

「カーボンナノチューブキャパシタ開発プロジェクト」

事後評価報告書（案）概要

目 次

分科会委員名簿	1
プロジェクト概要	2
評価概要（案）	9
評点結果	15

独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 研究評価委員会
「カーボンナノチューブキャパシタ開発プロジェクト」(事後評価)

分科会委員名簿

(平成23年10月現在)

	氏名	所属、役職
分科会長	えんどう もりのぶ 遠藤 守信	信州大学 工学部 教授
分科会長 代理	なかやま よしかず 中山 喜萬	大阪大学 大学院工学研究科 機械工学専攻 教授
委員	しらいし そうし 白石 壮志	群馬大学 大学院工学研究科 応用化学・生物化学専攻 准教授
	たきかわ ひろふみ 滝川 浩史	豊橋技術科学大学 電気・電子情報工学系 教授 学長補佐/研究基盤センター長
	にしの あつし 西野 敦	西野技術士事務所 所長

敬称略、五十音順

プロジェクトの概要

		最終更新日	平成 23 年 10 月 11 日				
プログラム (又は施策)名	ナノテク部材イノベーションプログラム 省エネルギー技術開発プログラム						
プロジェクト名	カーボンナノチューブキャパシタ開発	プロジェクト番号	P06028				
担当推進部 /担当者	電子・材料・ナノテクノロジー部 担当者氏名 榎田 毅彦 (平成 23 年 10 月現在) 電子・材料・ナノテクノロジー部 担当者氏名 鍵谷 圭 (平成 19 年 10 月～23 年 3 月) ナノテクノロジー・材料技術開発部 担当者氏名 尾白 仁 (平成 18 年 6 月～平成 19 年 9 月)						
0. 事業の概要	キャパシタ(蓄電部材)の電極材料として活性炭の代わりにカーボンナノチューブを用いることにより、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。また高密度、高重量、高配向性のカーボンナノチューブは、比表面積当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。これらの特性を利用し、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。最終達成目標としてエネルギー密度 20Wh/kg、パワー密度 10kW/kg、寿命 15 年をデバイスレベルで達成する。						
I. 事業の位置付け・必要性について	本研究開発は、第 3 期科学技術基本計画の分野別推進政策のナノテクノロジー・材料分野、エネルギー分野、ものづくり分野の 3 分野で重要な研究開発課題と位置付けられている。また、平成 17 年度に実施された総合化学技術会議での SABC 評価において、本研究開発には S 評価が与えられ、我が国の重要技術と認識されている。本研究開発では、基板から垂直配向したミリメートル台長の単層カーボンナノチューブの大量合成技術を開発し、高純度で低価格の単層ナノチューブを供給し、高機能、高耐久性、経済性を兼備したキャパシタ(エネルギー分野：重要な研究開発課題「電力貯蔵技術」)を平成 23 年 2 月までにデバイスレベルまで試作し、実用化を図る。						
II. 研究開発マネジメントについて							
事業の目標	①カーボンナノチューブ量産化技術開発 ・表面積：1000m ² /g 以上(中間目標)、2000m ² /g 以上(最終目標) ・基板垂直配向単層カーボンナノチューブ長：5mm(中間目標)、10mm(最終目標) ・生産規模：100g/日(中間目標)、1kg/日(最終目標) ②カーボンナノチューブキャパシタ開発 ・エネルギー密度：15Wh/kg(中間目標)、20Wh/kg(最終目標)						
事業の計画内容	主な実施事項	H18fy	H19fy	H20fy	H21fy	H22fy	
	① CNT 量産化技術開発						→
	② CNT キャパシタ開発						→
開発予算 (会計・勘定別に事業費の実績額を記載) (単位：百万円) 契約種類： ○をつける (委託 ○) 助成 () 共同研究(負担率 ())	会計・勘定	H18fy	H19fy	H20fy	H21fy	H22fy	総額
	一般会計						
	特別会計 (電源・需給の別)	479	432	343	298	195	1,748
	加速予算 (成果普及費を含む)						
	総予算額	479	432	343	298	195	1,748
	(委託)						
	(助成) : 助成率△/□						

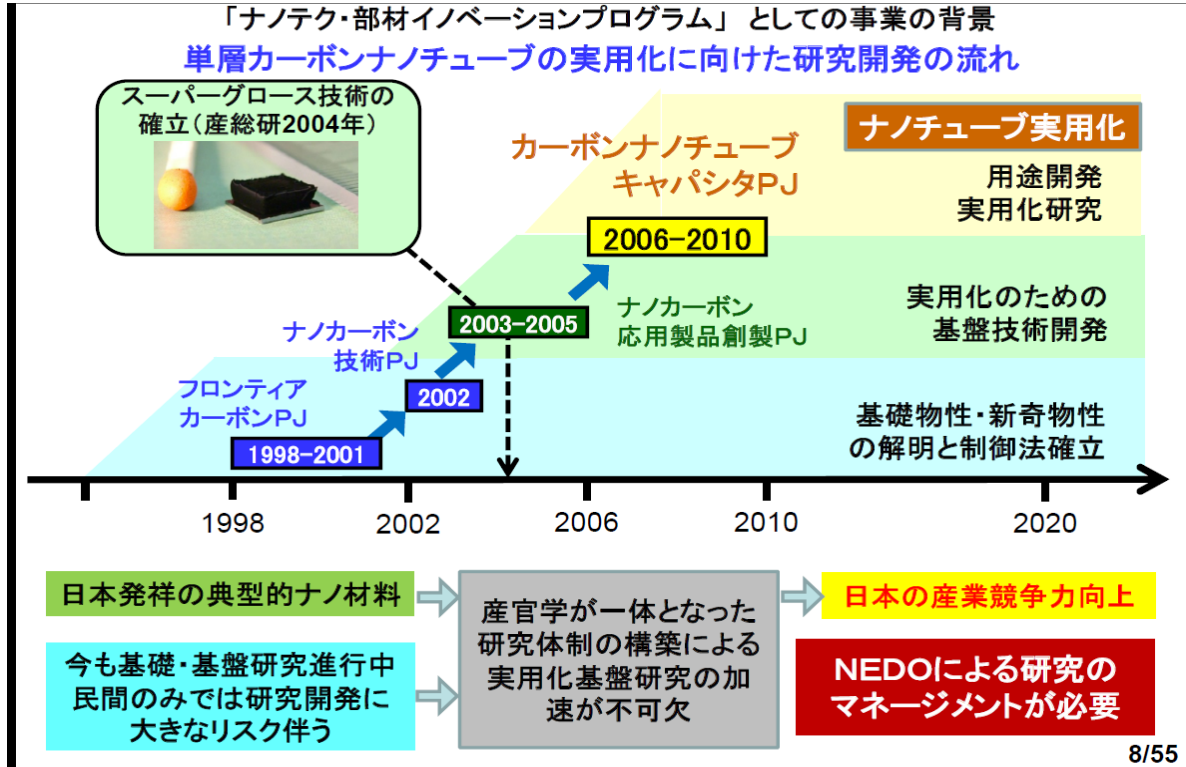
	(共同研究) ：負担率△/□				
開発体制	経産省担当原課	製造産業局ファインセラミックス・ナノテクノロジー・材料戦略室			
	プロジェクトリーダー	・プロジェクトリーダー：荒川 公平(日本ゼオン) 前任：飯島 澄男(産業技術総合研究所) ・サブプロジェクトリーダー：湯村 守雄(産業技術総合研究所) ・グループリーダー：上島 貢(日本ゼオン)、玉光 賢次(日本ケミコン)			
	委託先(*委託先が管理法人の場合は参加企業数および参加企業名も記載)	委託先：独立行政法人産業技術総合研究所 日本ゼオン株式会社 日本ケミコン株式会社 再委託先：国立大学法人 東京農工大学 国立大学法人 岡山大学			
情勢変化への対応	<p>研究開発を加速するために、平成 18 年度秋に加速財源により、スーパーグロース連続 CVD 合成装置、高精度薄膜塗工装置、レーザー溶接装置が導入された。スーパーグロース連続合成装置を早期に導入することにより、平成 18 年度中に基礎実験と並行してスーパーグロース連続 CVD 合成装置システムの設計・製作を実施する事が可能になった。これにより、基礎実験成果を連続合成装置に早期に適用することが可能となり、量産化技術を飛躍的に伸ばすことができた。</p> <p>スーパーグロース技術では、触媒を成膜した基板上にカーボンナノチューブを成長させることを特徴としている。生産性の効率を上げるためには、基板の大面积化、成長連続化が必要不可欠であるが、高精度薄膜塗工装置の導入により、触媒粒子の分散液を塗布するウェットプロセスの開発が可能になり、基板大面积化、成長連続化が促進され、大幅な製造コストダウンが実現できる。本触媒の製膜技術の確立により、国際的競争力が大幅に向上することが期待される。</p> <p>レーザー溶接装置の導入により、キャパシタ素子を導入した金属ケースと金属の蓋(封口板)をレーザー照射して溶融接着させたセルを用いることで信頼度±1 年のキャパシタセルの寿命評価を実施した。これにより寿命評価技術を加速することで、ライバル技術より長寿命のキャパシタの開発が促進された。さらに、これまで曖昧であったキャパシタの寿命評価法の標準化を優位に進めることも可能になった。</p> <p>平成 19 年度秋に加速財源により、キャパシタ試作装置並びに電極表面分析装置が導入された。キャパシタ試作装置の導入により、キャパシタ性能に大きな影響を与えない雰囲気(低露点環境)下を作り出し、作業効率を向上した。最適な露点及び電極作製条件を明らかにすることにより、キャパシタ初期特性のみならず、製造工程の高効率化という工業的・産業的ニーズも満たす成果をあげることができた。</p> <p>電極表面分析装置の導入により、劣化後の電極表面に存在する 1~数十 nm の電極細孔壁面に生成された表面官能基や堆積物を同定し、電解液劣化後のみならずキャパシタ内部での総合的な劣化解析による寿命特性向上という成果をあげた。</p> <p>当該プロジェクトで得られた CNT 量産化技術を活用した SGCNT 量産実証プラントを平成 21 年度補正予算で建設し、500mm 角基板に対応した触媒基板製造装置、連続 CVD 合成装置による大面积 SGCNT フォレストの合成に成功している。</p>				

<p>中間評価結果への対応</p>	<p>CNT 量産基盤技術開発においては、合成メカニズムの解明、得られた知見を活用し触媒形成プロセス調整で直径制御(1.9~3.2nm)に成功し、多種多様な用途に対応可能な基盤技術を構築した。また、水分以外の触媒賦活物質と高効率成長の可能性を探索し、合成時における温度及び炭素導入量の最適化、及び特殊シャワーの組合せにより、高収量、高比表面積の SGCNT を得ることに成功した。これは、当初の収量の 6 倍以上に相当し、キャパシタ用途に見合うコストの可能性が示唆された。さらに、スーパージョイント法で得られる SGCNT に最適な簡易評価技術を構築し、量産技術開発にフィードバックした。</p> <p>CNT 量産化技術開発においては、実用化において競争力のあるコスト、大量供給を可能とする製造プロセスの要素技術開発を中心に検討を実施した。具体的には、量産に向けた安価な基板、触媒の開発を行うと共に、成長プロセスの改良による A4、500mm×200mm サイズ基板での SGCNT の合成、連続炉での SGCNT の合成に成功してきた。これら技術を平成 21 年度補正予算事業に展開し、産業技術総合研究所内に 500mm 角基板に対応した量産実証プラント(生産能力:600g/日)を建設、大面積基板での連続合成に成功している。今後は継続研究を通じ、低コストプロセスのブラッシュアップ、基盤技術開発で得られた新規合成法の連続合成炉への適用、並びに品質の安定化を図り、キャパシタ用途に見合う低コストプロセス開発を継続して実施する予定にしている。</p> <p>CNT キャパシタ基礎開発においては、SGCNT 電極の容量発現メカニズムの解明ならびにキャパシタ電極の最適化に資する基礎的研究を実施した。具体的には、電極シートの電気伝導性変化などから電気化学的ドーピングによる充放電機構を明らかにした。また、高表面積化のための重要技術である開口処理について、二酸化炭素・空気など様々な酸化剤による酸化・開口処理を行い、蓄電メカニズム、開口処理方法による細孔径の制御、細孔内への電解液・電解質イオンの浸透が十分であるかなど、開口による高エネルギー密度化のための条件を調べ、電解液が十分浸透できる処理条件を明らかにした。さらに、重要パラメータの一つであることが明らかとなった微量の混入金属不純物がキャパシタ特性に与える影響に関して分析・検討し、キャパシタ特性改善のため、酸処理による金属除去手法を確立した。</p> <p>CNT キャパシタ応用開発においては、性能、コスト、実用化・事業化の観点から、SGCNT を用いた真性電気二重層キャパシタ (SGCNT 電気二重層キャパシタ) と、コンポジット電極を用いたキャパシタの二種のキャパシタを見極めるための検討を実施した。SGCNT を用いた真性電気二重層キャパシタ開発では、電圧特性や寿命特性に悪影響を及ぼすバインダーや接着剤を用いない 100%SGCNT から構成される革新的な電極作製技術を確立した。この技術により、高耐電圧化 (~3.5V) が可能となり、従来活性炭を用いた電気二重層キャパシタに比べ約 2 倍のエネルギー密度とパワー密度が増加した。加えて寿命阻害因子の低減により約 16 年の寿命が推定可能となり、従来活性炭キャパシタでは成し得ない高性能化に成功した。しかしながら、当初予定していた CNT 内壁利用による電極容量増加(理論的に 2 倍)の検討では、SGCNT 電荷量不足という問題から、現時点で、エネルギー密度 20Wh/kg の目標値の達成は困難と判明した。コンポジット電極開発では、有機系ポリマー電極材開発(共同研究先:産業技術総合研究所、再委託先:岡山大学)と、金属酸化物系(再委託先:東京農工大学)について、それぞれ優位性を比較検討しながら進めてきた。有機系ポリマー電極、金属酸化物系電極開発ともに、従来活性炭を用いた電気二重層キャパシタを凌駕するエネルギー密度を確認したが、特に金属酸化物系電極開発において、日本ケミコンと東京農工大学の共同開発による革新的なコンポジット電極材料作製技術(ナノハイブリッド技術)を SGCNT 電極作製技術と融合することで、従来の金属酸化物系電極材料の問題点であった高速充放電特性を解決した。具体的には金属酸化物としてナノ結晶チタン酸リチウムを SGCNT に担持したコンポジット電極材料であり、この材料を負極としたキャパシタ (SGCNT ナノハイブリッドキャパシタ) は、エネルギー密度だけでなくパワー密度も飛躍的に向上できる。その値は SGCNT 電気二重層キャパシタを上回り、また、自己放電特性などの性能優位性もある。さらに SGCNT 使用量を低減できるため、コストメリットも期待できる。以上より、総合的な市場要求の観点から、今後は SGCNT ナノハイブリッドキャパシタ開発に集中することとした。</p>						
<p>評価に関する事項</p>	<table border="1"> <tr> <td data-bbox="454 1503 582 1547">事前評価</td> <td data-bbox="582 1503 1366 1547">平成 17 年度実施 担当部 ナノテクノロジー・材料技術開発部</td> </tr> <tr> <td data-bbox="454 1547 582 1592">中間評価</td> <td data-bbox="582 1547 1366 1592">平成 20 年度 中間評価実施</td> </tr> <tr> <td data-bbox="454 1592 582 1632">事後評価</td> <td data-bbox="582 1592 1366 1632">平成 23 年度 事後評価実施</td> </tr> </table>	事前評価	平成 17 年度実施 担当部 ナノテクノロジー・材料技術開発部	中間評価	平成 20 年度 中間評価実施	事後評価	平成 23 年度 事後評価実施
事前評価	平成 17 年度実施 担当部 ナノテクノロジー・材料技術開発部						
中間評価	平成 20 年度 中間評価実施						
事後評価	平成 23 年度 事後評価実施						

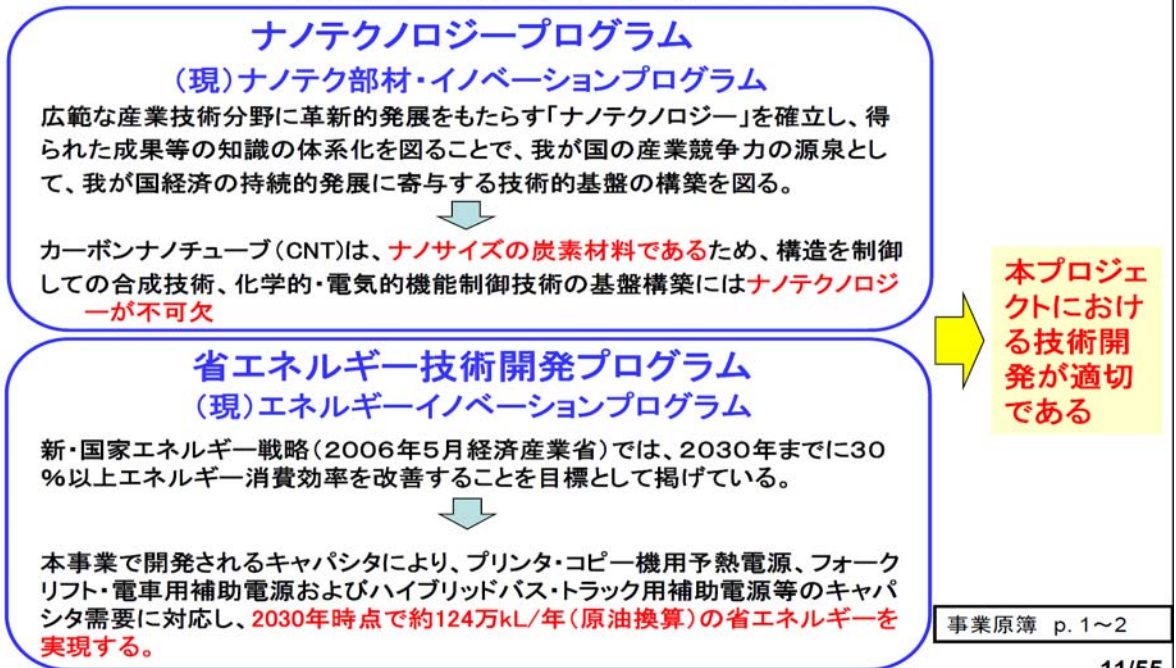
Ⅲ. 研究開発成果について	<p>① カーボンナノチューブ量産化技術開発では、安価なニッケル合金基板を開発し、A4 サイズの金属基板の全面に均一に触媒層を形成する技術、SGCNT 構造体の合成に成功した。CVD プロセスコスト低減のため、連続合成炉を設計し、連続 CVD 合成炉での SGCNT 合成にも成功した。さらに、高さ(長さ)が4mm以上の配向 SGCNT 構造体の合成に成功した他、配向した SGCNT を稲穂の束のように高密度化できることを見出し、SGCNT 固体を創世した。これらの開発した高密度 SGCNT を電極材料として用いるキャパシタは、活性炭を電極とする従来型のキャパシタよりも、高エネルギー密度、ハイパワーを示す事を実証した。さらに、SGCNT の評価を簡便に行える技術を確認し、量産時に適用可能な評価技術を構築した。これらの成果を活用し、500mm 角基板で SGCNT を合成できる量産実証プラントを設置し、当該基板での SGCNT の合成に成功した。</p> <p>② カーボンナノチューブキャパシタ開発では、SGCNT 電気二重層キャパシタ開発において、革新的な電極作製技術により、高性能な SGCNT 電極作製が可能となった。その電極を用いたキャパシタは従来活性炭電気二重層キャパシタに比べて 2-3 倍のパワー密度を示すことが明らかとなった。大型 SGCNT シート化検討により、均一で集電体との接合性の良い大型(200mmΦ) SGCNT シート作製に成功した。この大型 SGCNT シート作製技術とこれまでに確立した革新的電極作製技術により、1000F 級(大容量) SGCNT キャパシタの作製にも成功した。寿命特性評価においては、SGCNT をキャパシタ用に高純度化することで、それを用いたキャパシタは高電圧下(3.0V以上)において非常に優れた寿命特性を示すことが確認され、約16年の寿命が推定された。コンポジット電極の研究開発において、革新的コンポジット電極材料作製技術を本プロジェクトで培った革新的電極作製技術に応用することで、世界最高水準のコンポジット電極作製に成功した。この電極を負極に用いることで、これまでにない高エネルギー密度・高パワー密度を有する高性能キャパシタ作製に成功した。</p>						
	<table border="1"> <tr> <td>投稿論文</td> <td>「査読付き」19件、「その他」6件</td> </tr> <tr> <td>特許</td> <td>「出願済」39件(うち国際出願 11件)</td> </tr> <tr> <td>その他の外部発表(プレス発表等)</td> <td>学会発表 75件、受賞 4件、プレス発表 5件</td> </tr> </table>	投稿論文	「査読付き」19件、「その他」6件	特許	「出願済」39件(うち国際出願 11件)	その他の外部発表(プレス発表等)	学会発表 75件、受賞 4件、プレス発表 5件
	投稿論文	「査読付き」19件、「その他」6件					
	特許	「出願済」39件(うち国際出願 11件)					
その他の外部発表(プレス発表等)	学会発表 75件、受賞 4件、プレス発表 5件						
<p>①カーボンナノチューブ量産化技術開発</p> <p>本プロジェクト全体の最終目標は、単層カーボンナノチューブを利用したキャパシタの実用化であり、カーボンナノチューブ量産化技術開発は、実用化を可能とするコストと量産供給を可能とする単層カーボンナノチューブ製造プロセスの要素技術開発を目標としている。</p> <p>本プロジェクトスタート時点での、単層カーボンナノチューブの技術は、従来の単層カーボンナノチューブとの比較で、長さ、成長速度、触媒効率、純度において優れた製法ではあったが、コストと量産性については多くの課題があった。</p> <p>まず、1)カーボンナノチューブを生成させる基板がシリコンウェハであるため、大面積化が出来ないことと、基板コストが高かったこと、2)カーボンナノチューブ生成におけるキャリアガスがヘリウムガスであるため大きなコストアップ要因であったこと、3)触媒形成が助触媒のアルミナスパッタの後に触媒の鉄のスパッタを行うプロセスであるため、生産性が低かったこと、4)触媒の還元とカーボンナノチューブの生成が不連続プロセスであるため量産性が低かったこと等が挙げられる。</p> <p>上記課題に対して高価で且つ量産性に必須な大面積化が難しいシリコンウェハ基板代替材料の探索により、ニッケル合金上でもカーボンナノチューブ合成が可能である事を発見した。また、量産化に向けた大サイズ化の検討では、熱流体シミュレーションを活用する事で、A4、500mm×200mmサイズの大型基板上でも、従来の1cm角サイズと同等品質のカーボンナノチューブを大量に合成する事に成功した。</p> <p>また、触媒技術、キャリアガスの低コスト化、連続合成について、大幅な進展が見られた。触媒については、従来の鉄のスパッタリングに対して、ウェットプロセスでの配合、プロセスを確認し、従来の鉄のスパッタリングと同レベルのカーボンナノチューブの合成を確認した。</p> <p>キャリアガスについては、従来のヘリウムガスに代わる低コストガスの検討を行った。低コストガス供給シャワーシステムを開発し、低コストガスでも SGCNT の合成が可能である事を確認した。更に、触媒を形成した基板をメッシュベルトに乗せるだけでカーボンナノチューブ合成を連続的に行うことのできる連続炉の設計と製作を完成させ、連続炉での SGCNT の合成に成功した。また、水分以外の触媒賦活物質と高効率成長の可能性を探索し、合成時における温度及び炭素導入量の最適化、及び特殊シャワーの組合せにより、高収量、高比表面積の SGCNT 合成に成功した。これは、当初の収量の6倍以上に相当し、キャパシタ用途に見合うコストの可能性が示唆された。</p> <p>当該プロジェクトの CNT 量産化技術を平成21年度補正予算事業に展開し、500mm角基板に対応した触媒基板製造装置、連続 CVD 合成装置による大面積 SGCNT フォレストの合成に成功している(量産実証プラント)。今後は、NEDO 継続研究、量産実証プラントでの研究を通じて、連続合成炉、大型連続合成炉への高効率成長実装、量産プロセスの最適化により、さらなる製造コスト低減を目指す。さらに、製造コスト低減のみならず、量産効果によるコスト低減を図るため、量産実証プラン</p>							
Ⅳ. 実用化、事業化の見通しについて							

	<p>トを通じて企業等にサンプルを提供し、他用途での用途開発を促進させ、キャパシタ用途に合うコスト実現を目指す。</p> <p>②カーボンナノチューブキャパシタ開発 本プロジェクト全体の最終目標である SGCNT を利用したキャパシタ実用化に向け、CNT キャパシタ開発では、SGCNT の特長を最大限活かしながら、性能、コスト、実用化・事業化の観点も踏まえた新型キャパシタの基盤技術開発を目的としてきた。 プロジェクトスタート時より、SGCNT を用いた真性電気二重層キャパシタ（SGCNT 電気二重層キャパシタ）と、コンポジット電極を用いたハイブリッドキャパシタの2つのタイプのキャパシタ開発を推進し、前述したように、それぞれ数多くの革新的技術開発に成功してきた。しかしながら、SGCNT を用いた真性電気二重層キャパシタ開発では、市場要求を十分に満たすエネルギー密度を短期的に達成することは困難であり、電極材料として 100%SGCNT を用いるため、SGCNT コストが及ぼすキャパシタコスト高も懸念された。 その一方で、コンポジット電極開発では、日本ケミコンと東京農工大学の共同開発による革新的なコンポジット電極材料作製技術（ナノハイブリッド技術）を SGCNT 電極作製技術と融合して構築した SGCNT ナノハイブリッドキャパシタが、SGCNT 電気二重層キャパシタを上回る性能であることを見出した。このキャパシタは SGCNT 使用量も低減できるため、コストメリットも期待できる。 以上より、総合的な市場要求の観点から、今後は SGCNT ナノハイブリッドキャパシタ開発に集中することとした。今後、SGCNT の量産化までに SGCNT ナノハイブリッドキャパシタ量産化を検討し、キャパシタ材料に見合う低コスト SGCNT の販売時点を目安に SGCNT ナノハイブリッドキャパシタの事業化を目指す。具体的には、まずサンプル提供を開始し、実際の市場動向・ニーズ確認や、顧客獲得を図る。顧客要求数量の増加に伴い、量産設備導入後、量産を開始する。 ナノハイブリッドキャパシタの実用化が期待される用途としては、既に大容量キャパシタを搭載しているディーゼルハイブリッド建設機械や港湾クレーンなどの回生用途や大型瞬停対策装置、複写機の省エネ化等への展開が期待できる。さらに今後の展開として、車載用途におけるキャパシタ搭載効果による更なる燃費と電費改善も期待できる。特に SGCNT ナノハイブリッドキャパシタは、いずれの用途に対しても導入効果が高いことから、今後広く普及し、低炭素社会に大きく貢献していくと考えられる。</p>	
V. 基本計画に関する事項	作成時期	平成 18 年 1 月 作成 平成 18 年 6 月 改訂（プロジェクトリーダーの決定） 平成 20 年 7 月 改訂（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） 平成 21 年 7 月 改訂（プロジェクトリーダーの変更）

技術分野全体での位置づけ
(分科会資料6より抜粋)

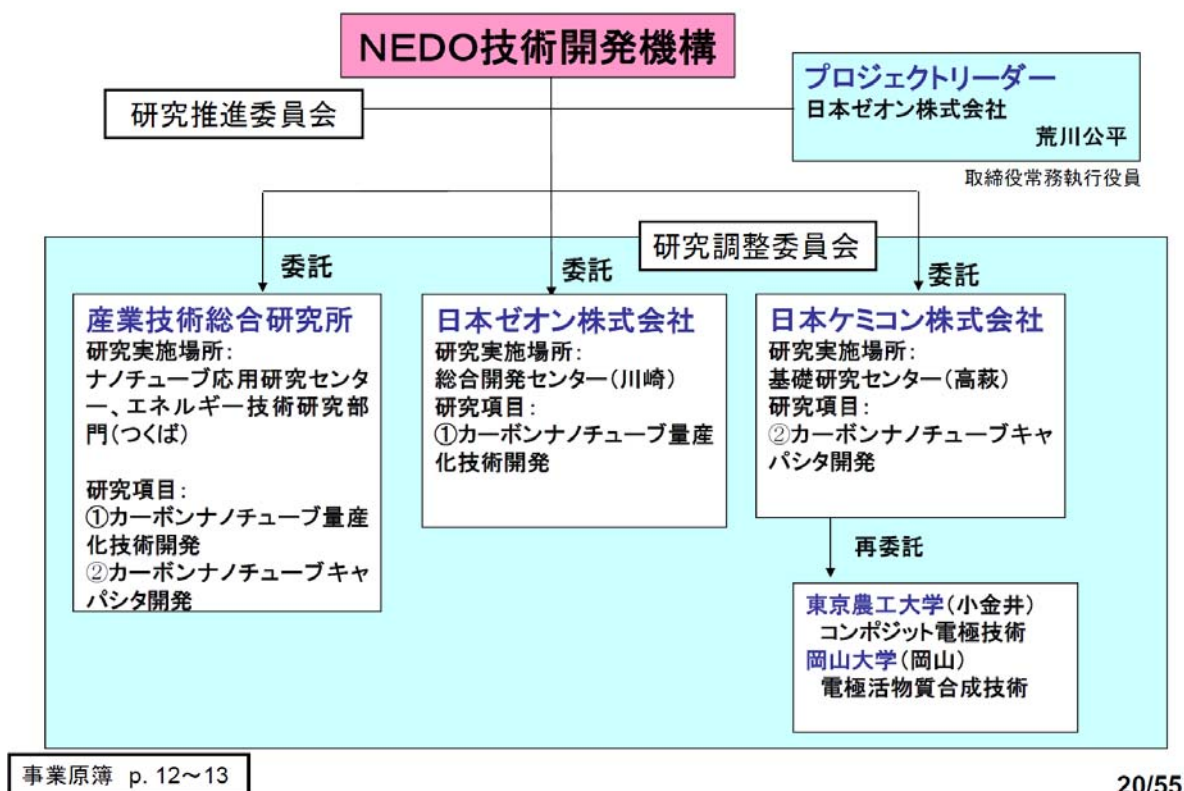


国の政策における本プロジェクトの位置づけ



「カーボンナノチューブキャパシタ開発プロジェクト」

全体の研究開発実施体制



「カーボンナノチューブキャパシタ開発プロジェクト」（事後評価）

評価概要（案）

1. 総論

1) 総合評価

本プロジェクトは、カーボンナノチューブの特徴を生かしたキャパシタ開発をターゲットとして工業化デバイス応用の可能性を世界的に初めて示した。キャパシタとナノチューブは、それぞれの発祥国は日本であり、それらを組み合わせることで新規開発に成功した点は、科学と技術の両面で高く評価される。とくに、スーパーグロース法という高品質単層カーボンナノチューブの製造法を技術的な核とし、優れた研究組織によって開発が実行され、実用化までの目処をつけただけでなく、学術的にも重要な成果を得た。さらに、全体として統合的なシナジー効果が出ると一段高いイノベーションも期待できた。

一方、事業化に向けたキャパシタの実需要に耐える量産化技術が構築できたかどうか、若干の不明瞭さがあつた。また、既存のナノカーボンの実用量製品との性能比較、推定価格比較が示されるべきであつた。

2) 今後に対する提言

我が国の科学と技術の優位性が国際的に劣化傾向にあることは衆目の共有する危機感である。この対策として本プロジェクトのように我が国発のオリジナルな科学的成果を重視して、グローバル性を背景とした固有の戦略的応用技術開発が特に政策的に重要である。具体的には、スーパーグロースカーボンナノチューブ(SGCNT)についてキャパシタ以外にも用途開発を進めると共に、CNT全体の産業化を進めてもらいたい。キャパシタについては、コンポジット電極に適するナノチューブの探求と性能向上を早期に行い、事業化のための要素技術開発に着手されることを期待する。

2. 各論

1) 事業の位置付け・必要性について

ナノテクは国際的競争がし烈に展開される最重要の次世代技術である。国際的にも基礎科学基盤が概ね構築され、今や応用イノベーションを実現する開発競争段階にある。とくに、本プロジェクトは、第3期科学技術基本計画の「ナノテクノロジー・材料分野」および「エネルギー分野」に含まれ、また「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」

に寄与するものであり、極めて公共性が高い。また、高度な技術課題にチャレンジする必要がある、民間の活動のみでは目標を達成する上でリスクが大きいことから、NEDOの支援は必須である。

一方、得られた成果によってはさらに完成度を上げるために応用の横展開も可能とするような期限延長、研究参画機会の公開と継続的提供等の運用上の機動性があってもよい。

2) 研究開発マネジメントについて

本事業の実施にあたり、研究機動性を重視したベストの研究開発チームを編成していることが特徴の一つと言える。研究開発にあたる研究者・技術者の層も厚く、効果的かつ効率的に実施された。特に、全体を統括できるプロジェクトリーダーが選任され、目標達成及び効率的な実施のために、技術力と事業化能力をもつ実施者が配置され、ミーティング等の情報交換によって連携が十分に行われたと判断する。

一方、実用化につなげる知財マネジメントの方針は明確に示されていない。特に、電気二重層キャパシタの特許出願件数が少ない。世界的にみても競争の激しいこの分野の市場を勝ち抜けるか不安な点である。

なお、SGCNTがコンポジット化に適したものであるかどうかの結論はでていない。これに適したカーボンナノチューブの構造および製造法の探求を早急に始められることを望む。

3) 研究開発成果について

SGCNTの合成技術に関しては目標値をクリアしている。世界最高水準の技術であると判断する。一方、キャパシタについては、ある項目はSGCNTのキャパシタで、別の項目はコンポジット電極を用いたキャパシタで目標値をクリアしている。製品化を目指す上では、本方式ですべての目標を達成できるように努めることを期待する。コンポジット電極を用いたキャパシタで達成されたエネルギー密度および出力密度は世界最高水準であり、他の競合技術と比較して優位性があると判断する。

一方、当初目標を超える成果も期待できる分野であり、また力のあるチームであるので、デバイスの革新的新機能開拓もさらに検討されてもよかった。また、CNTコンポジット電極の有効性が示されたが、その機能発現にCNTの何が有効なのか、未解決である。

4) 実用化、事業化の見通しについて

SGCNTの実用化については、産業技術に関わる要素技術は詰められており、

用途・ユーザー開発とさらなる低コスト化が課題であることを明確にしている。

キャパシタについては、コンポジット電極により目標とする高いエネルギー密度と出力密度が得られることが示され、産業化を視野に入れた性能向上の検討が行える段階にきた。また、量産についても今後も研究が継続されれば、キャパシタ以外の目的での実用化への発展も期待できる。

一方、事業化の観点で、類似製品との価格比較、特性比較が重要である。中～大型での電気二重層キャパシタは価格、Mobile 機器、自動車および大型機器は耐久寿命が重要である。これらの観点での言及がなされていない。

独自の新市場を開拓できるような新規性能があれば製品価値を固有に設定できるため、かかる点の戦略性がさらに加味されるとよかった。

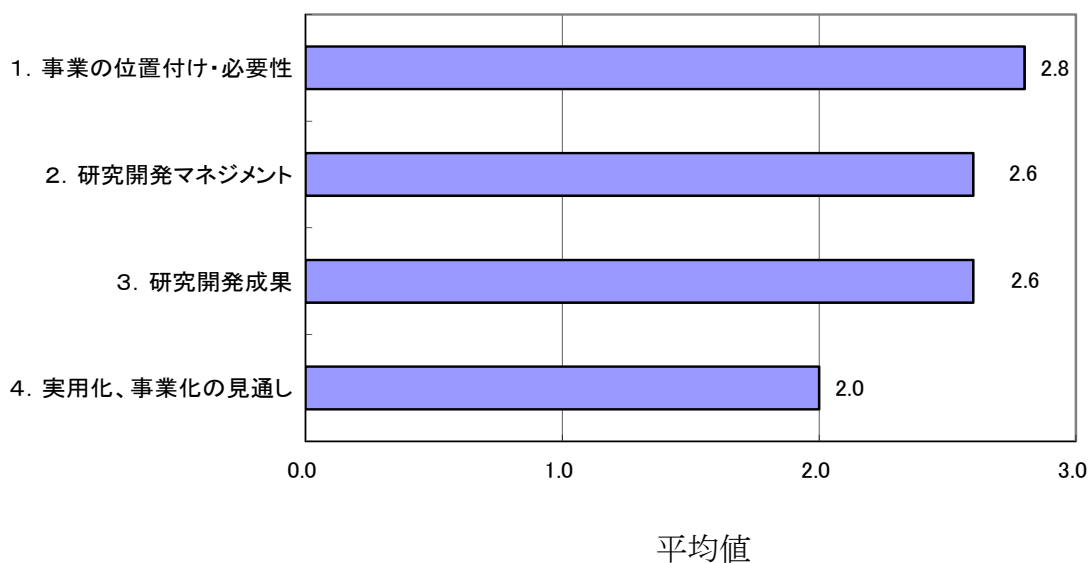
個別テーマに関する評価

	成果に関する評価	実用化、事業化の見通しに関する評価	今後に対する提言
カーボンナノチューブ量産化技術開発	<p>科学的アプローチが合理的に展開されており、障壁をクリアして成果を達成できている。それを利用した工業技術開発も高いレベルで目標をクリアできた。この科学技術的成果は世界的にもトップレベルと判断され、独自の領域を開拓している。また成果の発表も適切になされており、SGCNT 量産化技術について新技術を開拓した。また、特許出願による知財の確保と論文発表による成果の普及が精力的になされている。</p> <p>一方、エネルギーデバイスとして利用するに堪える量産が確保できるか不明瞭である。また、材料コストについての言及がない点が見劣りする。</p>	<p>SGCNT の実用化については、産業技術に関わる要素技術は十分に詰められており、用途およびユーザーの開発とさらなる低コスト化が課題であることを明確にしている。事業化までのシナリオについての支援体制は整っている。キャパシタ用だけでなく、その他の目的のためのサンプル出荷も近い将来に十分に見込めるだけの成果があり、波及効果は十分に期待できる。また、本プロジェクトを通して、人材育成が促進されている点も評価できる。</p> <p>一方、自動車用途には、低価格のヤシ殻活性炭が多用され、高性能、高価格の合成活性炭は、世界的に実用化されていない現実がある。このため SGCNT は、価格対策だけでなく、長寿命の耐久性等での競争力が要求される。</p>	<p>SGCNT をもう一桁高密度に生成する方法、あるいは成長スピードをもう一桁高速化する技術が期待される所である。今回得られた成果を元に、社会に幅広く、高品質な単層カーボンナノチューブを材料として十分に提供できるよう研究開発を続けて欲しい。また、キャパシタ以外の応用分野を拓かれることを期待し、それが CNT 産業全体に波及できる。</p> <p>なお、本プロジェクトで蓄積した SGCNT の大規模合成の要素技術を、希望する第 3 者が容易に採用できるように、知財の点で配慮されることを今後の一層大きな発展の視点で期待する。</p>

<p>カーボンナノチューブキャパシタ開発</p>	<p>課題を解決して目標を達成している。成果はキャパシタ市場の拡大につながる世界的に初めての技術で、日本固有の成果として評価できる。個々の項目で見れば、出力密度、寿命、電極体積占有率、時定数の項目については CNT キャパシタで、また、エネルギー密度、出力密度および電極活物質充填率についてはコンポジット電極を用いたキャパシタで目標値をクリアしている。コンポジット電極を用いたキャパシタで達成したエネルギー密度および出力密度は世界最高水準であり、他の競合技術と比較して優位性があると判断する。科学論文も高度なレベルのものが発表され、科学的インパクトは認められる。</p> <p>一方、「エネルギー密度の目標値がコンポジット電極でし</p>	<p>コンポジット電極により目標とする高いエネルギー密度と出力密度が得られることが示され、事業化を視野に入れた性能向上の検討が行える段階にきた。これによってキャパシタとして新たな商品領域を開拓する潜在的基盤は構築できた。当該分野の人材育成にも成果を上げている。</p> <p>一方、従来製品を高性能化した成果のみでは、既存製品の置き換えは必ずしも奏功するとは限らない。価格競争を回避するためにも、インパクトのある性能が必須で、今後の工業化に際してこれまでの成果の中で生かすべき新機能強化策についての検討がほしい。</p> <p>また、コンポジット電極の寿命や時定数などの性能向上、製造技術の開発、デバイスの低価格化が課題である。</p>	<p>SGCNT のコンポジット化の技術による実用化デバイスの開発ならびにその事業化にまで繋がることを期待する。低価格化、デバイス低容積化を実現してほしい。</p> <p>また、工業化に向けた実際の製品開発にあたって本技術の最も生かすべき製品デバイスの特長を反映した応用分野をターゲットにし、続いての横展開で市場での存在を強化する戦略があればさらによかった。今回得られた知見を、より安価な高性能キャパシタ用電極材（活性炭等）にも応用して、幅広く成果を社会に還元していただきたい。</p>
--------------------------	---	--	---

	<p>か達成できていない」ということであるので、製品化を目指す上では、コンポジット電極で他の項目の目標値も達成できるように努めることを期待する。また、キャパシタの知財戦略が一層補強されることを期待する。</p> <p>なお、コンポジット電極により高いエネルギー密度と出力密度が得られることが示されたが、そこに使うカーボンナノチューブが SGCNT でなければならないのかを明らかにして欲しい。</p>		
--	--	--	--

評点結果〔プロジェクト全体〕



評価項目	平均値	素点 (注)				
1. 事業の位置付け・必要性について	2.8	A	A	A	A	B
2. 研究開発マネジメントについて	2.6	A	A	A	B	B
3. 研究開発成果について	2.6	A	A	B	A	B
4. 実用化、事業化の見通しについて	2.0	A	B	B	C	B

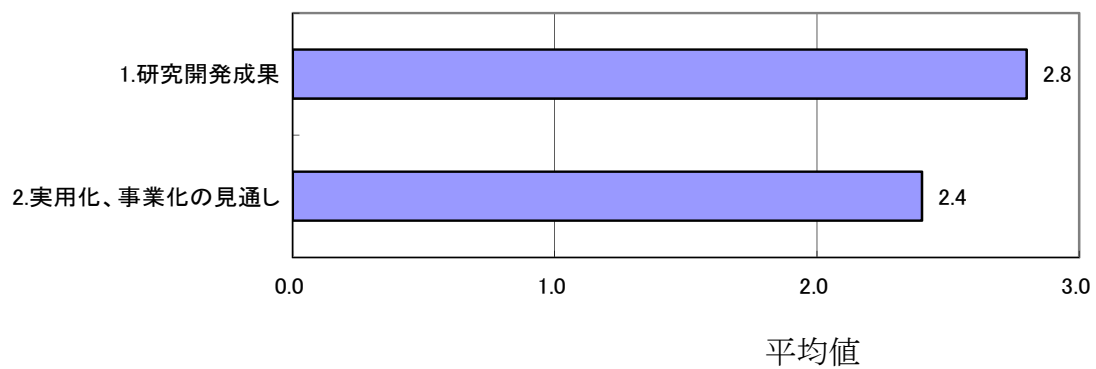
(注) A=3, B=2, C=1, D=0 として事務局が数値に換算し、平均値を算出。

〈判定基準〉

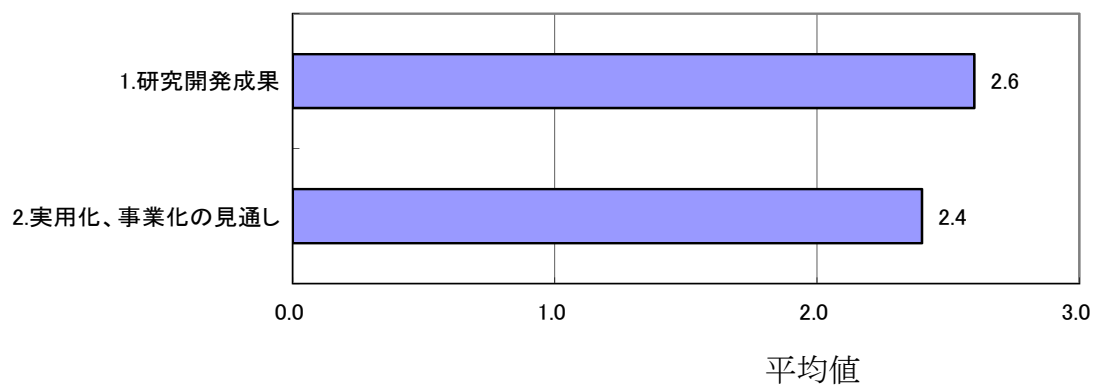
1. 事業の位置付け・必要性について	3. 研究開発成果について
・非常に重要 →A	・非常によい →A
・重要 →B	・よい →B
・概ね妥当 →C	・概ね妥当 →C
・妥当性がない、又は失われた →D	・妥当とはいえない →D
2. 研究開発マネジメントについて	4. 実用化、事業化の見通しについて
・非常によい →A	・明確 →A
・よい →B	・妥当 →B
・概ね適切 →C	・概ね妥当であるが、課題あり →C
・適切とはいえない →D	・見通しが不明 →D

評点結果〔個別テーマ〕

カーボンナノチューブ量産化技術開発



カーボンナノチューブキャパシタ開発



個別テーマ名と評価項目	平均値	素点 (注)				
カーボンナノチューブ量産化技術開発						
1. 研究開発成果について	2.8	A	A	A	B	A
2. 実用化、事業化の見通しについて	2.4	A	A	A	B	C
カーボンナノチューブキャパシタ開発						
1. 研究開発成果について	2.6	A	A	B	A	B
2. 実用化、事業化の見通しについて	2.4	A	A	A	C	B

(注) A=3, B=2, C=1, D=0 として事務局が数値に換算し、平均値を算出。

〈判定基準〉

1. 研究開発成果について	2. 実用化、事業化の見通しについて
・非常によい	→A ・明確 →A
・よい	→B ・妥当 →B
・概ね適切	→C ・概ね妥当であるが、課題あり →C
・適切とはいえない	→D ・見通しが不明 →D