 研究開発の目的

## ① 政策的な重要性

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。

また、ナノ炭素材料は新しい材料であり、安全性に関する不安が、実用化を阻害する大きな要因となっている。安全性はナノ炭素材料の用途・部材ごとに大きく異なるため、企業が自社で開発している用途の安全性を自主的に評価・管理できることが望まれている。

## ② 我が国の状況

以下、各ナノ炭素材料の状況を説明する。

## (1) 多層CNT

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の開拓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は分散性と電気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。

## (2) 単層CNT

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。これまでNEDOは実用化促進のため、その複合材のサンプル提供を行っている。単層CNTの優れた特性はいくつかのサンプル提供先からも評価されつつある。また、比較的安価な多層CNTと特性に優れる単層CNTの複合化等の研究開発も必要とされている。

以上に示した最近の動きから判断するに、NEDOプロジェクトにおいても、単層CNTのみならず、多層CNTに関しても、助成事業での実用化研究を進め、多層CNT、単層CNTそれぞれの特徴を活かした応用先を見いだすことが急務となっている。また、これらCNTの既存材料中への分散状態を最適化するための、分散体評価技術は共通基盤技術であり、委託研究が必要と考えられる。

## (3) グラフェン

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。

平成23年度から平成24年度に実施されたNEDOプロジェクト「革新的ナノカーボン材料先導研究開発」で行われた研究を実用化する活動も活性化しており、CNTと同様にさらに実用化を推進する必要があると考えられる。

## (4) フラーレン

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つたためである。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。

NEDOでは、多層CNTに関するプロジェクトとして、「炭素系高機能材料技術開発プロジェクト」(平成10年度から平成14年度)の一部で、CNT合成技術、および合成されたCNTの評価技術を検討した。

一方で、特性面での利点が顕著と考えられた単層CNT合成技術に着目して実施された「ナノカーボン応用製品創製プロジェクト」(平成14年度から平成17年度)で、単層CNTの合成法であるスーパーグロース法とeDIPS法が確立され、現在の単層CNT実用化の糸口が開かれた。その後の「カーボンナノチューブキャパシタ開発プロジェクト」(平成18年度から平成22年度)では、スーパーグロース法の大量合成技術とキャパシタへの応用技術開発に取り組み、現在では、それぞれの技術で企業化の目途がたっている。

本プロジェクトでは、単層CNTの複合材料化に取り組み、助成事業とのシナジー効果を高めた運営を実施し、高熱伝導性金属複合材料、高熱伝導性・高導電性ゴム、透明導電膜等の複合材料の実用化を推進している。また、新材料としての安全性の懸念に答えるため、自主安全管理技術の確立を目指している。新しく研究開発が活性化してきたグラフェンに関しては、産業応用の可能性を見極めるための基盤研究を平成24年度から実施している。

### ③ 世界の取組状況

多層CNTに関しては、ドイツが平成21年から産学官連携によるCNT開発事業連合体「Inno.CNT」に取り組んでいる。Inno.CNTでは、軽量構造材料、電池等エネルギーへの応用、安全性評価を課題とし、研究開発を行っている。当該プロジェクトにドイツ連邦教育研究省(BMBF)は計4,000万ユーロ(55億円)を投入中であり、産業界は総額2億4,000万ユーロ(約328億円)の投資をしている。また、CNT関係の研究者は世界で数万人が活躍中であり、平成24年度は年間8,700本の論文が発表された。このうち、中国が4割以上で、すでに日本を上回っている。多層CNTの実用化に関しては、米国シーナノ社が、直径10nm帯のCNTを年間数百トン製造する設備を有し、電気製品、自動車への適用を進めている。同様に直径10nm程度の多層CNTを製

造しているベルギーのナノシル社も年間数百トンのCNTの製造設備を有しており、半導体トレイ用の導電性プラスチックへ応用されている。

グラフェンに関しては、イギリスが平成23年に5,000万ポンド(約84億円)を支出し、グラフェン・グローバル研究拠点を設立した。更に、平成24年には、グラフェンの実用化に2,150万ポンド(約36億円)の投資を行っている。EUは平成25年からグラフェン・フラッグシップを開始し、2.5年間で5,400万ユーロ(75億円)を支出、平成28年からは、HORIZON2020において、平成35年まで年間5,000万ユーロ(69億円)を支出する計画である。本プロジェクトには、スウェーデン・チャルマース大学、ノキア社、AMO社等が参加し、透明導電膜から、高速デバイスにわたる研究開発を進め、欧州におけるグラフェン産業の確立を図っている。また、同じく平成25年からFP7でGLADIATORプロジェクトを開始し、3.5年間で大面積グラフェン成膜技術の研究開発を行っている。韓国は国費(計170億円、平成25-平成30年)を投じてグラフェン技術の開発を行い、透明導電膜等の実用化をねらっている。

#### ④ 本事業のねらい

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るながら、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。

本プロジェクトの後半では、③で記載したようにナノ炭素材料(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。

## (2) 研究開発の目標

### ① アウトプット目標

本プロジェクトの前半では単層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。また、事業化まで展開できる単層CNT複合材料、その製造技術、およびナノ材料簡易自主安全管理技術は、事業化希望者へ技術移管する。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。グラフェンに関しては、大面積かつ単結晶の作製技術を開発し、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。

本プロジェクトの後半では、単層CNT、多層CNT、グラフェン、フラーレン等ナノ炭素材料の現状を鑑み、助成事業によりナノ炭素材料の実用化を目指す。助成事業では、高耐熱複合部材等、ナノ炭素材料の早期実用化（試作（サンプル）出荷等）をめざす。応用基盤技術開発では、応用製品で利用できるように安全性に係わる技術を確立する。また、革新的材料の開発等为目标とし、サンプル提供を実施する。さらにその結果を研究開発自体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し、幅広い技術の用途開拓と実用化を図る。

研究開発の具体的な開発目標は、別紙の研究開発計画の通りとする。

### ② アウトカム目標達成に向けての取組

NEDOは、ナノ炭素材料の研究開発戦略と実用化の推進を検討するため、ナノ炭素材料に係る外部有識者からなる研究開発戦略検討委員会とユーザー企業等をメンバーとする実用化推進委員会を設置する。研究開発成果を各委員会に提供するとともに、研究開発戦略及び実用化推進について議論を深め、ナノ炭素材料の国際競争力強化に向けた戦略、実用化推進の活動計画、及びロードマップを策定する。これらの活動および追跡調査によって、早期の実用化を目指す。

### ③ アウトカム目標

ナノ炭素材料の実用化により、国内のナノ炭素材料メーカおよび応用製品メーカの国際競争力の底上げに貢献する。また、これによって、運輸部門、産業部門、民生部門等様々な分野でエネルギー利用効率向上を図る。パソコン用ヒートシンクや自動車用熱交換器の性能向上、自動車の軽量化、航空機の軽量化、風力発電ブレードの軽量化、太陽電池の普及を考慮すると、ナノ炭素材料、およびその応用製品の開発によりCO<sub>2</sub>排出量の42.3万t/年(平成32年)、173.6万t/年(平成42年)削減が見込まれる。

### (3) 研究開発の内容

上記目標を達成するために、研究開発項目を以下に改め、別紙の研究開発計画に基づき研究開発を実施する。

#### 【助成事業】

研究開発項目① ナノ炭素材料の実用化技術開発（NEDO負担率1/2）

（平成23年度から平成26年度）

- 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」

（平成26年度から平成28年度）

実施内容として、ナノ炭素材料の実用化に資する技術開発を行う。具体的には、

- 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」
  - ①-5 「ナノ炭素材料高強度複合材料の開発」
  - ①-6 「ナノ炭素材料高電子移動度半導体デバイスの開発」
  - ①-7 「ナノ炭素材料軽量導線の開発」
  - ①-8 「ナノ炭素材料フレキシブル薄膜の開発」
  - ①-9 「ナノ炭素材料電磁波吸収部材の開発」
  - ①-10 「ナノ炭素材料高密度エネルギーデバイスの開発」
  - ①-11 「ナノ炭素材料大量生産技術の開発等」
- を実施する。

#### 【委託事業】

研究開発項目② ナノ炭素材料の応用基盤技術開発

本研究開発は、ナノ炭素材料の公共性の高い産業横断的な基盤技術である分散評価技術、安全性に係る技術、今後の産業に大きな影響を与える革新的応用材料を開発する研究開発に項目を絞り、実施する。

実施研究開発項目は

- ②-1 「ナノ炭素材料の安全性に係る技術開発」
- ②-2 「ナノ炭素材料の分散体評価技術の開発」
- ②-3 「ナノ炭素材料の応用材料技術開発」

とする。実施期間はそれぞれ以下の通りとする。

(平成22年度から平成25年度)

- 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」

(平成22年度から平成26年度)

- ②-1-1 「ナノ材料簡易自主安全管理技術の確立」

(平成24年度から平成26年度)

- ②-3-3 「グラフェン基盤研究開発」

(平成26年度から平成28年度)

- 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」

安全性に関する研究開発項目として、単層CNTに特化した取り組みである簡易自主安全管理技術の確立と、多層CNT等のナノ炭素材料を包括した取り組みである、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を実施する。研究開発項目②-2で、複合材料中のナノ炭素材料分散体等の構造と機能を評価する技術を開発し、分散による機能発現のメカニズムを解明する。材料開発に関する研究開発項目は単層CNTの制御・分離・評価技術、分散技術およびグラフェン基盤技術開発と、ナノ炭素材料全体に広げた取り組みである研究開発項目②-3-4、②-3-5で革新的応用材料の開発、革新的薄膜形成技術の開発を行う。さらに、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. 研究開発の実施方式

### (1) 研究開発の実施体制

NEDOが、単独、または複数の、本邦の企業、大学等の研究機関（原則として、国内に研究開発拠点を有していること。ただし、国外企業の

特別な研究開発能力、研究施設等の活用あるいは国際標準獲得の観点からの国外企業との連携が必要な場合はこの限りではない。) から公募によって研究開発実施者を選定する。一部は経済産業省が平成22年度に公募を行い、研究開発実施者を選定している。

研究開発項目①「ナノ炭素材料の実用化技術開発」は助成事業として実施する。具体的には平成23年度、平成26年度、平成27年度にNEDOが公募を行い、研究開発実施者を選定する。

研究開発項目②「ナノ炭素材料の応用基盤技術開発」は委託事業として実施する。研究開発実施者は平成26年度にNEDOが公募によって選定する。一部は経済産業省が平成22年度に公募を行い、研究開発実施者を選定している。また、NEDOが平成24年度に公募を行い、研究開発実施者を選定する。

なお、各実施者の研究開発資源を最大限に活用し、効率的かつ効果的に研究開発を推進する観点から、NEDOが選定した研究開発責任者(プロジェクトリーダー)を設置し、研究開発責任者の下で、各実施者がそれぞれの研究テーマについて研究開発を実施する。

## (2) 研究開発の運営管理

NEDOは、研究開発全体の管理・執行に責任を負い、研究開発の進捗のほか、外部環境の変化等を適時に把握し、必要な対策を講じるものとする。運営管理にあたっては、効率的かつ効果的な方法を取り入れることとし、次に掲げる事項を実施する。

### ① 研究開発の進捗把握・管理

NEDOは、主としてプロジェクトリーダーを通して研究開発実施者と緊密に連携し、研究開発の進捗状況を把握する。助成事業に関しては、実用化に関する項目を実施計画書に記載させ、定期的なヒアリングを通して、進捗把握・管理に努める。また、外部有識者およびユーザー企業等で構成する研究開発戦略検討委員会と実用化推進委員会を組織し、定期的に評価を実施し、目標達成および実用化の見通しを常に把握することに努める。

### ② 技術分野における動向の把握・分析



NEDOは、プロジェクトで取り組む技術分野について、内外の技術開発動向、政策動向、市場動向等について調査し、技術の普及方策を分析、検討する。なお、調査等を効率的に実施する観点から委託事業として実施する。

### 3. 研究開発の実施期間

平成22年度から平成28年度までの7年間とする。

### 4. 評価に関する事項

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中間評価を平成24年度に行う。

平成26年度以降は、実用化へ向けたプロジェクトの拡張を行い、平成27年度に中間評価を行う。なお、研究開発項目①-1から①-3、及び研究開発項目②-1-1、②-3-1、②-3-2、②-3-3については、平成27年度に、事後評価として最終目標の評価を実施する。なお、評価の時期については、当該研究開発に係る技術動向、政策動向や当該研究開発の進捗状況等に応じて、前倒しする等、適宜見直すものとする。

事業終了後の平成29年度に本事業の事後評価を行う。

### 5. その他の重要事項

#### (1) 研究開発成果の取扱い

##### ① 共通基盤技術に係る成果の普及

得られた研究成果のうち、共通基盤技術に係る研究開発成果については、NEDO、実施者とも普及に努めるものとする。

##### ② 標準化施策等との連携

NEDO及び研究開発実施者は、プロジェクト終了後も得られた研究開発成果を標準化活動に役立てることとする。本研究開発において開発する安全性評価手法の提案及び評価データの提供に関して、国際的な機関（OECD、ISO等）の動向を的確に把握し、経済産業省の担当課などの活動に協力する。

##### ③ 知的財産権の帰属

委託研究開発の成果に関わ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・産業技術業務方法書」第25条の規定等に基づき、原則として、全て委託先に帰属させることとする。

(2) 基本計画の変更

NEDOは、当該研究開発の進捗状況及びその評価結果、社会・経済的状况、国内外の研究開発動向、政策動向、研究開発費の確保状況等、プロジェクト内外の情勢変化を総合的に勘案し、必要に応じて目標達成に向けた改善策を検討し、達成目標、実施期間、実施体制等、プロジェクト基本計画を見直す等の対応をおこなう。

(3) 根拠法

本プロジェクトは、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号ニ、第3号に基づき実施する。

(4) その他

産業界が実施する研究開発との間で共同研究を行う等、密接な連携を図ることにより、円滑な技術移転を促進する。

6. 基本計画の改訂履歴

- (1) 平成23年 1月、制定。
- (2) 平成24年 1月、研究開発項目の改訂とそれに伴う改訂。
- (3) 平成24年 4月、研究開発項目の追加に伴う改訂。
- (4) 平成25年 1月、中間評価に伴う改訂
- (5) 平成26年 3月、研究開発の実施内容の変更及び根拠法変更に伴う改訂。
- (6) 平成27年 3月、研究開発の記載明確化に伴う改訂、及び研究開発強化を目的としたナノ炭素材料の実用化に資する最終目標の追加に伴う改訂。

## (別紙) 研究開発計画

### 研究開発項目①「ナノ炭素材料の実用化技術開発」

#### 1. 研究開発の必要性

ナノ炭素材料は軽量で、優れた導電性、伝熱性を持つ。その高い伝熱性を利用して、パソコン、サーバー用のヒートシンク、自動車等輸送機器の冷却装置やパワーエレクトロニクス機器の放熱板等に用いられる放熱部材の熱伝導率の向上が可能である。ナノ炭素材料の応用により、冷却に必要な動力の削減や自動車の軽量化等につながり、エネルギー消費の削減が進みにくい民生・運輸部門での省エネルギーを図ることができる。さらに、ゴムや樹脂等の既存の高分子材料に、ナノ炭素材料を複合化させることにより、従来の物性を保持しつつ、高い耐久性、電気伝導性、強度を有する材料となることが明らかになってきた。これらの複合材料は、低コスト、軽量で新機能を有するアプリケーションへと発展し、新たな製品勢力となり得る。

また、ナノ炭素材料の導電性を利用して、フラットパネルディスプレイやタッチパネル等で利用される透明導電膜へも応用が可能である。現在、透明導電膜としてレアメタルであるインジウムを使用したITO（酸化インジウムスズ）が広く用いられているが、新たな透明導電膜の開発が急務である。さらに、その軽量性から、次世代の導線材料として大きな期待が持たれている。ナノ炭素材料を用いた導線の実現は、我が国の産業成長に大きく寄与する。

ナノ炭素材料のうち半導体特性を有する材料は、電子移動度が極めて高いことから、インクに加工し、印刷技術を用いた、低コスト、フレキシブルトランジスタアレイ等の材料として大きな注目を浴びている。

さらに、ナノ炭素材料の大量分散技術、大量合成技術等の大量生産技術を開発することで、材料供給企業側からアプリケーション開発を促すことが可能となる。

#### 2. 研究開発の具体的内容

(平成23年度選定テーマ)

##### 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)

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。

### 3. 研究開発の最終目標

(平成23年度選定テーマの最終目標 (平成26年度))

①-1 「高熱伝導率単層CNT複合金属材料の応用研究開発」

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・試作する。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、周辺技術を確立する。

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。

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年度選定テーマの最終目標 (平成28年度))

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」

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」

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性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」

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」

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」

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－ 1 0 「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。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－ 1 1 「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。

## 研究開発項目②「ナノ炭素材料の応用基盤技術開発」

### 研究開発項目②-1「ナノ炭素材料の安全性に係る技術開発」

#### 1. 研究開発の必要性

ナノ材料は、その形状や粒径の小ささから、現時点で人に対し未知の影響を及ぼす可能性が否定できない。しかしながら、日本の最先端技術にとってナノ材料の存在は非常に重要であり、安全性を確保しつつ利用する必要がある。このため、事業者がナノ材料の有害性や排出・暴露量を自ら把握することが重要となる。しかし、現状ではこれらの評価にコストと時間がかかり、事業者が自らこれを評価することは困難である。

上記を踏まえ、本プロジェクトで部材開発を行うナノ炭素材料の簡便な自主安全管理支援技術、およびナノ炭素材料及びその応用製品の排出・暴露評価技術を開発し、ナノ炭素材料の製造者、応用製品開発事業者が、自ら実施できるよう普及することを目的とする。

#### 2. 研究開発の具体的内容

##### ②-1-1 「ナノ材料簡易自主安全管理技術の確立」(平成22年度～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

主に生産関連施設内における作業者の吸入ばく露に対する安全性についての評価手法を確立する。具体的には、動物実験に依存しない迅速で安価な有害性評価手法(簡易手法)を確立する。なお、動物実験との相関を踏まえ、信頼性の高い評価手法とする。

また、CNT等ナノ材料の実環境(製造から廃棄まで)における濃度計測手法を開発するとともに、材料の飛散特性からばく露の程度を簡便に予測できる手法の開発を行う。なお、CNT等ナノ材料を用いた複合材料についても考慮する。

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

(1)において構築したCNT等ナノ材料の安価かつ簡便な自主安全性

評価手法に基づき、ナノ材料を取り扱う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、個別のナノ材料を対象にした安全管理例（ケーススタディ）を提示する。

#### 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」（平成２６年度～平成２８年度）

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、具体的なCNT等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。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。

### 3. 研究開発の目標

#### ②－１－１ 「ナノ材料簡易自主安全管理技術の確立」（平成２２年度～平成２６年度）

##### 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。

##### 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. 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。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。

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」  
(平成26年度～平成28年度)

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、その評価技術を確立した上で、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。

## 研究開発項目②ー２「ナノ炭素材料の分散体評価技術の開発」（平成２６年度～平成２８年度）

### １．研究開発の必要性

単層CNT、多層CNTは分散させ、樹脂・ゴム、高分子系材料、金属などの既存材料と複合材料とすることで、既存材料の電気・熱・力学特性等を大幅に向上させ、放熱用高熱伝導材料、超高強度炭素繊維プリプレグ、高耐熱性ナノ炭素複合材料、透明導電性フィルムなどとしての実用化が期待される。また、ナノ炭素分散液を塗布して製造するナノ炭素薄膜は、スーパーキャパシタや電池などのエネルギーデバイス等への応用が研究されている。また単層CNTは、優れた半導体特性を示すため、薄膜トランジスタへの応用が期待されている。

本研究開発の目的は上記状況を踏まえ、ナノ炭素材料の分散液等の定量的な評価技術を開発する。これにより、ナノ炭素材料の分散状態に関する知見を与え、用途開発企業による実用化を加速することができる。さらに、分散能が高く高機能なナノ炭素材料の構造を明らかにするため、ナノ炭素材料を合成し、分散されたナノ炭素材料を溶媒、樹脂・ゴム、金属等の既存物質と複合化することで、機能発現のメカニズムを解明して高機能複合材料の開発指針を策定する。さらには、従来と比較して、飛躍的に特性を向上し、将来大きな市場を目指せる複合材料を創出する。開発された新規複合材料等のナノ炭素用途、分散手法、分散液評価技術、複合材料中のナノ炭素分散体を評価する技術は、用途開発企業等に提供可能とする。

### ２．研究開発の具体的内容

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。

### ３．研究開発の目標

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0.01 $\mu$ mの空間精度で、またと電位を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」

### 1. 研究開発の必要性

単層CNT、多層CNT、半導体/金属CNT、グラフェン、フラーレン等のナノ炭素は無欠陥状態では、鋼の20倍の強度、アルミの半分の重さ、銅の10倍の熱伝導、銅の1000倍電気を流しやすく、半導体となる等、多くの優れた特性を有しており、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る。

しかし、既存の工業的量产手法では、製造時にナノ炭素中に欠陥が多数に混入し、実際に得られるナノ炭素材料の特性は上記特性より桁違いに低い。そのため活性炭、炭素繊維、黒鉛などの従来材料と特性で十分に差別化することができず、ナノ炭素素材の用途が、期待されているほど広がらない大きな要因となっている。

本研究開発は上記状況を踏まえ、従来と比較して、飛躍的に特性が向上し、将来大きな市場を目指せる革新的応用材料技術を開発する。

### 2. 研究開発の具体的内容

#### ②－３－１ 「単層CNTの形状、物性等の制御・分離・評価技術の開発」 (平成22年度～平成25年度)

単層CNTの形状には大きく分けて直径、長さ、比表面積、結晶性（構造欠陥量）、純度、配向性、集積状態等の開発要素がある。さらには、合成された単層CNTは集積状態により、分散性等の加工性も大きく異なる。本研究ではこれらの要素について単層CNTを形状制御合成する技術と、合成された単層CNTを産業応用へと導く鍵となる連続合成技術を開発する。直径・長さ・欠陥量等が制御された単層CNTの合成技術を開発し、さらに集積状態（集合体）を制御する技術を開発する。また、単層CNTの形状、集積状態と電気・熱・力学・分散性等の物理化学特性の関係を明らかにする。これらにより、用途に最適な物性を有する単層CNTを用いた用途開発と実用化を実現する。

金属型及び半導体型が混在した単層CNT生成物から、金属型及び半導体型それぞれを効率的に、かつ物性に影響を与えることなく、高い収率で分離するための技術を開発する。また単層CNTの純度（単層CNTと不純物との比）や金属型及び半導体型の分離純度を、迅速に評価する手法や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。

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」  
(平成22年度～平成25年度)

(1) 樹脂・ゴムに分散する技術の開発

高分子系材料に、熱伝導性、導電性等の新規な特性、機能を付与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。

(2) 金属中に分散する技術の開発

アルミニウム、銅等の金属系材料に、熱伝導性や強度等の物性、機能が向上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。

(3) 高分子系材料に分散する技術の開発

高分子系材料を溶解した紡糸用原料液中に単層CNTを分散する技術を開発し、補強効果を発現するのに十分な量の単層CNTを見極める。

②-3-3 「グラフェン基盤研究開発」(平成24年度～平成26年度)

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。

②-3-4 「ナノ炭素材料の革新的応用材料開発」(平成26年度～平成28年度)

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。

③-3-5 「ナノ炭素材料の革新的薄膜形成技術開発」(平成26年度～平成28年度)

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。

### 3. 研究開発の目標

#### ②-3-1 単層CNTの形状、物性等の制御・分離・評価技術の開発（平成22年度～平成25年度）

##### 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、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1.0～3.0 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1000 m<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<sup>3</sup>から0.06 g/cm<sup>3</sup>で精度が0.01 g/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、1 g/日以上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。

##### 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。

- ・ スーパーグローブ法の合成実験機で、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。

## 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」(平成22年度～平成25年度)

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/D比)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。

- ・ 30重量%以上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。

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 $10^{10}$ （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

T・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。
- ・スーパーグローブ法による単層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、 $10^{-5} \Omega \text{ cm}$ 台の体積（電気）抵抗率と $10^7 \text{ A/cm}^2$ 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。

## (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。

### ②-3-3 「グラフェン基盤研究開発」

中間目標（平成25年度）

- ・将来的に大量生産に適する最適な材料や合成法を検討するとともに、数層程度の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製技術を開発する。
- ・上記の技術で作製したグラフェンについて、既存材料との比較を踏まえて、高性能フレキシブルグラフェン透明導電膜および高熱伝導性多層グラフェン放熱材等の用途への実用化を目指して、それらのスペックに見合うグラフェンの性能の向上を図る。

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膜を作製する。

#### 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、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。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10,000S/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20,000cm<sup>2</sup>/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。