

(ナノテク・部材イノベーションプログラム・エネルギーイノベーションプログラム)  
「カーボンナノチューブキャパシタ開発プロジェクト」基本計画

ナノテクノロジー・材料技術開発部

## 1. 研究開発の目的・目標・内容

### (1) 研究開発の目的

ナノテク・部材イノベーションプログラムの目的である、情報通信、環境、エネルギー、医療等のさまざまな産業分野に革新的進歩をもたらすナノテクノロジーによる基盤技術の構築及び革新的産業技術による国際競争力の強化、を達成するために実施するものである。これによりナノテクノロジーを産業化するための基盤技術（ナノマテリアル・プロセス、ナノ加工・計測技術等）を確立し、ナノテクノロジー材料の実用化を目指す。

カーボンナノチューブは、ナノマテリアルの代表的素材であり、従来素材が持たない新しい機能を持った炭素系材料である。高配向性を有した単層カーボンナノチューブの開発は、基盤的なマテリアルプロセスの開発であり、その構造・特性を生かしたキャパシタ（蓄電部材）への応用は、ナノテク・部材イノベーションプログラムの産業化展開の代表的な成果になる観点からも必要である。

本事業はナノテクノロジー技術戦略マップの自己組織化分野において、カーボンナノチューブを用いたキャパシタ開発の技術要素として、その重要性が上げられている。

本プロジェクトでは、キャパシタの電極材料として活性炭に代わりカーボンナノチューブを用いる。これにより、粉体成型により製作された活性炭電極のような接触抵抗を無くし、電極材料に起因するセルの内部抵抗を最小限にすることを可能にし、キャパシタの需要に求められる高出力、高エネルギー密度、長寿命の電気二重層キャパシタを開発する。そのために、高度に配向した長尺単層カーボンナノチューブの大量合成技術の開発及び本カーボンナノチューブを用いたキャパシタ製造技術の開発を実施する。これにより、プリンタ・コピー機用予熱電源、フォークリフト・電車用電源等の耐久性が要求されるキャパシタ需要に対応し、省エネルギー効果を上げる。

また、カーボンナノチューブの大量合成技術の開発を実施することにより、カーボンナノチューブ製造のコストダウンも実施する。

### (2) 研究開発の目標

従来の活性炭を電極に用いたキャパシタに代わり、カーボンナノチューブを用いた高性能キャパシタを開発する。キャパシタの目標は、耐久性のあるエネルギー密度が 20Wh/kg 以上のキャパシタを開発する。この目標を達成するために、①単層カーボンナノチューブの高配向、高密度化技術並びに製品化に必要とされるカーボンナノチューブ量産化技術および②キャパシタ製造技術を確立する。

### (3) 研究開発内容

上記目標を達成するために、以下の研究開発項目について、別紙の研究開発計画に基づき研究開発を実施する。

- ①カーボンナノチューブ量産化技術開発
- ②カーボンナノチューブキャパシタ開発

## 2. 研究開発の実施方式

### (1) 研究開発の実施体制

本研究開発は、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。）が、単独ないし複数の原則、本邦の企業、研究組合、公益法人等の研究機関（原則、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後、共同研究契約等を締結する研究体を構築し、委託して実施する。

共同研究開発に参加する各研究開発グループの有する研究開発ポテンシャルの最大限の活用により効率的な研究開発の推進を図る観点から、研究体にはNEDOが委託先決定後に指名する研究開発責任者（プロジェクトリーダー）日本ゼオン株式会社 常務取締役 荒川公平氏を置き、その下に研究者を可能な限り結集して効果的な研究開発を実施する。

### (2) 研究開発の運営管理

研究開発全体の管理・執行に責任を有するNEDOは、経済産業省および研究開発責任者と密接な関係を維持しつつ、プログラムの目的および目標、並びに、本研究開発の目的および目標に照らして適切な運営管理を実施する。具体的には、必要に応じて設置される技術検討委員会等における外部有識者の意見を運営管理に反映させる他、四半期に一回程度プロジェクトリーダー等を通じてプロジェクトの進捗について報告を受けること等を行う。

## 3. 研究開発の実施期間

本研究開発の期間は、平成18年度から平成22年度までの5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、成果の技術的意義なら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20年度、事後評価を平成23年度に実施する。また、中間評価結果を踏まえ必要に応じてプロジェクトの加速・縮小・中止等見直しを迅速に行う。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。

## 5. その他の重要事項

### (1) 研究開発成果の取扱い

#### ①共通基盤技術の形成に資する成果の普及

得られた研究成果のうち、下記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。

- a) 実現手法の確立、体系的整理
- b) 新たな特性データの取得・整備
- c) 試験・評価方法、ツールの提供
- d) 標準（デファクトスタンダードを含む）への提案、取得

#### ②知的基盤整備事業又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、標準情報（TR）制度への提案等を積極的に行う。

#### 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。

#### ④成果の供試・開示の報告

本研究によって得られたあらゆる知的財産、また本研究の過程または成果に基づき開発したプログラム、サンプルも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、事前にプロジェクトリーダーと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。

### (2) 基本計画の変更

NEDOは、研究開発内容の妥当性を確保するため、社会・経済的状況、内外の研究開発動向、政策動向、プログラム基本計画の変更、第三者の視点からの評価結果、研究開発費の確保状況、当該研究開発の進捗状況等を総合的に勘案し、達成目標、実施期間、研究開発体制等、基本計画の見直しを弾力的に行うものとする。

### (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項第1号に基づき実施する。

## 6. 基本計画の改訂履歴

(1) 平成18年3月、制定。

(2) 平成18年6月、研究開発責任者（プロジェクトリーダー）の決定に伴い改訂。

(3) 平成20年7月、イノベーションプログラム基本計画の制定により、「(1) 研究開発の目的」の記載を改訂。

(4) 平成21年7月、プロジェクトリーダーの変更に伴い改訂。

(別紙)

## 研究開発項目①「カーボンナノチューブ量産化技術開発」

### 1. 研究開発の必要性

カーボンナノチューブは、ナノマテリアルの代表的素材であり、従来素材が持たない新しい機能を持った炭素系材料である。高配向性を有した単層カーボンナノチューブの開発は、基盤的なマテリアルプロセスの開発であり、その構造・特性を生かしたキャパシタへの応用は、ナノテク・部材イノベーションプログラムの産業化展開の代表的な成果になると期待される。電気二重層キャパシタが高いエネルギー密度を達成するには電極表面積が大きいことが必須であるが、高配向性を有した長尺（10mm）の単層カーボンナノチューブ構造体は、これまでのカーボンナノチューブでは類を見ない大きな表面積を持ち、カーボンナノチューブの配向制御により革新的な高エネルギー密度化が可能である。また、粉体成型によって作製される活性炭電極のような接触抵抗が無いため、電極材料に起因するセルの内部抵抗を最小限にすることができる。これは蓄電デバイスとして高いパワー密度を達成可能であることを示し、この点においてカーボンナノチューブ電極は活性炭電極に対し明らかに優れており、これにより、高出力かつ高エネルギー密度の電気二重層キャパシタを開発する。

### 2. 研究開発の具体的内容

単層カーボンナノチューブの直径、長さの制御技術、高効率合成技術を開発し、キャパシタ応用に最適な高純度で高配向性を有した長尺の単層カーボンナノチューブ構造体の大量合成技術の開発を行う。

### 3. 達成目標

具体的な達成目標として、グラフェンシート構造で構成される以下のナノカーボン類の構造制御・量産技術を確立する。

(中間達成目標)

- ① グラフェンシート構造で構成され、層の数が1層で、外径が1nm～5nmの配向した単層カーボンナノチューブを生成する技術を開発する。生成物の比表面積が1,200m<sup>2</sup>/g以上、触媒・担持体含有率0.01%以下、かつ生成物全重量に占めるカーボンナノチューブの重量98%以上。高配向性を有したカーボンナノチューブ構造体の高さ（長さ）が5mm以上。
- ② 高配向性を有し高密度化された単層カーボンナノチューブ構造体を作製する技術を開発する。イオンが通過できるナノスケールのメソポアを確保しつつ、単層カーボンナノチューブの間隔を制御する。かさ密度0.5g/cm<sup>3</sup>以上、もしくはカーボンナノチューブ充填率75%以上であること。
- ③ 単層ナノチューブの側面、端面の開口等によって、上記②を満たし、かつ比表面積2,000m<sup>2</sup>/g以上の単層カーボンナノチューブ構造体を開発する。
- ④ 成長効率（生成物/触媒重量比）100,000%以上、投入炭素原料に対する生成物収率10%以上、生産速度0.03g/h・cm<sup>2</sup>、もしくは100g/日の生産量以上の合成技術を開発する。

(最終達成目標)

- ①中間目標①のスペックを満たし、かつ、カーボンナノチューブ構造体の高さ（長さ）が10mm以上の単層カーボンナノチューブを生成する技術を開発する。
- ②成長効率（生成物/触媒重量比）200,000%以上、投入炭素原料に対する生成物収率10%以上、生産速度 $0.06\text{g/h}\cdot\text{cm}^2$ 以上、もしくは1,000g/日の生産量の合成技術を開発する。
- ③カーボンナノチューブの高密度化技術、開口技術、成型技術、化学修飾等を組み合わせ、キャパシターの電極に適したナノカーボン材料を作製する。

## 研究開発項目②「カーボンナノチューブキャパシタ開発」

### 1. 研究開発の必要性

カーボンナノチューブ、とりわけ単層カーボンナノチューブは、表面積が大きい一枚のグラフェンの両側の面を全て使うことが理論上可能な、キャパシタ電極としてきわめて理想的な材料である。しかも、高速な電子伝導が可能な材料であることから、キャパシタ用電極材料としてこれまで使われてきた活性炭電極では困難であった高エネルギー密度化が可能となる。

しかし、カーボンナノチューブを電極材料として高性能なキャパシタデバイスを製造するには、解決しなくてはならない多くの課題がある。キャパシタデバイスの作製で最も重要となる電極体積占有率の向上やセル抵抗の低減には、カーボンナノチューブ電極の高密度化や、集電体開発、電極接合技術の開発など、革新的性能をもった新規材料に最適なデバイス構造設計技術の開発が必須となる。

### 2. 具体的内容

高密度、高純度、高配向性を有するカーボンナノチューブは、比表面積あたりの電気容量が活性炭より大きく、高エネルギー密度の電極材料となる可能性を有している。このカーボンナノチューブを大容量キャパシタに用いるために、キャパシタ製造技術（集電体、電極圧縮高密度化、電極接合、電流引出に関する技術）を開発し、その特性を評価する。これらの技術を基に良好なサイクル特性を維持し、かつ、高いエネルギー密度とパワー密度を有するキャパシタを開発する。さらに、コンポジット電極活物質の添着技術や高密度充填技術によりさらに高いエネルギー密度を持つ電極を作製する。

### 3. 達成目標

(中間達成目標)

- ① 15Wh/kg のエネルギー密度、10kW/kg のパワー密度を持つキャパシタをデバイスレベルで開発する。
- ② キャパシタ素子の電極体積占有率を 50%以上にする。
- ③ 作動電圧 3V以上のキャパシタ素子を開発する。

(最終達成目標)

- ① 20Wh/kg のエネルギー密度、10kW/kg のパワー密度を持ち、寿命 15 年を有するキャパシタをデバイスレベルで開発する。
- ② キャパシタ素子の電極体積占有率を 90%以上にする。
- ③ カーボンナノチューブ/集電体界面と電極引出部の抵抗を低減させ、時定数を 2.0  $\Omega$ F 以下にする。
- ④ 電極活物質の高密度充填により、コンポジット電極内の活物質充填率を 80%にする。

最終達成目標②、④の技術により高エネルギー密度化が、最終達成目標③の技術より高パワー密度化がそれぞれ期待でき、これらにより最終達成目標①を達成する。