

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」

## (事後評価)

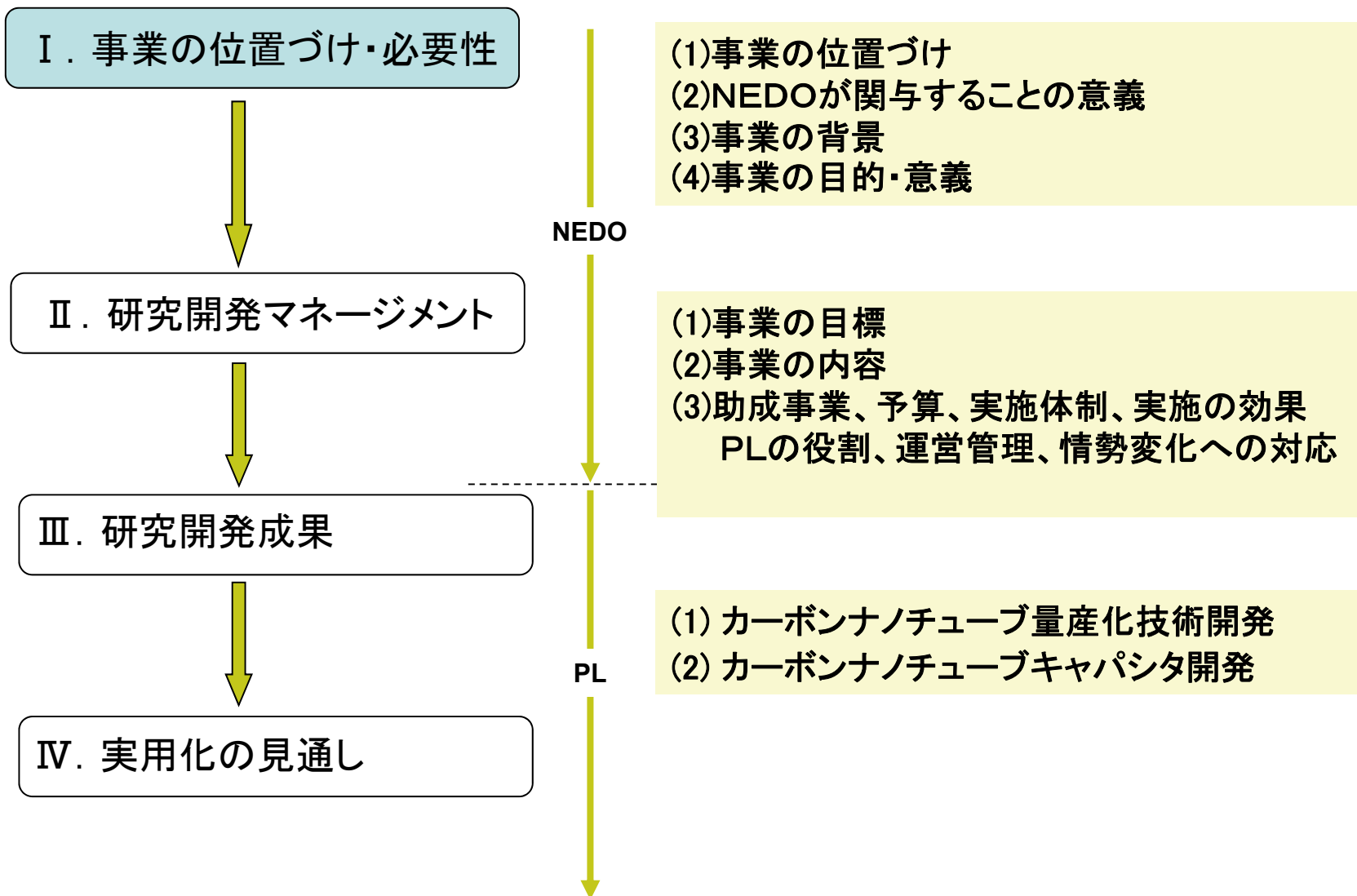
(2006年度～2010年度 5年間)

プロジェクトの概要(公開)

NEDO

電子・材料・ナノテクノロジー部

2011年 10月 31日



# I .事業の位置付け・必要性

# I. 事業の位置付け・必要性について

## 「エネルギーイノベーションプログラム」としての事業の背景

### 省エネに対する蓄電デバイスへの期待の高まり

キャパシタや、リチウムイオン電池・ニッケル水素電池などの2次電池といった蓄電デバイスの市場規模は、今後ますます拡大する見込み。



特に大型の分野  
建設機械・鉄道・大型自動車などへの実用化  
拡大に期待



キャパシタが最適

**キャパシタのメリット**

- ・ハイパワー(高出力密度)
- ・メンテナンスフリー(長寿命)
- ・優れた安全性
- ・急速充・放電

### キャパシタと2次電池との比較

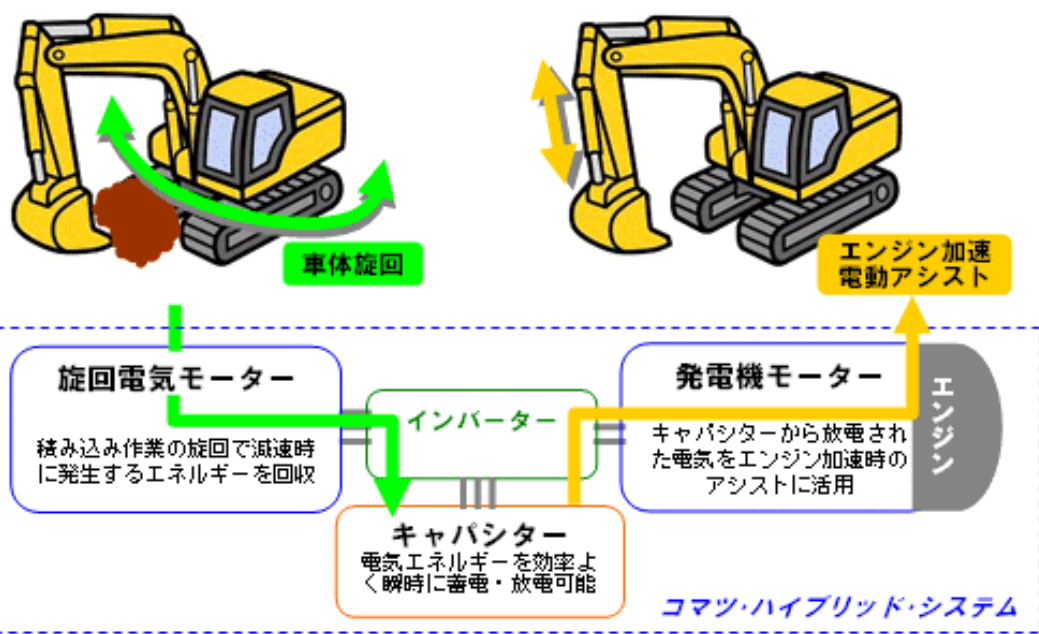
	キャパシタ	2次電池
充電時間	数十秒での充電も可能	数時間～数十分
充放電サイクル寿命	数万回～数十万回以上	数百回～数千回程度
安全性	発火や発熱の危険性は比較的少ない	発熱や電解液の発火など危険性がある
出力密度	数百～数kW/kg	数百W/kg
エネルギー密度	$10^0 \sim 10^1 \text{Wh/kg}$	$10^1 \sim 10^2 \text{Wh/kg}$
形状自由度	高い	低い

# I. 事業の位置付け・必要性について

## 「エネルギーイノベーションプログラム」としての事業の背景

### キャパシタによる省エネ効果の例

コマツのハイブリッド油圧ショベル（2008年5月発表）

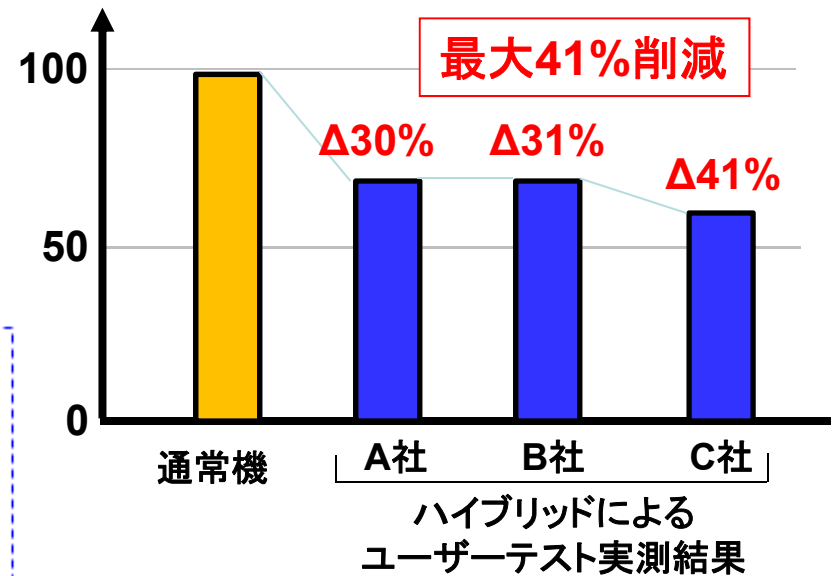


(コマツホームページより掲載)

**さらなる省エネ効果が実現**

従来の**活性炭キャパシタ**を用いた場合の燃料消費量の低減率

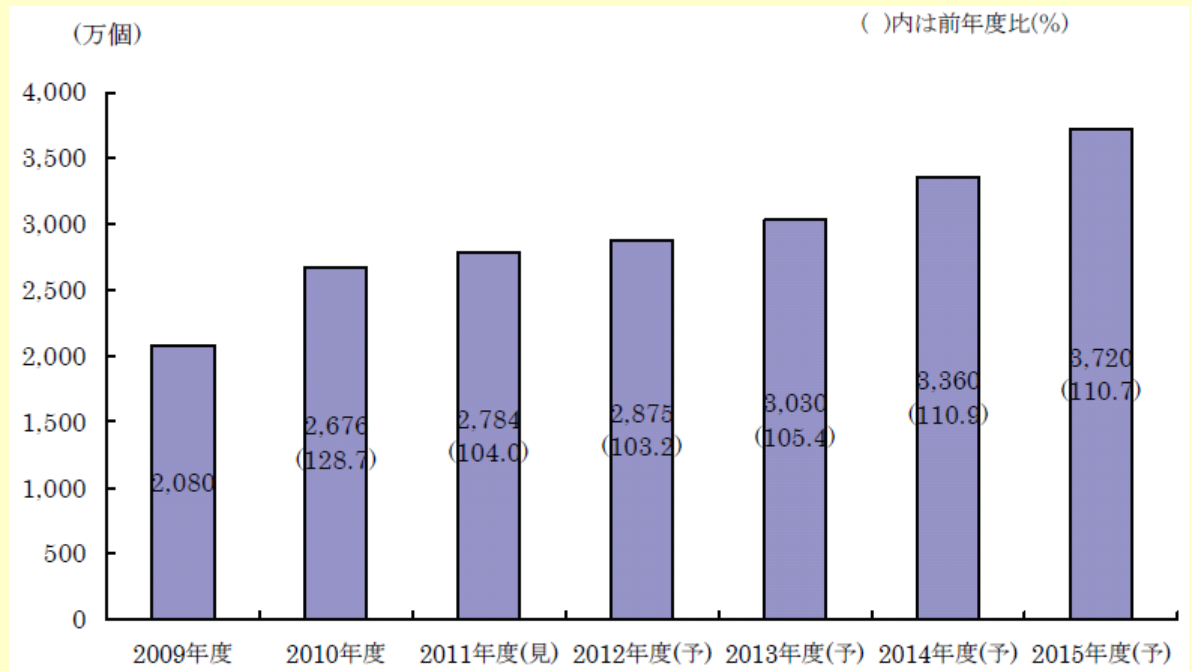
PC200-8ハイブリッドの燃料消費量(通常機比)



活性炭キャパシタを凌ぐ、飛躍的な高出力・高エネルギー密度の実現  
**材料技術の改良**

「エネルギーイノベーションプログラム」としての事業の背景  
**大容量キャパシタの市場動向**

**市場規模予測(数量ベース)**



**2020年の  
 大容量キャパシタ  
 市場規模予測: 966億円**  
 (2011年HIEDGE調べ)  
**\* 本PJ投入予算:  
 (17.5億円)**

現在、大容量キャパシタの  
 世界市場に占める  
 日本企業の**シェアは約6割**



注1. メーカー出荷ベース  
 注2. 市場規模はEDLCとLiCの合計値  
 注3. (見)は見込値、(予)は予測値(2011年8月現在)

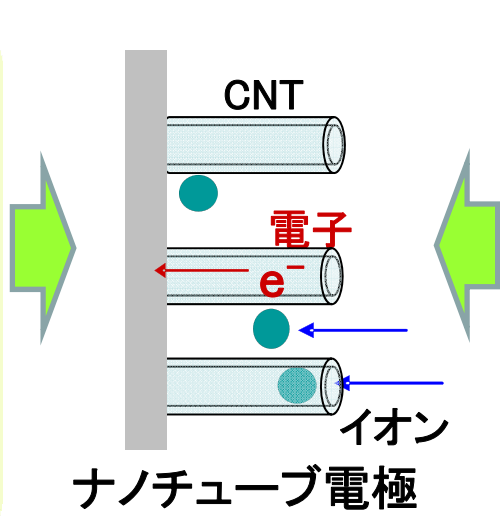
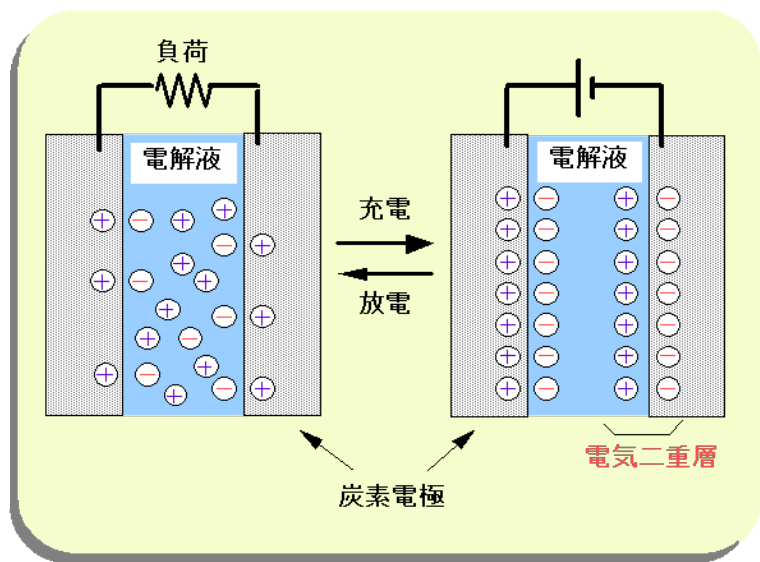
出所: (株)矢野経済研究所  
 「大容量キャパシタ市場に関する調査結果2011」  
 (2011年9月5日発表)

**さらなる材料技術(特性)改良により、**  
 ・市場規模の拡大  
 ・国際競争力の維持及び向上  
**が期待できる**

# I. 事業の位置付け・必要性について

「エネルギーイノベーションプログラム」としての事業の背景  
「ナノテク・部材イノベーションプログラム」としての事業の背景

## スーパーグロス技術によるカーボンナノチューブ(SGCNT)への期待



**ナノチューブの超高密度  
高純度配列制御  
成長技術**

従来の1000倍の高さを実現  
(産総研 2004年)

**2つの特性改良 急速充放電 & 高エネルギー密度**

キャパシタの動作原理  
(巨大なコンデンサー)

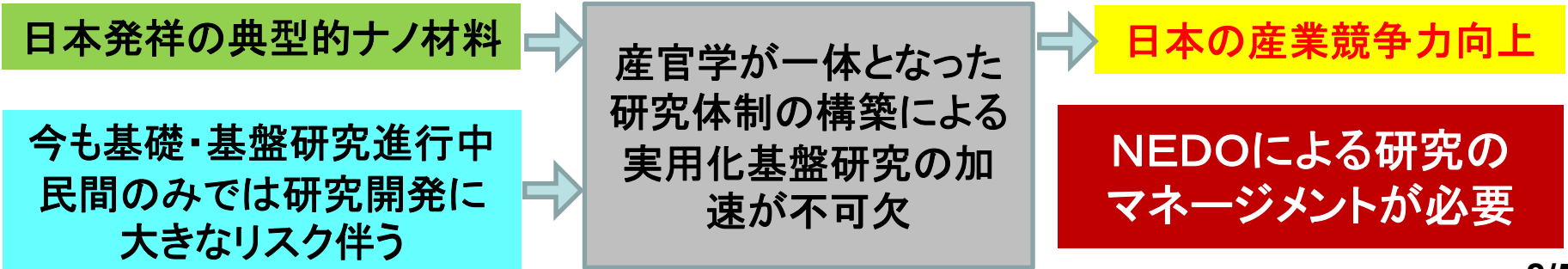
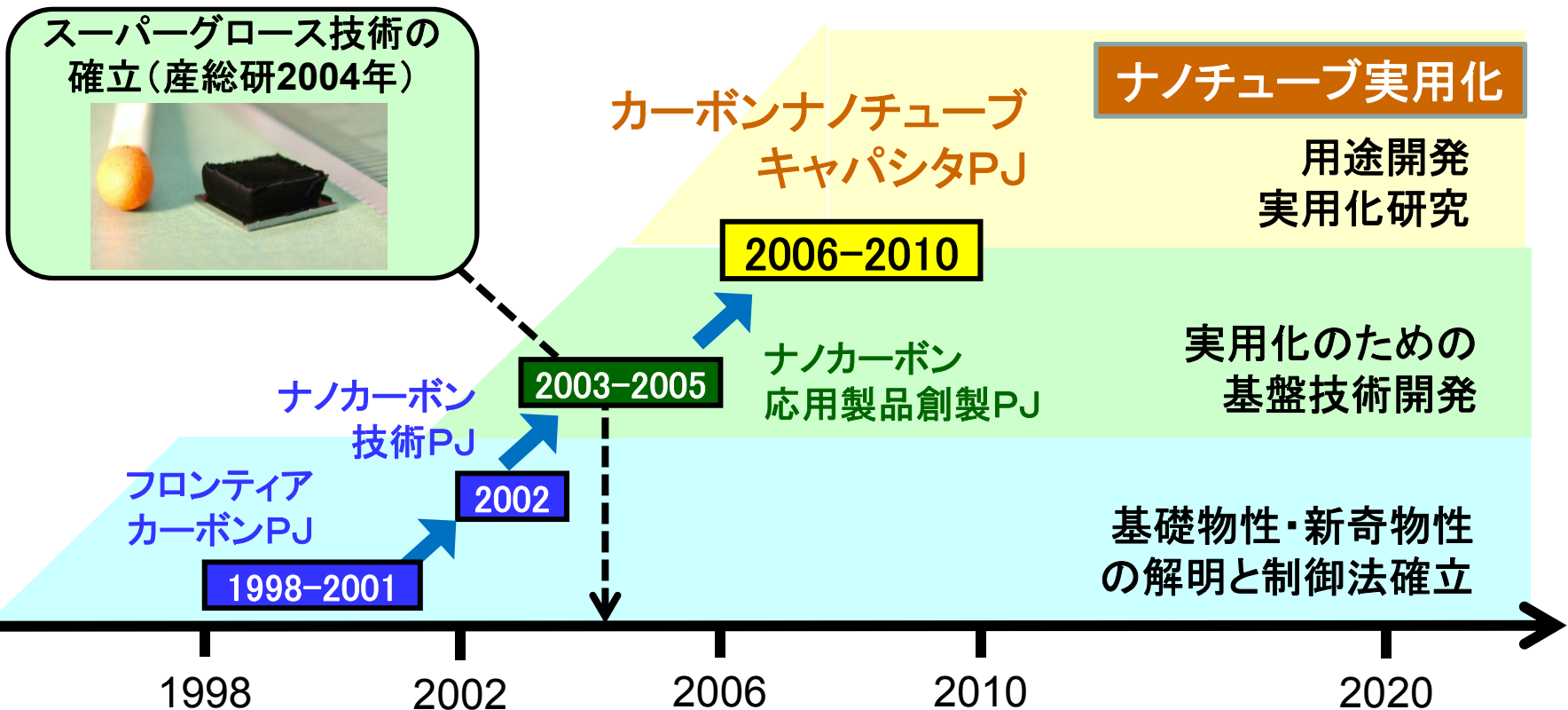
$$C = \int \frac{\epsilon}{4\pi l} dS \leftarrow \text{表面積}$$

電気容量は比表面積と直結

**次世代のキャパシター電極として理想的である**

「ナノテク・部材イノベーションプログラム」としての事業の背景

単層カーボンナノチューブの実用化に向けた研究開発の流れ





「ナノテク・部材イノベーションプログラム」としての事業の背景

カーボンナノチューブに関する海外の技術開発動向

韓国

政府援助による研究開発

科学技術部

21フロンティア研究開発事業団

民間企業への技術移転

ILJIN Nanotech (単層・多層CNT製造)

TOP NANOSYS Corp. (透明導電膜)

中国

多層カーボンナノチューブの量産化による低価格攻勢

既に透明導電膜などでは市場供給が進む

キャパシタの開発には直ちに影響を与えるものではないものの、  
カーボンナノチューブのさらなる用途開発・実用化を進めるうえで、単層ナノチューブの量産化(コストダウンや高機能化)の技術開発が国際競争力を維持する上で不可欠

NEDOによる研究のマネジメントが必要

# I. 事業の位置付け・必要性について

## NEDOが関与することの意義

### I. 公的機関関与の意義

「政策的な位置付け」、「技術開発の開発リスク」の観点から、公的関与が必要な研究開発プロジェクトである。

### II. NEDOが関与する意義

マネジメント  
プロセス

企画・立案

体制構築

事業推進

NEDOの  
強み

- ✓ 豊富な人的ネットワーク
- ✓ マネジメント知見の蓄積

- ✓ 豊富なプロジェクト実施経験から蓄積したコーディネート機能

- ✓ 独法制度を最大限活用した柔軟かつ豊富なマネジメントツール

マネジメントの  
ポイント

- ✓ 省エネに効果の高いキャパシタに着目
- ✓ キャパシタ応用に最適なシーズとして、我が国が世界を先導する単層CNT合成技術に着目

- ✓ 産総研のCNT基盤技術と企業の製品化技術を融合
- ✓ 日本ゼオンのCNT量産技術を日本ケミコンのキャパシタ製品化に繋げる「川上・川下連携」

- ✓ 柔軟かつ機動的な事業推進(加速資金投入、コンポジット電極開発への集中化による研究成果の最大化)
- ✓ 継続研究による実用化のフォローアップ

## 国の政策における本プロジェクトの位置づけ

### ナノテクノロジープログラム

#### (現) ナノテク部材・イノベーションプログラム

広範な産業技術分野に革新的発展をもたらす「ナノテクノロジー」を確立し、得られた成果等の知識の体系化を図ることで、我が国の産業競争力の源泉として、我が国経済の持続的発展に寄与する技術的基盤の構築を図る。



カーボンナノチューブ(CNT)は、**ナノサイズの炭素材料**であるため、構造を制御しての合成技術、化学的・電氣的機能制御技術の基盤構築には**ナノテクノロジーが不可欠**

### 省エネルギー技術開発プログラム

#### (現) エネルギーイノベーションプログラム

新・国家エネルギー戦略(2006年5月経済産業省)では、2030年までに30%以上エネルギー消費効率を改善することを目標として掲げている。



本事業で開発されるキャパシタにより、プリンタ・コピー機用予熱電源、フォークリフト・電車で補助電源およびハイブリッドバス・トラック用補助電源等のキャパシタ需要に対応し、**2030年時点で約124万kL/年(原油換算)の省エネルギーを実現する。**

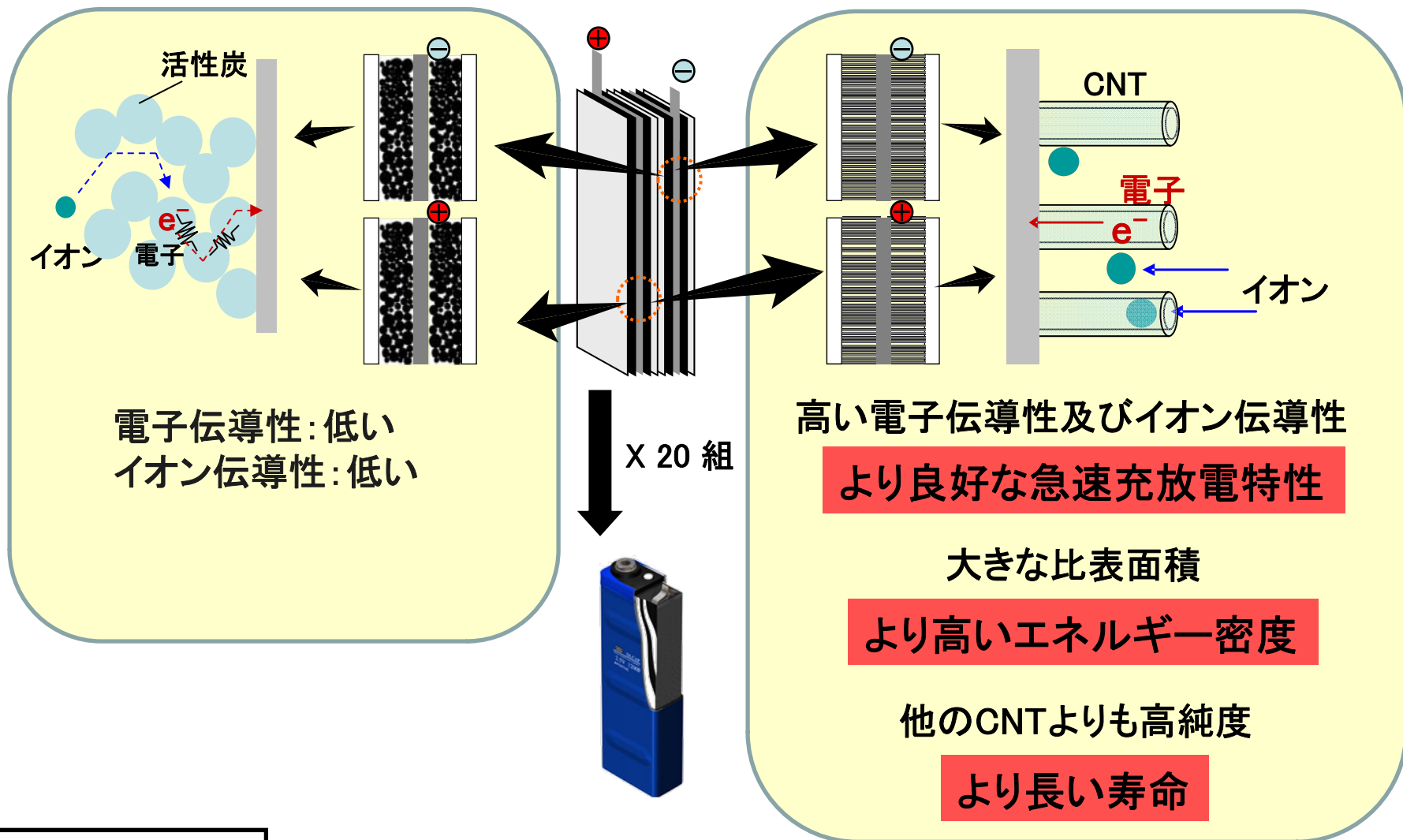
本プロジェクトにおける技術開発が適切である

## Ⅱ．研究開発マネジメントについて

# スーパーグロース法による単層CNT(SGCNT)キャパシタの優位性

従来型(活性炭)

次世代型(CNT)



### 他の大容量キャパシタに対するSGCNTキャパシタの優位性

	活性炭電気二重層 キャパシタ (AC-EDLC)	SGCNT電気二重層 キャパシタ (SG-EDLC)	リチウムイオン キャパシタ (LIC)	CNFナノハイブリッド キャパシタ (CNF-NHC)	SGCNTナノハイブリッド キャパシタ (SG-NHC)
エネルギー 密度	~ 8Wh kg <sup>-1</sup>	16Wh kg <sup>-1</sup>	10-17 Wh kg <sup>-1</sup>	18 Wh kg <sup>-1</sup>	21 Wh kg <sup>-1</sup>
	~ 10Wh L <sup>-1</sup>	20Wh L <sup>-1</sup>	15-25 Wh L <sup>-1</sup>	21 Wh L <sup>-1</sup>	24 Wh L <sup>-1</sup>
パワー 密度	△ (数百-数千W kg <sup>-1</sup> )	◎ (数千-数万 W kg <sup>-1</sup> )	△ (数百-数千W kg <sup>-1</sup> )	○ (数千-1万W kg <sup>-1</sup> )	◎ (数千-数万 W kg <sup>-1</sup> )
電圧	△ 2.5-3.0V	◎ 3.5V	◎ 3.8V	△ 2.8V	○ 3.0V
低温特性	◎	◎	△	○	○
自己放電特性	△	△	○	○	○
寿命特性	○	◎	△	○	○
安全性・ 信頼性	◎ 非リチウム系	◎ 非リチウム系	△ 金属リチウム析出の懸念有	○ 金属リチウム析出の懸念なし	○ 金属リチウム析出の懸念なし

◎:非常に優れている    ○:優れている    △:やや劣っている    ×:劣っている

活性炭キャパシタに比べ、エネルギー密度が高い上に  
リチウムイオンキャパシタに比べ、安全性・信頼性に優れる

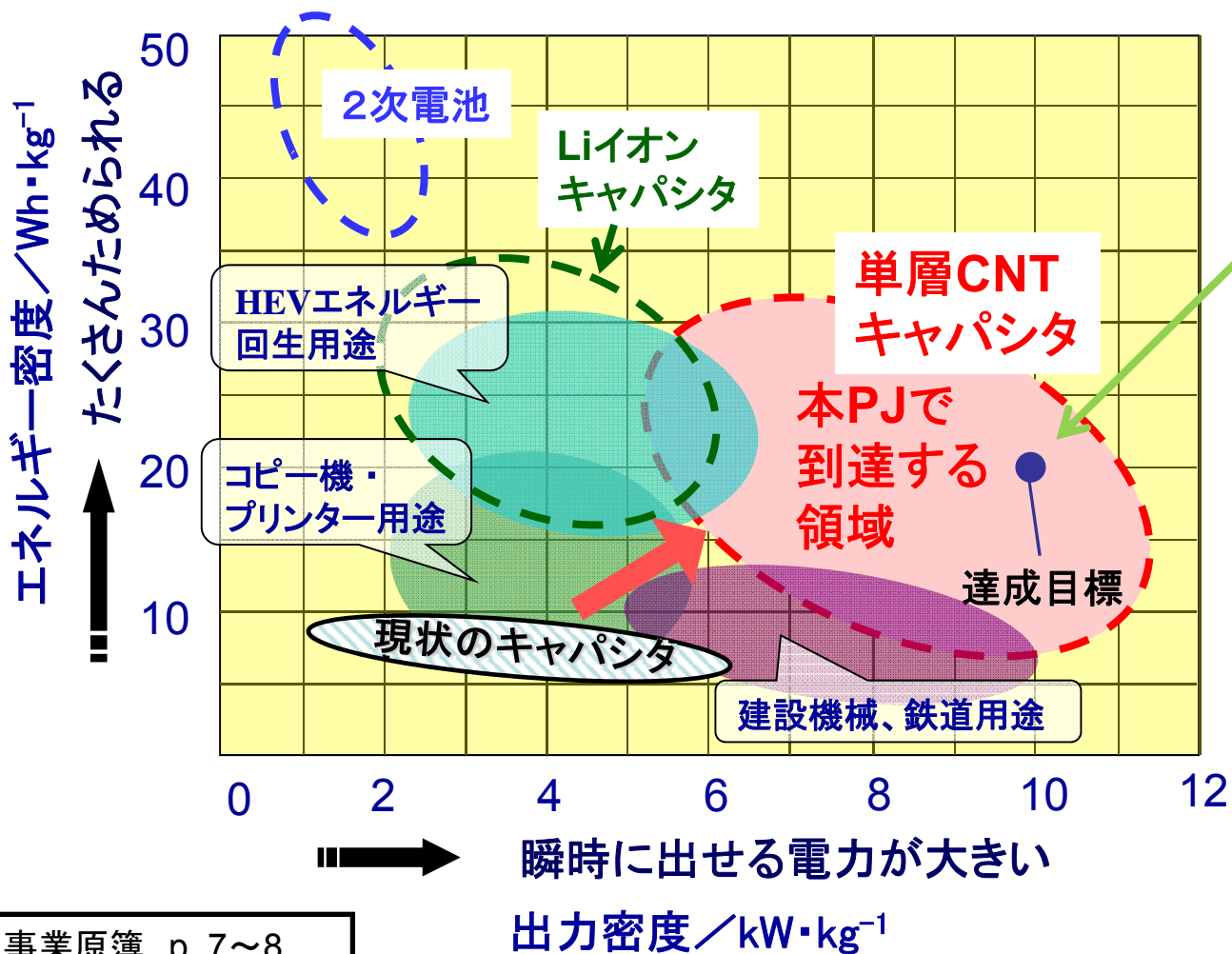
他のCNTに比べて、エネルギー密度数倍、かつ長寿命(高純度のため)

高導電性のCNT  
と高容量密度の活  
物質を複合化  
したコンポジット電  
極を本PJで開発  
(後述)

事業の目標

平成22年度までに以下の技術を構築する。

- ・従来の活性炭を電極に用いたキャパシタに代わり、SGCNTを用いた高性能キャパシタを開発
- ・エネルギー密度が20Wh/kg以上で耐久性の優れたキャパシタの開発

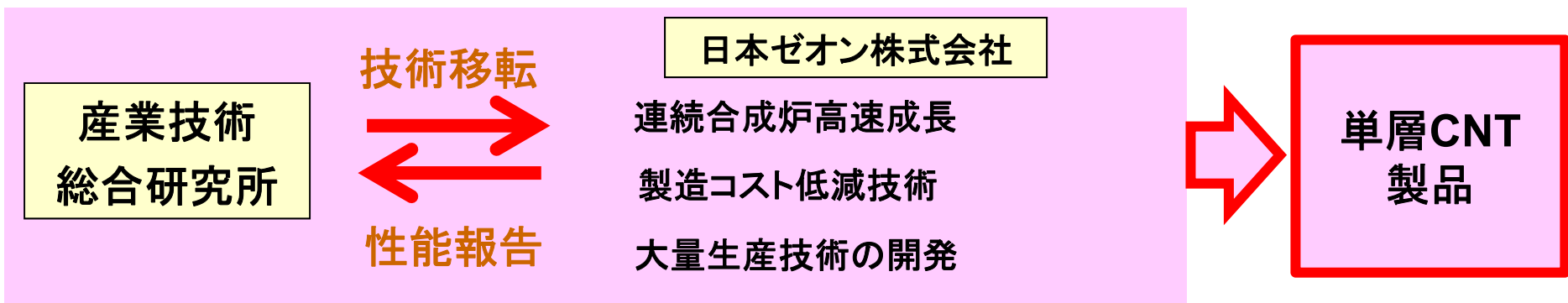


産業競争力のさらなる向上のために必要な達成目標

- この目標を達成するために
- 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
- を実施する。

研究開発の体制とテーマ

①カーボンナノチューブ量産化技術開発



性能要求 ↑ ↓ 試料改善

②カーボンナノチューブキャパシタ開発





### 研究テーマ

#### ①カーボンナノチューブ量産化技術開発

<p>ア. 触媒・助触媒・基板の研究</p>	<p>量産性に向けたできるだけ安価で、信頼性の高い触媒系の開発を行う。</p>	<p>日本ゼオン株式会社 産業技術総合研究所</p>
<p>イ. 大面積化カーボンナノチューブ合成技術の開発</p>	<p>大型基板で均一にカーボンナノチューブを合成するCVD合成技術を開発する。</p>	<p>日本ゼオン株式会社 産業技術総合研究所</p>
<p>ウ. 長尺化・高効率カーボンナノチューブ合成技術の研究</p>	<p>超寿命の触媒・成長プロセスの開発し、10mmの配向SWCNT構造体の成長技術を確立する。</p>	<p>産業技術総合研究所</p>
<p>エ. 構造制御カーボンナノチューブ合成技術の研究</p>	<p>SWCNT構造体の直径、品質、密度、純度、比表面積を制御する技術を開発する。</p>	<p>産業技術総合研究所</p>
<p>オ. キャパシタ最適カーボンナノチューブ探索及び合成技術の研究</p>	<p>構造制御されたカーボンナノチューブ構造体からキャパシタに最適なカーボンナノチューブ構造体の探索・設計・評価を進める。</p>	<p>産業技術総合研究所</p>
<p>カ. 単層カーボンナノチューブ標準化のための計測評価技術の開発</p>	<p>単層カーボンナノチューブ標準化のための計測評価技術を開発し、得られた結果は、ISO標準化にむけたワーキングドラフトへと反映させる。</p>	<p>産業技術総合研究所</p>

研究テーマ

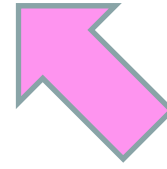
②カーボンナノチューブキャパシタ開発

<p><b>ア. デバイス製造技術の開発</b></p>	<p>セル設計、集電体開発、電極接合技術の開発など、スーパーグロース法単層カーボンナノチューブに最適なデバイス製造技術の開発を行う。</p>	<p>日本ケミコン株式会社 産業技術総合研究所</p>
<p><b>イ. 高性能化技術開発</b></p>	<p>単層カーボンナノチューブ構造体電極構造の最適化と高作動電圧化に関する高性能化技術開発を行う。</p>	<p>日本ケミコン株式会社 産業技術総合研究所</p>
<p><b>ウ. コンポジット電極の研究開発</b></p>	<p>1) 電極活物質と単層カーボンナノチューブとの複合化により、高エネルギー密度電極として有望なコンポジット電極の開発を行う。</p>	<p>日本ケミコン株式会社 産業技術総合研究所</p>
	<p>2)電極活物質モノマーの合成</p>	<p>岡山大学(再委託)</p>
	<p>3)コンポジット電極物質</p>	<p>東京農工大学(再委託)</p>

### カーボンナノチューブキャパシタ特性の最終目標値

国際競争力のさらなる向上のために必要な達成目標

エネルギー密度：**20Wh/kg**以上、出力密度：**10kW/kg**以上  
寿命：**15年**以上



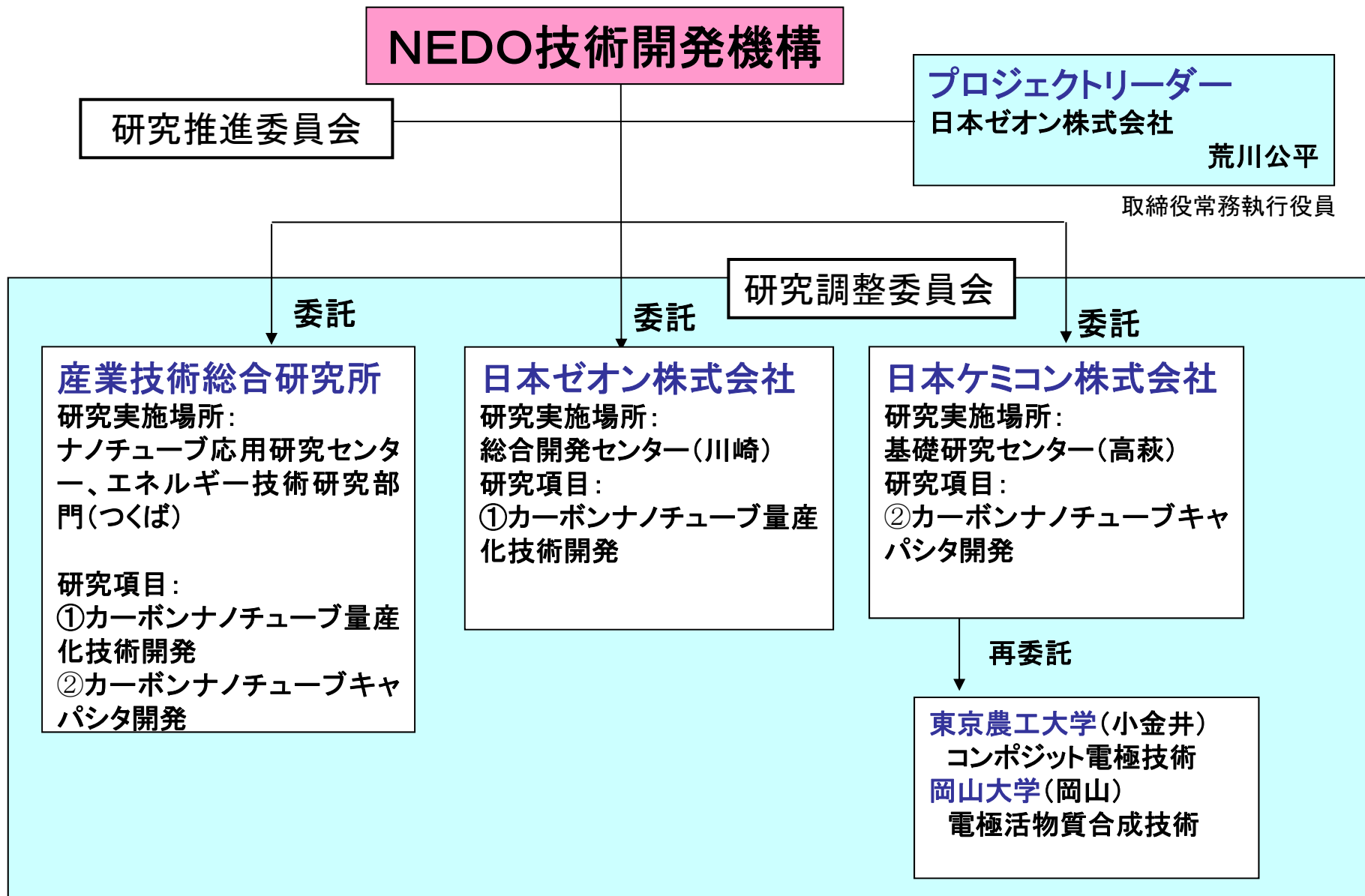
#### 実現のためのキャパシタ要求仕様

電極体積占有率 : 90%以上  
時定数 : 2 $\Omega$ F以下  
コンポジット電極内  
活物質充填率 : 80%

#### 実現のためのCNT量産要求仕様

CNT品質 比表面積: 1200m<sup>2</sup>/g以上  
触媒担持率: 0.01%以下  
CNT含有量: 98wt%以上  
CNT高さ: 10mm以上

CNT生産性 成長効率: 200,000%以上  
生成物収率: 10%以上  
生産速度: 0.06g/h $\cdot$ cm<sup>2</sup>以上



予算年次展開

単位: 百万円

	H18	H19	H20	H21	H22	
<b>①カーボンナノチューブ量産化技術開発</b> ア. 触媒・助触媒・基板の開発 イ. 大面積化・連続CNT量産技術の開発 ウ. 長尺化・高効率CNT合成技術の開発 エ. 構造制御CNT合成技術の開発 オ. キャパシタ最適CNT探索及び合成技術の開発 カ. 単層CNT標準化のための計測評価技術の開発	<b>立</b>	307	246	233	176	113
		加速財源				
		60 → +30	80	60	51	20
		30 → +100	71	83	55	33
		連続合成炉作製に注力				
	<b>ち</b>	50	30	35	20	20
		37	30	20	20	20
		15	20	20	20	
		20	15	10		
<b>②カーボンナノチューブキャパシタ開発</b> ア. デバイス製造技術の開発 イ. 高性能化技術の開発 ウ. コンポジット電極開発	<b>上</b>	172	186	110	122	82
		37	26 → +34	40	10	9
		21 → +62	41 → +34	36	37	27
	<b>げ</b>	52	51	34	75	46
				コンポジット電極に注力		
<b>合計</b>	<b>287 +192</b>	<b>364 +68</b>	<b>343</b>	<b>298</b>	<b>195</b>	

## 適切なマネジメント

### 加速財源の投入

NEDOでは、目覚ましい技術的成果を上げ当該技術分野における国際競争上の優位性が確立できるものに、研究加速財源の再配分を行い、加速的な研究開発を推進している。



本プロジェクトでは、H18秋およびH19秋に以下の2テーマに加速財源を投入し、世界初となる技術開発を推進した。

(1)カーボンナノチューブ量産技術に1.3億円を投入し、垂直配向単層カーボンナノチューブ構造体の大面積化や連続合成のための基盤技術を確立。

H18秋: スーパーグローース連続CVD合成装置、高精度薄膜塗工装置を導入→CNT量産技術の強化、触媒成膜技術の確立。

(2)カーボンナノチューブキャパシタ開発に1.3億円を投入し、キャパシタ開発を促進

H18秋: レーザー溶接装置の導入→キャパシタ寿命評価技術の加速

H19秋: キャパシタ試作装置、電極表面分析装置の導入→キャパシタ製造工程の効率化、キャパシタ寿命特性改善。

## 中間評価後の対応、計画変更

NEDOによる本プロジェクトへの対応

## 1. 複数のキャパシタが試作できる量のCNT供給体制の構築

SG法の原理解明研究に優先して、キャパシタ試作向けCNTの必要量を確保

→CNT量産のノウハウ蓄積およびキャパシタ特性の目標達成に寄与した。

## 2. キャパシタ電極の開発対象にコンポジット電極の検討を追加

CNT電極でのキャパシタから、早期に実用化が期待できるコンポジット電極の検討を強力に推進

→コンポジット電極を採用したキャパシタが、具体的に事業化を検討できるレベルに達してきた。

### プロジェクト終了後の対応

#### 継続研究(平成23年度～24年度)

日本ゼオン  
「カーボンナノチューブ量産化技術開発」  
CNT製造低コスト化

日本ケミコン  
「カーボンナノチューブキャパシタ開発」  
大容量キャパシタ製品の量産のための基盤  
技術開発

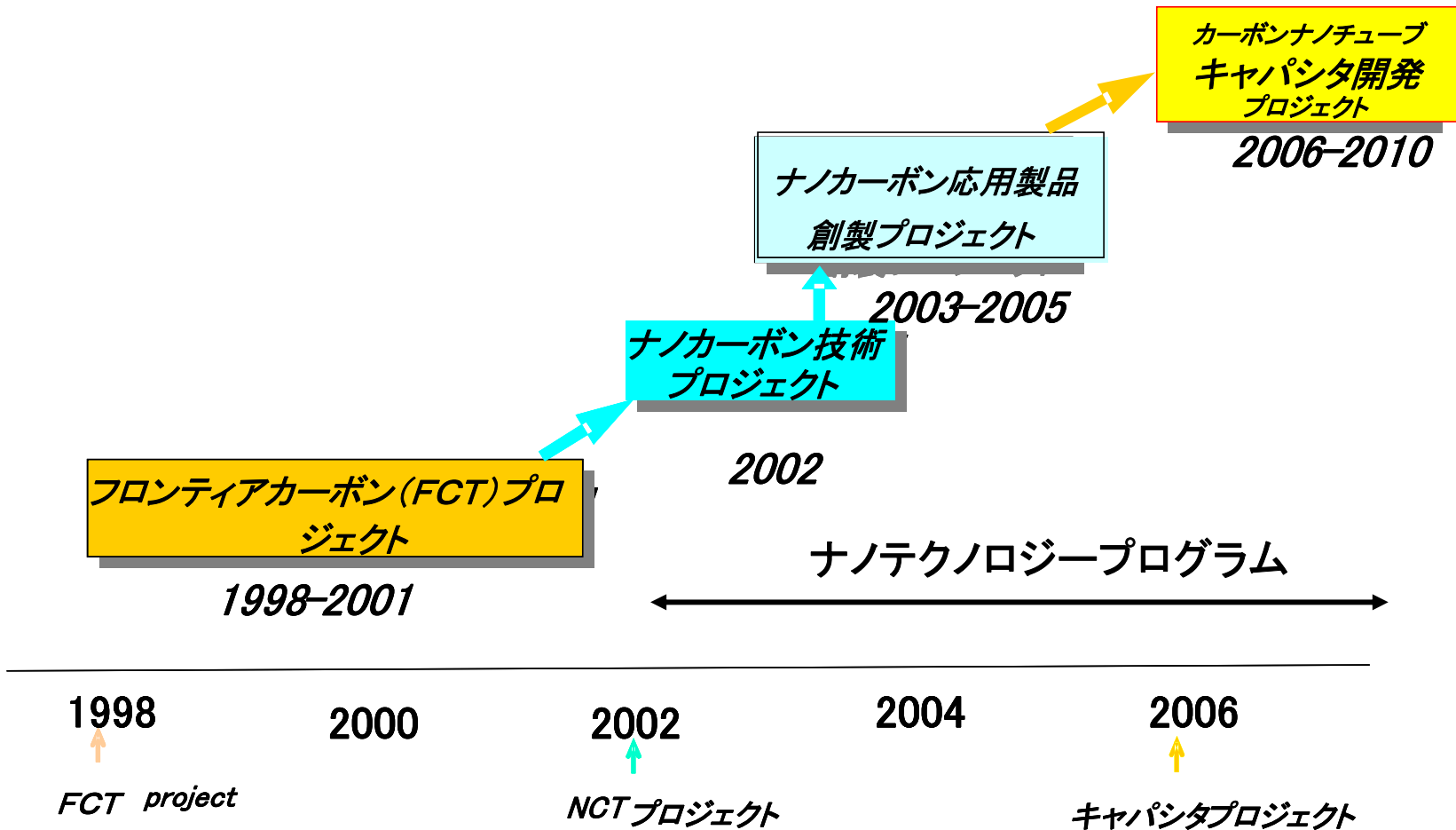
CEATEC2011(2011 10/3～8、幕張メッセ)  
キャパシタの実物展示





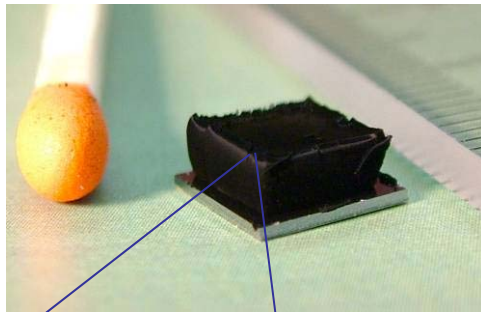
## Ⅲ.研究開発成果について

# カーボンナノチューブ研究開発の流れ



# 1.1 プロジェクトの概要

スーパーグロース技術により合成したSGCNT



超配向性

高い比表面積 1200 m<sup>2</sup>/g

高いエネルギー密度を可能に(キャパシタ電極)



巻回素子

積層素子

SGCNTを用いたキャパシタ

- ①高比表面積
- ②高導電性
- ③構造安定性

キャパシタ電極として最適と判断

## 1. 2 研究の目的と目標

- ・ 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、エネルギー密度:20Wh/kg以上、出力密度:10kW/kg以上、寿命:15年以上

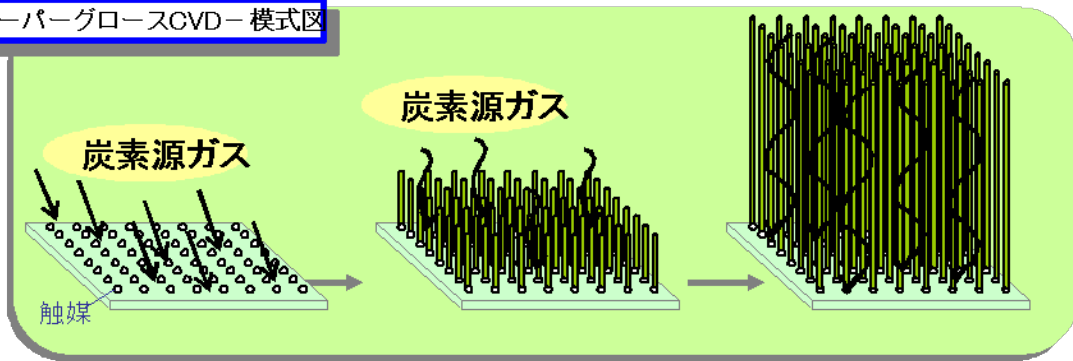
この目標を達成するために、以下の

①カーボンナノチューブ量産化技術開発  
(キャパシタに利用できる供給力)

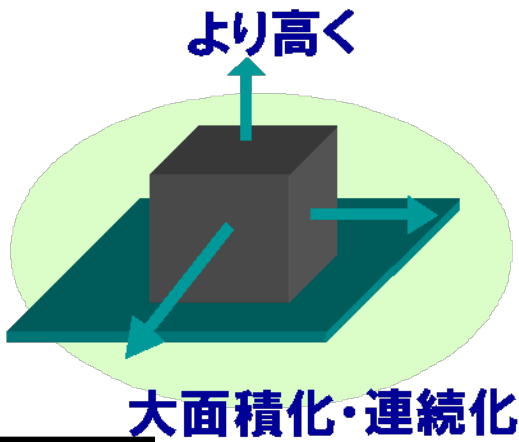
②カーボンナノチューブキャパシタ開発技術  
を実施する。

# 1.3 研究開発内容 ①カーボンナノチューブ量産化技術開発

スーパーグロースCVD-模式図



**量産への戦略**  
成長可能な体積を増やす→**3次元的拡張**



## 実施課題

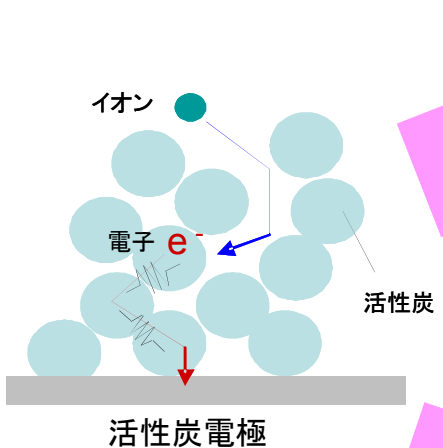
ア. 触媒・助触媒・基板の研究
イ. 大面積CNT合成技術の研究
ウ. 長尺・高効率CNT合成技術の研究
エ. 構造制御CNT合成技術の研究
オ. 最適CNT探索及び合成技術の研究
カ. 単層CNT標準化のための計測評価技術の開発

研究テーマ

①カーボンナノチューブ量産化技術開発

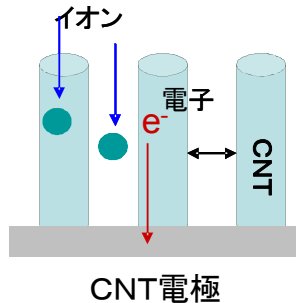
<p>ア. 触媒・助触媒・基板の研究</p>	<p>量産性に向けたできるだけ安価で、信頼性の高い触媒系の開発を行う。</p>	<p>日本ゼオン株式会社 産業技術総合研究所</p>
<p>イ. 大面積化カーボンナノチューブ合成技術の開発</p>	<p>大型基板で均一にカーボンナノチューブを合成するCVD合成技術を開発する。</p>	<p>日本ゼオン株式会社 産業技術総合研究所</p>
<p>ウ. 長尺化・高効率カーボンナノチューブ合成技術の研究</p>	<p>超寿命の触媒・成長プロセスの開発し、10mm の配向SWCNT構造体の成長技術を確立する。</p>	<p>産業技術総合研究所</p>
<p>エ. 構造制御カーボンナノチューブ合成技術の研究</p>	<p>SWCNT構造体の直径、品質、密度、純度、比表面積を制御する技術を開発する。</p>	<p>産業技術総合研究所</p>
<p>オ. キャパシタ最適カーボンナノチューブ探索及び合成技術の研究</p>	<p>構造制御されたカーボンナノチューブ構造体からキャパシタに最適なカーボンナノチューブ構造体の探索・設計・評価を進める。</p>	<p>産業技術総合研究所</p>
<p>カ. 単層カーボンナノチューブ標準化のための計測評価技術の開発</p>	<p>単層カーボンナノチューブ標準化のための計測評価技術を開発し、得られた結果は、ISO標準化にむけたワーキングドラフトへと反映させる。</p>	<p>産業技術総合研究所</p>

# 1. 3 研究開発内容 ②カーボンナノチューブキャパシタ開発



## CNT電極

構造完全性の高いCNTの垂直配向により、高い電気伝導性と高速のイオン拡散性が実現(ハイパワー)。さらに電極体積占有率の革新的向上(電極以外の部材量の削減)により高エネルギー密度化。



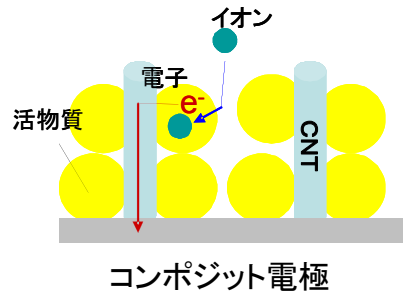
高純度CNT電極作製が可能  
⇒高出力密度・長寿命のキャパシタの実現へ

## 実施課題

- ア. デバイス製造技術の開発(キャパシタ作製)
- イ. 高性能化技術開発
- ウ. コンポジット電極開発

## コンポジット電極

高導電性のCNTと高容量密度の活物質を複合化



更なる高エネルギー密度のキャパシタの実現へ

研究テーマ

②カーボンナノチューブキャパシタ開発

<p>ア. デバイス製造技術の開発</p>	<p>セル設計、集電体開発、電極接合技術の開発など、スーパーグローブ法単層カーボンナノチューブに最適なデバイス製造技術の開発を行う。</p>	<p>日本ケミコン株式会社 産業技術総合研究所</p>
<p>イ. 高性能化技術開発</p>	<p>単層カーボンナノチューブ構造体電極構造の最適化と高作動電圧化に関する高性能化技術開発を行う。</p>	<p>日本ケミコン株式会社 産業技術総合研究所</p>
<p>ウ. コンポジット電極の研究開発</p>	<p>1) 電極活物質と単層カーボンナノチューブとの複合化により、高エネルギー密度電極として有望なコンポジット電極の開発を行う。</p>	<p>日本ケミコン株式会社 産業技術総合研究所</p>
	<p>2)電極活物質モノマーの合成</p>	<p>岡山大学(再委託)</p>
	<p>3)コンポジット電極物質</p>	<p>東京農工大学(再委託)</p>



## ①カーボンナノチューブ量産化技術開発

これまでに次の5つの優れた成果が得られている。

### ア. 触媒・助触媒・基板の研究

(1) 低コストカーボンナノチューブ合成触媒の開発

### イ. 大面積化カーボンナノチューブ合成技術の研究

(2) A4、500×200mmサイズ基板上でのSGCNT成長技術

(3) 連続合成技術

### ウ. 長尺化・高効率カーボンナノチューブ合成技術の研究

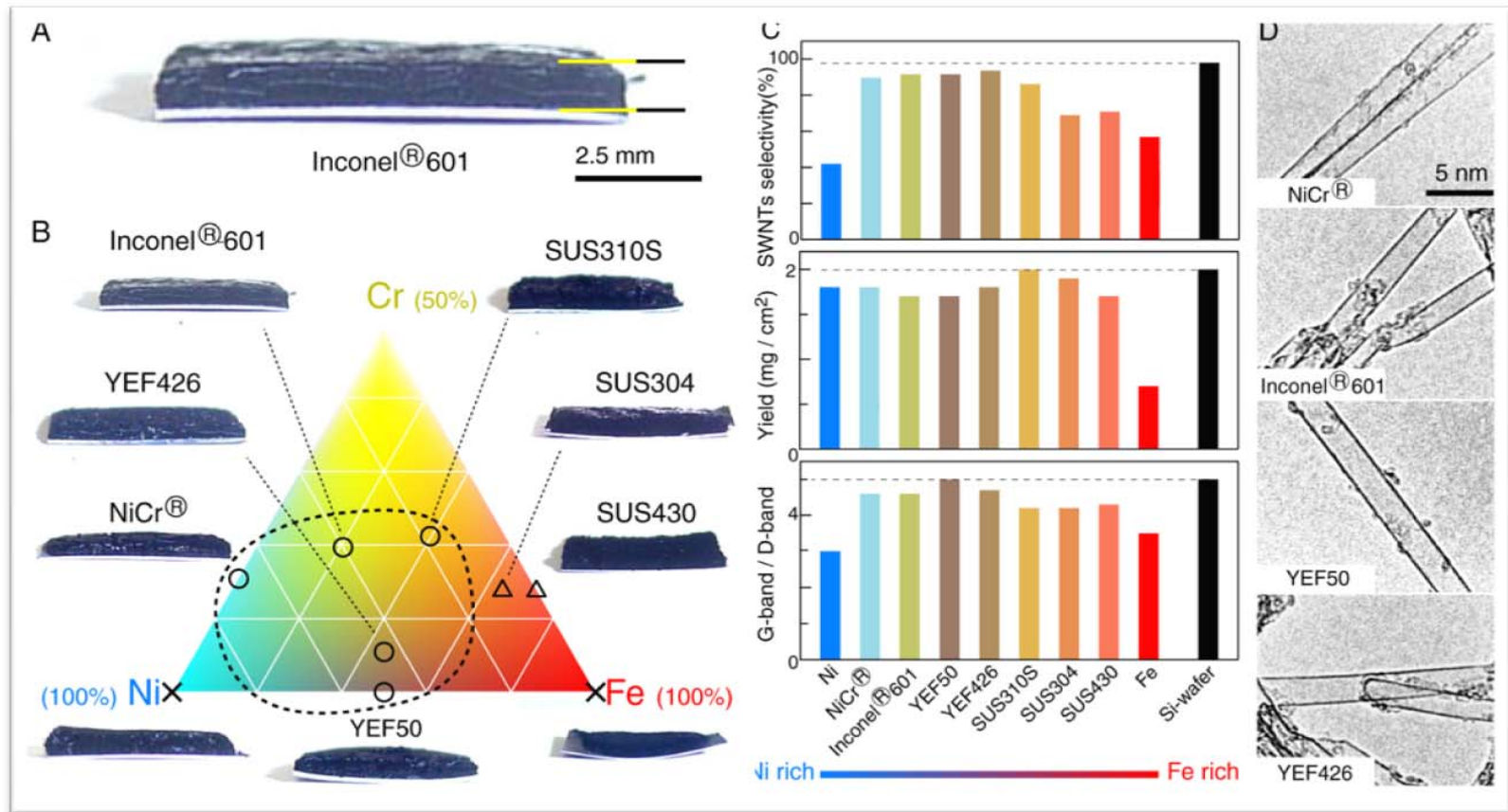
(4) 高さ1センチのフォレストの合成

(5) 超高速合成法

平成18～20年度の成果

# ①カーボンナノチューブ量産化技術開発

## ア. 触媒・助触媒・基板の研究



金属基板でのSGCNT成長に成功

平成21～22年度の成果

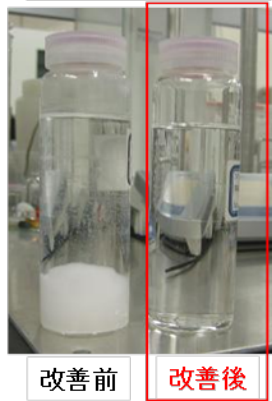
# ①カーボンナノチューブ量産化技術開発

## ア. 触媒・助触媒・基板の研究

### 【塗工作業性】

#### ①塗液安定性

3ヵ月後の液保存性



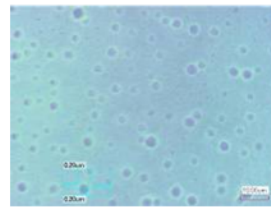
改善前

改善後

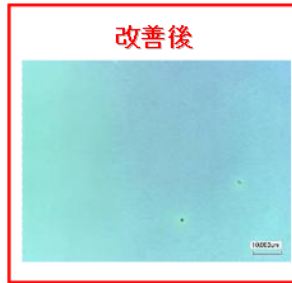
#### ②塗膜欠陥(はじき)

基板上塗布面の光学顕微鏡写真

改善前

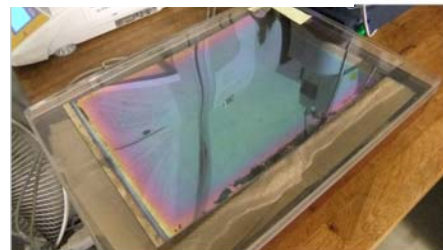


改善後



ドライプロセス→ウェットプロセス  
による、量産性と低コストプロセス化  
(当初は鉄のスパッタリングを  
行っていた)

### 【基板リサイクル性】



再利用9回目 CNT剥離後



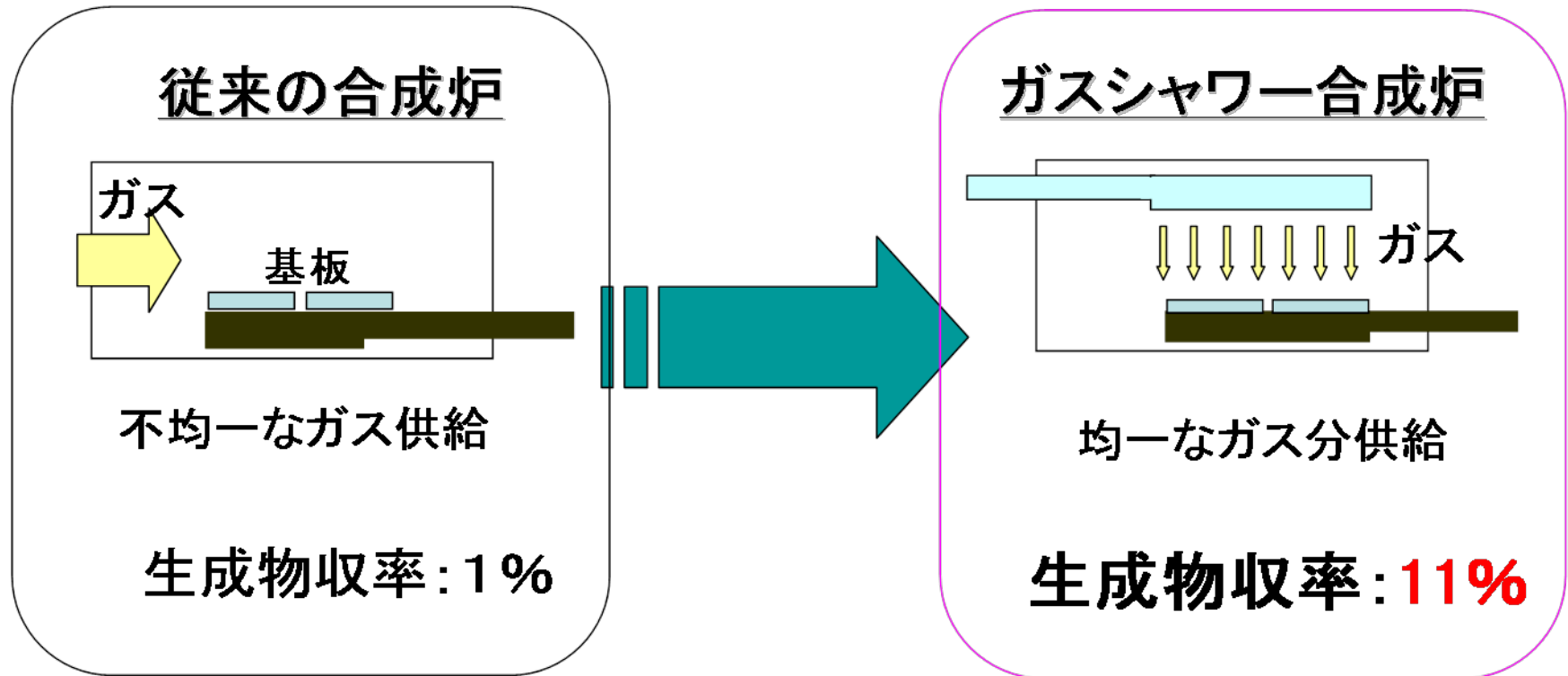
再利用10回目 CNT合成後

# 量産に向けた塗布液、プロセスの開発に成功

平成18～20年度の成果

# ①カーボンナノチューブ量産化技術開発

## イ. 大面積化カーボンナノチューブ合成技術の研究（大面積、連続合成）



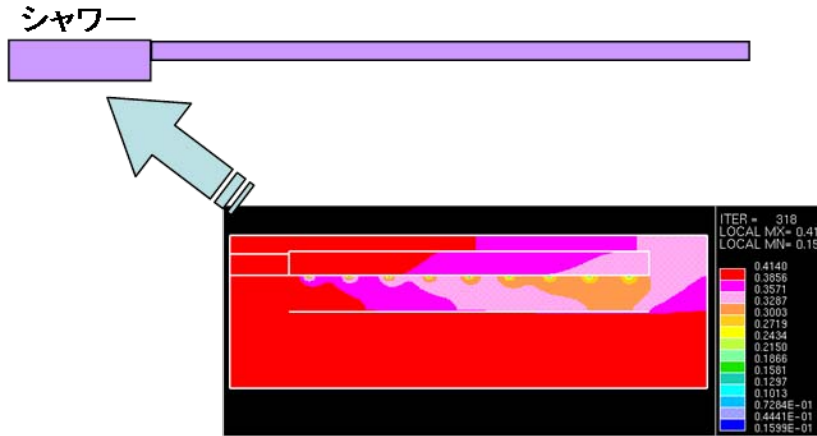
**ガスシャワーシステムの開発に成功し、  
生成物収率10%以上を達成**

平成18～20年度の成果

# ①カーボンナノチューブ量産化技術開発

## イ. 大面積化カーボンナノチューブ合成技術の研究（大面積、連続合成）

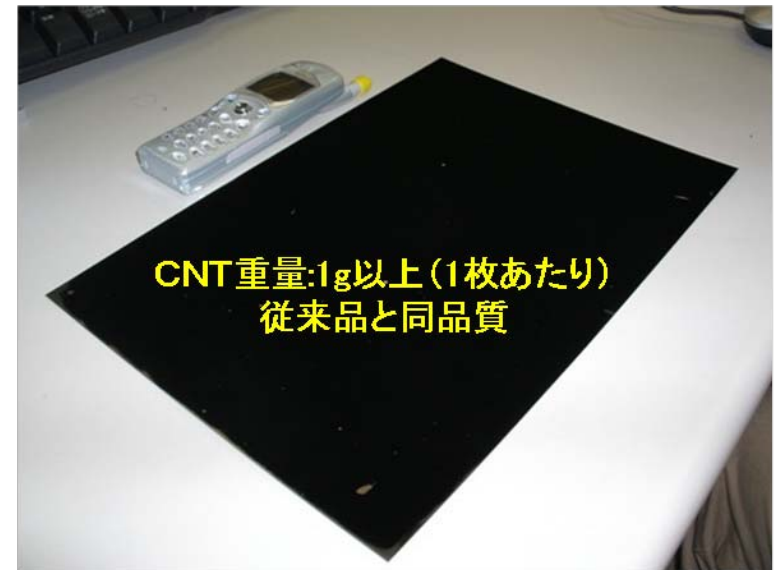
### 【原料供給部の最適化】



A4基板上に原料ガスを  
均一に供給するように設計

キャリアガスをHeからN2に代替

## A4サイズのCNT合成に成功



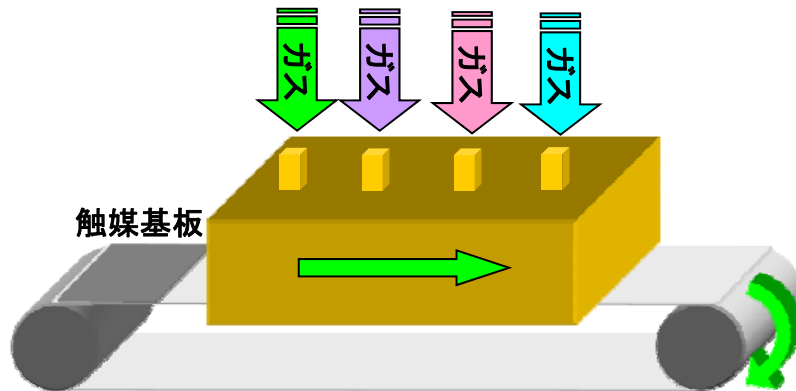
# シミュレーション技術を駆使することにより、 大面積フォレスト合成に成功

平成18～22年度の成果

# ①カーボンナノチューブ量産化技術開発

イ. 大面積化カーボンナノチューブ合成技術の研究（大面積、連続合成）

## 連続合成装置 概念図



## 連続合成炉



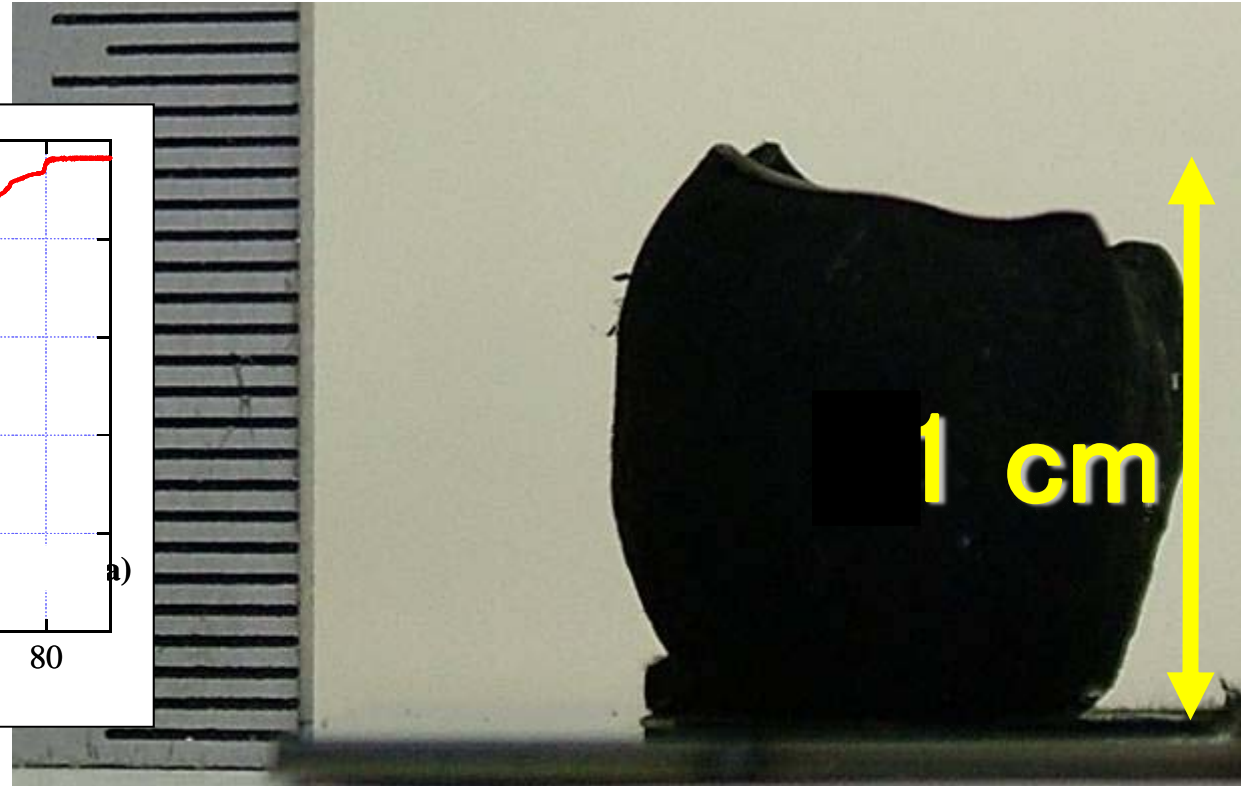
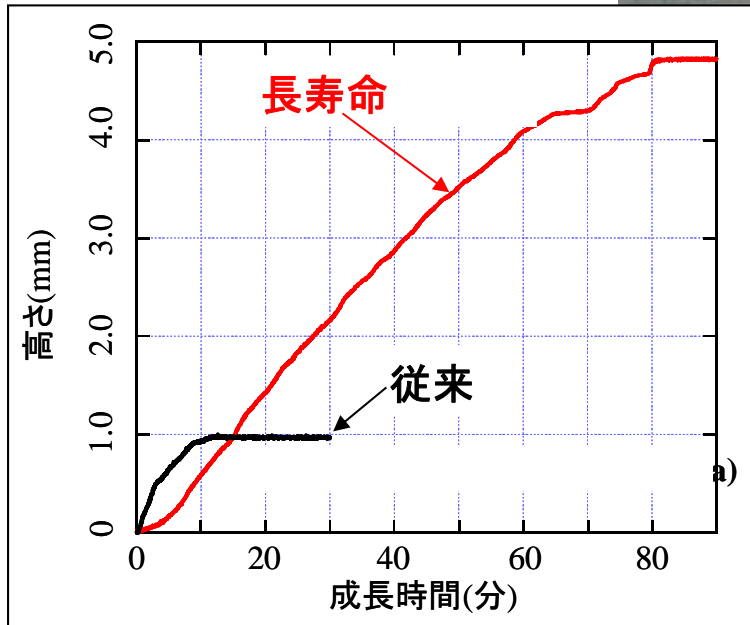
連続的にCVDを行なう

**連続合成炉でのCNT成長、炉内部材の金属化成功  
⇒ プロセスコスト低減達成、装置大型化の目処**

平成18～20年度の成果

# ①カーボンナノチューブ量産化技術開発

ウ. 長尺化・高効率カーボンナノチューブ合成技術の研究

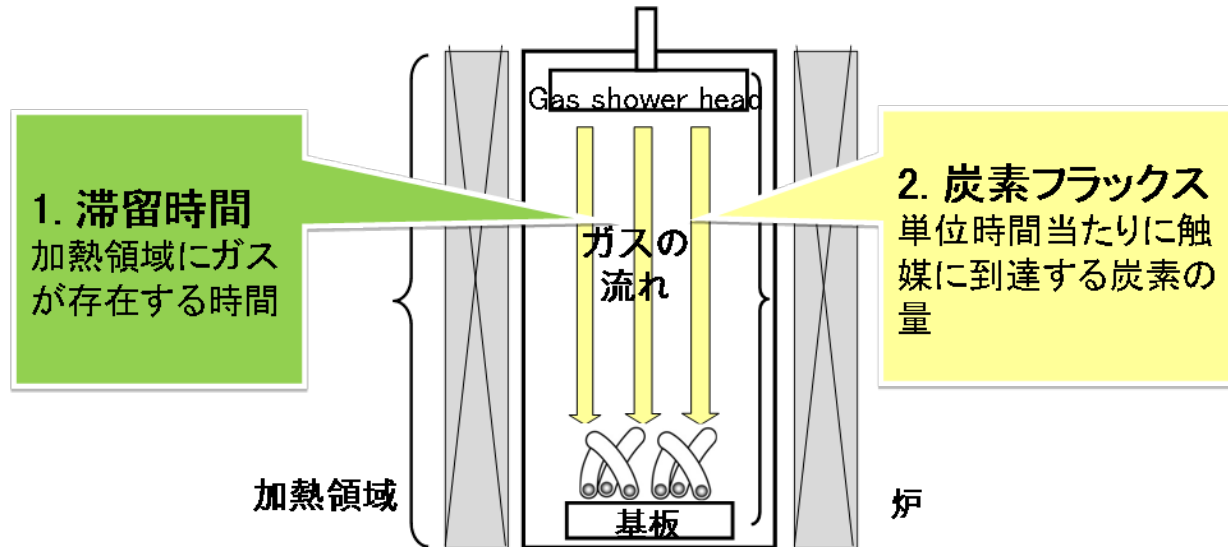


**CVDプロセスの改良等により長寿命成長技術を確立、高さ10mm以上のフォレスト合成を達成**

平成21～22度の成果

# ①カーボンナノチューブ量産化技術開発

## ウ. 長尺化・高効率カーボンナノチューブ合成技術の研究



合成方法	成長速度 (um/min)	CNT密度 (g/cm <sup>3</sup> )	単位面積・1時間当たりの生産速度 (g/cm <sup>2</sup> ・h)
従来	120	0.03	0.022
<b>FAST-CVD</b>	<b>600</b>	<b>0.03</b>	<b>0.108</b>

新規合成法 (Fast-CVD) を見出し、  
生産速度 0.108g/cm<sup>2</sup>・hr を達成



最終目標に対する達成度

	最終目標		成果	達成度
	①CNT合成技術 (品質)	比表面積	1200m <sup>2</sup> /g以上	1260m <sup>2</sup> /g
触媒担持率		0.01%以下	0.005%	○
CNT含有量		98wt%以上	99.5%	○
CNT高さ		10mm以上	10mm	○
②CNT合成技術 (生産性)	成長効率	200,000%以上	360,000%	◎
	生成物収率	10%以上	11%	○
	生産速度	0.06g/h・cm <sup>2</sup> 以上	0.108g/h・cm <sup>2</sup>	◎
③キャパシタに 適したCNT作製	比表面積2,000m <sup>2</sup> /g以上		高比表面積CNT (2,240m <sup>2</sup> /g)	○

◎:大幅達成、○:達成、△:達成見込み、×:未達

すべての最終目標を達成

## ①カーボンナノチューブ量産化技術開発

### (2)成果の意義

#### ア. 触媒・助触媒・基板の研究

量産性に優れた触媒形成(連続ウエットコート)並びに  
大面積化可能な触媒基板の開発を達成。

#### イ. 大面積CNT合成技術の研究

大面積、連続合成技術を可能にし、連続合成装置の大型化目処

#### ウ. 長尺・高効率CNT合成技術の研究

短時間で高収量のSWCNTの合成を可能にした。

#### エ. 構造制御CNT合成技術の研究

#### オ. 最適CNT探索及び合成技術の研究

様々なSWCNTを作りわけ、かつ量産可能にした。

これら技術を、**大面積(500mm角)基板での連続合成技術に展開した**

## ①カーボンナノチューブ量産化技術開発

## (3)知的財産権等の取得

出願特許:19件、内外国特許:6件

## (4)成果の普及

誌上発表:14件 (内:査読審査有 13件)

学会発表:48件

プレス発表:4件

【代表的誌上発表】 Nature Material, Nano Letter 3件、JACS3件、Advanced Material、ACS-Nano,Advanced Functional Material等

## 【プレス発表】

平成18年11月27日 毎日新聞、読売新聞、日本経済新聞他、計7

「形状デザイン可能なカーボンナノチューブ高密度個体」

平成19年2月7日～12日 NHK総合、朝日新聞、毎日新聞、読売新聞、その他計8誌

「単層カーボンナノチューブの安価な大量合成を開発」

## ①カーボンナノチューブ量産化技術開発

プレス発表 2007年2月7日 NHKニュース



収量:1g以上(1枚あたり)  
従来品と同品質

- ・比表面積: 1105 m<sup>2</sup>/g
- ・平均直径: 2.99nm

**A4サイズのナノチューブ合成**  
**生産能力140倍(平成17年に比べ)**

## ①カーボンナノチューブ量産化技術開発

## (5)受賞実績

- 平成19年4月 「平成19年度文部科学大臣表彰若手科学者賞」 畠 賢治
- 平成20年10月 「第18回つくば奨励賞(若手研究部門)」 畠 賢治
- 平成22年2月 「第6回日本学術振興会賞(日本学術振興会)」 畠 賢治
- 平成22年3月 「第6回日本学士院学術奨励賞(日本学士院)」 畠 賢治

## ②カーボンナノチューブキャパシタ開発

これまでに次の6つの優れた成果が得られている。

ア.デバイス製造技術の開発

- (1)革新的な電極作製方法の開発
- (2)高パワーキャパシタ
- (3)大型SGCNTシート作製技術の開発

イ.高性能化技術開発

- (4)高電圧下(3.0V以上)における信頼性評価

ウ.コンポジット電極の研究開発

- (5)大容量コンポジット電極
- (6)革新的なコンポジット電極材料の開発及びそれを用いた高性能キャパシタ開発

平成18～22年度の成果

## ア.デバイス製造技術の開発

代表的成果 (1)革新的な電極作製方法の開発

→**接着剤・バインダーフリーで電極作製に成功(平成18～20年度研究成果)**

(2)高パワーキャパシタ

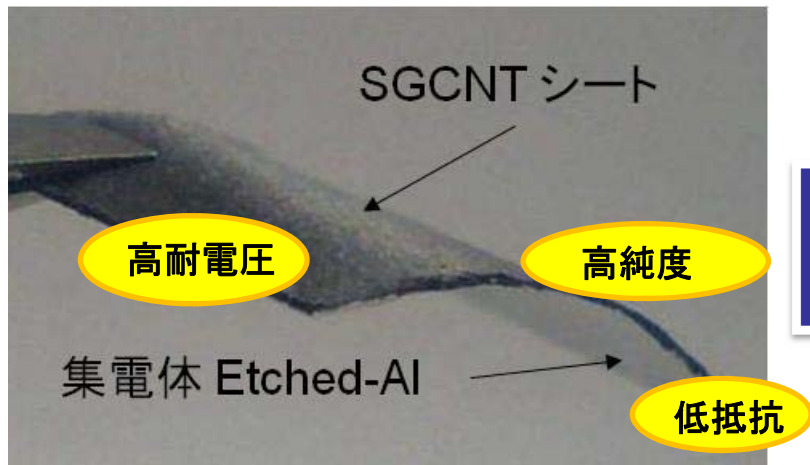
→**活性炭EDLCの2～3倍の出力密度を達成(平成18～20年度研究成果)**

(3)大型SGCNTシート作製技術の開発

→**大型シート化及び1000F級キャパシタ作製に成功(平成21～22年度研究成果)**

1000F級SGCNTキャパシタ  
(容量:1400F)

接着剤・バインダーフリーSGCNT電極



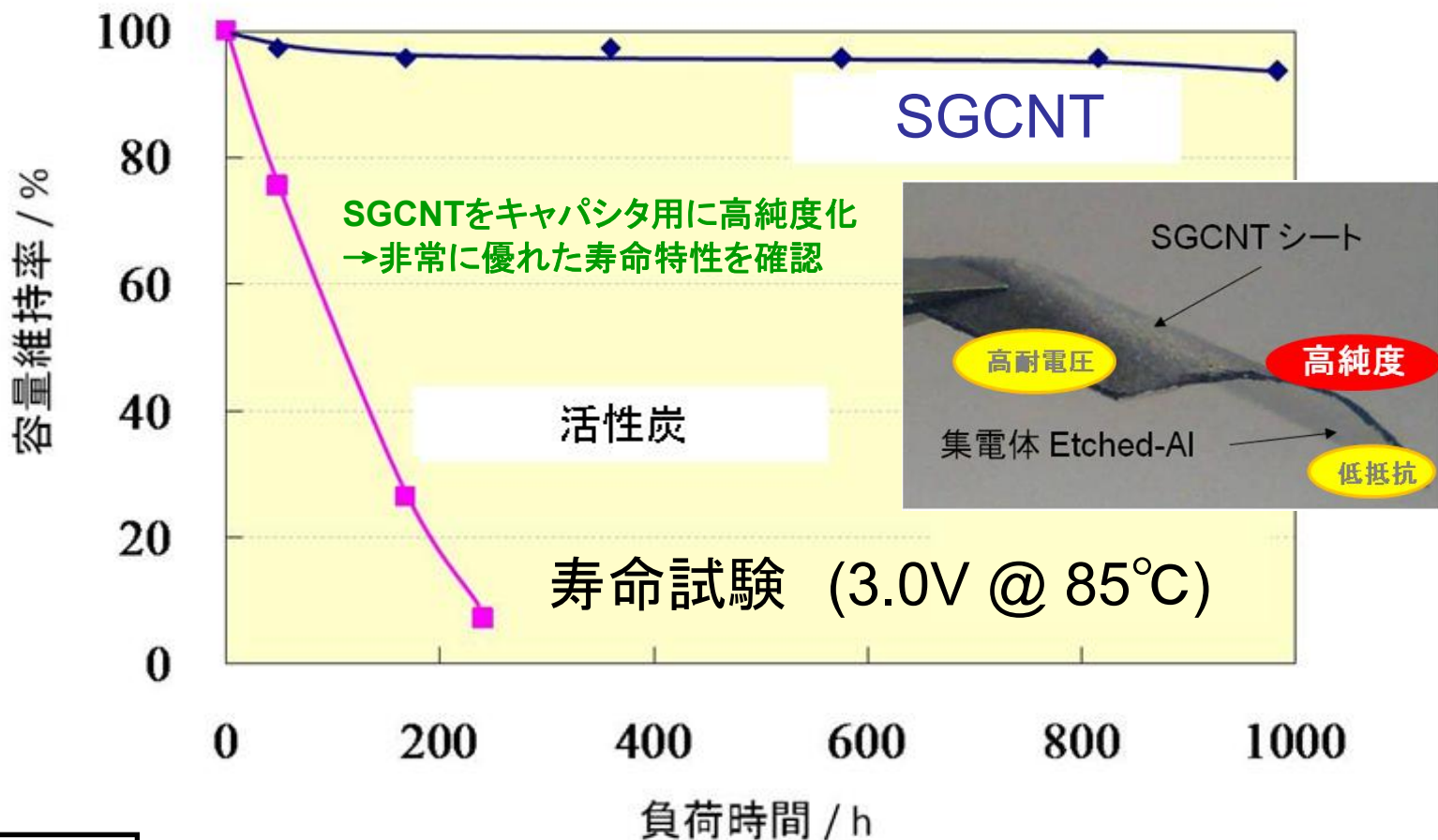
大型SGCNT  
シート作技術により  
大容量化



平成21～22度の成果

イ.高性能化技術開発

代表的成果 (4) 高電圧下(3.0V以上)における信頼性評価  
 →約16年の寿命を推定





平成21～22度の成果

ウ.コンポジット電極の研究開発

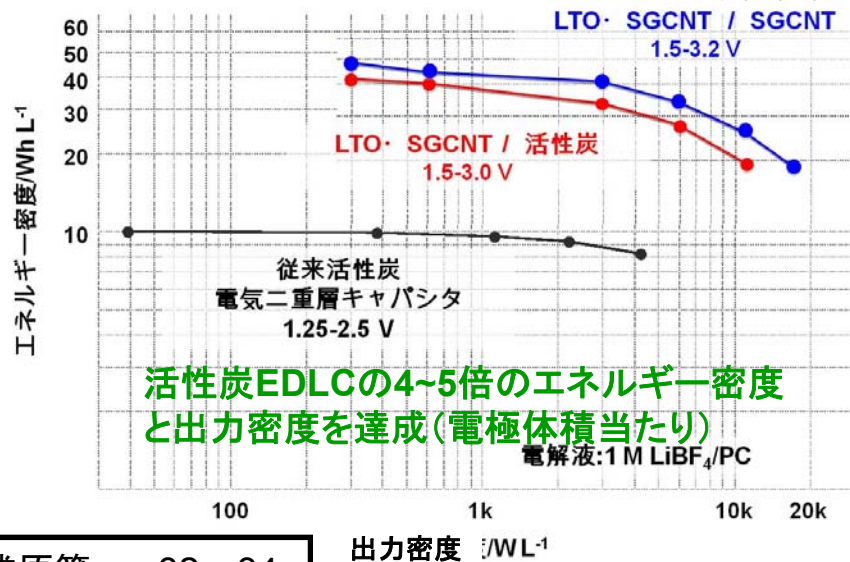
代表的成果 (5)大容量コンポジット電極  
 (6)革新的なコンポジット電極材料の開発及びそれを用いた高性能キャパシタ開発  
 →高エネルギー密度・高電力密度を有する高性能キャパシタ作製に成功

革新的コンポジット  
 電極材料開発技術  
 (ナノハイブリッド技術)

革新的SGCNT  
 電極作製技術

世界最高レベルの  
 コンポジット電極作製に成功

ナノ結晶チタン酸リチウム(nc-LTO)/SGCNTを用いた  
 キャパシタ(SGCNTナノハイブリッドキャパシタ)の基礎評価結果



活性炭EDLCの4~5倍のエネルギー密度  
 と出力密度を達成(電極体積当たり)

電解液:1 M LiBF<sub>4</sub>/PC

多積層SGCNT  
 ナノハイブリッドキャパシタ



高性能キャパシタ作製に成功

- ・エネルギー密度: 21Wh/kg (キャパシタ重量当たり)
- ・出力密度: 11kW/kg (キャパシタ重量当たり)

②カーボンナノチューブキャパシタ開発

(1)成果の達成度

項目	最終目標で 定めたパラメーター	最終目標で 定めた 設定値	今回の 結果	キャパシタ種類	達成度
①	エネルギー密度	20Wh/kg以上	21Wh/kg	コンポジット 電極を用いた キャパシタ	○
①	出力密度	10kW/kg以上	11kW/kg	コンポジット 電極を用いた キャパシタ	○
①	寿命	15年以上	16年	CNTキャパシタ	○
②	電極体積占有率	90%以上	90%	CNTキャパシタ	○
③	時定数	2ΩF以下	1.96ΩF	CNTキャパシタ	○
④	コンポジット電極内 電極活物質充填率	80%	80%	コンポジット 電極を用いた キャパシタ	○

すべての最終目標の数値を達成

## ②カーボンナノチューブキャパシタ開発

### (2)成果の意義

#### ア.デバイス製造技術の開発

- ・接着剤・バインダーレスで電極作製に成功し、それを用いたキャパシタで従来活性炭EDLCの2-3倍の出力密度を達成。
- ・大型SGCNTシート化及び1000F級キャパシタ作製にも成功。

#### イ.高性能化技術開発

- ・SGCNTの高純度化技術を開発し、高電圧化(3.0V以上)における優れた寿命特性を確認。

#### ウ.コンポジット電極の研究開発

- ・世界最高レベルのコンポジット電極材料の開発に成功。
- ・高エネルギー密度・高出力密度を有する高性能キャパシタ作製に成功。

以上、要素技術の課題を解決をした。

## ②カーボンナノチューブキャパシタ開発

### (3)知的財産権等の取得

出願特許:5件、内外国特許:1件

### (4)成果の普及

誌上発表:11件(内:査読審査有 6件)

学会発表:27件

プレス発表:1件

#### 【プレス発表】

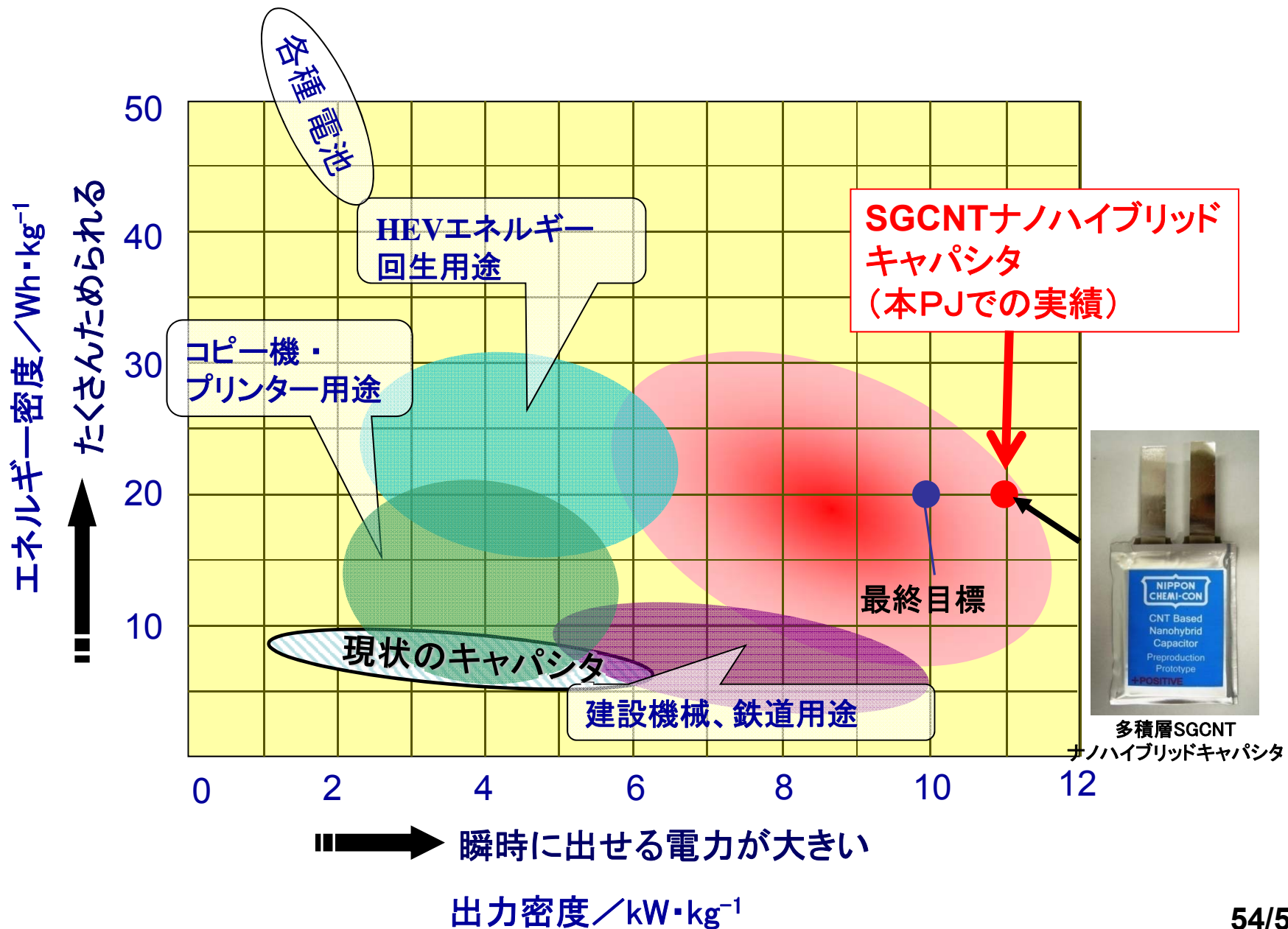
平成22年4月12日 東京農工大プレスリリース

「2010年世界最高のキャパシタ特性を達成

『ナノハイブリットキャパシタ』」

他、1件

## Ⅳ.実用化、事業化 の見通しについて



継続研究

CNT量産化技術

- 連続合成炉高速成長  
連続合成炉超高速成長実装
- 製造コスト低減技術  
プロセスガス量低減技術  
高安定塗工液開発
- 大量生産技術の開発  
工程安定化技術

## SGCNT用途拡大

SGCNT配布による新規用途創出  
安全性の確保

## 事業探索

事業、競争環境分析  
顧客、市場開拓

出口製品の競合優位性、特許水路確保、コスト目標明確化  
⇒ 2015年頃上市を目指す

性能要求 ↑ 試料改善 ↓

CNTキャパシタ開発

- コンポジット電極を用いた  
大容量キャパシタ  
製造の基盤技術開発
- CNTコンポジット  
材料を用いた高性能  
電極材料・電極開発

キャパシタ材料に見合う  
低コストSGCNTの販売

SGCNT  
ナノハイブリッド  
キャパシタ  
事業化へ

SGCNT  
電気二重層  
キャパシタ  
事業化へ

SGCNT導入