

「先端機能発現型新構造繊維部材基盤技術の開発」
事後評価報告書

平成24年3月

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

平成24年3月

独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構
理事長 古川 一夫 殿

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 委員長 西村 吉雄

NEDO技術委員・技術委員会等規程第33条の規定に基づき、別添のとおり
評価結果について報告します。

目 次

はじめに	1
分科会委員名簿	2
審議経過	3
評価概要	4
研究評価委員会におけるコメント	7
研究評価委員会委員名簿	8
第1章 評価	
1. プロジェクト全体に関する評価結果	1-1
1. 1 総論	
1. 2 各論	
2. 個別テーマに関する評価結果	1-18
2. 1 電界紡糸法における繊維高機能化、大型装置 化技術の開発	
2. 2 ナノ熔融分散紡糸法による炭素超極細繊維 製造技術の開発	
2. 3 高性能、高機能電池用部材の開発	
2. 4 高性能、高機能フィルター用部材の開発	
2. 5 高性能、高機能医療衛生・産業用部材の開発	
3. 評点結果	1-32
第2章 評価対象プロジェクト	
1. 事業原簿	2-1
2. 分科会における説明資料	2-2
参考資料1 評価の実施方法	参考資料 1-1
参考資料2 評価に係る被評価者意見	参考資料 2-1

はじめに

独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構においては、被評価プロジェクトごとに当該技術の外部専門家、有識者等によって構成される研究評価分科会を研究評価委員会によって設置し、同分科会にて被評価対象プロジェクトの研究評価を行い、評価報告書案を策定の上、研究評価委員会において確定している。

本書は、「先端機能発現型新構造繊維部材基盤技術の開発」の事後評価報告書であり、第28回研究評価委員会において設置された「先端機能発現型新構造繊維部材基盤技術の開発」（事後評価）研究評価分科会において評価報告書案を策定し、第31回研究評価委員会（平成24年3月28日）に諮り、確定されたものである。

平成24年3月
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

「先端機能発現型新構造繊維部材基盤技術の開発」

事後評価分科会委員名簿

(平成23年9月現在)

	氏名	所属、役職
分科会長	きむら よしはる 木村 良晴	京都工芸繊維大学 大学院工芸科学研究科 バイオベースマテリアル学専攻 教授 兼 繊維科学センター長
分科会長 代理	こにし しゅんいち 小西 俊一	株式会社日立プラントテクノロジー 空調システム事業本部 テクニカルエンジニアリング部 部長
委員	いそがい あきら 磯貝 明	東京大学 大学院農学生命科学研究科 生物材料科学専攻 教授
	たかだ かずのり 高田 和典	独立行政法人物質・材料研究機構 環境・エネルギー材料部門 電池材料ユニット ユニット長
	でがわ とおる 出川 通	株式会社テクノ・インテグレーション 代表取締役社長
	なかの しげゆき 中野 恵之	兵庫県立工業技術センター 繊維工業技術支援センター 主任研究員
	ならはら すみと 檜原 澄人	株式会社メック ナノファイバー事業部 兼 生産部 取締役 部長

敬称略、五十音順

審議経過

● 第1回 分科会（平成23年9月16日）

公開セッション

1. 開会、分科会の設置、資料の確認
2. 分科会の公開について
3. 評価の実施方法について
4. 評価報告書の構成について
5. プロジェクトの概要説明

非公開セッション

6. プロジェクトの詳細説明
7. 全体を通しての質疑

公開セッション

8. まとめ・講評
9. 今後の予定、その他、閉会

● 第31回研究評価委員会（平成24年3月28日）

評価概要

1. 総論

1) 総合評価

エレクトロスピンニングによる高分子ナノファイバーの製造技術に加えて、ナノ溶融分散紡糸法というわが国の独自技術についても改善を加えてナノカーボンファイバーの製造技術を確立した。両者の技術により製造されるナノファイバーをわが国の優位技術分野である電池の製造に活かすとともに、無機や高性能有機素材のナノファイバーを用いたエンジニアリング部材の開発、さらには新しい応用技術分野の開拓に成功した。当初提案された各技術目標をほとんどすべて達成しており、研究開発としての実績は極めて高いと評価される。また、基礎技術の実用化に向けた課題克服と産業化を水平～垂直連携と言う新手法を採用し、同時並行にて一定の成果を得られた事は、わが国における研究・開発のスピードアップへの事例を示したもので評価は高い。

しかしながら、生成したナノファイバーの構造解析など、基礎的なサイエンスの確立に十分でない面が見受けられた。これについては、現在も研究が行われているようであり、早期に新しいナノマテリアル科学の出現が望まれる。また、製品化プロセスは明らかにされているものが多かったが、商品化プロセスはほとんどの物について不透明である。より詳細なコスト計算と商品化を考える段階に来ている。本ナノファイバーに関する基礎および応用技術が、日本の先端産業の更なるブレークスルー的技術として進展し、世界をリードする産業に発展することを期待したい。

2) 今後に対する提言

大学の役割を再検討し、基礎研究開発に集中できる体制を再整備するべきである。企業の取組みについても、サンプルを作るだけでなく、産学官の研究開発体制をどのように維持発展させるかに留意すべきである。また、ナノマテリアルについて研究・製造過程でのリスクを議論されている事は周知であるが、本事業にて扱ったナノファイバーについても同様な事は予見されると思うので、リスク分析・評価の方向性についての検討が今後さらになされるべきである。

2. 各論

1) 事業の位置付け・必要性について

ナノファイバーに関する基盤および応用展開技術は、広く産業に展開可能な技術であり、経済産業省の技術戦略マップともよく対応している。汎用化学繊維

維の生産が国外にシフトするなかで、高付加価値を持つ繊維部材の開発は、わが国の繊維産業の技術を保つためにも必要であり、日本の先端産業に対する将来への研究開発投資として極めて妥当である。ナノファイバーの応用分野として日本の最も強い技術分野との組み合わせを図ったのも NEDO ならではのフォーメーションといえる。

また、NEDO 講座は基礎研究を推し進めるのに貢献した。今後ともいくつかの大学に開設しながら同様の活動を積極的に続けてほしい。

2) 研究開発マネジメントについて

ナノファイバーと言う先端機能材料の研究・開発と実用化を同時並行的に進める手法である水平～垂直連携による開発に着目した事は大いに評価出来る。ナショプロとして、垂直水平連携のモデルケースになり得ると考える。また、ナショプロ実施の前に調査研究を行っており、その結果に基づいて技術動向、市場動向、開発目標、要素技術が設定されており、当然ではあるが妥当な研究計画を立てることができたプロジェクトリーダーの指揮がよく行き届いており、多くの優れた成果が産み出されたことも称賛に値する。知財化も十分に行われており、今後その活用が望まれる。

なお、研究開発は“生き物”であり、技術開発の進展度に合わせてその都度目標の変更が必要となる。基礎研究から産まれてくる新しい事象をシーズ技術に高める努力が必要であり、新しいシーズとなる技術を提案できるような余裕のあるマネジメントが求められる。

3) 研究開発成果について

ほとんどのテーマで目標値を達成しており、わが国の最も強い分野の独自技術となるものを多く開発でき、多くの数値目標で世界最高水準を達成できたことなど、その成果は高く評価される。NEDO 特別講座やナノファイバー学会の創設など、成果の普及・発展が期待できる方策を打ち出しており、特許も多数出願されている。

しかしながら、他の競合技術との比較があまり報告されておらず、世界最高水準との判断が、何を根拠にしているのかが明確でない。また、特許出願件数に対して、PCT 出願件数がその 1/10 程度というのは、「世界最高水準達成技術」として妥当なのかどうか不明である。さらに、多くの特許が申請されているが、これら知財の体系化・体系的管理が行われたようには見えないので、それができる体制づくりが求められる。

4) 実用化、事業化の見通しについて

ナノファイバーをパイロットスケールで生産できる見通しが示され、これをベースに電池や耐熱フィルターなど有望な部材への適用性が確認された。事業化について目標やタイムスケジュールが明確になっており、技術や製品開発の道筋ができています。各種基盤技術についてはある程度構築することができたので、今後は各企業において商品化に向けたコストダウン、技術の絞り込み等の研究開発努力に期待したい。

一方、新たに設計・製造された電界紡糸装置は、試験的生産用であり大規模生産に利用するときは溶媒の回収を含めてさらなる改良が必要となる。ピッチのナノ溶融分散紡糸については、技術が完成するまでには至っていないので、さらなる検討が必要である。本事業にて開発した技術を、今回の研究開発グループにおける事業目的に限定せず広く多分野に応用できないか、全体を総括して検討してほしい。

研究評価委員会におけるコメント

第31回研究評価委員会（平成24年3月28日開催）に諮り、本評価報告書は確定された。研究評価委員会からのコメントは特になし。

研究評価委員会

委員名簿（敬称略、五十音順）

職 位	氏 名	所属、役職
委員長	西村 吉雄	学校法人早稲田大学大学院 政治学研究科 (科学技術ジャーナリスト養成プログラム) 客員教授
委員長 代理	吉原 一紘	オミクロンナノテクノロジージャパン株式会社 最高顧問
委員	安宅 龍明	一般社団法人ナノテクノロジービジネス推進協議会 企画運営推進会議 副議長
	五十嵐 哲	学校法人工学院大学 工学部 応用化学科 教授
	伊東 弘一	学校法人早稲田大学 理工学術院 総合研究所 客員教授（専任）
	稲葉 陽二	学校法人日本大学 法学部 教授
	尾形 仁士	三菱電機エンジニアリング株式会社 相談役
	小林 直人	学校法人早稲田大学 研究戦略センター 教授
	佐久間一郎	国立大学法人東京大学 大学院工学系研究科 精密機械工学専攻 教授
	佐藤 了平	国立大学法人大阪大学 大学院工学研究科 マテリアル 生産科学専攻（システムデザイン領域担当） 教授
	菅野 純夫	国立大学法人東京大学 大学院新領域創成科学研究科 メディカルゲノム専攻 教授
	架谷 昌信	学校法人愛知工業大学 特任教授
	宮島 篤	国立大学法人東京大学 分子細胞生物学研究所 教授

第 1 章 評価

この章では、分科会の総意である評価結果を枠内に掲載している。なお、枠の下の「○」「●」「・」が付された箇条書きは、評価委員のコメントを原文のまま、参考として掲載したものである。

1. プロジェクト全体に関する評価結果

1. 1 総論

1) 総合評価

エレクトロスピニングによる高分子ナノファイバーの製造技術に加えて、ナノ溶融分散紡糸法というわが国の独自技術についても改善を加えてナノカーボンファイバーの製造技術を確立した。両者の技術により製造されるナノファイバーをわが国の優位技術分野である電池の製造に活かすとともに、無機や高性能有機素材のナノファイバーを用いたエンジニアリング部材の開発、さらには新しい応用技術分野の開拓に成功した。当初提案された各技術目標をほとんどすべて達成しており、研究開発としての実績は極めて高いと評価される。また、基礎技術の実用化に向けた課題克服と産業化を水平～垂直連携と言う新手法を採用し、同時並行にて一定の成果を得られた事は、わが国における研究・開発のスピードアップへの事例を示したもので評価は高い。

しかしながら、生成したナノファイバーの構造解析など、基礎的なサイエンスの確立に十分でない面が見受けられた。これについては、現在も研究が行われているようであり、早期に新しいナノマテリアル科学の出現が望まれる。また、製品化プロセスは明らかにされているものが多かったが、商品化プロセスはほとんどの物について不透明である。より詳細なコスト計算と商品化を考える段階に来ている。本ナノファイバーに関する基礎および応用技術が、日本の先端産業の更なるブレークスルー的技術として進展し、世界をリードする産業に発展することを期待したい。

〈肯定的意見〉

- 新規産業の創出を目指してナノファイバー製造および実用化研究に取り組んだことは評価できる。また、成果においても新技術により量産化装置を開発したことは、今後の実用化研究を進展させる牽引力になると考える。
- 本事業は、基盤技術である電界紡糸法とナノ溶融分散紡糸法の基礎技術の実用化に向けた課題克服と産業化の実績作りを水平～垂直連携と言う新手法を採用し、同時並行にて一定の成果を得られた事は、わが国における研究・開発のスピードUP化への事例を示したもので評価は大きく、今後の技術開発案件に積極的に採用されるべき取組み姿勢と考える。
- 異なるテーマであり、企業間の守秘の問題もあり、いろいろと難しい課題がある中、どのテーマも確実にアウトプットが生まれており、賞賛に値する。プロジェクトリーダーをはじめとする推進者の方々のご努力と思う。
- 海外で先立って行われてきたエレクトロスピニング法に関する研究開発を精査し、問題点とともにカバーされてこなかった技術分野を明らかにし

て、わが国が取り組むべき課題を抽出して効率的に研究に取り組めるフォーメーションを組むことに成功した。エレクトロスピニングに加えてナノ溶融分散紡糸法というわが国の独自技術についても改善を加えてピッチ分散法によるナノカーボンファイバーの製造技術を確立した。両者の技術により製造されるナノファイバーをわが国の優位技術分野である電池の製造に活かすとともに、無機や高性能有機素材のナノファイバーを用いたエンジニアリング部材の開発、さらには新しい応用技術分野の開拓に成功した。当初、提案された各技術目標をほとんどすべて達成しており、研究開発としての実績は極めて高いと評価される。

- 共通基盤技術の開発では、世界最高水準の紡糸技術やナノファイバーの創出に成功し、また実用化技術でも多くのテーマが事業化間近か、事業化を見通せるまでになっており、申し分なく成功したプロジェクトである
- 基盤的技術開発と応用的開発の分担とシステムがうまく機能して全体の開発、実用化に向けて成果を出している。
プロジェクトリーダーが大学にいるにも関わらず、実用化に理解と執念を持って献身的な努力を払っているモデル的な開発プロジェクトマネジメントが行われている。
- 素材の新しい繊維化技術および得られる新繊維から次元制御によって材料化する基本技術は、今後の日本の物づくり産業の基盤となり得る重要な分野であり、ナノファイバーという切り口に関連する基礎および応用展開分野に、この時期に集中的に国の研究開発予算を配分した点は高く評価できる。戦後繊維産業が素材の繊維化技術を基盤として、現在の広範囲の先端分野を担う総合化学産業に進化できたように、本ナノファイバーに関する基礎および応用技術が、日本の先端産業の更なるブレークスルー的技術として進展し、世界をリードする産業に発展することを期待したい。

〈問題点・改善すべき点〉

- 各テーマにおいて中間および最終数値目標を設定すること自体は必要であるが、それをクリアすることのみがプロジェクトの目的となってしまうと、長期的な技術基盤の構築、深堀と共に広い領域への展開のという国の本来の研究開発目標からずれてしまう可能性がある。数値目標の達成のみを目標とするのではなく、それに至るブレークスルー技術の発見、メカニズム解析等の重要性も強調すべきだと思われる（何点かはそのように進められたようであるが）。「世界最高レベルの成果」がいくつか強調されていたが、本国プロの成果もそうであるように、各国とも表に出さないだけで世界も相当なレベルに達しているのではないか。「世界最高レベルの成果」

の妥当性の根拠と課題を示すべき。

- 同じプロジェクトであるにもかかわらず、情報の共有化がされていない部分が見られた。
- 研究・開発の中で「開発目標と達成状況」については達成状況がほぼ全て◎を達成しているが、最終目標の設定に若干低い設定がなかったか自己査定を行う項目を設ける必要を感じる。
- 大学が大型装置作りを担って企業のサンプル作りを支援したこともあり、ファイバー形成のシミュレーションや生成したナノファイバーの構造解析など、基礎的なサイエンスの確立に十分でない面が見受けられた。これについては、現在も研究が行われているようであり、早期に新しいナノマテリアル科学の出現が望まれる。
- 事業は終了するが、事業化計画において実用化は数年先に予定されているテーマが多く、成果の具体化や普及を加速的に推進する必要がある。
- エレクトロスピニング方式のナノファイバーは、いろいろな市場の可能性があり、分野を問わず、異なる分野の可能性を探るべきではなかったか。

〈その他の意見〉

- ・ 企業側の実用化、事業化への姿勢に対する閉鎖的な姿勢が気になった。
- ・ グループ単位で研究開発が進められた事により、テーマによっては技術出口が重複しても情報交換が出来ていないように思われた。知財等の問題を解決した上で、技術情報は共有化するほうが効率的に思う。
- ・ エレクトロスピニング法に加えて熔融エレクトロスピニング法の開発が求められていたが、本プロジェクトでは検討が始められたばかりである。ナノ熔融分散法とともに早期に取り組んでほしかった。エレクトロスピニングの対象となったポリマー類、プレカーサー類は極性の高い溶媒にしか溶解しないものが多く、その回収は容易ではない。工業化においてこの問題解決を急ぐ必要がある。製品化プロセスは明らかにされているものが多かったが、商品化プロセスはほとんどの物について不透明である。より詳細なコスト計算と商品化を考える段階に来ているのではなかろうか。
- ・ 水平～垂直連携の手法の体制から実用化チーム側から基盤技術への更なる進展を願う提言を引き出す意見が発せられても良いのではと感じる。
- ・ 今回の水平垂直連携は国家プロジェクトの一つのモデルと成り得るケースであり、参画する大学・企業の選定、責任感の共有など、NEDOプロジェクトとして大変参考になる。それぞれの研究開発テーマや細かい数値目標も当然重要ではあるが、どのようなプロジェクトでも、そのメンバー構成やそれぞれの役割分担と責任の明確化が短長期的な結果に大きく影響することを改めて実感させられた。

2) 今後に対する提言

大学の役割を再検討し、基礎研究開発に集中できる体制を再整備するべきである。企業の取組みについても、サンプルを作るだけでなく、産学官の研究開発体制をどのように維持発展させるかに留意すべきである。また、ナノマテリアルについて研究・製造過程でのリスクを議論されている事は周知であるが、本事業にて扱ったナノファイバーについても同様な事は予見されると思うので、リスク分析・評価の方向性についての検討が今後さらになされるべきである。

〈今後に対する提言〉

- ・ 大学の役割を再検討し、基礎研究開発に集中できる体制を再整備するべきである。企業の取組みについても、サンプルを作るだけでなく、産学官の研究開発体制をどのように維持発展させるかに留意すべきである。さもないと国費によるサポートがなくなれば関係が解消され技術の維持ができなくなる。NEDO 等においても開発技術の継承を図って、いかに完成技術に到達させるかを考慮してほしい。成果のあがっている研究開発については研究体制の維持のためのファンドも必要となろう。
- ・ 企業側の開発姿勢にバラつきが見られ、成果を活用しない（出来ない）企業については、NEDO の費用に係わる成果については実施したい企業への譲渡、公開などを進めるべきであるし、そのような契約を盛り込むべき。
- ・ 国プロとして、将来的に魅力ある、このナノファイバー業界を、日本の事業として、盛り上げるために、この結果を役立てていただきたい。
- ・ 基盤技術及び実用化技術共に知的財産の観点から多数の特許提案がなされているとは思いますが、国際的な知的財産確保に向けた取組みに対して報告が少ない様な印象がある。5カ年の長き期間を要した開発である事を踏まえると、基礎技術時点と実用化時点に於ける知的財産獲得の戦略を研究・開発着手時点で立案し、その成果を検証する必要がある様に思える。
- ・ 5年間の研究開発のみで商品化まで至ることは困難であるので、今回のテーマの中から選択したテーマに関しては引き続き支援することが望ましい。その際には、企業の負担率を更に上げて（1/3補助等）よいかもしれない。今回の国プロとしての支援の費用対効果や成果に関して長期的に精査すべきである（が、そのプロセス、方法論や責任の所在等は明確化されているのでしょうか）。
- ・ このプロジェクトは実用化を重視してすすめられ、分科会における発表もそれを意識したものであった。素晴らしい成果とともに、実用化・事業化についての明るい見通しを語っていただけたが、基礎・基盤研究の分野に

おける将来をうかがう機会を失したようも感じた。私が申し上げるまでもないことではあるが、この事業で芽生えた新たな研究の芽を改めて育てていただきたい。

- 今後の進展について、NEDOは追跡調査にて、実施者は共同研究にて継続させる計画のようだが、もっと積極的に事業計画を推進させるための新規計画を検討してほしい。たとえば、東京工業大学で開発された量産装置を利用したナノファイバーの実用化研究を公募にて募集し、技術集積を促進するような手法でも良いと思う。

〈その他の意見〉

- 今回はプロジェクトリーダー、サブプロジェクトリーダーの強力な指導力により、公開・非公開データからはプロジェクトの運営が比較的円滑に進んだようである。しかし、(委員である)大学教員としては、プロジェクトが円滑に進んだ分、スーパーマンでない限り本務である教育や他テーマの研究が軽視されていないか心配になる。プロジェクトリーダーとなる教員の能力や技量にも依存するが、そのような教員しかプロジェクトリーダーとして国プロを進めることができないとすれば、問題であると思われる。ただでさえ、大学法人化により各教員の負担は相当増加しているので、NEDOとしても多面的な支援をお願いしたい。
- 今回の開発プロジェクト(のマネジメント)は成功した部類だと思うので、その成功要因と課題の解決策について、きちんと分析して共有化を図ることをお願いしたい。
- 世界最高レベルの性能を有する成果が得られているが、ナノファイバー技術の効果か、その他の要素(電池構造とかの装置設計など)の技術開発による効果か整理する必要がある。
- ナノマテリアルについて研究・製造過程でのリスクを議論されている事は周知であるが、本事業にて扱うナノファイバーについても同様な事は予見されると思うので、リスク分析・評価の方向性について提言を行う必要を感じる。
- 大規模生産には向かない技術が多いので、小規模で生産するベンチャー企業などを早期に設立するのが望ましい。
- 海外の技術に追いつき、追い越されないように、国として監視し、国内技術との比較を同じ仕様で数値化し、優劣を把握していく必要がある。

1. 2 各論

1) 事業の位置付け・必要性について

ナノファイバーに関する基盤および応用展開技術は、広く産業に展開可能な技術であり、経済産業省の技術戦略マップともよく対応している。汎用化学繊維の生産が国外にシフトするなかで、高付加価値を持つ繊維部材の開発は、わが国の繊維産業の技術を保つためにも必要であり、日本の先端産業に対する将来への研究開発投資として極めて妥当である。ナノファイバーの応用分野として日本の最も強い技術分野との組み合わせを図ったのも NEDO ならではのフォーメーションといえる。

また、NEDO 講座は基礎研究を推し進めるのに貢献した。今後ともいくつかの大学に開設しながら同様の活動を積極的に続けてほしい。

〈肯定的意見〉

- 各テーマがこれだけの結果を出せたのは、NEDO のプロジェクトとして進められ、推進、運用された事による力は大きいと考える。
- ナノファイバーは広範な産業分野に貢献できる材料であり、特に無機材料までをカバーする電界紡糸法は大きな波及効果が期待できる公共性の高い技術であり、NEDO 事業として推進することは極めて妥当である。
汎用化学繊維の生産が国外にシフトするなかで、高付加価値を持つ繊維部材の開発は、わが国の繊維産業の技術を保つためにも必要である。
- 本プロジェクトは、海外の技術開発で確立できなかった技術を再検討し、わが国が改良を加えながら独自技術を作りだし、世界をリードしようとするものであった。これに、技術的には見通しの立っていたナノ溶融分散紡糸法を抱きあわせて一定の研究成果があがるように工夫されていた。ナノファイバーを作製して、さらに熱処理、化学改変を加えて最終のカーボンナノファイバー製品を作り出すというアイデアが優れており、部材イノベーションへの道筋を切り開いた。電池等、日本の最も強い技術分野との組み合わせを図ったのも NEDO ならではのフォーメーションといえる。
- ナノファイバー製造技術は素材が限定されず、形においてナノファイバーを製造する技術開発のため、広く産業に展開可能な基礎技術である。また、大型の装置開発においても開発費が大きいため企業単独では困難である。さらにフィルターの活用方法によっては、省エネ技術にも関与する可能性があると思われる。よって、NEDO 事業として妥当と考える。
- ナノファイバーと言う先端機能材料の研究・開発と実用化を同時並行的に進める手法である水平～垂直開発に着目した事は大いに評価出来る事である。

- ナノファイバーに関する基盤および応用展開技術は、先端材料開発に極めて密接にリンクしており、経産省の技術戦略マップともよく対応している。繊維関連産業をナノファイバー化およびナノファイバー応用技術として国が支援することは、広く日本の先端産業に対する将来への研究開発投資として極めて妥当だと考える。本技術開発をこの時期に進めることで、日本の関連先端技術が数年～十数年後には世界をリードすることになると期待したい。
- 日本の伝統的に強い繊維、ナノテク分野でのリーディング的な開発プロジェクトになっている点、評価できる。

〈問題点・改善すべき点〉

- 5年間で38億円という研究開発経費が妥当なテーマだったかどうかの判断は現時点では難しい。判断基準がない。
- 電界紡糸によるナノファイバーの研究は、全世界的に見てもほとんどの国で新しい試みが進められている実情を再認識し、グローバルな観点で比較し、差別化できる技術の確立、事業化を推進し、世界シェアの多くを獲得すべきと思うが、その方針と方法が具体的に示されていないように思う。
- 事業化へのシナリオの不明（意欲の見られない）な企業もあり、そのような企業に対する適切な（フレキシブルな）運営が望まれる。
- 大学と企業の役割分担において、大学側に装置開発を担当させるのが妥当であったか、今は議論の余地がある。日本の大学では装置の維持等ができないので、国研等に補助もしくは中心的役割を担わせる方が長続きするであろう。
- ナノファイバー技術は、米国や韓国等の諸外国に比べてやや遅れていると思われる。早急に実用化を進めて、この事業における成果を用いてわが国の優位性を確保してほしい。
- H18年度に掲げた実用化へのロードマップの開発途中段階での見直し・修正に関して、シナリオの改定を試みる必要がなかったか検証が必要と思われる。

〈その他の意見〉

- ・ 費用対効果については、一委員としては判断できない。提案されている実用化の見通し、実用化までのシナリオに依れば、十分な費用対効果が2020年には達成できることにはなっている。しかし、現状で判断することは困難である。ちなみに、経産省では過去の国プロについて、10年、20年、30年単位の追跡調査を行っているのではあるだろうか。たとえば、「このプロジェ

クトは費用対効果の点で問題であった」との結論が 20 年後に出たとしても、誰も責任は取れず、今後の国プロ選定等に生かせるスキームがあるとは思えない。そもそも、プロジェクト提案の段階では、費用対効果は当然考慮すべきであるが、プロジェクト直後の事後評価の段階での費用対効果の質問は意味がないように思われる。多くの出口分野担当企業が、本年度中に実用化を検討し、平成 24 年度からの事業化スタートと記載しているが、無理な設定する必要はないと思われる。

- 今後、同様な水平～垂直手法を適用する研究・開発案件に対して、多岐に亘る実用化・応用チームに対しての相互連携をどの様にマネジメントするか、今回の案件を通して確立して欲しい。
- ほかのナノテク関係の成果（プロジェクトマネジメントを含む）との共有化が、もっとあるとよりよくなったのではないか。
- NEDO 講座は基礎研究を推し進めるのに貢献した。今後ともいくつかの大学に開設しながら同様の活動を積極的に続けてほしい。
- 電池開発は他にも多く研究開発が進められていると思われる。成果については目的の達成のみでなく現在の状況を鑑みて事業化を進める必要がある。

2) 研究開発マネジメントについて

ナノファイバーと言う先端機能材料の研究・開発と実用化を同時並行的に進める手法である水平～垂直連携による開発に着目した事は大いに評価出来る。ナショプロとして、垂直水平連携のモデルケースになり得ると考える。また、ナショプロ実施の前に調査研究を行っており、その結果に基づいて技術動向、市場動向、開発目標、要素技術が設定されており、当然ではあるが妥当な研究計画を立てることができたプロジェクトリーダーの指揮がよく行き届いており、多くの優れた成果が産み出されたことも称賛に値する。知財化も十分に行われており、今後その活用が望まれる。

なお、研究開発は“生き物”であり、技術開発の進展度に合わせてその都度目標の変更が必要となる。基礎研究から産まれてくる新しい事象をシーズ技術に高める努力が必要であり、新しいシーズとなる技術を提案できるような余裕のあるマネジメントが求められる。

〈肯定的意見〉

- 各研究開発チームにおいて、着実に成果を上げて事業化を進めているように思う。また、研究の進め方においても定期的に会議を開催して円滑に運営されたと考える。プロジェクトリーダーによる研究開発チームの分担が明確であったと思われる。
- 各テーマの成果はすばらしい。マネジメントの推進力による力と各研究者の努力によるものと考ええる。
- 本事業における水平～垂直連携体制は概ね良好な機能が発揮されていると評価出来る。
- 成果の実用化、事業化に向けた意識として、プロジェクトリーダー、サブプロジェクトリーダーともしっかりとした方針でのマネジメントが行われてきたと評価できる。
- 垂直連携と水平連携が効率よく組み合わせられており、研究開発実施体制と成果の実用化、事業化のための応用技術開発が平行して進んでいったことは高く評価できる。プロジェクトリーダーの指揮がよく行き届いており、多くの優れた成果が産み出されたことも称賛に値する。知財化も十分に行われており、今後その活用が望まれる。
- プロジェクトリーダー、サブプロジェクトリーダーの強力な指導力と、参画大学・企業の役割と責任の明確化により、(数々の困難はあったとは思われるが)結果的に研究開発マネジメントは比較的円滑に進められたと判断できる。国プロ実施の前に調査研究を行っており、その結果に基づいて技術動向、市場動向、開発目標、要素技術が設定されており、当然ではあ

るが妥当な研究計画を立てることができたと思われる。国プロとして、垂直水平連携のモデルケースになり得ると考える。進捗状況による予算、研究内容の対応も妥当と思われる。

- 100 ナノメートルはサブミクロンではないかというとらえ方もあるかもしれないが、機能が発現する限りにおいては作りやすく、安定なサイズを選択すべきであり、その点开発目標は適切なものに設定されており、また費用対効果の高い方向へ適時修正も行われている。
多様な材料をナノファイバー化できる技術ではあるが、比較的ファイバーの開発がプロダクトに直結しやすい実用化技術を助成事業として選択することで、共通基盤技術開発との同時進行が可能となり、垂直連携が円滑に行われた。

〈問題点・改善すべき点〉

- 本事業のテーマであるナノファイバーの市場性を、実用化開発段階にて再評価し、修正を大胆に加える必要もある様に思える。
- 熔融エレクトロスピニング技術への展開にやや躊躇した感があるのは仕方ないが、特にピッチ等のナノファイバー化に有効と考えられるので検討していく体制を作ってほしい。
- 目標達成への当初の目標数値達成スケジュール確保的な傾向が高いプロジェクトの印象があり、それはそれで評価できるが、顧客ニーズ変化や研究開発進捗の変化の達成度を主体に（当初計画にこだわらない）した、制度上プロジェクトリーダーに自由度を与えることも必要。
- 研究チーム単位での開発が主であったため、目的達成以外の効果が見られなかった。たとえば、ナノファイバーの特性から新規の製品化を考案したというような結果は報告されなかったのが残念である。
- テーマごとに、具体的な最終アプリケーションは異なるが、途中までに重複する開発課題はなかったのか。開発の効率性はどうだったのか。
- 実用化技術の中で電池用部材の開発では、導電性繊維の開発以外にも開発要素を残した系が選択されており、ナノファイバーを早期に事業化し、その優れた性能を世に問うという点からすると、事業化済みの電池系においてナノファイバーの有効性を実証するというスタンスがあってもよかった。
- 大学教員であるプロジェクトリーダーの精神的、肉体的負担が大きすぎるのではないかと危惧する。これだけ大きなプロジェクトの場合には、NEDO は人的な支援も検討していただければと思う。

〈その他の意見〉

- 5年で商品化、著しい研究開発成果に結びつけるのは困難な場合が多いので、5年後にステージゲート方式で、項目を絞って支援を更に延長するシステムがあってもいいのではないか。
- 中間評価などで革新的な成果が出たものは倍額の予算をつけ、成果が見えないものは中止するなどの展開が必要。
- 研究開発は“生き物”であり、技術開発の進展度に合わせてその都度目標の変更が必要となる。従って基礎研究から産まれてくる新しい事象をシーズ技術に高める努力が必要である。この面で、新しいシーズとなる技術を提案できるような余裕のあるマネジメントが求められる。
- 基礎研究と応用化研究のプロジェクトリーダーを1人で担当したことは負担が大きかったと思われる。
- 国際的な知的財産確保の取組みについて、事業実施の大学・企業とは別にNEDOとしての主体性を持ってどのレベルにあるか評価する必要があると感じる。事業途中段階であっても第三者機関への委託等の方法にて評価する方法も採用すべきと思われる。

3) 研究開発成果について

ほとんどのテーマで目標値を達成しており、わが国の最も強い分野の独自技術となるものを多く開発でき、多くの数値目標で世界最高水準を達成できたことなど、その成果は高く評価される。NEDO 特別講座やナノファイバー学会の創設など、成果の普及・発展が期待できる方策を打ち出しており、特許も多数出願されている。

しかしながら、他の競合技術との比較があまり報告されておらず、世界最高水準との判断が、何を根拠にしているのかが明確でない。また、特許出願件数に対して、PCT 出願件数がその 1/10 程度というのは、「世界最高水準達成技術」として妥当なのかどうか不明である。さらに、多くの特許が申請されているが、これら知財の体系化・体系的管理が行われたようには見えないので、それができる体制づくりが求められる。

〈肯定的意見〉

- 研究開発成果はほぼクリアしており、成果も一定水準のものが得られているとみとめられる。
- 設定した数値目標をほぼ全て達成しており、評価できる。また、数値目標達成のために当初の研究開発計画を再検討、再構築した点も妥当である。その結果、汎用性のある技術により、多くの数値目標で世界最高水準を達成できたと報告している。関連して、251 件もの特許出願に至っており、研究開発成果が十分評価できることを示している。研究開発成果の普及についても、新聞発表、雑誌発表、展示会、論文発表、学会発表を通じて行っている。
- ほとんどのテーマで目標値を達成しており、また目標値を達成しなかったものについても十分に訴求力のある成果が創出されている。
NEDO 特別講座やナノファイバー学会の創設など、成果の普及・発展が期待できる方策を打ち出している。
- 成果は、ほぼ目標値を達成しており十分な成果が得られている。今後の実用化への進展が進めば、技術の普及や情報発信は可能と思われる。また、特許も多数出願されていることから新規技術も多く開発されたものと思われる。
- ほとんど目標値を達成しており、優れた成果だと考える。
- 本事業の目指した研究・開発成果は概ね達成されていると思われる。早期の製品化を望む。
- 本研究開発は自らが新しく考案した技術に基づくものではなく、海外で流行した原理や方法論を応用して製品化を重点的に検討したものである。従

って、正確な目標値の設定がなされており、各項目のすべてで目標がほぼ100%達成された。とはいえ、新しい装置の開発など参画研究者の努力により達成されたことは明白である。また、わが国の最も強い分野の独自技術となるものを多く開発できたことなど、その成果は高く評価される。

〈問題点・改善すべき点〉

- 事前の目標設定で進めていくのは良いが、研究を進めていかないとわからないスペックが明確になった時点で、意味のある目標に変える必要はなかったのか。
- プロジェクトリーダーの方針もあり、論文発表が他のプロジェクトに比べて少ない。これも、大学が大型装置の開発を受け持ち、企業のサンプル作製に便を与える役割を果たしたためであろう。新しい原理、科学的事象の発見は基礎研究から産まれてくるので、NEDO 講座での集中的研究体制の構築が必要であったろうか。
- 本事業の目指した研究・開発成果は概ね達成されている様な報告であるが、最終製品として実用化開発担当企業から売り出されているとは思われない。今後の製品化に向けたロードマップも実用化チームから発せられても良かったのではないのでしょうか。
- プログラムの性格上(実用化、事業化目的)やむを得ないところもあるが、もう少し論文の提出を促進させる工夫・指導が必要。
- 他の競合技術においての比較はあまり報告されていない。たとえば、エルマルコ社のドラム式やワイヤー式装置と比較した場合等の優位性を明確にする必要がある。
- 世界最高水準との判断が、何を根拠にしているのかが明確でない。本研究成果の達成も世界各国は知らないのと同様、他国の最新の成果については知りえないのではないか。また、膨大な経費がかかるとはいえ、特許出願件数に対して、PCT 出願件数がその1/10程度というのは、「世界最高水準達成技術」として妥当なのかどうか不明である。

〈その他の意見〉

- ・ 多くの特許が申請されているが、これら知財の体系化・体系的管理が行われたようには見えないので、それができる体制づくりが求められる。
- ・ すでに電界紡糸量産装置として製品化されている装置も海外メーカーから販売されている。早急に技術の普及を推進する必要がある。
- ・ 製品化に向けては製造コストの面を各実用化チームが検討し、基盤技術への改良提案等があっても良いのでは。

- 論文がもう少し出ていてもよかったかもしれないが、これだけ新しい材料が出てくれば、今後に期待をかけることができる。
これまでの講演発表は、素材分野におけるものがほとんどであったが、今後は電池をはじめとする、ユーザーの拡大が期待できる場での発表を期待する。
- 研究開発目標の数値の設定に当たって、顧客価値（ニーズの時間的变化）が加味されていないのと、その設定の環境変化に対する対応があまり見られなかったのは残念である。
- 各検討項目において、数値目標達成を◎、○、△等で示しているが、例えばひとつの研究開発項目の中にある3検討項目において◎、◎、◎であった場合には、3検討項目が全て「かつ」の条件であることを示すべきである。例えば、プロジェクトリーダーが説明された公開スライド番号6のノズル性能、繊維直径、繊維径のばらつき、についてであれば、ノズル性能が 20μ /本の装置を使った場合に、その繊維直径は **50nm** を達成でき、しかもその **50nm** 径のナノファイバーの繊維径のばらつきを **20%**以下に抑えることができたのかどうか、という点が重要。この数値目標の達成の記述では、条件を変えて各検討項目の数値目標を達成しても同じ表記の仕方になってしまうので。

4) 実用化、事業化の見通しについて

ナノファイバーをパイロットスケールで生産できる見通しが示され、これをベースに電池や耐熱フィルターなど有望な部材への適用性が確認された。事業化について目標やタイムスケジュールが明確になっており、技術や製品開発の道筋ができています。各種基盤技術についてはある程度構築することができたので、今後は各企業において商品化に向けたコストダウン、技術の絞り込み等の研究開発努力に期待したい。

一方、新たに設計・製造された電界紡糸装置は、試験的生産用であり大規模生産に利用するときは溶媒の回収を含めてさらなる改良が必要となる。ピッチのナノ溶融分散紡糸については、技術が完成するまでには至っていないので、さらなる検討が必要である。本事業にて開発した技術を、今回の研究開発グループにおける事業目的に限定せず広く多分野に応用できないか、全体を総括して検討してほしい。

〈肯定的意見〉

- 事業化においては目標やタイムスケジュールが明確になっており、技術や製品開発について道筋ができています。計画通り進展することを期待する。
- 光触媒技術が30年経過した現在市場規模が合計数百億円、カーボンナノチューブは発見から10年経過してまだ商品化はされていないと聞くので、プロジェクト終了直後の事業評価の段階で、「成果の実用化の可能性」を判断するのは困難であり、今の段階では、「実用化が可能で、事業化までのシナリオが得られた研究開発成果に基づいて適正に立てられており、経済効果、波及効果が将来十分に期待される」としか述べることはできない。すなわち、現段階で実用化、事業化の見通しについて否定的に見るべき要素はないと判断できる。各種基盤技術についてはある程度構築することができたので、今後は各企業において商品化に向けたコストダウン、技術の絞り込み等の研究開発努力に期待したい。
- 事業化に向けての成果を出しており、具体的なアプリケーションも明確である。
- 基盤技術・実用化技術とも競合技術に対する優位性が明確に分析されており、実用化・事業化のシナリオも比較的明確になっている。
- 成果の実用化、事業化への意欲は多くの波及効果は大いにあるものと期待される。
- ナノファイバーをパイロットスケールで生産できる見通しが示された。これをベースに電池や耐熱フィルターなど有望な部材への適用性が確認された。したがって目下は、小スケールの生産を実施して、実用化の可能性

を採る FS ステージに入っている。本プロジェクトで新たに開発されたナノカーボンや耐熱ファイバーは有望素材であり、特許成立の可能性が高く、近いうちにも独占的な事業展開も可能となろう。

- 基盤技術が安定的な製造方法を確立している事が実用化に向けて期待を持てると判断出来る。早期の製品化を望む。

〈問題点・改善すべき点〉

- 実用化への取組みに見通しが示されており製品化への期待はあるが、コスト面での言及が少なく実用化時期への言及が欲しい。
- 事業化のスケジュールは出ているが、上市は2~3年後となっている。世界的に観て、商機を意識した妥当な上市時期であるのだろうか。
- プロジェクトの進行に伴い、市場のニーズとの乖離が見られたものが見られたが、そのあたりの修正、変更についてあまり融通性がないように感じられた（これが企業側の事業化意欲の減退を招いている可能性がある）。実用化、事業化をうたう以上、今後は技術だけでなく市場に対する経験が豊富な企業を含めたアライアンスを広く活用すすめる体制が必要であろう（そこが欠けた企業は実用化で期待感が少ない結果となっている）。
- 事業化においてコスト試算について問題がないか再考する必要がある。市場規模と見込みの生産量を考慮してコストを考えてください。量産すればコストダウンが見込めるという見込みでは不安だと思います。
- 新たに設計・製造された電界紡糸装置は、試験的生産用であり大規模生産に利用するときは溶媒の回収を含めてさらなる改良が必要となろう。ピッチのナノ溶融分散紡糸については、技術が完成するまでには至っていないので、さらなる検討が必要となる。
- これだけの予算、人数規模のプロジェクトであるので、本研究開発項目に直接関連しないブレークスルー技術・科学も多く見出されたと思われるし、プロジェクトリーダーもそのように報告していた。しかし、それらの情報が本事後評価分科会で全く提示されないのは残念である。プロジェクトとして関連しない成果は（特にサイエンスに関連する項目）、むしろ積極的に公表することで新しい学問領域の創成等も目指すべきである。

〈その他の意見〉

- ・ 追跡調査によって、企業側がどのように成果を実際に活用したか（しなかったか）明確にして、活用できなかった場合の成果については広く公開すべき。
- ・ 最終的には、今のシステムで市場から要求されるコストで必要量を安定的

に供給できるかがポイントとなる。この意味から、小規模なベンチャー企業による事業化を急いで立ち上げるのが良いように思われる。

- プロジェクト提案の段階では、短長期的に十分に実用化、事業化を検討すべきである。しかし、一旦始まったプロジェクトの5年後の事後評価では、実用化、事業化に向けた検討について実施者らは述べるべきではあるが、実用化、事業化の可能性の高低について外部委員が評価するのは妥当でないかもしれない。全評価委員がそれだけの先見性を持ち合わせているとは考えにくい。
- 後継プロジェクトとしてグリーンセンサーネットワーク技術などが挙げられているが、ナノファイバーが産業界で認知されると様々な機能を発現するナノファイバーの新たな需要が発掘されてくるであろう。それに対応するためにも、垂直指向のみではなく、水平方向の基盤強化や拡張のプロジェクトもあると心強い。
- 実用化に向けてコストだけではなくライフサイクル面でこの技術がいつ陳腐化するか投資対効果の観点から検証が必要と思われる。
- 本事業にて開発した技術を、今回の研究開発グループにおける事業目的に限定せず広く多分野に応用できないか、全体を総括して検討してほしい。

2. 個別テーマに関する評価結果

2. 1 電界紡糸法における繊維高機能化、大型装置化技術の開発

- ・「研究開発成果」、「実用化の見通し」および「今後に対する提言」について

基盤技術である電界紡糸法における実用化を目指した装置の大型化に取り組み、ノズルの高性能化を確立した事は評価が高い。また実用化を目指す製品用途の多様性の面からも有望な基盤技術である。開発目標であるノズル性能、繊維直径、繊維径のばらつきの3つの到達度も十分な値を得ており、実用化を加速させ得る成果が得られていると判断出来る。この装置は世界をリードするものであり、大型でも、安全で効率的な新規電界紡糸技術の構築は、日本の先端部材開発に必ずやプラスとなり、新たな市場の創造につながる事が期待できる。

しかしながら、溶媒の回収はスクラバーに頼っており、工業化における障害となる可能性がある。いかに薄まった溶媒ミストを回収するかが重要であるが、エントロピー変化を考慮すると困難ではないか。また、製品化に向けたナノファイバーの収率を考慮したトータルコスト低減の観点から、前述の3つの目標値設定の最適化を検討して欲しい。ナノファイバー分野で国際的に優位性を持つためには、これまで困難とされている材料の量産技術を確保するなど、他の競合技術を凌駕する成果が望まれる。

さらに、当該分野の研究開発や人材育成等を促進するなどの波及効果も認められるので、企業の枠を超えた大学の場の活用をさらに展開されることを期待したい。

〈肯定的意見〉

- ファイバーリング方式の開発をブレイクスルーとして、目標を上回る世界最高水準の性能を達成した。
NEDO 特別講座の開設など、人材交流・育成を促進する施策も実施している。
- 大型の装置設計・製造を繰り返して、エアージェットを組み合わせた世界で最も安全な電界紡糸装置を完成した。これにより目標としたノズル性能、繊維径、ばらつき、生産性を達成しており、成果として高く評価できる。この装置は世界をリードするものであり、今後定番化していくのではないかと思える。
- 基盤技術である電界紡糸法における実用化を目指した装置の大型化に取り組み、ノズルの高性能化を確立した事は評価が高い。また実用化を目指す製品用途の多様性の面からも有望な基盤技術と思われる。開発目標であるノズル性能、繊維直径、繊維径のばらつきの3つの到達度も十分な値を得

ており、実用化を加速させ得る成果が得られていると判断出来る。

- 成果は目標値を達成して活用されており、新たな市場の創造につながる事が期待できる。

独自のベンチャーなども立ち上げ中ということで小回りを効かせた今後の成果に期待したい。

- ナノファイバー製造の量産装置を新規技術を導入し開発したことは、各技術分野への応用の礎になると思われる。この量産装置の可能性を最大限活用して、関連分野への波及が期待できる。また、東京工業大学を中心に若い人材の教育も推進されている。
- 基本的な課題をひとつひとつ克服して、理想的な量産装置となっていると考える。一般にも宣伝してほしい。
- ほぼ全ての数値目標が達成されており、高く評価できる。特に、超高性能ノズル、ファイバーリング方式に改良を加えることによるノズル性能の検討項目の目標達成については、水平連携による国プロ基盤研究としての優れた汎用性のある成果と言える。188件と多数の特許、16件のPCT出願も行っている。大型化でも、安全で効率的な新規電界紡糸技術の構築は、日本の先端部材開発に必ずやプラスとなると思われる。また、実用化に対する今後の課題についても明確にしている。

〈問題点・改善すべき点〉

- 開発された大型装置の品質及び安全性はそれぞれ従来法に比べて高く、更にランニングコストも最高水準とあるが、製品化に向けたナノファイバーの収率を考慮したトータルコスト低減の観点から、3つの目標値設定の最適化を検討して欲しい。
- 実用化に至るまでの今後の課題については、いずれもハードルが相当高いように思われる。まだ3合目程度ではないか。既に装置は解体したと聞けるが、今後はどこでどのように継続的な研究開発を進めるのかが、明確でなかったと思われる。省電力化、省エネルギー化についての検討、数値目標設定がなかったように思われる。
- 企業側の姿勢にバラつきがあり、その扱いが課題か。
- 開発した装置は事業目的を達成しており新規技術が導入されているが、さらにナノファイバー分野で国際的に優位性を持つためには、これまで困難とされている材料の量産技術を確保するなど、他の競合技術を凌駕する成果が望まれる。
- 目標の数字を達成しているが、材料や必要品質など量産の運用を行うに当たっての前提条件が不明確になっていないか。

- 溶媒の回収はスクラバーに頼っており、工業化における障害となる可能性がある。いかに薄まった溶媒ミストを回収するかが重要であるが、エントロピー変化を考慮すると困難ではないか。

〈その他の意見〉

- ・ 排気中の溶媒ガスの処理が課題として残されたとのことであるが、紡糸とは全く異なる技術基盤を必要とする技術開発まで求めるのは酷であろう。紡糸技術が素晴らしいものであれば、参画する企業が現れるものと思われる。
- ・ 当該分野の研究開発や人材育成等を促進するなどの波及効果も認められるので、企業の枠を超えた大学の場の活用をさらに展開されることを期待したい。
- ・ 他の紡糸方法と比較し、棲み分けを明確にして、電界紡糸の特徴を活かした方針を掲げるべきでなかったか。
- ・ 電界紡糸によりフィラメントを製造できるとしているが、そのフィラメントの延伸による高強度化等の目標が設定されていなかったことは残念である。また、静電溶融紡糸装置への展開も行っている。
- ・ 開発主体が大学であることから、量産装置の販売促進を支援する制度の必要があると思われる。ベンチャー企業を創設することについての支援体制が必要と考える。
- ・ 知的財産の観点から、特許出願件数 188 件とあるが国際出願等は詳細がなく、先端技術としての国際的評価を得る様努力を期待する。
- ・ 「世界最高水準」の根拠が不明確である。更に、これも重複するが、複数の数値目標の達成において、全てが同一条件であるのかを明確にすべきである。安全性については、さらに長期的な検討を要する。

2. 2 ナノ溶融分散紡糸法による炭素超極細繊維製造技術の開発

・「研究開発成果」、「実用化の見通し」および「今後に対する提言」について

紡糸技術にとどまらず、溶剤マトリックス除去法や新たな多孔化技術など、カーボンファイバーの実用化に資する要素技術の開発にも成功し、カーボン繊維単体の特性のみではなく、電池やキャパシタなどの性能向上につながることを実証した。成果は高く評価される。

しかしながら、マトリックスとなるポリマーをシクロヘキサン溶媒を用いて除去する方法でピッチファイバーを分離している。この抽出法は、生産プロセスを複雑化し工業化の障害となる可能性がある。多段工程、有機溶剤使用など環境対応、省電力等の対応が現段階では不十分である。

また、本法に替わる静電溶融紡糸法でも、本法で達成された 100nm 以下の直径は得られる可能性があり、本法の優位性が実証されるべきである。

〈肯定的意見〉

- ブレンド紡糸法すなわちナノ溶融分散紡糸法によるナノファイバー製造はわが国が以前より得意としてきた技術に立脚している。これをピッチのナノファイバー化に応用して焼成後ナノカーボンファイバーを得ることによって成功した。目標としたピッチの繊維径、比表面積、不融化時間などの項目はすべて達成されている。得られたナノカーボンファイバーは単結晶様であり、極めて優れた特性を示しており、電池材料として有望である。したがって成果は高く評価される。
- 代表的なカーボン繊維であるカーボンナノチューブ、VGCF を上回る性能を達成している。
紡糸技術にとどまらず、溶剤マトリックス除去法や新たな多孔化技術など、カーボンファイバーの実用化に資する要素技術の開発にも成功した。カーボン繊維単体の特性のみではなく、電池やキャパシタなどの性能向上につながることを実証した。
- 目標と達成しており、成果もクリアである。
- 繊維径、比表面積、不融化時間全て数値目標を達成しており、出口としてキャパシタを想定した場合に評価できる研究成果と言える。ナノテク展等での情報発信、技術の普及が図られている。実用化に向けた課題の抽出も適正に行われている。
- 基盤技術であるナノ溶融分散紡糸法開発における目標値に関しては、繊維径、比表面積、不融化時間の3項目とも中間目標及び最終目標を達成しており十分な成果が得られている事は高い評価を与えられると判断する。
- 事業の目標を達成している。既存設備にて生産可能な技術であり早期の実

用化が期待できる。また、炭素繊維は今後、様々な分野でさらに利用されることが予測できるため波及効果も期待できる。

- 目標は達成しており、世界的に見ても技術的に高いレベルにあると考える。

〈問題点・改善すべき点〉

- 実用化に向けた高い技術と評価出来るが、最先端技術が開発された割には出願特許件数が少なく、知的財産の観点から技術の囲い込みが十分であるか若干疑問が生じる。
- 事業化に向けての生産性や投資コスト、運用コストの検討が必要。
- マトリックスとなるポリマーをシクロヘキサン溶媒を用いて除去する方法でピッチファイバーを分離している。この抽出法は、生産プロセスを複雑化し工業化の障害となる可能性がある。大量生産への道筋を示すべきであろう。
- 対象範囲が狭く、関係の企業数が限定されており、実用性、顧客ニーズとの兼ね合いがいまいち明確でないところが見受けられた。
- 製造するナノファイバー炭素繊維の応用可能技術を探求して用途開発を進めることにより市場を開拓し、コストダウンを可能とする必要がある。
- 17件の特許出願と、PCT出願1件は、電界紡糸技術の方に比べると少ないように思われる。世界最高水準の技術としては、多段工程、有機溶剤使用など環境対応、省電力等の対応が現段階では不十分であるように思われる。

〈その他の意見〉

- ・ カーボンナノチューブとの差別化は可能なのか。
- ・ 実用化段階での基本技術と応用技術での知的財産面からの独自性と、製品化に向けた技術の囲い込みに期待する。
- ・ 本テーマは個別の課題に吸収させてもよいテーマかと思われる。
- ・ 事業化するに当たって、市場要求の価格や品質を意識した上での、再設計が必要と考える。
- ・ 実用化へのシナリオの中で電池への応用が重要な位置を占めているが、VGCFに対して優位性を持つことも明らかとなっており、今回助成事業として取り上げられた電池系のみではなく、本丸に切り込んでいただけることを期待する。
- ・ 本法に替わる静電溶融紡糸法でも、本法で達成された100nm以下の直径は得られる可能性がある。また、本法では繊維長も十分長いナノファイバーが得られており、この意味でも本法の優位性が実証されるべきである。

2. 3 高性能、高機能電池用部材の開発

- ・「研究開発成果」、「実用化、事業化の見通し」および「今後に対する提言」について

設定した数値目標はほぼ全て達成されており、高く評価できる。電界紡糸法を用いた PAN 系炭素繊維マットは燃料電池への応用が完結し、実用化に向けた技術課題についてはほぼ解決した。一方、ピッチのナノ溶解分散紡糸法で得られたナノカーボンファイバーを用いたキャパシタについてもある程度の性能が得られた。また、後者の有機ラジカル電池開発への適用も進んでおり、目標の達成度は高いと言える。商品化のハードルは高いが、実用化の可能性と事業化に向けたシナリオについて詳細に検討されていると判断できる。

一方、本研究開発項目内の各テーマはほとんど独立した形での運営であったが、各参加企業の研究開発の秘密、知財化を鑑みると、それぞれの個別テーマの間の横の連携と共有化を図ることは困難と思われる。しかし、もう少しテーマとしての一体感があってもよかったのではないか。

また、事業化計画は立てられているが、まだ実験レベルの成果も多く生産体制に不安がある。今後は、寿命、耐久性、安全性、安定性の更なる検証が必要である。

〈肯定的意見〉

- 成果が十分にみられ、全体としては成功したといえる。
- 研究開発の最終目標項目の薄型電池での厚さ、パワー密度及びエネルギー密度の3つの目標値とも研究成果では達成されており評価は高いと判断出来る。また薄型電池を構成する部材としての安定製造技術も確立出来ていると思われる事から、早期の製品化が期待出来る。
- 概ね目的とする成果が得られている。市場ニーズを的確に把握して製品化を目指せば事業化が可能と思われる。
- 薄膜電池の開発においては、有機ラジカルの製造から電極化技術、電池製造を各社で分担しつつも、具体的な商品企画のもとで一体に開発に携わっており、また知財権の創出も十分である。
小型蓄電池の開発では、電気二重層キャパシタから早期にハイブリッド化に舵をとったことで、効果的な開発がすすめられた。
- 具体的な市場イメージができる技術を達成しており、事業化が期待できる。
- 電界紡糸法を用いた PAN 系炭素繊維マットは燃料電池への応用が完結し、実用化に向けた技術課題についてはほぼ解決した。一方、ピッチのナノ溶解分散紡糸法で得られたナノカーボンファイバーを用いたキャパシタについてもある程度の性能が得られた。また、後者の有機ラジカル電池開発

への適用も進んでおり、目標の達成度は高いと言える。特に、有機ラジカル電池の開発はその起電力の高さから一定の用途が期待でき、その工業化へのスケジュールが明らかにされている。

電池への応用はわが国の独自技術としてさらなる練磨が必要であり、本研究開発はその技術力アップに多大な貢献をするであろう。

- 設定した数値目標はほぼ全て達成されており、高く評価できる。小型蓄電池の開発においてエネルギー密度の最終目標にたいして達成度が50%程度であったが、数値目標そのものが高設定だったとのことであり、プロジェクト前の目標値設定では、そのような結果もあり得ることである。数値目標達成のための課題抽出も行われている。また、パッシブ型燃料電池開発において、中間評価にてプロジェクト離脱についても、5年のプロジェクトではあり得ることであり、特に問題とはならないと思われる。薄型電池開発においては、出口分野を担当する3社どうしの連携、ナノ溶解分散紡糸法による炭素超極細繊維製造技術開発担当の基盤グループとの連携も順調だったようで、51件と多数の特許出願がある。小型蓄電池開発でも、基盤グループとの連携が順調だったように見受けられる。全ての電池出口分野で商品化のハードルは高いが、実用化の可能性と事業化に向けたシナリオについて詳細に検討されていると判断できる。商品化にまで進むことにより、先端エレクトロニクス分野への波及効果、貢献度が高い技術であると思われる。

〈問題点・改善すべき点〉

- 市場への投入は今のところ、有機ラジカル電池を除いてスケジュール化されていない。これはニーズとの関連で市場が十分に育っていないことに起因しているが、ユーザーレベルにおけるニーズ開拓とともに製品化・商品化を遂行していく必要がある。
- 事業化計画は立てられているが、まだ実験レベルの成果も多く生産体制に不安がある。プラント規模を大きくする計画も紹介されたが、販売先が研究開発グループ内の企業に限られており、事業の広がりも期待できない。
- 研究開発の目標項目の中で、電池としてエネルギー密度が高いリチウムイオン電池を凌駕する更なる技術向上を実用化・製品開発に於いて目指す事に検討・開発を継続することを期待する。
- 世界最高水準技術を達成できたとの根拠が不明確である（そもそもその判断は、「限られた情報に基づけば」という条件付きである）。
- このテーマは実用化技術の他のテーマとは異なり、繊維開発が直ちに事業化につながるというものではなく、それ以外にも多数の課題を解決する必

要がある。その点で、十分な取り組みが尽くされたとは言い難い部分も見られた。

- 寿命、耐久性、安全性、安定性の更なる検証が必要と考える。できるだけ速くフィールドでのテストを行う必要がある。
- 期待できるテーマ（3-3）、見通しが不透明なテーマ（3-1）、一定の成果が見られるテーマ（3-2）とばらついており、このあたりを一括的な評価は難しい。各プロジェクトはほとんど独立した形での運営とのお話なので、個別評価として採点しないと、良い評価のテーマを評価しにくい。

実用化の過程がサプライチェーンを持ち込んでしまっていて共有化されていない面もあり（3-3）、国のプロジェクトにおいては、この段階では少なくとも一体での開発・実用化が望まれる。

〈その他の意見〉

- ・ 電気二重層キャパシタの開発では、エネルギー密度の目標値を高く設定したため、早期にハイブリッド化の道を歩むことになった。ナノファイバーにより電気二重層キャパシタの性能がどこまで向上するかを見てみたい。
- ・ 事業化へのハードルは低いとは言えないが、電池の基本技術として本研究開発で得られたナノカーボンファイバー素材はカーボンナノチューブを超えた素材となり得る。新素材を作成してそれを応用した結果からだけで開発の成否を決めているところがある。より確かな基礎的研究と理論の解明、すなわちサイエンスの展開が求められる。
- ・ それぞれの個別テーマの間の連携と共有化が貧弱（企業意識と制度上の体制の問題か）な印象があり、成果がばらついたものと思われる。進出を目指す市場に対する、経験と取組姿勢が各テーマの成果に対する差になっているものと考えられ、改善を要す。
- ・ 大きな市場規模が予想される業界。他国の状況を監視し、差別化された技術を確立し、いち早く上市されることを期待する。
- ・ 商品化に向けたハードルが高いようであるので、企業の更なる努力に期待したい。
- ・ 製品化時点での各部材、製法、最終製品での売上と損益見通しを述べているが、製品単品でのコストが市場に受け入れられるかの観点から、コスト分析と戦略について更なる検討を各社にて加えて欲しい。

2. 4 高性能、高機能フィルター用部材の開発

- ・「研究開発成果」、「実用化、事業化の見通し」および「今後に対する提言」について

フッ素系のイオン交換フィルター、耐熱無機フィルター、耐熱有機フィルターなど目的とした性能をクリアしており、研究開発成果は高レベルにある。いずれも従来用いられたことのない高性能素材を原料ポリマーとして用いて電界紡糸法によるナノファイバーマットを作製したのち、適当な反応、加工を施して高性能、高機能化を達成しており、技術として高く評価できる。フィルター担体性能のみではなく、ユニットの性能としても目標値をクリアしており、実用化研究開発の最終目標と達成状況から実用製品への性能発揮可能性は評価出来る。

しかしながら、事業化へのシナリオは明確にされているが、市場の規模、コストダウン、事業化の時期等について十分な見通しが立っているとまでは言えない。事業化に向けて、既存技術・商品とのスペック及びあらゆるコストの比較を行い、代替品となるかを数値的な比較で検討する必要がある。また、産業用に適用する段階では寿命がメンテナンスコストに大きく影響する事から、寿命1年と限らず実用化開発を通して更なる拡大にトライして欲しい。さらに、使用後のリサイクル性、環境負荷等の検討が不十分である。ライフサイクルアセスメントとしての検討も要する。

〈肯定的意見〉

- 実用化研究開発の最終目標と達成状況から実用製品への性能発揮可能性は評価出来る。
- フッ素系のイオン交換フィルター、耐熱無機フィルター、耐熱有機フィルターなど目的とした性能をクリアしており、研究開発成果は高レベルにある。いずれも従来用いられたことのない高性能素材を原料ポリマーとして用いて電界紡糸法によるナノファイバーマットを作製したのち、適当な反応、加工を施して高性能、高機能化を達成しており、技術として高く評価できる。
- 目標値を達成しており良い研究成果が得られている。実用化すれば様々な産業への利用が可能で、社会への波及効果が大きいものと思われる。
- 超超純水製造プロセスフィルターの開発では、高い設定数値目標をほぼ達成しており、研究開発成果として高く評価できる。高純度水の確保は世界的なテーマでもあり、ナノファイバー技術と共に日本の重要な基盤技術となり得る。

焼却炉の排気ガス集塵システムでの利用される超耐熱性無機フィルター

の開発では、設定された数値目標をすべて達成しており、研究成果として高く評価できる。無機超極細繊維紡糸技術の確立や集塵システムの省エネにも考慮されており、汎用的で高い水準の技術と判断できる。出願特許件数も 13 件と多く、実用化の可能性、事業化へのシナリオも検討され、十分に大きな市場規模を有している。

耐熱性有機フィルターの開発でも、設定した数値目標は全て達成しており、研究開発成果として高く評価することができる。繊維径を超極細にすることでフィルターとしての初期圧力損失の低減が達成されており、耐熱性も 400℃で 3%程度の重量減少率で、汎用性のある高い技術と判断できる。

- ナノファイバーの特徴を活かしやすいフィルターで、付加価値を生み出せる市場を見据え、目標値を達成していることは、素晴らしいことと考える。
- いずれのテーマも目標値を達成している。システムとしてカバーした部分もあるようだが、世界最高水準の性能であり、費用対効果の点からは妥当な判断であったといえる。

フィルター担体性能のみではなく、ユニットの性能としても目標値をクリアした。

- 総じて成果はクリアしており、事業化についても期待できる。

〈問題点・改善すべき点〉

- 研究・開発の最終目標である有機物除去性能、金属類除去性能、金属除去能力の寿命の 3 項目について達成された値を得ているが、開発されたフィルター単独の能力及び性能が寄与しているだけでなく、前後の RO 膜等との複合性能である事が開発品の性能と断定して良いのか判断をしかねる様な表現となっている事が評価の曖昧さに繋がっている。
- 大いに期待されるテーマ（4-1）と、若干不透明な印象のテーマ（4-2、4-3）とばらついている。
- フィルターは低コストな製品であるため、機能性ととも到低コスト化が必要と思われる。多用途化を検討し、市場の拡大をはかる必要があると思う。
- 超超純水製造プロセスフィルターの開発については、「世界初」「世界最高水準」技術でありながら、出願特許件数は 20 件と十分ではなく、PCT 出願はわずか 1 件であり、理解しがたいが、技術としては世界最高水準でもコスト等の関係から、商品化には相当高いハードルがあるのではないかと。また、中間評価にも記載されていたが、使用後のリサイクル性（あるいはマテリアル、サーマルリサイクル）、環境負荷等の検討が不十分である。素材として生分解性高分子等は使用できないのか。超超純水製造と素材による環境負荷低減はトレードオフのようであるが、チャレンジは必要であ

る。数値目標達成を優先しているため、汎用性には劣るのではないか。超耐熱性無機フィルターの開発では、使用後の無機フィルターは埋め立て処分するしかないのであろうか。ライフサイクルアセスメントとしての検討も要する。

耐熱性有機フィルターの開発では、出願特許件数が少ないのが気になる。

- 600°Cでの常用が想定される無機フィルターの耐熱性を評価するうえで、1000°C、2時間という条件は緩すぎるかもしれない。また、雰囲気ガスの影響も調べるべきであろう。
- 事業化に向けて、既存技術・商品とのスペック及びあらゆるコストの比較を行い、代替品となるかを数値的な比較で検討する必要があると考える。
- 用途は既存の材料の置き換えであるためコスト - 性能バランスが十分考慮されないと事業化ができないものが多い。従って事業化計画には少し無理が感じられる。むしろ、工業化における電界紡糸の適用性をもっと深く探索するべきであろう。

〈その他の意見〉

- ・ 商品化に向けたハードルが高いようであるので、企業の更なる努力に期待したい。
- ・ 事業化へのシナリオは明確にされているが、市場の規模、コストダウン、時期等について十分な見通しが立っているとまでは言えない。むしろ自社で利用して性能等の実証をして製品化することが求められる。
- ・ マーケットとのマッチングや、応用展開のフレキシビリティが、成果のバラツキの差になったのではないかと思われる。
- ・ 電界紡糸法による極細繊維が寄与している事は判断されるが、繊維とする素材は処理対象によって多様な素材を想定すべきで、一律に有機物、金属類に適用可能かの視点から検討は必要と思われる。また、産業用に適用する段階では寿命がメンテナンスコストに大きく影響する事から、寿命1年と限らず実用化開発を通して更なる拡大にトライして欲しい。

2. 5 高性能、高機能医療衛生・産業用部材の開発

・「研究開発成果」、「実用化、事業化の見通し」および「今後に対する提言」について

クリーンルーム用部材、医療衛生部材において当初の数値目標はすべてクリアされており、研究開発成果として高く評価することができる。これらの素材を用いた製品化が順調に進められており、事業化に近い製品も多い。また、ナノファイバーによる抗菌効果を見出しており、ナノ効果として興味深い。是非、そのメカニズムを解明してほしい。さらに、衣料製品への取り組みは、ナノファイバー製品の市場規模を増大させ、製造コスト低減に寄与すると考えられる。

一方、スーパークリーンルーム用エアフィルターとしての粒子捕集効率は、単に $0.1\ \mu\text{m}$ での効率だけでなく粒子径別の捕集効率を論じるべき。粒子径に依存して捕集効率が増加することは周知の事であり、従来の HEPA フィルターでの特徴である粒子径 $0.1\sim 0.2\ \mu\text{m}$ の捕集効率は低い事との比較の検討が必要である。衣料製品については消費性能（繊維材料の JIS 試験等）について評価する必要がある。身につけるものであるため安全性の規格を定め、ナノファイバーによる人体への害がないことを明確にすることが大切である。

〈肯定的意見〉

- いずれのテーマも事業化が目前であり、素晴らしい成果である。
クリーンルーム用部材の開発では、フィルターメーカーがナノファイバー製造の現場にまで足を踏み入れることで、開発に強力な推進力が生まれた。ウレタンナノファイバーの開発により多機能素材の実現に成功し、事業化への道筋も明確である。
- 電界紡糸法にて作製されたフィルター素材としては優れた成果を挙げている。特に医療衛生部材としての針刺し防止機能はその効果が期待され、更に特徴と挙げられている抗菌性を伴う事が特出した成果と評価出来る。
- 研究開発目標を達成しており、一定の成果が期待できる。
- 電池・フィルター以外のテーマで、様々なアプリケーションが生まれ、ナノファイバーの新たな事業化が期待できる。
特に、ナノファイバーの抗菌性の発見は、興味深い内容である。是非、そのメカニズムを解明してもらいたい。
- クリーンルーム用部材、医療衛生部材はポリエステルやポリウレタンなどの素材を電界紡糸して得ている。性能を示す当初の数値目標はすべてクリアされており、開発目標は達成されたと言える。ナノファイバーによる抗菌効果を見出しており、ナノ効果として興味深い。またナノファイバーマットと既存生地との接着法を確立し、ナノファイバー部材の高強度化に成

功した。これらの素材を用いた製品化が順調に進められており、事業化に近い製品も多い。

- スーパークリーンルーム用部材の開発では、設定した数値目標をすべて達成しており、研究開発成果として高く評価することができる。基盤研究分野である電界紡糸グループとうまく連携しており、汎用高性能技術、環境対応技術として認められる。出願特許数も7件あり、他の競合特許との差別化についても検討している。実用化の可能性、事業化へのシナリオも十分に理解できる。

ヒューマンインターフェース医療衛生部材の開発では、設定した多くの課題に対する数値目標をほぼ達成しており、研究開発成果として高く評価することができる。基盤研究分野である電界紡糸グループとうまく連携しており、汎用高性能技術、環境対応技術として認められる。出願特許数も22件あり十分であり、実用化の可能性、事業化へのシナリオも十分に検討されている。

- 抗菌性で圧力損失の少ないフィルターとして医療分野での実用化が期待できる。また、衣料製品への取り組みは、ナノファイバー製品の市場規模を増大させ、製造コスト低減に寄与すると考えられる。

〈問題点・改善すべき点〉

- スーパークリーンルーム用部材、ヒューマンインターフェース医療衛生部材ともに、超高機能達成を最優先しているため、化石資源由来の素材を使い捨てで使用する技術開発になっている。製造工程や素材の環境負荷低減、使用後の（焼却）処理によるCO₂排出削減等の検討も望まれる。
- 両テーマとも市場への応用性、適用性について今一步マッチングが足りないように思える。
- スーパークリーンルーム用エアフィルターとしての粒子捕集効率は、単に0.1 μ mでの効率だけでなく粒子径別の捕集効率を論じるべき。粒子径に依存して捕集効率が変化することは周知の事であり、従来のHEPAフィルターでの特徴である粒子径0.1~0.2 μ mの捕集効率は低い事との比較の検討が必要と思われる。
- ナノファイバーの抗菌性についても、生化学的な原因説明が全くなされていない。サイエンスの裏付けのない製品については、最初は受け入れられても、やがては市場から淘汰されることになるので、サステナブルな事業化は困難である。
- 抗菌性機能の原理を解明して実用化する製品の信頼性を高める必要がある。

衣料製品については消費性能（繊維材料の JIS 試験等）について評価する必要がある。また、身につけるものであるため安全性の規格を定め、ナノファイバーによる人体への害がないことを明確にすることが大切と考える。

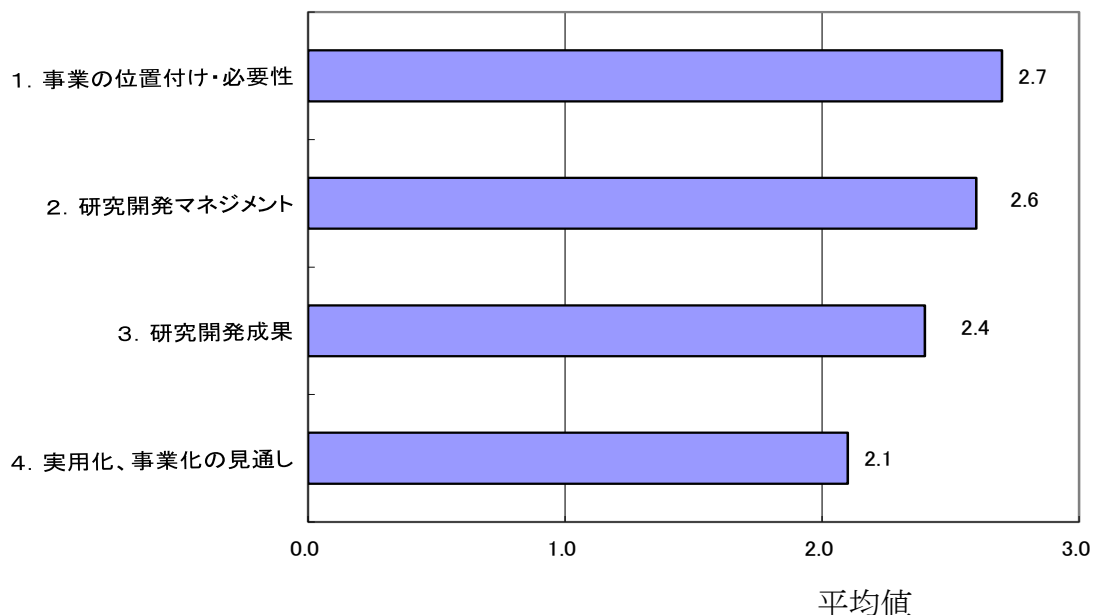
- 市場規模とあらゆるコストを産出し、事業化の可能性を追求してほしい。

〈その他の意見〉

- ・ 現状では技術ありきからスタートした印象があるが今後の展開に期待したい。
- ・ 電界紡糸法にて得られた素材に対して、その製造コストが従来フィルターと比較して実用的であるか検討が必要と思われる。
- ・ 商品化に向けたハードルが高いようであるので、企業の更なる努力に期待したい。
- ・ この分野は競合技術も多くなるので、本研究開発製品の特徴をうまくとらえた事業化がなされなければならない。この点で十分な対応がなされるように希望する。いくつかの開発製品については、電界紡糸のコストと生産性を考慮しながら製品開発がなされたとは考えにくい。

3. 評点結果

3. 1 プロジェクト全体



評価項目	平均値	素点 (注)							
		A	A	A	B	A	B	A	
1. 事業の位置付け・必要性について	2.7	A	A	A	B	A	B	A	
2. 研究開発マネジメントについて	2.6	B	A	B	A	A	B	A	
3. 研究開発成果について	2.4	B	A	B	A	A	B	B	
4. 実用化、事業化の見通しについて	2.1	B	A	B	A	B	C	B	

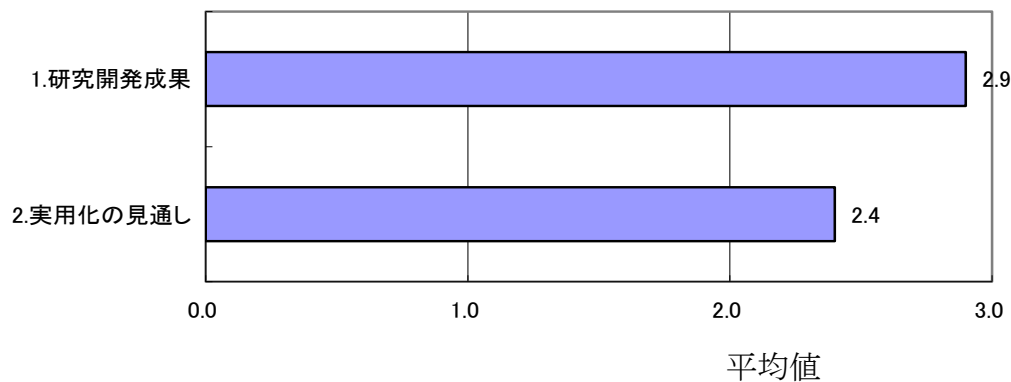
(注) A=3, B=2, C=1, D=0 として事務局が数値に換算し、平均値を算出。

〈判定基準〉

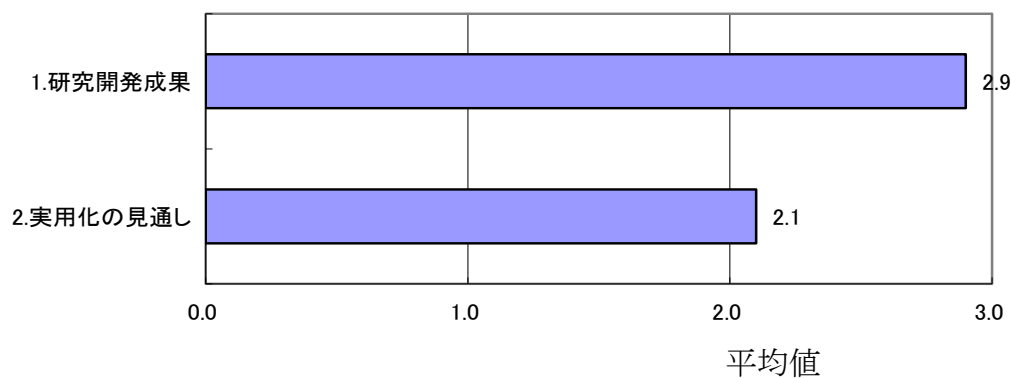
1. 事業の位置付け・必要性について	3. 研究開発成果について
・非常に重要 →A	・非常によい →A
・重要 →B	・よい →B
・概ね妥当 →C	・概ね妥当 →C
・妥当性がない、又は失われた →D	・妥当とはいえない →D
2. 研究開発マネジメントについて	4. 実用化、事業化の見通しについて
・非常によい →A	・明確 →A
・よい →B	・妥当 →B
・概ね適切 →C	・概ね妥当であるが、課題あり →C
・適切とはいえない →D	・見通しが不明 →D

3. 2 個別テーマ

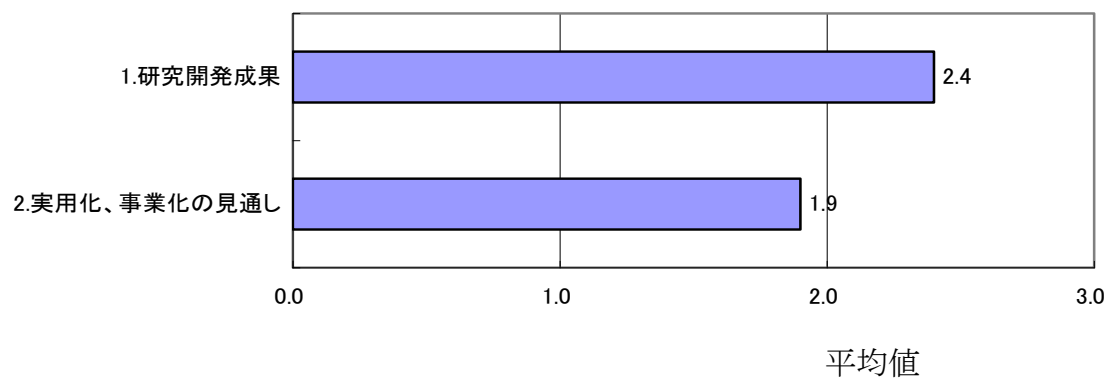
3. 2. 1 電界紡糸法における繊維高機能化、大型装置化技術の開発



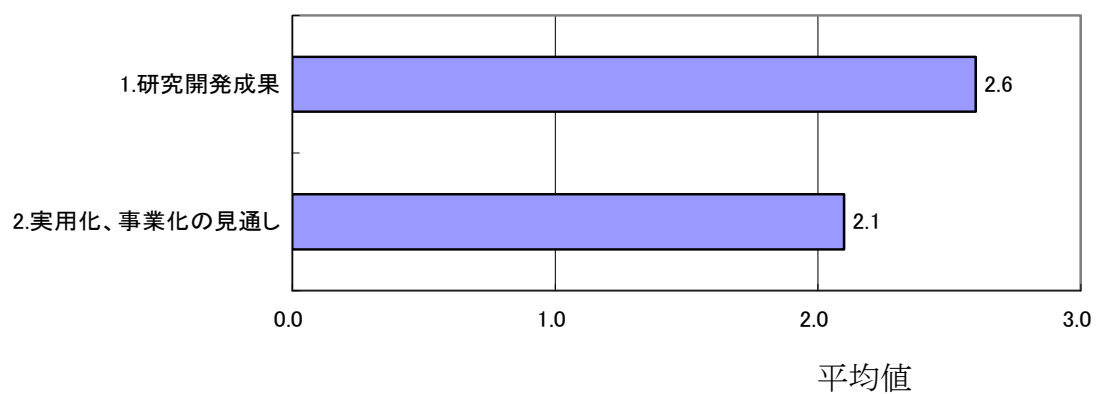
3. 2. 2 ナノ溶融分散紡糸法による炭素超極細繊維製造技術の開発



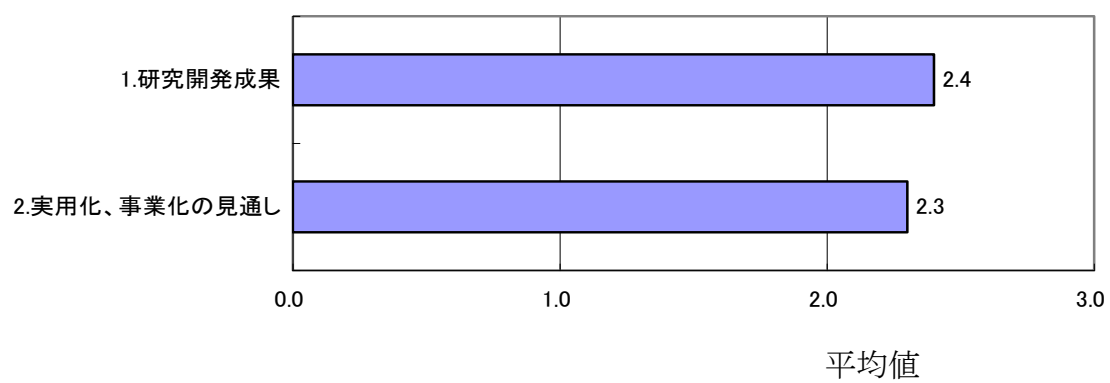
3. 2. 3 高性能、高機能電池用部材の開発



3. 2. 4 高性能、高機能フィルター用部材の開発



3. 2. 5 高性能、高機能医療衛生・産業用部材の開発



個別テーマ名と評価項目	平均値	素点（注）							
3. 2. 1 電界紡糸法における繊維高機能化、大型装置化技術の開発									
1. 研究開発成果について	2.9	A	A	A	A	A	B	A	
2. 実用化の見通しについて	2.4	A	A	B	B	A	C	A	
3. 2. 2 ナノ溶融分散紡糸法による炭素超極細繊維製造技術の開発									
1. 研究開発成果について	2.9	A	A	A	A	A	B	A	
2. 実用化の見通しについて	2.1	B	A	B	B	B	C	A	
3. 2. 3 高性能、高機能電池用部材の開発									
1. 研究開発成果について	2.4	B	B	B	A	A	B	A	
2. 実用化、事業化の見通しについて	1.9	B	B	C	B	B	C	A	
3. 2. 4 高性能、高機能フィルター用部材の開発									
1. 研究開発成果について	2.6	A	A	B	A	A	B	B	
2. 実用化、事業化の見通しについて	2.1	B	A	B	A	B	C	B	
3. 2. 5 高性能、高機能医療衛生・産業用部材の開発									
1. 研究開発成果について	2.4	B	A	B	B	A	B	A	
2. 実用化、事業化の見通しについて	2.3	B	A	B	B	B	B	A	

（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
・よい	→B ・妥当
・概ね適切	→C ・概ね妥当であるが、課題あり
・適切とはいえない	→D ・見通しが不明

* 3. 2. 1 および 3. 2. 2 については「実用化の見通しについて」

第2章 評価対象プロジェクト

1. 事業原簿

次ページより、当該事業の事業原簿を示す。

「先端機能発現型新構造繊維部材基盤技術の開発プロジェクト」

事業原簿
【公開】

担当部	独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 電子・材料・ナノテクノロジー部
-----	--

目次

概要

プロジェクト用語集

I. 事業の位置付け・必要性について

1. NEDO の関与の必要性・制度への適合性 I - 1
 1. 1 NEDO が関与することの意義
 1. 2 実施の効果（費用対効果）
2. 事業の背景・目的・位置づけ I - 10
 2. 1 事業の背景
 2. 2 事業の目的及び意義
 2. 3 事業の位置付け

II. 研究開発マネジメントについて

1. 事業の目標 II - 1
2. 事業の計画内容 II - 8
 2. 1 研究開発の内容
 2. 2 研究開発の実施体制と予算
 2. 3 研究の運営管理
 2. 4 研究開発成果の実用化・事業化に向けたマネジメントの妥当性
3. 情勢変化への対応 II - 28
4. 中間評価結果への対応 II - 34
5. 評価に関する事項 II - 35

III. 研究開発成果について

1. 事業全体の成果 III - 1 - 1
2. 研究開発項目毎の成果（実施者担当）
 2. 1 電界紡糸法における繊維高機能化、大型化技術の開発 III - 2.1 - 1
 2. 2 ナノ溶解分散紡糸法による炭素超極細繊維製造技術の開発 III - 2.2 - 1
 2. 3 高性能、高機能電池用部材の開発 III - 2.3.1 - 1
 2. 3. 1 パッシブ型燃料電池の開発 III - 2.3.1 - 1
 2. 3. 2 小型蓄電池の開発 III - 2.3.2 - 1
 2. 3. 3 薄型電池の開発 III - 2.3.3 - 1
 2. 4 高性能、高機能フィルター用部材の開発 III - 2.4.1 - 1
 2. 4. 1 超超純水プロセスフィルターの開発 III - 2.4.1 - 1
 2. 4. 2 超耐熱性無機フィルターの開発 III - 2.4.2 - 1
 2. 4. 3 耐熱性有機フィルターの開発 III - 2.4.3 - 1
 2. 5 高性能、高機能医療衛・生産業用部材の開発 III - 2.5.1 - 1
 2. 5. 1 スーパークリーンルーム用部材の開発 III - 2.5.1 - 1

2. 5. 2 ヒューマンインターフェース医療衛生・産業用部材の開発	Ⅲ-2.5.2-1
3. 安全性の検討	Ⅲ-3-1

IV. 実用化・事業化の見通しについて	Ⅳ-1
---------------------	-----

V. 成果資料

1. 各種展示会での成果の発表	V-1-1
2. 新聞、雑誌記事	V-2-1
3. 論文リスト	V-3-1
4. 口頭発表リスト	V-4-1
5. 特許リスト	V-5-1
6. 受賞	V-6-1
7. 国際調査	V-7-1

(添付資料)

ナノテク・部材イノベーションプログラム基本計画

プロジェクト基本計画

事前評価書

パブリックコメント

概要

		作成日	平成23年7月15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		
プロジェクト名	「先端機能発現型新構造繊維部材基盤技術の開発」プロジェクト	プロジェクト番号	P06030
担当推進部/担当者	電子・材料・ナノテクノロジー部 田谷 昌人(平成23年7月15日現在) ナノテクノロジー・材料技術開発部 木村 禎一(平成21年4月1日～平成22年3月31日) ナノテクノロジー・材料技術開発部 山森 義之(平成19年4月1日～平成21年3月31日) ナノテクノロジー・材料技術開発部 村山 三素(平成18年4月1日～平成19年3月31日)		
0. 事業の概要	<p>本プロジェクトは繊維状材料に対してナノオーダーの成形加工や微細な界面加工ならびに複合化することで材料を高機能化し、革新部材を創出する。共通基盤技術として、①電界紡糸法における繊維高機能化、大型装置化技術の開発、②ナノ溶融分散紡糸法による炭素超極細繊維製造技術の開発を実施し、高分子材料、無機材料および炭素材料の超極細繊維の製造技術を開発する。そして、製造に必要な基礎データ集積、製造された繊維状材料の物性や構造の計測と評価、および資源環境問題を配慮しつつ、安全性の評価等を行う。さらに、共通基盤技術で開発した成果をもとに実用化技術開発に関わる各企業と連携し③高性能、高機能電池用部材の開発、④高性能、高機能フィルター用部材の開発、⑤高性能、高機能医療衛生・産業用部材の開発を実施し、我が国産業の競争力の強化を図ることを目的としている。</p>		
I. 事業の位置付け・必要性について	<p>【NEDOが関与する意義】</p> <p>我が国の材料産業は、国際的に高い技術力と競争力を有し、我が国の経済社会の発展を支えているが、川下産業との取引のオープン化に伴いユーザーとの連携の希薄化が進行する一方で、汎用的な材料技術はアジア諸国の技術向上によるキャッチアップが進行している。そのため我が国において産学官を含む連携の強化(川上川下の垂直連携、材料創成と加工の水平連携など)を図ることで、次世代の部材分野での我が国のイノベーションを促進することが喫緊の課題となっている。</p> <p>そこで本プロジェクトは、情報通信、ライフサイエンス、環境、エネルギーなど、あらゆる分野に対して高度化あるいは不連続な革新(ジャンプアップ)をもたらすナノテクノロジー及び革新的部材技術を確立するとともに、その実用化や市場化を促進することで、我が国産業の国際競争力の維持・強化や解決困難な社会的課題の克服等を可能とすることを目的とする。</p> <p>材料技術は、材料の特性・機能の向上が製品機能の向上に直結するなど産業技術全般に大きな波及効果をもたらす基盤技術であるが、昨今の国際競争の激化により、さらなる飛躍的発展のキーテクノロジーとして革新的な新材料創製技術が求められている。総合科学技術会議の科学技術基本政策策定の基本方針においても、「ナノテクノロジー・材料分野」を国家的・社会的課題に対応した研究開発の重点化対象とすることについては、多様な視点から概ね妥当と評価しうるとされている。</p> <p>本プロジェクト(先端機能発現型新構造繊維部材基盤技術の開発)は、豊かで快適な人間生活を送りたいという国民の願望のもとに高度情報社会、省エネ・省資源、安全・安心、健康長寿命を目指した社会の実現に向けて、科学的知見を基盤に革新的な新材料創製技術を通じて深く寄与するものである。特に近年の状況は、海外においても、米国やヨーロッパを中心にこの方面の研究開発に資金や研究者開発者を投入して精力的な取り組みがなされており、グローバルな開発競争となっている。しかしわが国の現状は、高い科学的水準や技術開発力を有しているにもかかわらず、大学・研究機関や民間会社において個別に行われているにすぎない。このため、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、産学の科学的、技術的ポテンシャルを結集して、共通基盤技術(水平)の上に複数の実用化技術(垂直)の展開を図るといふこれまでにない新しいプロジェクト形式を組み、産学の連携を推進しつつ産業技術を組織的かつ戦略的に展開することを事業方針とし、本プロジェクトを実施する。</p> <p>以上のような国家的課題は、個々の民間企業の経済的な観点に基づく自主的努力に単純に任せる分野ではなく、政府が主体的に進める重点分野の一つであり、革新的部材産業創出、新産業創造高度部材基盤技術開発の両分野は、従来からNEDOがこれまでに蓄積してきた知識、実績を生かし、推進すべき課題である。</p> <p>【実施の効果(費用対効果)】</p> <p>(費用) 45億円(H18-22年度総額 <交付金>)</p> <p>(効果) 4.7兆円(市場創出効果:2020年)</p> <p>事業の成果を適用することによって高速大型電界紡糸装置に事業化が図れるのみならず、本装置を用いた超極細繊維や超微細構造繊維製造の事業化が可能となり2020年頃には年間約5000億円の経済効果が見込まれる。またナノ溶融分散紡糸による炭素製造の事業化が図られ本方法による炭素繊維は2020年頃には年間約2500億円の経済効果が見込まれる。</p>		

さらにこれらの製品は環境・エネルギー分野、燃料電池、情報家電分野、医療・福祉／安全・安心分野の部材として 2020 年頃には蓄電材料関係、モバイル燃料電池関係、超純水製造、スーパー環境フィルター、スーパークリーンルーム、医療用スーパー安全製品に利用されそれぞれ年間 1.5～3 兆円の経済効果が見込まれる。

【事業の背景・目的・位置付け】

(背景)

平成 15 年度国際共同研究先導調査事業「省エネルギーに繋がるナノファイバーテクノロジー先導技術調査」によりシーズ発掘が行われた(学が中心)。引き続き F/S 調査(平成 16 年度「新構造繊維部材の実用化課題の調査」)によりシーズの検証を行い、「我が国の強みである繊維を基とした新構造繊維部材は、セパレータ、フィルター、高強度構造材など多くの産業分野への応用が可能であり、特に IT 分野(2 次電池)、環境分野(フィルター)、バイオ分野における本格的な実用化のためには研究開発プロジェクトにより組織的に対応する必要がある」との結論を得た。以上の結果を受けて、部材技術マップに「環境・エネルギー分野-フィルター、二次電池用活物質」に求められる高機能部材として、繊維・樹脂分野の新素材開発による創成を追加し、ユーザーの要望に対応する高度部材を供給するための繊維の極微細加工と高次複合化を実現可能とする基盤技術開発とその成果を活用する実用化開発からなる本プロジェクトを創成した。

(目的)

上記背景により、創成された「先端機能発現型新構造繊維部材基盤技術の開発」プロジェクトの目的は高性能且つ高機能電池用部材の開発、高性能且つ高機能フィルター用部材の開発、及び高性能且つ高機能医療衛生・産業用部材の開発という実用化技術を実施するにあたり必要不可欠とされる革新的繊維状部材創出のための基盤技術を確立することであり、豊かで快適な人間生活を送りたいという国民の願望のもとに高度情報社会、省エネ・省資源、安全・安心、健康長寿命を目指した社会の実現に向けて、科学的知見を基盤に革新的な新材料創製技術を通じて深く寄与するものである。

(位置付け)

本プロジェクトは、情報通信、ライフサイエンス、環境、エネルギーなど、あらゆる分野に対して高度化あるいは不連続な革新(ジャンプアップ)をもたらすナノテクノロジー及び革新的部材技術を確立するとともに、その実用化や市場化を促進することで、我が国産業の国際競争力の維持・強化や解決困難な社会的課題の克服等を可能とすることを目的とした「ナノテク・部材イノベーションプログラム」の一環として実施するものである。

材料技術は、材料の特性・機能の向上が製品機能の向上に直結するなど産業技術全般に大きな波及効果をもたらす基盤技術であるが、昨今の国際競争の激化により、さらなる飛躍的発展のキーテクノロジーとして革新的な新材料創製技術が求められている。総合科学技術会議の科学技術基本政策策定の基本方針においても、「ナノテクノロジー・材料分野」を国家的・社会的課題に対応した研究開発の重点化対象とすることについては、多様な視点から概ね妥当と評価しうるとされている。

先端機能発現型新構造繊維部材基盤技術の開発は、豊かで快適な人間生活を送りたいという国民の願望のもとに高度情報社会、省エネ・省資源、安全・安心、健康長寿命を目指した社会の実現に向けて、科学的知見を基盤に革新的な新材料創製技術を通じて深く寄与するものである。また、技術戦略マップの「環境・エネルギー分野、燃料電池、情報家電分野、医療・福祉／安全・安心分野」等にも位置づけられている。特に近年の状況は、海外においても、米国やヨーロッパを中心にこの方面の研究開発に資金や研究者開発者を投入して精力的な取り組みがなされており、グローバルな開発競争となっている。しかしわが国の現状は、高い科学的水準や技術開発力を有しているにもかかわらず、大学・研究機関や民間会社において個別に行われているにすぎない。このため、NEDOは、産学の科学的、技術的ポテンシャルを結集して、共通基盤技術(水平)の上に複数の実用化技術(垂直)の展開を図るというこれまでになく新しいプロジェクト形式を組み、産学の連携を推進しつつ産業技術を組織的かつ戦略的に展開することを事業方針とし、本プロジェクトを実施する。

II. 研究開発マネジメントについて

事業の目標	<p>本プロジェクトは繊維状材料に対してナノオーダーの成形加工や微細な界面加工ならびに複合化することで材料を高機能化し、革新部材を創出する。共通基盤技術として、①電界紡糸法における繊維高機能化、大型装置化技術の開発、②ナノ溶融分散紡糸法による炭素超極細繊維製造技術の開発を実施し、高分子材料や無機材料や炭素材料の超極細繊維を製造すると同時にそれらを製造するために必要な基礎データ集積や製造された繊維状材料の物性や構造の計測と評価、資源環境問題を配慮しつつ、安全性の評価等を行う。さらに、共通基盤技術で開発した成果をもとに③高性能、高機能電池用部材の開発、④高性能、高機能フィルター用部材の開発、⑤高性能、高機能医療衛生用・産業用部材の開発を実施し、我が国産業の競争力の強化を図る。</p>						
事業の計画内容	主な実施事項	H18fy	H19fy	H20fy	H21fy	H22fy	総額
	①電界紡糸法における繊維高機能化、大型装置化技術の開発	427	352	294	254	180	1,507
	②ナノ溶融分散紡糸法による炭素超極細繊維製造技術の開発	185	165	121	146	96	713
	③高性能、高機能電池用部材の開発	188	203	136	91	78	696
	④高性能、高機能フィルター用部材の開発	74	90	69	59	35	327
	⑤高性能、高機能医療衛生用・産業用部材の開発	138	152	105	99	65	559
開発予算 (単位：百万円)	会計・勘定	H18fy	H19fy	H20fy	H21fy	H22fy	総額
	一般会計	822	860	675	597	487	3,441
	特別会計	0	0	0	0	0	0
	加速予算	190	81	50	62	0	382
	総予算額	1,012	962	725	649	487	3,835
	(委託)	612	517	415	400	276	2,220
	(助成)：助成率1/2	400	445	310	249	178	1,582
(共同研究)：負担率	0	0	0	0	0	0	
開発体制	経産省担当原課	製造産業局化学課					
	プロジェクトリーダー	国立大学法人 東京工業大学 教授 谷岡 明彦					
	助成(1/2)先、委託先	<p>1/2助成先：シナノケンシ株式会社、帝人株式会社、日本電気株式会社、住友精化株式会社、D I C株式会社、栗田工業株式会社、日本エアール・フィルター株式会社、帝人テクノプロダクツ株式会社、東洋紡績株式会社、日清紡ホールディングス株式会社、グンゼ株式会社 委託先：東京工業大学、再委託先：九州大学</p>					
情勢変化への対応	<p>NEDO、実施者とも、研究開発の実施に関し、活発に情報交換に務めるとともに、その取り組み方等を討議して、円滑な推進に協力した。状況変化に応じて下記の対応を行った。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・開発項目③高性能、高機能電池用部材の開発(1)パッシブ型燃料電池の開発においては、最終目標値である電池出力100mW/cm²について、主にアノード側の検討・電解質膜・触媒層の改良により近々に目標値をほぼ達成できる見込みのため、平成20年度末で本プロジェクトを卒業し、モバイル用燃料電池開発については、自社で検討を進めた。 ・プロジェクトの運営管理として、進捗状況や技術推進委員会の結果をふまえ、目覚ましい技術的成果を上げ、年度内に更なる追加配分を行い、加速的に研究を進捗させることにより、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ことが期待されるテーマに関して、研究加速財源の配分を行った。 ・開発項目②ナノ溶融分散紡糸法による炭素超極細繊維製造技術の開発では炭素超極細繊維(CNF)の応用展開の一つとして、集中研と垂直連携体制の企業とで電池用電極への適用を進めている。重要特性のひとつである、CNF単糸での熱伝導測定を実施するため平成21年10月より九州大学を再委託先として追加した。 						

<p>中間評価結果への対応</p>	<p>部材や製品の普及に向けて、実用化、事業化の可能性の高いテーマに予算を集中的に投下するといった検討をするなど、本分野の日本の優位性をプロジェクトの後半部分で是非、達成して欲しいとの提言に対して、ナノファイバーの大量生産化に向けた革新的技術を開発するという成果を受けて、本分野の日本の優位性を確立すべくナノファイバーの高機能化技術の加速を実施した。</p> <p>分野の違う部材や製品の実用化に向けての課題で共通のものがあるように考えるので、本事業内での情報の共有化による連携強化とともに、オールジャパンで知財の確立、さらなる技術展開を目指して貰いたいとの提言に対して、事業者間の情報共有を行うため、ナノファイバー運営委員会、電界紡糸グループ会、ナノ溶融分散紡糸グループ会を開催し連携を強化するとともに、ナノファイバー学会が設立（平成20年12月）されたことから、本学会を活用し知識の蓄積と技術の有効活用を通して、オールジャパンで推進した。</p>						
<p>評価に関する事項</p>	<table border="1"> <tr> <td>事前評価</td> <td>平成17年12月 実施</td> </tr> <tr> <td>中間評価</td> <td>平成20年 9月 実施</td> </tr> <tr> <td>事後評価</td> <td>平成23年度 事後評価実施予定</td> </tr> </table>	事前評価	平成17年12月 実施	中間評価	平成20年 9月 実施	事後評価	平成23年度 事後評価実施予定
事前評価	平成17年12月 実施						
中間評価	平成20年 9月 実施						
事後評価	平成23年度 事後評価実施予定						
<p>III. 研究開発成果について</p>	<p>①電界紡糸法における繊維高機能化、大型装置化技術の開発、②ナノ溶融分散紡糸法による炭素超極細繊維製造技術の開発を実施し、高分子材料や無機材料や炭素材料の超極細繊維を製造すると同時にそれらを製造するために必要な基礎データ集積や製造された繊維状材料の物性や構造の計測と評価、資源環境問題を配慮しつつ、安全性の評価等を行う。さらに、共通基盤技術で開発した成果をもとに③高性能、高機能電池用部材の開発、④高性能、高機能フィルター用部材の開発、⑤高性能、高機能医療衛生用・産業用部材の開発 を実施し以下の成果を得た。</p> <p><u>研究開発項目① 電界紡糸法における繊維高機能化、大型装置化技術の開発</u></p> <p>【最終目標】</p> <p>(1) 大型電界紡糸装置基盤技術の開発 20 μl/本・分の噴出速度、20万本のノズルに相当する機能を有する大型装置により直径50 nm、ばらつき20%以下の均質な超極細繊維の製造技術を開発する。</p> <p>(2) 電界紡糸法における繊維高機能化技術の開発 不織布状材料において60m/分以上、コーティングにおいて300m/分以上、フィラメントにおいて60m/分以上の高速連続製造を達成する。</p> <p>【成果】</p> <p>(1) 従来ノズルの百万倍以上の生成能力に相当する世界最高性能のロータリーシリンダノズルを開発した。さらに量産化にとって最大の問題である爆発の危険性を排除できる世界初のシステム「ファイバーリング (FR) 方式」を開発した。これらを用いて溶媒の種類、溶液濃度、温度、湿度、電場等の制御を行い、直径50nm以下、繊維径のばらつき20%以下を実現化した。</p> <p>(2) 溶媒・繊維塵の回収と防爆を完全にしたファイバーリング (FR) 方式を開発し各種高機能化繊維の製造高速化が容易になった。その結果実用化技術開発が促進された。</p> <p>固定化や自立膜の分離など繊維コレクターやロール系の改善、ノズル及び巻き取り系や電界制御系の改善を行った。これらの結果、不織布状材料において60m/分以上、コーティングにおいて300m/分以上、フィラメントにおいて60m/分以上の高速連続製造を可能にすることができた。</p> <p><u>研究開発項目② ナノ溶融分散紡糸法による炭素超極細繊維製造技術の開発</u></p> <p>【最終目標】</p> <p>ナノ溶融分散紡糸法では大型装置による超微細混練・紡糸技術、炭素不融化・焼成技術等の開発により、平均直径100 nm、比表面積1500 m²/g、不融化時間を現状の1/10の炭素超極細繊維の製造技術を達成する。</p> <p>【成果】</p> <p>液晶ピッチとPMP (Poly4methyl Penten) のブレンドポリマーをメルトブロー法で紡糸し、マトリックス除去・凍結乾燥・不融化・炭素化する事で超極細の融着の無い炭素繊維が出来、目標とする平均直径100 nmが達成出来た。</p> <p>リグニンをナノ溶融分散紡糸し、CO₂ 賦活条件を精査する事により目標とする比表面積1500 m²/gが達成出来た。</p> <p>ブレンドファイバー (BF) 中のピッチ繊維を不融化するのではなく、BFからマトリックスを溶剤で除去し凍結乾燥することにより、ピッチ繊維を単離し空隙の多い状態にする事が出来、目標とする不融化時間を現状の1/10に短縮する事が出来た。</p>						

研究開発項目③ 高性能、高機能電池用部材の開発

(1) パッシブ型燃料電池の開発

【最終目標】

電極の厚さが 100 μm 以下、燃料電池出力密度が 100 mW/cm^2 以上、及び低コスト化を実現する。

【成果】

燃料電池全体でのレベルアップと CNFbc による集電性・拡散性・排水性により目標 100 mW/cm^2 を達成することができた。今後は燃料電池の実用化に向けて市場の動向をウォッチングしながら研究開発を進めていく。

拡散層の厚さについては達成値 113 μm であるが、拡散層の厚さは薄ければよいというものではなく、集電性と拡散性のバランスが取れる最適値があることが判明した。

(2) 小型蓄電池の開発

【最終目標】

小型蓄電池である電気二重層キャパシタにおいて、エネルギー密度 200 Wh/l 、出力密度 10 kW/l を達成する。

【成果】

ハイブリットキャパシタにおいて、賦活化した炭素超極細繊維と易黒鉛化性炭素の粉砕品との混合電極を正極に用いることによって、電極内の炭素材料の密度を上昇させることができ、エネルギー密度を 100 Wh/l まで向上させることができた。しかし、目標とする 200 Wh/l を達成することは出来なかった。また、電極組成および電極成形法検討による電極の薄葉化を行い、出力密度を向上させることができた。これにより目標とする 10 kW/l を超える出力密度を達成することができた。

(3) 薄型電池の開発

【最終目標】

薄型電池においては、10 秒程度の高速充電が可能な薄型二次電池に必要な材料並びに製造技術を開発する。電池性能としては、厚さ 0.2 mm 、パワー密度 \sim 10 kW/L 、エネルギー密度 \sim 100 Wh/L を達成する。

【成果】

共通基盤技術 Gr が開発した綿花状炭素超極細繊維（繊維径 122 nm ）を電極に適用した厚さ 0.2 mm の薄型電池を開発し、パワー密度 12.3 kW/L 、エネルギー密度 116 Wh/L を実証した。

研究開発項目④ 高性能、高機能フィルター用部材の開発

(1) 超超純水製造プロセスフィルターの開発

【最終目標】

TOC 濃度で 0.1 ppb 以下、及び金属類を 0.01 ppt 以下を達成する。

【成果】

TOC : TOC 濃度 入口 1.5 ppm を出口 0.1 ppb とする（除去率として 99.9993 %に相当）システムとして、凝集ろ過+熱交換器+栄養剤+生物活性炭+還元処理+フィルター+純水システム+超極細繊維フィルターを考案し、0.5 ppb の水質までを確認するとともに、システム最適化で 0.1 ppb 以下を達成できる見通しを得た。

金属 : 金属濃度 入口 1 ppt を出口 0.01 ppt 以下とする（除去率として 99 %以上に相当）、イオン交換能を有する超極細繊維層を含む 3 層構造のフィルターを開発し、試作品での性能を確認した。

(2) 超耐熱性無機フィルターの開発

【最終目標】

0.1 μm 粒子が 90 %捕捉可能な初期圧力損失が 120 Pa であり、耐熱性 1,000 $^{\circ}\text{C}$ を達成する。

【成果】

無機性バインダーを使用した保護基材にて無機超極細繊維の抄紙シートを作製し、無機超極細繊維の組成および紡糸条件を検討することで、繊維径 100 nm の無機超極細繊維を作製することができた。これをフィルターユニットとして組み込んで性能評価装置を行い、0.1 μm 粒子捕集効率 99 %以上、初期圧力損失 100 Pa 以下の性能を実現した。また、1000 $^{\circ}\text{C}$ 加熱後の性能を確認し、加熱による劣化が無く、耐熱性を有することを確認した

	<p>(3) 耐熱性有機フィルターの開発</p> <p>【最終目標】 0.1 μm 粒子が 99 % 捕捉可能な初期圧力損失が 120 Pa であり、耐熱性 400°C 以上を達成する。</p> <p>【成果】 メタアラミド繊維を用いた不織布上に電界紡糸にてパラアラミドポリマーの超極細繊維(繊維径: 100 nm 以下)と比較的太い繊維径の繊維を積層し、それら 2 枚を積層面で合わせてろ材パネルとした。本複数のパネルをジグザグに配置してユニット化し、更にろ材パネル表面にパラアラミドの超極細繊維を積層する事により、初期圧力損失と捕集効率の最終目標値を達成した。尚、積層されるパラアラミドポリマーの超極細繊維は、電界紡糸条件適正化によって、残存溶剤量を出来る限り低減する事により、耐熱性の最終目標値を達成した。</p> <p><u>研究開発項目⑤ 高性能、高機能医療衛生・産業用部材の開発</u></p> <p>(1) スーパークリーンルーム用部材の開発</p> <p>【最終目標】 共通基盤で研究開発した高強度・耐熱・化学安定性を有する超極細繊維を用いて超極細活性炭繊維を一体成型することにより、初期圧損が約 130 Pa で捕集効率が 99.97 % 以上(直径 0.3 μm 粒子)を達成する。</p> <p>【成果】 当社特殊耐熱ポリマーを用いて検討を実施した。プロセス条件を種々調整・最適化することで、繊維径 70 nm ± 10 nm の超極細繊維から成るフィルター部材の作製に成功した。これを用いたフィルター部材にて試験した結果、目標を達成した。</p> <p>(2) ヒューマンインターフェース医療衛生部材の開発</p> <p>【最終目標】 平成 22 年度はウイルス除去のため、細孔サイズを 10 nm、着用快適性の指標としての透湿性能を 20,000 ml/24h/m²、0.08 mm φ の針が貫通しない構造で、血液等の侵入防止に有効な撥水性の指標としての接触角 150 ° を達成する。</p> <p>【成果】 ウイルス粒子サイズ 60 nm を 99 % 捕集(米国マスク規格 N99)する部材を開発した。さらにナノサイズ飛沫の問題も克服し、防護用マスクとしての実用性を検証した。透湿性能は 21,100 ml/24h/m² を達成。針刺し抵抗値の向上により市販世界最小径 0.2 mm φ の針刺し防止を達成。最終目標の 0.08 mm φ は現有しないが、針径がより細くなるため座屈現象により針が刺さらないと推測される。撥水性接触角は目標の 150 ° を達成。高耐水性機能開発により血液等液体中での作業環境耐性を付与する。</p> <table border="1" data-bbox="470 1310 1401 1467"> <tr> <td>投稿論文</td> <td>18 件</td> </tr> <tr> <td>特 許</td> <td>「出願済」 251 件</td> </tr> <tr> <td>その他の外部発表特許</td> <td>「学会発表」 94 件 「新聞、雑誌等発表」 67 件 「展示会」 9 件</td> </tr> </table>	投稿論文	18 件	特 許	「出願済」 251 件	その他の外部発表特許	「学会発表」 94 件 「新聞、雑誌等発表」 67 件 「展示会」 9 件
投稿論文	18 件						
特 許	「出願済」 251 件						
その他の外部発表特許	「学会発表」 94 件 「新聞、雑誌等発表」 67 件 「展示会」 9 件						
IV. 実用化、事業化の見通しについて	<p>事業の成果を適用することによって高速大型電界紡糸装置に事業化が図れるのみならず、本装置を用いた超極細繊維や超微細構造繊維製造の事業化が可能となり 2020 年頃には年間約 5000 億円の経済効果が見込まれる。またナノ溶融分散紡糸による炭素製造の事業化が図られ本方法による炭素繊維は 2020 年頃には年間約 2500 億円の経済効果が見込まれる。</p> <p>さらにこれらの製品は環境・エネルギー分野、燃料電池、情報家電分野、医療・福祉/安全・安心分野の部材として 2020 年頃には蓄電材料関係、モバイル燃料電池関係、超純水製造、スーパー環境フィルター、スーパークリーンルーム、医療用スーパー安全製品に利用されそれぞれ年間 1.5~3 兆円の経済効果が見込まれる。</p>						
V. 基本計画に関する事項	<table border="1" data-bbox="470 1736 1401 1870"> <tr> <td>作成時期</td> <td>平成 18 年 3 月 作成</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">変更履歴</td> <td>平成 18 年 6 月 P L 決定に伴い改訂。</td> </tr> <tr> <td>平成 20 年 3 月 研究開発動向に合わせ目標値の単位を一部変更に伴い改訂</td> </tr> </table>	作成時期	平成 18 年 3 月 作成	変更履歴	平成 18 年 6 月 P L 決定に伴い改訂。	平成 20 年 3 月 研究開発動向に合わせ目標値の単位を一部変更に伴い改訂	
作成時期	平成 18 年 3 月 作成						
変更履歴	平成 18 年 6 月 P L 決定に伴い改訂。						
	平成 20 年 3 月 研究開発動向に合わせ目標値の単位を一部変更に伴い改訂						

プロジェクト用語集

用語（日本語）	English	用語の説明
AR ピッチ	Aromatic Resin Pitch	合成液晶ピッチ（三菱ガス化学の商品名）
AR レジン	Aromatic Resin	合成液晶樹脂
CNF	Carbon Nanofiber	ナノサイズの炭素繊維
CNFbc	CNFbc = carbon nanofiber fabric	超極細炭素繊維布の略 高分子溶液から電界紡糸技術により作製された超極細繊維（ナノファイバー）の不織布を、高温で焼成することにより炭素化した布のこと。
CPP	Carbon precursor polymer	炭素繊維の前駆体
CP	CP (= carbon paper)	カーボンペーパー カーボンペーパーを電極拡散層に使用したもの。カーボンペーパーとは抄紙により二次元に分散した PAN 系炭素繊維を樹脂炭化物で結着した構造で標準的な拡散基材として用いられている。
DDS	Drug Delivery System	薬物送達システム
DMAc	dimethylacetamide	ジメチルアセトアミド（有機溶媒）
DMF	dimethylformamide	ジメチルホルムアミド（有機溶媒）
DTA	Differential Thermal Analysis	示差熱分析
FDA	Food and Drug Administration	米国食品医薬品局
FPD	flat panel display	筐体が板状で画面が平面になっているディスプレイ機器。代表的な方式に液晶、プラズマ、有機 EL、がある。
FR 方式	fiber-ring type	リング状の電極を持つ繊維生成部分と繊維集積部分を分離した電界紡糸の方式
FT-IR	Fourier transform Infrared Analysis	赤外線波長域の吸収スペクトルをフーリエ変換して詳細に解析する分光計・手法
ICP-MS	inductively coupled plasma mass spectrometry	Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry の略で、元素の同定・定量を行う分析機器（分析方法）。ICP によってイオン化された原子を質量分析計に導入する。質量分析計を用いるために、ppt レベルの超高感度分析が可能である。
LV	linear velocity	線速度(Linear Velocity)の意味で、ある流路断面積の容器を単位時間あたり通過する水の数で、流量を容器の断面積で割ることで計算される。
MEA	MEA =membrane electrode assembly	膜・電極接合体の略 燃料電池を構成する発電部の単位セルのことであり、一般的には、電解質膜、触媒、拡散層から構成される。

MEA 出力	MEA power density	MEA の出力密度(mW/cm ²) MEA の単位面積当たりの発電電力のことをさす。
MEMS	microelectronics mechanical system	Micro Electro Mechanical System の略で、半導体の微細加工技術を駆使して作製された微小な部品から構成される電気機械システムの総称。
meq	mili-equivalent	meq は、m (ミリ、千分の一) +eq (equivalent、当量、分子や原子が 6.02×10 ²³ 乗個集まった量=イオンの価数) のこと。
Mn	Mn	数平均分子量を表す記号。分子 1 個あたりの平均の分子量を表す。
Mw/Mn	Mw/Mn	重量平均分子量/数平均分子量を表す記号。1 に近いほど分子量分布が狭くなる。
Nafion	Nafion	デュポン社が市販するフッ素系高分子電解質
NMR	Nuclear Magnetic Resonance	核磁気共鳴
PAN	poly(acrylonitrile)	ポリアクリロニトリル (高分子)
PE	Polyethylene	ポリエチレン：エチレンの重合体
PEG	poly(ethylene glycol)	ポリエチレングリコール (高分子)
PEO	poly(ethylene oxide)	ポリエチレンオキサイド (高分子)
PLA	polylactic acid	ポリ乳酸
POU	point of use	Point of Use の略で、使用現場の意味。ユースポイントと言われることもある。
ppb	parts per billion	濃度の単位で、10 億分の 1。1ppb は、1L の水の中に 0.001mg(1μg)の物質が解けている状態。
ppt	parts per trillion	濃度の単位で、1 兆分の 1。1ppt は、1L の水の中に 0.000001mg (1ng) の物質が解けている状態。
PTFE	polytetrafluoroethylene	ポリテトラフルオロエチレン (Polytetrafluoroethylene, PTFE) とは、テトラフルオロエチレンの重合体で、フッ素原子と炭素原子のみから成るフッ化炭素樹脂。
PTMA	PTMA	poly(4-methacryloyloxy-2,2,6,6-tetramethylpiperidine-N-oxyl)。TEMPO (2,2,6,6-テトラメチルピペリジン-N-オキシル) を側鎖に有するポリメタクリレート。
PTMA	PTMA	poly(4-methacryloyloxy-2,2,6,6-tetramethylpiperidine-N-oxyl)。TEMPO (2,2,6,6-テトラメチルピペリジン-N-オキシル) を側鎖に有するポリメタクリレート

PTVE	PTVE	poly(4-vinyl-2,2,6,6-tetramethylpiperidine-N-oxide). TEMPO (2,2,6,6-tetramethylpiperidine-N-oxide) を側鎖に有するポリビニルエーテル。
PTVE	PTVE	poly(4-vinyl-2,2,6,6-tetramethylpiperidine-N-oxide). TEMPO (2,2,6,6-tetramethylpiperidine-N-oxide) を側鎖に有するポリビニルエーテル
PU	polyurethane	ウレタン結合で重合された高分子化合物。ウレタンゴムともいわれ、ゴム様の弾性を示すポリマー。
PVA	poly(vinyl alcohol)	ポリビニルアルコール (高分子)
PVC	poly(vinyl chloride)	ポリ塩化ビニル (高分子)
PVDF	polyvinylidene difluoride	ポリフッ化ビニリデン (PolyVinylidene DiFluoride)。機械的、熱的、電気特性に加え、優れた耐薬品性を持った有機材料。
RFID	radio frequency identification	電波を利用した認証 (認識) 技術の総称であるが、最近では電波による非接触通信と IC チップを利用した認証の組み合わせが RFID 技術の主流になりつつあるため、「RFID = IC チップを利用した非接触認証技術」を意味するものとして使用されつつある。
RO 膜	reverse osmosis membrane	濃度の高い側に外から浸透圧の差を超える圧力をかければ、水分子だけが濃度の高い側から低い側に抜ける現象を逆浸透と呼ぶが、これを利用する分離膜。
SEM 像	scanning electron microscope image	Scanning Electron Microscope (走査電子顕微鏡) 像の略で、絞った電子線を試料に照射し、対象物から放出される二次電子等により試料を観察する方法での観察画像。
TEM 像	transmission electron microscope image	Transmission Electron Microscope (透過型電子顕微鏡) 像の略で、薄く切り出した観察対象に絞った電子線をあて、それを透過してきた電子が作り出す干渉像を拡大して観察する方法での観察画像
TG	Thermo gravimetric Analysis	熱重量分析
TG-DTA	Thermo Gravimetry-Differential thermal analysis	TG と DTA を同時に測定する装置、手法
Tg	Tg	ガラス転移点を表す記号。高分子物質を加熱した場合にガラス状の硬い状態からゴム状に変わる温度。
TOC 濃度	concentration of total organic carbon	全有機炭素濃度。

TPD-Mas	Temperature Programmed Desorption Massspectrometer	昇温過程に発生するガスを時間差無く高感度に分析する装置
TPX	Transparent Polymer X	ポリ 4 メチルペンテン 1 樹脂(商品名)
TVP	Thermally vanishing polymer	加熱過程で消失する樹脂
ULPA フィルタ	ULPA filter	Ultra-Low Penetration Air filter。0.15 μ m の粒子を 99.9995%以上捕集できるフィルタ。
UV 分解	ultraviolet destruction	ultraviolet (紫外線) 光のエネルギーを利用して有機物等の水中物質を分解する技術
VGCF	Vapor Grown Carbon Fiber	炭化水素ガスによって精製する繊維状炭素。(気相成長炭素繊維とも呼ぶ。商品名:昭和電工で商標登録されている) 直径約 150 ナノメートル、長さが約 10 マイクロメートルの微細繊維でチューブ構造を有する。
圧力損失	Pressure Loss	空気清浄装置などの上流側と下流側の全圧差
アノード	anode	アノード 電流を流す一対の電極の中で正電荷が流れ込む側をさす。 電池では負極側をさす。
アモルファスカ ーボン	amorphous carbon	X 線回折で非結晶性を指定する炭素化合物
印刷法	printing process	原稿 (文字やパターン) に従ってインキを被印刷体に塗布するプロセス。パターニングプロセス
インピーダンス 解析	analysis by Impedance techniques	電気化学測定法の一つ。微小交流成分を重畳させて印加することにより生じた電圧と電流の振幅および位相差から複素インピーダンスを求め、さらにそのプロットから等価インピーダンスを算出する方法。
ウイルス除去部 材	virus protection material	ウイルスから防護するフィルター材料
薄型電池	thin film battery	厚さの薄い電池。
薄型有機ラジカ ル電池	thin film organic radical battery	厚さの薄い有機ラジカル電池。
海島構造	Island Structure	相溶性の低い樹脂を混練する事でできる不連続の相分離構造
液体荷電法	liquid charging method	液体を接触させる事によりエレクトレットフィルムを得る技術

SN 比	signal to noise ratio	品質工学において機能性を評価する尺度である。 機能性の評価とは、多くの品質特性を一つ一つ評価するのではなく、製品やシステムの本来のはたらき（機能）を評価しようというものである。顧客の使用条件や環境条件の違いによって、そのはたらきがどれだけ影響されにくい、あるいはばらつきにくいかの程度（機能性）を、SN 比という一つの測度で表現する。
n 型ラジカルポリマー	radical polymer with n-type redox pair	ラジカル-アニオン間で n 型の酸化還元が可能な部位を有するラジカルポリマー。
エネルギー密度	energy density	電池重量もしくは体積当たりのエネルギー密度。単位は、一般に Wh/kg、Wh/L が使用される。
エレクトレット技術	electret technology	高分子を永久帯電させる技術
遠心紡糸	Centrifugal spinning	綿飴を作るのと同じ原理で、樹脂を溶かして遠心力で紡糸する方法
黄色ブドウ球菌	Staphylococcus aureus	ヒトの表皮感染症や食中毒、肺炎、髄膜炎、敗血症などを起こす起因菌
カーボンシルク	Carbonsilk®	カーボンシルク® 絹を 500℃～3000℃の各温度で焼成加工した炭素材料のこと。焼成温度により特性が異なる。絹布地の形状を保持できるので、構造の設計が可能である。
快適部材	comfortable clothing material	快適な衣料用材料
界面重合	interfacial polymerization	有機層と水層の境界、界面、に重合体を生成させる方法。
架橋構造	crosslinked structure	直鎖状の高分子間を何らかの方法で連結して橋をかけた構造。架橋構造をもつ分子は、橋かけ密度が大きくなると三次元の網目構造となり、溶剤にも溶けず、熱にも不融の網状高分子となる。
拡散層	diffussion layer	燃料電池の構成単位である MEA における構成部材である。電解質膜と触媒層を挟みこんだ形で一体となり、アノードでは燃料であるメタノール水、カソードでは燃料である空気を拡散させ、生じた電気を流す、生成水を排出するという役割を果たす。
カソード	cathode	電気を流す一対の電極の中で正電荷が流れ出す側をさす。 電池では正極側をさす。

官能基容量	functional group capacity	官能基とは有機化合物のおおよその特徴を決める原子団であり、吸着材の場合の官能基容量とは吸着材単位重量あたりの官能基の量。
絹フィブロイン	silk fibroin	絹のフィブロイン 絹を構成するタンパク質の1つ
キャピラリー法	Capillary method	キャピラリーを使用し、ナノファイバーを成形するエレクトロスピンニング法
金属類除去用フィルター	filter for metal compounds removal	水中の鉄、ニッケル、などの重金属イオンを取り除く目的で使用されるろ過材、ろ過装置。
空隙率	porosity	ある容積の中で物質で占められていない部分、即ち空気の部分の割合を空隙率という。
血液不進入部材	protective clothing material for blood contamination	血液汚染から人体を防護する材料
結晶化度	crystallinity	高分子中に含まれる結晶の割合
ケミカルフィルタ	chemical filter	ガス状浮遊物質を吸着、除去するフィルタ
ゴアテックス	Gore-Tex	アメリカのWL ゴア&アソシエイツ社が製造販売する、膜状の高撥水・高透湿性素材
コインセル	coin type cell	コイン型の電池。
高圧噴射流	high pressure jet	ノズルより高圧で噴射される液体
交換容量	exchange capacity	単位樹物質あたりのイオン交換にかかわる全部のイオン交換基数。
孔版印刷法	screen printing process	謄写版・スクリーン印刷などで、画線部に版の裏側からインクを滲出させて印刷する方式の総称。
高容量ラジカルポリマー	radical polymer with high capacity	重量当たりの放電容量が大きなラジカルポリマー。
コート糸	coated yarn	心材を被覆した糸
コート糸フィルター	filter made of coated yarn	芯糸に極微細繊維を表面被覆したものからなるろ過材、ろ過装置。
小型蓄電池	small-type storage battery	小型の二次電池
国際半導体技術ロードマップ	international technology roadmap for semiconductors	ITRS と略されることが多く、半導体産業と製造装置の技術専門家、政府関係者、大学等の研究者によって作成される技術ロードマップ。
固体高分子型燃料電池	PEFC=polymer electrolyte fuel cell	プロトン導電性電解質膜を2つの多孔質電極で挟み込んだ燃料電池のこと。燃料は水素と空気中の酸素を使用し、発電する。 DMFCはPEFCのアノードにメタノール水溶液を直接供給するタイプである。

コンポジット化	composite	複数の材料を組み合わせること
サイクリックボルタンメトリー	cyclic voltammetry	電極電位を直線的に掃引し、応答電流を測定する電気化学的手法。 酸化・還元反応の状態を研究する手段として化学の広い分野で有効な測定法。サンプル溶液の中に電極を浸し、電位を繰り返し走査して流れる電流を計測することで、物質に関する反応速度定数や標準酸化還元電位等が分かる。
サイクル特性	cycle property	充放電を繰り返した後の電池の特性。充放電サイクルに伴う容量維持率を指すことが多い。
殺菌活性値	antibacterial activity	社団法人繊維評価技術協議会（JTETC）で定められている基準で、接種直後の標準布の生菌数（A）を18時間培養後の加工布の生菌数（C）で除した値。殺菌活性値には「一般用途」と「特定用途」があり、「一般用途」では黄色ブドウ球菌・肺炎桿菌で試験を行い、対数値が0以上で効果があるとされている。又「特定用途」では、黄色ブドウ球菌・肺炎桿菌のほかにMRSAを用いた試験が行なわれ、対数値が0を超えれば効果があるとされている。
CO ₂ 賦活処理	CO ₂ activation	CO ₂ を用いた炭素材料の活性化（高比表面積化）
実験機	labo-scale device	実験室用の電界紡糸装置
重金属イオン除去フィルター	filter for heavy metal removal	水中の鉄、ニッケル、などの重金属イオンを取り除く目的で使用されるろ過材、ろ過装置。
スーパーキャパシタ	Super Capacitor	従来のコンデンサーより、はるかに大容量のコンデンサー。電気二重層コンデンサの NEC トーキン株式会社の商品名。
スーパークリーンルーム	super clean room	JIS クラス 3 レベルの次世代クリーンルーム。フィルタ性能以外に省エネ設計も求められる。
スクラバー	scrubber	気体浄化装置
スリップフロー	slip flow	繊維層エアフィルタにおいて、繊維径が流体分子サイズ付近になると生じる流体の滑り現象。通気抵抗が小さくなる。
スルホン酸系コポリマー	sulfonated copolymer	スルホン酸基を有する共重合体。
静菌活性値	bacteriostatics activity	社団法人繊維評価技術協議会（JTETC）で定められている基準で、18時間培養後の標準布の生菌数（B）を18時間培養後の加工布の生菌数（C）で除した値。試験は黄色ブドウ球菌で行なわれ、対数値 2.2 以上で効果があるとされている。

接触角	Water contact angle	表面の親水・撥水性の測定方法と基準。値が小さいほど親和性は良い
セラミックバッグ	ceramic bag	セラミック繊維を焼成加工し、円筒状にしたフィルタ
セル電圧	cell voltage	燃料電池における単位セルの発電電圧のこと。
体積抵抗	volume resistivity	体積当たりの導体の電気抵抗
ダイヤフラムポンプ	diaphragm pump	往復動ポンプのピストンを伸び縮みする柔らかい膜に置き換えた構造のポンプで、液体を攪拌せずに定容積の輸送が可能。密閉されているため、移送物の漏れや空気の混入がなく、薬品注入などに用いられる。
炭素超極細繊維	carbon nanofiber	100nm 以下の直径を持つ炭素繊維。
蓄電性プラスチック	charge storage plastics	電気を蓄えることができるプラスチック材料
超極細繊維	ultra thin fiber	ナノメートルスケールの直径を持つ繊維
超極細構造繊維	ultra fine-structured fiber	表面または内部にナノメートルスケールの構造を持つ繊維
超超純水	ultrapure water	超純水とは金属イオンや微生物などの不純物をほとんど含まない、純度 100%の理論的に水に限りなく近い高純度の純水の意味。超超純水は超純水のさらなる高純度水製造用フィルターを目指す意味での造語。
電界紡糸	electrospinning	高電場を利用した紡糸法
電気二重層キャパシタ	Electric Double Layer Capacitor	電極表面上に電気二重層を形成することによりイオンを吸着・脱離し、これに伴い電気を蓄電・放電する蓄電デバイス。高出力密度・長寿命を有する。
透湿性	moisture permeability	湿気（水蒸気）の透過性
塗工法	coating process	ものの表面に、装飾・保護などの目的で塗料を塗ったり吹きつけたりして被膜をつくること。被塗装体全面に塗料を塗布するプロセス。被膜作製プロセス。
Na 置換法	sodium substitution method	合成した超極細繊維に含まれるアニオン交換基のナトリウムを水素に置換する方法。
ナノ熔融分散紡糸法	Nano Melt Dispersion Spinning Method	炭素繊維前駆体と熱消失樹脂のポリマーブレンドを紡糸し、炭素ナノファイバーを作製する方法
ニトロニルニトロキシド置換ポリノルボルネン	polynorbornene derivative bearing the nitronyl nitroxide unit	ポリノルボルネン構造を主鎖に、ニトロニルニトロキシド化合物を側鎖に有するポリマー。
バイオリアクター	bioreactor	固定化酵素や微生物を触媒として、物質の分解・合成などを行う装置、またはシステム。

ハイブリッドキャパシタ	hybrid capacitor	電気化学反応を利用したキャパシタ
ハイブリッドフィルター	hybrid filter	ハイブリッドとは、二つまたはそれ以上の異なるものを組み合わせて一つの目的を成すものを言う。本開発では、金属イオン除去、有機物除去、両方の機能を持つフィルターのこと。
パッシブ型燃料電池	passive type fuel cell	燃料電池には燃料の供給方式によりアクティブ型とパッシブ型がある。アクティブ型は燃料を強制供給するタイプで、高出力が得られるが、ポンプやファンを使用するため小型化が難しいという問題がある。パッシブ型は燃料を自然供給するタイプで、ポンプやファンの必要がないことから小型化が可能のためモバイル機器に適している。
パッシブ型 DMFC	passive type direct methanol fuel cell	パッシブ型メタノール直接形燃料電池 燃料電池のうち、メタノール水を燃料に使用する燃料電池を DMFC と呼ぶ。燃料電池は燃料であるメタノール水溶液と空気中の酸素から発電する。燃料の供給方式が自然供給であるものをパッシブ型と呼ぶ。
パラアラミド	Para-Aramid	パラ型全芳香族ポリアミド
針刺し防止部材	protective material to prevent contaminated needle	汚染された注射針から人体を守る材料
パワー密度	power density	電池重量もしくは体積当たりのパワー密度。単位は、一般に W/kg、W/L が使用される。
Beads 数	number of beads	荷電紡糸の際に生じるビーズ状物質の数
非晶性炭素	amorphous carbon	非晶性の炭素材料
ヒューマンインターフェース医療衛生部材	human interfase matelials for medical and health care	人体防護の目的で主に医療衛生従事者に快適・安全・安心を提供する衣料材料
評価用試料作成装置	product-scale device	評価試料作成用の電界紡糸装置
表面改質	surface modification	化学的方法、物理的方法によって表面性状を変化させる手法。
表面修飾	surface modification	官能基による修飾、官能基で修飾した粒子層の形成、あるいは機能性材料層の形成等である表面性状を変化させる手法。
ピロリン系化合物	pyrroline derivatives	ピロリン骨格を有する化合物。
賦活化技術	activation technology	炭化物から高比表面積を得る技術
複合電極	composite electrode	二成分以上の電極材料を複合化することにより作製された電極。

複合溶融紡糸法	conjugated melt spinning	2種の高分子を組み合わせて行う溶融紡糸法
不純物ポリッシングフィルター	polishing filter for contaminants removal	超純水製造システムのサブシステムに設置される極微量の不純物を除去するためのろ過材、ろ過装置。
不融化	Stabilization	整形した熱可塑性の樹脂を、炭素化過程で溶けないようにする工程。安定化とも言う。
プラトー電位	plateau voltage	一定の状態にある電位。
プリーツ加工	Pleat Processing	フィルタのろ過面積を増加させるための折込加工
プロキシル置換ポリエーテル	proxyl-substituted polyether	エチレンオキシド構造を主鎖に、ピロリン系化合物を側鎖に有するラジカルポリマー。
分子シミュレーション	molecular dynamics simulation	多数の原子や分子が集まってできた系の構造や動的性質を計算機を用いて研究する手法。
米国マスク規格 N99	NIOSH standard protections. N99-Particulate Filter (99% filter efficiency level).	米国労働安全衛生研究所が定めたフィルター（マスク）の規格。Nはオイルミスト非対応（not resistant to oil）、99は平均75nmのウイルス様粒子（NaCl結晶）を99%以上をフィルトレーションし、通気抵抗が343Pa以下であるマスク素材。
β-型結晶	beta-form crystal	PVDFの結晶型、強誘電性、圧電性、焦電性を示す
BET比表面積	BET surface area	BET法で測定した単位重量当たりの表面積
HEPAろ材	HEPA Filter medium	HEPAフィルタに使用されているガラス繊維シート、高分子不織布、高分子多孔膜など。
HEPAフィルタ	HEPA filter	High efficiency particle air filter。0.3μm以上の粒子を99.97%以上捕集できるフィルタ。
偏光格子	polarization grating	特定の方向にしか振動しない光（偏光）を取り出す格子
膨張性炭素	exfoliated carbon	グラファイト層間が膨張する特徴を有する炭素材料
捕集効率	Particle Removal Efficiency	空気清浄装置などにおいて、それを通過する気体中の粒子を捕集する効率
ポリッシングフィルター	parts per billion	超純水製造システムのサブシステムに設置される極微量の不純物を除去するためのろ過材、ろ過装置。
マトリックス	matrix	一般には複合材料の母相を指すが、本研究では海島構造の海を構成する成分
マイクロ孔	Micropore	2nm以下の細孔
メソ孔	Mesopore	2-50nmの細孔
メソフェーズピッチ	Mesophase Pitch	液晶（結晶のような秩序を持つ液体）を含むピッチ

メタルマスク	metal mask	ステンレスなどの金属薄板にレーザーまたはエッチングにより画線部の内部パターンを切り抜いた孔版印刷用版。
目付け、目付け量	(fiber) density	布や不織布などの単位面積当たり(普通は1 m ² あたり)の重量
メルトブロー法	melt blow	高温空気を利用した高分子溶融体紡糸法
有機系スラリー	organic salary	細かい固体粒子が有機溶媒中に安定な状態で混合され、懸濁液となっているスープ状あるいはかゆ状となっているもの
ユビキタスデバイス	ubiquitous devices	ユビキタスデバイスとは、無線通信やインターネットなどの情報ネットワークによってユビキタスコンピューティングを実現しているデバイス
ラジカル電池	Radical Battery	有機ラジカルポリマーを用いた蓄電池
ラジカルポリマー	radical polymer	不対電子を1個またはそれ以上持ち、開殻電子配置をとった有機ラジカル分子の中で、不対電子を含むラジカル部位が π 共役系に組み込まれ、または \backslash および立体的に保護され、室温大気下でも十分な寿命を有する安定な有機ラジカル分子を高分子化したもの。
ラジカル利用率	utility rate in radical	充放電反応に利用されるラジカルサイトの割合。
ラミネーション、ラミネート	lamination	シート(シート状の物質)複数枚を積層して貼りつける事。貼り付けた物。
リグニン	Lignin	木材中のセルロースに伴って20~30%存在する高分子
レート特性	deicharge-rate property	電流の大きさを変化させ放電した場合の電池特性。主に放電容量の変化を指す。
レビトロポンプ	levitro pump	インペラ(ロータ)を磁気浮上させ、ステータの磁界内で回転させることで送液するポンプ。機械的接触がないためクリーンな送液が可能。
ロータリーシリンダ	rotary cylinder	遠心力を利用して溶液を供給する電界紡糸装置の紡糸ノズル部分
ロールサンプル	roll sample	長尺巻きサンプル
海島構造	sea-island structure	連続相ポリマー(海)中に、他のポリマーが不連続相として島状に分散した構造。ポリマーブレンドのもっとも代表的な構造。
ピッチ	pitch	木材や石炭等を乾留して得られる液状タールや、原油の蒸留による残渣油などを熱処理により重縮合して得られる常温で固体状物の総称。
ブレンドチップ	blend chip	海島構造で構成されたポリマーブレンドのチップ(小片)
ブレンドファイバー	blend fiber	ブレンドチップを繊維状に引き延ばしたもの。

ポリマーアロイ	polymer alloys	複数のポリマーを混合することで、単一ポリマーにはない新しい機能や特性を発現させた高分子物質のこと。
ポリマーブレンド	polymer blend	2種以上のポリマーを物理的に分散させて海島構造を形成し、その組織を小さくして見掛け上均一相にするプロセスで作られたポリマーアロイ。
VGCF	Vapor grown carbon fiber	金属触媒を利用した化学気相析出法で作製した炭素ナノファイバー。昭和電気(株)が登録した商品名。一般名としては catalytic chemical vapor deposition (C-CVD)。
FIB	focused ion beam	Focused Ion Beam の略で、収束されたイオンビームのこと。高エネルギービームの場合は試料の切断を、低エネルギービームの場合は試料表面の微小な領域に蒸着することができる。黒鉛のように、簡単に層面が迂ったり剥離したりして機械的に変形しやすい物質の試料調製に有効である。
黒鉛化	graphitization	高温処理により、炭素化物質の積層構造を発達させ、三次元規則構造へと変換させるプロセス。1500℃以上で三次元化は始まるが、一般的には2200℃以上で行われる。
炭素化	carbonization	主として有機物を原料にして熱分解や重縮合反応などを起こしながら炭素以外の元素を放出して炭素含有率の高い固体を生成させるプロセス。
電荷移動錯体	charge-transfer complex	電子供与体 (D) から電子受容体 (A) への電子の部分移動によって生じる結合力 (電荷移動力) で形成される分子化合物。ベンゼンなどの芳香族炭化水素 (D) とヨウ素 (A) , 脂肪族アミンやエーテル類 (D) とヨウ素 (A) , 芳香族化合物 (D) とキノン類 (A) など多数の組合せが知られている。
凍結乾燥	freeze-dry	溶液を凍結させ、減圧下で溶剤を昇華させる乾燥法。冷凍乾燥とも言われ、熱に対し不安定な物質、常法では泡立ちなどのために減圧濃縮しにくい物質の乾燥に用いられる。インスタントコーヒーの製造がよく知られている。
ドラフト比	draft ratio	紡糸において糸の引き伸ばされる比率をいう。
賦活	activation	炭素材料の細孔構造を発達させ、高比表面積化を図る活性炭の調製法。水蒸気や空気などを用いる物理 (ガス) 賦活法と、KOH などを用いる化学賦活法とがある。
不融化	stabilization	架橋構造の導入などにより熱可塑性樹脂を軟化溶解させなくするプロセス。炭素繊維の作製上重要な工程で、加熱空気による酸化架橋が汎用されている。ヨウ素による電荷移動策体の形成を利用する方法も知られている。

メルトブロー	melt blow	口金から加圧紡糸したポリマー繊維を音速域の熱風で再延伸する紡糸法。径が $1 \sim 3 \mu\text{m}$ の超極細繊維を得ることができる。不織布の製造に使用されている。
四端子法	four terminal method	導伝性の高い材料ではプローブの接触抵抗が問題となる。その為、試料の外側に電流測定用のプローブを、内部に試料による電位降下測定用のプローブの4つの端子を付け接触抵抗を消去する測定法。
アスペクト比	aspect ratio	縦横比。補強用繊維ではこの値が重要とされる。
結晶子サイズ Lc	crystallite size Lc	炭素六角網面の積み重なり大きさ(結晶子サイズ)。d 0 0 2と同様に黒鉛化(結晶化)度の指標として使われる。
黒鉛層間距離 d002	graphite interlayer spacing d002	炭素や黒鉛は炭素六角網面の積層構造で構成される。構成炭素六角網面間の距離(d 0 0 2)で、黒鉛化(結晶化)度の指標として使われる。
細孔	pore	固体中に存在する空隙の事。IUPACにより、2nm未満をマイクロ孔、2~50nmをメソ孔、50nmより大きいものをマクロ孔と分類されている。
パーコレーション閾値	percolation threshold	導電性物質を絶縁性の樹脂等に混合した時、導伝性が現れる混合量の臨界値。
放射率	emissivity	ある温度の物体が熱放射を放するとき、その物体と同じ温度の黒体放射との比のこと。波長、放射の方向(表面粗さ)、偏光成分などによって異なる。
エネルギー密度	energy density	電池重量あるいは容積当たりどれだけのエネルギーを蓄えることができるかを表す数値(電力容量)で、内部抵抗等を見捨てる微少使用電力下で測定される。単位は Wh/kg あるいは Wh/cm ³ で表す。
パワー密度	power density	電池の重量あるいは容積当たりに取り出すことができる最大の電力量。単位は W/kg あるいは W/cm ³ 。
電気二重層キャパシター(EDLC)	electric double-layer capacitor	固体電極と電解質溶液のように2つの異なる相が接触すると電位差が生じ、界面に正、負の電荷が非常に短い距離で配列した層(電気二重層)が形成される。この現象を利用した蓄電装置で、イオンの吸脱着と言う物理現象を利用するため高速充放電が可能で劣化しにくい。その反面、蓄電量が小さい。
スーパーキャパシタ	supercapacitor	NEC が登録した電気二重層キャパシタの商品名

電気化学キャパシタ	electrochemical capacitor	明確な誘電体が存在せず、電極と電解質との界面にエネルギーを貯蔵する比較的新しいタイプのキャパシタである。電気化学キャパシタでも、二重層容量を主として利用するものはEDLCと称され、一方、電荷移動反応による擬似容量を主として利用するものはシュードキャパシタあるいはレドックスキャパシタと称される。
レドックスキャパシタ	redox capacitor	固体内部の酸化還元(Reduction-Oxidation→REDOX)反応を利用する蓄電池。RuO ₂ ・xH ₂ Oなどが用いられている。酸化還元反応を利用するレドックスキャパシタと二次電池との境界は非常に曖昧であり、二次電池と同じ酸化還元反応でも、キャパシタ的に使用すれば電気化学キャパシタと称される。

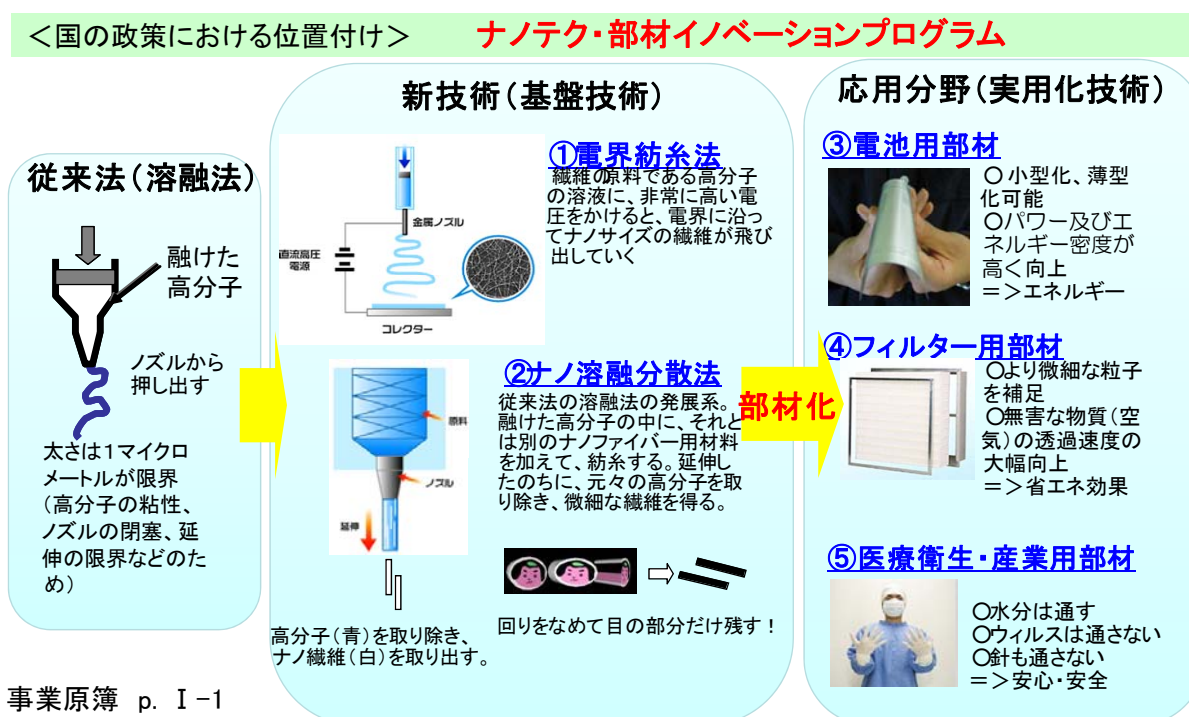
I. 事業の位置付け・必要性について

1. NEDOの関与の必要性・制度への適合性

1. 1 NEDOが関与することの意義

我が国の材料産業は、国際的に高い技術力と競争力を有し、我が国の経済社会の発展を支えているが、川下産業との取引のオープン化に伴いユーザーとの連携の希薄化が進行する一方で、汎用的な材料技術はアジア諸国の技術向上によるキャッチアップが進行している。そのため我が国において産学官を含む連携の強化（川上川下の垂直連携、材料創成と加工の水平連携など）を図ることで、次世代の部材分野での我が国のイノベーションを促進することが喫緊の課題となっている。

本プロジェクトは、『情報通信、ライフサイエンス、環境、エネルギーなど、あらゆる分野に対して高度化あるいは不連続な革新（ジャンプアップ）をもたらすナノテクノロジー及び革新的部材技術を確立するとともに、その実用化や市場化を促進することで、我が国産業の国際競争力の維持・強化や解決困難な社会的課題の克服等を可能とすること』を目的とした「ナノテク・部材イノベーションプログラム」（図1.1-1、2、3）の一環として取り組むものである。極めて広範囲な産業領域に波及する材料・部材領域について、ユーザー製造業等との連携（川上・川下連携）を促進するプロジェクト体制（垂直連携）で実施することで、高度な部材産業群の「すり合わせ力」を一層強化する。



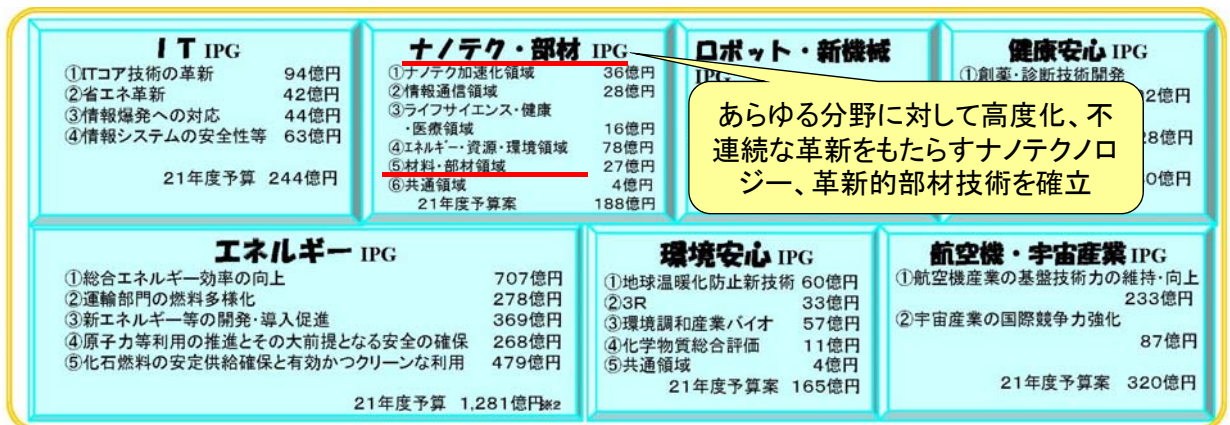
新技術でナノファイバーを創成→機能発現→部材産業分野へ展開

図1. 1-1 プロジェクトの概要と国の政策における位置付け

<国の政策における位置付け> イノベーションプログラム

イノベーションプログラムについて

1. 「イノベーションプログラム」の中での体系的推進 (Inside Management & Accountability)
 - 経済産業省の全ての研究開発プロジェクトは、政策目標毎に7つの「イノベーションプログラム」の下で体系的に推進。
 - 各プログラムの中で、政策目標に向けたプロジェクトの位置付けと目標の明確化、市場化に必要な関連施策(規制改革、標準化等)との一体化を図り、イノベーション実現に向け各プロジェクトを効果的に推進。
2. 「技術戦略マップ」に基づく戦略的企画立案 (Outside Communication & Networking)
 - 先端産業技術動向を把握し、国が取り組むべき技術課題とイノベーションの道筋を明確化するため、産学官で協働するロードマッピング手法を導入(『技術戦略マップ 2005/2006/2007/2008』)。
 - 研究開発プロジェクトの選定に当たっては、イノベーションプログラムにおける政策目標を基に技術戦略マップに位置付けられた重要技術課題を抽出し戦略的に企画立案。



あらゆる分野に対して高度化、不連続な革新をもたらすナノテクノロジー、革新的部材技術を確立

図 1. 1-2 イノベーションプログラムの中での位置付け



図 1. 1-3 ナノテク・部材イノベーションプログラムの中での位置付け

材料技術は、材料の特性・機能の向上が製品機能の向上に直結するなど産業技術全般に大きな波及効果をもたらす基盤技術であるが、昨今の国際競争の激化により、さらなる飛躍的発展のキーテクノロジーとして革新的な新材料創製技術が求められている。総合科学技術会議の科学技術基本政策策定の基本方針においても、「ナノテクノロジー・材料分野」を国家的・社会的課題に対応した研究開発の重点化対象とすることについては、多様な視点から概ね妥当と評価しうるとされている。

本プロジェクト（先端機能発現型新構造繊維部材基盤技術の開発プロジェクト）は繊維状材料に対してナノオーダーの成形加工や微細な界面加工ならびに複合化を行うことで材料のパフォーマンスを高機能化し、革新部材を創出することを目的としている。このために電界紡糸（エレクトロスピニング）及び熔融極細繊維紡糸（ナノ熔融分散紡糸）の大型装置を用いて高分子材料や無機材料や炭素材料の超極細繊維を製造すると同時にそれらを製造するために必要な基礎データ集積や製造された繊維状材料の物性や構造の計測と評価を行う。さらに用途展開を行う上で必要な超微細構造制御をはじめとする制御技術、被覆技術（コート）、複合化技術等の基盤技術構築を図る。これらの繊維状材料は実用化技術開発で加工され各分野の部材として商品化される。本研究開発は、豊かで快適な人間生活を送りたいという国民の願望のもとに高度情報社会、省エネ・省資源、安全・安心、健康長寿命を目指した社会の実現に向けて、科学的知見を基盤に革新的な新材料創製技術を通じて深く寄与するものである。

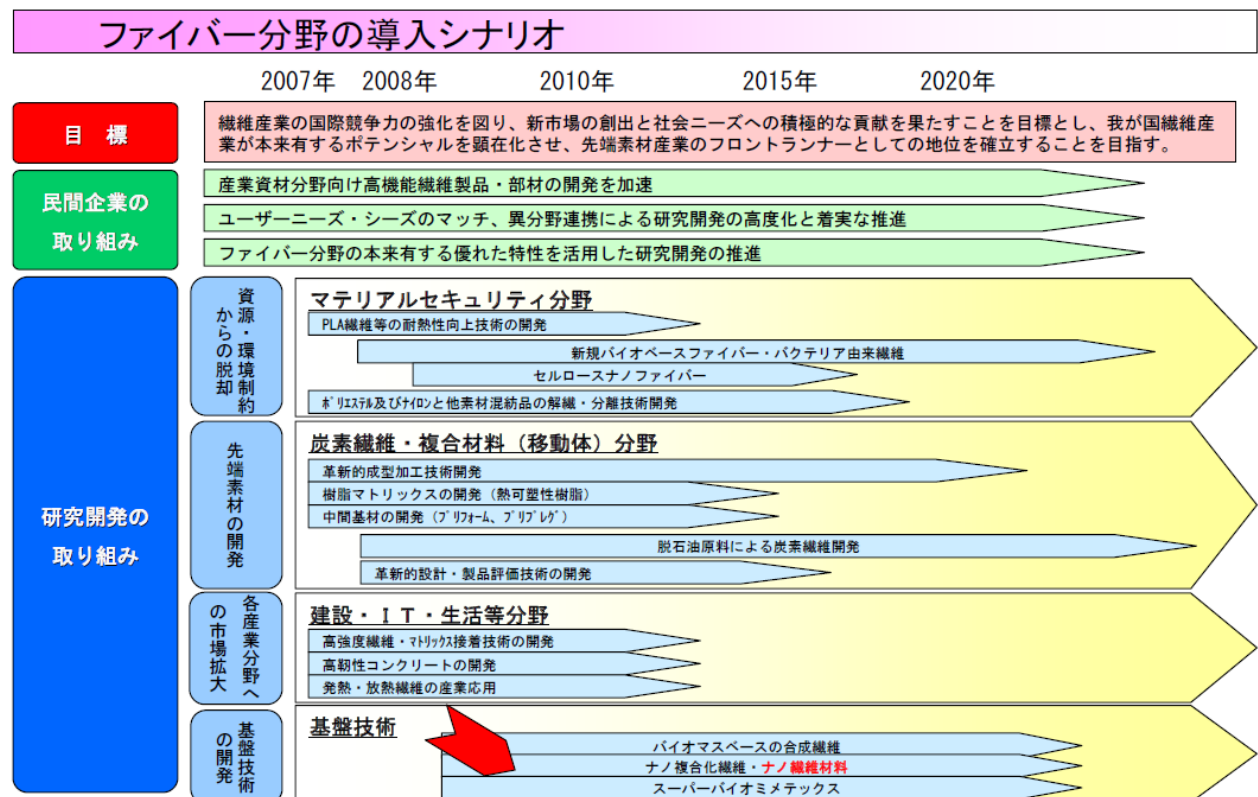


図 1. 1-4 技術戦略マップ（ファイバー分野）での位置付け

本プロジェクトは技術戦略マップの「ファイバー分野」「環境・エネルギー分野、燃料電池、情報家電分野、医療・福祉／安全・安心分野」等にも位置づけられている（図1. 1-4）。特に近年の状況は、海外においても、米国やヨーロッパを中心にこの方面の研究開発に資金や研究者開発者を投入して精力的な取り組みがなされており、グローバルな開発競争となっている。しかしわが国の現状は、高い科学的水準や技術開発力を有しているにもかかわらず、大学・研究機関や民間会社において個別に行われているにすぎない。このため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、産学の科学的、技術的ポテンシャルを結集して、共通基盤技術（水平）の上に複数の実用化技術（垂直）の展開を図るというこれまでにない新しいプロジェクト形式を組み、産学の連携を推進しつつ産業技術を組織的かつ戦略的に展開することを事業方針とし、本プロジェクトを実施する。さらに、NEDOのフレキシブルな研究開発マネジメント（豊富な経験に基づく企画・立案、プロジェクト期間中の調査に基づく計画見直しや状況変化に応じた予算執行や体制変更、終了段階での実用化に向けたマネジメント）を活用し、本プロジェクトを推進する（図1. 1-5、6）。

以上のような国家的課題は、個々の民間企業の経済的な観点に基づく自主的努力に単純に任せる分野ではなく、政府が主体的に進める重点分野の一つであり、ナノテク・部材イノベーション分野は、従来からNEDOがこれまでに蓄積してきた知識、実績を生かし、推進すべき課題である。

NEDOが関与することの意義

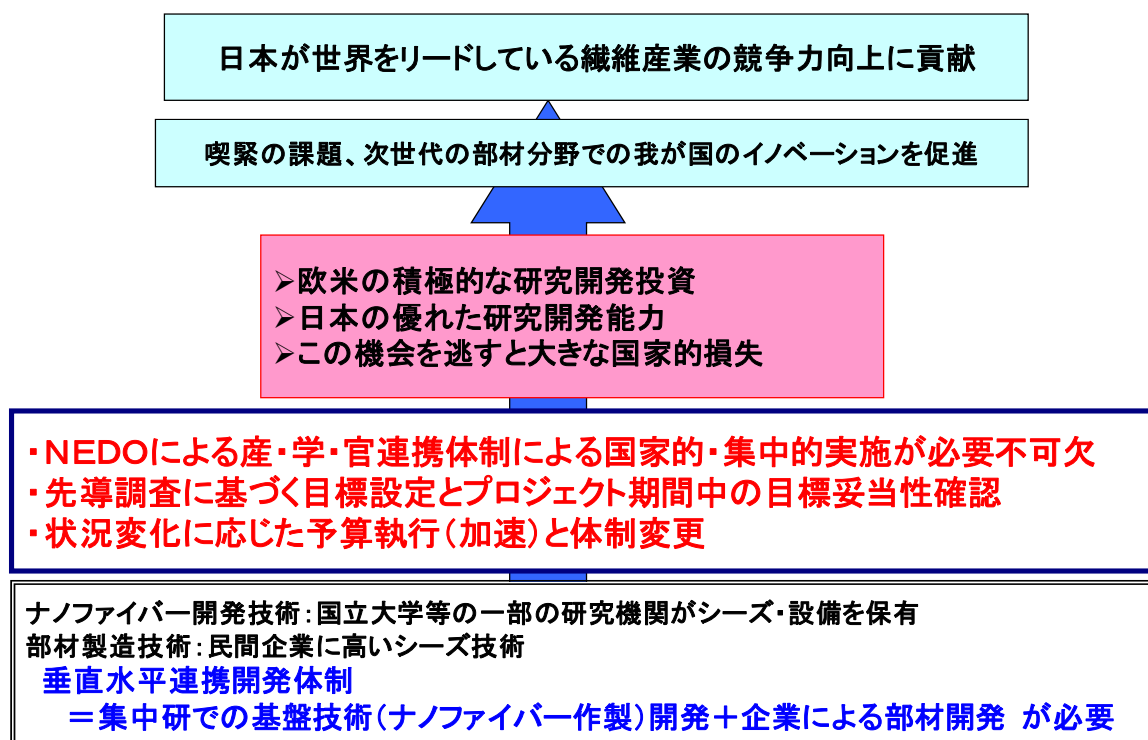


図1. 1-5 NEDOが関与することの意義 1

NEDOが関与することの意義

1. プロジェクト企画・立案段階

- ・基本計画策定 ← 先導調査により、具体的な課題、目標を設定
- ・プロジェクト実施体制 ← 豊富なネットワークおよび知見をいかした産学緊密連携体制を構築
- ・知財マネジメント ← 実用化促進のための知財の枠組決定

2. プロジェクト期間中

- ・フレキシブルな予算管理 ← 進捗状況、評価結果に対応した加速財源配分
- ・目標妥当性確認 ← 海外企業、研究機関との情報交換による競合技術比較
- ・フレキシブルな体制変更 ← 新規評価技術に関して再委託先追加

3. プロジェクト終了段階

- ・実用化促進のマネジメント ← 経産省実証事業へ展開
- ・研究開発の高度化 ← 高機能化、新規機能開発をNEDO事業で推進

図1. 1-6 NEDOが関与することの意義2

1. 2 実施の効果（費用対効果）

本プロジェクトの事業規模は、加速財源込みで 38 億円を執行しているが、本事業の成果を適用することによって総額 4 兆円を超える市場を創出することが期待できる。

すなわち、

・高速大型電界紡糸装置の事業化が図れるのみならず、本装置を用いた超極細繊維や超微細構造繊維製造の事業化が可能となり 2020 年頃には年間約 5000 億円の経済効果が見込まれる。またナノ溶融分散紡糸による炭素製造の事業化が図られ本方法による炭素繊維は 2020 年頃には年間約 2500 億円の経済効果が見込まれる。

・さらにこれらの製品は環境・エネルギー分野、燃料電池、情報家電分野、医療・福祉／安全・安心分野の部材として 2020 年頃には蓄電材料関係、モバイル燃料電池関係、超純水製造、スーパー環境フィルター、スーパークリーンルーム、医療用スーパー安全製品に利用されそれぞれ年間 1.5～3 兆円の経済効果が見込まれる。

以上の経済効果を合計すると市場規模はシステムも含めて 4 兆 6650 億円となり、非常に大きな市場創出効果が期待できる。

実施の効果（費用対効果）

<開発費用(国費合計)>

5年間で約38億円(平成18年度～平成22年度:実績額(加速込))

<効果>

市場の効果(2020年時点) 4. 7兆円

(内訳)

電池関係	9500億円
ヒューマンインターフェース医療部材	2兆円
クリーンルーム部材・フィルター関連	1兆3850億円
基盤技術(製造装置+炭素繊維)	3300億円

図 1. 2 - 1 実施の効果（費用対効果）

1. 2. 1 プロジェクトの概要

概要

電界紡糸や溶融紡糸等により創製される極微細な繊維状材料に対してナノオーダーの成形加工や微細な界面加工ならびに複合化することで材料を高機能化した革新的部材を創出する。高機能新材料を求めるユーザーの要望を満たす繊維の極微細加工と高次複合化を解決する基盤技術開発を行う。

技術的目標及び達成時期

2010年度までに、電界紡糸法による繊維高機能化、大型装置化技術およびナノ溶融分散紡糸法による超極細炭素繊維製造技術を開発し、これら基盤技術を活用して、高性能・高機能電池用部材、高性能・高機能フィルター用部材、高性能・高機能医療衛生用・産業用部材を開発する。

研究開発期間

2006年度～2010年度

研究開発予算（2006年度～2010年度 実績）

研究開発予算(実績値、加速込)

単位 百万円

研究開発項目		H18	H19	H20	H21	H22	合計
委託	①電界紡糸法における繊維高機能化、大型装置化技術の開発	427	352	294	254	180	1,507
	②ナノ溶融分散紡糸法による炭素超極細繊維製造技術の開発	185	165	121	146	96	713
	小計	612	517	415	400	276	2,220
1/2助成	③高性能、高機能電池用部材の開発	188	203	136	91	78	696
	④高性能、高機能フィルター用部材の開発	74	90	69	59	35	327
	⑤高性能、高機能医療衛生・産業用部材の開発	138	152	105	99	65	559
	小計	400	445	310	249	178	1,582
その他	ナノファイバーイノベーション創出NEDO講座	-	-	-	-	33	33
合計		1,012	962	725	649	487	3,835

表 1. 2 - 1 研究開発予算

1. 2. 2 市場規模の見通し

本事業の成果を適用することによって高速大型電界紡糸装置に事業化が図れるのみならず、本装置を用いた超極細繊維や超微細構造繊維製造の事業化が可能となり 2020 年頃には年間約 5000 億円の経済効果が見込まれる。またナノ溶融分散紡糸による炭素製造の事業化が図られ本方法による炭素繊維は 2020 年頃には年間約 2500 億円の経済効果が見込まれる。

さらにこれらの製品は環境・エネルギー分野、燃料電池、情報家電分野、医療・福祉／安全・安心分野の部材として 2020 年頃には蓄電材料関係、モバイル燃料電池関係、超純水製造、スーパー環境フィルター、スーパークリーンルーム、医療用スーパー安全製品に利用されそれぞれ年間 1.5～3 兆円の経済効果が見込まれる。以上の経済効果を合計すると下図に示すように、市場規模はシステムも含めて 4 兆 6650 億円となり、非常に大きな市場創出効果が期待できる。

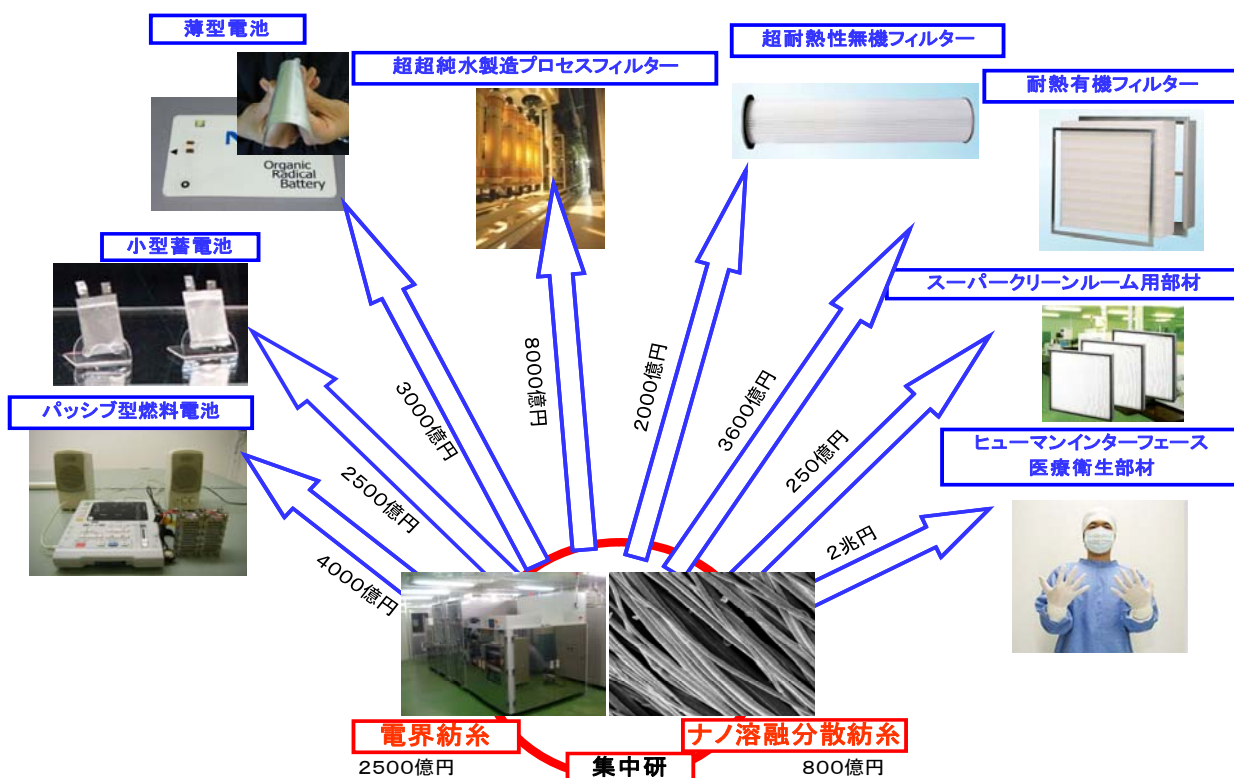


図 1. 2 - 2 本事業が関係する市場規模の統計

【共通基盤技術】

事業の成果を適用することによって高速大型電界紡糸装置に事業化が図れるのみならず、本装置を用いた超極細繊維や超微細構造繊維製造の事業化が可能となり 2020 年頃には年間約 5000 億円の経済効果が見込まれる。またナノ溶融分散紡糸による炭素製造の事業化が図られ本方法による炭素繊維は 2020 年頃には年間約 2500 億円の経済効果が見込まれる。

さらにこれらの製品は環境・エネルギー分野、燃料電池、情報家電分野、医療・福祉／安全・安心分野の部材として 2020 年頃には蓄電材料関係、モバイル燃料電池関係、超純水製造、スーパー環境フィルター、スーパークリーンルーム、医療用スーパー安全製品に利用されそれぞれ年間 1.5～3 兆円の経済効果が見込まれる。

【情報家電・燃料電池分野】

本技術開発によるパッシブ型燃料電池は携帯テレビ電話、無充電モバイルパソコン、電動スクーター・カート、ロボット、パワースーツ等に展開されると最終的な市場は 5 兆 4 千億円と予想されている。

本小型蓄電池技術において開発される電極材料はキャパシター以外にも、燃料電池や Li 電池に応用できる可能性がある。波及効果を含めた市場規模は 2010 年 1000 億円、その後車載用が展開されれば最終的に 2 兆円と予想されている。そのうち、キャパシター用炭素電極材料は、2015 年には 2000 億円が見込まれる。

本事業では、薄型二次電池正極材料の導電性向上に向けた正極材料並びに超極細炭素繊維、及びそれらの高次複合化技術の開発を行なうとともに、薄型電極作製技術を開発し電池性能の実証を行なう。製品イメージは、薄型フレキシブルで高速充電可能なユビキタス電池であり、アクティブ型の IC カードやタグ、ウェアラブルデバイス、電子ペーパー等の広範なユビキタスデバイスへの搭載が期待できる。本事業終了後、信頼性向上と低コスト化等の検討を経て、2013 年頃までに実用化する見通しである。これらの技術の普及により、2020 年時点で 1 兆円程度の市場創出効果が見込まれる。

【環境・エネルギー分野】

本技術によって開発される、超超純水用プロセスフィルターはデバイス産業のみならず食品や医薬品等様々な分野に展開できる。無機系の超耐熱性超極細繊維はフィルター以外にも、各種蓄電材料のセパレーターや複合材料などに応用できる可能性がある。耐熱性有機フィルターはアスベスト代替品として利用できる。

超超純水製造プロセスフィルターは、2010 年以降の市場規模は波及効果も含めて 8200 億円と想定されている。大気汚染防止用装置・資材の 2010 年市場規模は 3 兆円、そのうち超耐熱性無機及び耐熱性有機フィルターの市場規模は 8200 億円と予想されている。

【医療・福祉／安心・安全分野】

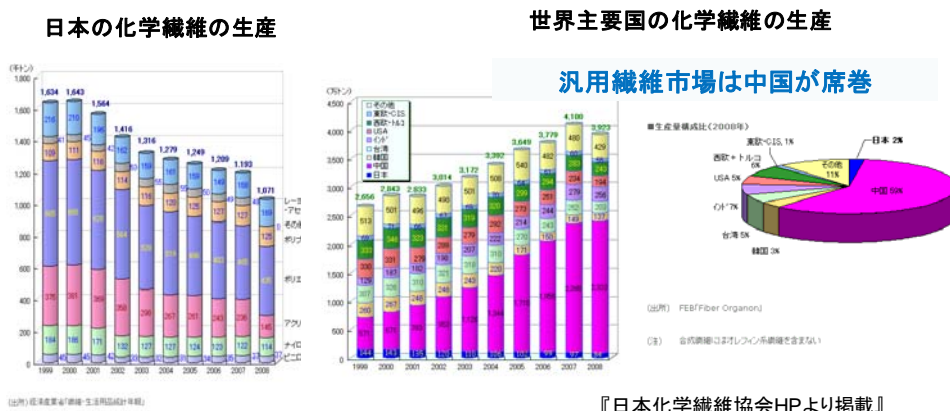
本事業では、医療衛生分野での医療事故やウイルス感染の防止の観点から、ウイルス・細菌の侵入や超微細ゴミを完全に除去する部材や着用快適性に優れたクリーン服・身体防護ウェア部材、針の刺さらない高強度部材を開発する。製品イメージは、手袋・ウェア・マスク等の医療用・産業用資材や食品や誘拐物質等の汚染防止保護材等多岐にわたる。これら技術の普及により、2015 年時点で 2000 億円程度、2020 年頃には 2 兆円規模の市場創出効果が見込まれる。

2. 事業の背景・目的・位置づけ

2. 1 事業の背景

平成 15 年度国際共同研究先導調査事業「省エネルギーに繋がるナノファイバーテクノロジー先導技術調査」によりシーズ発掘が行われた（学が中心）。日本の繊維産業のうち汎用的商品は近隣アジア諸国の技術力向上による低コスト攻撃にさらされており、汎用繊維市場は中国が席卷している（図 2. 1-1）。ハイテク繊維のうち、炭素繊維、アラミド繊維は既に日本の世界シェアが 70%以上を占めているが、高性能フィルター分野等で成長が期待できるナノファイバーの技術開発では欧米に後塵を拝していた（図 2. 1-2）。

▶ 汎用的商品は近隣アジア諸国の技術力向上による低コスト攻撃



『日本化学繊維協会HPより掲載』

- ▶ 先端機能を発現する高付加価値繊維部材（電子・電気産業部材分野など）の開発
- ▶ 産学官を含む連携の強化（川上・川下の垂直連携・材料創世と加工の水平連携）

図 2. 1-1 日本の化学繊維生産

部材用ハイテク繊維（高性能、高機能繊維）

高強度・高弾性繊維	パラ系アラミド、超高分子ポリエチレン、ポリアリレート、PBO、炭素
高耐熱性繊維	メタ系アラミド、PPS、フッ素
生分解性繊維	ポリ乳酸

上記ハイテク繊維は全て商品化されており、炭素繊維、アラミド繊維は既に日本の世界シェアが70%以上。それぞれ部材への適用が進められている。

繊維のサイズや構造制御による高性能化、高機能化に視点を転換→ナノファイバー着目

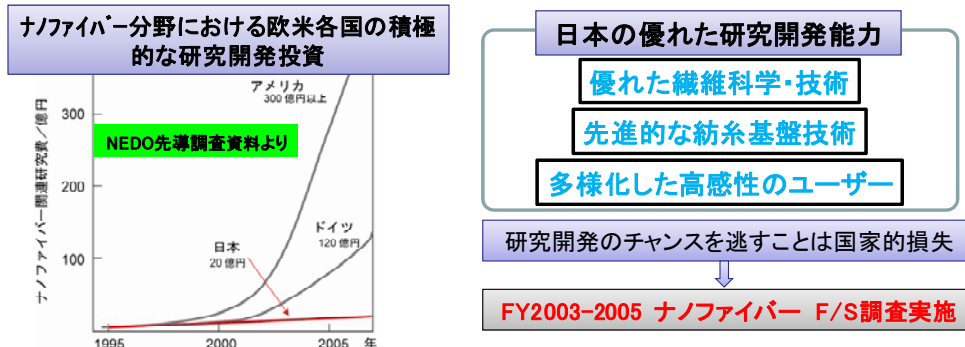


図 2. 1-2 日本のハイテク繊維の現状と世界のナノファイバーへの研究開発投資

引き続き F/S 調査（平成 16 年度「新構造繊維部材の実用化課題の調査」）によりシーズの検証を行い、「我が国の強みである繊維を基とした新構造繊維部材は、セパレーター、フィルター、高強度構造材など多くの産業分野への応用が可能であり、特に IT 分野（二次電池）、環境分野（フィルター）、バイオ分野における本格的な実用化のためには研究開発プロジェクトにより組織的に対応する必要がある」と報告されている。また本報告書をもとに超極細繊維や超微細構造繊維の製造には電界紡糸（エレクトロスピンング）技術及び溶融極細繊維紡糸（ナノ溶融分散紡糸）技術が重要と判断された。（図 2. 1-3）。

以上の結果を受け、部材技術マップに「環境・エネルギー分野－フィルター、二次電池用活物質」に求められる高機能部材として、繊維・樹脂分野の新素材開発による創成を追加（図 2. 1-4）するとともに基盤技術を確立し、上流から下流までの企業を垂直連携に参加させ、実用化までの加速を図るための最適な研究開発体制の構築を NEDO 主導で検討し、ユーザーの要望に対応する高度部材を供給するための繊維の極微細加工と高次複合化を実現可能とする基盤技術開発とその成果を活用する実用化開発からなる本部材開発プロジェクトを創成した（図 2. 1-5）。



図 2. 1-3 ナノファイバー調査結果とプロジェクトの課題

部材ロードマップへの反映

部材技術マップに「環境・エネルギー分野—フィルター、二次電池用活物質」に求められる高機能部材として、繊維・樹脂分野の新素材開発による創成を追加。

環境分野のロードマップ抜粋

対象部材 (大項目)	対象部材 (小項目)	出口から部材に対し求められる機能	求められる機能を発現する高機能部材
二次電池・キャパシタ	高エネルギー密度キャパシタ	高エネルギー密度、高出力密度	高エネルギー密度キャパシタ
	高出力スーパーキャパシタ	高出力、長寿命	高出力スーパーキャパシタ
	スーパーキャパシタ用高導電性材料	絶縁性、高導電率	HIGH-k材料(有機無機複合材料)
	二次電池電解液	電解特性	電解液(イオン性液体)
	二次電池電解液	導電性	高分子配列材料(強絶縁膜)
	二次電池電解液	耐熱性、耐久性、耐酸性	フッ素、ケイ素材料、有機無機複合材料
	二次電池用活物質	電極性能、繰り返し性能	高出力活物質制御、電気二重層制御(ドックス材料)、ヒステリシスループ制御(可逆性材料)
センサー		検出濃度範囲の拡大と正確性、高感度、即応性、耐毒性、高分辨能特性、イオン交換特性、吸着特性	水素セラミックセンサー、有機/無機異面複合材料(バイオセンサー)、安全・安心センサー材料、(ガスセンサー、ガスバリア材料)、環境センサー(金属、セラミック)、ケイ素系規則性ナノ多孔材料化学センサー、ダイヤモンド半導体センサー(環境ホルモンの)、ダイヤモンド表面酸化センサー(毒性ガス、土壌汚染)、有機/無機ハイブリッドセンサー、多元素系異面複合材料センサー
フィルター		高耐熱性、除去率向上、高透過効率、高効率除去、耐熱性、保圧性、高透過性、ナノ粒子除去、耐毒性、低圧損失、高透過性、水処理、吸着性・広表面積、イオン交換特性、吸着特性、環境浄化性能	高性能・超耐熱性ナノフィルタ、環境浄化用触媒担持ナノフィルタ、有機無機複合高効率触媒、超微粒子状物質の捕集用多孔セラミックナノ繊維・多孔体の空間(膜製制御)、超微粒子浄化用フィルター、アクティブ多孔膜(表面制御による機能付与)、分離膜、選択透過膜(ナノ繊維、吸着膜、透過膜)、ケイ素系規則性ナノ多孔材料分層膜及び土壌改良、室内環境浄化・土壌浄化材料
吸着剤		ガス吸着性	脱臭物質捕捉(多孔体セラミックス)
高度水浄化		高効率電気分解	ダイヤモンド電極
グリーン触媒		触媒特性など物理化学的的特性	ケイ素系規則性ナノ多孔材料

15

図2. 1-4 部材ロードマップへの反映

事前評価、プロジェクト化へ

ユーザーの要望に対応する高度部材を供給するための**繊維の極微細加工**と**高次複合化**を実現可能とする**基盤技術開発**とその成果を活用する**実用化開発**からなる**部材プロジェクト**を創成。

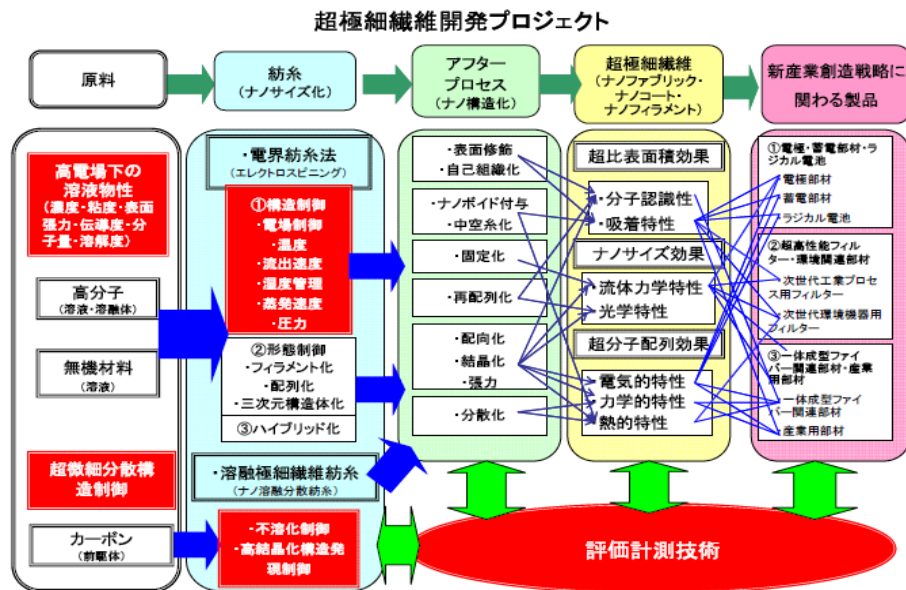


図2. 1-5 プロジェクトの概要

2. 2 事業の目的

本事業の目的は高性能且つ高機能電池用部材の開発、高性能且つ高機能フィルター用部材の開発、及び高性能且つ高機能医療衛生・産業用部材の開発という実用化技術を実施するにあたり必要不可欠とされる革新的繊維状部材創出のための基盤技術を確立することであり、豊かで快適な人間生活を送りたいという国民の願望のもとに高度情報社会、省エネ・省資源、安全・安心、健康長寿命を目指した社会の実現に向けて、科学的知見を基盤に革新的な新材料創製技術を通じて深く寄与するものであると同時に日本の産業競争力強化することである。(図2. 2-1)。

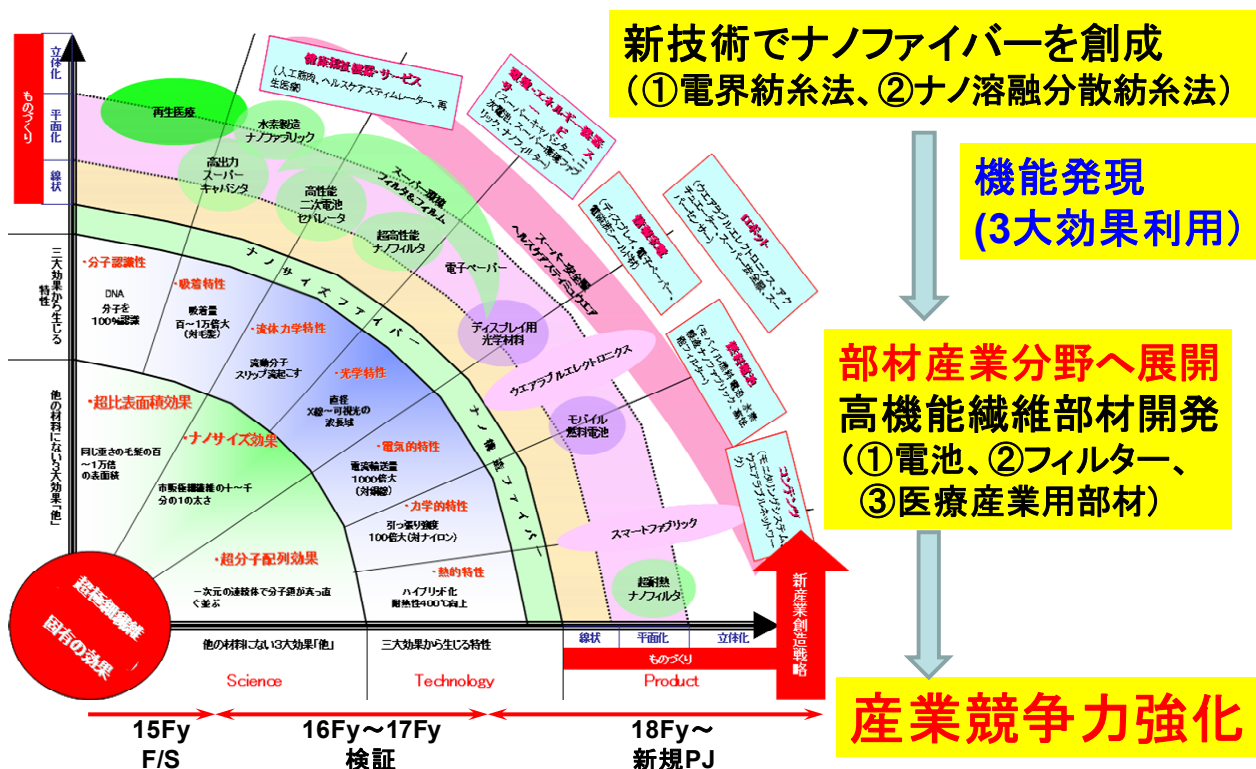


図2. 2-1 事業の目的・意義

2. 3 事業の位置づけ

本プロジェクトは、『情報通信、ライフサイエンス、環境、エネルギーなど、あらゆる分野に対して高度化あるいは不連続な革新（ジャンプアップ）をもたらすナノテクノロジー及び革新的部材技術を確立するとともに、その実用化や市場化を促進することで、我が国産業の国際競争力の維持・強化や解決困難な社会的課題の克服等を可能とすること』を目的とした「ナノテク・部材イノベーションプログラム」の一環として取り組むものである。極めて広範囲な産業領域に波及する材料・部材領域について、ユーザー製造業等との連携（川上・川下連携）を促進するプロジェクト体制（垂直連携）で実施することで、高度な部材産業群の「すり合わせ力」を一層強化する。

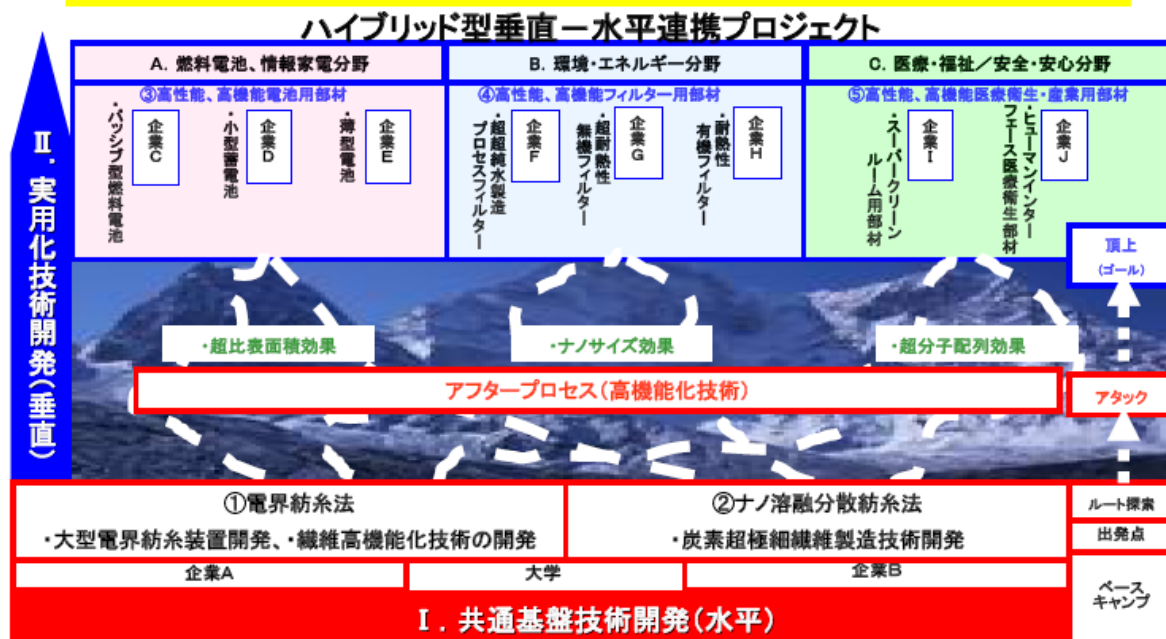
材料技術は、材料の特性・機能の向上が製品機能の向上に直結するなど産業技術全般に大きな波及効果をもたらす基盤技術であるが、昨今の国際競争の激化により、さらな

る飛躍的発展のキーテクノロジーとして革新的な新材料創製技術が求められている。総合科学技術会議の科学技術基本政策策定の基本方針においても、「ナノテクノロジー・材料分野」を国家的・社会的課題に対応した研究開発の重点化対象とすることについては、多様な視点から概ね妥当と評価しうるとされている。

先端機能発現型新構造繊維部材基盤技術の開発は、豊かで快適な人間生活を送りたいという国民の願望のもとに高度情報社会、省エネ・省資源、安全・安心、健康長寿命を目指した社会の実現に向けて、科学的知見を基盤に革新的な新材料創製技術を通じて深く寄与するものである。また、技術戦略マップの「環境・エネルギー分野、燃料電池、情報家電分野、医療・福祉／安全・安心分野」等にも位置づけられている。特に近年の状況は、海外においても、米国やヨーロッパを中心にこの方面の研究開発に資金や研究者開発者を投入して精力的な取り組みがなされており、グローバルな開発競争となっている。しかしわが国の現状は、高い科学的水準や技術開発力を有しているにもかかわらず、大学・研究機関や民間会社において個別に行われているにすぎない。このため、NEDOは、産学の科学的、技術的ポテンシャルを結集して、共通基盤技術（水平）の上に複数の実用化技術（垂直）の展開を図るというこれまでにない新しいプロジェクト形式を組み、産学の連携を推進しつつ産業技術を組織的かつ戦略的に展開することを事業方針とし、本プロジェクトを実施する（図2. 2-2）。

NEDOが関与することの意義

基盤技術を確立し、上流から下流までの企業を垂直連携に参加させ実用化までの加速を図るための最適な研究開発体制を構築



産業界・大学との連携

NEDOによる産・学・官連携体制による国家的・集中的実施が必要不可欠

図2. 2-2 プロジェクト体制

II. 研究開発マネジメントについて

1. 事業の目標

本プロジェクトは繊維状材料に対してナノオーダーの成形加工や微細な界面加工ならびに複合化することで材料を高機能化し、革新部材を創出する。共通基盤技術として、①電界紡糸法における繊維高機能化、大型装置化技術の開発、②ナノ溶融分散紡糸法による炭素超極細繊維製造技術の開発を実施し、高分子材料や無機材料や炭素材料の超極細繊維を製造すると同時にそれらを製造するために必要な基礎データ集積や製造された繊維状材料の物性や構造の計測と評価、資源環境問題を配慮しつつ、安全性の評価等を行う。さらに、共通基盤技術で開発した成果をもとに③高性能、高機能電池用部材の開発、④高性能、高機能フィルター用部材の開発、⑤高性能、高機能医療衛生用・産業用部材の開発を実施し、我が国産業の競争力の強化を目的とする。(図1-1)

事業の目標

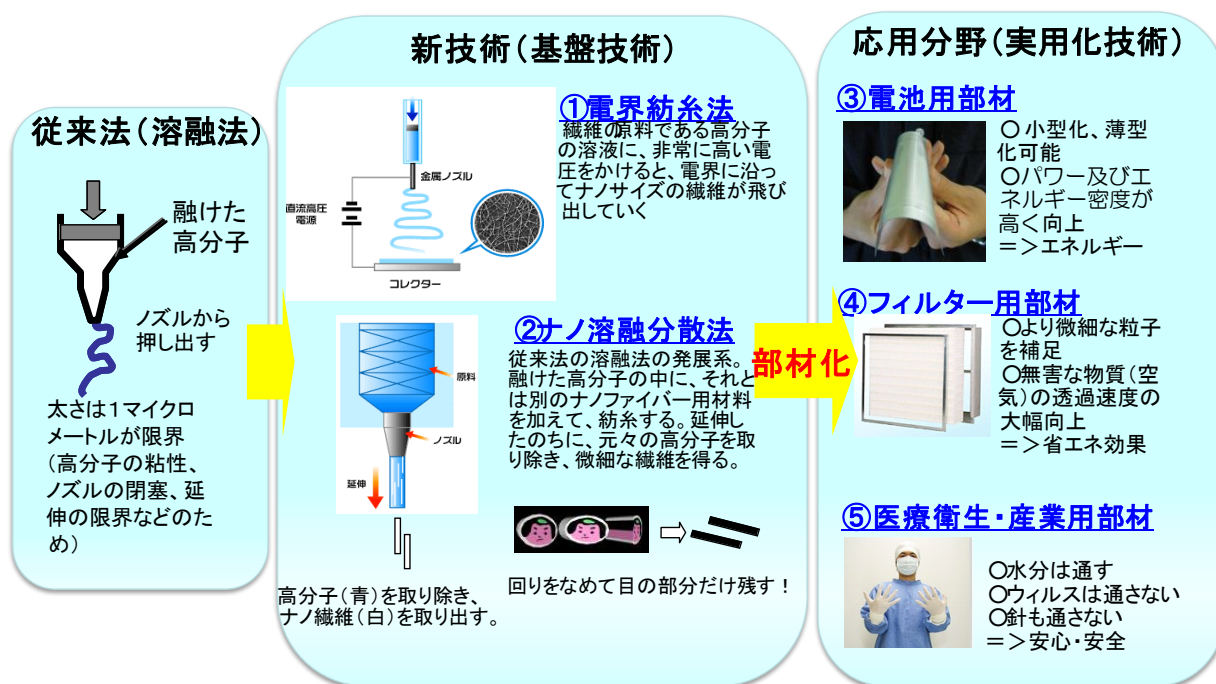


図1-1 事業目標の概略

研究開発の目標

【共通基盤技術】

① 電界紡糸法における繊維高機能化、大型装置化技術の開発

電界紡糸では大型装置における電場、溶液、温度、湿度等の制御により、

中間目標：平成 20 年度に直径のばらつきが均質な超極細繊維の製造技術を開発する。不織布状材料（ファブリック）、コーティング、フィラメントにおいての高速製造技術を開発する。

最終目標：平成 22 年度には平成 20 年度に比べて直径及びばらつきが半分以下の均質な超極細繊維の製造技術、不織布状材料、コーティング、フィラメントにおいて倍以上の高速連続製造を達成する。超極細繊維材料を各種用途に対応させるために、評価・計測に伴う結果を利用して繊維高機能化技術の開発を行う。

①電界紡糸法における繊維高機能化、大型装置化技術の開発

電界紡糸法とは電界利用の超極細繊維製造技術で、常温での紡糸、表面構造制御やハイブリッド化等が容易でほとんどの高分子に適用できます。本格的工業生産のための生産性向上と溶媒回収技術確立等を踏まえた大型装置開発および繊維高機能化技術開発を行います。

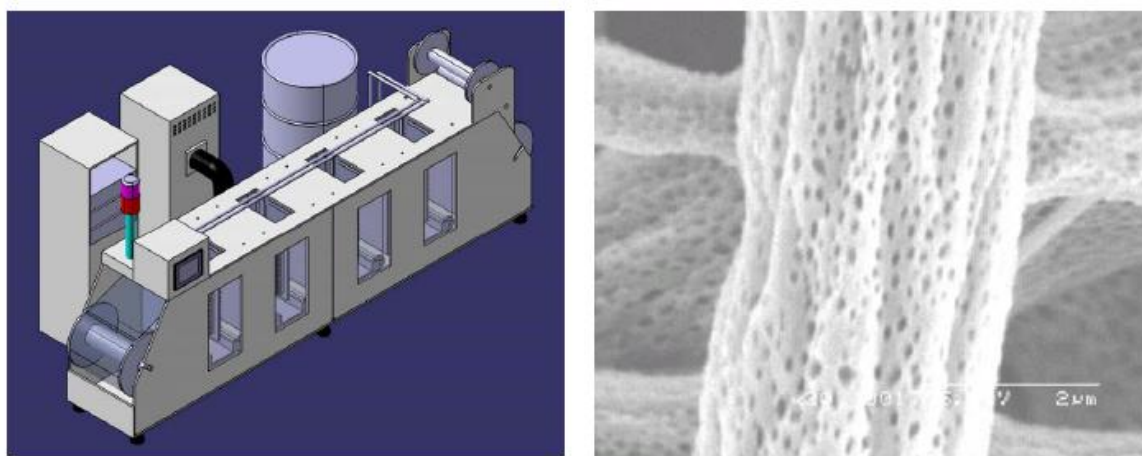


図 1 - 2 電界紡糸装置、高機能化繊維

② ナノ溶融分散紡糸法による炭素超極細繊維製造技術の開発

中間目標：平成 20 年度に直径サイズを低減、比表面積を増大した炭素超極細繊維を開発する。さらに短時間で不融化する技術開発を行う。

最終目標：平成 22 年度においては平成 20 年度に比べて平均直径で 1/5 以下、比表面積 5 倍程度、不融化時間を 1/3 以下の炭素超極細繊維の製造技術の開発を行う。

②ナノ溶融分散紡糸法による炭素超極細繊維製造技術の開発

本紡糸法は炭素超極細繊維大量製造技術で、大型装置による超微細混練・紡糸技術、炭素高速不融化・焼成技術、結晶構造制御技術等の確立により製造時間短縮とコスト低下を図るための技術開発及び表面ナノ多孔化等の高機能化を図るための技術の開発を行う。

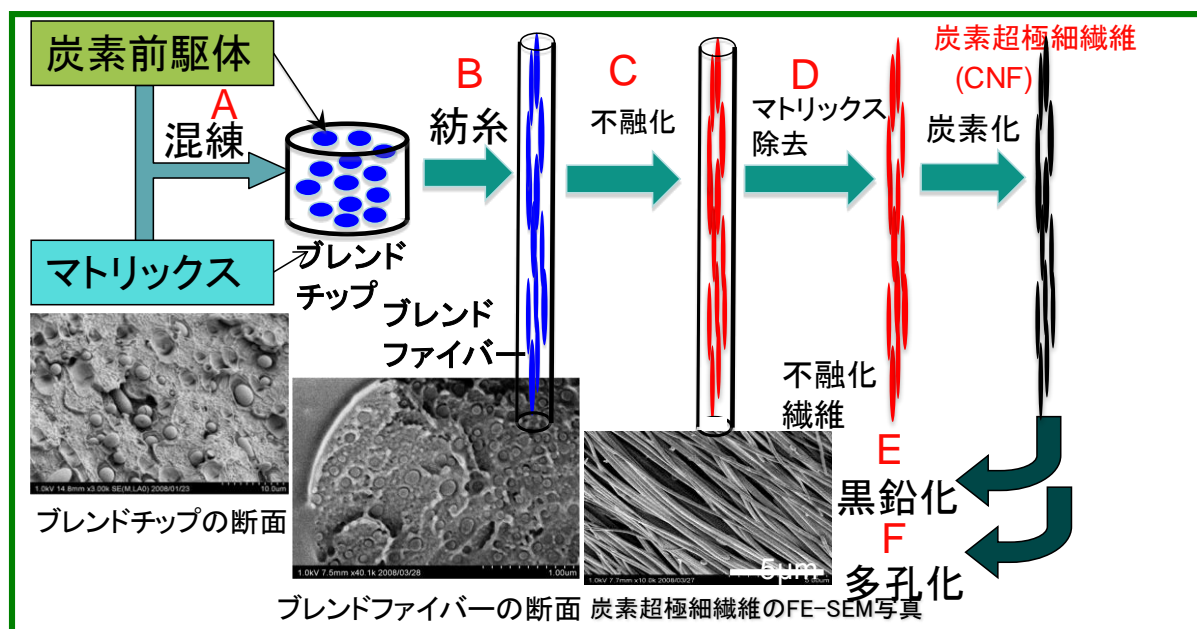


図 1 - 3 ナノ溶融分散紡糸法と炭素超極細繊維

【実用化技術】

③高性能、高機能電池用部材の開発

上記、共通基盤技術で得られた成果を用いることにより燃料電池、小型蓄電池、高機能電池等のエネルギー密度、出力（パワー）密度を向上し、薄型化、低コスト化した電池を開発する。

③高性能、高機能電池用部材の開発

超極細繊維を用いた、（１）パッシブ型燃料電池、（２）小型蓄電池、（３）薄型電池の開発を行います。

（１）は、薄層化が可能で燃料や酸素の強制供給が不要であることから超小型化DMFCとして期待され、携帯テレビ電話、モバイルパソコン等に利用されます。

（２）はパワー及びエネルギー密度が高く瞬発性と持続性に優れており、高性能携帯用情報家電機器、ハイブリッド自動車、燃料電池車に利用されます。

（３）は薄型フレキシブルで高速充電可能なユビキタス電池であり、アクティブ型のICカードやタグ、ウェアラブルデバイス、電子ペーパー等に利用されます。



図 1 - 4 高性能、高機能電池

④高性能、高機能フィルター用部材の開発

上記、共通基盤技術で得られた成果を用いることにより超超純水製造プロセスフィルター、超耐熱性有機および超耐熱性無機フィルター等において、捕捉能力、耐熱性向上、有害物質濃度、圧力損失低減したフィルターを開発する。

④高性能、高機能フィルター用部材の開発

超極細繊維を用いた（４）超超純水製造プロセスフィルター（５）超耐熱性無機フィルター（６）耐熱性有機フィルターの開発を行います。

（４）はノニオン及びイオンの除去が十分で、アセンブリの不純物溶出がゼロに近く、デバイス産業、食品、医薬品等に利用されます。



（５）は柔軟性があり耐熱温度千度以上であることから、焼却炉排気ガスの冷却工程が必要なくなる。焼却用排気ガスや有害化学物質等の除去に利用されます。



超耐熱性無機ろ材を用いたブリーツ型バグフィルター

（６）は必要な耐熱性を維持しつつ、焼却廃棄が可能で、ガラス繊維フィルターの代替や焼却炉やその他排ガスのフィルターに利用されます。



耐熱性有機ろ材を用いたろ材交換型フィルタ

図 1 - 5 高性能、高機能フィルター

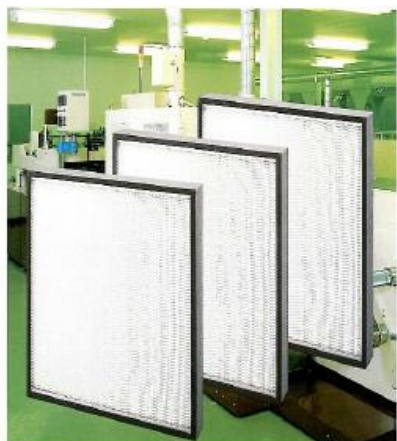
⑤高性能、高機能医療衛生・産業用部材の開発

上記、共通基盤技術で得られた成果を用いることによりヒューマンインターフェース医療衛生部材、産業用部材等において、捕捉能力向上、圧力損失低減、細孔サイズ微細化、透湿性能向上、身体防護可能な医療衛生・産業用部材を開発する。

⑤高性能、高機能医療衛生・産業用部材の開発

超極細繊維を用いた（７）スーパークリーンルーム用部材、（８）ヒューマンインターフェース医療衛生部材の開発を行います。

（７）は超極細活性炭素繊維との一体成型により構成された超高性能ケミカルフィルターです。



（８）は抗菌・消臭機能、針刺防止機能、超微細ゴミや菌の侵入防止機能、長時間着用快適性を有した複合一体型高機能部材です。



図 1-6 スーパークリーンルーム用フィルターと医療衛生部材

1. 1 超極細繊維の製造方法について

超極細繊維製造方法には、電場を高分子溶液と集積板の上に印加する電界紡糸法、カーボンの分散を利用したナノ溶融分散紡糸法、二種類の高分子を同時に紡糸し一方を除去する複合溶融紡糸法、溶融高分子を加圧によりノズルから噴射するメルトブロー法、カーボンナノファイバーやナノチューブを製造する気相成長法、生物に製造させる方法、自己集合ナノ紡糸法、ナノノズル重合紡糸法等が知られている。特に電界紡糸法、複合溶融紡糸法、メルトブロー法は汎用高分子の超極細繊維を、またナノ溶融分散紡糸法や気相成長法は炭素超極細繊維を工業的製造する方法として知られている。本事業では高分子及び炭素の超極細繊維製造方法として、それぞれ電界紡糸法及びナノ溶融分散紡糸法を確立し、高機能電池用部材、高性能且つ高機能フィルター用部材、及び高性能且つ高機能医療衛生・産業用部材に供することを旨とする。

表 1. 1 - 1 超極細繊維製造法の比較

紡糸技術	長所	課題	対象材料
電界紡糸法 (本提案)	<ul style="list-style-type: none"> ・ 常温での紡糸可能 ・ 紡糸可能な繊維径は数 nm～数 10 μm ・ 表面構造制御容易 ・ 工程が簡易 ・ コンポジット化容易 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 生産性が低い (多ノズル化等で解決可能) ・ 高電圧が必要 ・ 溶剤回収が必要 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 溶剤可溶な高分子、たんぱく質 (ほとんどの高分子に適用可能) ・ 熱に弱い材料 ・ 無機材料も紡糸可能
複合溶融紡糸法 (従来法)	<ul style="list-style-type: none"> ・ 100nm 以下の超極細繊維紡糸可能 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 繊維分割の工程が必要 ・ 熱に弱い素材には適用不可能 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 溶融可能な高分子にのみ適用可能 (ナイロン、PET)
メルトブロー法 (従来法)	<ul style="list-style-type: none"> ・ 工程が簡易 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 繊維径 0.5 μm 以下の紡糸は困難 ・ 熱に弱い素材には適用不可能 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 溶融可能な高分子にのみ適用可能 (PP, PE, PET)

まず、電界紡糸法とはエレクトロスプレー (ES) 法において繊維状物質を創製することを指す。ES 法は溶液の入ったノズルの先端と基板上間に電圧を印加して物質を噴霧する方法で、アトマイジング (霧吹) 技術の一種として塗装や燃料噴射に、また質量分析法として分析化学等幅広い分野に応用されている。ES 法の中でも基板上に、高分子のみならず低分子や蛋白質さらには無機物質等をデポジット (沈着) させ不織布

状やフィルム状物質を創製することをエレクトロスプレーデポジション (ESD) 法と呼ぶ。ESD 法は真空蒸着法、スピコート法、インクジェット法にかわる新しいコーティング技術または材料創製法として期待されている。ESD 法において基板上に繊維状物質をデポジットする場合に関して電界紡糸法 (エレクトロスピニング) と呼ぶ。本法は、従来から超極細繊維製造法として知られている複合熔融紡糸法やメルトブロー法に比べて、比較的容易にナノオーダーの超極細繊維や超極細構造繊維を紡糸できことから、情報、バイオ、環境に関わる新しい部材開発の方法として期待されている。電界紡糸法により製造された繊維部材の実用化にあわせて大型装置開発が望まれている。

表 1. 1-1 に電界紡糸法、複合熔融紡糸法、メルトブロー法の長所、課題、紡糸可能な対象材料を示す。本表からも明らかなように電界紡糸法は複合熔融紡糸法やメルトブロー法に比べて生産性が低いこと、高電圧を使用することによる安全性、溶剤の回収が必要なことなどの課題が残されている。

次にナノ熔融分散紡糸法とは、熔融紡糸法の延長線上にあり、量産化が容易なプロセスである。炭素材料を用いた超極細繊維としては、カーボンナノチューブや気相法のカーボンナノファイバー (VGCF) などが知られている。これらは繊維径が非常に小さく、各種高機能部材として期待されている。しかしながら、これら気相法では、特殊な製造プロセスを必要とするため、将来的な量産化には難があると予想される。また、繊維中に残存する触媒の完全除去も困難であり、高純度のファイバーが得られにくいという大きな課題を有している。一方ナノ熔融分散紡糸法は複合紡糸技術を基本にし、超微細混練技術と紡糸技術を検討し、炭素超極細繊維を作製する。この技術は、将来的な量産技術への移行が容易であり、炭素超極細繊維のコストを非常に小さく出来る可能性がある。また、得られる炭素繊維は、非常に結晶性が優れ、導電性や力学物性が非常に優れる。この技術を実用化するためには、生産性向上のための炭素高速不融化・焼成技術の確立が不可欠である。また、電極材料として炭素超極細繊維を用いるためには、高比表面積化技術の開発が必要である。目標とする炭素超極細繊維を開発するには、超微細混練・紡糸技術、炭素高速不融化・焼成技術、結晶構造制御技術等の確立により製造時間の短縮とそれに伴うコスト低下を図るための技術開発を行わなければならない。表 1. 1-2 にナノ熔融分散紡糸法と従来法との比較を示す。

表 1. 1-2 炭素超極細繊維製造法の比較

	気相法カーボン ナノファイバー	カーボン ナノチューブ	本炭素超極細繊維
製造方法	気相成長法	気相成長法など	熔融紡糸法
金属触媒	除去必要	除去必要	除去の必要なし
結晶性	○	◎	◎
コスト	△	×	◎

2. 事業の計画内容

2.1 研究開発の内容

上述の目標を達成するために、下記研究開発項目について、以下の研究開発計画に基づき研究開発を実施している。

【共通基盤技術】

- ①電界紡糸法における繊維高機能化技術の開発
- ②ナノ溶融分散紡糸法による炭素超極細繊維製造技術の開発

【実用化技術】

- ③高性能、高機能電池用部材の開発
- ④高性能、高機能フィルター用部材の開発
- ⑤高性能、高機能医療衛生・産業用部材の開発

先端機能発現型新構造繊維部材基盤技術の開発プロジェクトのロードマップ

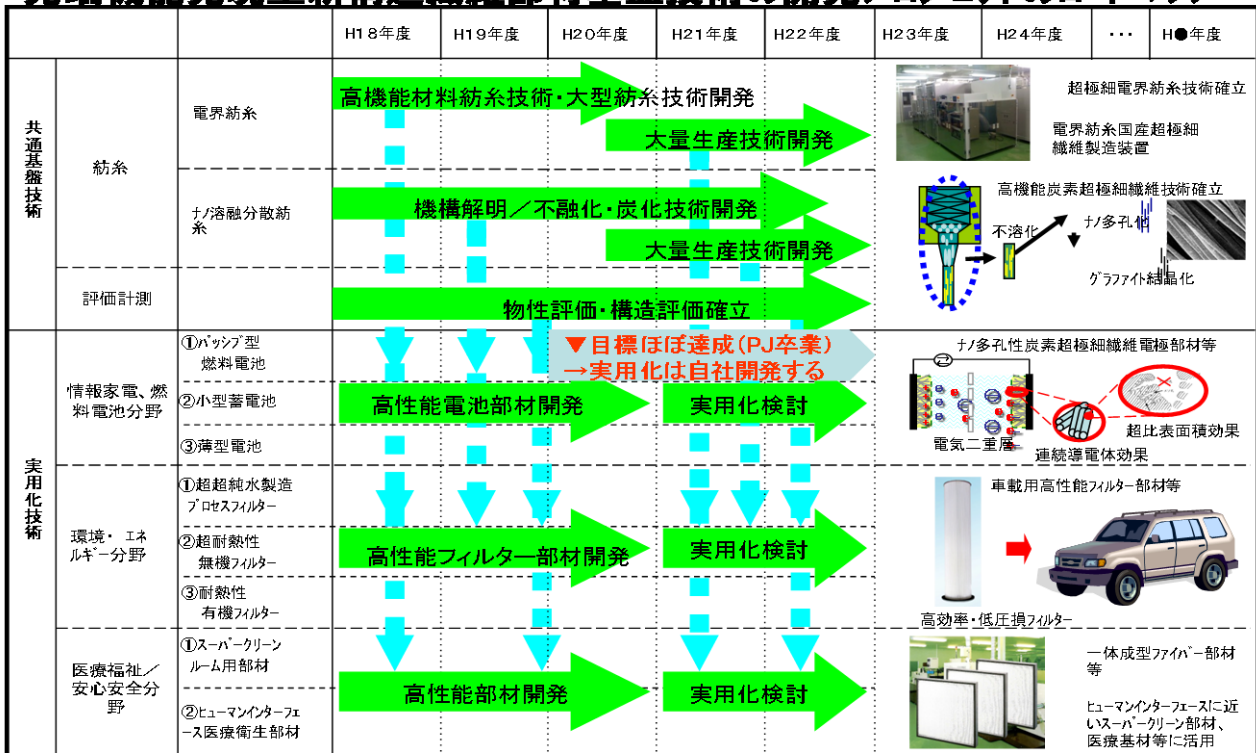


図 2. 1-1 開発プロジェクトのロードマップ

研究開発計画

研究開発項目①「電界紡糸法における繊維高機能化、大型装置化技術の開発」

1. 研究開発の必要性

燃料電池、情報家電分野、環境・エネルギー分野、医療・福祉／安全・安心分野に求められる高機能部材を、繊維・樹脂分野の新素材開発により創成する。ユーザーの要望に対応する高度部材を供給するためには、繊維の極細化やナノ加工及び高次複合化が必須であり、これらを解決するためには高分子材料、無機材料を用いた超極細繊維や超微細構造繊維を製造し、事業化へのステップのために大型装置を用いた電界紡糸（エレクトロスピンニング）の基盤技術開発が必要である。またこれらを促進するためには基礎データ集積や製造された繊維状材料の物性や構造の計測と評価、および材料の安全性の確保が必要であり、さらに用途展開を行う上でナノ構造制御をはじめとする制御技術、被覆技術（コート）、複合化技術等の基盤技術構築が必要である。

2. 研究開発の具体的内容

（1）大型電界紡糸装置基盤技術の開発

高分子材料や無機材料等の超極細繊維を製造し、革新部材として各種用途試験を行い実用に供するためには、不織布状材料化、コーティング化、フィラメント化が可能な高速で大型の電界紡糸装置が必要である。このために、従前とは異なるノズル製造技術、電界の制御技術、流体制御技術及び溶媒と繊維塵回収技術等の基盤技術開発を行う。

（2）電界紡糸法における繊維高機能化技術の開発

電界紡糸法において製造される超極細繊維材料を実用に供するために、ナノ構造制御をはじめとする制御技術、被覆技術、複合化技術、ボイド化技術、中空糸化技術、固定化技術、再配列化技術、分散化技術等の繊維高機能化技術の開発を行う。電界紡糸法において超極細繊維の直径、構造、形態、製造速度等を制御するには高電場下における高分子の溶液物性の評価・計測が必要であり、これらの方法の開発を行う。また電界紡糸法やそれに引き続く高機能化技術より製造された超極細繊維や超微細構造繊維における構造や物性の評価・計測法、および安全性の評価等について検討する。

3. 達成目標

（1）大型電界紡糸装置基盤技術の開発

電界紡糸では大型装置における電場、溶液、温度、湿度等の制御により、
中間目標：平成20年度に直径100 nm、ばらつき50 %以下の均質な超極細繊維の製造技術を開発する。

最終目標：平成22年度には20 μ l/本・分の噴出速度、20万本のノズルに相当する機能を有する大型装置により直径50 nm、ばらつき20 %以下の均質な超極細繊維の製造技術を開発する。

これは超高性能エアフィルターの実現に必要な値であるがすべての実用化部材の基準

となる。

(2) 電界紡糸法における繊維高機能化技術の開発

大型装置は20 μ l/本・分の噴出速度を有する20万本のノズルから構成される機能に相当しており、

中間目標：平成20年度には不織布状材料において30 m/分、コーティングにおいて150 m/分、フィラメントにおいて30 m/分の製造速度を達成する。

最終目標：平成22年度には不織布状材料において60 m/分以上、コーティングにおいて300 m/分以上、フィラメントにおいて60 m/分以上の高速連続製造を達成する。

さらに得られた各種知見を利用して必要な太さにおける単分散超極細繊維製造、超微細構造繊維化、被覆化、複合化へと展開することができる。

研究開発項目②「ナノ溶融分散紡糸法による炭素超極細繊維製造技術の開発」

1. 研究開発の必要性

燃料電池、情報家電分野、環境・エネルギー分野、医療・福祉/安全・安心分野に求められる高機能部材を、繊維・樹脂分野の新素材開発により創成する。ユーザーの要望に対応する高度部材を供給するためには、繊維の極細化やナノ加工及び高次複合化が必須であり、これらを解決するためには炭素材料を用いた超極細繊維や超微細構造繊維を製造し、溶融極細繊維紡糸（ナノ溶融分散紡糸）の基盤技術開発が必要である。またこれらを促進するためには基礎データ集積や製造された繊維状材料の物性や構造の計測と評価、および材料の安全性の確保が必要であり、さらに用途展開を行う上でナノ構造制御をはじめとする制御技術、被覆技術、複合化技術等の基盤技術構築が必要である。

2. 研究開発の具体的内容

(1) ナノ溶融分散紡糸法による炭素超極細繊維製造技術の開発

炭素超極細繊維は電極等における革新部材として用途試験を行い実用に供される。大型装置による超微細混練・紡糸技術、炭素高速不融化・焼成技術、結晶構造制御技術等の確立により製造時間の短縮とそれに伴うコスト低下を図るための技術開発を行う。さらに高機能化を図るための表面ナノ多孔化、超微細構造繊維化、被覆化、複合化技術の開発を行う。ナノ溶融分散紡糸法により製造された超極細繊維や超微細構造繊維における構造や物性の評価・計測法、および安全性の評価等について検討する。

3. 達成目標

ナノ溶融分散紡糸法では大型装置による超微細混練・紡糸技術、炭素不融化・焼成技術等の開発により、

中間目標：平成20年度に直径500 nm、比表面積300 m^2/g の炭素極細繊維に対し、不融化時間を現状の1/3を達成する。

最終目標：平成22年度においては平均直径100 nm、比表面積1500 m^2/g 、不融化時間を

現状の1/10の炭素超極細繊維の製造技術を達成する。

これは蓄電材料の実現に必要な値であるがすべての実用化部材の基準となる。また不融化時間を現状の1/10に短縮し製造コストを低下させることが可能となる。さらに各種知見を利用して必要な太さにおける超極細繊維製造、超微細構造繊維化、被覆化、複合化へと展開することができる。

研究開発項目③「高性能、高機能電池用部材の開発」

1. 研究開発の必要性

炭素超極細繊維を用いたパッシブ型燃料電池は、酸素供給性、CO₂排気性、集電性、触媒保持性に優れ薄層化が可能となる。さらに燃料や酸素の強制供給を必要としないことから超小型化DMFC (Direct Methanol Fuel Cell) として期待されており、携帯テレビ電話、無充電モバイルパソコン、電動スクーター・カート、ロボット、パワースーツ等に必要である。また、炭素超極細繊維を用いた小型蓄電池はパワー密度及びエネルギー密度が高く瞬発性と持続性に優れており、現状対比1/5の低コスト化が可能となることから、高性能携帯用情報家電機器、ハイブリッド自動車、燃料電池車に必要なユビキタス電池であり、アクティブ型のICカードやタグ、ウェアラブルデバイス、電子ペーパー等の広範なユビキタスデバイスに必要である。

2. 研究開発の具体的内容

(1) パッシブ型燃料電池の開発

電界紡糸法により超極細繊維複合布の革新的形成技術を確認し、次に電界紡糸法と焼成技術を用いて超極細炭素繊維複合布の一括多層化技術を確認する。さらに超極細炭素繊維複合電極における超極細構造効果発現の実用化技術の開発を行い、これらの電極と電解質膜を用いてMEA(Membrane and Electrode Assembly)を構成し、電池の基礎性能を確認後、パッシブ型燃料電池を組み立てる。これと同時に副生成物分解電極の開発も実施する。さらに本電池をデジタルTV放送等動画対応型携帯電話機に内蔵する。

(2) 小型蓄電池の開発

ナノ溶融分散紡糸法により開発された炭素超極細繊維を使用する。まず、炭素超極細繊維作成技術確立後、電池性能を飛躍的に高性能化する超極細繊維のナノ孔構造制御技術開発を行う。次に、スーパーキャパシタ試作を行い基本性能評価後、実用化技術検討及び実用レベルでの性能評価を行う。当初は小容量スーパーキャパシタの製造から始め、順次中容量、大容量と容量を増大させ、大量生産技術の確立を図る。

(3) 薄型電池の開発

ナノ溶融分散紡糸法により開発された炭素超極細繊維を使用する。高速充電を図るために超極細炭素繊維との高次複合化によるラジカルポリマーの導電性向上を目指し、ラジカルポリマーと電解液の最適組合せによる電極反応速度の向上についても検討する。さらにエネルギー密度の向上も踏まえて、本超極細炭素繊維に適した新ラジカルポリマー開発及び部材/電池構成最適化による電極パック(充填)率の向上を目指す。

また、カード、タグに内蔵可能な薄型化を目指し、本超極細炭素繊維へのインクジェット印刷法などによるラジカルポリマーのコーティング技術を確認する。これら技術要素を融合して目標とする薄型電池の構成と大量生産技術の構築を図る。

3. 達成目標

(1) パッシブ型燃料電池の開発

中間目標：平成20年度は電極の厚さが120 μm 、燃料電池出力密度が50 mW/cm^2 を達成する。

最終目標：平成22年度は電極の厚さが100 μm 以下、燃料電池出力密度が100 mW/cm^2 以上、及び低コスト化を実現する。

(2) 小型蓄電池の開発

小型蓄電池である電気二重層キャパシタにおいて、

中間目標：平成20年度はエネルギー密度20 Wh/l 、出力密度5 kW/l を達成する。

最終目標：平成22年度はエネルギー密度200 Wh/l 、出力密度10 kW/l を達成する。

既存技術の水準は、粒状炭素質を賦活処理した粒状活性炭を用いているため、高比表面積の形成に限界がある。蓄電材料として現状の性能を凌駕する事を目的とし、炭素超極細繊維を用い、微細構造及び細孔径形成を制御する。

(3) 薄型電池の開発

薄型電池においては、10秒程度の高速充電が可能な薄型二次電池に必要な材料並びに製造技術を開発する。電池性能としては、

中間目標：平成20年度は厚さ0.3 mm 、パワー密度 \sim 5 kW/L 、エネルギー密度 \sim 50 Wh/L を達成する。

最終目標：平成22年度は厚さ0.2 mm 、パワー密度 \sim 10 kW/L 、エネルギー密度 \sim 100 Wh/L を達成する。

研究開発項目④「高性能、高機能フィルター用部材の開発」

1. 研究開発の必要性

超超純水用プロセスフィルターでは不溶出性基材による超極細繊維の製造、ならびに、超極細繊維への有害物質除去機能（イオン交換基や吸着物性）の付与によりノニオン及びアニオンやカチオンの除去が十分に行われる。またモジュール化、カートリッジ化等のアセンブリにおいて、最終使用形態自体からの不純物の溶出がゼロに近いことおよびカートリッジ生産コストの低下を実現することからデバイス産業のみならず食品や医薬品等様々な分野に必要である。超耐熱性無機フィルターでは目標を達成すると使用電力量が約40 %削減される。また、耐熱性に優れる無機材料は脆弱でフィルター化が出来なかった。その無機材料からなる超極細繊維において柔軟性（曲げても折れない特性）を実現し、耐熱温度1000 $^{\circ}\text{C}$ 以上のフィルターを実現する。これによって、焼却炉排気ガスの冷却工程が必要なくなる。また、本フィルターでは、無機材料の選

択により、有害物質の分解除去も可能となる。このことから本フィルターは焼却用排気ガスや有害化学物質等の除去に必要である。耐熱性有機フィルターでは必要な耐熱性を維持しつつ、現状のガラス繊維では困難であった、焼却廃棄が可能で、ガラス繊維再飛散に起因するアスベスト類似作用の問題の解決につながることから従来のガラス繊維フィルターの代替に必要である。また焼却炉やその他排ガスのフィルターにも必要とされる。

2. 研究開発の具体的内容

(1) 超超純水製造プロセスフィルターの開発

超極細繊維製造及び改質を行うと同時に微量イオンや有機化合物の吸着除去発現機構解明を行う。次にフィルターの試作及びクリーンな環境下での評価試験を行い、アッセンブル技術を用いてフィルターモジュールの製作を行う。さらに長期性能評価と各種除去システムとのハイブリッド化技術を確立する。

(2) 超耐熱性無機フィルターの開発

セラミックス系材料を用いて超極細繊維製造を行うと同時に紡糸基本条件の設定を行う。次にフィルター基本性能評価を行ったあと、コンポジット技術の確立を図る。さらにフィルター製造を行い、フィルターユニットを組み立て、試験後実用化する。

(3) 耐熱性有機フィルターの開発

アラミド系高分子を用いて超極細繊維製造を行うと同時に紡糸基本条件の設定を行う。次にフィルター基本性能評価を行ったあと、ファブリックの積層法技術の確立を図る。さらにフィルター製造を行い、フィルターユニットを組み立て、試験後実用化する。

3. 達成目標

(1) 超超純水製造プロセスフィルターの開発

中間目標：平成20年においてイオン交換樹脂からの有機物に関してTOC濃度で1 ppb程度及び金属類を0.05 ppt程度を達成する。

最終目標：平成22年度はTOC濃度で0.1 ppb以下、及び金属類を0.01 ppt以下を達成する。目標値を達成するにはイオン交換繊維だけではなく活性炭、逆浸透膜等に用いている母材の分解、エネルギー消費量大などの課題がある。

(2) 超耐熱性無機フィルターの開発

中間目標：平成20年度は0.1 μm 粒子が90 %捕捉可能な初期圧力損失が180 Paであり、耐熱性800 $^{\circ}\text{C}$ を達成する。

最終目標：平成22年度は、0.1 μm 粒子が90 %捕捉可能な初期圧力損失が120 Paであり、耐熱性1000 $^{\circ}\text{C}$ を達成する。

(3) 耐熱性有機フィルターの開発

中間目標：平成20年度は0.1 μm 粒子が90 %以上捕捉可能な初期圧力損失が180 Paであり、耐熱性300 $^{\circ}\text{C}$ を達成する。

最終目標：平成22年度は、0.1 μm 粒子が99 %捕捉可能な初期圧力損失が120 Paであり、耐熱性400 $^{\circ}\text{C}$ 以上を達成する。

研究開発項目⑤「高性能、高機能医療衛生・産業用部材の開発」

1. 研究開発の必要性

繊維の極細加工と高次立体複合化により、医療衛生分野での医療事故やウイルス感染の防止の観点から、スーパークリーンルーム用部材及びヒューマンインターフェース医療衛生部材として、ウイルス・細菌の侵入や超微細ゴミを完全に除去する部材や着用快適性に優れたクリーン服・身体防護ウェア部材、針の刺さらない高強度部材が必要とされ、手袋、ウェア、マスク等の医療用・産業用資材や食品や有害物質等の汚染防止保護材等、多岐材料に応用可能となる。

2. 研究開発の具体的内容

(1) スーパークリーンルーム用部材の開発

電界紡糸法を用いて高性能高分子を超極細繊維化した後、本超極細繊維と賦活化処理した超極細活性炭素繊維とを一体成型することにより、高性能ケミカルフィルター性能を併せ持つスーパークリーンルーム用部材を製造する。これらをフィルター化及びフィルターユニット化すると同時に防塵部材化を行い性能試験後実用化する。

(2) ヒューマンインターフェース医療衛生部材の開発

電界紡糸法における立体成型技術の開発と平行させながら本技術開発を進める。電界紡糸法を用いて、まず、抗菌・消臭機能を有する平面型高機能部材を開発し、次に針の刺さらない高強度部材としての立体型高機能部材を開発する。また超微細ゴミや菌の侵入を完全に除去する一体型高機能部材の開発を行う。さらに長時間着用快適性にすぐれた身体防護ウェアとしての複合一体型高機能部材の開発を行う。

3. 達成目標

(1) スーパークリーンルーム用部材の開発

本プロジェクトの共通基盤で研究開発した高強度・耐熱・化学安定性を有する超極細繊維を用いて超極細活性炭素繊維を一体成型することにより、

中間目標：平成20年度において初期圧損が約180 Paで捕集効率が99.97 %（直径0.3 μm 粒子）を達成する。

最終目標：平成22年度は初期圧損が約130 Paで捕集効率が99.97 %以上（直径0.3 μm 粒子）を達成する。

この結果、クラス1のスーパークリーンルームを実現する。

(2) ヒューマンインターフェース医療衛生部材の開発

中間目標：平成20年度はウイルス除去のため、細孔サイズを30 nm、着用快適性の指標としての透湿性能を18,000 ml/24h/m²、0.5 mmφの針が貫通しない構造で、血液等の侵入防止に有効な撥水性の指標としての接触角130°を達成する。

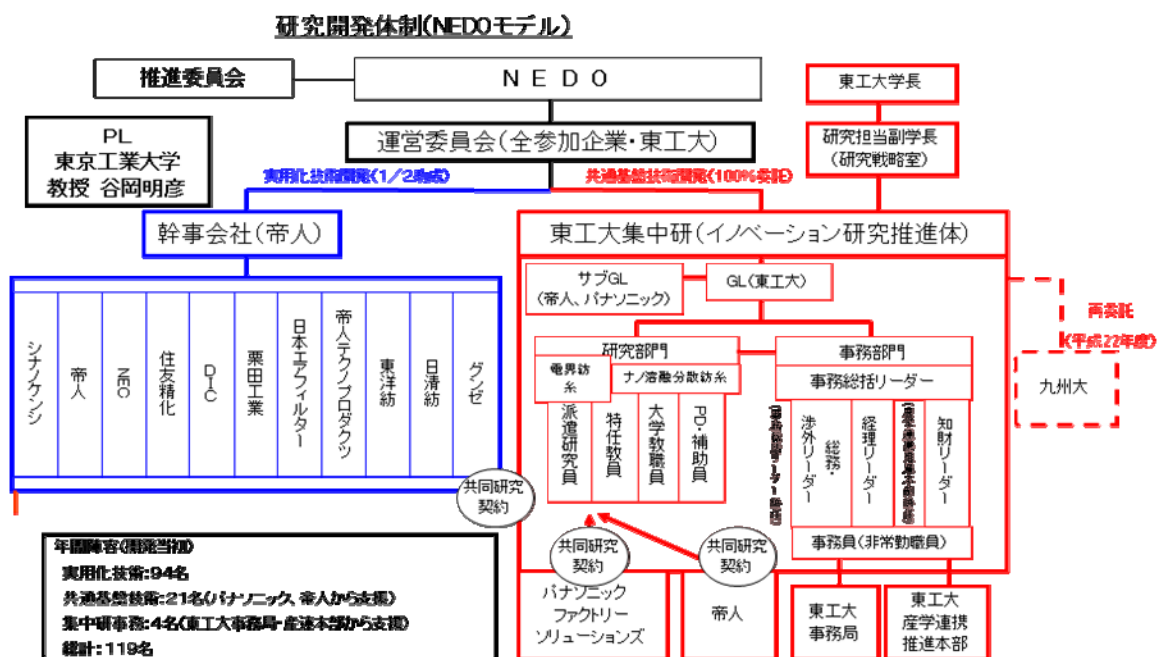
最終目標：平成22年度はウイルス除去のため、細孔サイズを10 nm、着用快適性の指標としての透湿性能を20,000 ml/24h/m²、0.08 mmφの針が貫通しない構造で、血液等の侵入防止に有効な撥水性の指標としての接触角150°を達成する。

2. 2 研究開発の実施体制と予算

本研究開発は、NEDOが、単独ないし複数の本邦の企業、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した。

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）国立大学法人 東京工業大学 教授 谷岡 明彦を置き、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している。

本研究開発において、NEDOが主体となって行うべき基礎的・基盤的研究開発であると判断される研究開発内容に示した①②の事業は委託により実施し、市場化に向けた産業界の具体的な取り組みが示されるべき実用化研究開発であると判断される研究開発内容に示した③④⑤の事業は助成（助成率 1/2）により実施する。



【共通基盤技術】（委託事業）

- ① 電界紡糸法における繊維高機能化、大型装置化技術の開発
- ② ナノ溶融分散紡糸法による炭素超極細繊維製造技術の開発

【実用化技術】（1/2助成事業）

- ③ 高性能、高機能電池用部材の開発
 - (1) パンプ型燃料電池の開発
 - (2) 小型蓄電池の開発
 - (3) 薄型電池の開発
- ④ 高性能、高機能フィルター用部材の開発
 - (1) 超超純水製造プロセスフィルターの開発
 - (2) 超耐熱性無機フィルターの開発
 - (3) 耐熱性有機フィルターの開発
- ⑤ 高性能、高機能医療衛生・産業用部材の開発
 - (1) スーパークリーンルーム用部材の開発
 - (2) ヒューマンインターフェース医療衛生部材の開発

＊垂直－水平連携プロジェクト

本事業はハブリッド型垂直－水平連携プロジェクトと呼ばれ、委託事業としての、

I. 共通基盤技術開発（水平）
 の上に助成事業としての複数のII. 実用化技術開発（垂直）の展開を図るというこれまでにない新しい形式であり、産学の連携を推進しつつ産業技術を組織的かつ戦略的に展開し、よりスピードアップされた技術開発を推進することを目指している。ヒマラヤ登山に例えると「水平」はベースキャンプ、「垂直」はアタック、「製品」は頂上に相当する。

実施体制(垂直－水平連携)

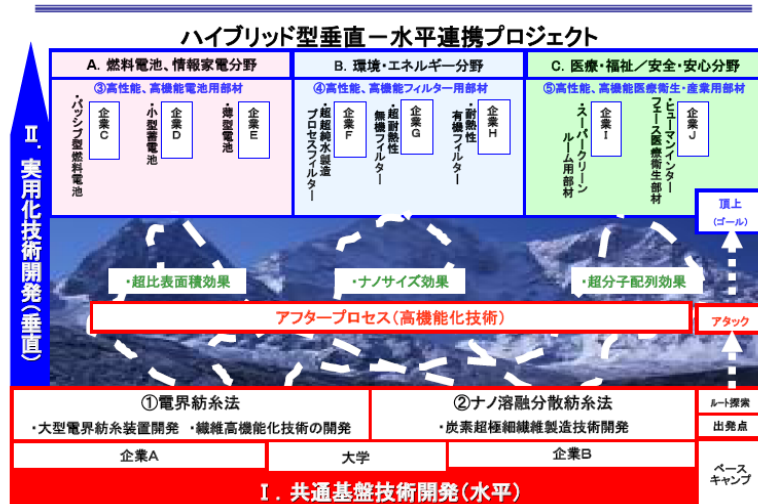


図2. 2-2 実施体制

予算（研究開発費実績）

表 2. 2 - 1 に研究開発費（実績値、加速財源込み）を示す。委託事業である基盤技術開発に約22億円、1/2助成事業である実用化技術開発に約16億円の合計38億円投入した。

表 2. 2 - 1 研究開発費

単位 百万円

	研究開発項目	H18	H19	H20	H21	H22	合計
委託	①電界紡糸法における繊維高機能化、大型装置化技術の開発	427	352	294	254	180	1,507
	②ナノ溶融分散紡糸法による炭素超極細繊維製造技術の開発	185	165	121	146	96	713
	小計	612	517	415	400	276	2,220
1/2助成	③高性能、高機能電池用部材の開発	188	203	136	91	78	696
	④高性能、高機能フィルター用部材の開発	74	90	69	59	35	327
	⑤高性能、高機能医療衛生・産業用部材の開発	138	152	105	99	65	559
	小計	400	445	310	249	178	1,582
その他	ナノファイバーイノベーション創出NEDO講座	-	-	-	-	33	33
	合計	1,012	962	725	649	487	3,835

2. 3 研究の運営管理

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推進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（PL）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っている。

研究開発は「先端機能発現型新構造繊維部材基盤技術の開発プロジェクトのロードマップ」に従い管理運営されている。本ロードマップによると、共通基盤技術の研究開発項目①電界紡糸法における繊維高機能化、大型装置化技術の開発では平成18年度から平成20年度にかけて高機能材料紡糸技術・大型紡糸技術開発を行い、平成20年度後半から大量生産技術の開発を行う。また共通基盤技術の研究開発項目②ナノ溶融分散紡糸法による炭素超極細繊維製造技術の開発では平成18年度から平成20年度にかけて機構解明／不融化・炭化技術開発を行い、平成20年度後半から大量生産技術開発を行う。また研究開発項目①②とも5年間をかけて物性評価・構造評価確立を行う。また実用化技術開発では研究開発項目③高性能、高機能電池用部材の開発において、平成18年度から平成20年度にかけて高性能電池部材開発を行い、平成21年度から平成22年度にかけて実用化検討を行う。特にパッシブ型燃料電池に関しては平成20年度にほぼ目標が達成でき、実用化は自社開発することになる。研究開発項目④高性能、高機能フィルター用部材の開発では平成18年度から平成20年度にかけて高性能フィルター用部材開発を行い、平成21年度から平成22年度にかけて実用化検討を行う。研究開発項目⑤高性能、高機能医療衛生用・産業用部材の開発では平成18年度から平成20年度にかけて高性能部材開発を行い、平成21年度から平成22年度にかけて実用化検討を行う。

共通基盤技術と実用化技術との密接な連携を図りプロジェクトを円滑に推進するためには、各種連絡会を実施して積極的に情報交換を図りながら本プロジェクトの目的・目標に照らして適切な運営管理を実施している。具体的には、ナノファイバプロジェクト運営委員会（27回開催）を開催しプロジェクト全体の運営方針を議論してきた。本運営委員会はプロジェクト推進のコアとなるもので運営委員会委員として各実施者代表が出席している。さらにこれまで電界紡糸グループ会を116回開催している。電界紡糸グループは助成テーマ毎に頻繁に打ち合わせを開催していることから、本会では電界紡糸の知財に関わる大枠の取り決めのみ議論している。ナノ溶融分散紡糸グループ会はこれまで103回開催しナノ溶融分散紡糸関係者が出席しナノ溶融分散紡糸関連グループの打ち合わせを行っている。助成テーマと集中研との打ち合わせや集中研内での打ち合わせも頻繁に行われており、東工大集中研電界紡糸グループとパナソニックファクトリーソリューションズ（PFSC）との打合せはこれまで27回行われた。ナノ溶融分散紡糸関係者とPLが出席するナノ溶融分散紡糸WG推進会はこれまで36回行われており、助成テーマであるキャパシタ関係者と34回、ラジカルポリマー関係者間で117回行われている。集中研電界紡糸グループ担当者と助成企業担当者間及び助成企業当事者間でも頻繁に打ち合わせが行われておりパッシブ型燃料電池と

16回、超超純水製造プロセスフィルターと36回、超耐熱性無機フィルターと12回、耐熱性有機フィルターと26回、スーパークリーンルームと63回、ヒューマンインターフェース医療衛生部材と147回となっている。

また、本プロジェクトでは、外部の専門家、有識者等によって構成される技術推進委員会を設置している。年に一度を目処に委員会を開催し、プロジェクトの目標達成度を把握するとともに、プロジェクトの資源配分の判断に資することを目的とする。ここでの評価項目は1) マイルストーンについて、2) 研究開発成果について、3) 実用化の見通しについてである。

プロジェクトリーダー (PL)

NEDO が実施・管理を行う当該プロジェクトの、より効率的な研究開発の推進を図るため、研究開発の現場において指示・指導・調整の任にあたり、研究開発計画原案の策定、研究成果のとりまとめ等の役割を行うプロジェクトリーダー (PL) として国立大学法人東京工業大学 教授 谷岡 明彦を置き、本プロジェクトを推進した。

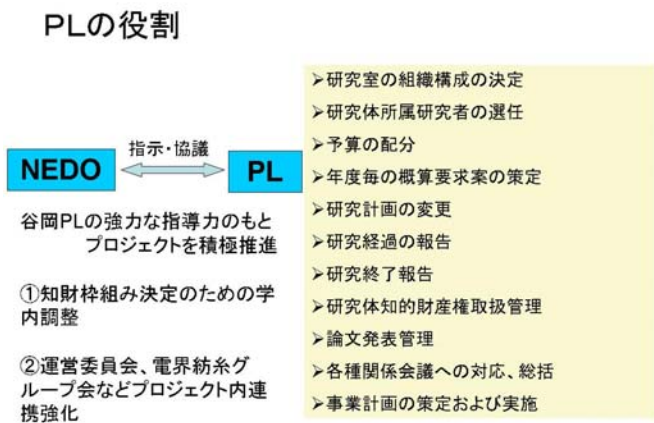


図 2. 3 - 1 PL の役割

PL の役割を以下に挙げる。

表 2. 3 - 1 PL の役割

組織関係	<ul style="list-style-type: none"> ● 研究体の研究室の設置、廃止等の組織構成の決定 ● 研究体のサブ研究リーダーの選任と解任
研究体所属研究者関係	<ul style="list-style-type: none"> ● 大学、産総研、企業が提出する研究者候補リストの中からの研究体所属研究者の選任 ● 研究体所属研究者の任期の設定および変更に関する調整 ● 研究体所属研究者の担当研究項目の決定 ● その他研究体所属研究者の総合的な統括
予算、研究場所、研究設備および装置等	<ul style="list-style-type: none"> ● 実施時における予算の配分の調整 ● 研究体の活動に割り当てられた研究場所の配分、模様替え等の調整 ● 研究設備および装置等の使用範囲等の調整
研究計画および報告	<ul style="list-style-type: none"> ● 年度毎の概算要求案（年間研究計画書案、実施計画書案の策定） ● 研究計画の変更（実施計画書変更申請案の策定） ● 軽微な研究計画の変更（実施計画書変更届出書の策定） ● 研究経過の報告（成果報告書案、その他必要に応じた研究報告書案の策定） ● 研究終了報告（研究終了報告書案の策定）

研究評価	<ul style="list-style-type: none"> ● 研究内容の研究体内での評価 ● 研究者の研究体内での評価
研究成果	<ul style="list-style-type: none"> ● 別途定める研究体知的財産権取扱規程の施行およびその遵守に関する指導管理 ● 論文発表等による公開を、知的所有権による保護に優先させるか否かの判断
第三者との共同研究、研究者等の招聘	<ul style="list-style-type: none"> ● 第三者との共同研究の実施と管理（①共同研究および共同研究契約に対する要望事項の取り纏め、②共同研究契約書案の策定、③各種報告書案の策定） ● 外部研究者（産総研、大学、企業等）の調整および選任
その他	<ul style="list-style-type: none"> ● 研究体の研究活動推進のための総合調整 ● 経済産業省、NEDO、大学、企業に置かれた各種関係会議への対応、総括 ● ワークショップ、シンポジウム等、事業計画の策定および実施

技術推進委員会

NEDOは外部の専門家、有識者等によって構成される技術推進委員会を設置し、1回／年度を目処に委員会を開催する。これによりプロジェクトの目標達成度を把握するとともに、プロジェクトの資源配分の判断に資することを目的とする。

技術推進委員会は平成18年度から3回開催され、その開催実績を下記に示す。

技術推進委員会(NEDO推進部主催)

NEDOが外部の専門家、有識者等によって構成される技術推進委員会を1回／年度目処に開催し、プロジェクトの目標達成度を適時確認。

さらに、その結果をプロジェクトの見直し、加速等のマネジメントにも活用

評価項目	1) マイルストーンについて	開催実績	第一回:平成19年3月12日
	2) 研究開発成果について		第二回:平成20年4月24日
	3) 実用化の見通しについて		第三回:平成21年10月16日

第一回、第二回技術推進委員会外部有識者委員

氏名	所属 部署	役職
金谷 利治	国立大学法人京都大学 化学研究所 複合基盤化学研究系 高分子物質科学	教授
指田 禎一	日清紡績株式会社	取締役会長
長島 徳明	山形大学	客員教授
林 義郎	グローバル情報社会研究所株式会社	顧問

第三回技術推進委員会外部有識者委員

氏名	所属 部署	役職
金谷 利治	国立大学法人京都大学 化学研究所 複合基盤化学研究系 高分子物質科学	教授
岩下 俊士	日清紡ホールディングス株式会社	取締役会長
長島 徳明	山形大学	客員教授
林 義郎	グローバル情報社会研究所株式会社	顧問

(敬称略・順不同)

図 2. 3 - 2 技術推進委員会の開催実績

その他委員会・打ち合わせ

プロジェクト全体の運営方針を議論するナノファイバープロジェクト運営委員会をはじめ、各種連絡会を実施し、積極的に情報交換を図り、本プロジェクトの目的・目標に照らして適切な運営管理を実施した。

各種連絡会を実施し、グループ間およびグループ内の情報交換を積極的に図り、本プロジェクトの目的・目標に照らした適切な運営管理を実施

ナノファイバープロジェクト運営委員会(27回)

プロジェクト全体の運営方針を議論。運営委員会委員(各実施者代表)が出席
電界紡糸グループ会(116回)

電界紡糸関連グループの打ち合わせ。電界紡糸関係者が出席

ナノ溶融分散紡糸グループ会(103回)

ナノ溶融分散紡糸関連グループの打ち合わせ。ナノ溶融分散紡糸関係者が出席

助成テーマ毎の打ち合わせ等

東工大集中研とPFSCとの打合せ(27回)

ナノ溶融分散紡糸WG推進会(ナノ溶融分散紡糸関係者+PLが出席:36回)

小型蓄電池(34回)、ラジカルポリマー薄型電池(117回)

パンプ型燃料電池(16回)、超超純水製造プロセスフィルター(36回)

超耐熱性無機フィルター(12回)、耐熱性有機フィルター(26回)

スーパークリーンルーム(63回)、ヒューマンインターフェース医療衛生部材(147回)

図 2. 3 - 4 各種連絡会開催状況

表 2. 3 - 2 ナノファイバープロジェクト運営委員会開催実績

回	日時	場所	議事内容	出席人数
1	2006/6/7 (水)	東京工業大学 南 8 号館 6 2 3 号室	運営委員会会則、協定書、共同研究契約書の検討	28
2	2006/6/21 (水)	東京工業大学 南 8 号館 8 1 1 号室	1. 研究テーマなどに関する今後のスケジュールについて 2. 経産省局長訪問等について 3. 石川台の基礎研究施設の準備状況について 4. 運営委員会会則について 5. 協定書、各種契約書について	26
3	2006/7/19 (水)	東京工業大学 南 8 号館 6 2 3 号室	1. 前回運営委員会議事録の確認 2. 知財及び契約書関係 3. 経過報告	30
4	2006/8/22 (火)	東京工業大学 百年記念館第 1 会議室	1. 前回運営委員会議事録の確認 2. 知財及び契約書関係 3. 経過報告	34

5	2006/10/11(水)	東京工業大学 南 8 号館 6 2 3 号室	1. 前回運営委員会議事録の確認 2. NEDO 関連 3. 契約書関係 4. 基盤技術進捗状況	31
6	2006/12/20(水)	東京工業大学 百年記念館 フェライト会議室	1. 前回運営委員会議事録の確認 2. 契約書関係 3. ヨーロッパの現状 4. 各社訪問に関して	32
7	2007/1/15(水)	東京工業大学 百年記念館 フェライト会議室	1. 前回運営委員会議事録の確認 2. イノベーション協議会関係 3. 各社訪問の報告 4. NEDO 技術推進委員会のヒアリング	26
8	2007/3/5(月)	東京工業大学 南 8 号館 6 2 3 号室	1. 前回運営委員会議事録の確認 2. イノベーション協議会関係	24
9	2007/4/11 (水)	東京工業大学 百年記念館 第 1 会議室	1. 新任紹介 2. 前回運営委員会議事録の確認 (決定) 3. H19 年度 申請関係 (報告) 4. H20 年度 ヒアリング関係 5. 助成企業/PFSC/東工大 話し合い日程	34
10	2007/5/16 (水)	東京工業大学 百年記念館 フェライト会議室	1. 新任紹介 2. 前回運営委員会議事録の確認 3. 契約書関係	30
11	2007/7/18(水)	東京工業大学 百年記念館 フェライト会議室	1. 前回運営委員会議事録の確認・承認 2. 契約書関係 3. H20 年度予算について 4. NEDO の各社現場訪問について 5. ナノファイバーの安全性講習会 6. イノベーション協議会関係 7. その他 (ビジネス展開委員会設置) 他	31
12	2007/9/4 (火)	東京工業大学 百年記念館 第 1 会議室	1. 前回運営委員会議事録の確認・承認 2. NEDO 各社現場訪問について 3. 契約書関係	28

			<ul style="list-style-type: none"> 4. イノベーション協議会関係 5. その他（電界紡糸グループ会設置の提案） 	
13	2007/10/30(火)	東京工業大学 百年記念館 第1会議室	<ul style="list-style-type: none"> 1. 前回運営員会会議議事録の確認・承認 2. NEDO 中間評価について 3. イノベーション協議会関係 4. その他 	27
14	2007/12/19(水)	東京工業大学 百年記念館 第1会議室	<ul style="list-style-type: none"> 1. 前回運営員会会議議事録の確認・承認 2. 米国出張視察報告 3. NEDO 中間評価について 4. イノベーション協議会関係 5. その他（NEDO 特別講座設置） 	22
15	2008/01/18(金)	東京工業大学 百年記念館 第1会議室	<ul style="list-style-type: none"> 1. 前回運営員会会議議事録の確認・承認 2. イノベーション協議会関係 3. NEDO 特別講座 4. NEDO 中間評価について 5. H20 年度 NEDO 予算について 6. その他 	23
16	2008/03/11(火)	東京工業大学 南8号館 623号室	<ul style="list-style-type: none"> 1. 前回運営員会会議議事録の確認・承認 2. ナノファイバーの安全性について 3. ナノファイバーの安全性調査報告 4. NEDO 特別講座 講義 5. NEDO 中間評価及び技術推進委員会 6. H20 年度 NEDO 予算について 7. その他（工業ナノ材料のリスク評価 NEDO 報告、登録メンバー変更処理） 	22
17	2008/07/04(金)	東京工業大学 本館3階 345号室 第2会議室	<ul style="list-style-type: none"> 1. 前回運営員会会議議事録の確認・承認 2. NEDO 中間評価について 3. イノベーション協議会関係 4. その他 	28

18	2008/09/19(金)	東京工業大学 百年記念館 第1会議室	<ol style="list-style-type: none"> 1. 前回運営員会会議議事録の確認・承認 2. NEDO 中間評価及び会計検査について 3. 総合科学会議のヒアリング 4. イノベーション協議会関係 5. その他 <ol style="list-style-type: none"> 5. 1 安全性の講演会の案内 5. 2 ナノファイバー関係の学会設立について 	23
19	2008/10/27(金)	東京工業大学 百年記念館 第1会議室	<ol style="list-style-type: none"> 1. 前回運営員会会議議事録の確認・承認 2. NEDO 中間評価 3. イノベーション協議会関係 4. ナノファイバー学会 5. その他 	23
20	2008/12/10(金)	東京工業大学 百年記念館 第1会議室	<ol style="list-style-type: none"> 1. 前回運営員会会議議事録の確認・承認 2. NEDO 中間評価 3. イノベーション協議会関係 4. その他 	23
21	2009/5/11(月)	東京工業大学 本館3階 345号室 第2会議室	<ol style="list-style-type: none"> 1. 前回運営員会会議議事録の確認・承認 2. NEDO 予算について 3. 今後のプロジェクトの方向 4. 国際会議について 5. その他イノベーション協議会関係 	23
22	2009/9/18(金)	東京工業大学 本館3階 345号室 第2会議室	<ol style="list-style-type: none"> 1. 前回運営員会会議議事録の確認・承認 2. 技術推進委員会報告 3. ナノファイバー学会について 4. その他 イノベーション協議会関係 	26
23	2009/12/7(月)	東京工業大学 本館2階 27号室 工学系会議室	<ol style="list-style-type: none"> 1. 前回運営員会会議議事録の確認・承認 2. 技術推進委員会報告 3. ナノファイバー学会について 4. その他 イノベーション協議 	22

			会関係	
24	2010/5/28(金)	東京工業大学 蔵前会館 手嶋精一記念会議室	1. 前回運営員会会議議事録の確認・承認 2. 予算執行について 3. プロジェクトの本年度スケジュール 4. プロジェクト終了後スケジュールについて 5. その他 ナノファイバー学会報告 イノベーション協議会関係 集中研所有装置活用依頼の件 独法化調査委員会調査の件	20
25	2010/9/14(火)	東京工業大学 蔵前会館 手嶋精一記念会議室	1. 前回運営員会会議議事録の確認・承認 2. 事後評価 (NEDO 説明) 3. 助成企業の訪問について (NEDO 説明) 4. 海外状況報告 5. その他 イノベーション協議会関係 NEDO 講座・ナノファイバー学会 ナノテク 2011 説明	19
26	2011/1/17(月)	東京工業大学 本館 2 階 27 号室 工学系会議室	1. 前回運営員会会議議事録の確認・承認 2. 事後評価 (NEDO 説明) 3. ナノテク 2011 準備事項について (NEDO 説明) 4. イノベーション協議会関係 5. その他	22
27	2011/3/10(木)	東京商工会議所 8 階 ルビーホール	1. 前回運営員会会議議事録の確認・承認 2. ナノテク 2011 準備事項について 3. 事後評価 (NEDO 説明) 4. イノベーション協議会関係 5. その他	28

2. 4 研究開発成果の実用化、事業化に向けたマネジメントの妥当性

本プロジェクトの成果を、確実に実用化、事業化に結びつけていくために、以下のマネジメントを実施した。

・基本計画

先導調査結果に基づき、大学が実施する基盤技術開発においても、高速連続製造とか工程の短時間化など実用化・事業化を目指した目標設定とした。(2.1 研究開発内容ご参照)

・研究開発体制

実用化を担当する企業が大学成果（基盤技術開発成果）を利用しやすい実施体制を構築した。(委託・助成ハイブリッド型、垂直・水平連携：2.3 研究開発の実施体制ご参照)

・プロジェクトの妥当性確認

海外の企業、研究機関との情報交換、学会参加等を通じ、競合技術との比較をプロジェクト期間中も実施し、目標の妥当性を確認しながらプロジェクト推進した。表2.4-1に電界紡糸装置の比較を示した。プロジェクトスタート前の先導調査においてまず、電界紡糸の最大の課題が、ナノファイバーの製造能力と爆発防止であることを見極め、重点課題とした。また、プロジェクト期間中の情報収集結果から、目標は妥当であり、成果としては世界トップレベルであることを確認できた。

表2. 4-1 電界紡糸装置の比較

国名 社名	日本	アメリカ				チェコ	フィンランド	韓国
	繊維PJ(東工大) 現状性能(中間、最終目標値)	A社	B社	D社	E社	F社	G社	H社
繊維直径(nm)	数~数千(中間100,最終50)		150-500		35		30	数十~数百
繊維径バラツキ(%)	40(中間50%,最終20%)							
製品幅(m)	1.5		1.4	2	1.75	1.6(3.2?)		1.5
ライン速度(m/分)	50(中間30,最終60)			15-50	6			
塗布量(μl/分)	20μl/本・分							
ノズル性能(本)	1000万(中間・最終20万)本相当			9900				数万本
メンテナンス時間	数分	1日	1日	1日	1日	1時間	1日	1時間以内(推定)
生産量(m ² /日)	10,000							
その他	溶解電界紡糸	(生産量100,000目標)		電界紡糸+フロー併用				
適用樹脂								
ポリウレタン	○	○	○		○	○		○
ナイロン	○				○			○
ポリフッ化ビニリデン	○				○			○
セルロース	○							
ポリアクリロニトリル	○							
その他	7アミド、無機			無機(酸化チタン)	ポリサルホン ポリカーボネート	ホリビニルアルコールなど	無機(アルミナ)	
溶剤	水・有機溶媒 無溶剤も可(溶解電界紡糸)		ジメチルアセトアミド?		ジメチルアセトアミド	水		
備考(技術課題等)	防爆(溶剤回収)完了 3次元コーティング フィラメント パターンニング	爆発経験あり	爆発経験あり	爆発経験あり 基材接着性	爆発経験あり 層間密着性 温度コントロール	爆発経験あり 有機溶媒への対応	爆発経験あり	シート以外できない 多品種対応難
製品	エアークリッドフィルター 電池部材 衣料・医療用	エアークリッドフィルター ・換気空調用 ・自動車用 ・プラント用 ・軍事用 ・電子機器(HDD)用	エアークリッドフィルター ・建物用換気空調設備 のH'グフィルター リキッドフィルター	ナノファイバー ・家庭用エアークリッド等 のOEM製造	ナノファイバー ・医療 ・フィルター ・テキスタイル ・電池部材 等のOEM	電界紡糸装置 ・フィルター ・吸音材 ・電池部材 ・医療用部材	リキッドフィルター	ナノファイバー ・フィルター ・自動車関連部品

・実用化に向けた安全性検討

アスベストの問題に端を発するナノ材料の人体に対する安全性は、ナノファイバーの実用化に向けて、重要な課題となっている。そこで商品化の際に課題となる、ナノファイバーの安全性検討を技術開発と並行して実施した。（Ⅳ．安全性の検討ご参照）

・フレキシブルなマネジメント

状況変化や研究開発の進捗状況に応じて加速財源の配分と再委託先追加を実施した。（Ⅲ．情勢変化への対応ご参照）

・プロジェクト終了後の実用化に向けたマネジメント

プロジェクト終了後の実用化、さらに高性能・高機能化、新規用途に向けた開発を推進している。

①基本的に実用化技術は企業が積極推進

②先端技術実証・評価設備整備事業（経済産業省）に応募

③ベンチャー企業設立

④超省エネ型環境清浄化用複合機能化ナノ構造エアデバイスの研究開発推進中（ナノテク・先端技術実用化研究開発：NEDO事業）

⑤グリーンセンサ・ネットワーク技術開発プロジェクトへの参画（H23～H26、NEDO事業）

・知的財産権に関するマネジメント

プロジェクト開始時に、大学と企業との『知財の枠組み調整』を行い、取り扱い方針（表2. 4-2）を決定することで、実施者間での権利の保護とともに、戦略的な活用を促進した。

表2. 4-2 知財の取り扱い方針

実施者	特許権者							備考
	単独出願			共同出願				
	東工大	基盤	1/2(A)	東&基盤	東&1/2(A)	東&基&1/2(A)	基&1/2(A)	
東工大(東)								東工大は自己実施しない
基盤企業(基A)	有償	無償	検討a	無償	検討a	無償/検討a用途*	無償/検討a用途*	出願人企業は、自由かつ無償で実施可能。
1/2助成企業(1/2A)	有償	検討a	無償	検討a	無償	無償/検討a用途*	無償/検討a用途*	
B(基盤及び助成)	有償	検討a	検討a	検討a	検討a	検討a	検討a	出願人企業以外のプロジェクト参加企業は特別な理由が無い限り実施許諾を受けられる
非参加企業(X社)	検討b	検討b	検討b	検討b	検討b	検討b	検討b	

具体的には出願のパターンを7パターン、特許を実施するパターンを4パターンとし、合計28種類のパターンに対して、取り扱い方針、ルールを決定し、プロジェクトを円滑に推進した。実用化促進のため大学と企業との共同出願の場合、大学への不実施補償なしとした。

知的財産権取得に関して、基盤技術に関する発明は積極的出願し、実用化技術に関しては企業の戦略を尊重することとした。

3. 情勢変化への対応

開発項目③高性能、高機能電池用部材の開発（1）パッシブ型燃料電池の開発においては、最終目標値である電池出力 $100\text{mW}/\text{cm}^2$ について、主にアノード側の検討・電解質膜・触媒層の改良により近々に目標値をほぼ達成できる見込みのため、平成20年度末で本プロジェクトを卒業し、モバイル用燃料電池開発については、自社で検討を進めた。さらに波及効果としてプロジェクトで得られたナノファイバー技術を活用し、フィルター、菌の培地等への応用展開を検討することを20年度の技術推進委員会でも承認されている。

また21年度以降には、実用化検討が本格的にスタートし、大型の試作設備等を導入した。

先端機能発現型新構造繊維部材基盤技術の開発プロジェクトのロードマップ

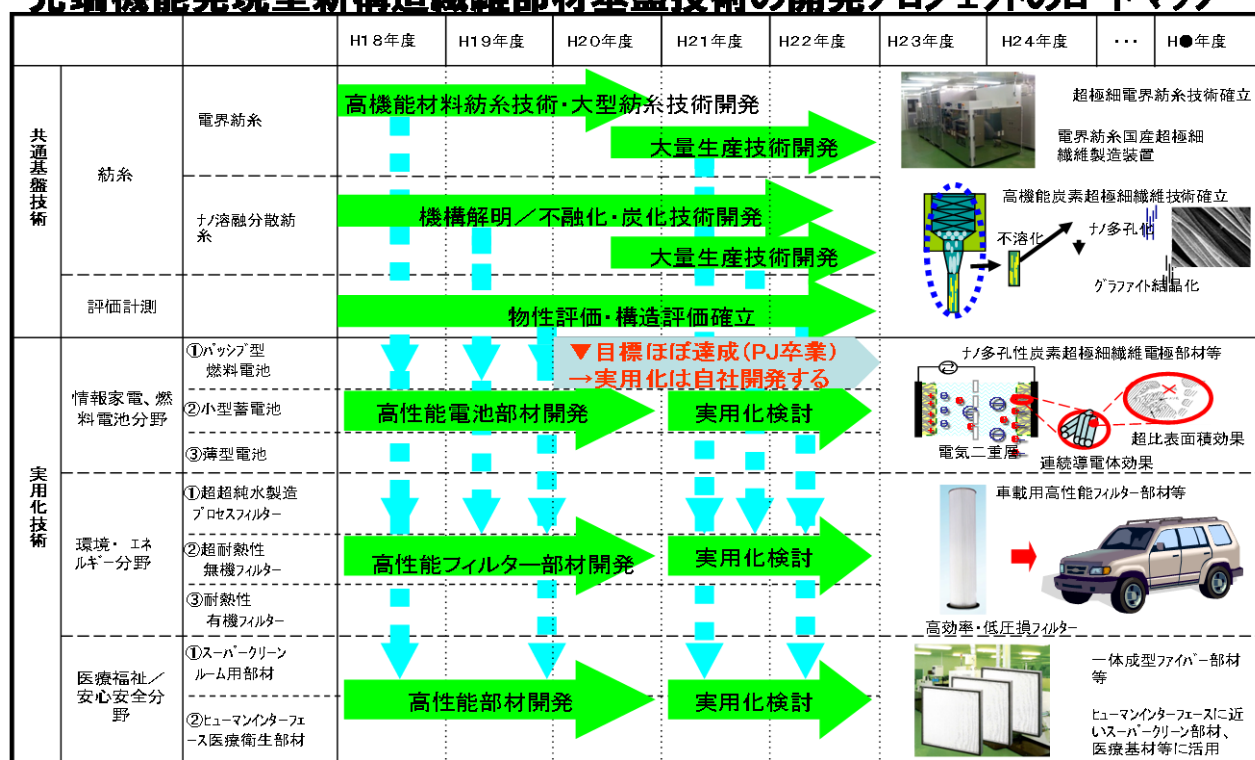


図3-1 プロジェクトの開発ロードマップ

加速

プロジェクトの運営管理として、進捗状況や技術推進委員会の結果をふまえ、目覚ましい技術的成果を上げ、年度内に更なる追加配分を行い、加速的に研究を進捗させることにより、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ことが期待されるテーマに関して、研究加速財源の配分を行った。加速財源の配分実績を下記にまとめた。

表 3 - 1 加速財源配分実績

研究開発項目		H18y	H19y	H20y	H21y	H22y
委託	①電界紡糸法における繊維高機能化大型装置化技術の開発	加速(130) 297	加速(62) 290	加速(50) 244	加速(23) 231	180
	②ナノ溶融分散紡糸法による炭素超極細繊維製造技術の開発	加速(60) 125	加速(19) 146	121	加速(29) 117	96
1/2助成	③高性能、高機能電池用部材の開発	188	加速(13) 190	136	91	78
	④高性能、高機能フィルター用部材の開発	74	90	69	59	35
	⑤高性能、高機能医療衛生・産業用部材の開発	138	加速(8) 144	105	99	65
予算(百万円)		1,012	962	725	649	487

平成18年度加速効果（190百万円）

溶液粘度弾性測定装置、超極細繊維表面電位計、超純水装置、超微細細孔径分布測定装置、電界紡糸観察超高速カメラ、超極細繊維表面測定用原子間力顕微鏡、超極細繊維構造観察紫外可視近赤外分光光度計、真空FT-IR、偏光顕微鏡の購入により超極細繊維の形成状態、前駆体物性、表面構造、配向構造、内部構造、積層構造、表面物性、電気物性、孔径分布等の計測を迅速かつ精度良く行うことが可能になった。このことにより、新規に開発した超高性能ノズルにより製造される超極細繊維の不織布材料、コーティング、フィラメントの状態確認が非常に容易となり、大型電界紡糸装置の開発が著しく促進されることになった。また炭素超極細繊維の電気伝導性や配向性等の計測により適正な炭素繊維を製造する方式が確認され研究開発が促進された。

平成19年度加速効果（105百万円）

平成20年に実施予定であった、溶媒処理システムの確立を平成19年度に実施し、20

年度の目標を19年度に達成した。さらに平成20年に実施予定であった、大型電界紡糸高性能化装置、繊維高機能化装置、炭素超極細繊維高品質化装置を平成19年年度に導入することにより、大型電界紡糸装置の高性能化が図られると共に超極細繊維の高機能化、さらには炭素超極細繊維の高品質化が図られた。

平成20年度加速効果（50百万円）

平成21年に実施予定であった、大量生産化を加味したナノファイバーの高機能化技術（3次元立体成型電界紡糸、多種材料同時紡糸）を前倒しで検討するため3次元立体成型電界紡糸装置と高機能化制御装置を20年度に導入することにより、ナノファイバーの生産速度向上が図られるとともに、3次元立体成型電界紡糸、多種材料同時紡糸技術の高度化が図られた。

平成21年度加速効果（62百万円）

電界紡糸の繊維径のばらつき低減などの高品質化および高速化、安全性向上かつ低消費電力化を目的に超極細繊維大容量発生装置と電界紡糸吐出挙動解析装置、超極細炭素繊維の製造技術効率化と用途開拓を目的に超極細炭素繊維用途開拓用サンプル製造装置を導入することにより、電界紡糸技術の高速、高品質化が図られると共に超極細繊維の製造工程時間短縮とサンプルワークの促進が図られた。

表 3 - 2 加速実績

プロジェクトの運営管理として、進捗状況や技術推進委員会の結果をふまえ、目覚ましい技術的成果を上げ、年度内に更なる追加配分を行い、加速的に研究を進捗させた

平成18年度加速実績：190百万円

開発項目	加速内容	金額 (百万円)
①	繊維の形態、構造等に関する評価装置を導入することにより超微細繊維、超微細繊維構造観察の形成状態、前駆体、繊維の表面構造、内部構造や積層構造に対して表面物性の測定、電気的物性や細孔径分布の計測が迅速となり大型電界紡糸装置の開発が促進された。	130
②	炭素超極細繊維の電気伝導性や配向制御の計測装置を導入することにより炭素繊維製造方式の妥当性が確認され研究開発が促進された。	60

基盤技術①②に評価機器等を導入し、研究開発を促進した。

平成19年度加速実績：105百万円

開発項目	加速内容	金額 (百万円)
①	溶剤回収装置の試作装置を導入することにより水系溶媒から有機溶媒系まで高分子を電界紡糸する装置の開発を促進された。	62
②	真空置換炉および品質評価設備を導入することにより、炭素繊維超極細繊維の品質向上が促進された。	19
③	炭素前駆体の粘弾性測定装置や電池性能評価設備を導入することにより電池用部材の開発が促進された。	13
⑤	三次元変角光度測定装置等を導入することによりテキスタイルの構造体としての均一性の確認が可能となり、医療衛生部材等の開発が促進された。	8

基盤技術①に試作設備
②に品質評価設備
助成事業③⑤評価機器等を導入し、研究開発を促進した。

平成20年度加速実績:50百万円

開発項目	加速内容	金額 (百万円)
①	3次元立体成型電界紡糸装置一式導入することにより、極細繊維の製造速度向上と3次元立体成型電界紡糸糸高品質化の両立を図る技術開発が促進された。	30
①	高機能化制御装置一式導入することにより、極細繊維の製造速度向上と多種材料同時紡糸の両立を図り、異なる機能(強度、密着性、抗菌性等)を持つナノファイバー不織布を同時に成型する技術開発が促進された。	20

基盤技術①に試作設備、評価機器等を導入し、研究開発を促進した。

平成21年度加速実績:62百万円

開発項目	加速内容	金額 (百万円)
①	超極細繊維大容量発生装置を導入し、高速かつ大容量のエアを安定して供給することで繊維径のばらつきの少ない高品質の超極細繊維を高速で、安全に、かつ低電力消費で作製する技術の開発が促進される。	18
①	電界紡糸吐出挙動解析装置一式を導入し、ことによりノズルから吐出する超極細繊維の吐出挙動の解析を行うことで、高速紡糸と高品質化の技術開発が促進された。	15
②	超極細炭素繊維用途開拓用サンプル製造装置一式をすることにより、効率的量産へ向けた基礎技術の検討ならび、用途開発/用途開拓に向けたサンプルワークが促進された。	29

基盤技術①に試作設備と解析装置②に試作設備を導入し、研究開発を促進した。

表3-3 研究加速財源の配分の実績

○平成18年度 加速実績:190百万円

開発項目	導入装置	金額 (百万円)
①	溶液粘弾性測定装置 (H19年度前倒し)	13
	超極細繊維表面電位計 (H19年度前倒し)	11
	電界紡糸観察超高速カメラ(H19年度前倒し)	12
	超極細繊維表面測定用原子間力顕微鏡	13
	超極細繊維構造観察紫外可視近赤外分光光度計	15
	超極細繊維微細構造計測用顕微フーリエ赤外分光光度計	13
	超極細繊維用延伸ステージ付透過・反射・偏光顕微鏡	7
	超極細繊維用前駆体用熱分析装置	6
	超極細繊維フィルター用液体クロマトグラフィ	7
	超極細繊維用万能材料試験機	4
	超極細繊維用赤外顕微鏡自動ステージシステム	2
	超極細繊維径計測マルチチャンネル分光計	42
超極細繊維作製装置走行系検討治具	2	
②	超極細繊維細孔径分布測定装置	9
	炭素超極細繊維用偏光顕微鏡	10
	炭素超極細繊維用ラボプラスト	8
	炭素超極細繊維用示差熱重量同時測定器	4

	炭素超極細繊維硬度計用加熱ステージ	2
	炭素超極細繊維用熱機械測定装置	3
	炭素超極細繊維用示差走査熱量測定器	2

○平成19年度 加速実績：105百万円

開発項目	導入装置	金額 (百万円)
①	溶剤回収装置一式	25
	紡糸走行系及びコントローラ	20
	繊維高機能化技術の開発用試作装置一式	17
②	卓上真空置換炉	2
	炭素用デジタル顕微鏡一式	4
③	粘弾性測定装置（電池）	7
	電池性能評価	3
	グローブボックス	4
	赤外分光光度計	3
⑤	三次元変角光度測定装置	5

○平成20年度 加速実績：50百万円

開発項目	導入装置	金額 (百万円)
①	3次元立体成型電界紡糸装置一式	30
	高機能化制御装置一式	20

○平成21年度 加速実績：105百万円

開発項目	導入装置	金額 (百万円)
①	超極細繊維大容量発生装置一式	18
	電界紡糸吐出挙動解析装置一式	15
②	超極細炭素繊維用途開拓用サンプル製造装置一式	29

再委託先追加

本プロジェクトで開発した炭素超極細繊維(CNF)の応用展開の一つとして、集中研と垂直連携体制の企業とで電池用電極への適用を進めている。電池用の電極は電気伝導度と熱伝導度が高いことが求められる。しかし、これまでは、CNF単糸での熱伝導測定が困難であったため、優れた性能の電池を効率的に作成することができなかった。プロジェクトを効率的に推進するために、単糸評価可能な機関を調査してきたが、最近になって九州大学よりカーボンナノチューブ単糸の熱伝導測定技術が開発され、CNFでも評価できる可能性

があると報告された。単系の熱伝導性評価結果は、電池の総合的な設計を可能とするだけでなく、放熱材料や構造材料に展開するための共通基盤技術として重要であり、プロジェクト全体を効果的・効率的に推進可能となる。現在九州大学しか評価を実施できる可能性がないこと、研究開発要素があり、成果については学会発表や知財化を計画していることから平成21年10月より再委託先として追加した。

その他（東工大NEDO特別講座）

NEDOの実施する研究開発プロジェクトの成果の最大化を図っていく上で、当該プロジェクトの研究開発を推進するのみならず、当該プロジェクトを核として、関係する多方面の人材を、産学の垣根を越えて集め、関連技術を含めた基礎的研究や派生的研究を展開し、その中から、新たな研究開発シーズや応用成果を生み出し、更には、当該科学・技術を担う人材を育成するという「好循環」を形成することが重要である。

「先端機能発現型新構造繊維部材基盤技術」プロジェクトについて、大学の研究・教育機能を活用し、上記のような産業技術の発展の「場」と「好循環」を形成していくことを目的として、平成19年度から「東工大NEDO特別講座<ナノファイバーイノベーション創出>」を開始した。

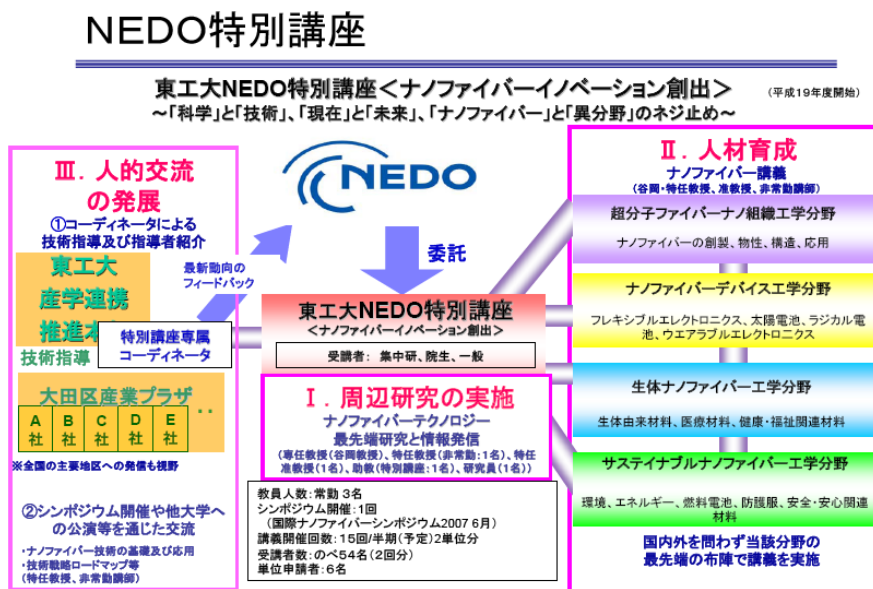


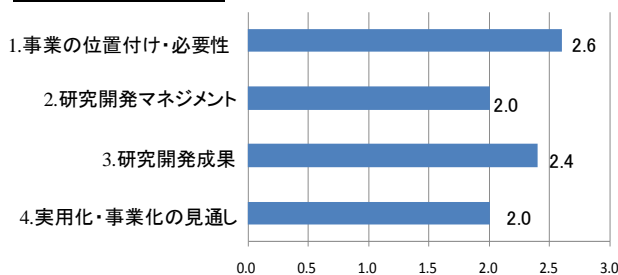
図3-2 NEDO特別講座

4. 中間評価結果への対応

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9月1日に実施した。評価結果概略を図4-1に示す。

平成20年度に有識者による中間評価を実施(NEDO評価部主催委員会)

中間評価結果



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。

研究開発成果+実用化・事業化の見通し:

3以上が「合格」、4以上が「優良」

→本プロジェクトは 2.4+2.0=4.4 で「優良」評価

中間目標を達成していることから、
研究開発の一部加速して継続

・最終目標達成の目的がたった、燃料電池開発については21年度より自主事業

<評価と対処方針>

・我が国独自の繊維化技術の開発に成功している。平行して、新素材による世界初や世界最高レベルの高性能、高機能な部材や製品が開発され、実用化に向けた検討が順調に進んでいる。産学官連携および水平・垂直連携という斬新な体制構築が上手く機能し、革新的成果がでていけると言える。

・部材や製品の普及に向けて、**実用化、事業化の可能性の高いテーマに予算を集中的に投下する**といった検討をするなど、本分野の日本の優位性をプロジェクトの後半部分で是非、達成して欲しい。
→**ナノファイバーの大量生産化に向けた革新的技術を開発するという成果を受けて、分野の日本の優位性を確立すべくナノファイバーの高機能化技術の加速を行う。**

・分野の違う部材や製品の実用化に向けての課題で共通のものがあるように考えるので、本事業内での情報の共有化による連携強化とともに、オールジャパンで知財の確立、さらなる技術展開を目指して貰いたい。→事業者間の情報共有を行うため、**ナノファイバー運営委員会、電界紡糸グループ会、ナノ溶融分散紡糸グループ会**を開催し連携を強化するとともに、**ナノファイバー学会**が設立(平成20年12月)されたことから、本学会を活用し知識の蓄積と技術の有効活用を通して、オールジャパンで推進していく。

・ナノファイバーには非常に広い応用分野が開けていると考えられるので、もう少し幅を広げることも視野に入れることが望ましい。→**ナノファイバーの研究の進展にともない、新たな応用の可能性についても引き続き整理していく。**

平成21年度独法評価ではNEDO代表プロジェクトとして優良評価を得た。

33

図4-1 中間評価結果の概略

評価委員からのご指摘に対する、プロジェクトへの反映内容を表4-1にまとめた。

表4-1 中間評価委員の指摘に対する反映内容

評価委員からのご指摘事項	プロジェクトへの反映内容
<p>・我が国独自の繊維化技術の開発に成功している。平行して、新素材による世界初や世界最高レベルの高性能、高機能な部材や製品が開発され、実用化に向けた検討が順調に進んでいる。産学官連携および水平・垂直連携という斬新な体制構築が上手く機能し、革新的成果がでていけると言える。</p> <p>・部材や製品の普及に向けて、実用化、事業化の可能性の高いテーマに予算を集中的に投下するといった検討をするなど、本分野の日本の優位性をプロジェクトの後</p>	<p>・ナノファイバーの大量生産化に向けた革新的技術を開発するという成果を受けて、本分野の日本の優位性を確立すべくナノファイバーの高機能化技術の加速を行う。</p>

<p>半部分で是非、達成して欲しい。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・分野の違う部材や製品の実用化に向けての課題で共通のものがあるように考えるので、本事業内での情報の共有化による連携強化とともに、オールジャパンで知財の確立、さらなる技術展開を目指して貰いたい。 ・ナノファイバーには非常に広い応用分野が開けていると考えられるので、もう少し幅を広げること視野に入れることが望ましい。 	<ul style="list-style-type: none"> ・事業者間の情報共有を行うため、ナノファイバー運営委員会、電界紡糸グループ会、ナノ溶融分散紡糸グループ会を開催し連携を強化するとともに、ナノファイバー学会が設立（平成20年12月）されたことから、本学会を活用し知識の蓄積と技術の有効活用を通して、オールジャパンで推進していく。 ・ナノファイバーの研究の進展にともない、新たな応用の可能性についても引き続き整理していく。
--	---

5. 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事後評価を平成23年度に実施する。

Ⅲ. 研究開発成果について

1. 事業全体の成果

【共通基盤技術】

研究開発項目① 電界紡糸法における繊維高機能化、大型装置化技術の開発

目 標	研究開発成果	達成度
<p>(1)大型電界紡糸装置基盤技術の開発 20 μl/本・分の噴出速度、20万本のノズルに相当する機能を有する大型装置により直径50 nm、ばらつき20 %以下の均質な超極細繊維の製造技術を開発する。</p>	<p>(1) 従来ノズルの百万倍以上の生成能力に相当する世界最高性能のロータリーシリンダノズルを開発した。さらに量産化にとって最大の問題である爆発の危険性を排除できる世界初のシステム「ファイバーリング (FR) 方式」を開発した。これらを用いて溶媒の種類、溶液濃度、温度、湿度、電場等の制御を行い、直径50nm 以下、繊維径のばらつき 20 %以下を実現化した。</p>	◎
<p>(2)電界紡糸法における繊維高機能化技術の開発 不織布状材料において60m/分以上、コーティングにおいて300 m/分以上、フィラメントにおいて60 m/分以上の高速連続製造を達成する。</p>	<p>(2) 溶媒・繊維塵の回収と防爆を完全にしたファイバーリング (FR) 方式を開発し各種高機能化繊維の製造高速化が容易になった。その結果実用化技術開発が促進された。 固定化や自立膜の分離など繊維コレクターやロール系の改善、ノズル及び巻き取り系や電界制御系の改善を行った。これらの結果、不織布状材料において60m/分以上、コーティングにおいて300 m/分以上、フィラメントにおいて60 m/分以上の高速連続製造を可能にすることができた。</p>	◎

◎：達成 ○：ほぼ達成 △：未達だが、実用化可能レベルには達成 ×：未達

研究開発項目② ナノ溶融分散紡糸法による炭素超極細繊維製造技術の開発

目 標	研究開発成果	達成度
<p>ナノ溶融分散紡糸法では大型装置による超微細混練・紡糸技術、炭素不融化・焼成技術等の開発により、平均直径100 nm、比表面積1500 m²/g、不融化時間を現状の1/10の炭素超極細繊維の製造技術を達成する。</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・ 液晶ピッチと PMP (Poly4methyl Penten) のブレンドポリマーをメルトブロー法で紡糸し、マトリックス除去・凍結乾燥・不融化・炭素化する事で超極細の融着の無い炭素繊維が出来、目標とする平均直径 100 nm が達成出来た。 ・ リグニンをナノ溶融分散紡糸し、CO₂ 賦活条件を精査する事により目標とする比表面積 1500 m²/g が達成出来た。 ・ ブレンドファイバー (BF) 中のピッチ繊維を不融化するのではなく、BF からマトリックスを溶剤で除去し凍結乾燥することにより、ピッチ繊維を単離し空隙の多い状態にする事が出来、目標とする不融化時間を現状の 1/10 に短縮する事が出来た。 	

◎：達成 ○：ほぼ達成 △：未達だが、実用化可能レベルには達成 ×：未達

研究開発項目③ 高性能、高機能電池用部材の開発

目 標	研究開発成果	達成度
<p>1) パッシブ型燃料電池の開発 電極の厚さが100 μm以下、燃料電池出力密度が100 mW/cm²以上、及び低コスト化を実現する。</p> <p>(2) 小型蓄電池の開発 小型蓄電池である電気二重層キャパシタにおいて、エネルギー密度200 Wh/l、出力密度10 kW/lを達成する。</p> <p>(3) 薄型電池の開発 薄型電池においては、10秒程度の高速充電が可能な薄型二次電池に必要な材料並びに製造技術を開発する。電池性能としては、厚さ0.2 mm、パワー密度～10 kW/L、エネルギー密度～100 Wh/Lを達成する。</p>	<p>・燃料電池出力 達成値 100mW/cm² 燃料電池全体でのレベルアップと CNFbc による集電性・拡散性・排水性により目標を達成することができた。今後は燃料電池の実用化に向けて市場の動向をウォッチングしながら研究開発を進めていく。</p> <p>・拡散層の厚さ 達成値 113μm 拡散層の厚さは薄ければよいというものではなく、集電性と拡散性のバランスが取れる最適値があることが判明した。</p> <p>ハイブリットキャパシタにおいて、賦活化した炭素超極細繊維と易黒鉛化性炭素の粉碎品との混合電極を正極に用いることによって、電極内の炭素材料の密度を上昇させることができ、エネルギー密度を100 Wh/Lまで向上させることができた。しかし、目標とする200 Wh/Lを達成することは出来なかった。</p> <p>また、電極組成および電極成形法検討による電極の薄葉化を行い、出力密度を向上させることができた。これにより目標とする10 kW/Lを超える出力密度を達成することができた。</p> <p>共通基盤技術 Gr が開発した綿花状炭素超極細繊維（繊維径 122 nm）を電極に適用した厚さ 0.2 mm の薄型電池を開発し、パワー密度 12.3 kW/L、エネルギー密度 116 Wh/L を実証した。</p>	<p>(達成とみなす)</p>

◎：達成 ○：ほぼ達成 △：未達だが、実用化可能レベルには達成 ×：未達

研究開発項目④ 高性能、高機能フィルター用部材の開発

目 標	研究開発成果	達成度
<p>(1) 超超純水製造プロセスフィルターの開発 TOC濃度で0.1 ppb以下、及び金属類を0.01 ppt以下を達成する。</p>	<p>TOC : TOC 濃度 入口 1.5 ppm を出口 0.1 ppb とする (除去率として 99.9993 %に相当) システムとして、凝集ろ過+熱交換器+栄養剤+生物活性炭+還元処理+フィルター+純水システム+超極細繊維フィルターを考案し、0.5 ppb の水質までを確認するとともに、システム最適化で 0.1ppb 以下を達成できる見通しを得た。 金属 : 金属濃度 入口 1 ppt を出口 0.01 ppt 以下とする (除去率として 99 %以上に相当)、イオン交換能を有する超極細繊維層を含む 3 層構造のフィルターを開発し、試作品での性能を確認した。</p>	
<p>(2) 超耐熱性無機フィルターの開発 0.1 μm粒子が90 %捕捉可能な初期圧力損失が120 Paであり、耐熱性1,000 を達成する。</p>	<p>無機性バインダーを使用した保護基材にて無機超極細繊維の抄紙シートを作製し、無機超極細繊維の組成および紡糸条件を検討することで、繊維径 100 nm の無機超極細繊維を作製することができた。 これをフィルターユニットとして組み込んで性能評価装置を行い、0.1 μm 粒子捕集効率 99 %以上、初期圧力損失 100 Pa 以下の性能を実現した。また、1000 加熱後の性能を確認し、加熱による劣化が無く、耐熱性を有することを確認した。</p>	
<p>(3) 耐熱性有機フィルターの開発 0.1 μm 粒子が 99 %捕捉可能な初期圧力損失が 120 Pa であり、耐熱性 400 以上を達成する。</p>	<p>メタアラミド繊維を用いた不織布上に電界紡糸にてパラアラミドポリマーの超極細繊維(繊維径: 100 nm 以下)と比較的太い繊維径の繊維を積層し、それら 2 枚を積層面で合わせてろ材パネルとした。本複数のパネルをジグザグに配置してユニット化し、更にろ材パネル表層にパラアラミドの超極細繊維を積層する事により、初期圧力損失と捕集効率の最終目標値を</p>	

	<p>達成した。尚、積層されるパラアミドポリマーの超極細繊維は、電界紡糸条件適正化によって、残存溶剤量を出来る限り低減する事により、耐熱性の最終目標値を達成した。</p>	
--	---	--

◎：達成 ○：ほぼ達成 △：未達だが、実用化可能レベルには達成 ×：未達

研究開発項目⑤ 高性能、高機能医療衛生・産業用部材の開発

目 標	研究開発成果	達成度
<p>(1) スーパークリーンルーム用部材の開発 共通基盤で研究開発した高強度・耐熱・化学安定性を有する超極細繊維を用いて超極細活性炭素繊維を一体成型することにより、初期圧損が約130 Paで捕集効率が99.97 %以上（直径0.3 μm粒子）を達成する。</p> <p>(2) ヒューマンインターフェース医療衛生部材の開発 平成 22 年度はウイルス除去のため、細孔サイズを 10 nm、着用快適性の指標としての透湿性能を 20,000 ml/24h/m²、0.08 mmφ の針が貫通しない構造で、血液等の侵入防止に有効な撥水性の指標としての接触角 150°を達成する。</p>	<p>当社特殊耐熱ポリマーを用いて検討を実施した。プロセス条件を種々調整・最適化することで、繊維径 70 nm ± 10 nm の超極細繊維から成るフィルター部材の作製に成功した。これを用いたフィルター部材にて試験した結果、目標を達成した。</p> <p>ウイルス粒子サイズ 60 nm を 99 %捕集（米国マスク規格 N99）する部材を開発した。さらにナノサイズ飛沫の問題も克服し、防護用マスクとしての実用性を検証した。透湿性能は 21,100 ml/24h/m² を達成。針刺し抵抗値の向上により市販世界最小径 0.2 mmφ の針刺し防止を達成。最終目標の 0.08 mmφ は現有しないが、針径がより細くなるため座屈現象により針が刺さらないと推測される。撥水性接触角は目標の 150°を達成。高耐水性機能開発により血液等液体中での作業環境耐性を付与する。</p>	

◎：達成 ○：ほぼ達成 △：未達だが、実用化可能レベルには達成 ×：未達

2. 研究開発項目毎の成果

2. 1 電界紡糸法における繊維高機能化、大型装置化技術の開発

2. 1. 1 電界紡糸法における大型装置化技術の開発

計画、目標

2. 1. 1. 1 [背景]

燃料電池、情報家電分野、環境・エネルギー分野、医療・福祉／安全・安心分野に求められる高機能部材を、繊維・樹脂分野の新素材開発により創成する。ユーザーの要望に対応する高度部材を供給するには、超極細繊維固有の超比表面積効果、ナノサイズ効果、超分子配列効果を最大限に活用する必要がある、そのために繊維の極細化やナノ加工及び高次複合化が必須である。これらを解決するために高分子材料、無機材料を用いた超極細繊維や超微細構造繊維の製造と事業化へのステップのために大型装置を用いた電界紡糸の基盤技術開発が必要である。またこれらを促進するためには基礎データ集積や製造された繊維状材料の物性や構造の計測と評価、および材料の安全性の確保が必要であり、さらに用途展開を行う上でナノ構造制御をはじめとする制御技術、被覆技術（コート）、複合化技術等の基盤技術構築が必要である。

このために本研究開発項目では、(1)「大型電界紡糸装置基盤技術の開発」による超極細繊維の製造技術すなわち紡糸における繊維径ナノサイズ化の研究開発と(2)「電界紡糸法における繊維高機能化技術の開発」による超極細構造繊維化すなわち繊維ナノ構造化の研究開発をする必要がある。本研究開発では東工大が中心となりパナソニック ファクトリーソリューションズ(株)(PFSC)と共同研究契約を締結し行う。図 2.1.1-1 にプロジェクト全体に対する本研究開発項目の位置づけを示す。電界紡糸により製造した超極細繊維をアフタープロセスにより高機能化を図り実用化技術開発に供する。

ハイブリッド型垂直－水平連携プロジェクト



図 2. 1. 1-1 プロジェクト全体に対する電界紡糸法の位置づけ

2. 1. 1. 2 【技術課題】

これまで工業化されている紡糸法は湿式紡糸法または乾式紡糸法に大別されるが、機械技術を駆使したものであった。しかし今回の電界紡糸法（エレクトロスピンニング）は電気的技術を使用しており、これまでとは全く異なった方法である。原理は約 150 年前からあったが工業的に注目されだしたのはナノファイバー技術の必要性が生じた 21 世紀に入ってからである。繊維では 10 年に一回技術的なパラダイムシフトが生じているが今回のナノファイバー技術の展開は 50 年に一回程度生じるパラダイムシフトと言われている。

高分子材料や無機材料からなる超極細繊維（ナノファイバー）には様々な応用の可能性が指摘されてきた。しかしながら、様々な材料を利用したナノファイバーを工業的に本格的に製造する大型紡糸装置が存在せず、超極細繊維の用途展開は極めて限られたものであった。電界紡糸法は従来からの複合熔融紡糸法やメルトブロー法に比べて常温で紡糸が可能であり、表面構造制御やコンポジット化が容易である反面生産性が低く溶媒回収が必要であった。しかしながら、高分子、たんぱく質、無機材料等、材料に関わらず超極細繊維を製造できる唯一の紡糸法である。そこで大型電界紡糸装置の開発が強く求められて来た。

大型電界紡糸装置基盤技術の開発については、高分子材料や無機材料等の超極細繊維を製造し、革新部材として各種用途試験を行い実用化に供するために不織布材料化、コーティング化、フィラメント化が可能な高速で大型の電界紡糸装置開発を進める必要がある。そこで、このために必要とされる新規ノズル製造技術、電界の制御技術、流体制御技術及び溶媒と繊維塵回収技術等の基盤技術開発を実施する。

大型装置には 20 μl /本・分（噴出速度） \times 20 万本の性能に相当するノズルを搭載し、電場、溶液、温度、湿度等の制御を行いつつ、平成 20 年度には中間目標である直径 100 nm、ばらつき 50 % 以下、平成 22 年度には最終目標として直径 50 nm、ばらつき 20 % 以下の均質な超極細繊維の製造技術を開発する。ノズル性能は現在稼動している世界最大の生産装置はノズル数が約 2 万本から構成されており、不織布状材料の大量生産を図るには現状の 10 倍のノズル数に設定する必要があることによる。繊維直径は現在エアフィルター用等に工業生産（メルトブロー法）されている最小繊維径は 500 nm 程度であり、超高性能エアフィルター開発にはさらにその 10 分の 1 の繊維径が必要であることによる。繊維径のばらつきに関してはエアフィルターにおいて圧力損失の出来るだけ低減するには繊維径のばらつきをできるだけ小さくする必要があり、海外の大型電界紡糸装置では繊維径のばらつきが 100 % 程度であるからその 5 分の 1 に設定した。

2. 1. 1. 3 【検討項目とその説明】

高分子材料や無機材料等の超極細繊維を製造し、革新部材として各種用途試験を行い実用に供するためには、不織布状材料化、コーティング化、フィラメント化を可能とする高速で大型の電界紡糸汎用装置が必要である。このために、従前とは異なるノズル製造技術、電界の制御技術、流体制御技術及び溶媒と繊維塵回収技術等の基盤技術を開発しなければならない。

本プロジェクトで開発する高い生産性を可能とする大型装置は、巾 2 m \times 高さ 2 m \times 長さ 6m 程度の省スペースで実現する。これを達成するためには、従前の方式にとらわれない技術革新が必須である。

本装置はノズル、集積板及び巻き取り装置等からなるメインフレーム、電源及び電界・

流体制御系、乾燥系及び溶媒・繊維塵回収系から構成されている。本装置の性能は、不織布状材料の製造速度が 60 m/分、コーティングが 300 m/分、フィラメント製造が 60 m/分とこれまでの装置に比べて非常に高速且つコンパクトであることを特徴としている。既存の設備に比べて製造速度に関しては 5 倍以上、大きさに関しては長さが 5 分の 1 程度となっている。これを既存技術で実現するには 20 μ l/本・分の噴出速度をもつ 20 万本のノズルからなる装置が必要であるが、ここではそれと同等以上の性能を有するスプレーエンジンの研究開発も行う。また製品品質を考えた場合、直径 50 nm、ばらつき 20 %以下の均質な超極細繊維の製造にはノズル及び電界と流体の制御技術の確立が欠かせない。

このためにはまず、(イ) 実験機及び評価用試料作成装置の試作をし、これらの小中規模装置により大型装置に向けた必要十分なデータの集積をはかる。次にこれらのデータの集積と平行して(ロ) 大型装置の開発を進める。これは、(ハ) 乾燥及び溶媒・繊維塵回収技術開発である。また更にこれらの研究に平行して繊維高機能化技術の開発等に関わる大型電界紡糸装置を利用した(ニ) 繊維高機能化装置開発を行う。それぞれの具体的内容を次に説明する。

(イ) 実験機及び評価用試料作成装置の試作

大型の電界紡糸装置には従前とは異なる設計思想に基づく革新的な技術開発が必要である。また基盤技術グループは、大型装置の稼動に先立ち実用化技術における各研究開発テーマに一定量の超極細繊維からなる部材および工法を供給しなければならない。そのため基盤技術グループが実験機及び評価用試料作成装置を試作し、これらの装置を使って、評価用試料評価をすると共に実用化技術グループの新材の試作に活用する。まず、最初の実験装置を試作して各種試験を行い材質および生成パラメータなどの知見データを集積し、その知見をもとにして評価用試料作成装置にて評価試験可能な新材を試作する。更に本評価試料作成装置における各種試験結果を基に大型装置の研究開発を進める。

(i) 実験機の試作導入

初年度のできるだけ早い時期に不織布状材料化、コーティング化、フィラメント化を行う実験機を試作導入する。不織布状材料化実験機では A4 サイズの大きさの不織布状材料が製造できるようにする。またコーティング化実験機では A4 サイズの基材の上にコーティング可能である装置を導入する。またフィラメント化実験機ではフィラメント製造や微細線状のパターンニングが可能とする。

(ii) 評価用試料作成装置の試作導入

初年度の中期以降に評価用不織布状材料化、コーティング化、フィラメント化装置の試作をする。評価用資料作成装置では、最終製品に適用されるのに十分な量が生成でき、品質を具体的に確認することに使用することができる。

以上これら装置を用いて電界紡糸にける高分子や無機材料等の基礎データの収集を行う。得られた知見は、大型装置開発研究に活かされる。また実験機及び評価用試料作成装置を用いて不織布新材料、コーティング新材料、フィラメント新材料を速やかに生成することで、物性や構造の最適化を行う。これらの装置は超極細繊維の実用化を行う各企業も使用可能であり、開発期間中を通じて様々な基礎データを得るために使用され、順次用途に応じて改良していく。

(ロ) 大型装置の開発

大型装置の開発では（i）装置設計、（ii）メインフレーム開発、（iii）ノズル開発、（iv）電源及び電界・流体制御技術開発を行う。この開発には実験機及び評価用試料作成装置から得られる知見を活用する。開発試験に使用する高分子は PVA、PEO、PAN、ポリウレタン、ポリアミド、アラミド、シルク等の各種の高分子やガラス等の無機材料であるが、実用化技術参加各社から要望される各種材料についても検討する。また、実験機、評価用試料作成装置は、大型装置開発に必要な試料生成パラメータ（溶液濃度、粘度、高分子分子量、印加電圧、送液速度、ノズル内径等）のデータベース化をするためにも活用される。

（i）装置設計

実験機及び評価用試料作成装置の各種実験データ、高電場下における高分子溶液物性の評価・計測からのデータ、超極微細繊維や超極細構造繊維における物性や構造の評価・計測法からのデータ、安全性の評価からのデータ、実用化開発から提示されるデータ等に基づき大型装置の設計を行う。

（ii）メインフレーム開発

ノズルから噴出した超極細繊維を集積する集積板、集積板を巻き取る巻き取り装置、フィラメントを巻き取る巻き取り装置を設置したメインフレームを開発する。メインフレームの開発は初年度及び2年度に行う。

（iii）ノズル開発

研究開発の目標値を達成するために軽量、超高性能化を目指し各種のノズル開発を行う。これまでのノズルは吐出量が少なく大量生産を行うためにはノズルヘッドだけでも7トン程度の重量が必要である。

（iv）電源及び電界・流体制御技術の開発

電界紡糸では数千～100万ボルトの電圧を使ってクーロン力を制御するために数多くの高圧電源を必要とする。そのため、それぞれの実用化開発目標に応じた電源を開発しなければならない。また、電界紡糸法では静電爆発を利用し、ナノオーダーの繊維や超微粒子を生成する。そのため、ノズル先端、または、飛散した高分子粒子に静電爆発を起こさせるには、高分子に静電爆発が生じる十分な電荷を与えることと、電界干渉を最小に抑えることが重要である。そのためには、ノズル先端に押し出される高分子に十分な電荷を与えるために流体の高精度な制御を行わなければならない。さらに、静電爆発を加速するためには、電界干渉を抑えなければならない。電界干渉抑制制御は、電界の強度の抑制ではなく、電界と電荷によるクーロン力を制御することである。そのため、PWM（パルス幅変調）を用いることで正負の高電圧でクーロン力を制御する。これを達成するには、ノズル内径、ノズル長、印加電圧、ポリマー粘度、流体速度、帯電量制御などのパラメータを最適化しなければならない。電界の制御技術及び流体の制御技術は製造速度のみならず、繊維径やばらつきなどの品質を決める大きな要因となる。

（ハ）乾燥及び溶媒・繊維塵回収技術の開発

電界紡糸では各種溶媒を使用することとナノオーダーの繊維塵が発生することから、これらの回収システムの確立を図らなければならない。

製造した繊維の乾燥と溶媒回収は繊維径分布や繊維の構造や形態に著しく影響を及ぼし、製品の品質管理上からも重要である。繊維塵は溶媒と同時に回収されるシステムを確立させ、装置にはこれらの回収設備を取り付ける。装置と回収設備を含めて全体をクローズド

な系とし、ドラフト等の排気設備と連動させる。

初期の性能試験では比較的取り扱いが簡単な PVA や PEO 等の水溶性高分子材料を用い、開発の中期からは有機溶媒に可溶性材料を用いる。引火性有機溶媒を使用することから防爆設備を取り付けると共に、大型装置には有機溶媒貯蔵槽から必要量以上が流入しないように設計し、安全性の高い装置を目指す。引火性溶媒を大量に使用する場合は、プロジェクトの実用化技術参加企業で溶媒処理設備を有する工場における検証を検討する。

各国の電界紡糸装置は必ず有機溶媒による引火爆発を経験しており、ここでは溶媒や繊維塵の回収を行うと同時に爆発の起こらないシステムの開発を目指す。

(二) 繊維高機能化装置開発

電界紡糸法は静電気力制御によりノズルから高分子や無機材料を噴出させることから、これまでの紡糸法とはことなり、電界の方向、交流や直流の組み合わせ等で様々な制御によって超精密加工が可能となる。また本紡糸法は布帛のような 2 次元状材料を製造できるだけでなく、立体形状物へのコーティングや、立体形状の不織布状材料や成型品を製造できることに大きな特徴がある。これらのことはナノファイバーの特徴である超比表面積効果、超微小サイズ効果、超分子配列効果を生かした立体形状の大型製品の製造が可能になることを示している。これにより、超軽量かつ強靱で錆びない車、船、航空機のボディーや如いては超軽量で耐熱性が高くオイルなどの潤滑油を必要とせず、且つラジエターを必要としないエンジンまで製造できる可能性を有している。さらに、インクジェットヘッドよりも高品質で高速な方式に成りえる。

まず、初期 3 年間で (i) 実験機及び評価用試料作成装置を高機能化することにより高機能化の大型装置開発に必要なデータを集積する。大型装置の開発は 3 年度から始め、4 年度及び 5 年度で具体化をはかる。大型装置の内容は (ii) 微小部コーティングが可能な大型装置 (大型 LCD、大型プラズマディスプレイ等に応用)、(iii) 3 次元物体へのコーティング可能な大型装置、(iv) 3 次元成型が可能な大型装置である。(i) ~ (iv) の詳細を次に示す。

(i) 高機能化実験機及び評価用試料作成装置開発

これまでに試作された実験機及び評価用試料作成装置を用いて繊維高機能化技術が可能となるように溶液チャンバー、ノズル、集積板、電界・流体制御技術等の開発を行う。これらの技術開発は実用化技術を進展させる上で重要であることから、実用化参加企業とも連携しておこなう。得られたデータは高機能化大型装置開発に利用する。

(ii) 微小部コーティング大型装置開発

電界紡糸法では、いわゆる微小部コーティング技術としての数百 nm 以下の繊維状パターンニング技術や高分子や無機材料の薄層コーティング等が可能である。微小部コーティング技術はバイオチップをはじめとするバイオ関連製品や LCD・有機 EL・プラズマ TV・太陽電池等の部材など新たな用途展開ができる。繊維高機能化技術が可能となるように電界操作、固定化、電荷の集中などの研究開発を行う。

(iii) 3 次元コーティング大型装置開発

電界紡糸法の特徴として、3 次元の凹凸のある物質即ち動物や人体の形状をした物体上に均一にコーティングが可能である。これにより一体成型材料等が可能であり、医療用部材や各種形状のフィルターや表面改質フィルム・ガラス等に応用できる。3 次元コーティ

ングが可能とするためには、スプレー量の制御、リアルタイム膜測定技術などの研究開発をしなければならない。

(iv) 3次元成型大型装置開発

電界紡糸法は立体形状物質に繊維状物質のコーティングが可能だけでなく、複合化技術と組み合わせることにより成型加工が可能である。このことにより、タイヤや船舶用FRPのように大型の複合材料の製造が可能となる。3次元成型加工を可能するためには、非導電性の物体への固定化技術や超極細繊維を任意の位置に誘導する技術を研究開発する。

<役割分担>

研究開発は集中研方式を採用し東京工業大学（東工大）の施設と研究組織としてイノベーション研究推進体を利用する。さらに東工大とパナソニックファクトリーソリューションズ株式会社（PFSC）との間で共同研究契約を締結し、PFSCから開発職員を派遣して共同で行う。研究開発のうち東工大が主として材料にかかわる部分を担当し、PFSCは主として工法に関わる部分を担当する。

[成果のまとめ]

検討課題	主要な研究内容	顕著な成果
(1) 大型電界紡糸装置基盤技術の開発	ノズル性能高性能化	従来ノズルの百万倍以上の生成能力に相当する世界最高性能のノズルを開発した。その結果大型装置における繊維直径制御が容易になった。その結果実用化技術開発が促進された。
	繊維直径を 50 nm	
	繊維径のばらつき 20 %	

[目標値とその妥当性]

表 2.1.1-2 目標値とその設定理由

検討項目	中間目標	最終目標	設定理由
ノズル性能	20μl/本・分 (噴出速度) ×20万本のノズル性能に相当	20μl/本・分(噴出速度) ×20万本のノズル性能に相当	現在稼動している世界最大の生産装置はノズル数が約2万本から構成されている。不織布状材料の大量生産を図るには現状の10倍のノズル数に設定する必要がある。
繊維直径 (nm)	100	50	現在エアフィルター用等に工業生産(メルトブロー法)されている最小繊維径は500nm程度であり、超高性能エアフィルター開発にはさらにその10分の1の繊維径が必要である。
繊維径のばらつき (%以下)	50	20	エアフィルターにおいて圧力損失の出来るだけ低減するには繊維径のばらつきをできるだけ小さくする必要がある。海外の大型電界紡糸装置では繊維径のばらつきが100%程度であるから5分の1に設定

[中間目標に対する達成度]

検討項目	中間目標	達成値	達成度	内容
ノズル性能	20 μ l/本・分 (噴出速度) \times 20 万本のノズル性能に相当	従来のノズル方式に比べ百万倍以上の生成能力を有する世界初超高性能ノズル方式を開発	◎	H18 年にブレークスルーがあり「世界初の超高出力ノズル」が開発された。さらに H19 年に量産化にとって最大の問題である爆発の危険性を排除できる世界初のシステム「ファイバーリング (FR) 方式」が開発された。
繊維直径 (nm)	100	80	◎	チャンピオンデータとして 25 nm を得ている。
繊維径のばらつき (%以下)	50	50	○	チャンピオンデータとして 20 % 以下を得ている。

[最終目標に対する達成度]

検討項目	最終目標	達成値		内容
ノズル性能	20 μ l/本・分 (噴出速度) \times 20 万本のノズル性能に相当	20 μ l/本・分 (噴出速度) \times 20 万本のノズル性能に相当	◎	超高性能ノズル及びファイバーリング方式に改良を加えより高性能化を図った。
繊維直径 (nm)	50	50	◎	溶媒の種類、溶液濃度、温度、湿度、電場等の制御をより詳細に行い細繊維化を進めることができた。
繊維径のばらつき (%以下)	20	20	◎	溶媒の種類、溶液濃度、温度、湿度、電場等の制御をより詳細に行い繊維径のばらつきを改善することができた。

[研究開発スケジュール]

表2. 1. 1-5 研究開発の年度展開

研究開発項目	H18年度	H19年度	H20年度	H21年度	H22年度
①電界紡糸法における繊維高機能化、大型装置化技術の開発					
(1) 大型電界紡糸装置基盤技術の開発					
(イ) 実験機及び評価用試料作成装置の試作					
(i) 実験機の試作導入	→				
(ii) 評価用試料作成装置の試作導入		→			
(ロ) 大型量産装置開発					
(i) 装置設計			→		
(ii) メインフレーム開発					→
(iii) ノズル開発					→
(iv) 電源及び電界・流体制御技術開発					→
(ハ) 乾燥及び溶媒・繊維塵回収技術開発					→
(二) 繊維高機能化装置開発					
(i) 高機能化実験機及び評価用試料作成装置開発					→
(ii) 微小部コーティング大型装置開発					→
(iii) 三次元コーティング大型装置開発					→
(iv) 三次元成型大型装置開発					→
(2) 電界紡糸法における繊維高機能化技術の開発					
(イ) 繊維高機能化技術の開発					
(i) 実験機及び評価用試料作成装置による超極細繊維材料の高機能化			→		
(ii) 大型装置による高機能化超極細繊維材料の開発					→
(ロ) 高電場下における高分子溶					→

液物性の評価・計測					
(ハ) 超極微細繊維や超極細構造 繊維における物性や構造の 評価・計測					→
(二) 安全性の評価					→
(ホ) 調査、報告、その他					→

上表（１）大型電界紡糸装置基盤技術の開発における

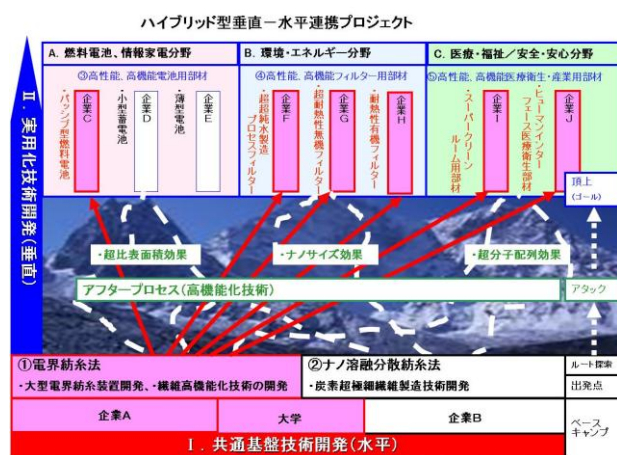
- (イ) 実験機及び評価用試料作成装置の試作
 - (i) 実験機の試作導入
 - (ii) 評価用試料作成装置の試作導入
- (ロ) 大型量産装置開発
 - (i) 装置設計
 - (ii) メインフレーム開発
 - (iii) ノズル開発
 - (iv) 電源及び電界・流体制御技術開発
- (ハ) 乾燥及び溶媒・繊維塵回収技術開発
- (二) 繊維高機能化装置開発
 - (i) 高機能化実験機及美評価用試料作成装置開発
 - (ii) 微小部コーティング大型装置開発
 - (iii) 三次元コーティング大型装置開発
 - (iv) 三次元成型大型装置開発

に相当しており、詳細はこれまで説明してきたとおりである。

2. 1. 2 電界紡糸法における繊維高機能化技術の開発

2. 1. 2. 1 [背景]

燃料電池、情報家電分野、環境・エネルギー分野、医療・福祉／安全・安心分野に求められる高機能部材を、繊維・樹脂分野の新素材開発により創成する。ユーザーの要望に対応する高度部材を供給するには、超極細繊維固有の超比表面積効果、ナノサイズ効果、超分子配列効果を最大限に活用する必要があり、そのために繊維の極細化や



ナノ加工及び高次複合化が必須である。これらを解決するために高分子材料、無機材料を用いた超極細繊維や超微細構造繊維の製造と事業化へのステップのために大型装置を用いた電界紡糸の基盤技術開発が必要である。またこれらを促進するためには基礎データ集積や製造された繊維状材料の物性や構造の計測と評価、および材料の安全性の確保が必要であり、さらに用途展開を行う上でナノ構造制御をはじめとする制御技術、被覆技術（コー

ト)、複合化技術等の基盤技術構築が必要である。

このために本研究開発項目では、(1)「大型電界紡糸装置基盤技術の開発」による超極細繊維の製造技術すなわち紡糸における繊維径ナノサイズ化の研究開発と(2)「電界紡糸法における繊維高機能化技術の開発」による超極細構造繊維化すなわち繊維ナノ構造化の研究開発をする必要がある。本研究開発では東工大が中心となりパナソニック ファクトリーソリューションズ(株)(PFSC)と共同研究契約を締結し行う。図 2.1-1-1 にプロジェクト全体に対する本研究開発項目の位置づけを示す。電界紡糸により製造した超極細繊維をアフタープロセスにより高機能化を図り実用化技術開発に供する。

2. 1. 2. 2 [技術課題]

パッシブ型燃料電池、超超純水製造プロセスフィルター、超耐熱性無機フィルター、耐熱性有機フィルター、スーパークリーンルーム用部材、ヒューマンインターフェース医療衛生部材では各種の繊維高機能化技術を生かしてそれぞれの用途に応じた部材を製造することが求められている。

電界紡糸法における繊維高機能化技術の開発については、ナノ構造制御をはじめとする制御技術、被覆技術、複合化技術、ボイド化技術、中空糸化技術、固定化技術、再配列化技術、分散化技術等の繊維高機能化技術の開発を進める。また、超極細繊維の直径、構造、形態、製造速度等を制御するため、高電場下における高分子の溶液物性の評価・計測が必要であり、これらの方法の開発を実施する。さらに電界紡糸法やそれに引き続く高機能化技術より製造された超極細繊維や超微細構造繊維における構造や物性の評価・計測法、および安全性の評価等について検討する。

そこで、繊維高機能化技術の開発を行いつつ大型装置を用いて電場、溶液、温度、湿度等の制御を行い、製造速度に関して平20年度には中間目標である不織布状材料において30 m/分 コーティングにおいて150 m/分 フィラメントにおいて30 m/分、平成22年度には最終目標である不織布状材料において60 m/分 コーティングにおいて300 m/分 フィラメントにおいて60 m/分に対応した性能を目指す。これらの製造速度の設定理由として、超極細繊維不織布を大量生産するには最大60 m/分の製造ライン必要であり海外の大型装置では1 m/分～5 m/分程度であること、エアフィルター用部材等の製造を行うためのコーティングでは最大300 m/分の製造ラインが必要であり海外の大型装置では10 m/分～50 m/分程度であること、超極細繊維フィラメント製造には60 m/分程度の製造ラインが必要であり海外の大型装置に実績がなく不織布状材料と同等であれば十分であることによる。

[検討項目とその説明]

超極細繊維には超比表面積効果、超微小サイズ効果、超分子配列効果と呼ばれる3大効果があり、これらの効果から、吸着特性、流体力学特性、電気的特性、力学的特性、熱的特性等の優れた特性が生み出される。

電界紡糸法において製造される超極細繊維材料を実用に供するために、ナノ構造制御をはじめとする制御技術、被覆技術、複合化技術、ボイド化技術、中空糸化技術、固定化技

術、再配列化技術、分散化技術等の超極細構造繊維化を伴う繊維高機能化技術の開発をする。これらの量産化技術は、大型電界紡糸装置を用いて開発する。またナノ溶融分散紡糸法技術開発グループとも連携を図り炭素化に伴うボイド化等高機能化を行う。

電界紡糸法において超極細繊維の直径、構造、形態、製造速度等を制御するには高電場下における高分子の溶液物性の評価・計測手法が必要である。また電界紡糸法やそれに引き続く高機能化技術より製造された超極細繊維や超微細構造繊維における構造や物性の評価・計測法、および安全性の評価等について検討する。

研究内容としては、(イ) 繊維高機能化技術の開発、(ロ) 高電場下における高分子溶液物性の評価・計測、(ハ) 超極微細繊維や超極細構造繊維における物性や構造の評価・計測、(ニ) 安全性の評価が必要である。それぞれの具体的内容を次に説明する。

(イ) 繊維高機能化技術の開発

(i) 実験機及び評価用試料作成装置による超極細繊維材料の高機能化

電界紡糸は溶融紡糸とは異なり、電界による紡糸過程による制御、様々な高分子同士の混合、高分子と無機材料との混合等が容易であり、これらを利用して繊維に各種の高機能化を施すことができる。まず実験機小規模の機能性繊維創製の試験を行い、評価用試料作成装置で実用化試料の確認を行った後大型装置での製造を行う。

ナノ構造制御をはじめとする制御技術とは、繊維を構成する高分子の配向度、結晶化度や凝集構造等を制御する技術であり、紡糸過程や紡糸後の自己組織化も含まれる。被覆化技術とは、立体から平面さらには線状物質等様々な物質へのコーティング技術であり、電界紡糸は微小部へのコーティングに優れた技術である。複合化技術とは、高分子/高分子間や高分子/無機材料間等のコンポジット技術である。ボイド化技術とは繊維に多数の空孔を導入する技術で、電界紡糸では使用する材料にも依存するが比較的簡単に空孔を開けることが可能である。中空糸化技術とは、電界紡糸によりナノオーダーの中空糸を製造する技術である。固定化技術とは電界紡糸で製造した繊維上に微粒子等を接着剤を用いることなく固定化でき、フィルム上に繊維を固定化する技術であり、触媒や蛋白質の固定化やコートした繊維の固定化に使用できる。再配列化技術とは、電界紡糸により配列化した繊維状物質をさらに配列化する技術であり、電界制御と加熱や張力等を加えることにより行う。分散化技術とは微粒子等を繊維内に均一に分散させる技術で、溶液や電界の調整等により行う。

これらは実用化技術を進展させる上で必要であるため実用化技術に参加する各社と連携しながら行う。そのため開発テーマに応じた実験機や評価用試料作成装置の改良が必要であると同時に作製された試料の評価装置が必要である。

(ii) 大型装置による高機能化超極細繊維材料の開発

実験機及び評価用試料作成装置において得られたデータをもとに大型装置を用いて、ナノ構造制御をはじめとする制御技術、被覆技術、複合化技術、ボイド化技術、中空糸化技術、固定化技術、再配列化技術、分散化技術等の繊維高機能化技術の開発をする。

大型装置の開発ではまず、単一の高分子を使用して超極細繊維の不織布状材料化、コーティング化、フィラメント化の高速製造と繊維径分布の制御を目標とする。開発過程を通じて高機能化技術の開発に進む。高機能化技術は超極細繊維のナノ構造制御からコンポジットの分散化制御技術まで非常に多様である。これらはノズルの形状から溶液の調整さら

には電界制御に至るまで様々な技術要素を組み合わせなければならず、大型装置の改良や最適化が必要である。

高機能化技術は製品開発と直接連結することから実用化技術との密接な連携が必要である。実用化技術からのフィードバックをもとに大型装置による開発を進める。実用化技術に参加する各社と連携し、装置の大幅な改良や新しい大型試料に対応した評価装置の開発が必要である。

(ロ) 高電場下における高分子溶液物性の評価・計測

高分子や無機材料の溶液物性とは溶液の粘度や伝導度等のことで、これらの把握は大型電界紡糸装置基盤技術の開発や繊維高機能化技術の開発だけではなく生産性や品質に向上を図る上で必要不可欠である。特に電界紡糸法において超極細繊維の直径、構造、形態、製造速度等を制御するには高電場下における高分子の溶液物性の評価・計測技術が必要である。また大型装置におけるノズルからの高分子溶液噴出速度は高分子等の溶液物性に著しく依存しており、製造速度を決定する要因である。ここから得られた基礎データを基に、直径や直径分布等の品質にかかわる目標値及び製造速度の目標値を達成する。

(ハ) 超極微細繊維や超極細構造繊維における物性や構造の評価・計測法

超極微細繊維や超極細構造繊維の物性とは強度や吸着特性や電気伝導度等のことで、構造とは繊維内部の分子配向や結晶構造を意味するだけではなく、不織布状物質の目付や空隙分布等の形態に関わる概念まで含まれる。

大型装置の性能を確認する上で超極細繊維や超微細構造繊維の構造や物性の評価・計測は特に必要である。現在、超極微細繊維や超極細構造繊維の物性や構造を評価・計測する技術は確立されていない。装置性能の向上、製品の品質向上に必要な不可欠なことから、これらの評価・計測法および装置開発も含めた技術開発は重要である。

(二) 安全性の評価

超極細繊維の安全性に関する試験を行う。ナノオーダーの粒子の危険性が指摘されているが、一般的に超極細繊維からなるフィルターはこれらの粒子を捕獲することで知られている。ここでは既存の材料を使用することから、材料の化学組成に基づく安全性の試験よりもむしろ、超極細繊維すなわち「ナノオーダーの直径を有する繊維状物質」における安全性確認を行わなければならない。

超極細繊維は経皮からよりも吸入により体内に浸入する可能性が高い。本プロジェクトで最も問題になるのは、電界紡糸中に飛散するナノオーダーの繊維塵である。装置的には閉鎖系で行われ、完全に回収されることから安全性は確保されていると考えられる。しかし装置の事故等で飛散する場合や製品中から剥離飛散する場合も考えられ、これらの状況を考慮すると超極細繊維の安全性確認は必要である。

しかし、これらの物質の安全性試験を行う評価機関は限られておりまた非常に高価である。そこで本研究開発では、全ての超極細繊維について行うのではなく、実用化される物質について行う。

(ホ) 調査及び報告等

電界紡糸法における繊維高機能化技術の開発や大型電界紡糸装置基盤技術の開発における国内外の状況を正確に把握することは今後の実化技術を的確に進展させる上で必要不可欠である。これらの最新の情報について国内外の調査を行い情報の収集を行うと共に、報

告会や検討会を開催し情報の交換を行う。

〈役割分担〉

研究開発は集中研方式を採用し東京工業大学（東工大）の施設と研究組織としてイノベーション研究推進体を利用する。さらに東工大とパナソニック ファクトリーソリューションズ株式会社（PFSC）との間で共同研究契約を締結し、PFSC から開発職員を派遣して共同で行う。研究開発のうち東工大が主として材料にかかわる部分を担当し、PFSC は主として工法に関わる部分を担当する。

[成果のまとめ]

検討課題	主要な研究内容	顕著な成果
(2) 電界紡糸法における繊維高機能化技術の開発	不織布状材料製造高速化	溶媒・繊維塵の回収と防爆を完全にした世界一安全なファイバーリング（FR）方式を開発し各種高機能化繊維製造高速化が容易になった。その結果実用化技術開発が促進された。
	コーティング高速化	
	フィラメント製造高速化	

[目標値とその妥当性]

表 2.1.2-2 目標値とその設定理由

検討項目	中間目標	最終目標	設定理由
不織布状材料 (m/分)	30	60	超極細繊維不織布を大量生産するには最大60m/分の製造ラインが必要である。海外の大型装置では1m/分～5m/分程度である。
コーティング (m/分)	150	300	エアフィルター用部材等の製造を行うためのコーティングでは最大300m/分の製造ラインが必要である。海外の大型装置では10m/分～50m/分程度である。
フィラメント (m/分)	30	60	超極細繊維フィラメント製造には60m/分程度の製造ラインが必要である。海外の大型装置に実績がなく不織布状材料と同等であれば十分である。

[中間目標に対する達成度]

検討項目	中間目標	達成値	達成度	内容
不織布状材料 (m/分)	30	40	◎	FR 方式により溶媒・繊維塵回収及び防爆が完全となり、世界一安全で高速化が容易になった。
コーティング (m/分)	150	200	◎	
フィラメント (m/分)	30	50	◎	コート糸製造装置の開発で実用的にも価値のあるフィラメントの製造が可能となった。

[最終目標に対する達成度]

検討項目	最終目標	現状	達成度	内容
不織布状材料 (m/分)	60	60	◎	固定化や自立膜の分離など繊維コレクターやロール系の改善をすることで高速化を行うことができた。
コーティング (m/分)	300	300	◎	
フィラメント (m/分)	60	60	◎	ノズル及び糸巻き取り系、電界制御系の改善を行うことで高速化を行うことができた。

[研究開発スケジュール]

表2.1.2-5 研究開発の年度展開

研究開発項目	H18年度	H19年度	H20年度	H21年度	H22年度
①電界紡糸法における繊維高機能化、大型装置化技術の開発					
(1) 大型電界紡糸装置基盤技術の開発					
(イ) 実験機及び評価用試料作成装置の試作					
(i) 実験機の試作導入	→				
(ii) 評価用試料作成装置の試作導入	→				
(ロ) 大型量産装置開発					
(i) 装置設計			→		
(ii) メインフレーム開発					→
(iii) ノズル開発					→
(iv) 電源及び電界・流体制御技術開発					→
(ハ) 乾燥及び溶媒・繊維塵回収技術開発					→
(二) 繊維高機能化装置開発					
(i) 高機能化実験機及び評価用試料作成装置開発					
(ii) 微小部コーティング大型装置開発			→		
(iii) 三次元コーティング大型装置開発					→
(iv) 三次元成型大型装置開発					→
(2) 電界紡糸法における繊維高機能化技術の開発					
(イ) 繊維高機能化技術の開発					
(i) 実験機及び評価用試料作成装置による超極細繊維材料の高機能化			→		
(ii) 大型装置による高機能化超極細繊維材料の開発					→
(ロ) 高電場下における高分子溶					→

液物性の評価・計測					
(ハ) 超極微細繊維や超極細構造 繊維における物性や構造の 評価・計測					→
(二) 安全性の評価					→
(ホ) 調査、報告、その他					→

[海外との比較]

以上、本プロジェクトにおける（１）大型電界紡糸装置基盤技術の開発及び（２）電界紡糸法における繊維高機能化技術開発の結果日本のナノファイバー技術はアメリカをはじめとする海外よりも数年先行することになった。特に超高性能ノズルの開発及びファイバーリング方式の開発は海外に無いわが国独自の技術開発であるだけでなく、ナノファイバー技術を大きく進展させる原動力となっている。また海外の大型装置では、溶媒回収、メンテナンスに長時間要するという問題、有機蒸気の爆発の問題を抱えているが、本プロジェクトで開発された方法はこれらの問題を解決している。

上表（２）電界紡糸法における繊維高機能化技術の開発における

（イ）繊維高機能化技術の開発

（i）実験機及び評価用試料作成装置による超極細繊維材料の高機能化

（ii）大型装置による高機能化超極細繊維材料の開発

（ロ）高電場下における高分子溶液物性の評価・計測

（ハ）超極微細繊維や超極細構造繊維における物性や構造の評価・計測

（二）安全性の評価

（ホ）調査、報告、その他

に相当しており、詳細はこれまで説明してきたとおりである。

2. 1. 3 成果、解決方法

2. 1. 3. 1 大型電界紡糸装置基盤技術の開発

（イ）実験機及び評価用試料作成装置の試作

（i）改造・改修可能な３種類の実験機を試作した。それぞれ不織布状材料化、コーティング化、フィラメント化の実験を行うことができる。これらの装置は実験条件に応じて変更が可能であり、１本から複数本のノズルを有している。不織布状材料化用実験機はA4サイズの大きさの不織布状材料が製造可能とする。またコーティング化用実験機はA4サイズの基材の上にコーティング可能である装置とする。さらにフィラメント化用実験機はフィラメント製造や微細な線状のパターンニングが可能である。本装置は大型装置研究開発のための基礎データを得るためのものである。図 2.1.3-1-1 に電界紡糸実験機、図 2.1.3-1-2 にフィラメント化用実験機を示す。



図 2.1.3.1-1 電界紡糸実験機

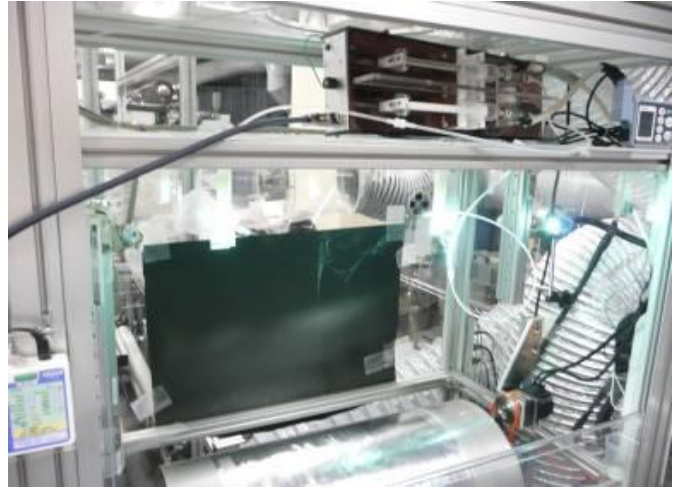


図 2.1.3.1-2 フィラメント化用実験機

(ii) 改造・改修可能な 3 種類の評価用試料作成装置も試作した。それぞれ不織布状材料化、コーティング化、フィラメント化を行うことが可能である。フィラメント化用評価試料作成装置もまたフィラメント製造や微細な線状のパターニングが可能であり、実用化技術開発を行う上で必要な量を供給することが可能となっている。フィラメント製造装置はコート糸製造装置に展開され、通常の繊維に超極細繊維がコート可能な装置となった。評価用装置の試作は大型開発機への設計技術の基本を確立し、大型装置の中核的要素技術であるノズルの開発の試作、検証を行うためである。図 2.1.3-1-3 に電界紡糸評価機を示す。



図 2.1.3.1-3 電界紡糸評価機

(ロ) 大型装置開発

実験機及び評価用装置の開発と同時に高い生産性を可能とする大型装置の開発作製に入り、装置の大きさは巾1 m×高さ2 m×長さ6 m程度目指した。本装置の製造速度に関する開発目標は、中間目標値である不織布状材料において30 m/分、コーティングにおいて150 m/分、フィラメントにおいて30 m/分である。これまでに、不織布状材料において40 m/分、コーティングにおいて200 m/分、フィラメントにおいて50 m/分を実現している。開発の最終目標は、不織布状材料の製造速度が60 m/分、コーティングが300 m/分、フィラメント製造が60m/分の能力を持つ装置の製作である。研究開発は(i)装置設計、(ii)メインフレーム開発、(iii)ノズル開発、(iv)電源及び電界・流体制御技術開発について行った。図2.1.3-1-4に初期の大型電界紡糸装置(平板タイプ)と図2.1.3-1-5に初期の大型電界紡糸装置(ドラムタイプ)を示す。



図 2.1.3.1-4

初期の大型電界紡糸装置(平板タイプ)

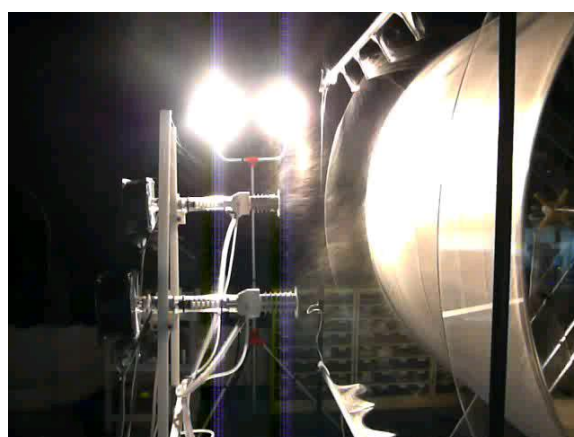


図 2.1.3.1-5

初期の大型電界紡糸装置(ドラムタイプ)

(i)装置設計は、実験機及び評価用試料作成装置の各種実験データ、高電場下における高分子溶液物性の評価・計測からのデータ、超極微細繊維や超極細構造繊維における物性や構造の評価・計測法からのデータ、安全性の評価からのデータ、実用化開発から提示されるデータ等に基づき行った。また目標値達成に対応したCADソフト及び新たなソフトの開発を行った。大型に伴い溶液の供給をスムーズに行わなければならない。しかしながら、溶液吐出部に高電圧が印加されるために、溶液保存タンクや送液のための溶液ポンプがチャージアップしダメージを受けない工夫が必要となる。そこで次図のようなシステムの概略をもとに装置設計を行った。

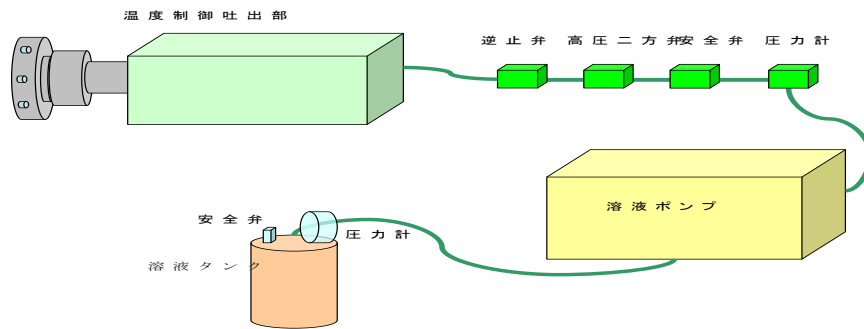


図 2.1.3.1-6 溶液保存タンクから吐出部までの概要

次にノズルから吐出したナノファイバーを捕集すると共に蒸発した溶媒を回収しなければならない。紡糸空間内の風の流れを極力層流に保持するための一連の装置を設計し使用した。

さらにノズルを増加に伴う効果を検証するために、多ノズル方式電界紡糸機の設計を行った。次図に多ノズル方式電界紡糸装置の概略を示す。

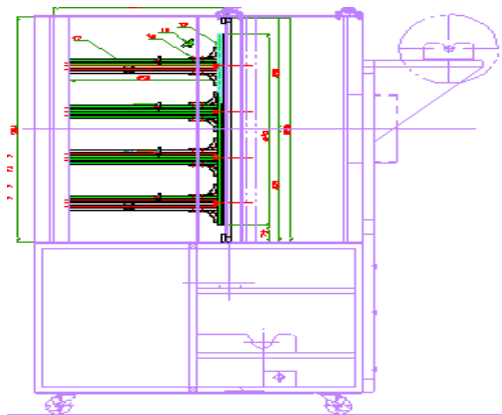


図 2.1.3.1-7

多ノズル方式電界紡糸装置の概略図

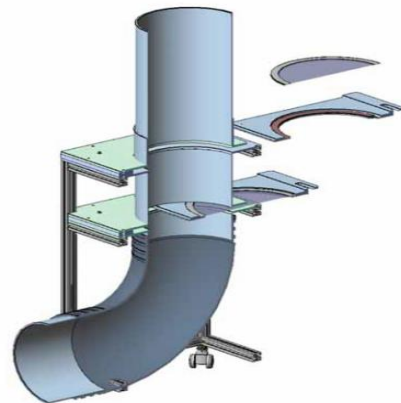


図 2.1.3.1-8

溶媒回収ダクトの概略図

溶液系電界紡糸において有機溶媒の爆発や人体への影響を防止するためにスクラパーを設置し安全に電界紡糸装置を稼働させるためのダクト設計を行った。上図にダクトの概要を示す。

ナノファイバーのノズルからの吐出と、スムーズな回収を図るために、電極付近に一定の送風が必要となる。風の流れをスムーズにするためにエアカーテンの設計を行い、導入を図った。図 2.1.3.1-9 にエアカーテンの断面図を示す。

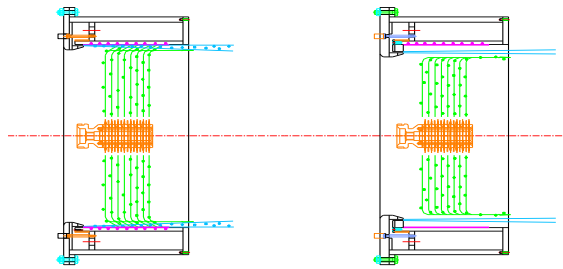


図 2.1.3.1-9

エアカーテンの断面図

次表にエアカーテン設置による効果を示す。電極等への付着に多少良い結果が得られたが、不織布の目付量が大きく変化することはなかった。

表 2.1.3.1-1 エアカーテン設置の効果

エアカーテン Exp $\phi 0.3 \times 12$					
No.	1	2	3	4	5
温度(°C)	23.3	23.4	23.6	23.2	23.2
湿度(%Rh)	60	62	62	61	60
回転数(rpm)	2006	2014	2005	2009	2009
エアカーテン(Hz)	0	15	30	45	60
排気(Hz)	50	50	50	50	50
印加電圧(kV)	-50.1	-50.1	-50.1	-50.1	-50.1
電流(μ A) 前	1	1	1	1	1
後	22	16	16	16	8
差圧(Pa) 前	160	160	160	150	150
後	620	400	440	370	240
不織布(g) 前	8.1041	7.9956	7.94	8.0348	8.0641
後	8.2645	8.0903	8.0326	8.1223	8.1086
差	0.1604	0.0947	0.0926	0.0875	0.0445
吐出(g) 前	25	25	25	25	25
後	21.8	23.6	23.4	23.5	24.5
差	3.2	1.4	1.6	1.5	0.5
実験時間(min)	6	6	6	6	6
測定点数	20	20	20	20	20
平均値(nm)	564	474	546	547	608
標準偏差(nm)	150	122	140	133	106
CV 値(%)	26.6%	25.7%	25.6%	24.3%	17.4%

(ii) メインフレーム開発の中心は集積板及び巻き取り装置の開発であり、各種部材の購入により行った。また電界を印加するための高圧電源が必要である。紡糸の走行系のシステム制御をより高精度に行うためのロールタイプ紡糸機一式、制御系の精度をより高度にするための紡糸コントローラー一式、厚み等の制御をより正確に行うためにマルチ測光システム一式を導入し、大型電界紡糸装置の高機能化を図った。ここで超極細繊維装置走行系検討治具を利用して集積板を連続的に可動化しメインフレーム開発を行った。

吐出量制御メインフレームの概要を下図に示す。当装置類はリング形状電極の高電場下におけるスプレー溶液がノズルで生じるテーラーコーンから引き出される糸及び筒内を飛行する糸の状態を可視化することを可能となり、吐出量、溶液温度、ノズル回転数を制御し、最終目標値達成のための開発が可能となった。



図 2.1.3.1-10
吐出量制御メインフレーム

次図にリング電極方式のメインフレームを示す。リング電極を用いノズルヘッドから大量に制御された吐出量をスプレーすることを可能とするためテーパーのある風洞管の設置し、捕集されるナノファイバーを均一に堆積可能な筒体の開発を行った。

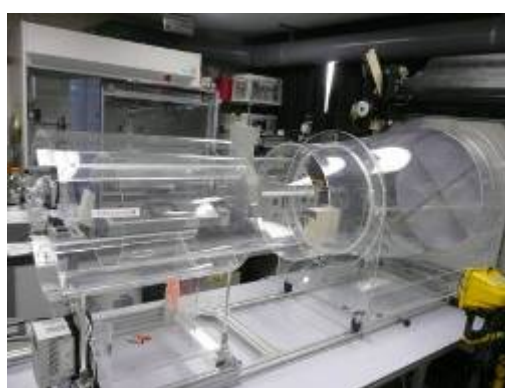


図 2.1.3.1-11
リング電極方式メインフレーム

下図に縦型ロータリー電極方式のメインフレームを示す。



図 2.1.3.1-12

縦型ロータリー電極方式メインフレーム



図 2.1.3.1-13

縦型ロータリー電極方式メインフレーム

図2.1.3.1-12はこの装置は電解質物質溶液をスプレーするために開発されたメインフレームである。溶液は上部から供給され捕集部にも電圧を印加し、吸引風により捕集される方式で長時間連続巻き取りを伴うことが可能な装置である。

図2.1.3.1-13はファイバリング電極を使用し上部より溶液が供給される一般的縦型リング電極方式メインフレームである。ここでは筒状縦型であり、ノズルを上部に設置し、リング状電極から高電圧印加し、スプレーする方である。

図2.1.3.1-14に多ノズル方式電界紡糸メインフレームを示す。多列ノズル方式による電界紡糸機を開発したことによりスプレー溶液によるノズル間による電場の影響をいち早く検知することができ多数ノズルから安定スプレーすることを可能とした。またノズルを横にトラバースすることも可能である。



図 2.1.3.1-14

多ノズル方式電界紡糸メインフレーム

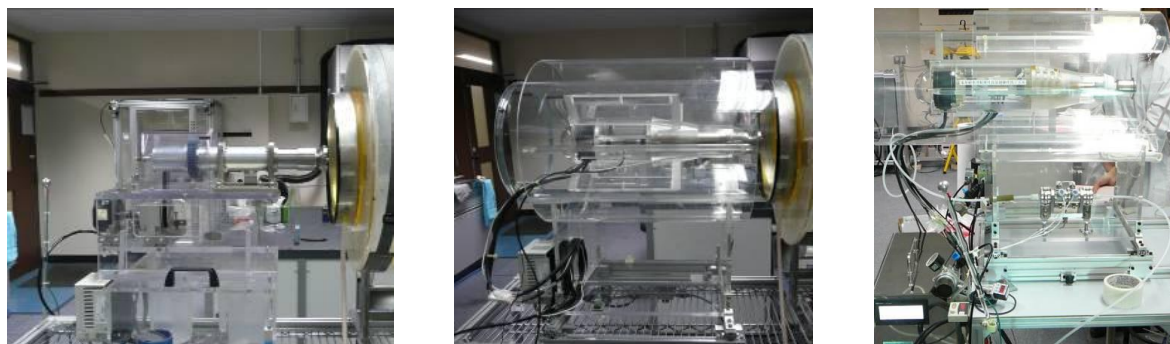


図 2.1.3.1-15

多ノズル方式電界紡糸メインフレーム

図 2.1.3.1-15 に改良ジェットノズル型ドラム式捕集メインフレームを示す。本方式により幅 4 m の不織布製造が可能となった。

筒体のメインフレーム開発では、一定圧力で溶液を吐出可能な機構 (a) を追加し、次に風の流れを考慮した形状 (b) に変更し、最終的には溶液温度を制御可能な機構 (c) とした。下図に筒型メインフレームの進展を示す。



(a) 定圧送液を追加

(b) 気流制御

(c) 溶液温度制御可能

図 2.1.3.1-16 筒体メインフレームの進展

(iii) ノズル開発に関しては、大型開発試作装置において $20 \mu\text{l}/\text{本} \cdot \text{分}$ の噴出速度で 20 万本のノズルと同等の機能を有するものを開発する。目標値達成のために (a) 浮遊タイプ方式、(b) ロータリーシリンダ方式、(c) 2流体ノズル方式の三種類のノズルを検討し、大型装置への組み入れの適正化を検討した。ここでは、高電圧を取り扱うために漏電に細心の注意を払い耐熱性材料からなるボックスを作製し、ノズルの開発実験をそのボックス中で行った。ノズルの開発実験では、ノズル金型や金型へのメッキ技術の開発が必要である。さらにノズルから溶液がどのように吐出されているのか検討し、大型装置作成のための重要な要素であり溶液吐出技術確立の検証を行った。

従来のノズル方式の約百万倍の生成能力を実現する超高性能ノズル方式を開発することができた。また本ノズルによりノズル間の電界干渉を防ぐことができた。さらに同ノズルによって大量生成されたファイバーを捕集する大型ドラムを開発した。次図に開発したロータリーシリンダ方式の超高性能ノズルと大型ドラムの概略図を示す。

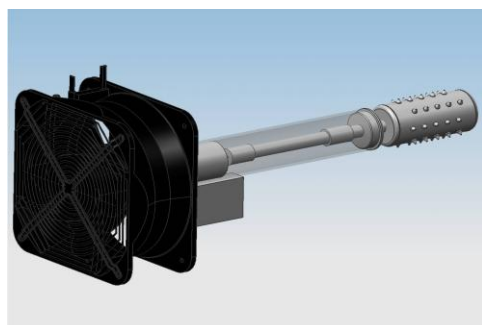


図 2.1.3.1-17
超高性能ノズル

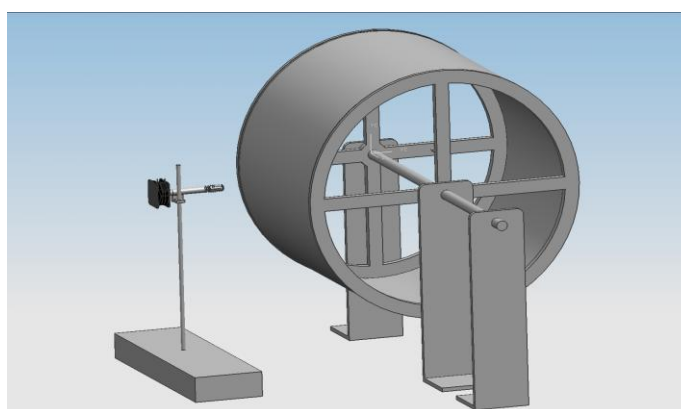
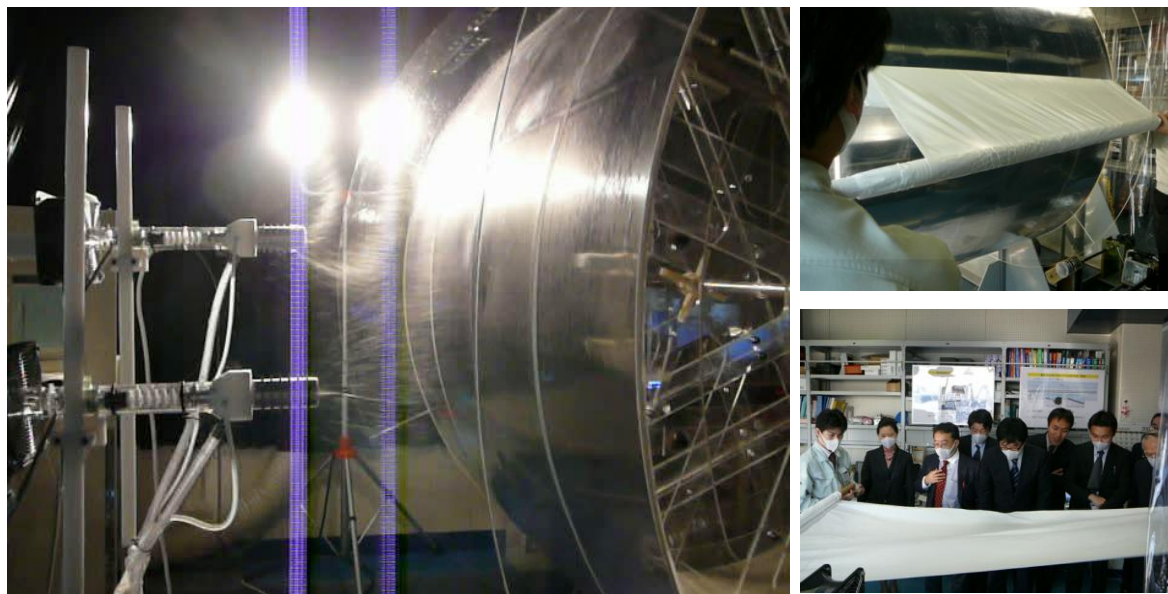


図 2.1.3.1-18
大型ドラム

また、次図にロータリーシリンダ方式の超高性能ノズルを用いた大型量産装置ドラムによる不織布の試作と試作した不織布状材料を示す。



PVA不織布(1.5m×6m)

図 2.1.3.1-19

超高性能ノズルを用いた大型量産装置ドラムと試作した不織布状材料

ロータリーシリンダ方式超高性能ノズルの開発とそれに伴う大型ドラムの開発で目標値達成の目途がたった。しかしながら使用するポリマーや、用途により最適なノズル方式を開発する必要があり、ここでは助成企業の要望をもとに各種のノズル開発を行った。

まず、大量生成に適したロータリーシリンダ方式の超高性能ノズルのさらなる開発を行った。ドーナツ状の空洞ディスク表面上に細管を配置し数枚重ねるディスクタイプ、円筒状に先端にノズル孔を有する円筒先端タイプ及び藤壺タイプの三種類を作製した。次図にそれぞれのタイプのノズルを示す。

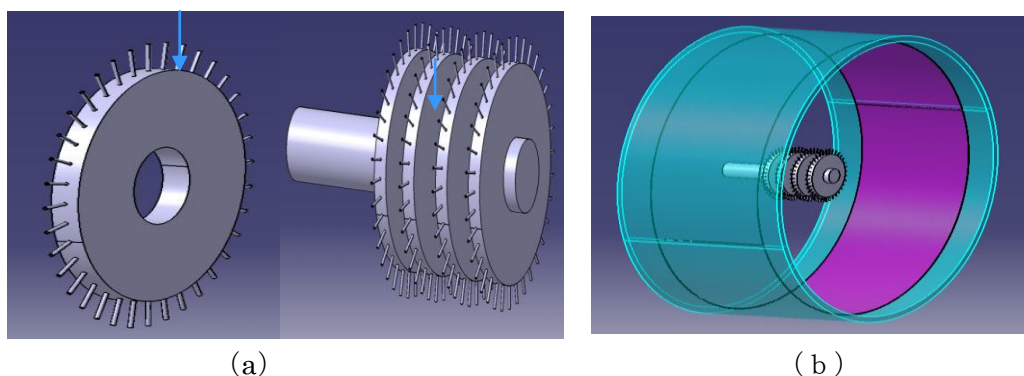
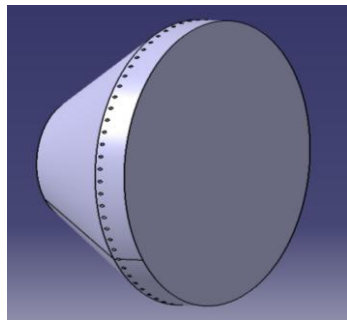
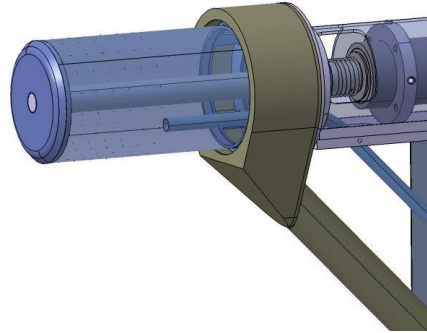


図 2.1.3.1-20 ディスクタイプノズル (a) とその配置 (b)



(a)

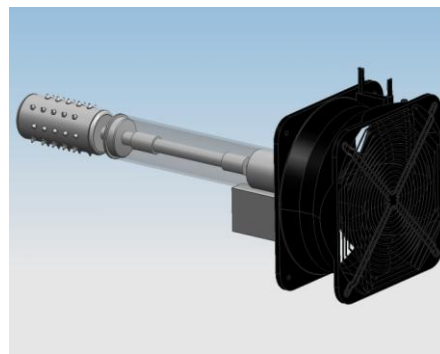


(b)

図 2.1.3.1-21 円筒先端タイプノズル (a) とその配置 (b)



(a)



(b)

図 2.1.3.1-22 藤壺タイプノズル (a) とその配置 (b)

ディスクタイプノズルや藤壺タイプノズルはメンテナンスに難点があり、円筒先端タイプは突起部分がないため電荷集中が良くメンテナンスも比較的容易である。

ロータリーシリンダーをより効率よく作動させるために新たに「マグナムヘッド」の製作（マグナムヘッド1）と改良（マグナムヘッド2）を行った。これは次のことを目的としている。

(a) モーター&伝達機構部分が絶縁された円筒形状内にあり、外部から触れることがない電極を開発し高い安全性を確保する。

(b) 供給空気が取付台の位置により乱流となるが、スムーズな流れの確保を行う。

(c) 温度や湿度を調節した空気の取り入れが可能となる。

(d) ギアを設けず回転をスムーズした上回転数が高く設定でき騒音を低下させることができる。

(e) ヘッドの移動が自由な設定となっており筒体内をスムーズに移動させることが可能となる。

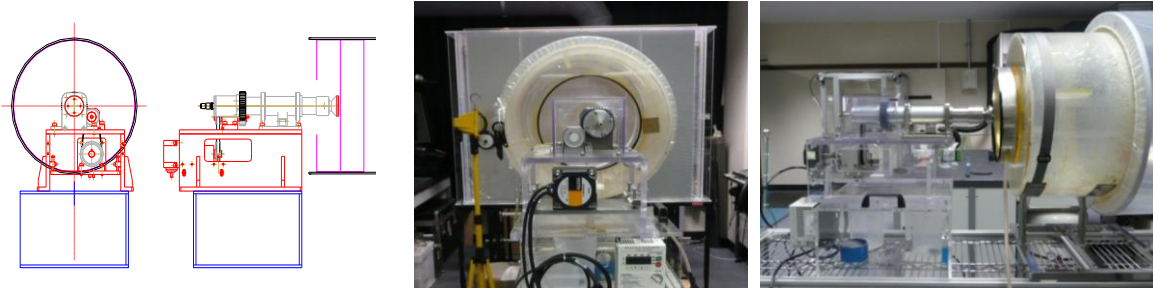


図 2.1.3.1-23 マグナムヘッド 1

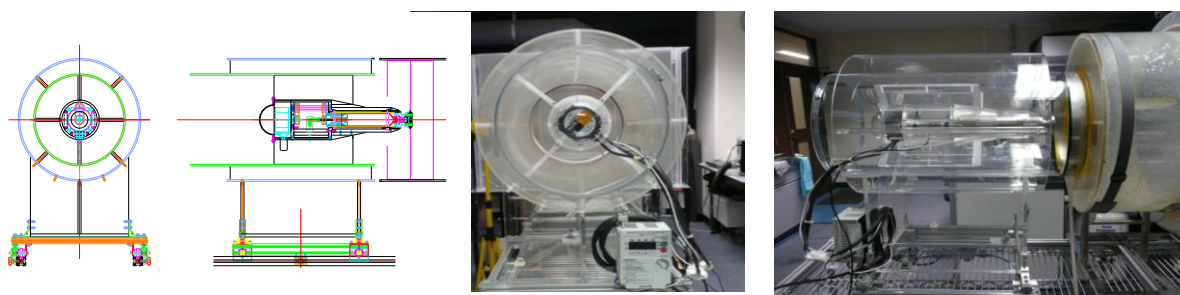


図 2.1.3.1-24 マグナムヘッド 2

さらにノズルに加熱することが可能となるホットマグナムヘッドを開発した。

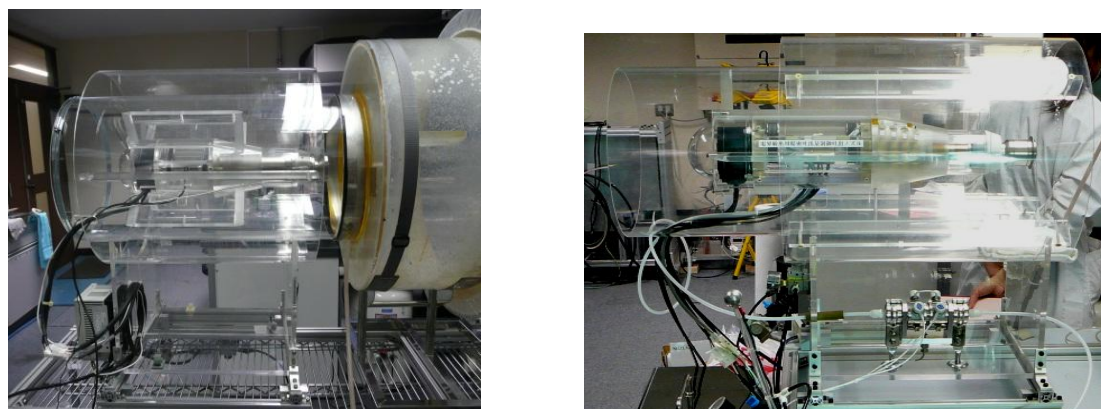


図 2.1.3.1-25 ホットマグナムヘッド

次図にホットマグナムヘッドを使用して求めたノズルの加熱温度とPVDF平均繊維径の実験結果を示す。このとき印加電圧はマイナス45 KV、コレクタ電圧0 Vとした。

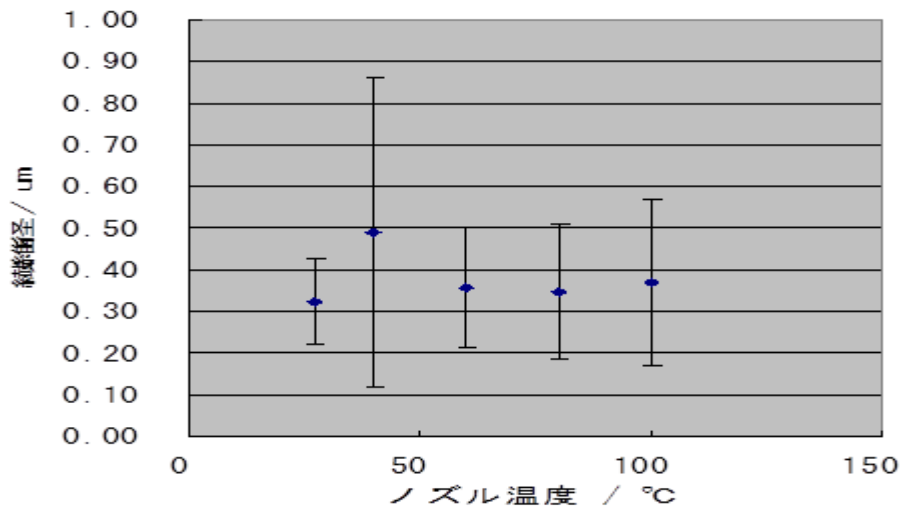


図 2.1.3.1-26 ノズル温度 (°C) と平均繊維径 (μm) の関係

次図にロータリーシリンダ用ノズルから得られたナノファイバー不織布の SEM 画像の例を示す。

	シリンダー当たり1	シリンダー当たり2	単孔当たり
4孔	5.0 g/min/Cylinder 2.0kV X500 50μm 670 nm ± 38%	12.4 g/min/Cylinder 2.0kV X500 50μm 700 nm ± 40%	0.55 g/min/hole 2.0kV X500 50μm 10 50 SEI 540 nm ± 38%
12孔	5.6 g/min/Cylinder 2.0kV X500 50μm 10 50 SEI 830 nm ± 35%	11.0 g/min/Cylinder 2.0kV X500 50μm 10 50 SEI 730 nm ± 29%	0.47 g/min/hole 2.0kV X500 50μm 10 50 SEI 830 nm ± 35%
36孔	5.6 g/min/Cylinder 1.0kV X500 50μm 10 55 SEI 580 nm ± 38%	12.0 g/min/Cylinder 1.0kV X500 50μm 10 55 SEI 600 nm ± 53%	0.45 g/min/hole 10kV X500 50μm 10 55 SEI 800 nm ± 38%

図 2.1.3.1-27 ナノファイバー不織布の SEM 画像

より高効率な紡糸を行うために浮遊タイプ方式及び2流体ノズル方式を融合したエアージェットノズルを開発した。中心にある8本の針状ノズルがついた部分が溶液吐出部であり、ノズル囲む円筒状電極によって電荷が誘導される。周囲にある8本のノズルから出る気体によってナノファイバーを捕集部方向へ移動させる方式である。非常に高効率であるが、液滴の制御に技術を要する。

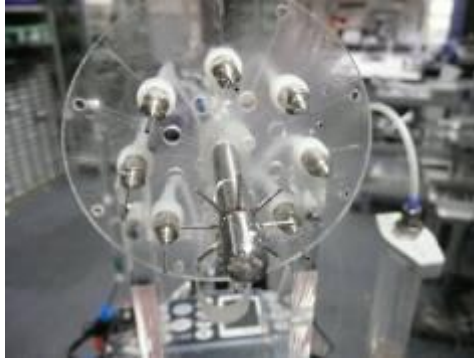


図 2.1.3.1-28 エアジェットノズル

吐出ノズルに電圧を印加すると紡糸液も帯電し、金属製のノズルは紡糸液と親和性が高いために、吐出ノズル孔周囲に紡糸液が濡れ広がってしまいテーラーコーンの形成を阻害する。そこで濡れ性の低いフッ素系の樹脂を利用して樹脂ノズルの開発を行った。このことにより紡糸液が濡れ拡がりにくくなり、紡糸がスムーズになる。

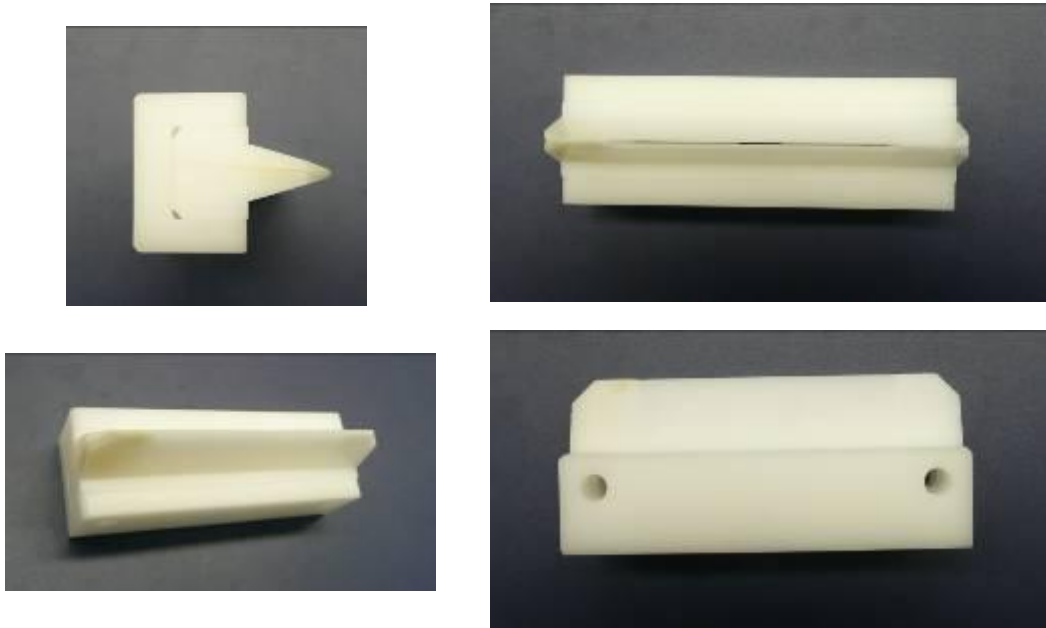
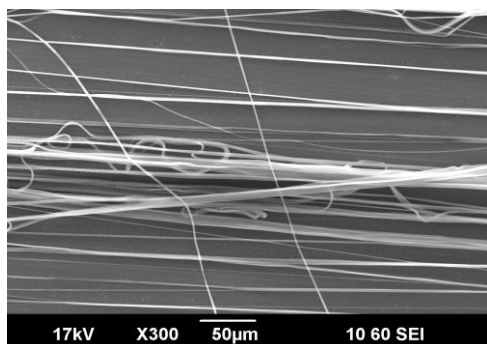
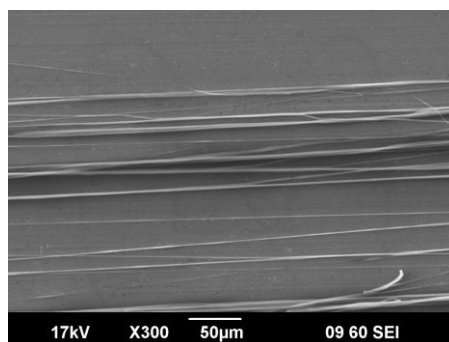


図 2.1.3.1-29 樹脂ノズル

フィラメント製造装置（図 2.1.3.1-2）の開発に伴い、フィラメント製造に対応したフィラメント用ノズルを開発した。その結果、不織布製造用との併用の場合と異なり非常にスムーズにフィラメントを製造することが可能となった。



(a)



(b)

図 2.1.3.1-30 フィラメント用ノズルを用いて製造したフィラメント

(a) 巻取速度 30 m/min

(b) 巻取速度 60 m/min

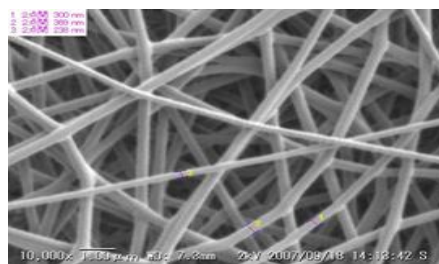
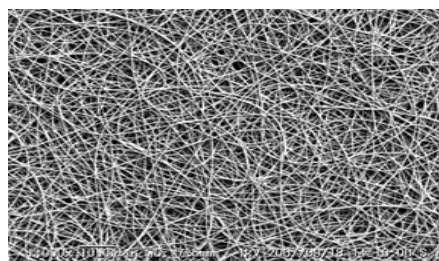
以上の装置より平成22年度では最終目標である不織状材料の製造速度が60 m/分、コーティングにおいて300 m/分、フィラメント製造が60 m/分の性能を達成した。

(iv) 電源及び電界・流体制御技術開発は製造速度のみならず、繊維径やばらつきなどの品質を決める大きな要因となる。品質を安定化させるには電源及び電界と流体の制御技術の確立が必要である。

電界紡糸法における電圧や電流の効果を検討するためにバンデグラフスプレー法を検討した。バンデグラフが発生する静電気のみによるスプレー可能な円球電源を開発し実験を行った結果、電界紡糸法には電流は不要であることを改めて証明した。



(a)



(b)

図 2.1.3.1-31

(a) バンデグラフ装置

(b) 製造されたナノファイバー

電界紡糸装置において外部への溶媒の蒸発を防ぐために風洞を使用しているが、風洞内の気流の流体制御は、ナノファイバーの繊維径のバラツキ等を制御して品質を向上させるために非常に重要である。このため、気流の状態を観察し制御方法を確立する必要がある。ここではグリーンレーザーと可視化用煙発生器を組み合わせることで気流を可視化した。その検討結果の一例を次図に示す。

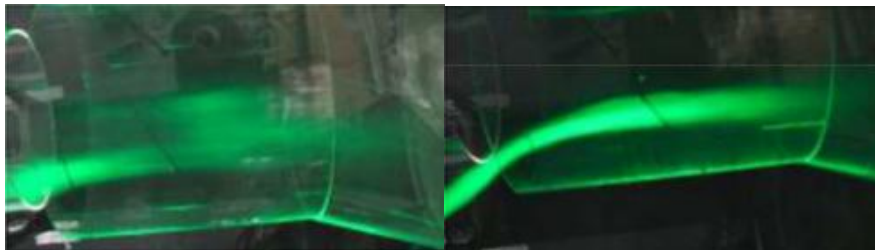


図 2. 1. 3. 1-32 電界紡糸装置内の風洞内気流可視化結果例

次に紡糸装置風洞内の風速の均一性を検討した。風洞壁面と空気の摩擦によって壁面に近づくほど風速が減少するため、風洞壁面から遠い中心付近ほど風速が早い。そこで、中心付近の風速を減少させるために次図に示すような治具を捕集部の下流側に取り付けた。このことにより、風洞内の気流を制御しより多くのナノファイバーを効率的に捕集させることを可能にした。



図 2. 1. 3. 1-33 捕集部下流側に取り付け風速変化治具例

種々の検討の結果、堆積したナノファイバーの厚みが増すことが明らかになった。局所的に厚く堆積した部分が確認できるものの、ナノファイバーの堆積厚さの差は $20 \mu\text{m}$ であった。また、吐出される繊維径は約 20 % 以下であり、ばらつきが非常に小さい。

紡糸用風洞の形状を検討した。捕集部面を円形開口捕集部が 10° の傾き角をもつテーパ状の風洞としたところ、捕集部面での平均風速が $3.9 \pm 0.21 \text{ m/s}$ であり、捕集部上ではほぼ均一であった。得られた風速分布を次図に示す。

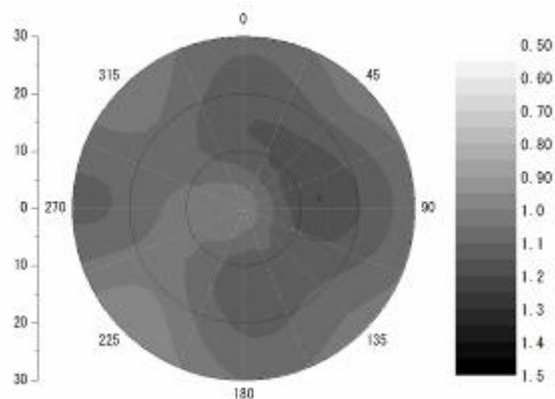


図 2.1.3.1-34 捕集部面で得られた平均風速で規格化した捕集部面での風速分布

さらに捕集部面上の均一性をフィルターの圧力損失から測定した。その結果、圧力損失のばらつきは少ないことが明らかとなった。

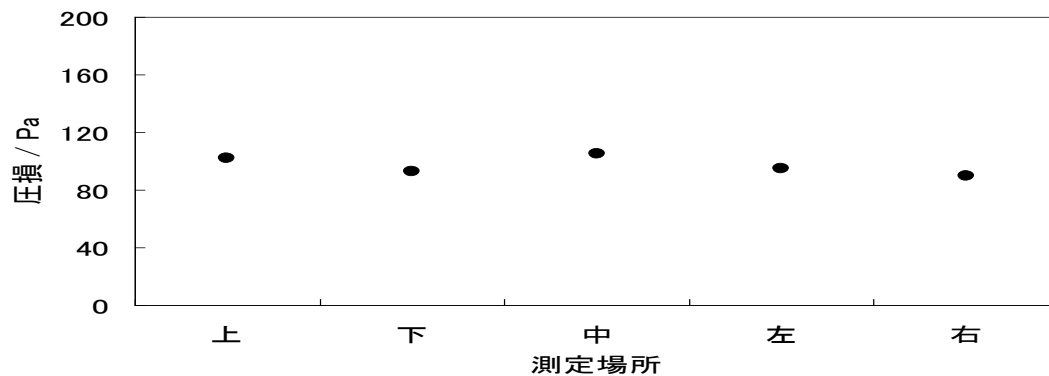


図 2.1.3.1-35 捕集面の位置（測定場所）とフィルターにおける圧力損失との関係

印加電圧の違いによるナノファイバーの堆積挙動の変化について多ノズル方式で検証した。その結果通常のノズル一本の場合は、印加する電圧が高くなるほど電気的な反発により堆積面積が広がる傾向にあるのに対して、次図に示すように多ノズル方式では印加電圧が高くなるほどノズル間の電気的な反発により堆積面積が縮小することが判明した。

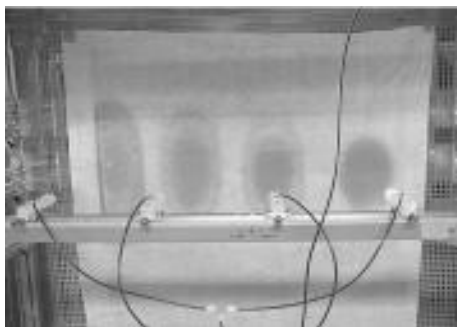


図 2.1.3.1-36
多ノズル方式による堆積面積の縮小

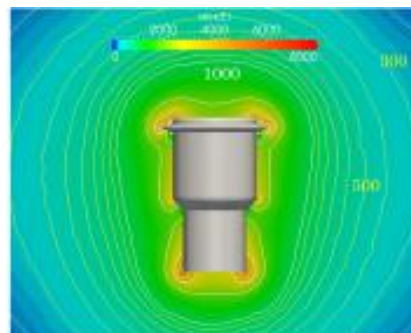


図 2.1.3.1-37
吐出ノズル周囲の電場強度

本プロジェクトで開発した電界紡糸ノズルは、接地した吐出ノズル周囲に高電場を形成させて、吐出ノズルに電荷を誘導する方式である。吐出ノズルに直接電圧を印加せずリング電極に印加する電界紡糸法であるため吐出ノズル周囲でどのように電場が形成されているか不明である。そこで電場強度をシミュレーションしたその結果を図 2.1.3-1-37 に示す。この結果から、ノズルの凸な部分に電場が集中していた。図側面にある凸となった部分がノズル先端で、ここから吐出される紡糸液に電荷が誘導されると思われる。

電界紡糸法では高い電圧を印加するため、紡糸装置を高い帯電状態にしてしまう。そこで、紡糸装置自体を除電しながら、電界紡糸を行なった。次図に示すように除電を行うことにより風洞壁面に紡糸中のナノファイバー付着を防止することが可能である。

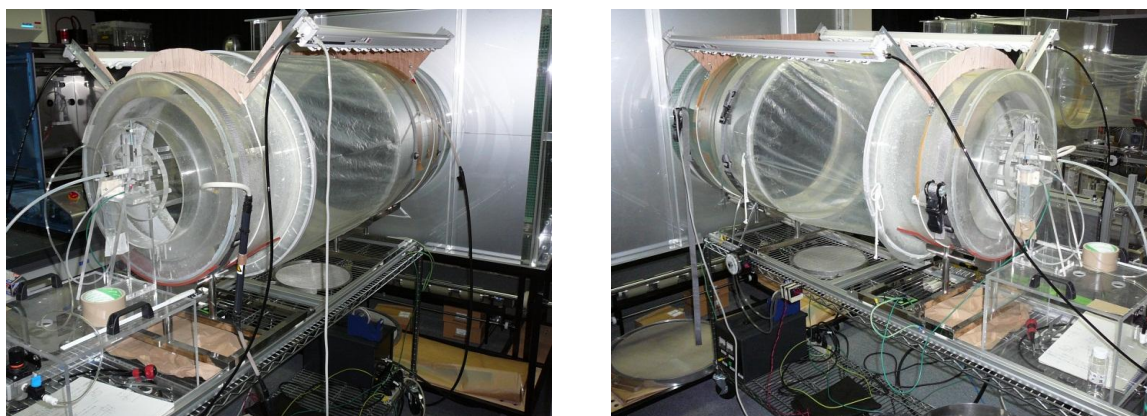


図 2.1.3.1-38 電界紡糸装置風洞の除電

(ハ) 乾燥及び溶媒・繊維塵回収技術開発

大型製造物試作装置開発の中で最も重要な要素の一つは装置内の乾燥条件及び溶媒・繊維塵の回収である。特に微細繊維状物質の安全性に関しては空気中に浮遊しないようにする必要があり、また溶媒に関しても同様である。さらに、各国で開発されている電界紡糸装置は有機溶媒の爆発等深刻な問題を抱えており、これらの問題を開発しない限り、本装置を利用した超極細繊維の工業化は非常に困難となる。

ここでは蒸発した有機溶媒を回収するとともに繊維塵を大気開放しない電界紡糸システムを提案した。次図に溶媒・繊維塵回収 電界紡糸システムの概念図を示す。本装置はナノファイバー生成部、捕集部、溶媒回収装置と温湿度調整機を循環するような空気の流れが生じさせる。その空気の流れに乗って、生成したナノファイバーは捕集部まで移動し収集される。その後、蒸発した溶媒を含む空気は、溶媒回収装置で有機溶媒を除去した後、温度と湿度を調整され、捕集部に流入させた。この方式を試験的に実施するため、溶媒回収装置に湿式スクラバを採用した。

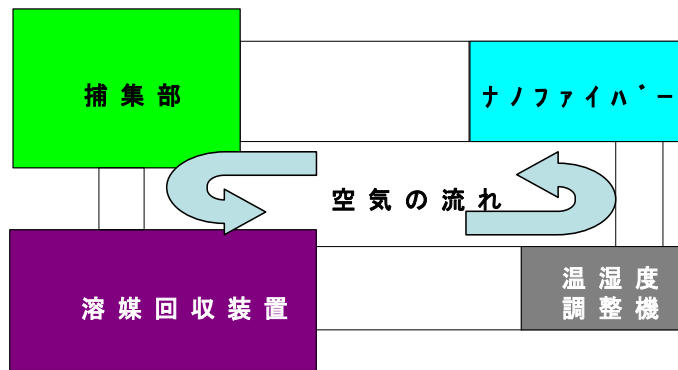


図 2.1.3.1-39 溶媒・繊維塵回収 電界紡糸システムの概念図

本概念図を基に装置を実現化した。ナノファイバーが生成する条件で最も注意が必要な湿度制御である。湿式スクラバを通過した空気は大量の湿度が含まれる。そこで、湿度除去できる除湿機を通し、湿度制御された空気をナノファイバー生成部に戻す方法である。この系での結果をナノファイバー生成部の温度及び湿度の時間変化として次図にプロットした。除湿機の廃熱により紡糸装置内の温度は室温よりも高く、時間とともに上昇して最終的には 36°C 程度になったが、湿度は時間とともに減少して 24%RH となった。このことから、この装置構成でも電界紡糸において重要なパラメータである湿度を低い状態で保持可能なことが分かった。

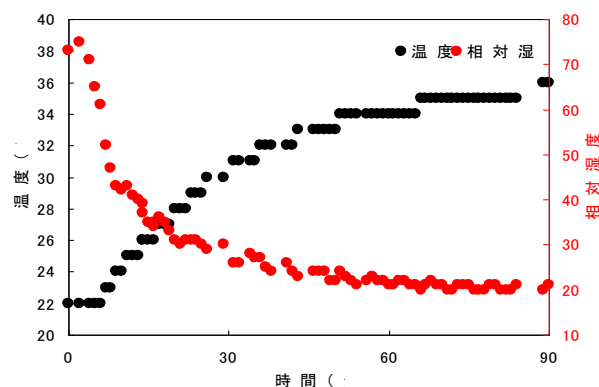


図 2.1.3.1-40 電界紡糸装置内の温度及び湿度の時間変化

(二) 繊維高機能化装置開発

(i) 高機能化実験機及び評価用試料作成装置開発

ここでは、超精密加工、立体形状物へのコーティング、立体形状の不織布状材料や成型品の製造を図るための大型電界紡糸装置の開発を行った。

(ii) 微小部コーティング大型装置開発

電界紡糸法では、いわゆる微小部コーティング技術としての数百 nm 以下の繊維状パターンニング技術や高分子や無機材料の薄層コーティング等が可能である。これらの微小部コーティング技術はバイオチップをはじめとするバイオ関連製品や LCD・有機 EL・プラズマ TV の部材等新たな用途展開ができる。繊維高機能化技術が可能となるように電界操

作、固定化、電荷の集中などの研究開発を行った。次図にその結果を示す。

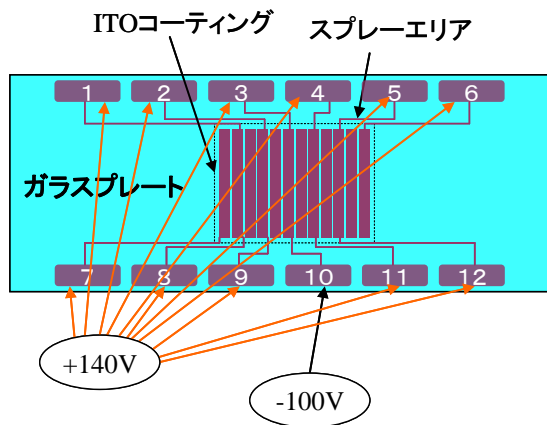


図 2. 1. 3. 1-41

有機 EL のモデルパターンニング（ガラスプレートの上に ITO コーティングによりパターンニングを行い有機 EL 化合物をスプレーする。）

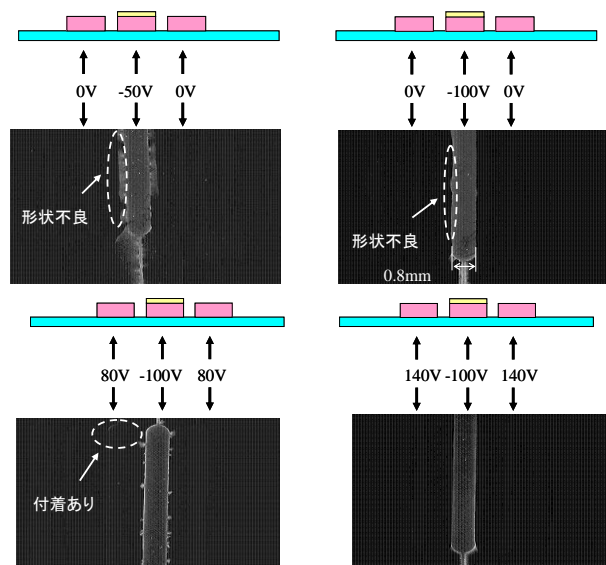


図 2. 1. 3. 1-42

エレクトロスピンニング法による有機 EL モデル化合物のパターンニング試験

(iii) 3次元コーティング大型装置開発

電界紡糸法の特徴として、3次元の凹凸のある物質即ち動物や人体の形状をした物体上に均一にコーティングが可能である。これにより一体成型材料等が可能であり、医療用部材や各種形状のフィルターや表面改質フィルム・ガラス等に応用できる。3次元コーティングが可能とするためには、スプレー量の制御、リアルタイム膜測定技術などの研究開発を行った。

次図に3次元コーティング大型装置概要とマネキンに行った3次元コーティングの結果を示す。

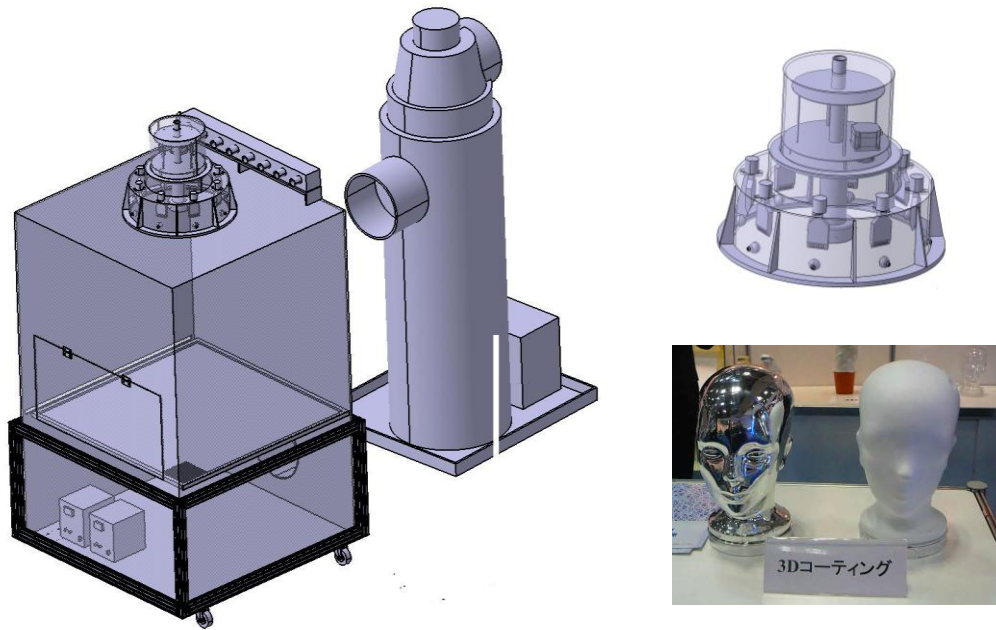


図 2.1.3.1-43

3次元コーティング大型装置概要とマネキンに行った3次元コーティングの結果

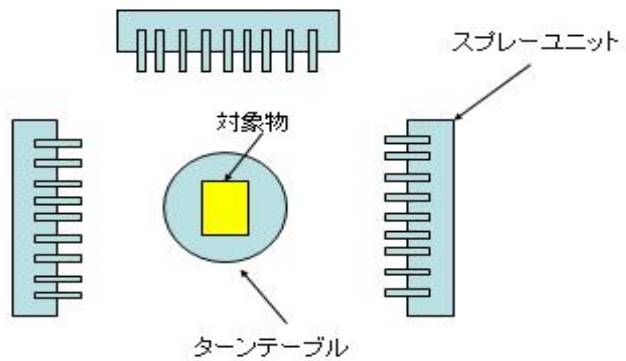
(iv) 3次元成型大型装置開発

電界紡糸法は立体形状物質に繊維状物質のコーティングが可能だけではなく、複合化技術と組み合わせることにより成型加工が可能である。このことにより、タイヤや船舶用FRPのように大型の複合材料の製造が可能となる。3次元成型加工を可能するために、非導電性の物体への固定化技術や超極細繊維を任意の位置に誘導する技術を研究開発した。



図 2.1.3.1-44

3次元成型大型装置の概要



電極を印加した対象物に多方向からナノファイバーを吹き付ける

【大型電界紡糸装置基盤技術の開発におけるまとめ】

以上の結果をもとに我々は非常に高速にナノファイバーを製造するシステムを構築することができた。従来ノズルの百万倍以上の生成能力に相当する世界最高性能のノズルを開発した。しかしながら実際には製造される繊維直径やばらつき等の品質管理、溶媒の回収、防爆、電力消費、メンテナンス等様々な要素を考慮した上で最適なノズル性能を決める必要がある。図2.1.3.1-45にはナノファイバー直径のばらつき制御、溶媒の回収や防爆が可能で、電界の干渉がなく、メンテナンスフリーで尚且つ電力消費量が極めて少ない紡糸システムを用いた紡糸状況を示す。本図には毎分25 mLの溶液を紡糸している状況を示す。解像度が悪いが紡糸されたナノファイバーのSEM画像を示す。図2.1.3.1-46は約50 nm、図2.1.3.1-47は約20 nmを示す。以上のことから明らかに電界紡糸によるナノファイバーは工業化可能である。



図 2.1.3.1-45 毎分 25 mL の紡糸

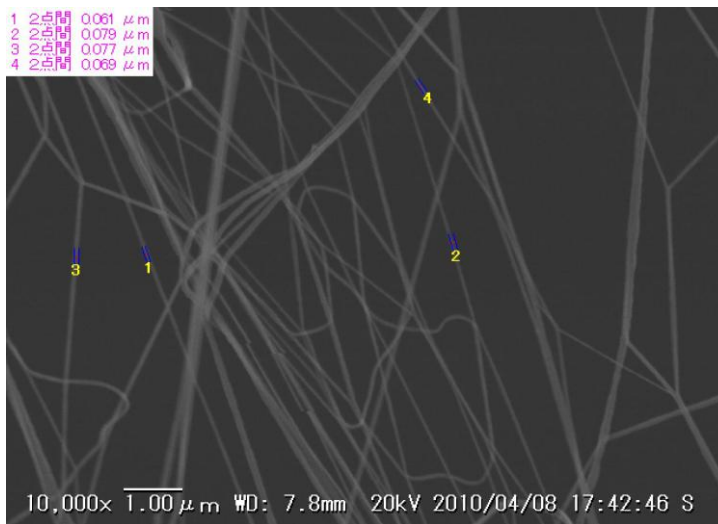


図 2.1.3.1-46 紡糸された直径 50 nm のナノファイバー

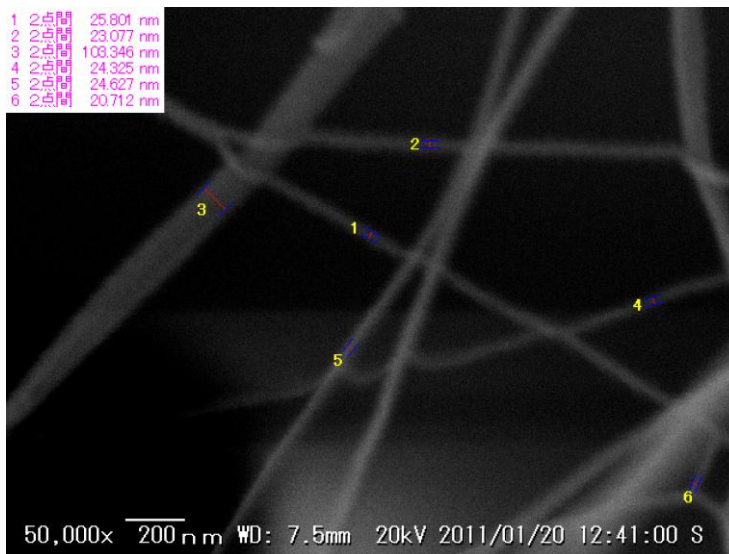


図 2.1.3.1-47 紡糸された直径 20 nm のナノファイバー

2. 1. 3. 2 電界紡糸法における繊維高機能化技術の開発(成果・解決法)

(イ) 繊維高機能化技術の開発

(i) 実験機および評価用試料作成装置による超極細繊維材料の高機能化

ナノ構造制御をはじめとする制御技術、被覆技術、複合化技術、ポイド化技術、中空糸化技術、固定化技術、再配列化技術、分散化技術等の繊維高機能化技術の開発をした。

(ii) 大型装置による高機能化超極細繊維材料の開発

平成20年度からこれまでに得られた知見を基に使用する各種電解溶液において、導電性ポリマーから大量にナノファイバーを作製する装置のシステムを検証し、装置の試作を行った。また 材料として溶液系のみならず固体系にも範囲を拡げ、熔融電界紡糸を可能とするシステムを構築するための設計を行い新たに繊維高機能化技術の開発を行った。各種装置に対する知見をもとに一度に数種類の材料を同時に電界紡糸することが可能となる。数種類材料における各機能（強度、密着性、抗菌性等）を持つナノファイバーを同時に多量に成形可能となるシステムの構築を行い、高機能化技術開発の促進をはかった。

吐出挙動及び巻き取り挙動の検討を行い高機能性超極細繊維の高品質化を図った。次図に電界紡糸吐出挙動解析用装置を示す。



図 2. 1. 3. 2-1 電界紡糸吐出挙動解析用装置

超極細繊維を高品質で連続運転を可能にする各種ノズルの開発に伴いノズルへの供給量の検証を行った。平成22年度においては静電熔融大型装置を導入することにより材料として溶液系のみならず固体系にも範囲を拡げ、静電熔融紡糸を可能とした。次図に静電熔融紡糸装置を示す。

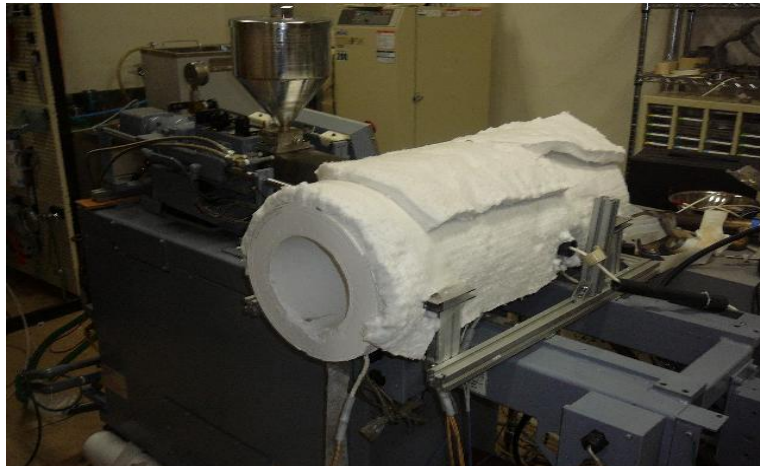


図 2. 1. 3. 2-2 静電溶融紡糸装置

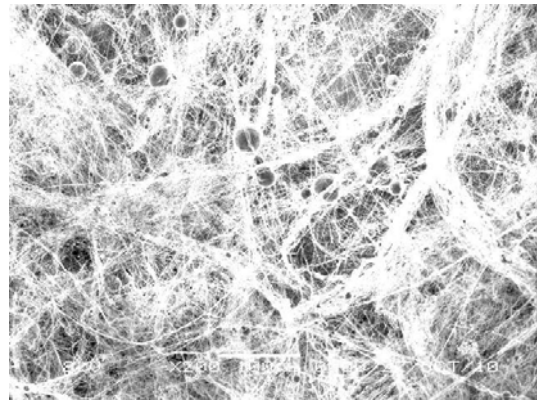


図 2. 1. 3. 2-3 紡糸したナイロン綿

電解質不織布は超超純水製造等に利用される等、ナノファイバーの高機能化には必要不可欠である。しかしながら紡糸溶液の電気伝導度が高いことから、通常の方法では大量生産が困難である。ここでは縦型ロータリーシリンダーを用いて多量に成形可能となるシステムの構築を行い幅50 cm長さ1000 cm厚さ50 μm の不織布を連続製造した。当初は1時間連続電界紡糸であるが、ノズルの改良等により最終的には紡糸時間を8時間連続にすることが可能となった。

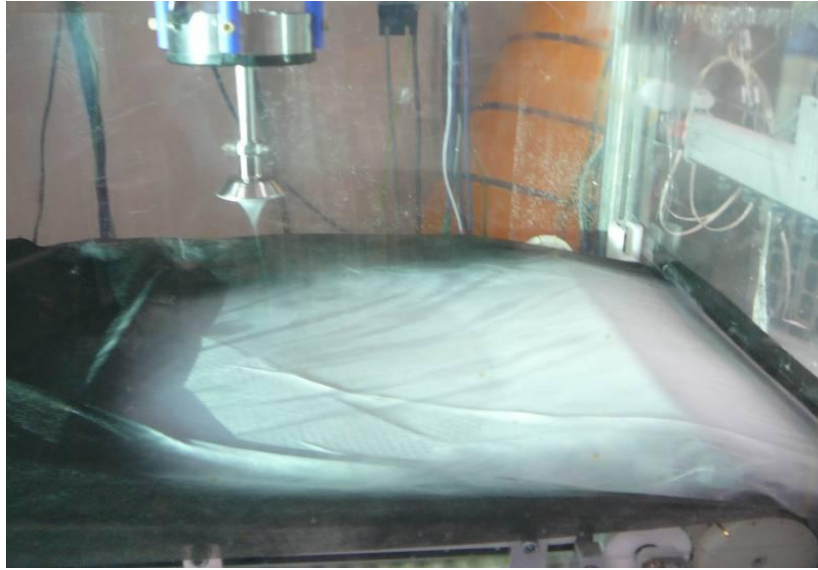


図 2. 1. 3. 2-4 縦型ロータリーシリンダーを用いた電解質不織布の製造

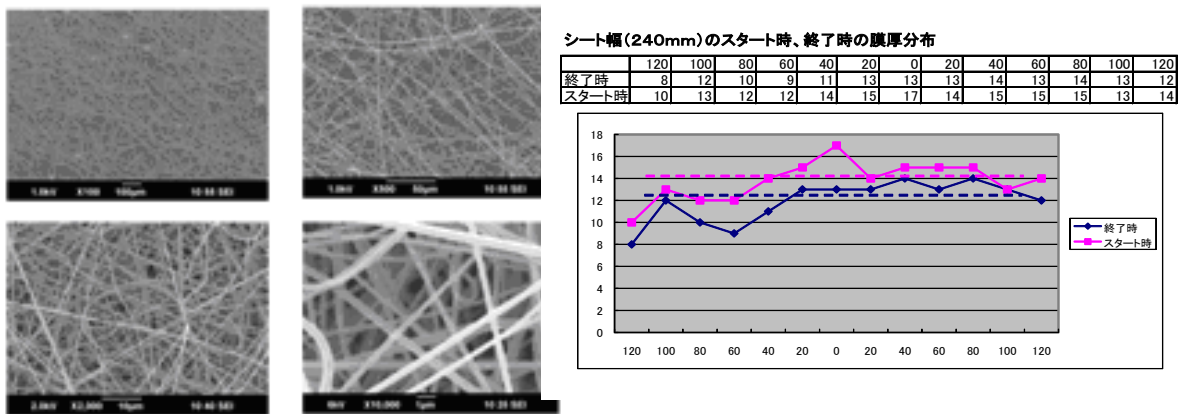


図 2. 1. 3. 2-5 電解質不織布の SEM 画像および製造膜厚の均一性

(ロ)高電場下における高分子溶液物性の評価・計測

高分子や無機材料の溶液物性とは溶液の粘度や伝導度等のことであり電界紡糸法における超微細繊維の直径、構造、形態、製造速度等に重大な影響を及ぼす。現在、溶液物性は超極細繊維や超極細構造繊維の物性や構造を制御する最も重要な因子の一つであることが確認されている。

特にここでは高電場下における高分子溶液物性の評価・計測にあたり電界紡糸プロセス下での評価・計測を主体として行った。まず電場強度一定条件下の電界紡糸プロセスにおける紡糸距離の繊維径への影響を求めた。次図に計測系を示す。

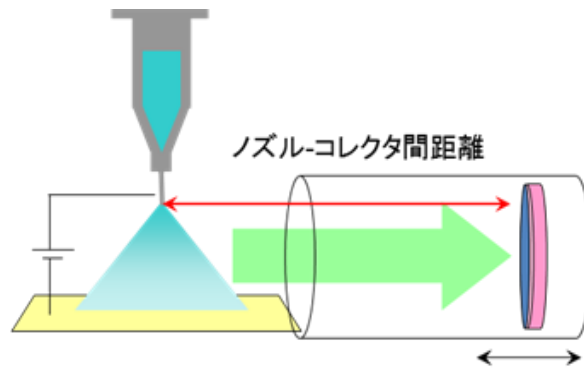


図 2.1.3.2-6 紡糸距離（ノズル-コレクター間距離）の定義

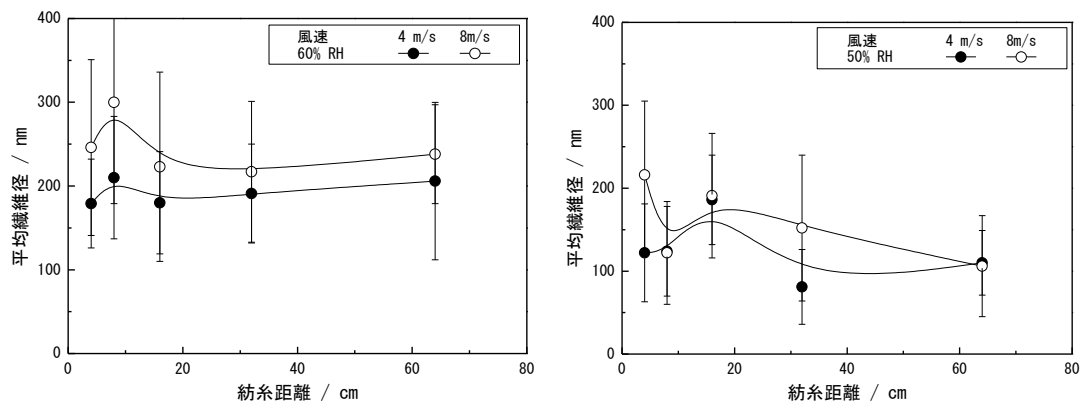


図 2.1.3.2-7 平均繊維系に及ぼす紡糸距離影響（1）

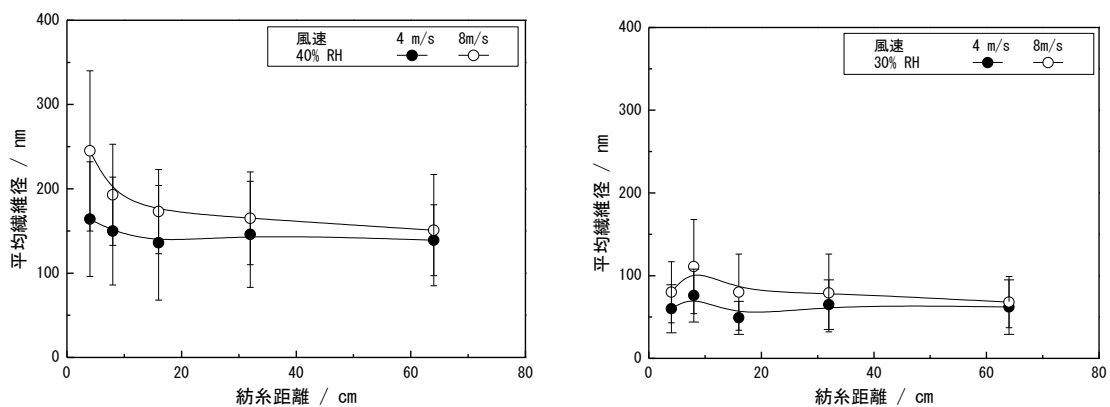


図 2.1.3.2-8 平均繊維系に及ぼす紡糸距離影響（2）

以上の結果から電場強度一定条件下の電界紡糸法によって作製した繊維の直径は、紡糸距離の増加に伴って減少した。また湿度 50%RH の環境下では、繊維の固化時間（約 80 ms）を推定でき、湿度 30、60%RH では繊維の固化時間（約 30 ms）と非常に短いことが明らかとなった。

電場強度一定条件下の電界紡糸プロセスにおいてノズルの材質による紡糸状態を検討した。紡糸溶液の濡れ性はステンレス製が大きく PTFE 樹脂製は小さい。ステンレス製ノズルでは

先端にジェットが1本、PTFE樹脂製ノズルでは10本前後のジェットが生じ、ノズル素材によって紡糸状態が影響を受けることが明らかになった。

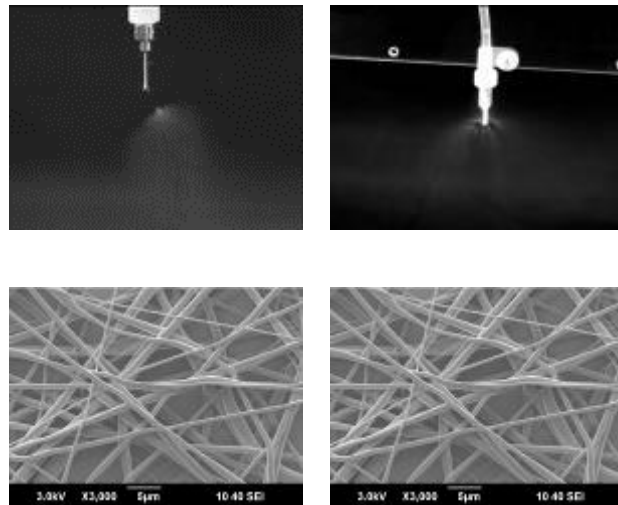
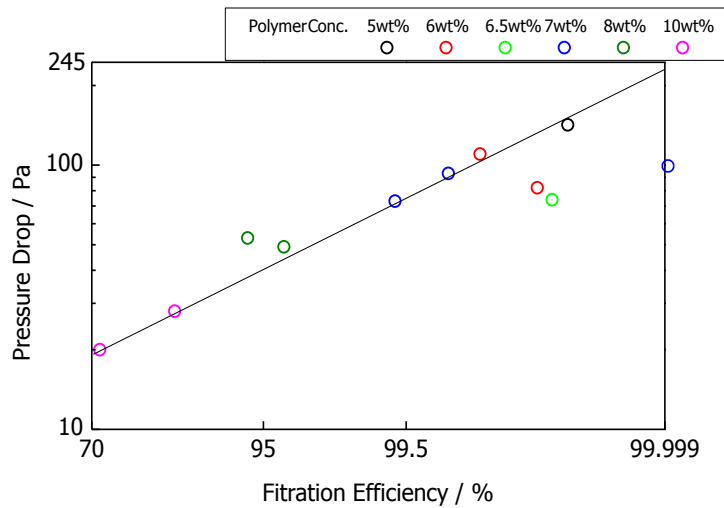


図 2.1.3.2-9 電界紡糸プロセスにおけるノズル素材の影響

(ハ)超極微細繊維や超極微細構造繊維における物性や構造の評価・計測法

超極微細繊維や超極細構造繊維の物性とは強度や吸着特性や電気伝導度等のことで、構造とは繊維内部の分子配向や結晶構造を意味するだけではなく、不織布状物質の目付や空隙分布等の形態に関わる概念まで含まれる。大型装置の性能を確認する上で超極細繊維や超微細構造繊維の構造や物性の評価・計測が特に必要である。現在、超極微細繊維や超極細構造繊維の物性や構造を評価・計測する技術は確立されていない。装置性能の向上、製品の品質向上に必要なことから、これらの評価・計測法および装置開発も含めた技術開発は重要である。

まず圧力損出および微粒子捕集率から性能評価を行った。実用的にはフィルターの性能の向上を図る上で重要な物性値である。次図に示すように、高分子濃度即ち粘度が低下すると繊維径が細くなる。その結果捕集効率と圧力損失との間にある直線的な関係から外れるサンプルが現れる。直線から下方にあるサンプルは高い捕集効率を有するにもかかわらず、圧力損失が低い。



左図において高分子濃度 (Polymer Conc.)、即ち粘度が低くなると繊維径は細くなる。

図 2. 1. 3. 2-10 繊維径と捕集効率および圧力損出の関係図

ロータリーシリンダは遠心力を利用しながらナノファイバーを生成させる方法である。そのため、ロータリーシリンダの回転数が PVDF ナノファイバーの構造に与える影響を广角 X 線装置を用いて観察した。結晶領域のピークに大きな変化は見られなかった。

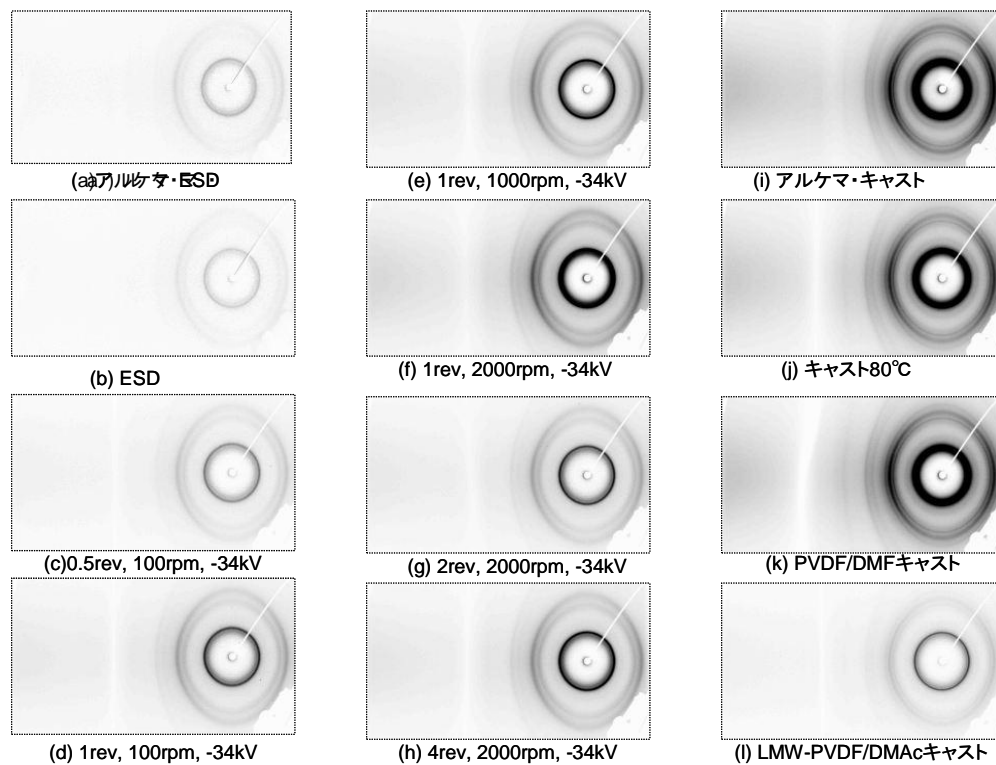


図 2. 1. 3. 2-11

ロータリーシリンダの回転数と PVDF 結晶化度との関係 (广角 X 線写真)

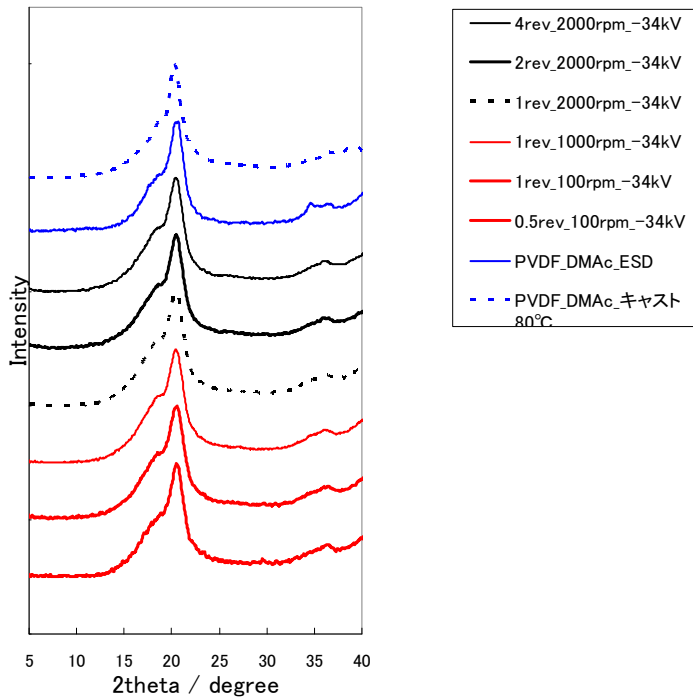


図 2.1.3.2-12

ロータリーシリンダの回転数と PVDF 結晶化度との関係（広角 X 線プロファイル）

ナノファイバーの細線化は比表面積の増大やスリップフローを生じさせフィルターにおける圧力損失の低下や抗菌性を増大させる上で重要である。紡糸溶液の電気伝導度を上昇させると繊維径が細くなる。ここでは PLA にピリジンを加えて伝導度を上げることにより細線化の効果を観察した。次図に印加電圧と繊維径の関係を示す。

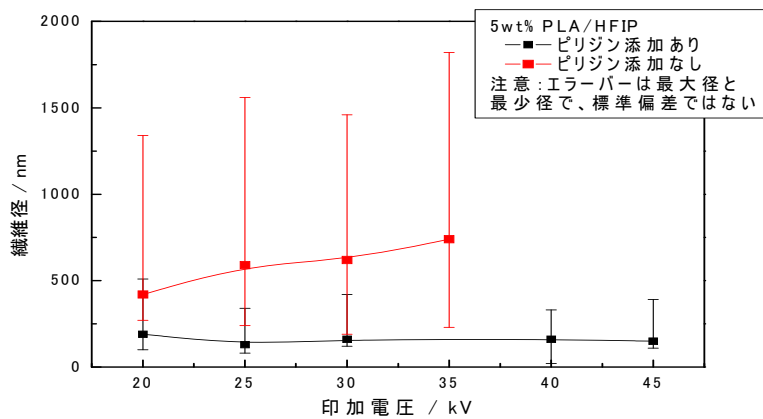


図 2.1.3.2-13 ピリジン添加による細線化の影響

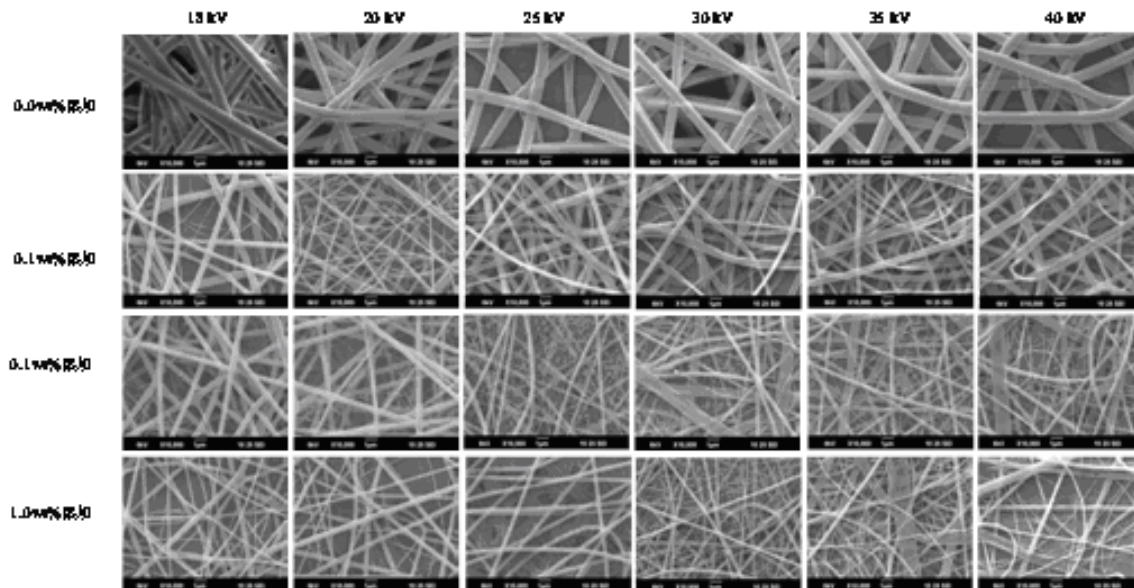


図 2.1.3.2-14 ピリジン添加による細線化の影響 (SEM 画像)

一方ポリウレタン溶液の電気伝導度を向上させるために LiCl を加えたところナノファイバー間の空間にスパイダルネットと呼ばれる特殊な構造が形成されることが明らかとなった。LiCl の添加がなくともスパイダルネットを形成する高分子もあるが、LiCl を加えた方がより明確である。

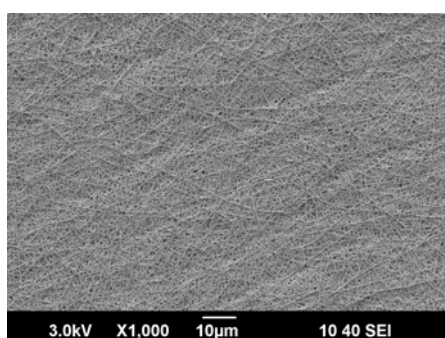
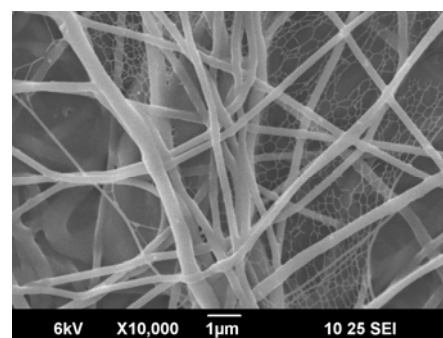
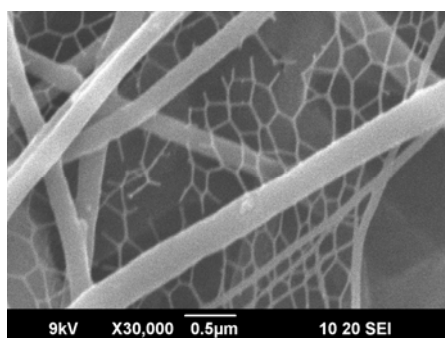


図 2.1.3.2-15
添加ポリウレタン溶液から製造した不織布におけるスパイダルネット構造 (SEM 画像)

ナノファイバーの細線化によりナノファイバーの比表面積を増大させることが可能であるが、細孔を導入することによりさらに比表面積を増大させることができる。このことにより気体吸蔵材料として使用できる可能性があり、検証した。実験方法は水に可溶（PVA）な高分子と水に不可溶（PA6）を電界紡糸した後、製造した不織布を80℃水溶液中で洗浄PVAを除去後、NF不織布を半焼結しOH基を残し比表面積の増大を図った。このようにして製造した試料の比表面積測定と水素吸蔵実験を行った。これらの結果次図と表に示す。

ナノファイバーは比表面積が大きいのが特徴であるがより大きい比表面積を目指してナノファイバーの表面を多孔質にしたり、凹凸を付ける試みた。

PVA5%/蟻酸:PA6 30%/蟻酸=6:1を用い不織布を作成し、水洗し、PVAを削除し、比表面積の拡大を試みた。100倍の比表面積【Bell方式】を確認

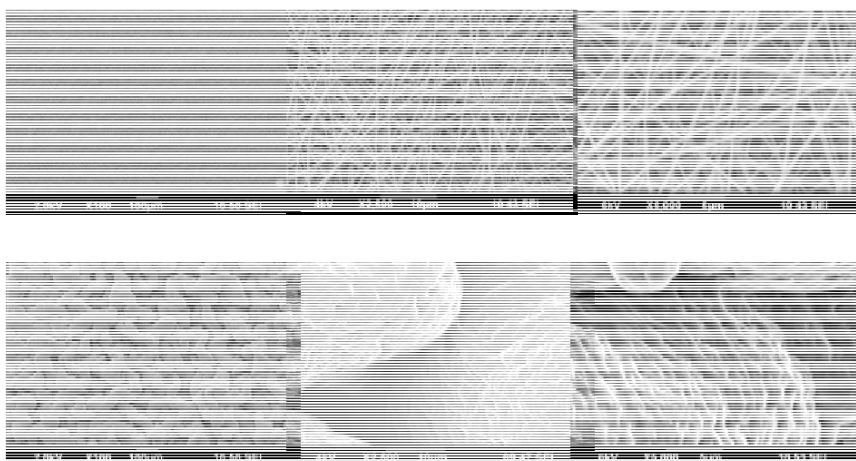


図 2. 1. 3. 2-16 多孔質ナノファイバー（SEM 画像）

表 2. 1. 3. 2-1 多孔質ナノファイバーの比表面積と水素吸着能

		比表面積 (m ² /g)	水素吸蔵放出能力%/g	
			-50℃・10MP	25℃・10MP
A	ナノファイバー(PVA・200ナノ)	20	0.19	0.1
B	Aの半焼き350℃	500	0.54	0.13
比較	B÷A	25 倍	2.84 倍	1.30 倍

ナノファイバーは1 μm以下の微粒子の捕集に対して優れた性能を発揮すると言われていた。ここではウレタンナノファイバーを使用して空気中の塩化ナトリウムの捕集を試みた。塩化ナトリウムがナノファイバー上に吸着され結晶が成長する。吸着当初は針状であるが、空気中の湿度の影響を受けて次図に示すような球状となる。このことは空気中の微粒子や細菌等を同様に吸着することを示唆している。

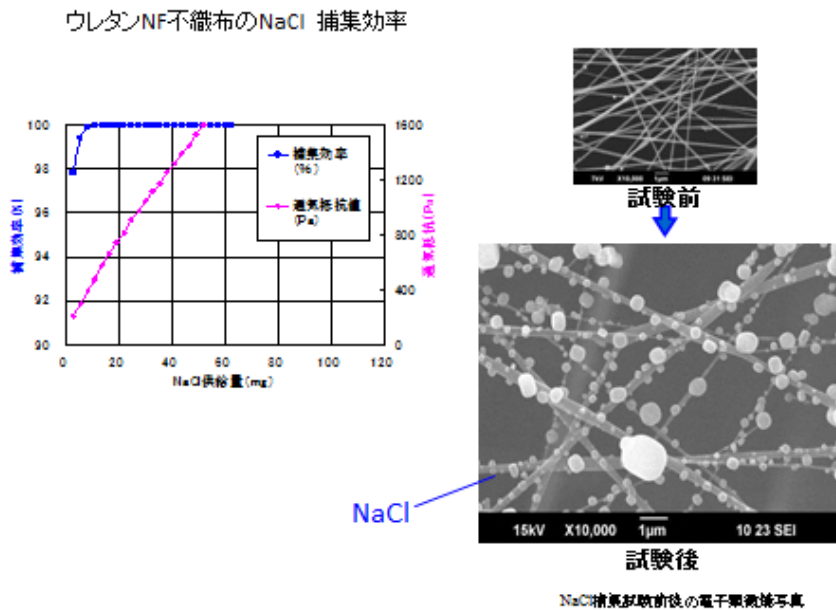


図 2.1.3.2-17

ウレタンナノファイバーによる塩化ナトリウムの捕集

以上の結果を基にバクテリア及び花粉の除去について BFE 法を用いて検証した。バクテリアの大きさは $0.5\ \mu\text{m}\sim 5\ \mu\text{m}$ 程度である。次図に実験条件を示す。

【試験方法】

黄色ブドウ球菌 (*Staphylococcus aureus* ATCC 6538) を用いた。
装置のネブライザーから発生させた菌を含むエアロゾルを、チャンバー内で強制的にサンプルに通過させた。
通過させた菌はアンダーセンサンプラーで捕集してブランクと比較して BFE(%) とした。

試験内容: バクテリアバリア性 [ASTMF2101-07]

供試菌: 黄色ブドウ球菌
Staphylococcus aureus ATCC 6538

圧力損失: MIL-M-35954C

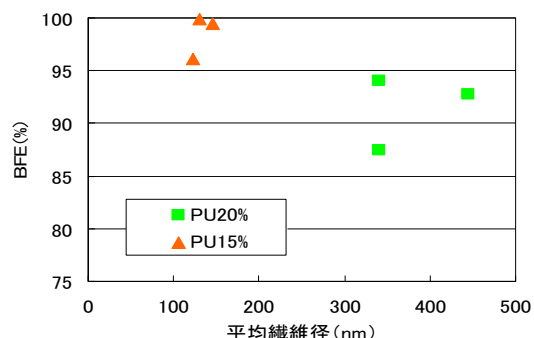
図 2.1.3.2-18 バクテリア捕集試験 (BFE 法) の実験条件

また花粉粒子の除去試験に関しては、全国マスク工業会の規定試験法に基づいて行った。花粉の大きさは $10\ \mu\text{m}\sim 100\ \mu\text{m}$ 程度である。次図にバクテリア及び花粉の除去について得られた結果を示す。

マスクへの応用: バクテリア捕集・圧力損失

※初期圧力損失は5mmH₂O以下であることが必須

サンプル名	平均繊維径 (nm)	目付け量 (g/m ²)	BFE (%)	初期圧力損失 ※ (mmH ₂ O)
基材	3000	0	64.8	0.2
1	341	0.04	87.4	0.7
2	341	0.08	94.1	1.3
3	445	0.08	92.8	1.3



花粉除去について

平均繊維径と花粉粒子の捕集効率

	平均繊維径 (nm)	NF目付け量 (g/m ²)	花粉粒子の捕集効率 (%)
ナノファイバー	341	0.04	≥ 99.9
基材	3000	—	82.7

図 2.1.3.2-19 バクテリア除去試験及び花粉除去試験結果

捕集効率はバクテリアに関しては平均繊維径が細くなると向上する。花粉に関しては平均繊維径340 nm、目付け量0.04 g/m²の時捕集率99.9 %となった。

圧力損失に影響を及ぼすスリップフローについて検証した。次図に電界紡糸で得られたナノファイバーの繊維径と圧力損失との関係を示す。

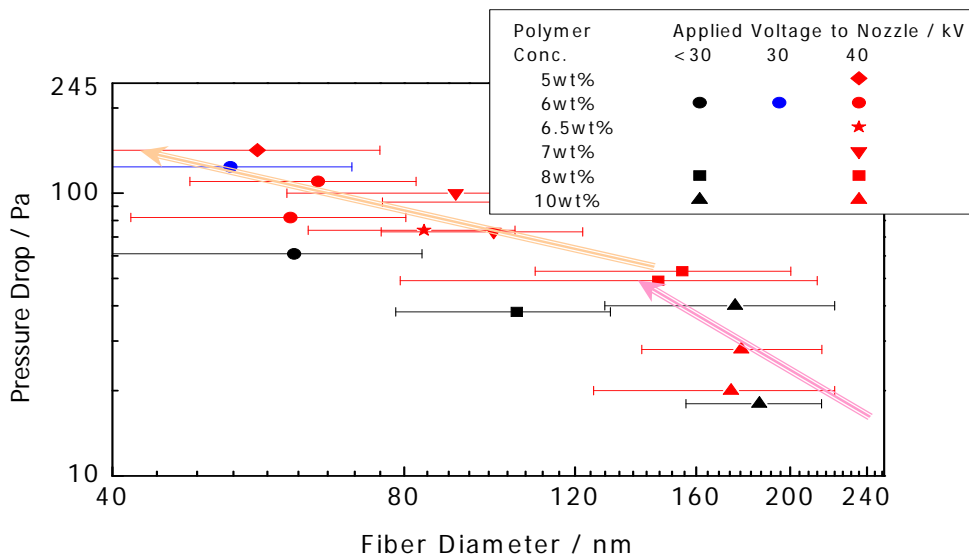


図 2.1.3.2-20 繊維径と圧力損失との関係

ここで、繊維径が 120 nm 以下における直線の傾きは 120 nm 以上における傾きに比べて小さく、圧力損失が繊維径の影響を受けにくくなっていることを示している。このことは繊維径が分子の平均自由行程 65 nm に近づき、繊維径周りの気流が自由分子流に近くなり、スリッ

プフロー効果が生じていることを示唆している。

ナノファイバーをウレタンフォームにコーティングすることにより吸音率の改善を試みた。特にナノファイバーは低周波領域での吸音性能が高いとされており、作製した試料に対して垂直入射吸音率を測定した。試料はウレタンフォームに PES 及び PA66 のナノファイバーをコーティングした。測定は JISA1405-2、ISO10534-2 に基づく 2 マイクロフォン法を用いた。試料面からマイクロフォンまでの距離は 100 mm、マイクロフォン間隔は 50 mm、最後空気層は 0 mm、サンプルサイズは直径 100 mm、測定周波数は 100~1600 Hz であった。次図に測定に使用したサンプルを示す。

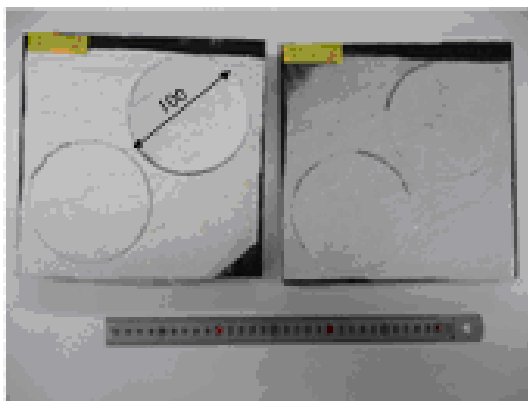


図 2.1.3.2-21
吸音率測定用のナノファイバーをコーティングしたウレタンフォーム（直径 100 mm）

さらに次図にウレタンフォームのコーティングしたナノファイバーの SEM 画像を示す。

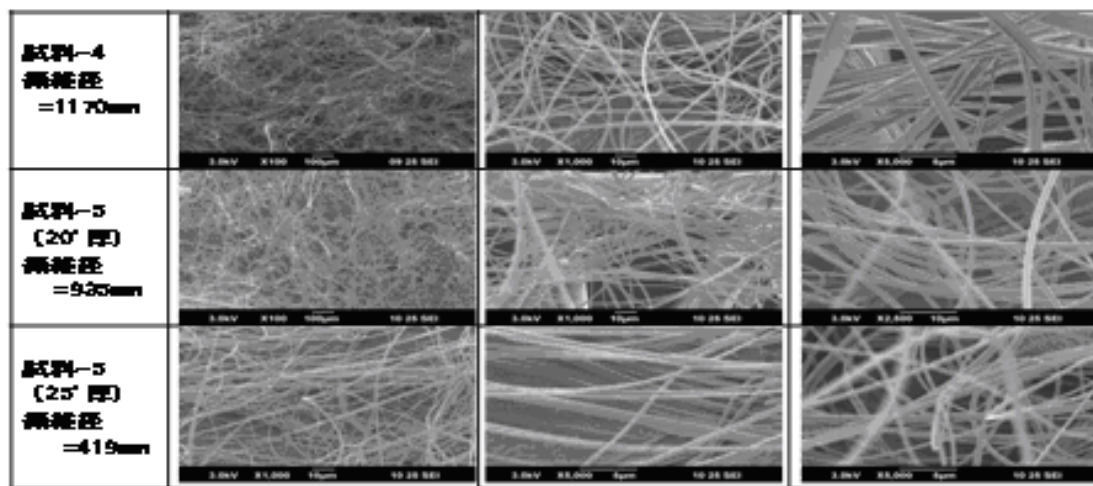


図 2.1.3.2-22
ナノファイバーをコーティングしたウレタンフォームの SEM 画像

図 2.1.3.2-23 にナノファイバーの膜厚と吸音率との関係、図 2.1.3.2-24 にナノファイバーの繊維径と吸音率との関係を示す。

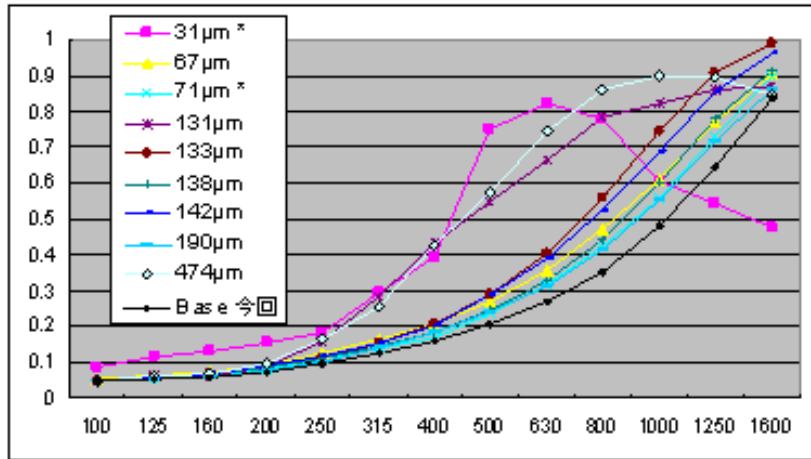


図 2. 1. 3. 2-23 ナノファイバーの膜厚と吸音率との関係

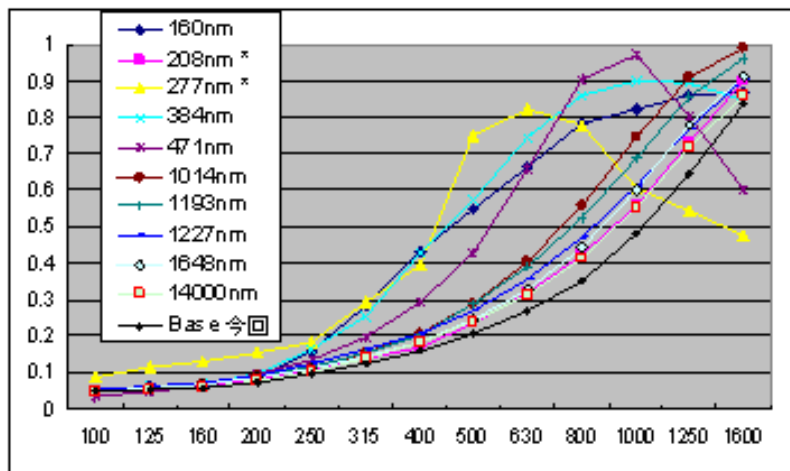


図 2. 1. 3. 2-24 ナノファイバーの繊維径と吸音率との関係

以上の結果から次のことが明らかとなった。ナノファイバーをコーティングしたウレタンフォームは 1000 Hz 以下の周波数域で吸音率を大幅に改善することができた。繊維径が小さいほど、また膜厚が大きいほど吸音率は向上する傾向にある。ナノファイバー単独では全ての周波数で吸音率を改善することは出来ないが数種類の試料を組み合わせることにより全ての周波数領域をカバーすることは可能である。

以上の結果から超高性能ノズル及びファイバーリング方式等これまでにない新しい方式を採用した電界紡糸大型装置が開発され、最終目標として設定された不織布状材料の製造速度 60 m/分、コーティング速度 300 m/分、フィラメント製造速度 60 m/分が達成された。さらに、生産性に優れ、装置の安全性高く、ランニングコストの低い大型装置が開発されただけでなく、製造される超極細繊維は高品質で機能化が高く、構造や物性に新しい特性が得られた。その結果先端機能発現型新構造繊維部材の応用が大きく展開し、超極細繊維の産業化が推進されるだけでなく、バイオチップ、LCD、有機 EL、太陽電池等の新分野へ展開が期待され、ファイバー分野のみならず化学、エレクトロニクス、自動車、医療等に展開されるなど大き

い波及効果をもたらされる。図 2.1.3.2-25 に開発された大型電界紡糸装置の外観、図 2.1.3.2-26 に大型電界紡糸装置の内部を示す。これら以外にも様々な形体の大型装置を開発しており今後の超極細繊維の産業化の推進に寄与するものと言える。



図 2.1.3.2-25 大型電界紡糸装置の外観

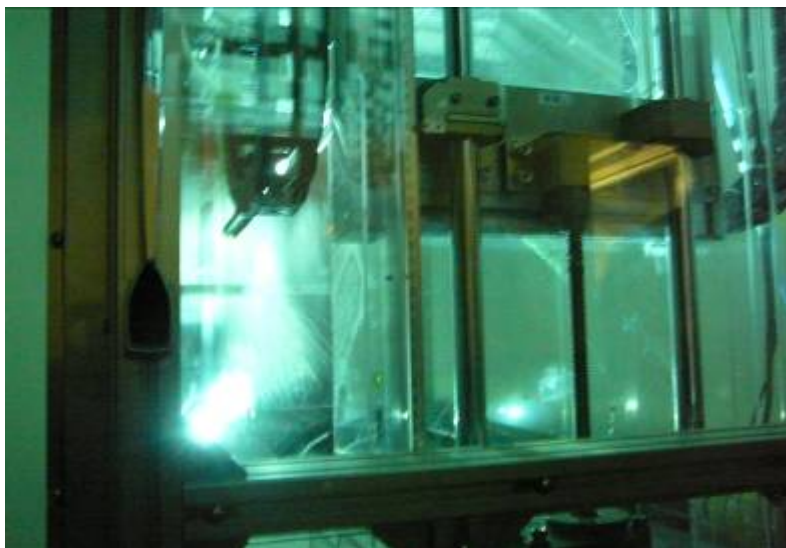


図 2.1.3.2-26 大型電界紡糸装置の内部

(二) 安全性の評価

安全性の評価はⅢ－3で報告。

(ホ) 調査及び報告等

海外調査として欧州、米国を主に調査を行い情報収集を行った。平成18年、19年、20年、21年、22年度の調査対象国及び機関を下記に示す。

調査年度	対象国	対象機関
平成 18 年度	ドイツ	マールブルグ大学、ドレスデン高分子研究所 アーヘン工科大学、ゼンケルドルフ繊維研究所等
	チェコ	リベレック大学、エルマルコ社
	スウェーデン	繊維高分子研究所
	イギリス	シェフィールド大学、ケンブリッジ大学等
平成 19 年度	アメリカ	マサチューセッツ工科大学、マサチューセッツ大学、ニューヨーク州立大学、ドナルドソン社 E S P I N社、ネブラスカ大学、カルフォルニア大学、ワシントン大学等
平成 20 年度	ドイツ	マールブルグ大学、ドレスデン高分子研究所 ゼンケルドルフ繊維研究所等
	イギリス ベルギー アメリカ	ケンブリッジ大学等 フランドル繊維研究所 マサチューセッツ工科大学、マサチューセッツ大学、Du Pont 社、3M 社等
平成 21 年度	アメリカ	カルフォルニア大学、マサチューセッツ大学 コーネル大学、プリンストン大学等 デラウェア大学、ケースウェスタンリザーブ大学、 ファインテックス社、アルストーム社、H & V 社等
	ドイツ スイス イギリス	アーヘン工科大学、ベルリン工科大学 連邦標準研究所、連邦工科大学等 ケンブリッジ大学、マンチェスター大学等
平成 22 年	アメリカ	国際会議 NANOFIBERS FOR 3rd MILENNIUM

以上の結果まずヨーロッパでは次のことが明らかとなった。電界紡糸については各国とも量産技術の開発に注力している。ノズル方式の課題である生産性の向上のためにドイツのデンケンドルフ繊維技術研究所は遠心力を利用した回転ベル方式、チェコのエルマルコ社は回転シリンダー方式を採用している。量産化技術の開発として並行して出口（商品化）を強く意識した開発が進められている。注目される応用分野としては、エアフィルター（自動車用など）、バリアー材料、農業（農薬・肥料撒布）、医療関係（抗菌材、創傷被覆材、再生医療）など。欧州では繊維メーカーだけでなく化学、製紙、フィルターメーカーが電界紡糸技術に強い関心を持っている。基礎研究では、無機・金属・生体材料をはじめとする機能性分子を複合化したハイブリッド繊維の研究が主流である。また、極微細繊維表面の多孔化や中空極微細繊維の作製に関する研究も行われている。溶液プロセスである電界紡糸の問題点である有機溶媒使用量の低減のために、溶融体の電界紡糸や溶媒回収の研究も進められている。電界紡糸とは別に、英国のケンブリッジ大学では化学的気相重合法を用いて次世代構造材料として注目されるカーボンナノチューブ繊維の量産技術を開発している。

また米国では次のことが明らかとなった。ニューヨークポリテクニク大学では電界紡糸ナノファイバーの再生医療への応用に関してアメリカ、シンガポールでかなり進んでいること

が明らかとなった。特に歯の再生に関して進捗が著しく FDA への認可申請を議論する段階に来ている。カリフォルニア大学デービス校では電界紡糸ナノファイバーの DDS 及び防護服への応用や米軍関係者によるウェアラブルエレクトロニクスへの応用が図られていることが明らかとなった。ノースカロライナ州立大学では不織布を利用したメンブレンプロジェクトが始まった。電界紡糸も利用することである。コーネル大学では防護服・医用材料への応用が図られている。ESPIN 社ではナノファイバー製造ビジネス成立していることが明らかとなった。ドナルドソン社は電界紡糸を利用したエアフィルタービジネスが成立している。シカゴで行われた Filtration2008 では DuPont 社がハイブリッドメンブレンテクノロジー(HMT)と称し電界紡糸ナノファイバービジネスを開始していることが明らかとなった。米国に電界紡糸ナノファイバーをビジネスとしている会社約 7 社あることが明らかとなった。フィルタービジネスは水処理やカートリッジも含めて 6 兆円規模でありこのうちエアフィルターの市場規模は 6000 億円以上あることが明らかとなった。

平成 20 年及び 21 年度の欧米調査で、ナノファイバーの応用が太陽電池や二次電池に広がっていることが明らかになった。変換素子、電極、セパレータ等に利用が考えられている。さらにウェアラブルエレクトロニクスやフレキシブルエレクトロニクスの分野でも注目を集めており、ヨーロッパでは医療技術への応用が広がっている。

国内調査については関連学会を含む研究会等に参加し部材設計等情報収集等を行った。東工大はもとより東京大学、京都大学、大阪大学、北海道大学等多くの大学、産総研、理研、物材研等の研究機関でも電界紡糸の研究が行われている。さらにかんがりの企業でも研究開発が行われているが、ほとんどがノズル方式で生産性が極めて低いことが問題である。

2. 1. 4 ナノファイバーイノベーション創出 NEDO 特別講座

ナノファイバーイノベーション創出 NEDO 特別講座は「先端機能発現型新構造繊維部材基盤技術の開発」をコアプロジェクトとして、人材育成事業、人的交流事業を展開し「ナノファイバー技術」にかかわる基礎及び応用科学を基盤に情報、環境・エネルギー、バイオ・医療・福祉、安心・安全にかかわる技術への展開を図るための人材を育成すること目的に設立された。本事業は (1) 周辺研究の実施、(2) 人材育成、(3) 人的交流の発展、の三点から構成されている。

(1) 周辺研究の実施

先端機能発現型新構造繊維部材基盤技術の開発プロジェクトの基幹技術（繊維状材料に対するナノオーダーの成形加工や微細な界面加工ならびに複合化による材料の高機能化を基盤とした革新部材の創出）に関連する最先端の研究開発を行った。

(イ) プロジェクトを牽引する最先端の研究開発

ナノファイバー技術の更なる展開を目指し、プロジェクトを牽引するような最先端の研究開発を行う。平成 22 年度はカーボンナノファイバー電極材料の開発とナノファイバー光学材料の開発を中心に研究開発を行った。

(ロ) プロジェクトから派及した成果物の研究開発

プロジェクトの成果の普及および発展に資する波及的研究を実施し、プロジェクトの波及効果を高める。平成 22 年度はナノファイバー材料における光散乱現象について基礎研究を進めた。

(ハ) 最先端研究成果の公表とプロジェクト波及的成果の企業への技術移転

産学連携及び若手教員を目的として、若手教員を中心に、最先端研究成果の公表とプロジェクトの成果の企業への技術移転を進めた。

(2) 人材育成

「先端機能発現型新構造繊維部材基盤技術」プロジェクトの基幹技術（ナノファイバー技術、即ち繊維状材料に対するナノオーダーの成形加工や微細な界面加工ならびに複合化による材料の高機能化を基盤とした革新部材の創出）を核として、人材育成のための講座（特別講座）を東京工業大学に開設し、ここを拠点として、以下の人材育成事業を展開した。

(イ) 大学で開講する講義

東京工業大学大学院において、ナノファイバー科学・技術に関する講義を行った。東工大教授及び特任准教授が担当すると共に、国内からは産業技術総合研究所等、また海外からはMITやケンブリッジ大学等著名な最先端の研究を行う機関と連携し、特任教員、客員教授または非常勤講師として招聘し、講義を担当した。講義の分野は、超分子ファイバーナノ組織工学、ナノファイバーデバイス工学、生体ナノファイバー工学、サステイナブルナノファイバー工学等である。平成22年度は海外講師として上記当該内容の海外教授を招聘し、講義を行った。

(ロ) 若手教員の育成

ナノファイバー技術の普及を図るため、将来を担う若手教員（特任准教授及び特任助教）を育成する。若手教員は、研究と教育に関与しており、世界的な研究開発に耐え得る資質を有したものとした。

(3) 人的交流の発展

「先端機能発現型新構造繊維部材基盤技術」プロジェクトの基幹技術（ナノファイバー技術、即ち繊維状材料に対するナノオーダーの成形加工や微細な界面加工ならびに複合化による材料の高機能化を基盤とした革新部材の創出）を中心に、関連技術も含めた研究者、技術者等の人的ネットワークを構築する。「先端機能発現型新構造繊維部材基盤技術」プロジェクトの基幹技術の移転促進のために研究員を置く。

(イ) シンポジウム開催や他大学への講義等を通じた交流

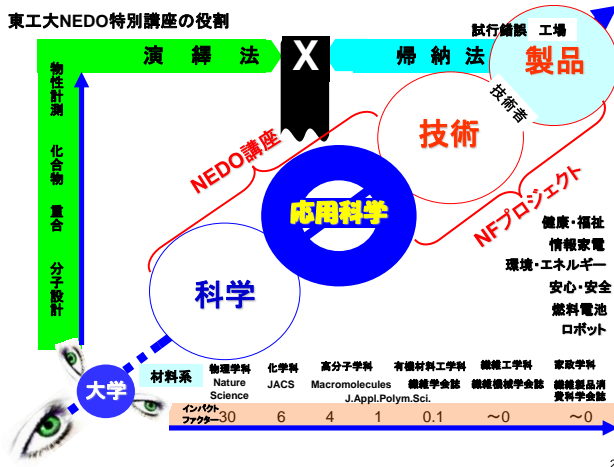
平成22年度は各地の大学等からの要請により特任教授、客員教授、非常勤講師等を派遣し、ナノファイバー科学・技術及び技術戦略ロードマップ等に関する講義を行った。プロジェクトの成果を普及させるために2008年12月ナノファイバー学会発足させ、2009年8月特定非営利活動法人（NPO法人）化した。また2009年にアカデミックロードマップを作成した。

(ロ) コーディネーターによる地域セクターでの技術指導及び指導者紹介

平成22年度は特別講座専属コーディネーター等を中心に、東京工業大学産学連携推進本部が協力して、中小企業等を対象とした技術指導をし、プロジェクト成果の普及を図り、引き続きプロジェクト成果の普及を図った。

以下 事業報告のまとめ記する。

概要



東工大NEDO特別講座の実施概要

NEDOの受託研究である「先端機能発現型新構造繊維部材基盤技術の開発」をコアプロジェクトとして、人的交流を展開すると共に、「ナノファイバー技術」に関わる基礎及び応用科学を基盤に情報・環境・エネルギー、バイオ・医療・福祉、安心・安全に関わる技術への展開を図るための人材を育成する

I. 周辺研究の実施

- プロジェクトを牽引する最先端の研究開発
- プロジェクトから波及した成果物の研究開発
- 最先端研究成果の公表とプロジェクト派的効果の企業への技術移転

II. 人材育成

- 大学院講義
- 若手教員の育成

III. 人的交流

- シンポジウム開催等
- 地域セクターでの技術指導

(1) 周辺研究の実施

I. 周辺研究

- ★ナノファイバーのフォトニクス・エレクトロニクスへの応用と電界紡糸法の新展開
- ★世界をリードする研究者育成

特任准教授 松本 英俊

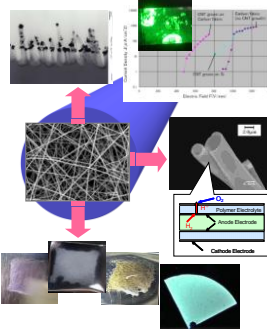
〈専門〉 ナノファイバー材料、界面物理化学、電池材料、分離材料

- ナノファイバーの表面機能化
- ナノファイバー電池材料
- ナノファイバー触媒
- ナノファイバー撥水・親水材料

特任助教 坪井 一真

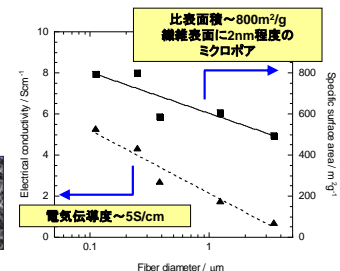
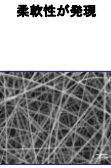
〈専門〉 ナノ光学材料、レーザー光学、バイオセンサー

- ナノファイバー光学材料
- ナノファイバー光増感材料
- ナノファイバー光学デバイス
- ナノファイバーバイオセンサー



分野融合研究によるナノファイバーイノベーションの創出

カーボンナノファイバーシート

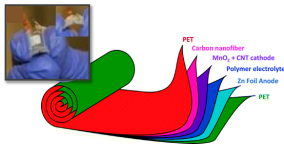


繊維径の減少に伴って比表面積と電気伝導度は向上

東工大ナノファイバーイノベーション/NEDO特別講座

フレキシブルバッテリーへの応用

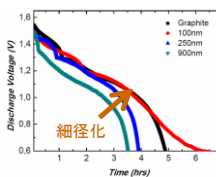
フレキシブルマンガン電池(1次電池)



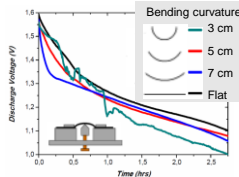
-細径化に伴う電気伝導性及び比表面積の向上により電荷捕集効率が増上。

-電池は曲げた状態でも性能を維持。

カーボンファイバー径の効果



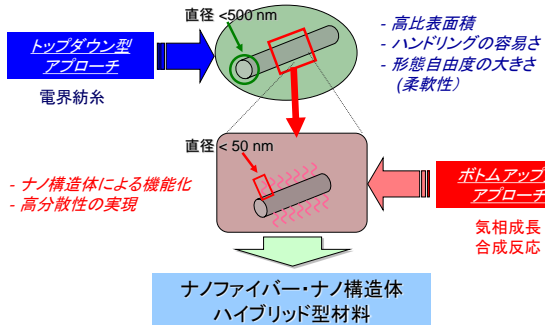
曲げ状態での性能



高機能化

ナノファイバー表面へのナノ構造体の階層的ハイブリッド化

ナノファイバーの表面をナノ構造体ハイブリッド化のプラットフォームとして利用



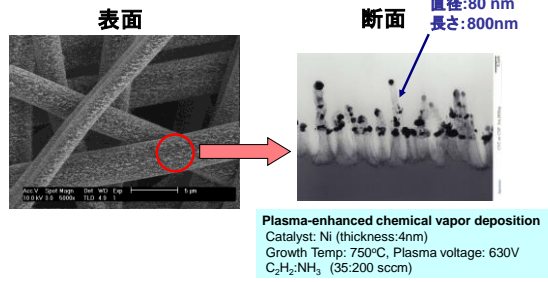
- ナノ構造体による機能化
- 高分散性の実現

気相成長合成反応

東工大ナノファイバーイノベーション創出NEDO特別講座

東工大ナノファイバーイノベーション創出NEDO特別講座

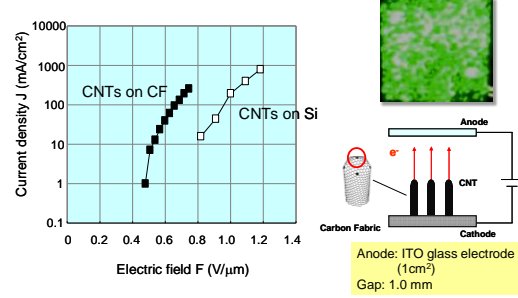
カーボンナノチューブハイブリッド化ナノファイバー



カーボンファイバー表面から気相成長法により
多層カーボンナノチューブが垂直に成長

東工大ナノファイバーイノベーション創出NEDO特別講座

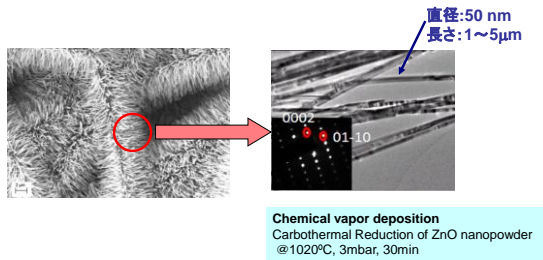
エミッターへの応用



従来のCNTエミッターの半分の印加電圧で電子を放出

東工大ナノファイバーイノベーション創出NEDO特別講座

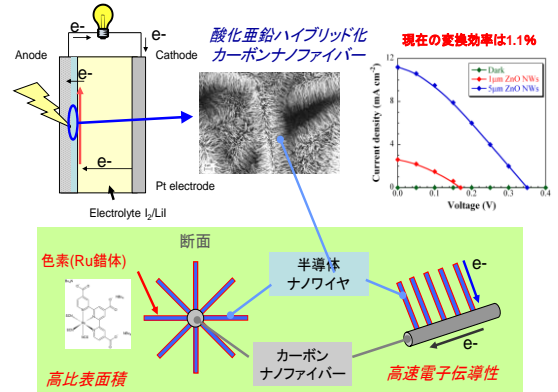
酸化亜鉛ナノワイヤハイブリッド化ナノファイバー



気相成長によってカーボンファイバー表面に
酸化亜鉛ナノワイヤの作製も可能

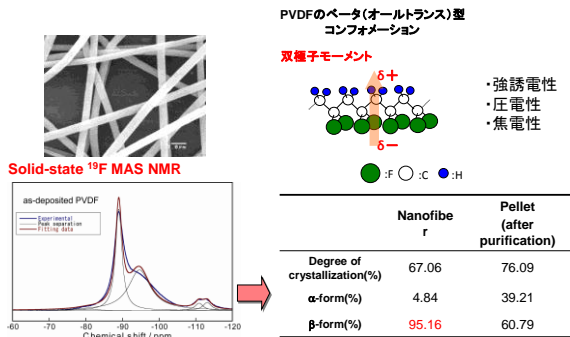
H. E. Unalan, K. Suzuki, H. Matsumoto et al.,
Appl. Phys. Lett., 93, 133116 (2008); IEEE Trans., 55, 2988 (2008)
東工大ナノファイバーイノベーション創出NEDO特別講座

色素増感太陽電池への応用



東工大ナノファイバーイノベーション創出NEDO特別講座

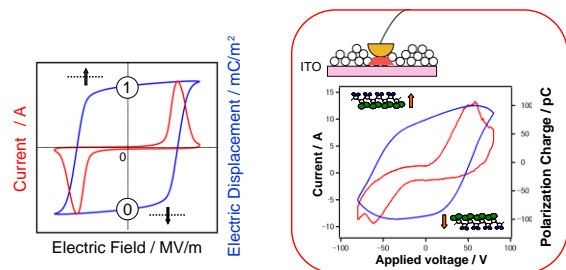
電界紡糸によるPVDFナノファイバーの作製



ワンステップでβ型の結晶構造が優先的に形成

東工大ナノファイバーイノベーション創出NEDO特別講座

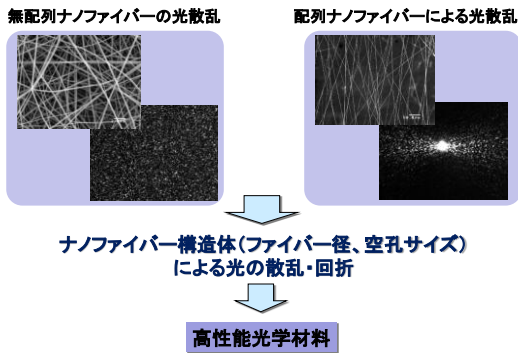
電界紡糸によるPVDFナノファイバーの強誘電性評価



PVDFナノファイバーの強誘電性発現を確認

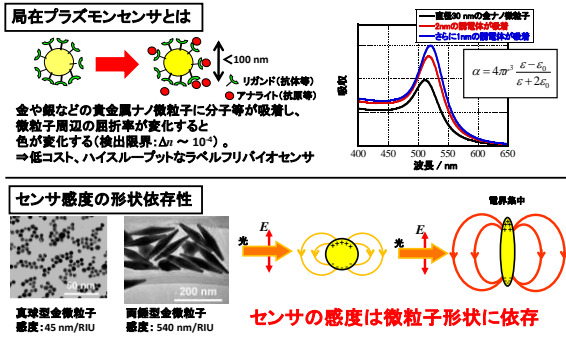
東工大ナノファイバーイノベーション創出NEDO特別講座

ナノファイバーの光学応用



東工大ナノファイバーイノベーション創出NEDO特別講座

電界紡糸ナノファイバーを利用した高感度局在プラズモンセンサ①



東工大ナノファイバーイノベーション創出NEDO特別講座

電界紡糸ナノファイバーを利用した高感度局在プラズモンセンサ③

他の作製法による金微粒子との比較

試料形状	作製方法	生産性	デバイス応用 との親和性	感度 /nmRIU ¹
ナノファイバ上 金微粒子	電界紡糸 + 真空蒸着	○	○	400-550
薄板上 部分凝集 真球型 金微粒子	スピコート +真空蒸着	○	○	221
真球型 金微粒子	塩化金酸還元	○	○	-50
ロッド型 金微粒子	界面活性剤を 用いた異方的還元	△	△	200-300
両端型 金微粒子	界面活性剤を 用いた異方的還元	△	△	150-540
金平盤型 金微粒子	界面活性剤を 用いた還元	△	△	700

ナノファイバ上
金微粒子
400-550 nm/RIU
NEDO講座

金平盤型
700 nm/RIU

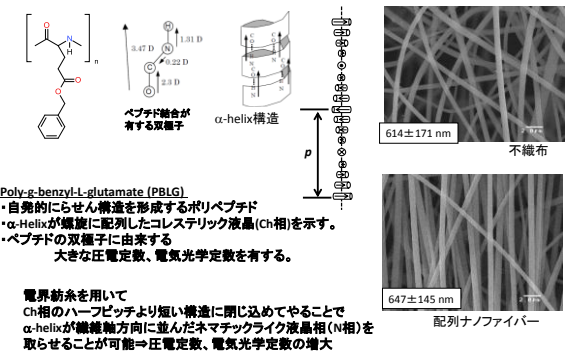
ロッド型
224 nm/RIU

両端型
540 nm/RIU

部分凝集
221 nm/RIU

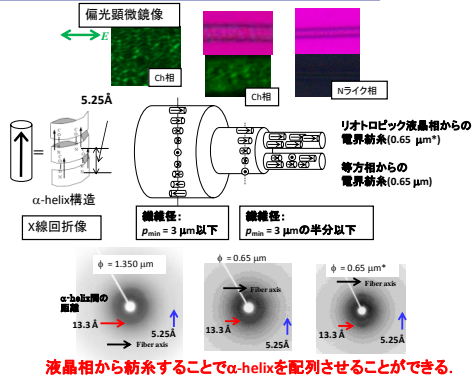
東工大ナノファイバーイノベーション創出NEDO特別講座

液晶高分子ナノファイバーにおける内部構造形成①



東工大ナノファイバーイノベーション創出NEDO特別講座

液晶高分子ナノファイバーにおける内部構造形成②



東工大ナノファイバーイノベーション創出NEDO特別講座

(2) 人材育成

大学の講義

II. 人材育成 有機・高分子物質専攻
NEDO特別講座(平成19年度)
大学院「ナノファイバーイノベーション創出」開講案内

日時:11月 20日(火)	10:40~12:10	序論	谷岡明彦 教授
11月 27日(火)	10:40~12:10	高分子ナノファイバー	谷岡明彦 教授
12月 4日(火)	10:40~12:10	カーボンナノファイバー(百年記念館)	
12月 14日(金)	10:40~12:10	日本の科学技術政策と研究開発	土井良治 経産省研究開発課長
12月 18日(火)	10:40~12:10	日本のものづくり政策	
	13:20~14:50	ものづくり国民運動の展開	渡辺政高 経産省ものづくり政策審議室長
1月 8日(火)	15:00~16:30	ナノファイバーテクノロジー序論	一 電界紡糸
1月 9日(水)	13:20~14:50	世界水問題解決のためのブルーカラー	
	15:00~16:30	バイオメディカルへの応用-再生医療、In-Vitroでの遺伝子デリバリー等	アメリカ S. Chu ストーンニーブルック大教授
1月29日(火)	10:40~12:10	ソフトマターのナノテクノロジー	
	13:20~14:50	同上	
	15:00~16:30	同上	
			横山 浩 産総研部長 (場所: 百年記念館フェライト会議室)
2月20日(水)	13:20~14:50	電界紡糸の基礎と非生分性合成高分子の電界紡糸	
2月21日(木)	10:40~12:10	生体高分子及び生分性合成高分子の電界紡糸	
	13:20~14:50	電界紡糸の応用	ドイツ A. Greiner マールブルグ大教授

単位: 2-0-0

申告番号: 25030

追加申告期間: 11月8日~21日

場所: S8-623教室(大岡山南8号館6階)

連絡教員: 有機・高分子物質専攻 谷岡明彦 内線2426

II. 人材育成 有機・高分子物質専攻
NEDO特別講座(平成20年度)
大学院「ナノファイバーイノベーション創出」開講案内

担当: 谷岡明彦 他	単位: 2-0-0	
10月 7日(火)	13:20~14:50 ナノファイバーイノベーション	谷岡明彦 教授
10月14日(火)	13:20~14:50 ナノファイバーの基礎	松本英俊 特任准教授
10月22日(火)	13:20~14:50 日本のものづくり政策	
	15:00~16:30 感性価値創造イニシアティブ	
		渡辺政高 特任教授(経産省ものづくり政策審議室長)
		(百年記念館)
10月27日(月)	13:00~17:00 ナノファイバーテクノロジー推進会議	
11月 4日(火)	13:20~14:50 オープンイノベーション環境下での研究開発政策	土井良治 経産省研究開発課長
11月18日(火)	13:20~14:50 ナノファイバーの基礎	松本英俊 特任准教授
11月25日(火)	10:40~12:10 ナノテクノロジー-繊維-ナノテクの架し方とビジネスの紹介	
	13:20~14:50 半導体デバイスと微細加工技術-ムーアの法則、メモリー、モザイクムーブ	
	15:00~16:30 量子力学、量子化学とナノテクノロジー-トンネル効果とトンネル共振器(STM)で見えるもの	水谷夏 特任教授(産総研副部長)
12月 2日(火)	13:20~14:50 Formation of nanofiber fabrics and application in air filtration	
	15:00~16:30 Applications of nanofiber fabrics in chemical capture from condensed and vapor phases	
12月 3日(水)	13:20~14:50 Tailoring nanofiber fabrics for sustained, controlled release of chemicals	M. Frey 教授(コーネル大学)
1月20日(火)	13:20~14:50 Fundamentals of electrostatic fiber formation	
	15:00~16:30 Surface active nanofiber membranes	
1月21日(水)	13:20~14:50 Structured nanofibers	G. Rutledge 教授(MIT)

申告番号: 25030

申告期間: 10月1日~21日

場所: S8-623教室(大岡山南8号館6階)

連絡教員: 有機・高分子物質専攻 谷岡明彦 内線2426

II. 人材育成 有機・高分子物質専攻
NEDO特別講座(平成21年度)
大学院「ナノファイバーイノベーション創出」開講案内

担当: 谷岡明彦 他	単位: 2-0-0	
10月 6日(火)	13:20~14:50 ナノファイバーイノベーション	谷岡明彦 教授
10月13日(火)	13:20~14:50 ナノファイバーの基礎	松本英俊 特任准教授
10月20日(火)	13:20~14:50 企業における新規事業開発とオープンイノベーションへの取り組み	
	I. 事例とその考え方	川口武行 特任教授(帝人前常務理事)
10月27日(火)	13:20~14:50 ナノファイバーの基礎	松本英俊 特任准教授
11月10日(火)	13:20~14:50 企業における新規事業開発とオープンイノベーションへの取り組み	
	II. 異分野技術融合と新製品開発	川口武行 特任教授(帝人前常務理事)
11月17日(火)	13:20~14:50 オープンイノベーション環境下での研究開発政策(仮)	土井良治 経産省研究開発課長
11月25日(水)	13:20~16:30 日本のものづくり政策(仮)	
	(25日のみ102講義室)	渡辺政高 特任教授(産総研イノベーション推進室 総括企画主幹)
12月 7日(月)	10:30~17:00 第2回ナノボグ講演会	
	(ITFロイヤルブルーホール)	水谷夏 特任教授(産総研ナノテクノロジー研究部門副部長)
1月26日(火)	13:20~	(a) nanotube, graphene and carbon materials and electronics.
		(集中講義)
		(b) nanocars and nanomedicine
2月 2日(火)	13:20~	米ライス大学スモーリーナノ科学技術研究所 James M. Tour 教授
		Nanoelectronics and photonics(仮)
		(集中講義)
		英ケンブリッジ大学 工学部 Gehan Amarantunga 教授

申告番号: 25030

申告期間: 10月5日~16日

場所: S8-623教室(大岡山南8号館6階)

連絡教員: 有機・高分子物質専攻 谷岡明彦 内線2426

II. 人材育成 有機・高分子物質専攻
NEDO特別講座(2010)
大学院「ナノファイバーイノベーション創出」開講案内

担当: 谷岡明彦 他	単位: 2-0-0	
10月 5日(火)	13:20~14:50 ナノファイバーイノベーション	谷岡明彦 教授
10月12日(火)	13:20~14:50 ナノファイバーの基礎	松本英俊 特任准教授
10月18日(月)	13:20~14:50 "Plastic" Solar Cells: Self-Assembly of Bulk Heterojunction	
	(百年記念館フェライト会議室で開催)	Nano-Materials by Spontaneous Phase Separation
	(2000年ノーベル化学賞受賞)	カリフォルニア大学サンタバーバラ校 Alan J. Heeger 教授
10月26日(火)	13:20~14:50 ナノファイバーの基礎	松本英俊 特任准教授
11月 2日(火)	13:20~14:50 今後の研究開発政策の在り方	福島 洋 経産省研究開発課長
	(本館3階特等会議室で開催)	
11月 9日(火)	13:20~14:50 ナノ材料の安全性	米ロチェスター大学 G. Oberdoester 教授
11月16日(水)	13:20~16:30 ものづくりの羅針盤-不況の先に見えるものは	
		渡辺政高 特任教授(産総研イノベーション推進室 総括企画主幹)
11月30日(火)	13:20~14:50 エネルギーハーベスト	川口武行 特任教授(帝人前常務理事)
12月14日(火)	13:20~14:50 導電性高分子	川口武行 特任教授(帝人前常務理事)
1月11日(火)	13:20~16:30 1. 計算を使った化学とは何か、2. なぜ巨大分子研究に計算機科学が必要か、3. 分子動力学計算法とその応用	長嶋 豊兵 産総研 計算科学研究グループ長
1月28日(金)	13:20~16:30 Materials for Regenerative Therapies and Biomaterials	
	(百年記念館フェライト会議室で開催)	独 ライプツィッツ高分子研究所 C. Werner 教授

申告番号: 25030

申告期間: 10月1日~18日

場所: S8-623教室(大岡山南8号館6階)

連絡教員: 有機・高分子物質専攻 谷岡明彦 内線2426

大学院講義(公開講座)

大学院生だけでなく大学研究者、企業研究者も参加
平成19~21年度の参加者 毎年60名程度



カリフォルニア大・ヒーガー教授講演会

講師: Prof. Alan J. Heeger
Department of Chemistry and Biochemistry
University of California, Santa Barbara
2000年ノーベル化学賞受賞

題目: "Plastic" Solar Cells:
Self-Assembly of Bulk Heterojunction Nano-
Materials by Spontaneous Phase Separation

日時: 平成22年10月18日(月) 13:20~14:50
場所: 百年記念館3Fフェライト会議室

参加人数110名



(3) 人的交流の発展

III. 人的交流

★地域セクターでの技術指導

東京工業大学 大田区産業振興協会 共催
 地域と大学の共生プロジェクト『東工大発 教育・新技術メッセージ1』
 日時:平成20年1月22日(火)
 場所:大田区産業プラザ3階 特別会議室(参加人数:80名)

プログラム	
12:30	開場
13:00~13:10	開会挨拶 国立大学法人東京工業大学 大倉一太郎副学長
【第一部】東京工業大学 製造中核人材育成講座の紹介	
13:15~13:55	講演「ものづくりの考え方、知識の幅、人脈の幅を広げる」機械加工業スーパーバイザープログラム」井上裕典准教授
14:00~14:20	資料「平成20年度開業に向けた企業からのメッセージ」大田区内企業(株)藤井株式会社 専務取締役 藤 勇子氏)
14:20~14:40	質疑応答
【第二部】東京工業大学NEDO特別講座による技術指導プログラムーナノファイバーテクノロジーが未来を拓くーナノファイバーの技術革新を追求ー	
14:45~15:45	講演「ナノファイバーテクノロジーの展開」谷岡明彦教授
15:45~15:50	技術指導者紹介 産学連携推進本部 林ゆう子 コーディネーター
15:50~16:55	技術指導「ナノファイバーの用途展開」高橋 光弘 研究員
16:55~17:00	閉会挨拶 財団法人大田区産業振興協会 専務理事・専務局長 山田伸樹

28

III. 人的交流

★地域セクターでの技術指導

福井大学、福井県工業技術センター等
 日時:平成20年8月7日(木)
 場所:福井県工業技術センター講堂(参加人数:150名)

記	
共催: 福井大学産学官連携本部繊維部会、福井県工業技術センター、繊維学会北陸支部、日本繊維機械学会北陸支部、ふくい産業支援センター、福井県繊維技術協会	
日時:平成20年8月7日(木)	
場所:福井県工業技術センター講堂、福井市川合富塚町61字北福田10、Tel 0766-55-0664	
参加費:無料(資料代:2,000円)	
プログラム:	
(1) 13:00~13:10	挨拶 本宮達也(東京工業大学・研究参事)
(2) 13:10~14:10	ナノファイバーの世界現状と日本の展開 谷岡明彦(東京工業大学大学院・教授)
(3) 14:10~15:10	ものづくり技術戦略 ナノファイバーテクノロジーの今後の展開 渡辺政憲(東京工業大学・特任教授)
(4) 15:10~15:40	エレクトロスピニングの現状と今後の展開(仮題) 高橋光弘(東京工業大学・産学連携研究員)
(5) 16:00~17:00	休憩・20分 電界紡糸装置の講演とサンプル見学 司会 林ゆう子
参加申込: 下記宛にファックス、または電子メールでお申し込みください。資料代は当日お支払いください。 〒910-8507福井市文京3-9-1福井大学大学院工学研究科 堀照夫 Tel & Fax 0776-27-8641、e-mail:h-hisho@acbio2.acbio.fukui-u.ac.jp	

29

III. 人的交流

NANOFIBER 2009, JAPAN

— 次世代を拓くナノファイバー・マテリアルの応用展開 —

国際ナノファイバーシンポジウム 2009

2009年6月18日(木)~20(土)

主催:東京工業大学

共催:ナノファイバー学会

ナノファイバーイノベーション協議会

東京工業大学デジタル多目的ホール(大岡山キャンパス西9号館)及び百年記念館
 岡崎温泉村

プログラム(予定)

6月18日(木):世界の企業におけるナノファイバーの産出展開(日本、米、英、独、仏、中)
 6月19日(金):世界におけるナノファイバーの産出展開(日本、米、英、独、仏、中)
 6月20日(土):ナノ材料の健全性、新しいライフスタイルと地域産業(日本、米、英、独、仏、中)
 6月18日~19日:ボスター・島根(大岡山西9号館)
 6月18日~19日:企業展(百年記念館1階ホール)
 6月18日(本)18時~:懇親会

参加人数300名

問い合わせ先:

東京工業大学繊維工学研究部
 〒152-8582 東京都目黒区大岡山2-12-188-27
 Tel. 03-5734-3428, Fax. 03-5734-2575, Email: nanofiber@atpna.titech.ac.jp

ナノファイバー学会

入会金	無料
年会費 正会員	10,000円
学生会員	3,000円
維持会員	一口 100,000円(一口以上)
賛助会員	一口 50,000円(一口以上)

会費振込先 みずほ銀行 大岡山支店 当座口座 0707652
 加入者名簿 NP0ナノファイバー学会

入会申込書送付先・問合せ先

ナノファイバー学会事務局

〒101-0047 東京都千代田区内神田1丁目13-1豊島ビル4階

株式会社シーエムシー出版内

TEL 03-3293-0740 FAX 03-3293-7985

E-mail nanofiber@hop.ocn.ne.jp

2. 2 ナノ溶融分散紡糸法による炭素超極細繊維製造技術の開発

2. 2. 1 計画・目標

2. 2. 1. 1 背景

本研究は、2006年の科学技術基本計画における技術戦略マップの「環境・エネルギー分野、燃料電池、情報家電分野、医療・福祉／安全・安心分野」に基づき高機能部材としての、新繊維・樹脂分野の新素材を創製する目的で始められた。途中技術戦略マップ中に「ファイバー分野」が新設され、超極細炭素繊維が、革新炭素繊維の中に明確に記載されたが、内容的には本計画が追認された形である。上記分野におけるユーザーの要望に対応する高度部材を供給するためには、繊維の極細化やナノ加工及び高次複合化が必須であり、これらを解決するためには、主として強度並びに電気伝導性に優れる炭素材料を用いた超極細繊維や超微細構造繊維を低コストで量産化可能な、溶融極細繊維紡糸（ナノ溶融分散紡糸）の基盤技術開発が必要である。またこれらを促進するためには基礎データ集積や製造された繊維状材料の物性や構造の計測と評価、および材料の安全性の確保が必要であり、さらに用途展開を行う上でナノ構造制御をはじめとする制御技術、被覆技術、複合化技術等の基盤技術構築が必要である。

炭素材料の超極細繊維としては、カーボンナノチューブや気相法（C・CVD法）を用いたカーボンナノファイバー（VGCF®）などが知られている。これらは繊維径が非常に小さく、各種高機能部材として期待されている。しかしながら、これら気相法では、特殊な製造プロセスを必要とするため、将来的な量産化には難があると予想される。また、繊維中に残存する触媒の完全除去も困難であり、高純度のファイバーが得られにくいという大きな課題を有している。図2.2.1.1-1にナノ溶融分散紡糸法と従来法との比較を示す。

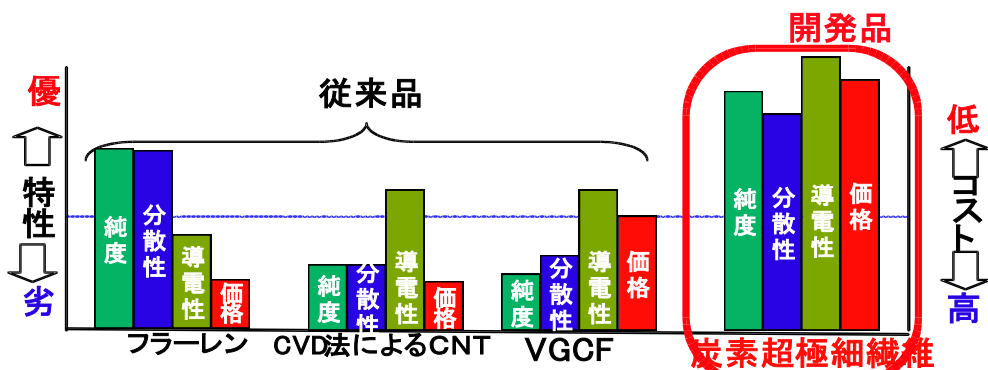


図 2.2.1.1-1 ナノ溶融分散紡糸法と従来法との比

一方、繊維業界では複合紡糸技術を用いた繊維の微細化が行われており、既に実用化されている。この技術は、溶融紡糸法の延長線上にあり、量産化が容易なプロセスである。

帝人株式会社（以下帝人㈱と略記）では、複合紡糸技術を基本にし、超微細混練技術と紡糸技術を検討し、炭素超極細繊維を作製することに成功している。この技術は、将来的な量産技術への移行が容易であり、炭素超極細繊維のコストを小さく出来る可能性がある。また、得られる炭素繊維は、結晶性が優れ、導電性や力学物性に優れると思われる。

この技術を実用化するためには、生産性向上のための高速不融化・焼成技術の確立が不可欠である。また、キャパシター材料として炭素超極細繊維を用いるためには、高比表面積化技術の開発も必要である。

東京工業大学・応用セラミックス研究所（以下 東工大・応セラ研と略記）グループでは、熱可塑性の炭素前駆体を熔融せずに炭素材料にするための不融化处理に一般の空気ではなくヨウ素を用いることで不融化時間を飛躍的に向上させることに成功している。また、不融化の機構についても解明を行っている。

2. 2. 1. 2 ナノ溶融分散紡糸の技術課題

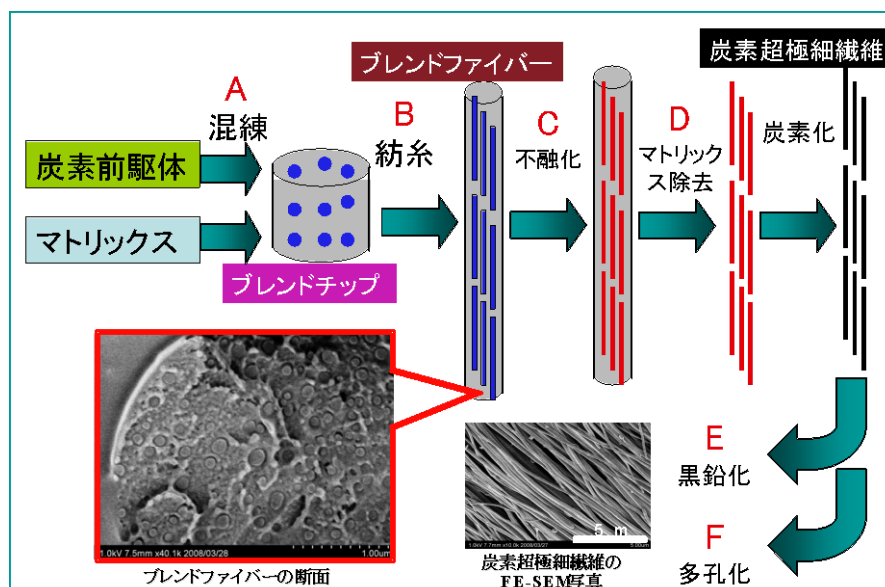


図 2.2.1.2-1 炭素超極細繊維(CNF)作製の主要プロセス

図2.2.1.2-1に炭素超極細繊維 (CNF) 作製の原理と主要なプロセス、並びに作製したCNFの用途の一例を示す。熱可塑性の炭素前駆体樹脂 (CPP) をそのまま熔融紡糸したのでは数 μm が限界で100 nm級の繊維を作製する事は難しい。そこで、CPPを熱消失性樹脂 (TVP) の中に混練して微小球として分散させた前駆体分散樹脂 (BP) を作製し (図中[A]のプロセス)、これをそのまま熔融紡糸する事によりTVP樹脂の中に分散した100 nm級のCPP繊維を作り込み[B]、このCPP繊維のみを取り出して超極細炭素繊維を得るのが本プロジェクトの原理である。炭素の高電気伝導性を発揮させるためには、繊維内の黒鉛結晶の配向が必要となり、そのためには原料として液晶構造を有するピッチがCPPとして有効である。また、紡糸過程でピッチに剪断力を与える事により液晶を繊維軸方向に配向させることが、このナノ溶融分散紡糸の重要なポイントの一つである。次に、これをそのまま加熱するとCPPもTVPも溶けて繊維形態を喪失する。そこで、CPPを熱的に安定化する工程 (熱硬化性にする) として、不融化处理を行う[C]。この工程は、これまで、30時間以上を要する事が分かっており、これを短縮する事が本プロジェクト目標の一つである。この不融化にはかなり難しい条件が付されている。すなわち、CPPのみが不融化され、TVPは変質しないことである。もしマトリクスのTVPも変質して熱硬化性になるとCPP繊維を単離する事が出来なくなる。例え少量でもTVPが変質すると、得られる炭素超極細繊維にアモルファスな炭素粉が、きな粉のように纏り付く事になる。不融化の方法としては、一般には空気が用いられ、酸素でCPPを架橋させるが、帝人と東京工業大学が特許を出しているヨウ素を導入して電荷移動錯体をつくり、末端の水素をHIとして系外に取り出して架橋する方

法の利用も考えられる。次の工程としてマトリックスを除去してCPP繊維を単離する工程が必要である[D]。最終工程が、要求特性に対応するための黒鉛化工程[E]と、多孔化処理[F]である。ウェアラブル電池等の小型電池を想定した場合、薄型電極を作製する必要があり、そのためには電気伝導性が高い超極細炭素繊維が求められる。前述したように、原料に液晶ピッチを選び、これをナノ溶融分散紡糸で配向させて3000℃の高温で黒鉛化処理することで対応可能である。しかし、薄型にして量産化するために印刷等に適した繊維径と繊維長の制御が必要であろう。多孔体を要求する応用分野は、スーパーキャパシターである。キャパシターとしての要求課題は、電気伝導性もさることながら、荷電粒子を炭素多孔体の中に出るだけ多く集合させる事である。そのためには、比表面積を出来るだけ大きくし、且つ荷電粒子の脱着が容易な気孔径の制御が必要となる。一般に多孔化は炭素体を高温の空気、水蒸気、炭酸ガス等に晒す賦活処理が行われている。高結晶性のピッチ系炭素繊維では、賦活処理だけでは気孔径制御が難しいばかりか、賦活収率が極めて低い。そこで、本プロジェクトでは、東工大の発明を利用するべく、安価で、収率も高く気孔系制御が可能と予想されるリグニンをCPP原料として選び、これをヨウ素処理して気孔径制御する方法を中心に検討を進める。

尚、当初、マトリックス除去は少量実験ではうまくいっていた加熱除去で出来ると考えていた。しかし、産業化を考えた場合、CPPよりもTVPの方が量的に多い事から、廃棄処理や、炉の清掃が大きな問題となり、ひいては、コスト削減のネックともなりかねないことに気がついた。そこで、当初計画では記載されていなかった課題としてマトリックス除去の項目を追加した。次の工程は、単離した超極細CPPを炭素繊維にする炭素化工程が必要である。この工程は、化学的にも技術的にも大きな課題はないが、超極細繊維は嵩高い事と、飛散しないようにするための配慮が必要である。また、ヨウ素を使うプロセスは原子力での基準が課せられ、コスト高に結びつきプラント設計等の観点から課題が多い事から、不融化プロセス並びに高比表面積化プロセスにおいてヨウ素を使わないプロセスの研究も行った。また、最終年度にはコスト計算の結果、CNFが嵩高いことから、黒鉛化の焼成費用が膨大になる事が判明し、最適化プロセスの一環として検討を加えた。

2. 2. 1. 3 検討項目とその内容

東工大・応セラ研と帝人(株)の技術を組み合わせ、さらなる高機能化を図ることで、目標とする炭素超極細繊維を開発する。具体的には、超微細混練・紡糸技術、高速不融化、マトリックス除去、焼成技術、結晶構造制御技術等の確立により製造時間の短縮とそれに伴うコスト低減を図るために以下のような技術開発を行う。

(イ) 溶融超極細混練・紡糸技術の研究開発

炭素超極細繊維や超微細構造繊維を作製するためには、その前駆体繊維中において有機物前駆体(CPPと略記)とマトリックスとの分散状態を如何に制御するかが重要である。そのためにはCPPとマトリックスとの溶融粘度や表面エネルギー、分散制御技術の確立が不可欠である。これら超極細混練・紡糸技術の確立を効率よく進めるためには、高分子のマイクロファイバー紡糸技術の知見を有効に活用することが重要である。帝人(株)は複合紡糸技術に関する知見を多く有している。そこで、これらの知見を基に、最適なマトリック

ス材料の選定や低コスト化に、中心とするCPPとの粘度調整技術、分散制御技術を開発し、炭素超極細繊維作製に最適な前駆体繊維を開発する。

東工大・応セラ研グループで開発した気孔径制御型高比表面積化材料の超極細繊維への展開を目的として、リグニン等CPPとするナノ溶融分散紡糸についても探索を行う。そのため、樹脂相溶性予備試験装置を用いてマトリックスの最適組み合わせを検討し、この系のナノ溶融紡糸技術の開発を帝人㈱と東工大・応セラ研で共同で行う。

(ロ)不融化の研究開発

炭素繊維の製造においては、溶融紡糸した繊維を安定化するために一般には空気による不融化が行われているが、この工程は長時間を要するため、生産性向上が難しいことが知られている。また、CPPから炭素繊維を製造するプロセスにおける炭素収率の低さが、大きなコスト高を生み出している。そのため、炭素超極細繊維の作製においても不融化時間の短縮と炭素収率の向上が重要な技術課題となる。そこで、安価な空気不融化法の最適条件探索並びにこれまでに見出した知見を利用し、炭素超極細繊維作製における不融化時間短縮を検討する。さらに、バッチ式不融化装置を導入し、ヨウ素不融化技術基盤として、マトリックス中への不融化ガス拡散性の向上や、マトリックス中での不融化反応機構の解明も行う。上記の解明された不融化機構に基づき、最適な不融化条件の開発を実施し、量産化のための基盤技術の開発も行う。

(ハ)マトリックス除去プロセスの開発

ポリマーブレンド繊維におけるピッチ繊維含有量は10%～30%で、細繊維化・高結晶化・高比表面積化の主流のプロセスではないが、90%～70%含まれるマトリックスをブレンド繊維から除去するプロセスを無視する事は出来ない。第1段階として、マトリックスの熱分解・昇華性のポリマーを用い、その分解・昇華の温度、時間、充填等の最適化の検討を進める。第2段階として、マトリックス除去方法の改善を検討するが、平行して根本的な見直しを行う予定である。

(ニ) 高比表面積化・結晶性制御技術の研究開発

炭素超極細繊維や超微細構造繊維を電極材料などに用いるためには、高比表面積化ならびに高い電気伝導度を発現することが重要である。そのためには炭素超極細繊維の高比表面積化ならびに結晶性制御技術の確立が必要である。帝人㈱では、これまでに非常に黒鉛化度の高い、炭素超極細繊維が作製できる可能性を見出している。

また、炭素超極細繊維の表面を反応場として用いることを考えると、成長した黒鉛結晶の端面を如何にして繊維表面に露出させるかも重要な技術である。これらを解決するために集中研に新規に導入する炭素化炉、黒鉛化炉を用いて、焼成条件、黒鉛化条件の最適化を行うと共に結晶成長機構を解明する。

さらに高機能化を図るための表面ナノ多孔化、超微細構造繊維化、被覆化、複合化技術の開発を検討する。例えば、高性能、高機能電池用部材に炭素超極細繊維を使用する場合、その表面構造の制御は極めて重要である。東工大・応セラ研グループは木材などを前駆体として用いたときにナノ多孔を有する炭素材料を作製することに成功している。そこで、

この知見などを基に、各種処理方法や最適な CPP を検討し、炭素超極細繊維や超微細構造繊維の表面ナノ多孔化機構の解明を行う。

解明した結晶性制御機構並びに多孔化機構を基に結晶性制御技術を確立すると共に、表面ナノ多孔化技術を確立するためにプロジェクトの後半では量産化のための基盤技術の開発を行う。

尚、ナノ溶融分散紡糸法により製造された超極細繊維や超微細構造繊維を各種材料として応用するためには、その構造や物性を正確に評価する技術の確立が不可欠である。例えば、炭素超極細繊維を電極材料等に用いる場合には、作製条件や構造と電気特性との相関などを把握することで材料設計の指針が得られる。

(ホ)最適化プロセス技術の開発

上記で開発した溶融紡糸、不融化技術、マトリックス除去技術を基に、高比表面積化・結晶性制御技術等の諸物性と生産性とのバランスの取れた最適化プロセス技術を検討し、優れた特性を有する炭素超極細繊維の生産性向上のために必要なプロセスを、コスト計算を反映させて確立する。

(ヘ)調査、報告、その他

炭素超極細繊維の応用展開を図るためには、その安全性評価も必須である。尚、この分野は時代の流れに敏感であり変化も速い事から、5年かけてタイムリーな調査を行う。

(ト)用途開発に向けた研究

炭素超極細繊維は、その他にも高熱伝導材料やコンポジットにおける補強材としての応用も考えられ、熱特性や力学物性の把握も重要である。そこで、東工大・応セラ研グループの保有する設備、並びに東工大の集中研に導入する各種評価装置等を活用し、これらの評価を実施する。

2. 2. 1. 4. 役割分担

ナノ溶融分散紡糸における水平連携と垂直連携の関係を図 2.2.1.4-1 に示す。研究開発は集中研方式を採用し東工大・応セラ研の施設と研究組織としてイノベーション研究推進体を利用する。さらに東工大と帝人(株)との間で共同研究契約を締結し、帝人(株)から開発研究員を派遣して共同で行う。それぞれの役割分担は表 2.2.1.4-1 のようになる。帝人(株)は主として紡糸・不融化及びプロセス技術を担当し、東工大は主としてヨウ素不融化、マトリックス除去、高表面積化、結晶制御技術を担当する。

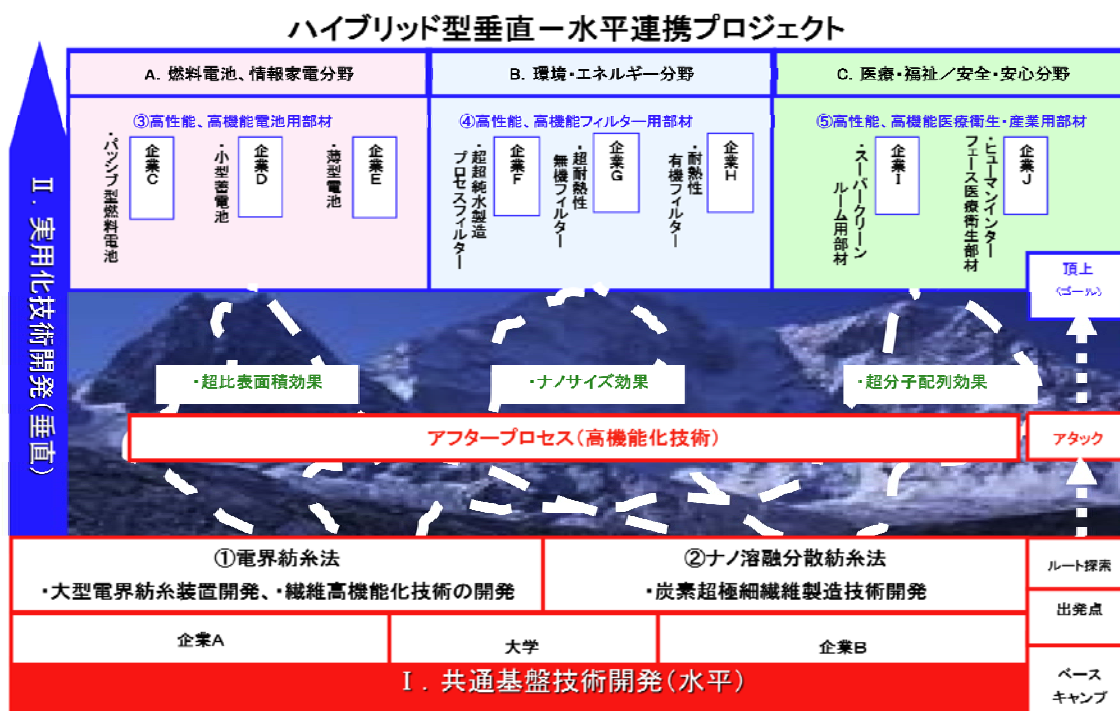


図 2.2.1.4-1 先端機能発現型新構造繊維部材基盤技術の開発プロジェクトの役割分担

表 2.2.1.4-1 役割分担

課題	具体的手法	主担当
②-1 溶融超極細混練・紡糸技術の研究開発	・低コスト炭素超極細繊維の前駆体繊維について、その超微細混練・紡糸技術を開発する。 ・気孔径制御型高比表面積化炭素超極細繊維の前駆体繊維について、その超微細混練・紡糸技術を開発する。	帝人 帝人・東工大
②-2 不融化の研究開発	炭素超極細繊維前駆体繊維の高速不融化・焼成技術を確立する。	東工大・帝人
②-3 高比表面積・結晶性制御技術の研究開発	炭素超極細繊維の表面ナノ多孔化・超微細構造繊維化などの高機能化機能を解明し、そのための技術を開発する。	東工大・帝人
②-4 最適化プロセス技術の開発	上記、高比表面積・結晶性などの物性とバランスをとりながら、炭素超極細繊維の生産性向上のために必要なプロセスを確立する。	帝人

2. 2. 1. 5 開発目標

ナノ溶融分散紡糸法では、超微細混練・紡糸技術、炭素不融化・焼成技術等の開発により、中間目標として平成20年度迄に直径500 nm、比表面積300 m²/gの炭素極細繊維を開発し、不融化時間を現状の1/3を達成する。最終目標として平成22年度においては平均直径100 nm、比表面積1500 m²/g、不融化時間を現状の1/10の炭素超極細繊維の製造技術を達成する。

表 2.2.1.5-1 に中間目標と最終目標並びにその妥当性を示す。

表2.2.1.5-1 中間目標と最終目標並びにその妥当性

項目	中間目標	最終目標	目標値の妥当性
繊維径	500nm	100nm	<ul style="list-style-type: none"> 薄型電池の電極では印刷による高容量化が求められ、超極細炭素繊維の開発が急務。 一般の溶融紡糸で作製する炭素繊維では繊維径7 μmで、特殊な方法で作っても1~2 μmが限界。 その一桁下を最終目標に設定。 中間目標は、その中間の500nmを設定した。
比表面積	300 m ² /g	1500 m ² /g	<ul style="list-style-type: none"> 一般の活性炭は賦活処理をして比表面積1000~2000 m²/gを達成。しかし、賦活処理は炭素を酸化して穴を開けるので、半分以上の炭素が消失。 中間目標は、賦活処理をしないでどこまで出来るかを調べる意味で300m²/gを設定。 最終目標はキャパシター等を想定した場合、外表面からの拡散距離が重要となり、ナノファイバーでは拡散距離を半径の50nmと短くする事で有利となることから1500 m²/gに設定。
不融化時間	現状の1/3	現状の1/10	<ul style="list-style-type: none"> 100 μm程度のブレンド繊維の中心部までを軟化点よりも低い温度で不融化するには30時間以上必要。 コスト削減ために、中間目標は1/3の10時間に設定。 最終目標は産業化を想定して1/10の3時間に設定。

2. 2. 1. 6 年度計画

表2.2.1.6-1に各研究開発課題の年度計画を示す。

表 2.2.1.6-1 各研究開発課題の年度計画

課題	2006	2007	2008	2009	2010	2011
溶融紡糸の研究開発	→					
不融化の研究開発	→					
脱マトリックス技術の開発		→				
高比表面積化・結晶性制御技術の研究開発	→					
最適化プロセスの技術開発	→					

2. 2. 2 成果、解決方法

概要

前章ではプロジェクトの背景・課題・検討項目・分担・目標について説明した。ここからは、5年間の成果を示す。実施した項目は多岐にわたるので、まず始めに全体に亘る概略を時系列に示す。

図 2.2.1.2-1 に示した計画当初のプロセスで説明する。まず始めに行ったのは原料の選択である。予備的検討から高結晶性の CNF には液晶ピッチを、高比表面積 CNF にはリグニンを選択し、海島構造の形成、曳糸性並びにコストの観点からマトリックス樹脂にはポリエチレン (PE)、ポリメチルペンテン (PMP) 並びにポリプロピレン (PP) を中心に検討を進め、混練の最適条件を決定した。次に紡糸に関しては、当初熔融延伸紡糸を検討し、CNF の結晶性を市販の C-CVD 繊維よりも高める事に成功したが、CNF の繊維径を 200 nm にするのが限界で、延伸力を大きくすると糸切れで力を加えられなくなり、ショットの混入も避けられなくなる。そこで、糸切れに無関係に力を加えられるメルトブロー (MB) 法に変更し、目標の 100 nm をクリアする事が出来た。また、リグニンに関しては、混練紡糸中に重合が進展し、曳糸性が悪くなる事から加熱中の滞留時間を最短に出来る遠心紡糸法を開発した。

ピッチ系、リグニン系いずれも熱可塑性の原料を用いて紡糸している事から、続く炭素化・黒鉛化の熱処理過程で再熔融を抑え、糸の形状を保つ必要がある。そのためのプロセスとして不融化が必要となる。当初、ブレンド繊維のマトリックスは不融化させず炭素前駆体だけを時間をかけて不融化するというトリッキーとも思える条件探しを行い、不融化時間の目標値をクリアする事は出来た。しかし、続くプロセスとして当初は加熱マトリックス除去法を検討していたが、このマトリックス除去に多くの課題が見つかり、プロセスの根本的な見直しに迫られた。不融化前にマトリックスを除去できれば不融化以降のプロセスが容易となる。そこで検討したのが、溶剤によるマトリックス除去である。一般に液晶ピッチには軽質分が含まれており、ベンゼンのように溶解性の低い溶剤にも一部溶解する事が知られており、糸形状の喪失が懸念された。しかし案ずるより産むが易しで、都合のよい溶剤を探す事が出来、溶剤法を開発する事が出来た。その結果、不融化は目標値を大幅に短縮する事に成功した。しかし、続いて思わぬ課題が立ちふさがった。ナノ材料特有の問題である。ナノファイバーの飛散に加えて炭素化・黒鉛化過程での焼結が問題となった。これらを解決したのが凍結乾燥である。これにより、飛散と焼結の両方の問題を同時に解決する事が出来た。最後にぶつかった壁は極めて高いものであった。即ち、CNF の焼結を抑制するために CNF を嵩高く充填したが、これが焼成コストを大幅に増大させた。炭素化温度を上げて活性を下げた後、容器に圧入する等の対応策は検討して方針を抑えたが、最適化には至らなかった。プロジェクトの後半はコスト削減に向けたプロセスの検討と用途開拓に注力し、安全性に関しても可能な範囲で検討を進めた。

2. 2. 3 成果の纏め

◎研究開発成果の纏めと今後の課題と解決策

表 2.2.3-1 にこれまでの顕著な成果を纏めて示す。この成果を最終目標値に照らして整理した達成度を表 2.2.3-2 に示す。いずれも最終目標をクリアして順調に推移したが、いくつか

の検討課題が残っている。今後の検討課題をコメントとして右欄に記した。

表2.2.3-1 検討課題と主要研究内容並びに顕著な成果

検討課題	主要な研究内容	顕著な成果
②-1 熔融超極細混練・紡糸技術の研究開発	超微細混練・紡糸技術を開発	1: 高結晶性を対象として液晶ピッチを設定し、これに適したマトリックスを選定し、 100nm φ 以下のピッチ系CNF を得た。 2: 高比表面積を対象としてリグニンを設定し、これに適したマトリックスを選定し、 130nm φ のリグニン系CNF を得た。
②-2 不融化の研究開発	高速不融化・焼成技術を確立	1: 空気不融化条件を検討して当初の30時間を 3時間 に短縮し、減圧マトリックス除去法を開発した。 2: ヨウ素処理 したピッチはヘキサン等の溶剤に不溶で、マトリックスは可溶である事を発見し、不融化前にピッチ繊維の 単離 に成功した。 3: ヨウ素を使わずにピッチ繊維を 単離 する量産化に向けたプロセスを開発した。 4: 単離したピッチ繊維は 高速 の1.5時間で不融化が可能となった。 5: リグニン系には酸溶液不融化法を開発し、減圧マトリックス除去法で3時間を達成した。
②-3 高比表面積・結晶性制御技術の研究開発	高機能化技術を確立	1: 世界 最高の結晶性 を有する単結晶に近い超極細炭素繊維を開発した。 2: リグニン系CNF を ヨウ素処理 する事により賦活処理無しで600m ² /gを達成。リグニン系並びにピッチ系CNFをアルカリ賦活する事で 1500m²/g を達成した。
②-4 最適化プロセス技術の開発	生産性向上のために必要なプロセスを確立	生産性向上のために既存のプロセスを根本から見直し、 要素技術 の大幅な 改善 をした。

表2.2.3-2 研究開発の達成度

検討項目	最終目標	到達値	達成状況	コメント
繊維直径	100 nm	88 nm	◎	使用目的によっては太い繊維の混入が必要なこともあるが、繊維径分布の狭いCNFを作れる技術も必要。
比表面積	1500 m ² /g	1590 m ² /g	◎	賦活収率の更なる向上が必要。
不融化時間	現状の1/10	現状の1/20	◎	不融化時間は達成できたが、かさ高いCNFの焼成コストの問題が顕在化。

2. 2. 4 成果の意義

2. 2. 4. 1 開発品の位置づけ

本プロジェクトの諸外国に対する優位性を表 2.2.4-1 と表 2.2.4-2 に示した。表中、従来品と記したものは、プロジェクトスタート時の市販ナノファイバーで、世界水準と記したものはプロジェクトがスタートしてから市販されたナノファイバーである。開発品は世界水準と同程度あるいは優位にあり、薄型電池の電極材として、垂直連携で試作した結果では、従来品よりも優れた特性が得られている。尚、ポリマーブレンドによる NCF の作製はプロ

ジェクトメンバーのオリジナルであり、現時点で得られた超極細炭素繊維の結晶性は表 2.2.4-1 に示したように世界最高レベルである。また、PJ 終了間際に明確となった黒鉛化 CNF の特異な形態と単結晶に近い構造は、開発 CNF の新たな展開の可能性を示唆している。

表 2.2.4.1-1 開発炭素超極細繊維と市販品

	開発CNF	従来品 VGCF-H	世界水準 VGCF-S
繊維系(nm)	88	150	80
繊維長(μm)	10	8~10	8~10
体積抵抗率 (Ωcm)	0.009	0.019	0.014
黒鉛結晶面 間隔 d_{002} (nm)	0.3371	0.3382	0.3382~ 6
黒鉛結晶子 厚さ l_c (nm)	55	30	19~30
含有金属元 素(ppm)	<3	30	-

表 2.2.4.1-2 出口を同じくする競合品との比較優位

特性・方式等		原料	純度	繊維 径	繊維 長	分散 性	電気 伝導 性	コスト
開発品	高結晶	ヒッチ	◎	△	◎	◎	◎	○
	高比表面積	リグニン	◎	△	◎	◎	△	◎
従来法	VGCF (ECVD 法)	軽質炭化水素	X	○	△	△	△	X
	アーク法	炭素材料	△	◎	△	△	△	X
世界水準	VGCF S (CVD 法)	軽質炭化水素	X	◎	△	△	△	X
	スーパーグロー (CVD 法)	軽質炭化水素	△	◎	△	△	△	X

2. 2. 4. 2 市場創出効果（市場拡大、創造）

市場が期待されるカーボンナノファイバー製品展開図を図 2.2.4.2-1 に示す。図中のいくつかを下記に示す。

・ユビキタス社会の展開

リチウムイオン電池やさらに高容量が見込まれる有機ラジカル電池はユビキタス社会の展開に不可欠である。小型化に伴う電極の印刷等に適した高電気伝導性の超極細繊維が求められている。開発した炭素超極細繊維を用いることでより高容量の有機ラジカル電池が製造できる事が実証されている。

・車社会の発展

リチウムイオン電池やスーパーキャパシターは、ハイブリッド車や EV 車を実用化する上で車社会の発展に重要な部品である。スーパーキャパシターでは高純度化と高比表面積の付与並びにコスト低減が重要であり、開発した炭素超極細繊維を用いることで可能となる。

・ガス貯蔵

気孔径制御が可能となると、選択吸着によるガス分離、ガス貯蔵等への市場拡大の可能性が高い。

・ C/C 複合材料への展開

カーボンブラック等のナノ材料をピッチ等に添加すると組織制御が可能となる事が以前から言われている。カーボンナノチューブを添加して組織制御ばかりでなく、高強度化も期待されているが、価格の点で諦めている研究者が多い。開発した炭素超極細繊維は、この点に応えられるであろう。

◎新たな技術領域開拓への期待

- ・ ナノ溶融分散紡糸法（ポリマーブレンド法）は、分子配向技術の開発や繊維径制御技術の向上、並びに気孔径制御技術の向上をもたらし、炭素材料の分子配向制御や、内外径を制御したナノ中空繊維の開発から医療用材料、ガス分離材料への展開等が期待される。
- ・ CPP のみを溶剤不溶性に出来る事を見出しており、あらたな炭素材料の製造技術への展開が期待される。

◎競合技術と比較してナノ溶融分散紡糸法の優位性（表 2.2.4.1-2）

- 1：ナノ溶融分散紡糸法では金属触媒を使用しない ⇒ 除去処理を必要としない。
- 2：結晶性向上は電気伝導性、熱伝導性、弾性率向上に有効であり、それには如何に炭素前駆体中の液晶を発達させ且つ配列させるかがキーポイントである。 ⇒ ナノ溶融分散紡糸法では紡糸過程で強い剪断力を与えて配向させるので、結晶性、電気伝導性に優れた超極細炭素繊維の製造が可能である。
- 3：ナノ溶融分散ナノ溶融分散防止法では、従来の熱分解 CVD 法に比べて繊維長の長く、しかも直線性の優れた炭素超極細繊維を得ることができる。 ⇒ したがって、マトリックスに分散する際の分散性に優れ、かつ長い繊維がマトリックス中でのネットワークを作りやすい。そのため電気伝導性や熱伝導性に優れた成形体を製造することが可能となる。



図2.2.4.2-1 市場が期待されるカーボンナノファイバー製品展開図

2. 2. 5 成果の発表 (国際会議発表、学会発表、特許、講演会)

◎国際会議発表

- ・ ”Effects of carbon nano-fiber alignment on the electrical and mechanical properties of polymer composite.”, Eiichi YASUDA, Takashi AKATSU, Nobuyuki HOTEIDA, Takashi ENAMI, Leslie Joy G. LANTICSE・ Yasuhiro TANABE, International Nanofiber Symposium 2007, 2007.6.18-19, TITech.
- ・ “Preparation of Silicon Carbide-Based Nanofibers from Polycarbosilane by using polymer Blend Technique”, Asao Oya, et al., International Nanofiber Symposium 2007, 2007.6.18-19, TITech.
- ・ ”Graphitization of Carbon Nano-Fiber/Furan Char Matrix Composites”, Eiichi Yasuda, et al., 6th Inte.Conf.on High Temp.Cera.Matrix Compo., 2007.9.4-6, New Delhi India.
- ・ “CARBONIZATION BEHAVIOR OF IODINE-TREATED CARBONACEOUS MESOPHASE” Takashi Nishizawa, Tomohiro Furukawa, Asao Oya, Mitsunao Kakuta, Takashi Akatsu Eiichi Yasuda, Int.Symp.on Carbon 2008, 2008.7.13-17, Nagano
- ・ FORMATION OF THE NEEDLE-SHAPED CARBONS BY COLD PLASMA IMPROVEMENT, Masaaki Katoh, Takeo Ohte, Michiya Ota and Eiichi Yasuda, Int.Symp.on Carbon 2008, 2008.7.13-17, Nagano.
- ・ “Carbon Fibers from Micro to Nano”, Eiichi Yasuda, Japan-German seminar (JSPS117Meeting), 2010.9.21, Tokyo.

◎国内学会発表：

- ・ 「炭素質液晶へのヨウ素の吸収とその炭素化・黒鉛化挙動」、西澤 節、古川 奉寛、安田 榮一、炭素材料学会年会 2007 年 11 月 28 日～30 日、ビーコンプラザ
- ・ 「ナノ溶融分散紡糸法による炭素超極細繊維の創製」小村伸弥・角田三尚・三好孝則、赤津隆、西澤節・大谷朝男・安田榮一、ポリマー材料フォーラム 2009 年 11 月 26 日～27 日 東京
- ・ 「ナノ溶融分散紡糸法による炭素超極細繊維の創製」小村伸弥・三好孝則・西澤節・赤津隆・大谷朝男・安田榮一、炭素材料学会年会 2009 年 12 月 1 日～3 日 仙台
- ・ 「TPD-MS による炭素・黒鉛の評価」西澤 節・宮嶋 尚哉・守屋 圭子・安田 榮一、炭素材料学会年会 2009 年 12 月 1 日～3 日 仙台
- ・ 「易黒鉛化性炭素系ナノファイバーを用いたリチウムイオンキャパシタ」今井かおり、白石壮志、小村伸弥、三好孝則、安田榮一、炭素材料学会年会 2009 年 12 月 1 日～3 日 仙台
- ・ 「カーボンナノファイバーの充填密度と体積抵抗」安田榮一・赤津隆・小村伸弥、炭素材料学会年会 2010 年 12 月 1 日～3 日 姫路
- ・ 「TPD-MS 装置を用いた炭素への吸着ガス評価—(1) 弱吸着ガス」、西澤節・守屋圭子・安田榮一、炭素材料学会年会 2010 年 12 月 1 日～3 日 姫路
- ・ 「TPD-MS 装置を用いた炭素への吸着ガス評価—(2) 強吸着・化学吸着ガス」西澤節・守屋圭子・安田榮一、炭素材料学会年会 2010 年 12 月 1 日～3 日 姫路
- ・ 「易黒鉛化性炭素系活性炭ナノ繊維電極の電気化学 QCM 分析」山口創一・今井かおり・白石壮志・小村伸弥・安田榮一、炭素材料学会年会 2010 年 12 月 1 日～3 日 姫路

◎特許

- ・ ナノ溶融分散紡糸グループ全体として 63 件（内 PCT 出願＝8 件）
- ・ ナノ溶融分散紡糸法による炭素超極細繊維製造技術の開発として、下記の 17 件（内 PCT 出願 1 件、海外出願 5 件）

番号	出願者	出願番号	国内/国外/PCT	出願日	状態	名称	発明者	メモ
1	帝人(株)	特願2008-100029	国内	2008.4.8	出願	炭素繊維の製造方法	小村伸弥、三好孝則、安田栄一	減圧M除去
2	帝人(株)	特願2008-100030	国内	2008.4.8	出願	超極細炭素繊維及びその製造方法	小村伸弥、角田三尚、三好孝則、安田栄一	結晶性と電気伝導性
3	帝人(株)	特願2008-170526	国内	2008.6.30	出願	炭素繊維の製造方法	小村伸弥、三好孝則、安田栄一	MPH/PEの単孔とメルトブローを超音波分散して不織布
4	帝人(株)	特願2009-091009	国内	2009.4.3	出願	炭素繊維の製造方法	小村伸弥、三好孝則、安田栄一	シングルノズルチャンバー湿式ジェットミルによる分繊処理
5	帝人(株)	特願2008-170527	国内	2008.6.30	出願	炭素繊維の製造方法	小村伸弥、三好孝則、安田栄一	減圧加熱M除去
6	日本電気(株)	特願2008-287971	国内	2008.11.10	出願	二次電池及びその製造方法	岩佐繁之、中原謙太郎(日本電気)、安田栄一(東工大)、三好孝則(帝人)、五十住宏(DIC)、藤本信貴(住化)	高分子ラジカル材料/炭素繊維複合電極を用いた二次電池
7	帝人(株)	特願2008-306111	国内	2008.12.1	出願	ビッチ繊維の製造方法	三好孝則、角田三尚、安田栄一、西澤節	ヨウ素含有溶媒による脱マトリックス
8	帝人(株)	特願2009-091008	国内	2009.4.3	出願	超極細炭素繊維の製造方法	三好孝則、小村伸弥、安田栄一、大谷朝男	リグニンCNF作製時、PEOを使用
9	帝人(株)	PTC/JP2009/057406	PCT	2009.4.6	出願	炭素繊維及びその製造方法	小村伸弥、角田三尚、三好孝則、安田栄一	(特願2008-10029,30合体、日米欧韓中移行済み)
10	帝人(株)	米国特願12/936,799	国外	2009.4.6	出願	炭素繊維及びその製造方法	小村伸弥、角田三尚、三好孝則、安田栄一	(特願2008-10029,30合体)
11	帝人(株)	欧州出願(番号照会中)	国外	2009.4.6	出願	炭素繊維及びその製造方法	小村伸弥、角田三尚、三好孝則、安田栄一	(特願2008-10029,30合体)
12	帝人(株)	韓国特願2010-7024412	国外	2009.4.6	出願	炭素繊維及びその製造方法	小村伸弥、角田三尚、三好孝則、安田栄一	(特願2008-10029,30合体)
13	帝人(株)	中国特願200980121444.8	国外	2009.4.6	出願	炭素繊維及びその製造方法	小村伸弥、角田三尚、三好孝則、安田栄一	(特願2008-10029,30合体)
14	帝人(株)	特願2010-507294	国内	2009.4.6	出願	炭素繊維及びその製造方法	小村伸弥、角田三尚、三好孝則、安田栄一	(特願2008-10029,30合体)
15	帝人(株)	台湾特願98111505	国外	2009.4.7	出願	炭素繊維及びその製造方法	小村伸弥、角田三尚、三好孝則、安田栄一	(特願2008-10029,30合体)
16	帝人(株)	特願2010-176199	国内	2010.7.4	出願	極細炭素繊維綿状体の製造方法	小村、角田、西澤、安田	溶剤処理、凍結乾燥。綿状体
17	帝人(株)	特願2011-028731	国内	2011.2.14	出願	白金担持極細炭素繊維綿状体の製造方法	小村、角田、安田	白金触媒担体綿状体

区分	特許出願			論文		その他外部発表(プレス等)
	国内	外国	PCT 出願	査読付き	その他	
年度						
H18 年度	0					
H19 年度	0			1 件	3 件	5 件
H20 年度	6 件			2 件		
H21 年度	2 件	5 件	1 件		4 件	
H22 年度	2 件			2 件(投稿中)	5 件	1 件

◎講演会；

- ・「炭素材料の構造制御と用途展開」大谷朝男、炭素ナノファイバー講習会、2007 年 5 月 21 日 東工大

- 「炭素材料の物性の特異性」安田榮一、炭素ナノファイバー講習会、2007年5月21日 東工大
- 「炭素材料の原料（液晶ピッチを中心として）」西澤節、炭素ナノファイバー講習会、2007年5月21日 東工大
- 「カーボンファイバーを魅力有る材料にする異方性制御」、安田榮一、ナノファイバー技術戦略研究会講演会「世界を引っ張るカーボンファイバーの用途開発」2007年12月4日 東工大
- 「ポリマーブレンドを活用する新規構造炭素繊維調整の可能性」、大谷朝男、ナノファイバー技術戦略研究会講演会「世界を引っ張るカーボンファイバーの用途開発」2007年12月4日 東工大
- ”カーボンナノファイバー ―電界紡糸法とポリマーブレンド紡糸法を中心に―” 大谷朝男、 第24回複合材料セミナー 2011年2月18日 東京

2. 3 高性能、高機能電池用部材の開発

2. 3. 1 パッシブ型燃料電池の開発

2. 3. 1. 1 計画、目標

[背景]

(1) モバイル燃料電池の必然性

携帯電源の変革は、携帯電子機器の変革により加速されてきている。

ホームビデオカメラやノートパソコンの出現により、ニッケル水素二次電池よりも電力容量の大きなリチウムイオン二次電池が開発された。これにより現在デジタルカメラや携帯電話、電子システム手帳（PDA）も普及した。しかし、電力消費の激しいテレビ電話やテレビ放送の動画を視聴できる携帯電話や小型モバイルパソコンが出現し、リチウムイオン二次電池では限界が来ている。そこでこれらのパワーイーターに対応できる携帯電源としてモバイル燃料電池が期待されている。モバイル燃料電池は充電の代わりに燃料の充填を行うもので場所や時間の制限を受けない（規制緩和後）。そして、今後ウェアラブル電子機器や健康管理・介護用のヘルスケアスーツ、ヒューマノイド型ロボットなどの普及もウェアラブル型のモバイル燃料電池の開発により加速され得る。

燃料電池は、大きく分けて3種類ある。規模の大きいものから、定置型、移動体型、そして携帯型モバイル燃料電池である。本研究開発では、携帯型モバイル燃料電池としてパッシブ型燃料電池の開発を行う。

本プロジェクトの中での位置づけは以下のとおりとなる。東京工業大学とパナソニックファクトリーソリューションズ株式会社からなる基盤技術開発（水平）にて電界紡糸装置の量産装置の開発を行う。それにより得られる超極細繊維を利用し、当社の焼成技術により炭素化し超極細炭素繊維（Carbon Nano Fiber Fabric=CNFbc と略す）を作製する。このCNFbcを燃料電池の拡散層の一部に使用することにより大幅な出力向上を果たし、パッシブ型燃料電池を実用化する実用化技術開発（垂直）を行う。以上の垂直－水平連携の枠組みの中で当社は実用化を検討する位置づけとなる。

[技術課題]

本研究開発における開発テーマはモバイル燃料電池である「パッシブ型燃料電池の開発」である。ここでパッシブ型燃料電池であるダイレクトメタノール型燃料電池について概説する。

(1) ダイレクトメタノール型燃料電池の構造

モバイル燃料電池の燃料としてはメタノールが使用される。水素ガスは高圧ボンベが必要であり取り扱いには厳重な注意が必要である。メタノールは液体燃料であるがカートリッジを用いれば扱いやすく安全である。

メタノールを直接反応させるダイレクトメタノール型燃料電池の構造は、中心に電解質膜があり、その両側表面に触媒がコートされ、それに両側から多孔質の電極（拡散電極）が接合させてある。この電解質膜と電極の接合体（MEA）を燃料および空気を通す流路が刻まれた集電体で圧縮固定してある。

(2) アクティブ型とパッシブ型ダイレクトメタノール型燃料電池の違い

ダイレクトメタノール型燃料電池は、燃料や空気の供給様式の違いで2種類に分けられる。一つはアクティブ型で、ノートパソコンなど比較的高出力の電子機器用に燃料や空気を送るポンプとファンが備わっている。もう一つはパッシブ型で携帯電話などの小型薄型軽量の電子機器用に燃料や空気を自然供給するタイプである。これは開発が進んでいる燃料電池であるが、フラッディングなどの様々な課題がある。

(3) ダイレクトメタノール型燃料電池における反応中心と拡散電極の機能

ダイレクトメタノール型燃料電池の発電のしくみは、陽極ではメタノールが触媒上で酸化されて二酸化炭素と水素イオンと電子が生成する。生成した水素イオンは電解質膜を、電子は外部回路を通過して陰極へ移動する。陰極触媒上では酸素と水素イオンと電子が反応して水蒸気を生成する。この時、電子と酸素は拡散電極を通して供給される。よって拡散電極は電子伝導性と物質拡散性が両立する構造である必要がある。一般的には炭素繊維の不織布、いわゆるカーボンペーパーが用いられる。

(4) 従来の拡散電極における技術課題

ダイレクトメタノール型燃料電池において、電流密度を増大させていくと、多量の二酸化炭素と水蒸気が発生する。①陽極では発生する二酸化炭素が泡となりメタノールの供給を妨げ、陰極では発生する水蒸気は液化して炭素繊維の隙間を水滴でふさいでしまい（フラッディング）、酸素の供給を妨げ、電池の発電特性を低下させてしまう。また、②炭素繊維と触媒粒子の接触が不十分で電子の遣り取り（集電性）に改良の余地がある。さらに、③長時間の使用においては触媒粒子の脱離も発生する。

(5) 炭素繊維不織布拡散電極における問題点

炭素繊維不織布拡散電極における前述の3つの課題に対して、不織布の網目の大きさを調整することで解決を図る方法も考えられる。しかしながら、網目を粗くすると薄くなり通気性が向上するが、集電性や触媒保持性が低下する。逆に網目を細かくすると通気性が低下してしまい、トレードオフとなる。

(6) 超極細炭素繊維複合電極（CNFbc 複合電極）によるブレイクスルー

以上のような既存の問題点に鑑み、電界紡糸による超極細繊維を使用し、焼成することにより得られた超極細炭素繊維複合電極を用いたブレイクスルーを提案した。

これは、電導性を有し太さがナノメートルオーダーの超極細炭素繊維で構成された布地、つまり、超極細炭素繊維布を拡散電極として応用するというものである。拡散電極を超極細繊維で構成することにより、網目を細かくしても電極の厚さを薄くすることが可能で、通気性が高く、集電性と触媒保持性も同時に高いものが得られる。このような拡散電極を使用することにより、酸素と燃料を負荷なく供給し、効率よく電力を取り出すことが可能となる。

[検討項目]

検討項目としては、以下の7項目が挙げられ、その説明を以下に示す。

- ・超極細炭素繊維複合電極の開発
- ・最適触媒層の開発
- ・最適電解質膜の選択
- ・MEA 形成技術の研究開発
- ・最適集電体の開発
- ・燃料電池の開発
- ・性能評価技術

(1) 電極開発への取り組み

電界紡糸技術により PAN 溶液またはシルク溶液等で超極細繊維層を形成し、弊社の焼成技術を利用し焼成することにより、超極細繊維層が炭素化し、超極細炭素繊維複合電極が形成される。この超極細炭素繊維複合電極により、従来の炭素繊維不織布での3つの問題が解決され、出力向上が達成され得る。ちなみに3つの問題とは、①生成した水蒸気の水滴化により、酸素供給を阻害（フラッディング現象）②低い集電性③触媒粒子の脱離である。開発項目としては以下のとおりである。超極細層に適した拡散層基材の開発、特に最適基材形状（構造、厚み等）の開発、最適超極細炭素繊維の開発、焼成技術の開発、得られた超極細炭素繊維複合電極構造の最適化と性能評価方法の研究開発にまず取り組み、その後、超極細炭素繊維複合電極の革新的生産技術の開発、量産化技術の検討を行っていく。

(2) 電池化への取り組み

ダイレクトメタノール型燃料電池を開発するために、まず単セルである膜・電極接合体（MEA）の開発を行う。MEA の現時点での課題としては、以下の3点が挙げられる。

触媒：触媒は一般的には、燃料極側にカーボンブラックに担持した白金・ルテニウム、空気極側に同じく白金が使用されている。最適な触媒層を形成する技術を開発することが課題である。

電解質膜：電解質膜は一般的にはデュポン社のナフィオン膜が使用される場合が多い。膜の問題としては、気相と液相を分離するための機械的強度が必要であるが、厚くすると水素イオンの伝導度が低下する。逆に薄くすると、水素イオン伝導度は向上するが、燃料のメタノールのクロスオーバーが発生し、燃料極側のメタノールが空気極まで通過し、出力効率が低下する。弊社では電極に適した電解質膜の選択を行う。

電解質膜・触媒層・拡散層の接合技術：発電機能を発現するための、膜・電極接合体（MEA = Membrane Electrode Assembly）を作製する技術である。触媒とバインダを混合し、触媒ペーストを作製し、拡散層もしくは電解質膜側に塗布し、構成部材をホットプレス等により一体の接合体とする。触媒層の塗布方法、塗布条件、ホットプレス条件等により、電池性能が左右されるため、最適作製方法・条件を探す必要がある。

以上のMEAの課題をクリアした上でダイレクトメタノール型燃料電池を作製するには、得られたMEAを燃料の流路が確保された集電体で挟み込み電池とする。パッシブ型燃料電池では、燃料の供給が自然供給であり、燃料の拡散のためには、集電体構造の設計が重要となる。集電体は拡散層と接するため、拡散層構造にも依存し最適な集電体を開発する必要がある。

更に電池としては、セル組み立て技術の開発、耐久性の検討も必要である。

[目標値とその妥当性]

表 2.3.1.1-1 目標値とその妥当性

検討項目	中間目標	最終目標	目標値の妥当性
燃料電池出力(mW/cm ²)	50	100	最終目標は現時点で世界最高レベルに匹敵する値である。 開発したCNFbc複合電極は電池出力を1.5倍にする効果があり、パッシブ型燃料電池の大幅な小型化が可能となり、携帯機器等への搭載が容易となる。
拡散層の厚さ(μm)	120	100	薄層化することにより、燃料の拡散に優れる拡散層が得られる。

[最終目標に対する達成度]

表 2.3.1.1-2

最終目標に対する達成度

最終目標	最終目標	達成値	達成度	内容
燃料電池出力(mW/cm ²)	100	100	達成	燃料電池全体でのレベルアップとCNFbcによる集電性・拡散性・排水性により目標を達成することができた。 今後は燃料電池の実用化に向けて市場の動向をウォッチングしながら研究開発を進めていく。
拡散層の厚さ(μm)	100	113	達成とみなす	拡散層の厚さは薄ければよいというものではなく、集電性と拡散性のバランスが取れる最適値があることが判明した。

2. 3. 2 小型蓄電池の開発

2. 3. 2. 1 計画、目標

[背景]

今後、高性能な携帯用情報家電機器やハイブリッド自動車、燃料電池自動車などが普及するためには、出力密度およびエネルギー密度が高く、瞬発力に優れ長寿命な蓄電池が不可欠である。これらの特性を満たす蓄電池の候補として、電気二重層キャパシタが挙げられる。電気二重層キャパシタは、瞬発力に優れ、長寿命であるという特性は有していたが、従来はエネルギー密度が小さいという特性があった。

そこで、この優れた特性を維持したままエネルギー密度を向上させた電気化学キャパシタの開発が検討されている。エネルギー密度を向上させるためには、従来電極材料として用いられてきた活性炭よりも優れた電極材料が不可欠である。また、大容量電気化学キャパシタを普及させるためには、電気容量当たりのコストを如何に削減できるかにかかっている。

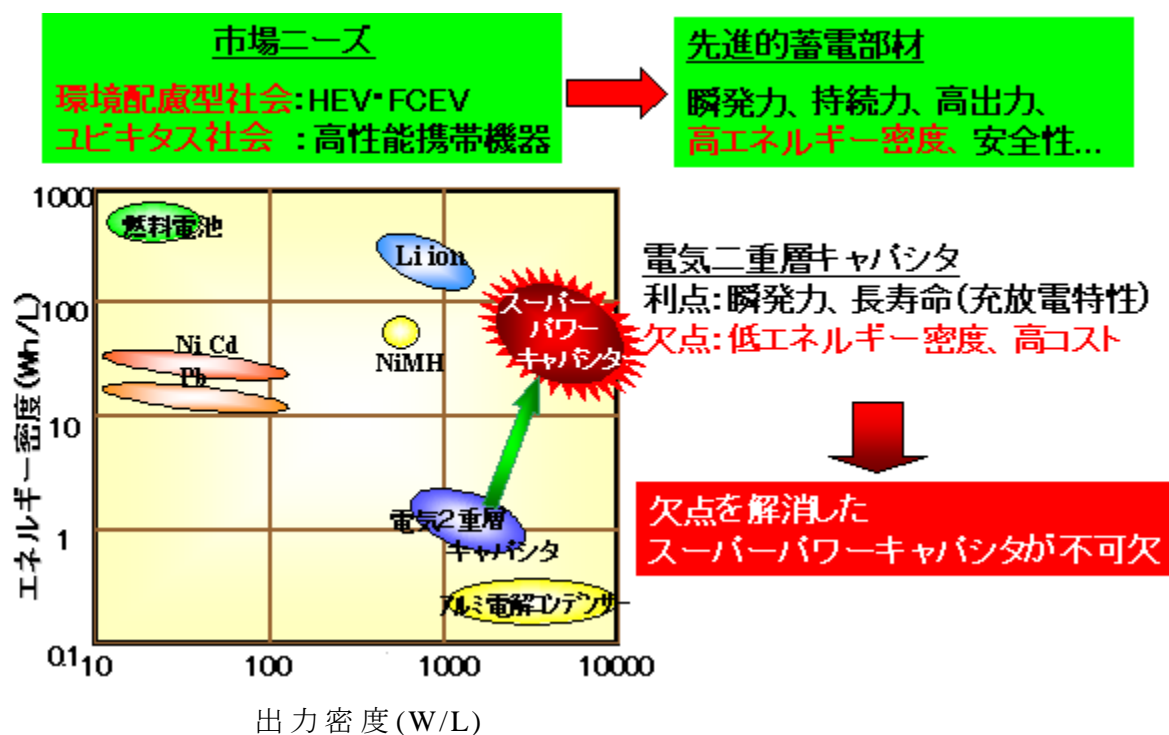


図 2. 3. 2. 1-1 背景

これらの要求に応えるべく図 2.3.2.1-2 に示すごとく、共通基盤技術開発におけるナノ溶融分散紡糸法による炭素超極細繊維を応用し、高性能、高機能な小型蓄電池を開発する。

ハイブリッド型垂直－水平連携プロジェクト

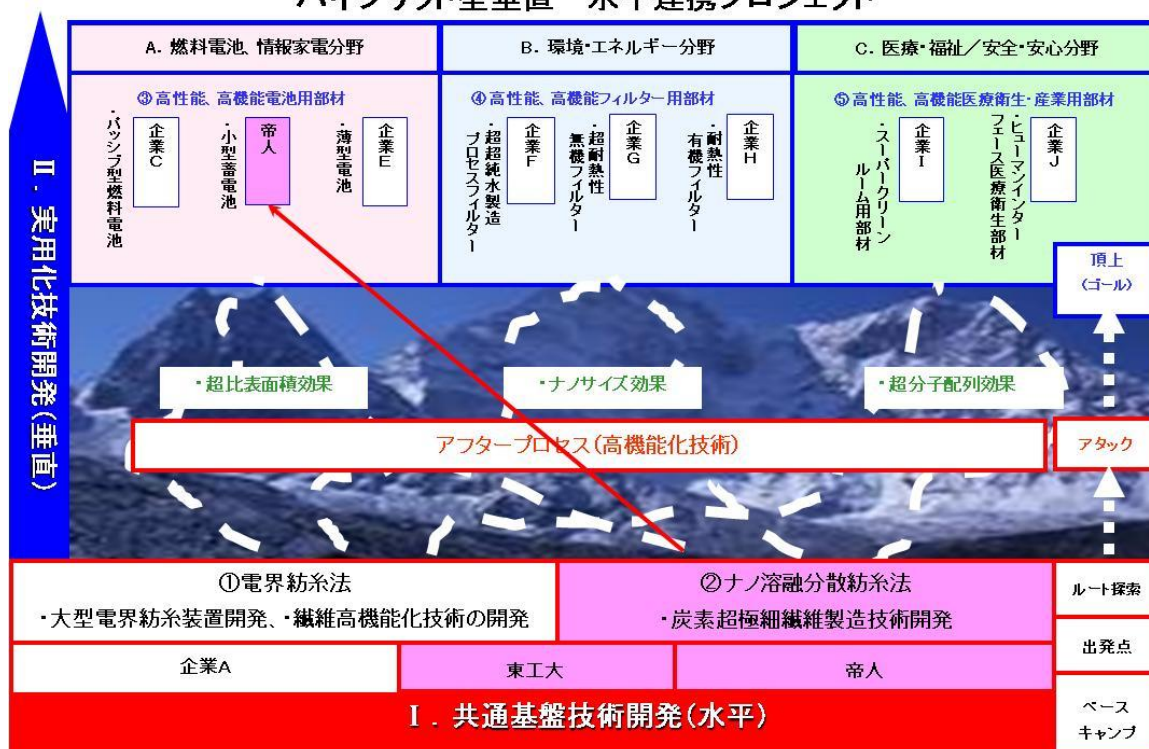


図 2.3.2.1-2

[技術課題]

小型蓄電池を開発するにあたり、表 2.3.2.1-1 に示す開発テーマ及び技術課題を挙げ、取り組むこととした。

表 2.3.2.1-1 開発テーマと技術課題

開発テーマ	技術課題
小型蓄電池の性能向上	電気化学キャパシタ性能発現機構解析
	高性能電極用炭素超極細繊維の開発
小型蓄電池作製技術開発	セル作成技術開発
	量産化技術開発

[検討項目とその説明]

上記、表 2.3.2.1-1 に記した技術課題を解決する為の検討課題及びその手段を表 2.3.2.1-2 に示す。また、検討を実施していくにあたっての役割分担を図 2.3.2.1-3 に示す。

表 2.3.2.1-2

検討課題	手段
電気化学キャパシタ性能発現機構解析	炭素超極細繊維の構造と、電気化学キャパシタの特性との相関関係を検討し、キャパシタ電極材料として適した構造を設計するための基礎データを把握する。
高性能電極用炭素超極細繊維の開発	上記によって得られたデータを下に、キャパシタ電極材料として適した炭素超極細繊維の製造方法を確立する。
セル作成技術開発	上記によって得られた炭素超極細繊維を用いて、電気化学キャパシタを作成する技術を確立する。
量産化技術開発	電気化学キャパシタの量産化技術を確立する。

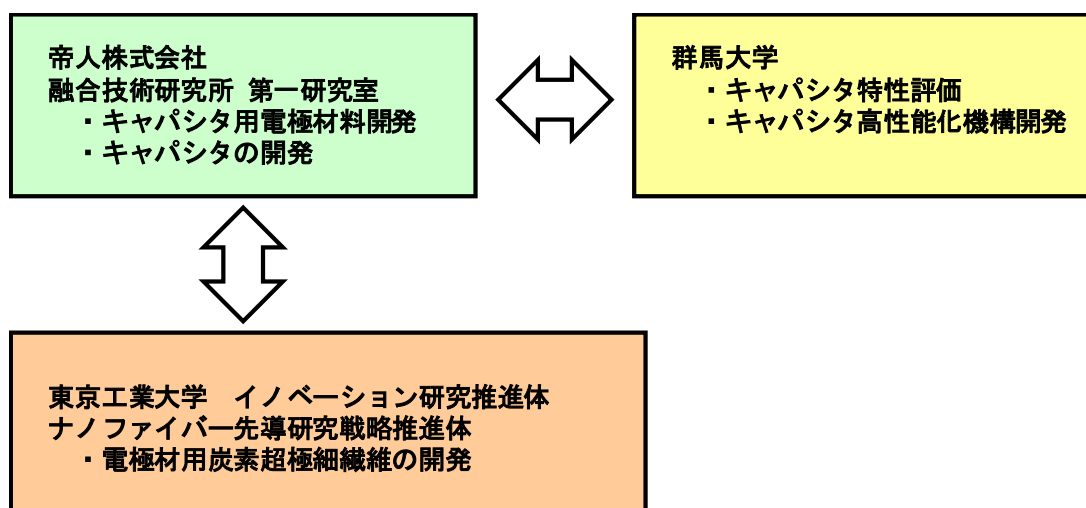


図 2.3.2.1-3 役割分担（グループ内体制図）

[成果のまとめ]

表 2.3.2.1-3

検討課題	主要な研究内容	顕著な成果
③-(2)-1 高性能電極用炭素超極細繊維の開発	炭素超極細繊維の微細化、高比表面積化の検討。	高圧噴射流を用いることで、炭素超極細繊維の微細化が可能であることを確認した。また、CO ₂ 賦活処理により炭素超極細繊維の比表面積が増大することを確認した。
③-(2)-2 電気化学キャパシタ性能発現機構解析	炭素超極細繊維高比表面積化による高容量化。ハイブリッドキャパシタによる高容量化。	炭素超極細繊維の比表面積を増大させることで、キャパシタの容量が大きくなることを確認した。また、ハイブリッド化によって中間目標値を達成することに成功した。
③-(2)-3 セル作成技術開発	ハイブリッドキャパシタ作製技術を開発する。	評価用ハイブリッドキャパシタ作製技術を確立した。

[目標値とその妥当性]

表 2.3.1.2-4

検討項目	中間目標	最終目標	設定理由
エネルギー密度 (Wh/L)	20	200	現在提案されているうちで最高性能レベルの電気二重層キャパシタと比べ、約5倍の値である。また、電極材料のコストは、炭素超極細繊維を用いると、最高性能レベルの電気二重層キャパシタに用いられている電極材料の1/2となることが期待される。その結果、電気容量当たりのコストが既存技術に比べて大幅に低減できる。
出力密度 (kW/L)	5	10	現在提案されているうちで最高性能レベルの電気二重層キャパシタと比べほぼ同等の値である。エネルギー密度を重視したことから出力密度は現実的な値とした。

[最終目標に対する達成度]

表 2.3.1.2-5

検討項目	最終目標	達成値	達成度	内容
エネルギー密度	200 Wh/L	100 Wh/L	未達だが 実用化可 能レベル には達成	ハイブリットキャパシタにおいて、賦活化した炭素超極細繊維と易黒鉛化性炭素の粉砕品との混合電極を正極に用いることによって、電極内の炭素材料の密度を上昇させることができ、エネルギー密度を向上させることができた。しかし、エネルギー密度の目標値である 200 Wh/L を達成することは出来なかった。
出力密度	10 kW/L	>10 kW/L	達成	ハイブリットキャパシタにおいて、電極組成および電極成形法検討による電極の薄葉化を行い、出力密度を向上させることができた。これにより目標とする 10 kW/L を超える出力密度を達成することができた。

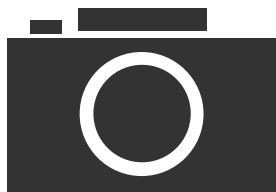
[実用化の見通し]

近年、重要性が高まっている蓄電デバイスの開発において、電気化学キャパシタおよび電気化学キャパシタ用炭素材料の実用化を目指す。電気化学キャパシタは次世代蓄電デバイスとして最近脚光を浴びており、これまでの各種キャパシタの主な用途であった電源平滑化、ノイズ吸収用などの用途以外に、バックアップを目的とした利用が進められている。更に、自動車用途としても、ハイブリッド自動車などの電子制御ブレーキシステムの補助電源としても利用されるとともに、アイドリングストップの再始動時の電力アシスト、電動パワーステアリングのピーク電流アシストなどへの使用が検討されている。

このように拡大が見込まれる電気化学キャパシタ市場において、最終的に主要用途と考えている自動車用途への採用のためには、信頼性の確保が極めて重要である。そこで、第1ステージとして各種携帯機器向け小容量キャパシタで参入し、ついで各種バックアップ電源や移動機器用電源など中容量キャパシタへと拡大し、最終的に自動車用途に展開したい。(図 2.3.2.1-4)

1st ステージ：小容量キャパシタ

各種携帯機器バックアップ電源
(携帯電話、デジタルカメラなど)



デジタルカメラ



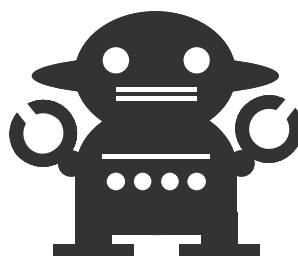
携帯電話

2nd ステージ：中容量キャパシタ

各種電源 (UPS)
フォークリフト等建設機械
自動車用電子システム用バッテリー
ロボット



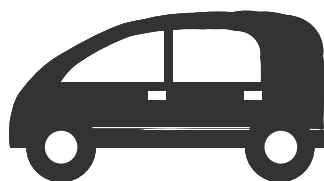
フォークリフト



ロボット

3rd ステージ：大容量キャパシタ

自動車
ハイブリッド自動車、電気自動車、燃料電池自動車



燃料電池自動車



ハイブリッドトラック

図 2.3.2.1-4

2. 3. 2. 2 成果、解決方法

2. 3. 2. 2-1 炭素超極細繊維の構造制御

炭素超極細繊維を電極材料として使用する場合、その構造を制御する技術の確立は極めて重要である。そこで、高圧噴射流を用いた炭素超極細繊維の粉碎を検討した。粉碎に用いた装置と粉碎機構を図 2.3.2.2-1 に示す。



図 2. 3. 2. 2-1 高圧噴射流式湿式微粒化装置

高圧噴射流によって炭素超極細繊維をセラミックボールに衝突させることで、炭素超極細繊維の繊維長を短く出来ることが分かった。炭素超極細繊維の SEM 写真を図 2.3.2.2-2 に示す。

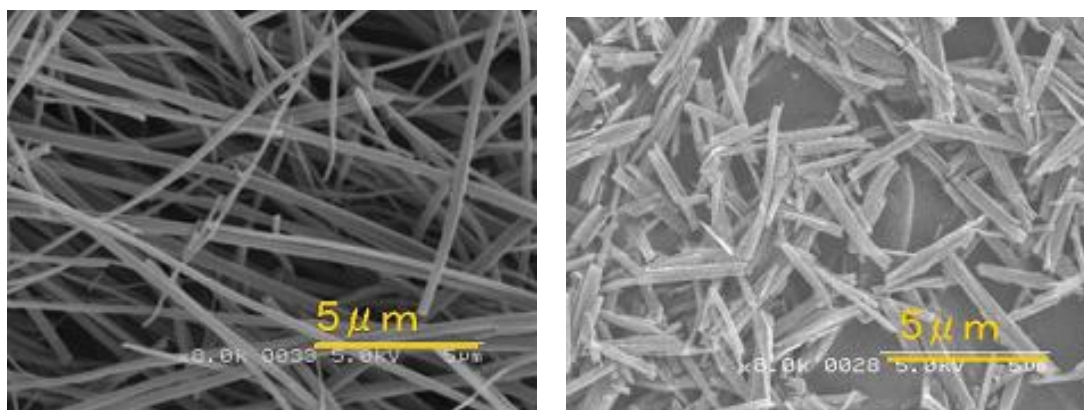


図 2. 3. 2. 2-2 炭素超極細繊維の SEM 写真（左：処理前、右：処理後）

2. 3. 2. 2-2 炭素超極細繊維の電気二重層特性評価

炭素超極細繊維を用いた小型蓄電池の模式図を図 2.3.2.2-3 に示す。

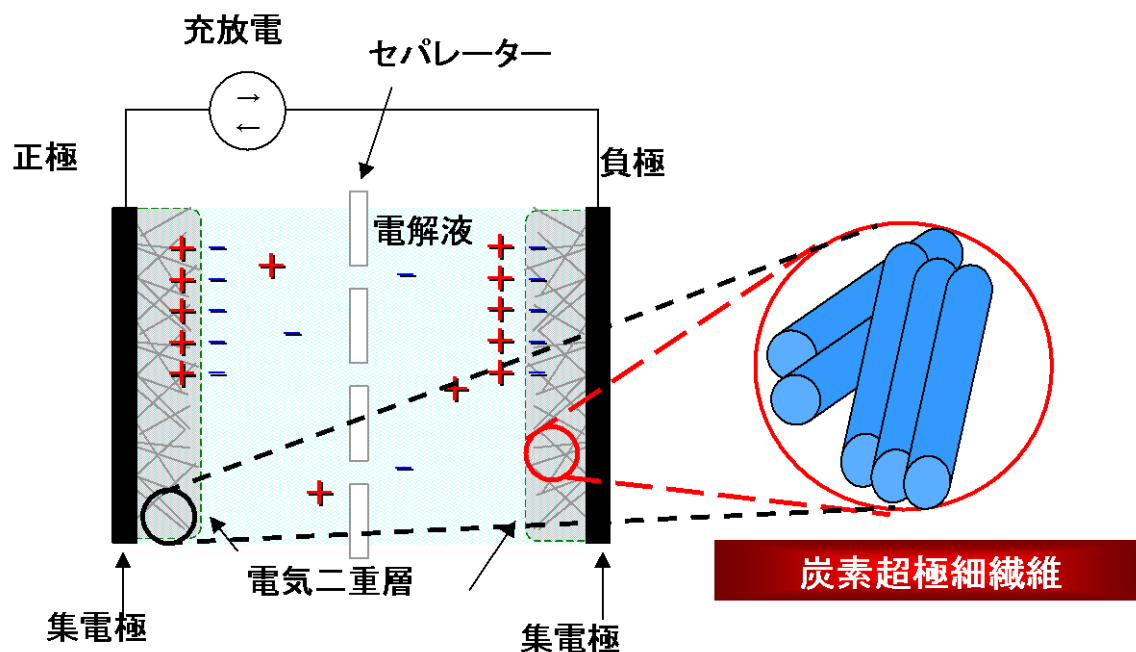


図 2. 3. 2. 2-3 小型蓄電池の模式図

始めに、800°Cで炭素化した炭素超極細繊維の窒素吸脱着曲線を図 2.3.2.2-4 に示す。

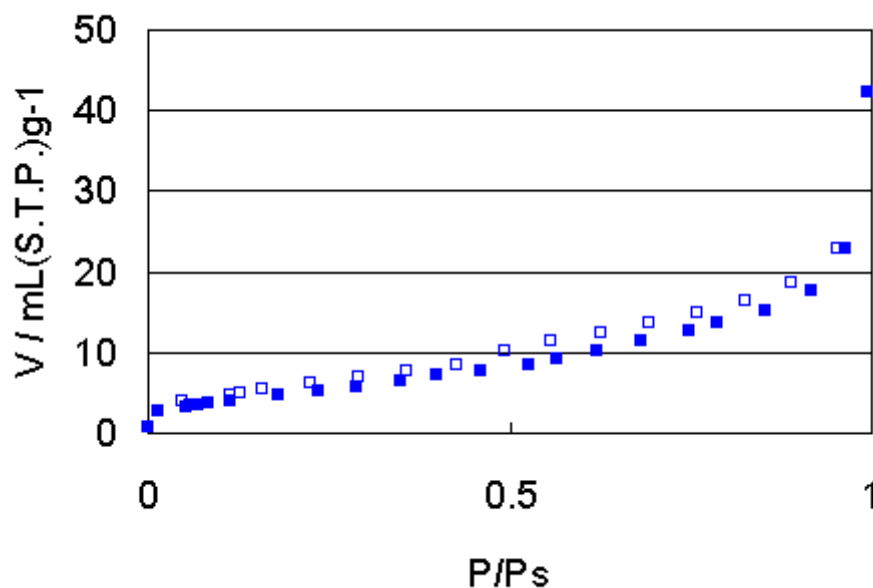


図 2. 3. 2. 2-4 炭素超極細繊維の窒素吸脱着曲線

■ : 吸着、□ : 脱着

本測定結果より、炭素超極細繊維の BET 比表面積は $19 \text{ m}^2\text{g}^{-1}$ であった。また、吸脱着曲線の形より、細孔を有していないことが分かった。

次に、炭素超極細繊維の電気二重層特性を評価した。3極式セルを用いて測定した電位-時間曲線を図 2.3.2.2-5 に示す。また、2極式セルを用い、電圧を変化させながら行ったサイクル試験結果を SWCNT の結果とともに図 2.3.2.2-6 に示す。

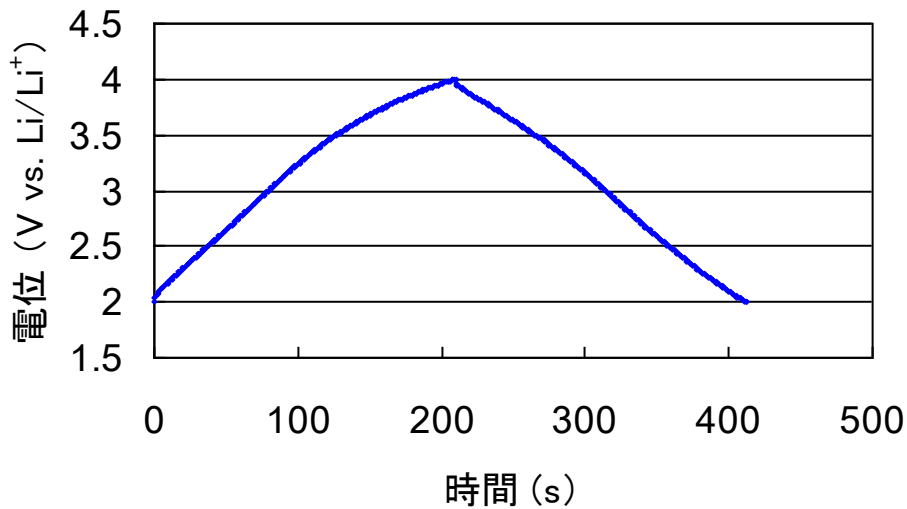


図 2.3.2.2-5 炭素超極細繊維の電位-時間曲線

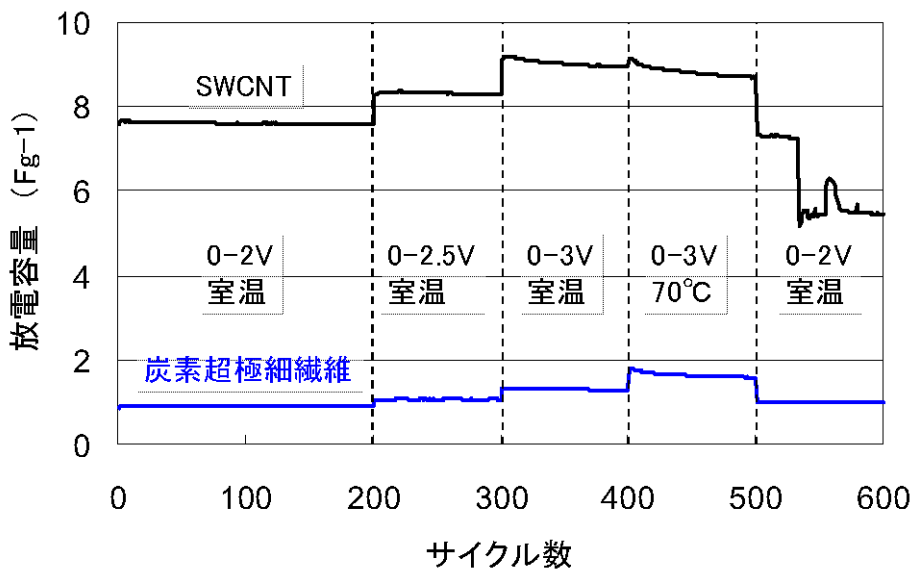


図 2.3.2.2-6 サイクル試験結果

時間-電位曲線より、炭素超極細繊維の電気二重層容量は、4 F/g であった。一方、サイクル試験の結果、放電容量の大きさは、SWCNT よりも小さかった。これは、SWCNT に比べて炭素超極細繊維の比表面積が小さいためである。一方サイクル試験において、70°C、0-3 V での試験の後再び室温、0-2 V の条件でテストしたとき、SWCNT は放電容量が低下し値も乱れたのに対し、炭素超極細繊維では最初の放電容量を維持した。この結果から、

SWCNT に比べ炭素超極細繊維はサイクル特性が優れていることが分かった。

2. 3. 2. 2-3 炭素超極細繊維高比表面積化の検討

次に、炭素超極細繊維比表面積の及ぼす影響について検討した。

始めに、CO₂ 賦活による、高比表面積化の条件検討を行った。800℃で炭素化した炭素超極細繊維について、CO₂ 中での熱重量分析結果を図 2.3.2.2-7 に示す。この結果より、800℃から 1000℃の間で重量減少が開始していることが分かる。

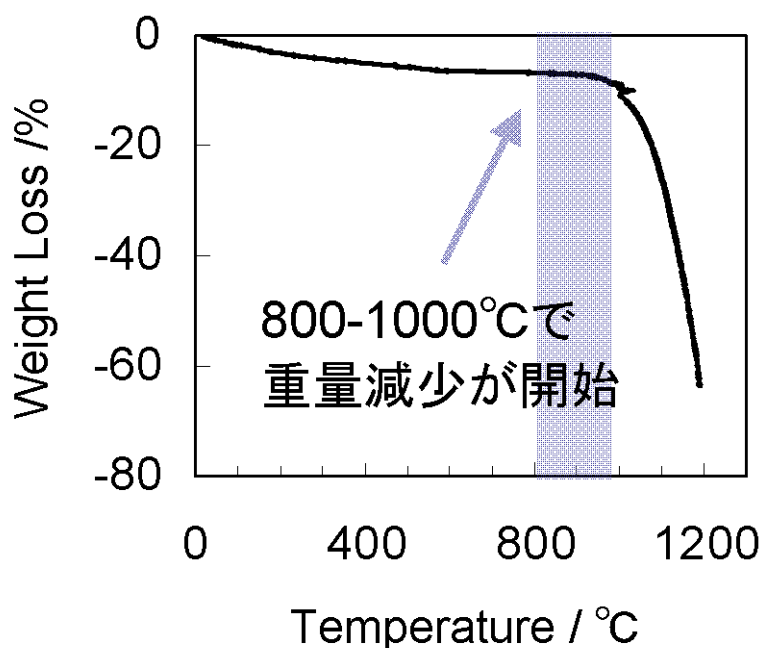


図 2. 3. 2. 2-7 CO₂ 雰囲気下での炭素超極細繊維熱重量分析結果

この結果を受けて、まずは 800℃、900℃、1000℃で CO₂ 賦活を行った。それぞれの賦活収率を表 2.3.2.2-1 に示す。800℃では収率が 50 % 弱であったのに対して、900℃になると急激に収率が低下していることが分かる。

表 2. 3. 2. 2-1 賦活条件検討

賦活温度 (°C)	収率 (%)
800	48.6
900	8.0
1000	5.7

そこで、800℃を中心に細かい温度条件の検討を行った。780℃から 840℃で 2 時間 CO₂ 賦活処理を行ったときの BET 比表面積を図 2.3.2.2-8 に、賦活収率を図 2.3.2.2-9 に示す。また、それぞれの窒素吸脱着曲線を図 2.3.2.2-10~13 に示す。

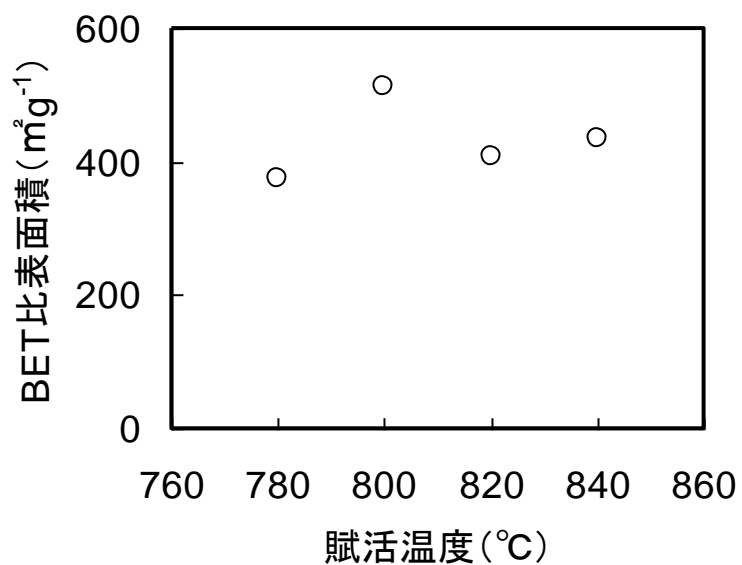


図 2.3.2.2-8 BET 比表面積に及ぼす賦活温度の影響

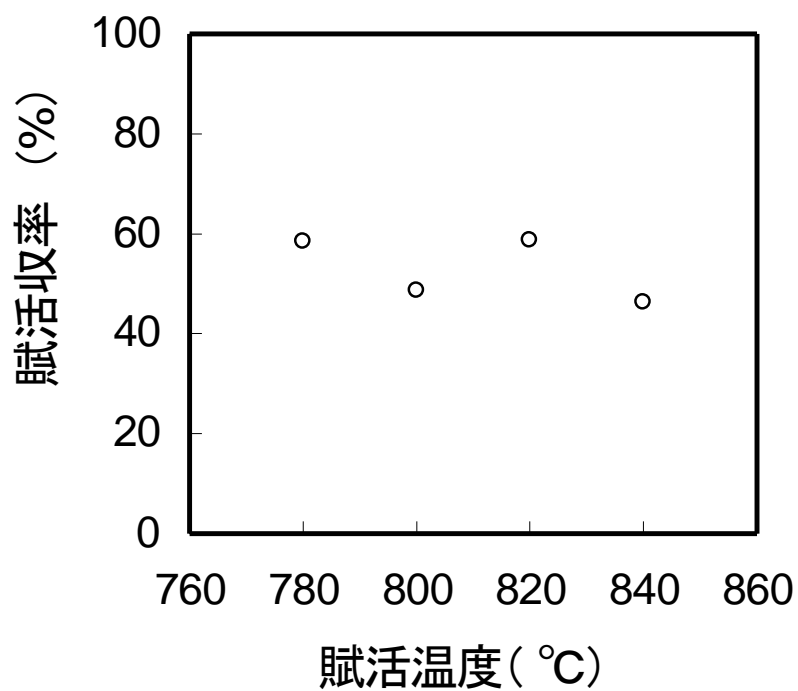


図 2.3.2.2-9 賦活収率に及ぼす賦活温度の影響

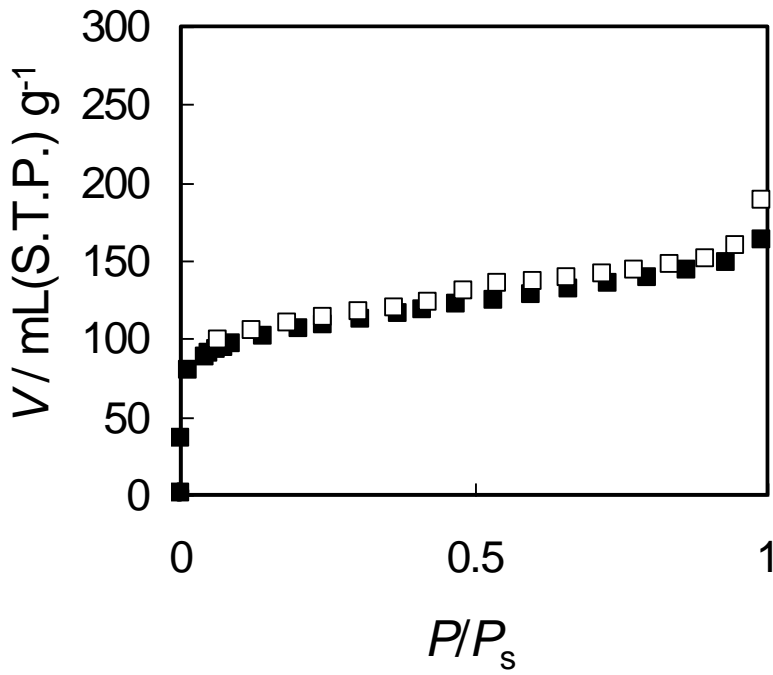


图 2.3.2.2-10 碘素吸脱着曲线 (780°C、2 时间保持)
 ■ : 吸着、□ : 脱着

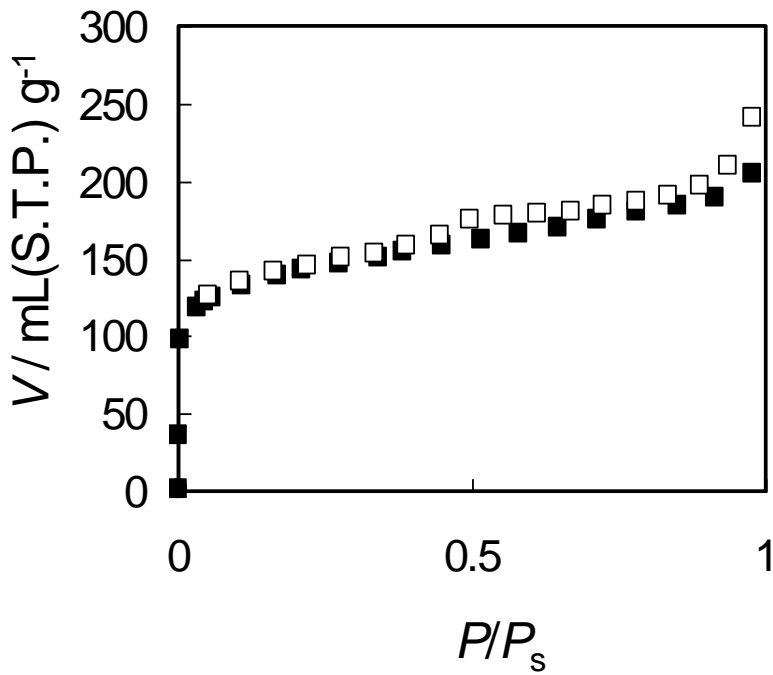


图 2.3.2.2-11 碘素吸脱着曲线 (800°C、2 时间保持)
 ■ : 吸着、□ : 脱着

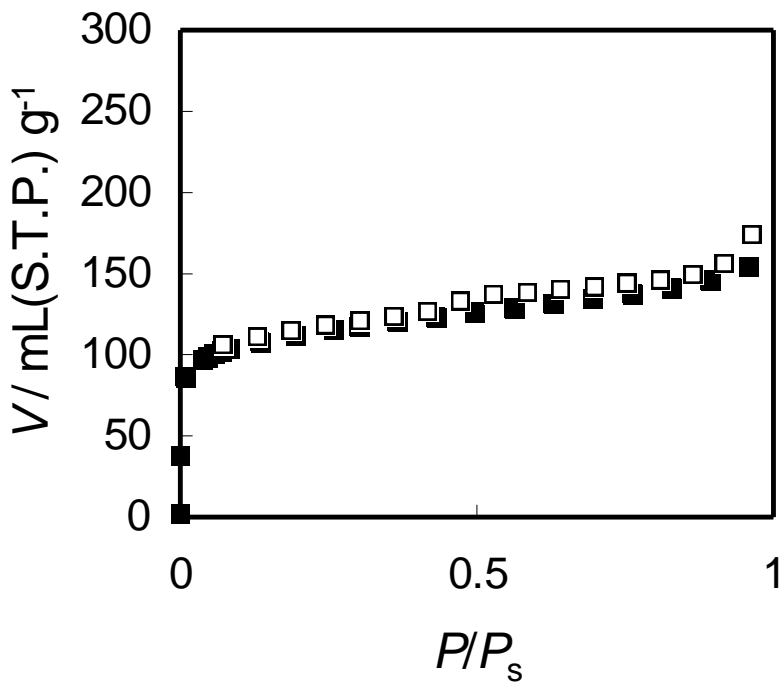


図 2.3.2.2-12 窒素吸脱着曲線 (820°C、2 時間保持)

■ : 吸着、□ : 脱着

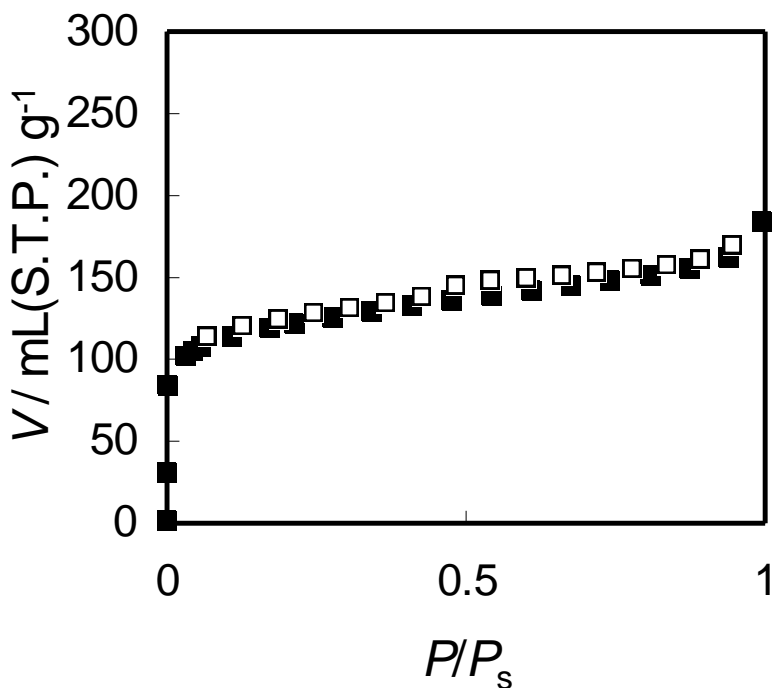


図 2.3.2.2-13 窒素吸脱着曲線 (840°C、2 時間保持)

■ : 吸着、□ : 脱着

800°Cで賦活処理を行ったとき、比表面積は最も大きな値となった。一方賦活収率は、各温度で大きな差は見られなかった。

800°Cで賦活処理を行ったときの結果を表 2.3.2.2-2 にまとめた。また、賦活前の試料と比

較した窒素吸脱着曲線を図 2.3.2.2-14 に示す。

表 2.3.2.2-2 炭素超極細繊維の CO₂ 賦活処理結果

サンプル	BET 比表面積 (m ² g ⁻¹)	平均マイクロ孔幅 (nm)	マイクロ孔容積 (mLg ⁻¹)	メソ孔容積 (mLg ⁻¹)
賦活処理前	20	—	—	—
賦活処理後	514	0.70	0.25	0.16

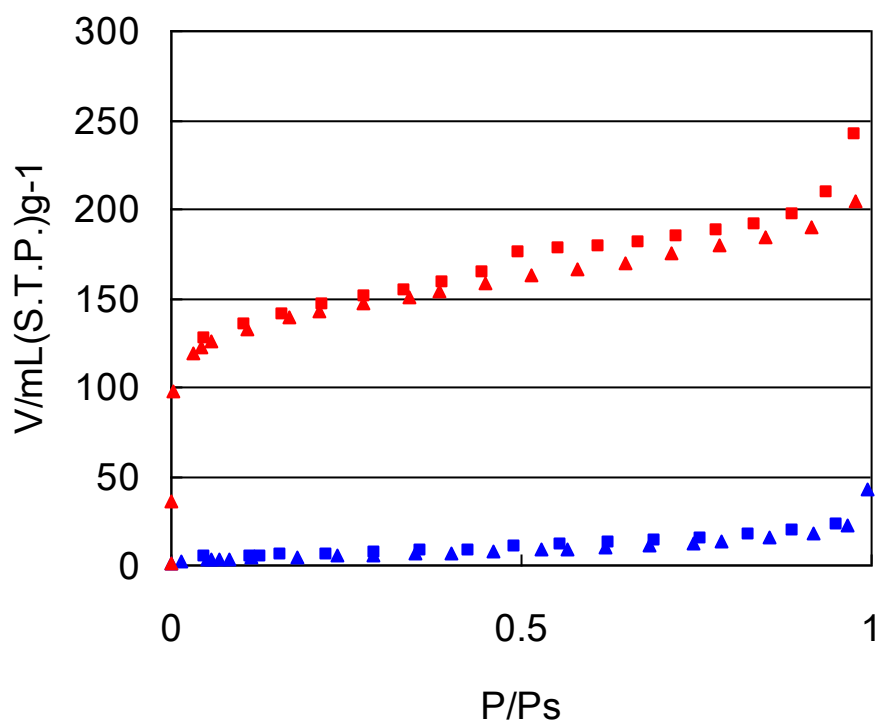


図 2.3.2.2-14 窒素吸脱着曲線 (77 K)

賦活処理前：吸着▲、脱着■、賦活処理後：吸着▲、脱着■

表 2.3.2.2-2 より分かるように、賦活処理によって比表面積が 25 倍大きくなっている。
次にこれら炭素超極細繊維を用いた小型蓄電池について、電気二重層容量を測定した。
表 2.3.2.2-3 に各温度で賦活した炭素超極細繊維の電気二重層容量を示す。

表 2.3.2.2-3 各温度で賦活した炭素超極細繊維の放電容量

賦活温度 (°C)	放電容量 (F/g)
780	39
800	46
820	43
840	38

また、800°Cで賦活した炭素超極細繊維の電位—時間曲線を賦活前の値とともに図 2.3.2.2-15 に示す。その結果、賦活処理前の容量が 4 F/g であったのに対して、賦活処理後は 46 F/g と 10 倍以上向上することが分かった。

また、BET 比表面積あたりの容量を高容量として知られているフェノール樹脂由来活性炭素繊維と比較したグラフを図 2.3.2.2-16 に示す。これより明らかなように、賦活した炭素超極細繊維は活性炭素繊維と比較して単位面積あたりの容量が大きいことが分かった。

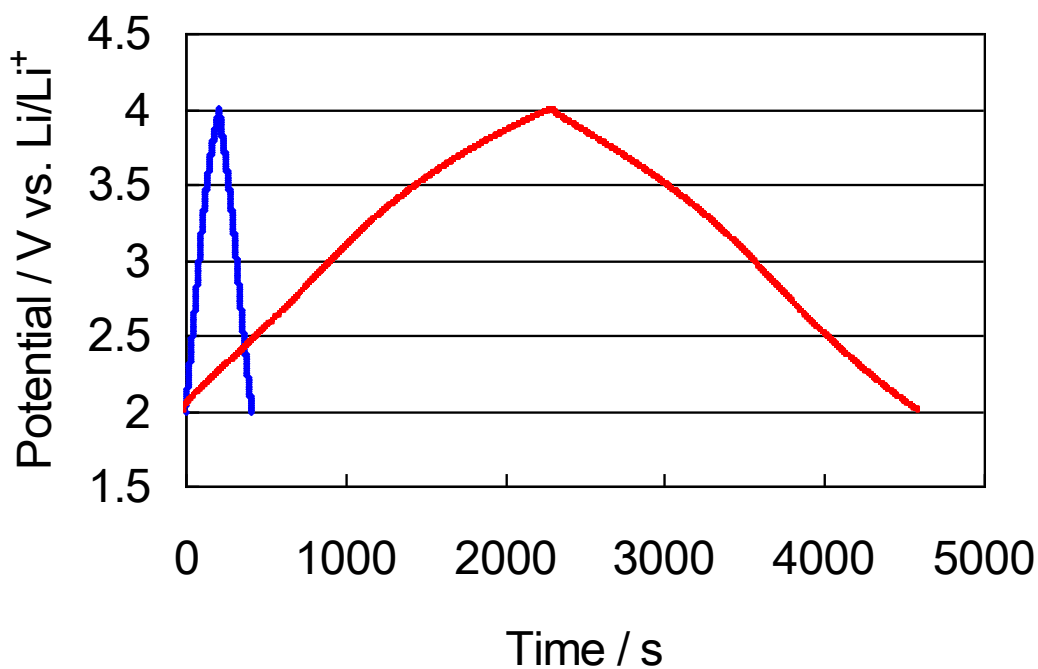


図 2.3.2.2-15 電位—時間曲線（青：賦活処理前、赤：賦活処理後）

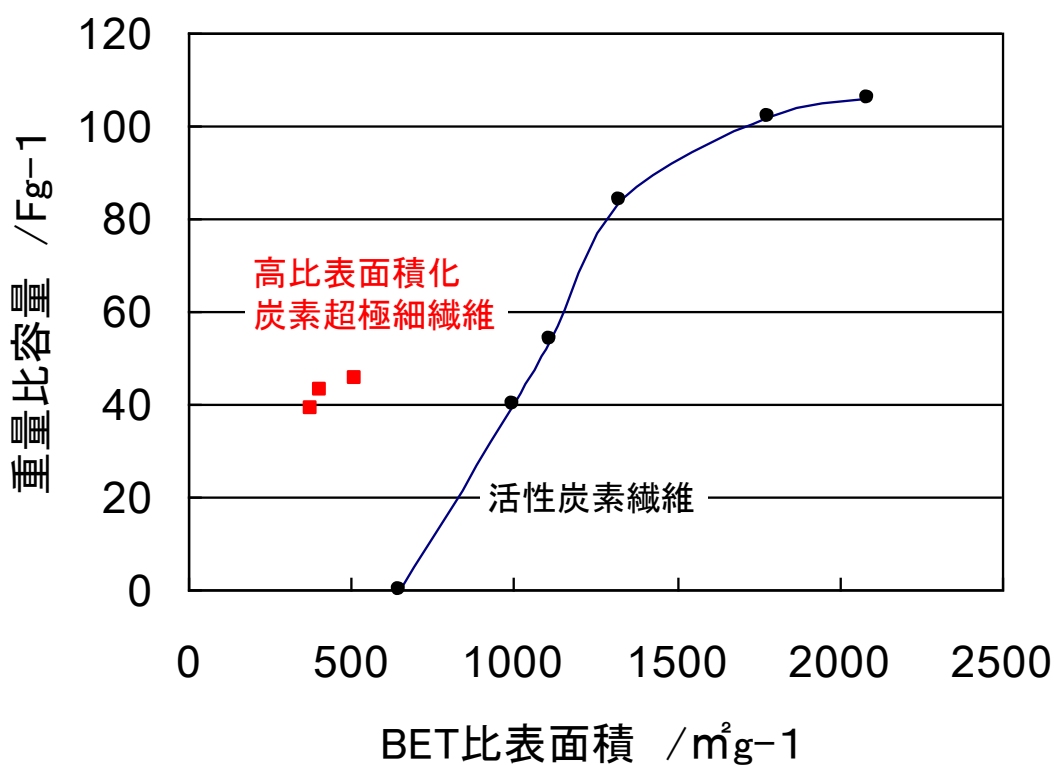


図 2.3.2.2-16 BET 比表面積と容量との関係

2. 3. 2. 2-4 炭素超極細繊維のハイブリッドキャパシタ負極への適用検討

黒鉛化炭素超極細繊維は、グラファイト構造を有しているため、Li イオンをグラファイト層間に取り込むことが可能である。そこで、負極材として Li イオンをグラファイト層間に挿入したハイブリッド型のキャパシタについて検討を行った。ハイブリッドキャパシタの模式図を図 2.3.2.2-17 に示す。

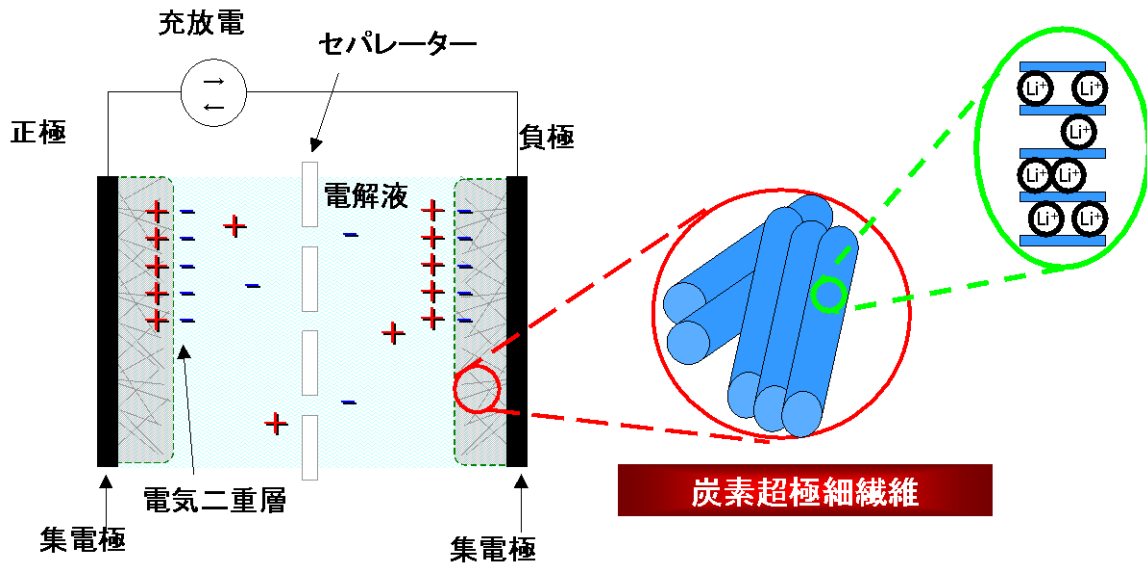


図 2.3.2.2-17 ハイブリッドキャパシタの模式図

ハイブリッドキャパシタについて、充電電圧 4.5 V でのラゴンプロットを図 2.3.2.2-18、19 に示す。また、比較のため従来の活性炭を用いた電気二重層キャパシタの値も合わせて示す。

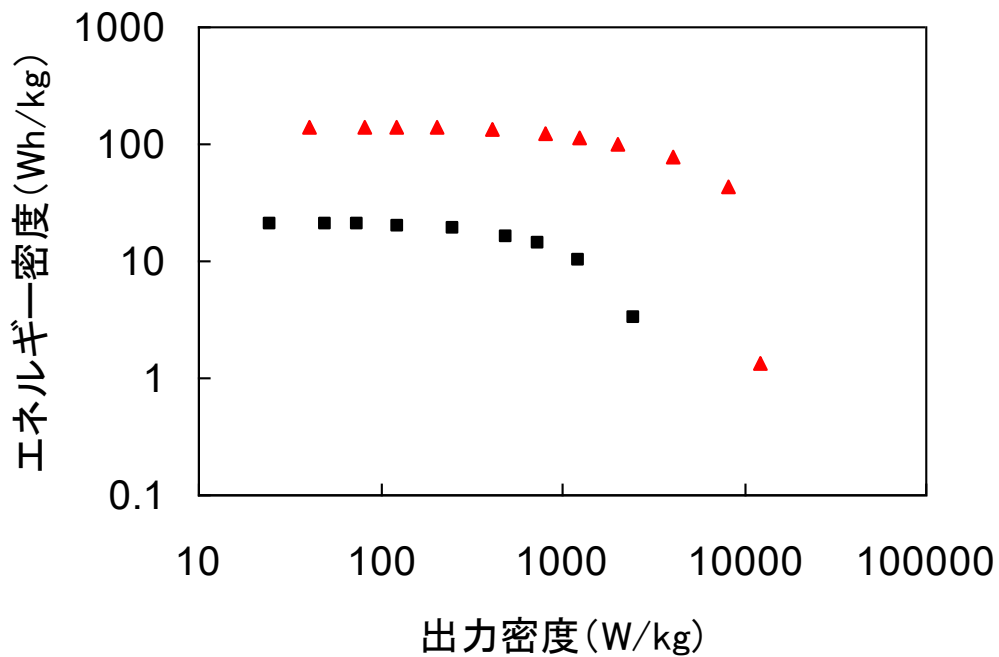


図 2.3.2.2-18 ラゴンプロット (重量当たり)

▲ : ハイブリッドキャパシタ、■ : 従来電気二重層キャパシタ

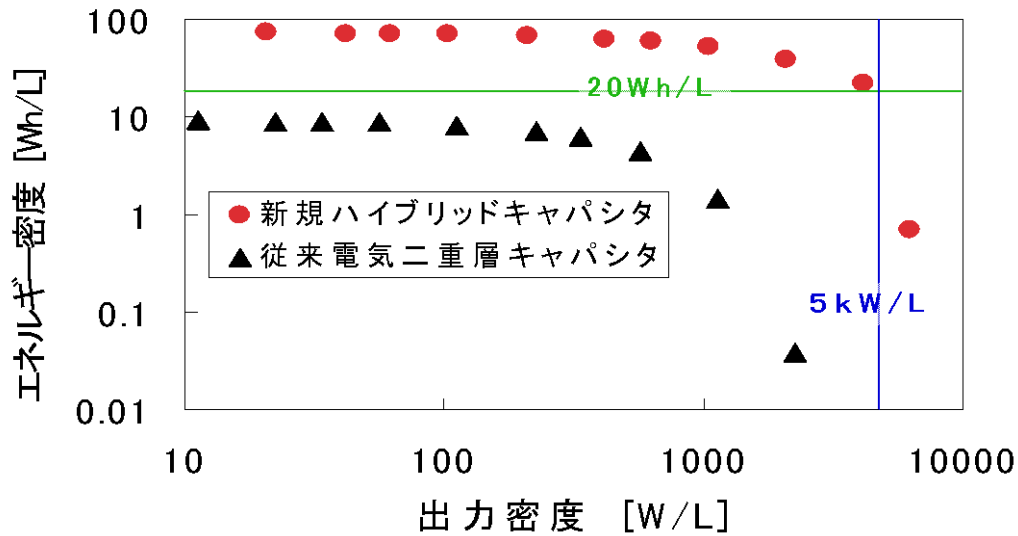


図 2.3.2.2-19 ラゴンプロット (容量当たり)

図 2.3.2.2-19 から、今回開発したハイブリッドキャパシタは容量当たりのエネルギー密度、出力密度ともに平成 20 年度の中間目標値を達成していることが分かる。

次に、ハイブリッドキャパシタのエネルギー密度、出力密度に及ぼす電圧の影響を検討した。電圧を変えたときのラゴンプロットを図 2.3.2.2-20、21 に示す。

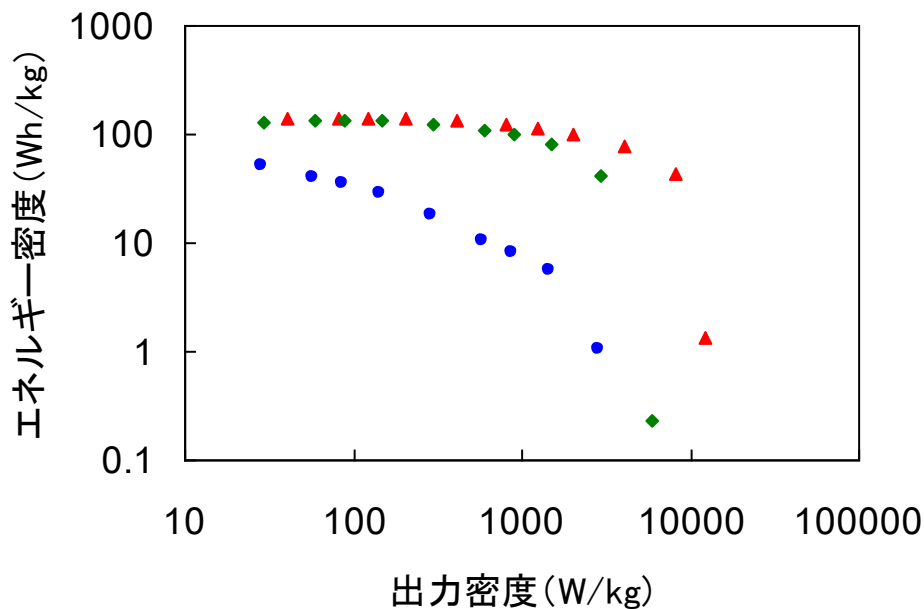


図 2.3.2.2-20 ラゴンプロット (重量当たり)

● : 4-3 V、▲ : 4.5-3 V、◆ : 5-3 V

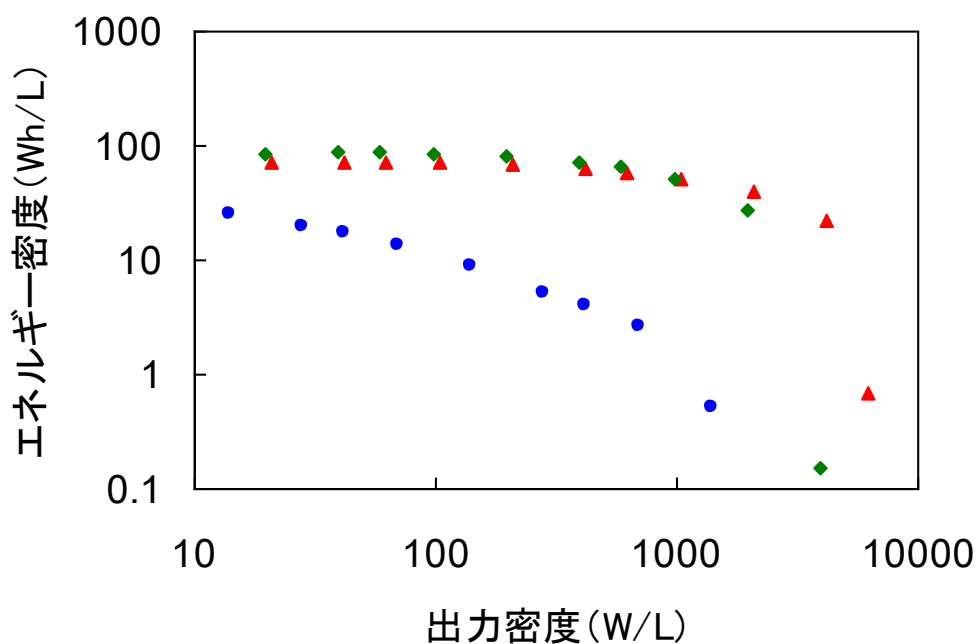


図 2.3.2.2-21 ラゴンプロット (容量当たり)

● : 4-3 V、▲ : 4.5-3 V、◆ : 5-3 V

図 2.3.2.2-20、21 から分かるように、4.5-3 V で評価したとき最も高い体積エネルギー密度を示した。本来であれば、電圧を上げるに従ってエネルギー密度は大きくなるはずであるが、5-3 V では 4.5-3 V より小さくなっている。これは、5 V まで電圧を上げると電解質などの分解が起こっているためだと思われる。

負極として Li イオンをグラファイト層間に挿入した黒鉛化炭素超極細繊維を用いたハイブリッドキャパシタを開発し、平成 20 年度の間目標を達成することが出来た。

2. 3. 2. 2-5 炭素超極細繊維のハイブリッドキャパシタ正極への適用検討

次に、更なる高性能化を目指して、炭素超極細繊維の正極への適用を検討した。ハイブリッドキャパシタの正極には、活性炭が使用され、活性炭の表面へのアニオン吸着により充電される。一方、開発を行なっている炭素超極細繊維を構成する炭素は、易黒鉛化性炭素（ソフトカーボン）であり、アルカリ賦活により比表面積から算出される容量よりも大きな電気容量を発現する電気化学賦活が期待される。電気化学賦活では、炭素材料表面へのアニオン吸着以外に、炭素材料のグラファイト層間へのアニオン挿入により電気容量が上昇する。そのため、炭素超極細繊維の正極への適用によって、エネルギー密度が向上することが期待される。また、炭素超極細繊維の繊維構造によって、電極内部の電気抵抗を下がることで、出力密度の向上も期待される。

ハイブリッドキャパシタの正極に使用する炭素超極細繊維は、賦活処理を実施するため、グラファイトの結晶成長が進行していない炭素化サンプルを使用した。炭素超極細繊維の炭素化処理温度、アルカリ種、炭素アルカリ比率、賦活化温度などを検討し、賦活化炭素超極細繊維を調製した。炭素化温度を 800℃、アルカリ種に水酸化カリウム、賦活化処理

を 800°C で行なったサンプルの性状を表 2.3.2.2-4 に示す。また、この賦活サンプルを正極活物質として用いて、バインダーとして PVdF (ポリフッ化ビニリデン) を用い、負極に市販黒鉛電極を用いたラゴンプロットを図 2.3.2.2-22 に示す。

表 2.3.2.2-4 炭素超極細繊維の賦活化後の性状

試料	S_{BET} [m^2g^{-1}]	V_{meso} [mlg^{-1}]	V_{micro} [mlg^{-1}]	W_{micro} [nm]	d_{002} [Å]
炭素超極細繊維 800°C 焼成品	—	—	—	—	3.49
炭素超極細繊維 800°C 焼成 アルカリ賦活化品	730	0.16	0.3	0.88	3.69

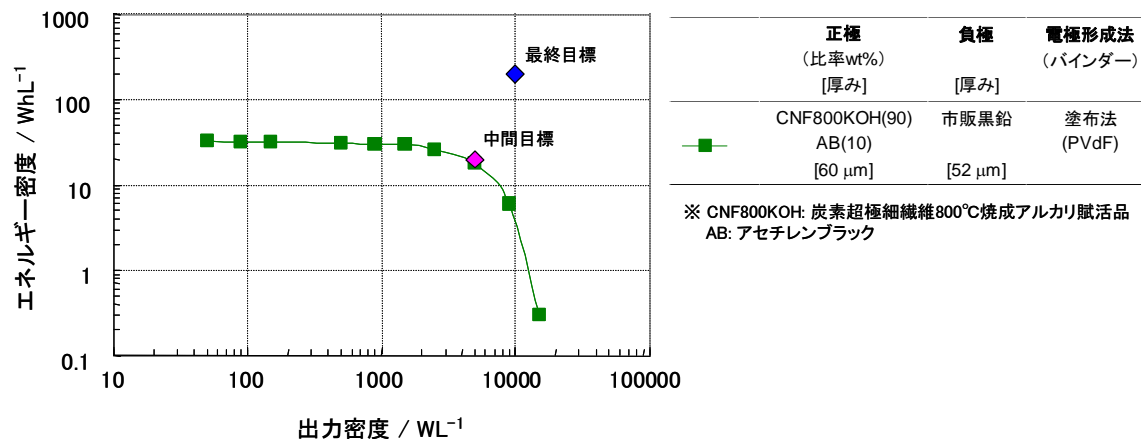


図 2.3.2.2-22 ラゴンプロット

これらの結果より、賦活化炭素超極細繊維は、BET 比表面積が一般的な活性炭と比較して $730 \text{ m}^2\text{g}^{-1}$ と小さいものの、電池評価結果からは、比表面積に対して、大きなエネルギー密度を発現することが確認され、炭素超極細繊維においても、電気化学賦活が発現することが確認された。

しかし、作製した電極は、出力密度は大きいもののエネルギー密度は小さく、エネルギー密度を向上させる必要がある。このエネルギー密度が小さい理由としては、電極密度が小さいことが要因のひとつであると考えられる。炭素超極細繊維は、繊維状の構造であることから、粒子状炭素のように最密充填構造を取れず、パッキング性の点からは不利なのではないかと考えられる。そこで、炭素材料のパッキング性を向上させることを目的として、賦活化した易黒鉛化性炭素の粉碎品との混合検討を実施した。ラゴンプロットを図 2.3.2.2-23 に示す。

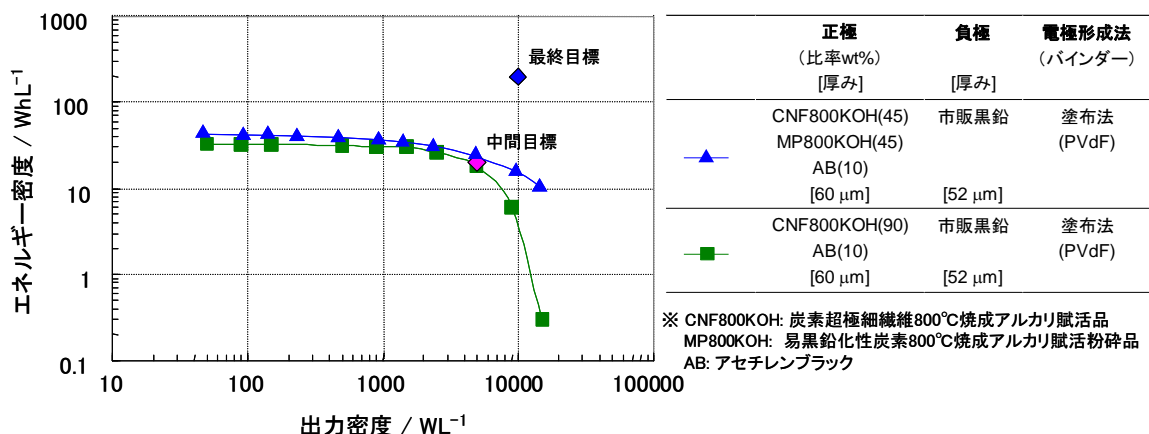


図 2.3.2.2-23 ラゴンプロット

賦活化した易黒鉛化性炭素の粉砕品との混合電極を用いることによって、エネルギー密度が上昇することが確認された。これは、炭素超極細繊維の繊維間の空隙を、粉砕品が埋めることによって、電極密度が上昇したためと考えられる。この結果より、正極の炭素材料の充填密度を如何に高めることが、エネルギー密度の観点からは重要であることが確認された。

2.3.2.2-6 電極形成方法の検討

これまでの検討では、電極バインダーとして PVdF (ポリフッ化ビニリデン) を使用する「塗布法」を採用してきた。「塗布法」では、PVdF を溶剤に溶解させて、電極活物質を分散させた分散液を塗布することで電極形成を行なう。電極成形方法には、この「塗布法」以外にも、バインダーとして PTFE (ポリテトラフルオロエチレン) を用いる「成形法」がある。PTFE は溶剤に不溶であるが、電極活物質と混練することにより、PTFE がフィブリル化し、このフィブリルによって活物質を固定化した電極を形成することができる。

これまで、電極形成法として塗布法と共に成形法も検討して来たが、塗布法を採用してきた理由としては、薄い電極を容易に形成でき、出力密度の高い電極を得ることができるためであった。しかし、密度の高い電極を得ることができ、それによりエネルギー密度を高めることができる点で、「成形法」は優れる (表 2.3.2.2-5)。そこで、PTFE を用いる「成形法」による電極作製に重点を移し検討を行なった。

表 2.3.2.2-5 電極形成方法の異なる電極かさ密度比較

試料	電極かさ密度 [g/cc]	
	塗布法	成形法
CNF800KOH	0.36	0.66
CNF800KOH MP800KOH 混合	0.48	0.81

※ CNF800KOH: 炭素超極細繊維 800℃焼成アルカリ賦活品

MP800KOH: 易黒鉛化性炭素 800℃焼成アルカリ賦活粉砕品

PTFE を用いる「成形法」による電極を用いたラゴンプロットを図 2.3.2.2-24 に示す。低出力領域では高いエネルギー密度が得られているが、高出力領域では急激にエネルギー密度が低下しているのが確認された。これは、電極形成方法の変更により電極密度が上昇したことにより、低出力領域でのエネルギー密度は上昇したものの、電極が薄葉化できていないことから、高出力領域でのエネルギー密度の上昇に繋がっていないものと考えられる。

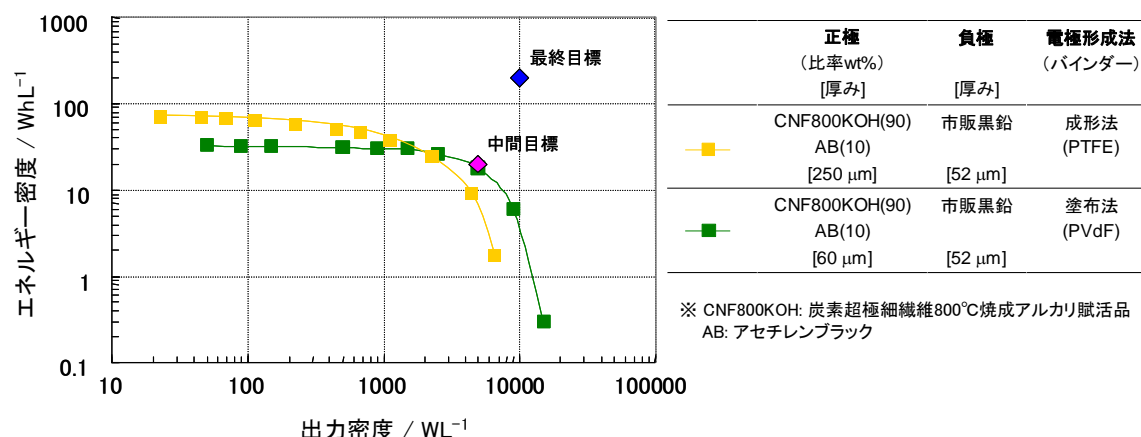


図 2.3.2.2-24 ラゴンプロット

そこで、電極のプレスによる薄葉化・高密度化を検討した。プレス方法としては、油圧プレス法とロールプレス法を検討した。油圧プレス法は、油圧により垂直方向の圧縮するプレス方式である。この方法では、電極の高密度化は達成できるが、薄葉化は困難であることが確認された。一方、ロールプレス法は、回転するローラーにサンプルを挟み込むことによって、プレスする方式である。この方法では、ローラーによる加圧によって電極密度を上昇させることができ、更に、ローラーのせん断によってサンプルを引き伸ばし、薄葉化も可能であることが確認された。このロールプレス法によって作製した電極のラゴンプロットを図 2.3.2.2-25 に示す。

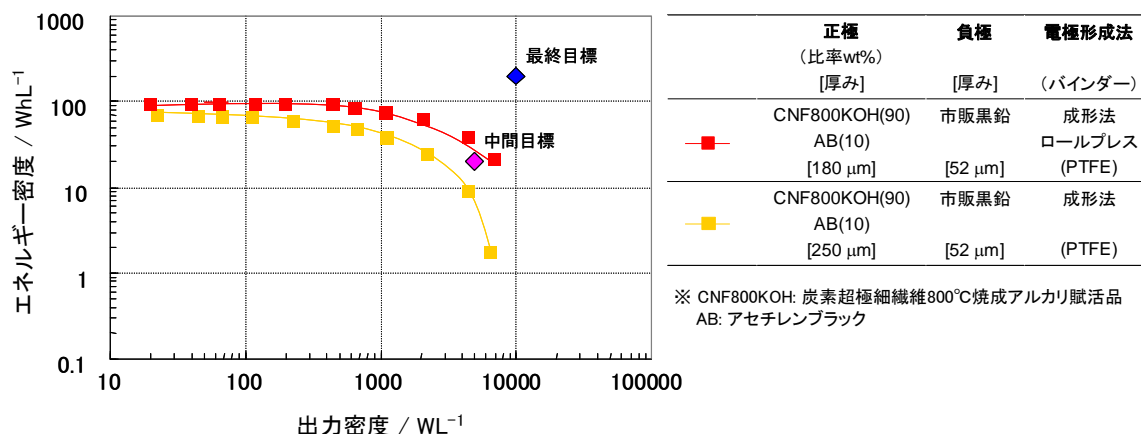


図 2.3.2.2-25 ラゴンプロット

電極密度の上昇によりエネルギー密度が上昇し、更に電極の薄葉化によって高出力領域でも高いエネルギー密度を保持することができることが確認され、ロールプレス法による電極高密度化が有効であることが確認された。

更に、この方法に加えて、賦活化炭素超極細繊維と賦活化した易黒鉛化性炭素の粉碎品との混合電極を用いる方法、および負極に黒鉛化炭素超極細繊維からなる電極を用いる方法を組み合わせることによって、より高性能な電池を作製できるか検討を行なったところ、図 2.3.2.2-26 に示すような、より高エネルギー密度で高出力な電池を作製できることが確認された。

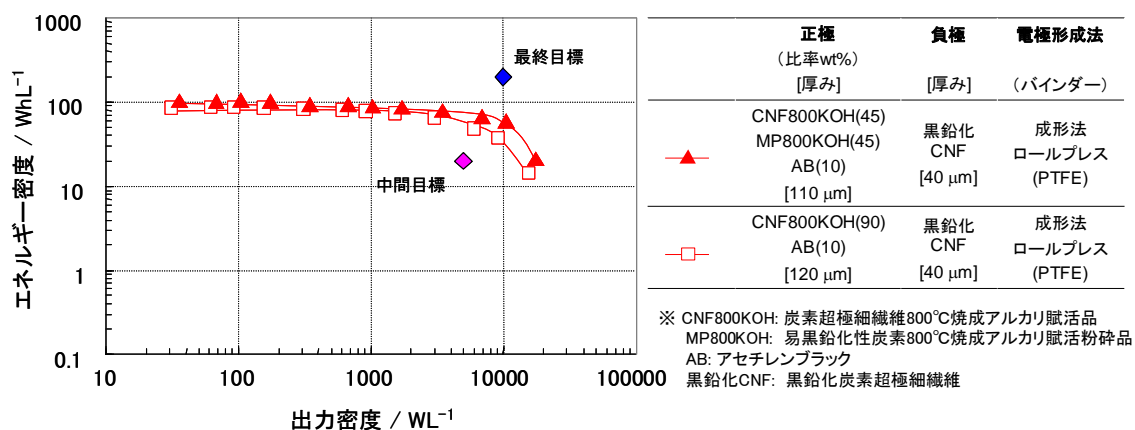


図 2.3.2.2-26 ラゴンプロット

[成果の意義]

- ・ 市場創出効果 (市場拡大、創造)
低コスト化により、キャパシタ市場拡大
- ・ 技術の新規性
全く新しいコンセプトの超高性能ハイブリッドキャパシタ
- ・ 技術領域開拓への期待

各種応用が期待される、新規炭素材料の開発

・ 技術の汎用性

回生エネルギーデバイス、自然エネルギー発電貯蔵用、
バックアップ電源など様々な応用が可能

・ 競合技術と比較しての優位性

従来電気二重層キャパシタ対比：高エネルギー密度

Li イオン電池対比： 高出力密度

[成果の発表]

特許出願 (3 件)

- ・ 超微細炭素繊維の製造方法 (特願 2008-172170)
- ・ 電気二重層キャパシタ用導電助剤及び電気二重層キャパシタ (特願 2009-094735)
- ・ 電極材料、その製造方法、およびその電極材料を用いた電気化学キャパシタ
(特願 2009-268834)

学会発表 (3 件)

- ・ 第 36 回炭素材料学会年会 2009/12/1～3
- ・ 第 37 回炭素材料学会年会 2010/12/1～3
- ・ 電気化学会第 78 回大会 2011/3/29～31

2. 3. 3 薄型電池の開発

2. 3. 3. 1 目標の達成度

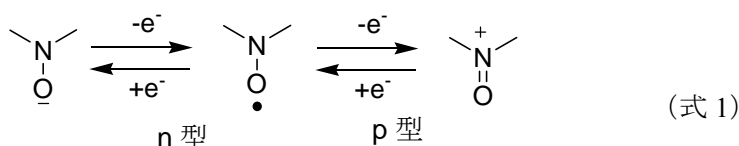
本研究開発では、有機ラジカル電池をコア技術とし、共通基盤技術「ナノ溶融分散紡糸法による炭素超極細繊維製造技術の開発」にて開発される炭素超極細繊維を電極材料（導電付与剤）に応用することにより、高いパワー密度とエネルギー密度を兼ね備えた薄型電池の開発を目指した。IC カードなどの小型/薄型ユビキタスデバイスへの応用を想定しており、これらアプリケーションに内蔵可能な薄さで、かつ短時間で充電が可能である薄型電池を開発ターゲットとした。目標値は開発する薄型電池の特性として厚さ 0.2 mm、パワー密度 10 kW/L、エネルギー密度 100 Wh/L である。本研究開発では、期間中に厚さ 0.15 mm、パワー密度 12.3 kW/L、エネルギー密度 116 Wh/L の薄型電池を開発し、最終目標を達成した。

検討項目	成果	最終目標に対する達成度	最終目標	解決技術
厚さ	0.15 mm		0.2 mm	電極の圧縮による薄型化
パワー密度	12.3 kW/L		10 kW/L	炭素超極細繊維の細繊維化および新構造（綿花構造）により、パワー密度向上
エネルギー密度	116 Wh/L		100 Wh/L	炭素超極細繊維の細繊維化および新構造によりラジカル使用効率の向上、および電極圧縮によりエネルギー密度向上

2. 3. 3. 2 研究開発実績

[研究開発の背景]

有機ラジカル電池は、2001 年に日本電気から提案された新しい二次電池であり、有機ラジカル化合物の酸化還元を充放電反応に応用している。日本電気では、主にニトロキシドラジカルを有するラジカル材料を正極活物質に適用し、有機ラジカル電池の開発を進めてきた。式 1 にニトロキシドラジカルの p 型および n 型の酸化還元反応を示す。現在、有機ラジカル電池では安定に繰り返すことができる p 型の酸化還元反応を充放電に用いている。電極活物質に重金属を用いないために従来の二次電池に比べて環境にやさしい電池である。



式 1 ニトロキシドラジカルの酸化還元

ラジカルポリマーは電子伝導性に乏しいため、二次電池の電極活物質として用いるには導電付与剤を添加し、ラジカルポリマーと複合化する必要がある。ここで、導電性が高く、かつ表面積の大きな炭素超極細繊維を導電付与剤に利用することにより、電極内の電荷移動抵抗が小さくなる。この結果、充放電に関与できるラジカルサイトの割合がより大きくなるため電池のエネルギー密度が高くなる。また、大きな電流での放電が可能になること

も期待できる。

これまでに開発した薄型有機ラジカル電池は、パワー密度約 2 kW/L、エネルギー密度約 25 Wh/L を持つ。炭素超極細繊維の使用は、目標とする薄型電池を得るために有効な手段である。

[検討項目とその説明]

炭素超極細繊維は、繊維径が小さいため大きな比表面積をもち、繊維長のコントロールも可能である。比表面積の大きな炭素超極細繊維の電極への適用により、電極抵抗の低減、ラジカル利用率の向上が期待できる。また、結晶化度などのコントロールにより高い電子伝導性の発現も期待できる。これらは薄型電池のパワー密度およびエネルギー密度の向上に効果がある。そのほかにも、適度の長さの炭素繊維を電極中に張り巡らしネットワークを形成することや、ラジカル材料とのぬれ性が高くなるように炭素繊維の表面状態を改良することで、電極自体の強度や長期の安定性が高くなることも期待している。炭素超極細繊維の最適化項目を図 2.3.3-1 に図示する。

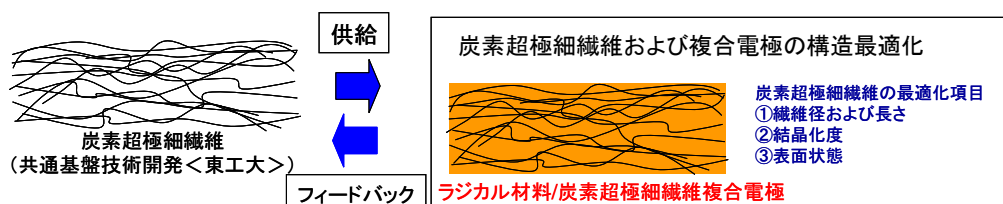


図2.3.3-1 炭素超極細繊維の最適化

本研究では、課題解決のために研究項目を下記の3つに分け、それぞれの項目を日本電気、DIC、住友精化で分担した(図2.3.3-2)。また、各研究項目の一部は各社より早稲田大学へ研究委託した。

- [1] 複合電極の開発および薄型電池作製技術 (主担当: 日本電気)
- [2] 複合電極作製プロセスの開発 (主担当: DIC)
- [3] 新有機ラジカル材料の開発/複合化 (主担当: 住友精化)

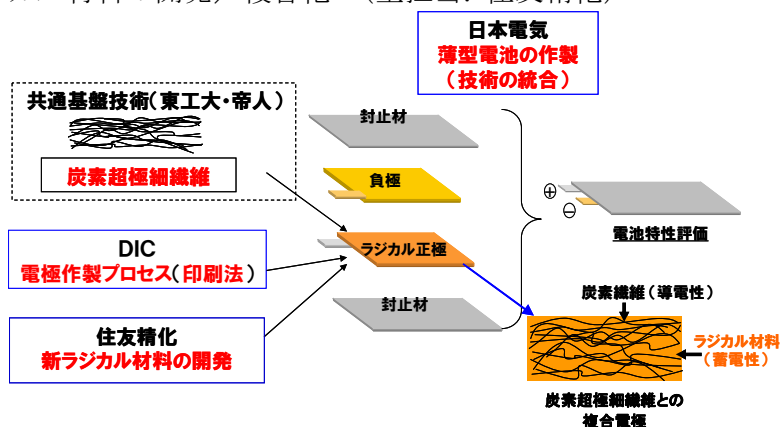


図2.3.3-2 本研究開発における各社の研究分担

[研究成果]

本研究により、厚さ 0.15 mm、パワー密度 12.3 kW/L、エネルギー密度 116 Wh/L の薄型電池を開発した。

[1] 複合電極の開発および薄型電池作製技術（主担当：日本電気）

[1-1] 炭素超極細繊維複合電極の開発

炭素超極細繊維は、導電性が高く、かつ大きな表面積を持つ。炭素超極細繊維を導電付与剤として利用することにより、ポリマー中において充放電に関与するラジカルサイトの割合が高くなり、さらに放電できる電流が大きくなることが期待できる。本研究項目では、高いパワー密度とエネルギー密度を持つ有機ラジカル電池を得るために、これに適した炭素超極細繊維、およびこれを用いたラジカル材料との複合電極を開発した。

(1) 炭素超極細繊維と複合電極の特性

従来、導電付与剤として用いていた市販炭素繊維は、気相成長炭素繊維（VGCF）と呼ばれるもので平均繊維径 150 nm、平均繊維長 10 m であり、 $0.016 \Omega \cdot \text{cm}$ の体積抵抗を持つ。SEM 写真を図 2.3.3-3 に示す。直線状の繊維であるが分岐構造を多くもっている。

研究開発初年度（H18 年度）に開発された炭素超極細繊維の平均繊維径は 300 nm であり、市販炭素繊維の約 2 倍の太さであった。また、炭素繊維どうしが凝集した構造（バンドル構造）をもっていた（図 2.3.3-4（左））。H19 年度以降は、共通基盤技術 Gr の炭素繊維の作製法改良により、バンドル構造の解消された炭素超極細繊維が提供された（図 2.3.3-4（右））。平成 19 年度に開発された炭素超極細繊維の繊維径は 280 nm であり、市販炭素繊維の 2 倍程度であった。平成 20 年度以降は細繊維化が進み、最も細い径のもので平均繊維径 107 nm の炭素超極細繊維が開発された。また、平成 21 年度には従来の直線状の炭素繊維に加え、豊翳状、綿花状の新規構造の炭素超極細繊維が開発された。豊翳状、綿花状の炭素超極細繊維は、炭素繊維間で接点を有しており（図 2.3.3-5：概念図）、電極の低抵抗化が期待でき、また開繊処理のプロセスが省けるために低コスト化に繋がる、という利点を持つ。

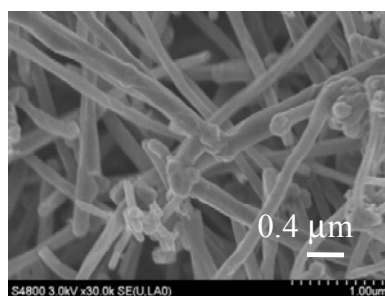


図 2.3.3-3 VGCF の SEM 写真

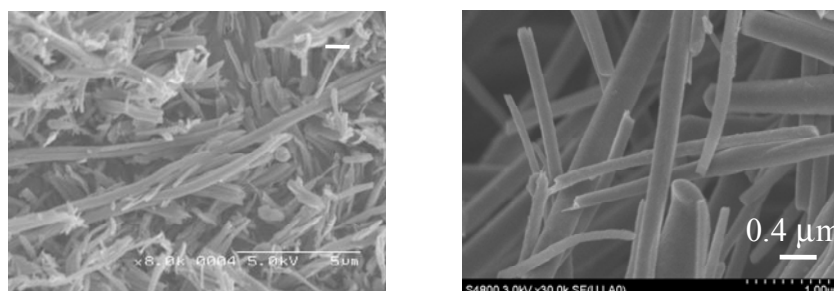


図 2.3.3-4 炭素超極細繊維の SEM 写真（左）H18 年度開発品、（右）H19 年度開発品

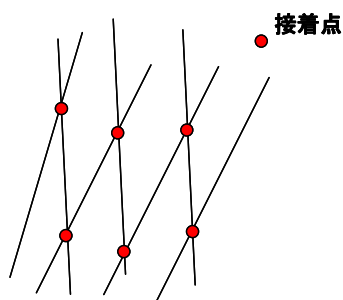


図 2.3.3-5 畳罫状、綿花状の炭素超極細繊維のミクロ構造概念図

H18 年度、H19 年度に開発された炭素超極細繊維は繊維径が大きく、また炭素材料としても抵抗が大きいため、本来の目的である導電付与剤としてはほぼ機能しなかった。しかしながら、気相成長炭素繊維を用いた場合に比べ、得られる電極におけるそりやひび割れが少なくなり、また平坦性が高い電極が得られることが見出された（図 2.3.3-6）。



図 2.3.3-6 ラジカルポリマー/炭素繊維複合電極
（左）VGCF 使用電極、（右）H19 年度開発炭素超極細繊維使用電極

H22 年度は綿花構造を持ち、かつ繊維径 130 nm 以下に細繊維が進んだ CNF#14、CNF#15、CNF#16、CNF#18 を評価した。評価に用いた薄型有機ラジカル電池は、電極面積 10.56 cm^2 の 2 層積層アルミラミネート電池であり、負極活物質にはリチウムイオンをプレドーブした人造黒鉛を用いた。成形したラジカル正極と負極とをポリオレフィンセパレータを介して対峙させ、電解液を含浸させた後に真空封止して薄型電池を完成させた。実験に用いた電解液は、支持塩として 1M の LiPF_6 を含むエチレンカーボネート (EC) とジエチルカーボネート (DEC) の混合溶媒 [EC/DEC=3/7] である。満充電状態からパルス放電 (1 秒) にて出力特性 (20°C) を評価した。電流を 50 mA 刻みで 500 mA まで向上させながら放電 1 秒後の電圧をモニターしたところ、電流と電圧値は直線関係となった (図 2.3.3-7)。直流抵抗と最大出力を求めたところ、CNF#14 が 1.39Ω (2.44 W)、CNF#15 が 1.39Ω (2.45 W)、CNF#16 が 1.26Ω (2.71 W)、CNF#18 が 1.65Ω (2.06 W) となった。電極積層体 (正極、負極、セパレータ) あたりのパワー密度は、それぞれ 9.7、9.8、10.3、8.2 kW/L となった。CNF#16 が最も良好な出力特性を示し、従来用いていた VGCF に比べて 1.6 倍の出力が得られた。

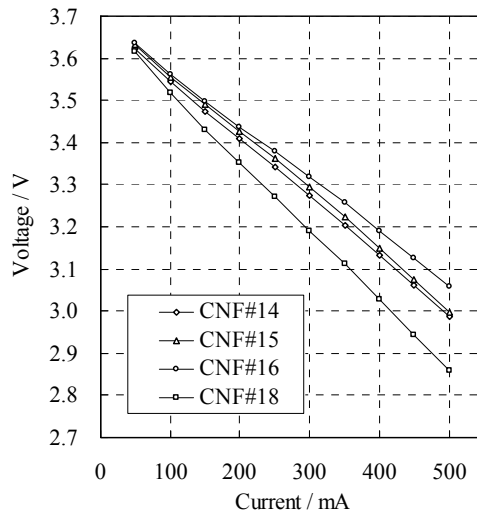


図 2.3.3-7 H22 年度開発炭素超極細繊維(綿花状)を用いた評価セルの電流-電圧特性

[1-2] 薄型電池の作製技術開発

この項目で開発した薄型電池は、研究開発最終目標であるエネルギー密度 100 Wh/L、出力密度 10 kW/L を上回る特性を示した。

表 2.3.3-1 薄型電池の特性

	成果	最終目標
厚さ (mm)	0.15	0.2
パワー密度 (kW/L)	12.3	10
エネルギー密度 (Wh/L)	116	100

以下にその詳細を述べる。

研究項目[1-1]の検討結果から、開発された炭素超極細繊維のなかでCNF#16 (綿花状超極細炭素繊維) が、最も高いパワー密度、エネルギー密度を得られる導電付与剤であると判断した。弱い架橋を有するpoly(4-methacryloyloxy-2,2,6,6-tetramethylpiperidine-*N*-oxyl) (架橋PTMA) を用いた。電極の作製は、メタルマスクを用いた孔版印刷法による電極作製プロセスを用いて行った。電極面積は22 × 24 mm²の片面セルで、電解液としては1.0M-LiPF₆ EC/DEC=3/7を用いた。プレドープ黒鉛負極の厚みとして18、23 μmの2種類を用いた。各セルの20°C-1C(CC-CV [0.1 C], 3.0-3.9 V) における充放電特性を評価した。得られた放電容量、平均動作電圧、最大出力と正極、負極、セパレーターの厚みから、各セルのエネルギー密度、パワー密度を計算した。

その結果、厚み 0.15 mm の薄型電池が得られた。この薄型電池の充放電曲線および電流-電圧および出力曲線を図 2.3.3-8 に示す。得られた薄型電池は電圧平坦性の高い放電曲線を示し、平均電圧 3.53 V、放電容量は 2.6 mAh であった。また、1 秒パルス放電後の電圧を測定することにより得られた最大出力は 500 mA の放電時に 0.96 W であった。これらの値と電池の体積からこの薄型電池のエネルギー密度は 116 Wh/L、出力密度は 12.3 kW/L という値が得られた。この実験結果は、本プロジェクトの最終目標である①厚み 0.2 mm、②エネルギー密度 100 Wh/L 以上、③出力密度 10 kW/L 以上 を満たす値であった。

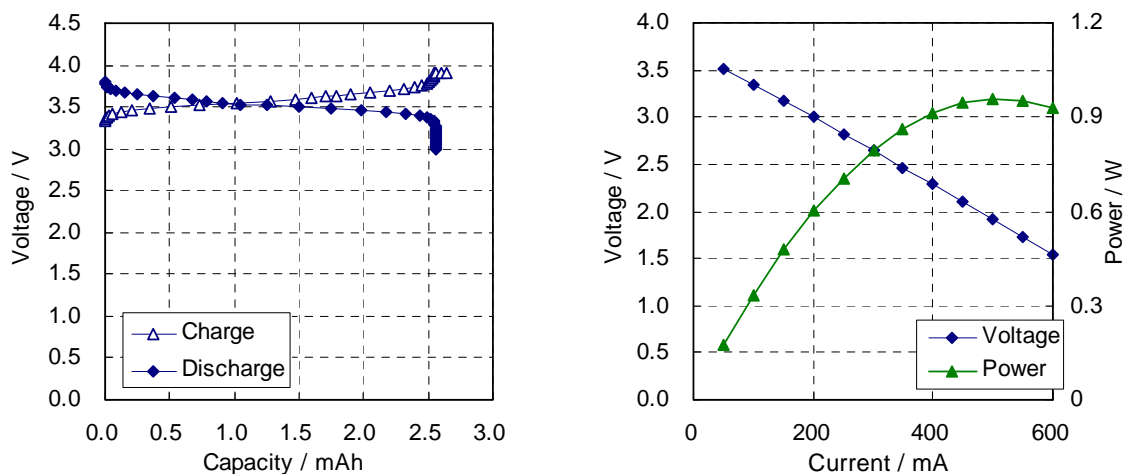


図 2.3.3-8 薄型セル（厚さ 0.15 mm）の充放電曲線(左)および電流－電圧、出力曲線（右）

・薄型電池の応用試作

カード型基板上に開発した薄型電池と LED フラッシュ（消費電力 2.5 W（消費電流 1 A）によりパルス発光（100 ms））を組み合わせることで小型高輝度光源を試作した（図 2.3.3-9）。薄型電池により、高輝度光源は連続でパルス発光をすることができた。薄型電池が高出デバイスの電源になり得ることを示した。

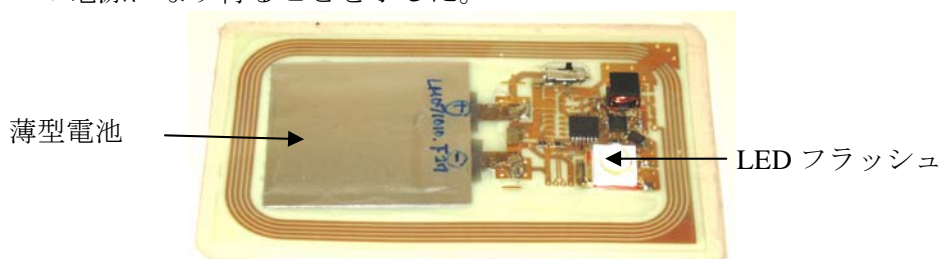


図 2.3.3-9 薄型電池と LED フラッシュを組み合わせたカード型高輝度光源

[1-3] 高容量ラジカルポリマーの合成と複合電極の電気化学解析（早稲田大学に再委託）

・ポリ（ガルビノキシルスチレン）の合成

これまで有機ラジカル電池のラジカル種としてはニトロキシドラジカル（NO \cdot ）のみが検討されてきたが、新しいラジカル種としてガルビノキシル構造を持つラジカルポリマー **1**（図 2.3.3-10）を合成し、電極材料として評価した。ラジカルポリマー **1** は n 型の酸化還元（式 2）を行うことができる。n 型の酸化還元を行うラジカル種を電極活物質に用いた場合、充放電反応に伴うリチウムイオンの動きは正極と負極を往復する形態（いわゆるロッキングチェア型）となる。この場合、少量の電解液で電池が動作する可能性があり、電解液量が少ない分、エネルギー密度の向上が期待できる。

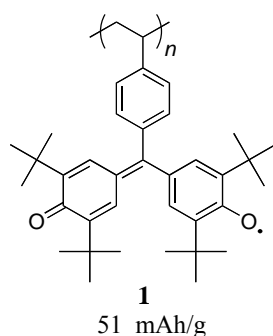


図 2.3.3-10
ラジカルポリマー1

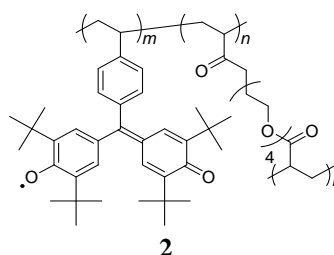
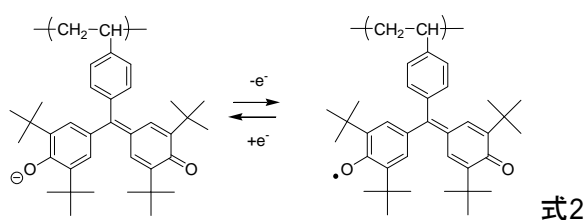


図 2.3.3-11
ラジカルポリマー



ラジカルポリマー1はカーボネート系電解液へ可溶性であった。電極活物質として用いるためには不溶性である必要がある。そこで、二官能性アクリレートモノマーとの共重合により架橋ラジカルポリマー2（図2.3.3-11）として評価した。ラジカルポリマー2を炭素繊維と混合（2/炭素繊維/バインダー=1/8/1）することにより複合電極を作製した。作製した複合電極を正極、リチウムを負極とし、塩基性電解液（0.01 M LiO_tBu含有1 M LiPF₆ DME/PC（2/1））を用いてピーカーセルおよびコインセル評価を行った。複合電極のサイクリックボルタモグラムでは3.15 V(Li/Li⁺)に安定な酸化還元を確認した（図2.3.3-12）。コインセル評価においても3.15 V(Li/Li⁺)にプラトー電位を示した。また、サイクル試験では初期に容量低下は見られるものの100サイクルの充放電が可能であることを確認した（図2.3.3-13）。

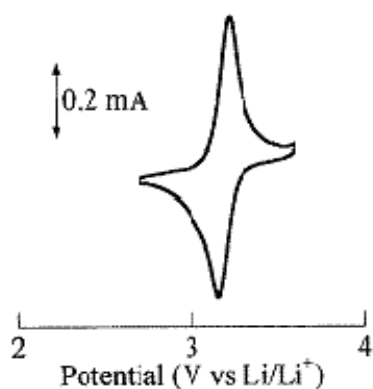


図 2.3.3-12 2/炭素複合電極の CV

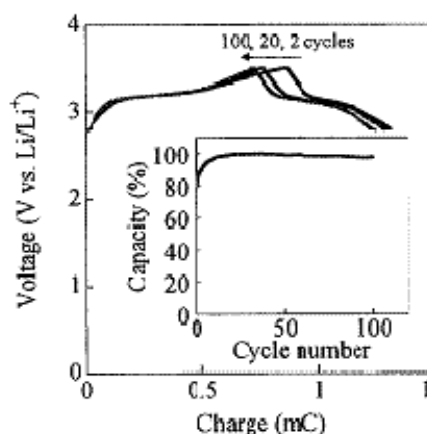


図 2.3.3-13 コインセル（正極；2/炭素複合電極、負極；Li）の充放電サイクル特性

1の速い充放電特性を調べるため、架橋・不溶化したポリ(ガルビノキシルスチレン)/炭

素複合電極を用いて充電、放電レート特性を明らかにするとともに、不溶膜を与える架橋条件について詳細に明らかにした。

作用極に *n* 型ラジカルポリマー**2** (架橋剤 10 % 添加) / 炭素複合電極、参照極に銀/塩化銀、対極に表面積が大きく低抵抗な白金メッシュ電極、1 M (C₄H₉)NClO₄/0.01 M Li⁺OBU/アセトニトリル塩基性電解液を用いた半電池セルにて負極抵抗を抑制し、ガルビノキシルラジカル³の出力特性を評価した。

カットオフ電圧 -0.4 - 0.6 V、充電電流密度一定 (10 C = 0.045 mA/cm²)、放電電流レートを 5 - 800 C (= 0.02.3.3.6 mA/cm²) に変化させて充放電測定を行った。放電電流レート 5 - 80 C では、電位降下・容量低下なく 0.2 V にプラトー電位が現れ、充電容量 40 mAh/g (理論容量の 80 %) に対して定量的な放電容量を示した (図 2.3.3-14(a))。放電電流レート 80 - 800 C でも容量低下は少なく (800 C でプラトー電位 0 V 付近)、約 80 % (= 31 mAh/g) の放電容量を示した (図 2.3.3-14(b))。

放電電流レート 5 - 480 C で充電後、一定電流値で放電することで各充電電流密度に対する放電容量を求めた (図 2.3.3-15)。充電電流レートを 5 - 480 C まで増加させると緩やかな電位上昇をとめない容量が減少した (図 2.3.3-15(a))。その後の各放電容量も充電電流密度とともに徐々に減少し、480 C では 5 C 放電時の 52 % 程度であった。以上より充放電ともに比較的良好なレート特性を示し、ガルビノキシルラジカルポリマーを用いた有機ラジカル電池で出力特性が期待できることを明らかにした。

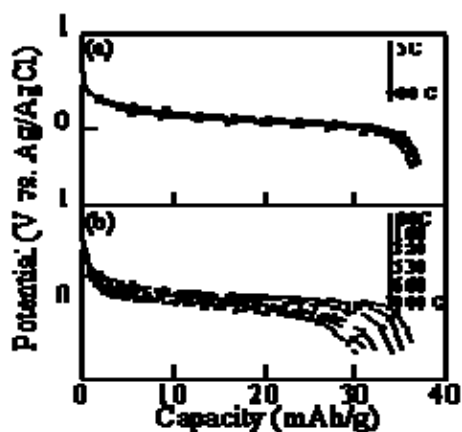


図 2.3.3-14 放電電流を変化させたときの放電カーブ (a) 5 - 80 C レート (b) 80 - 800 C レート (WE: 2/炭素複合電極, CE: Ag/AgCl, RE: Pt-mesh in CH₃CN with 1 M TBAClO₄ and 0.01 M LiOBU).

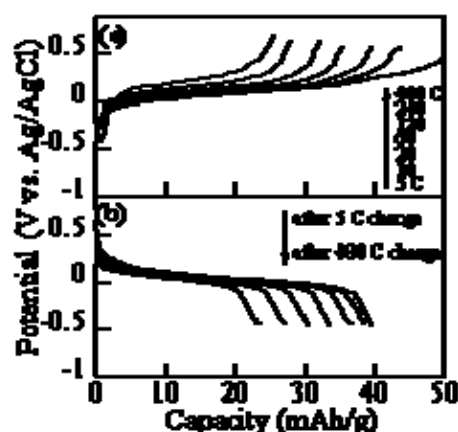
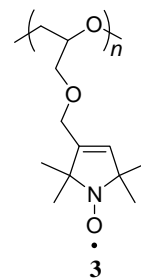


図 2.3.3-15 (a) 充電電流を変化させたときの充電カーブ 5 - 480 C レート、(b) 5 - 480 C レート充電後の放電カーブ

・ PROXYL を側鎖に置換したラジカルポリマーの合成

溶媒親和性および導電付与剤との相容性の向上が期待されるポリエーテル骨格を主鎖に、代表的な安定有機ラジカルである PROXYL を側鎖に置換したラジカルポリマー**3** (図 2.3.3-16) を合成し、レドックス特性と試作セルでの安定な充放電挙動を明らかにした。

ZnEt₂ / H₂O を開始剤とした配位アニオン重合により得られた分子量 40 万程度のラジカルポリマー**3** (*t*-BuOK 開始のアニオン



118 mAh/g

図 2.3.3-16 ラジカルポリマー

重合では分子量 3000程度)は、クロロホルムに一部可溶、エーテル、ヘキサン、PCに不溶であった。SQUID磁化測定より、得られたポリマーのラジカル濃度は約100%であり、副反応なく配位アニオン重合が進行することが分かった。

3/気相成長炭素繊維/PVdF = 1/8/1の重量比で炭素複合電極を作製した。不活性雰囲気下、複合電極を正極とし、セパレーター、リチウム負極を重ね、1 M LiPF₆ EC/DEC (1/1) 溶液を電解液に用いて、コイン型電池を作製した。電位掃引範囲3.2~4.5 Vでのサイクリックボルタモグラムでは、3.66 Vにプロキシルラジカルのp型レドックス由来の酸化還元波が現れ、繰り返し掃引しても安定であった(図2.3.3-17 Inset)。4.4 V付近の小さい酸化還元ピークは、電解液の分解に由来すると考えられる。定電流0.1 mAでの充放電曲線では、3.63 Vにプラトー電位が現れ、100サイクル後も顕著な容量低下は見られず安定な充放電挙動を示した(図2.3.3-17、 図2.3.3-18)。

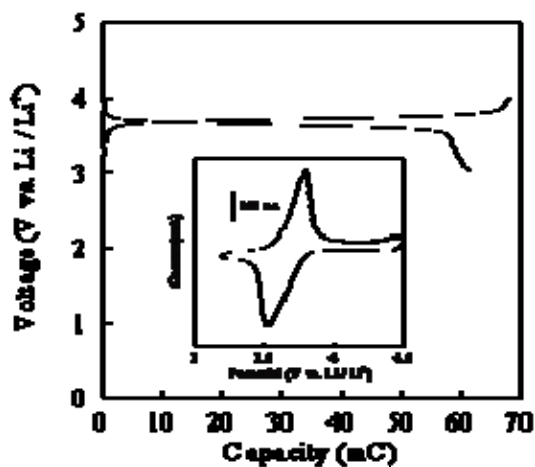


図 2.3.3-17 5/炭素複合電極を用いて作製したコインセルの充放電カーブとマルチサイクリックボルタムグラム(Inset; rate=1 mV/s).

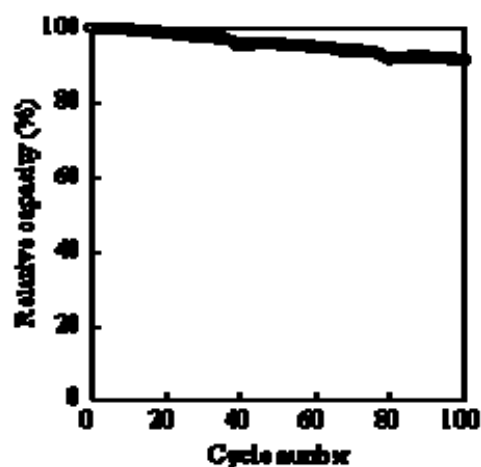


図 2.3.3-18 5/炭素複合電極を用いて作製したコインセルの充放電サイクル

[2] 複合電極作製プロセスの開発 (主担当: DIC)

[2-1] 電極作製のための印刷技術及びインキの開発

(1) インキ組成最適化検討

- ・超極細炭素繊維複合電極の作製法の検討

平成 18 年度に、厚膜複合電極作製の簡易印刷法としてメタルマスクを用いた孔版印刷法が適していることを見出した。

- ・水系インキにおける複合電極の作製法

平成 19 年度、水をインキ分散媒として用いた電極作製法において、ラジカル導入率 70 %、ラジカル利用率 75 % 以上の実現に向けた検討 (H19 年度目標) を行った。水分散媒中のラジカルポリマー粒径を、分散度合いを変えることにより変化させ、電池容量が向上するラジカルポリマー粒径範囲を見出した。また、電池容量に大きく影響すると考えられる電極の平面性及び電極のみかけ密度を、電極塗膜をプレスすることにより向上させる方法を確立した。これらの結果、ラジカル導入率 70 % において、充電時のラジカル最大利用率 91 %、放電時のラジカル最大利用率 85 % を実現した。

- ・NMP 系インキにおける複合電極の作製法

NMP をインキ溶媒に用いた電極作製法では、ラジカル導入率が高い場合に電極のそりやひび割れが起りやすい。これは塗工後の加熱により NMP を揮発させる段階で、ラジカルポリマー膜が収縮するからと考えられる。このため、炭素繊維として VGCF を用いたこれまでの場合ではラジカル導入率 50 % 以上の電極を作製できなかった。そこで、NMP を用いた電極作製法において、反りやひび割れのない高ラジカル導入率の電極の作製条件を見出すことが課題となっていた。本研究開発では、NMP を溶媒として用い共通基盤技術開発グループの超極細炭素繊維に対する分散条件を検討し、従来法では分散できなかった超極細炭素繊維に対する新しい分散法を確立した。この結果、ラジカル導入率 70 % でもそりやひび割れのない平坦性の高い電極が得られることを見出した。



- ・CNF (ラジカルポリマー導入率 60 %) の複合電極塗膜。70 % においても同様の塗膜が作製できる。

- ・VGCF (ラジカルポリマー導入率 60 %) の複合電極塗膜。塗膜のひび割れと極端なカールが発生し、電極として使用不可。

図 2.3.3-19

CNF を用いた複合電極塗膜 (左) と
VGCF を用いた複合電極塗膜 (右)

- ・平成 20 年度から、基盤 CNF の細繊維化処理が促進され、細繊維化に伴いラジカル電池の直流抵抗が低減することを確認した。

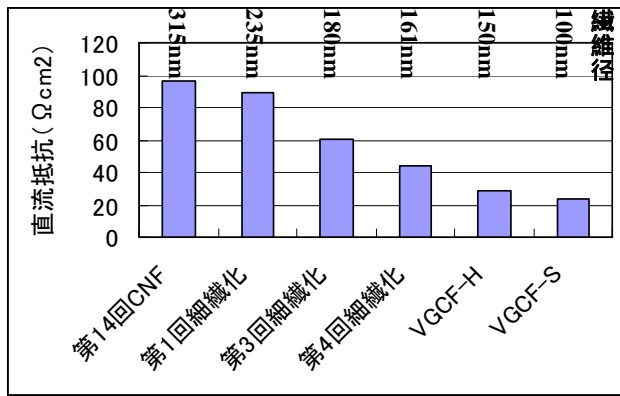


図 2.3.3-20 CNF 繊維径と直流抵抗値

- ・ 共通基盤技術開発が作製した構造改良 CNF（畳鯛状、綿花状）（図 2.3.3-21）を用いてインキ化、複合電極作製、日本電気殿にて電池評価を行い、直流抵抗の低減を確認した。（パワー特性向上）

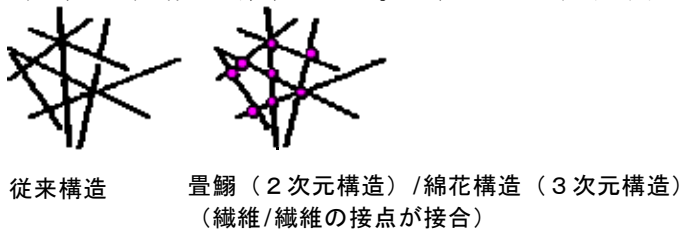


図 2.3.3-21 CNF 新構造モデル

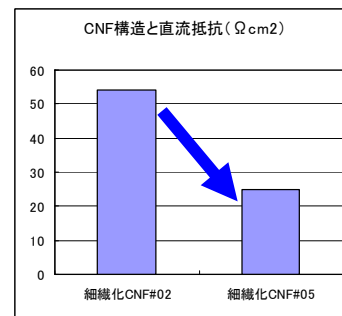


図 2.3.3-22 CNF 構造と直流抵抗 (Ωcm2)

表 2.3.3-2 CNF 構造と直流抵抗

CNFの種類	構造改良	繊維径 (μm)	直流抵抗 (Ω cm²)
細繊維化CNF#02	—	227	54
細繊維化CNF#05	畳鯛	227	25

- ・ インキ組成最適化検討

平成 21 年度は、引き続き共通基盤技術開発が作製した構造改良 CNF（畳鯛状、綿花状）細繊維化品を用いてインキ化、複合電極を作製し、日本電気殿にて電池評価を行い、パワー特性（直流抵抗）の向上を確認した。

表 2.3.3-3 細繊維化 CNF 構造改良品の特性

CNF名称	繊維構造	繊維径 [nm]	導電率 [S・cm²/g]	直流抵抗 [Ω]	パワー密度 [Kw/L]
#12	畳鯛状	119	41	2.8	4.5
#13	綿花状	107	71	1.7	7.8

綿花状 CNF (#13) が畳鯛状 CNF (#12) に比べて、パワー密度が高い。また導電率は CNF (#13) が高かった。この結果今後 CNF は綿花状構造を持つものに絞って、改良試作・評価を行うこととなった。一方 CNF は市販の炭素繊維に比べて嵩密度が低く、少量でも見か

けの体積が大きい。そこで平成 22 年度に基盤技術開発にて嵩密度向上のため CNF に圧縮処理を施した。処理サンプル#14、#15、#16、#18 を評価した。

表 2.3.3-4 細繊維化 CNF 嵩密度向上処理品の性能

CNF 名称	繊維構造	圧縮処理	嵩密度 [g/cm ³]	繊維径 [μm]	導電率 [S·cm ² /g]	直流抵抗 [Ω]	パワー密度 [Kw/L]
#13	綿花	原型(未処理)	0.003	107	71	1.7	7.8
#14	綿花	押込み荷重負荷	0.016	128	38	1.5	8.9
#15	綿花	含水処理	0.004(含水前)	110	37	1.4	9.9
#16	綿花	押込み荷重負荷	0.015	122	35	1.3	10.3
#18	綿花	押込み荷重負荷	0.014	103	25	1.8	7.6

評価の結果、パワー特性を保ちつつ、嵩密度が大きくなり体積低減できたことが確認できた。#16 に近い物性値を持つ CNF で高いパワー特性が得られ、今後は#16 を CNF の標準品とすることにした。

・複合電極インキ化のプロセスを更に改善することによりパワー特性を向上させた。特に I-V 特性が向上し、80 mA/cm² において 2 V を超えるものができるようになった。

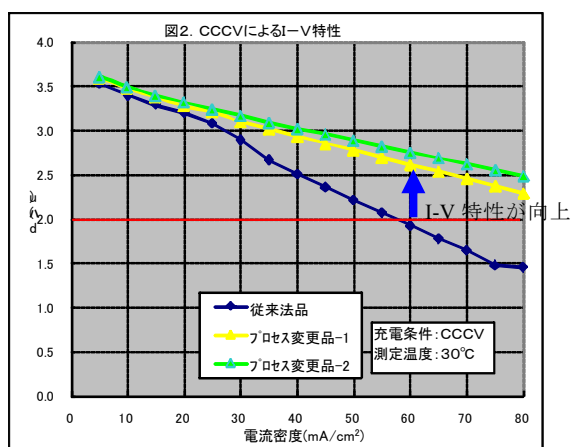


図 2.3.3-23 I-V 特性の向上

(2) 二層複合電極の検討

平成 19 年度、複合電極/集電体界面の接触抵抗や複合電極の内部抵抗を低減することを目的に、ラジカルポリマー/超極細炭素繊維複合電極とアルミ集電体の間に薄膜の導電補助層を設ける検討を行った。図 2.3.3-24 に示す二層複合電極構造を形成した。



図 2.3.3-24 従来電極 (単層複合電極) (左)、二層複合電極 (右)

二層複合電極構造における電子移動過程をインピーダンス測定にて解析した。電荷移動抵抗は単層複合電極構造の場合、250 Ω (Z'; 50~300 Ω の半円) を示したが、二層複合電極構造とすることで 80 Ω (Z'; 50~130 Ω の半円に) に減少し、インピーダンスの低下を示した。これは、電極層全体の抵抗が低下したことを示し、二層複合電極構造を用いて二次電池を形成した場合、レート特性が向上すると推測される。

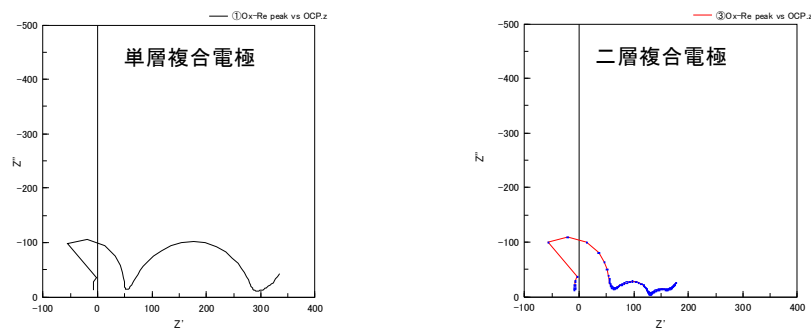


図 2.3.3-25 複合電極インピーダンス測定
(コールコールプロット)

図 2.3.3-26 に、導電補助層を設けた二層複合電極と従来の単層複合電極を用いて構成した試作電池のレート特性を示した。二層複合電極とすることで、高放電電流時の容量の減少が従来電極に比べ低減され高出力化に有効な技術であることが確認できた。

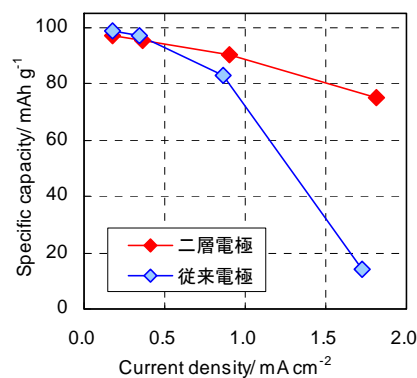


図 2.3.3-26
二層複合電極と従来電極（単層複合電極）のレート特性
(測定：日本電気殿)

(3) 印刷法検討

平成 18 年度～19 年度にかけて、複合電極印刷に適した印刷プロセスとして、グラビア印刷法、オフセットグラビア印刷法、反転印刷法、インクジェット法、ダイコート法、スクリーン印刷法、ロータリースクリーン印刷法等を検討した。厚膜複合電極作製の量産印刷法としてロータリースクリーン印刷法が適していることを見出した。更に、多層複合電極における導電補助層に適した薄膜印刷法としてグラビア印刷法を選定した。

(4) 複合電極以外の電池部材の印刷化検討

平成 22 年度は、ラジカル電池をオール印刷工程で製造可能とするため、これまで行なってきた複合電極以外の電池部材の印刷化の検討を行った。

・ グラファイト負極の印刷安定化の検討

まずグラファイトを負極主材としてインキ化した。これを銅箔上に印刷し負極を作製した。印刷された負極を用いて 4 個の同一仕様コインセルを作製し、充放電特性の安定性を評価した。その結果、安定した充放電特性が得られることが確認できた。図 2.3.3-27 に試作負極によるコインセルのレート特性を、図 2.3.3-28 に V-I 特性を示す。

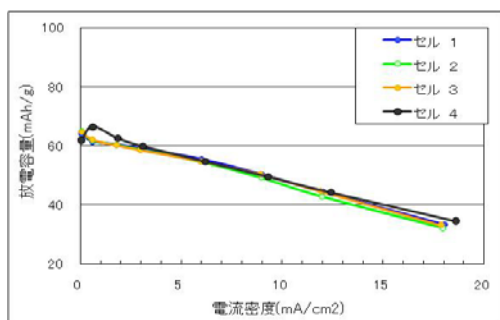


図 2.3.3-27
試作負極によるレート特性

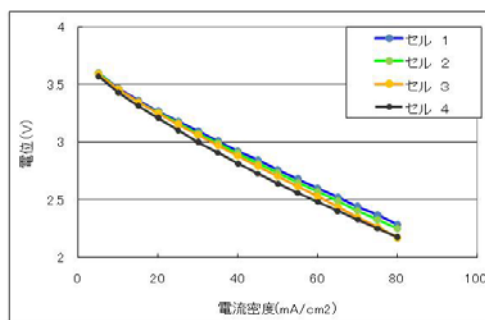


図 2.3.3-28
試作負極による V-I 特性

4つのセルの放電特性カーブがほぼ重なり、充放電特性における再現性の良い負極が作製できることを確認した。

課題として以下の項目が抽出された。

- ・初期容量が 65 mAh/g 程度と低い。75～80 レベルに向上させたい。
- ・印刷された負極膜厚の誤差が± 5 %程度ある。
- ・量産印刷法の検討

- ・外装材接着シール剤の選定

電池用シール剤の選定を行い外装材一体型薄型電池を形成させる。電池用のシール剤の要求特性として、接着性、シール性、耐電解液性および絶縁性が必須の特性である。耐薬品性および絶縁性の高いと言われる液状ポリプロピレン (PP) 接着剤を選定しシール適性を評価することとした。電解液溶剤への溶解性、及び接着性においては標準品に順ずる結果であり、実用レベルを有すると考えられる。

シール剤の候補が得られたため、これを用いて図 2.3.3-29 に示す構成の外装材—集電体一体型のラジカル電池を試作した。このモデル電池では、厚みを薄くさせるために集電体である金属箔に外装材として PET を貼合した外装材—集電体一体化したものを正・負極用基材として用いた。正極のアルミ箔に複合電極インキを印刷、銅箔に負極インキを印刷し、セパレーターを正・負極間に配置し、正・負極集電体を活物質の印刷されていない金属箔面で直接接着させた。この接着には上記液状ポリオレフィン系接着剤を使用した。

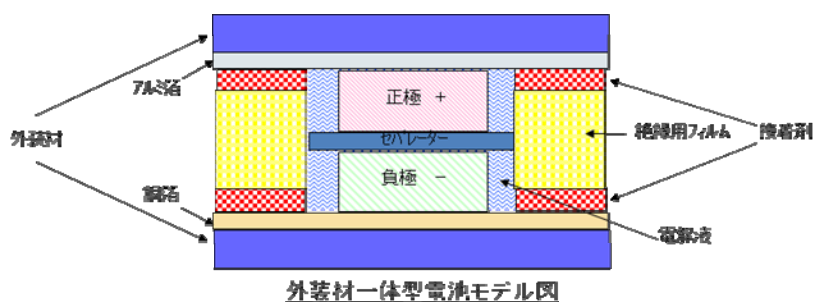


図 2.3.3-29 外装体集電体一体型のラジカル電池モデル図

電池の総厚みは 293 μm で、これはカード搭載を考慮した場合の許容厚みの 300 μm 以下である。また電池活物質+セパレーター部の厚みは 145 μm であり、これはプロジェクト目標値の 200 μm 以下であり目標を達成した厚みである。試作した電池サンプルを NEC 殿に送付した。NEC 殿により電解液を注入し、最終シールを実施後、電池特性を評価した。評価の結果、初期放電容量が得られたことを確認した。

しかし2回目以降の放電容量が大幅に低減した。また封止部が開封した。電池用途に開発された集電体を有する基材を入手したので、これに再度ポリオレフィン系接着剤を用いて接着させシール性評価を行い電池要求特性の確認を行う予定。

[2-2]インキ量産化技術の確立

平成21年度は、複合電極インキの量産化検討のため、7kgスケールで複合電極インキの量産試作実験を行った。量産試作した複合電極インキの粒径分布が、従来ラボ試作インキと同等レベルであることを確認した。(図2.3.3.1-30)。

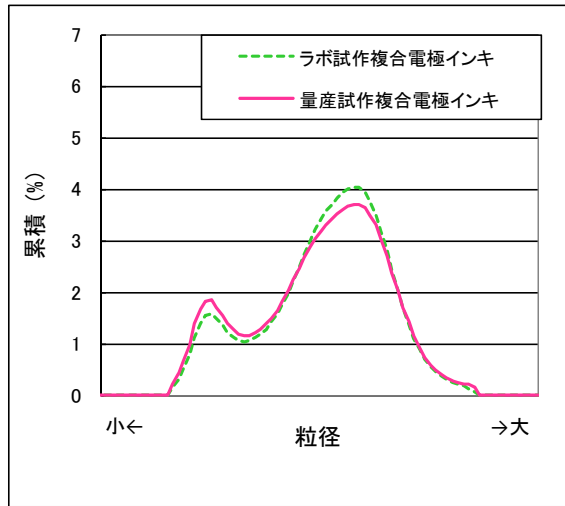


図 2.3.3-30 量産試作インキの粒径分布

次に量産試作した複合電極インキをアルミ集電体上に印刷し、SEMで観察した。

	ラボ試作複合電極	量産試作複合電極
SEM画像		

図 2.3.3-31 量産試作複合電極のSEM画像

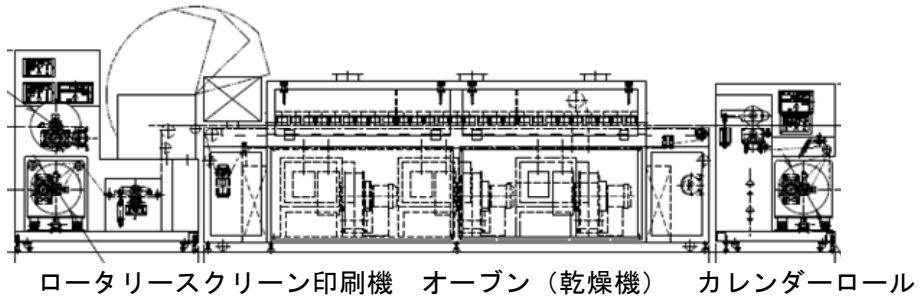
SEM画像を観察すると、量産試作品はラジカルポリマー及び繊維カーボンともに、良好な分散性が付与できていると判断できる。以上の実験結果から複合電極インキの量産化の目処がたった。

[2-3]電極量産化に対応する印刷法の最適化

平成19年度に複合電極の量産印刷機として選択したロータリースクリーン印刷機(図2.3.3-32)の仕様(表2.3.3-5)を決定し、導入した。

表 2.3.3-5 ロータリースクリーン印刷機の概要仕様

	ロータリースクリーン印刷機 + 乾燥機 + カレンダーロール
全長	約 7 m
全幅	約 2m
原紙幅	10インチ (254mm)
乾燥機	遠赤外・熱風循環
速度	5-20m/min (乾燥機能力による)
プレス	最大600kg/cm ² 相当



ロータリースクリーン印刷機



ロータリースクリーン印刷機の版

図 2.3.3-32 導入したロータリースクリーン印刷機

・ロータリースクリーン印刷機による印刷法の最適化—最適インキ物性の把握

まず RS 印刷機に適したインキ物性を把握する検討を行った。次に RS 印刷機による印刷を実施し、印刷適性を評価した。評価の結果、良好に印刷できるインキの物性範囲が把握できた。この範囲で設計したインキ A、B を使用し RS 印刷機で印刷した電極パターンを図 2.3.3-33、34 に示す。適切なインキ物性を付与すれば、汚れが無くエッジのきれいな電極パターンが印刷できることが確認できた。

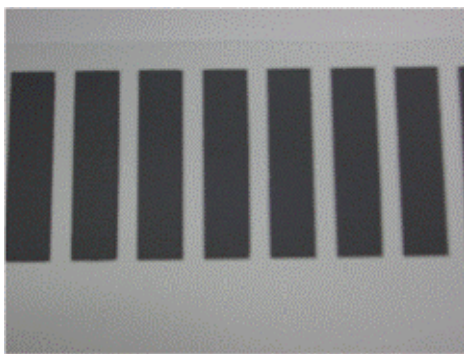


図 2.3.3-33 インキ A による印刷パターン

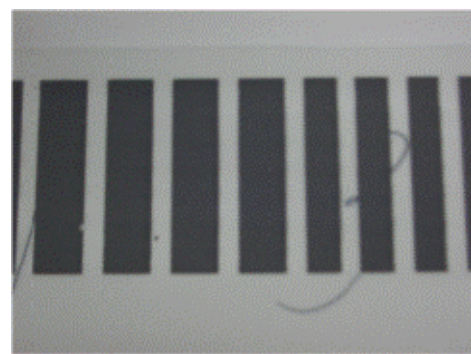


図 2.3.3-34 インキ B による印刷パターン

- ・複合電極に必要な活物質量確保の検討

次に、印刷された複合電極に必要な活物質量を確保するための検討を行った。プロジェクト目標に必要と考えられる複合電極の仕様はおおよそ、

- ・ドライ膜厚：100～100 μm（プレス後）
- ・密度：0.7 mg/cm³

である。今回印刷された複合電極は膜厚がやや薄く、含有されるラジカルポリマーは仕様に必要な量に達していなかった。そこでインキ中の固形分を増量させる検討を行った。固形分増量インキを用いてRS機で印刷したところ、複合電極中のラジカルポリマーを必要量近くまで増量できた。しかし印刷された複合電極膜の表面には、スクリーン版のメッシュパターンが残り、また一部に亀裂が生じた。（図 2.3.3-35）

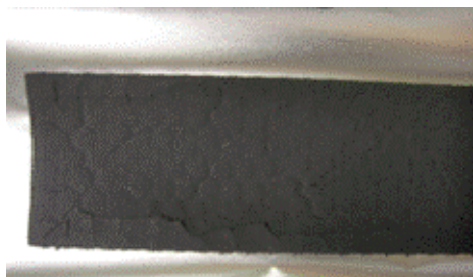


図 2.3.3-35 固形分増量インキによる複合電極

この原因として、印刷された複合電極の乾燥条件が適していなかったことが考えられる。対策として、乾燥条件の最適化の検討を行う予定。

- ・1層目導電補助層を含む2層構造複合電極の印刷形成技術の検討（平成20年度～21年度）

2層構造の電極構成を検討した。まず導電補助層用インキの開発を行った。開発には品質工学の知識を応用した。次に導電補助層の印刷条件の検討のため、表 2.3.3-6 に示す10種類のサンプルを作製し、導電率を測定した（図 2.3.3-36）。また同一サンプルをNEC殿に送付し、電池化したものの直流抵抗を測定してもらった（図 2.3.3-37）。

表 2.3.3-6 導電補助層検討サンプル

サンプル名	導電補助層
090416 -A	無(アルミ表面)
090416 -B	NMP系
090416 -C	水系-1
090416 -D	水系-2
090416 -E	水系-3
090416 -I	無(アルミ表面)
090416 -J	NMP系
090416 -K	水系-1
090416 -L	水系-2
090416 -M	水系-3

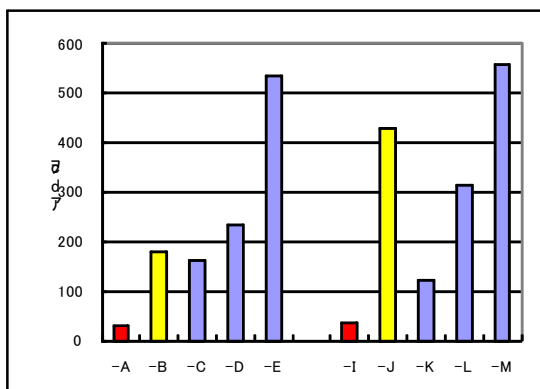


図 2.3.3-36 導電補助層の効果－導電率

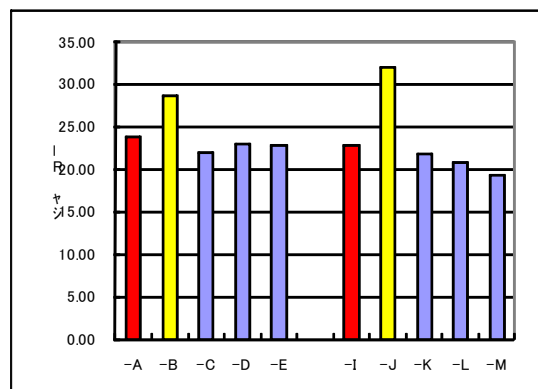


図 2.3.3-37 導電補助層の効果－直流抵抗

図 2.3.3-36 から導電補助層を印刷した電極の場合は、溶剤系、水系の両方共に導電率が高くなった。また図 2.3.3-37 から直流抵抗も小さくなるが、NMP 溶剤系の場合のみ導電補助層が無い場合よりも抵抗値が大きくなった。これらの結果から、導電補助層を第一層目に印刷することで水系複合電極の場合、電極－集電体間の接触抵抗を低減できることが確認できた。

[2-4]印刷に適したラジカルポリマーの電気化学解析、物性評価（早稲田大学に再委託）

(1) ラジカルポリマー薄膜の作成と電子移動過程の解析

下記方法に従い、ビスアジド誘導体を用いてTEMPO置換ポリノルボルネン (1) を光架橋し、ITO基板上にラジカルポリマー (2) 薄膜を作成、各種電気化学計測により電子移動過程を解析した。

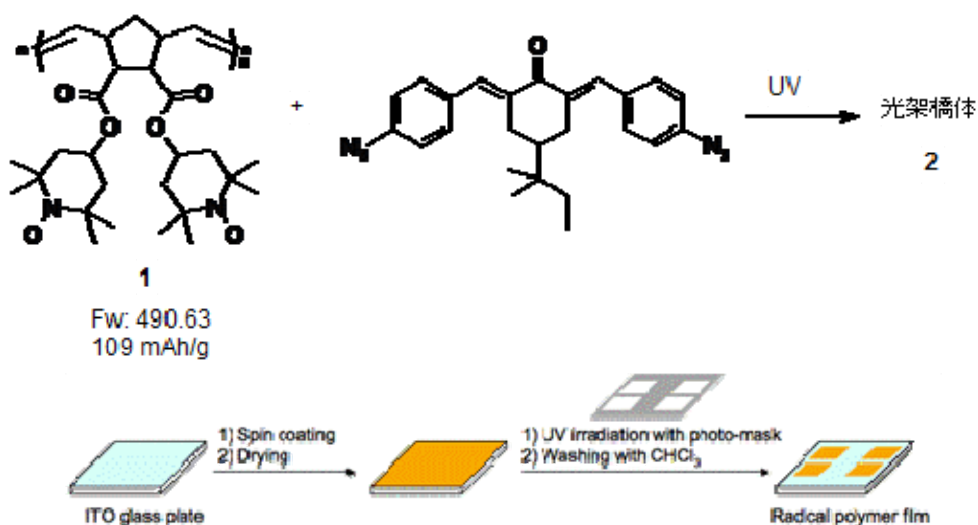


図 2.3.3-38 薄膜作製

(1-1) 高容量化のためのラジカルポリマー膜厚の検討（平成18,19年度）

一般に、膜に含まれるレドックス種量（表面濃度 Γ (mol/cm² など)）の定量法の1つとして、掃引速度 1 mV/s 時の電流値を積分して得られる電荷量 Q (C) が知られている。電解質として TBAClO₄、溶媒として アセトニトリル を使い、膜厚の異なる薄膜を低速 (1 mV/s) で電位掃引しながら CV (図 2.3.3-39) および EQCM を測定した。CV ピーク面積から求めた容量 Q は、ラジカルポリマー (2) の膜厚が厚くなるにつれて増加し、約 270 nm 付近で一定値を示した。膜厚が 400 nm を超えると、また、増加傾向を示し、820 nm まで直線的に増加した。全体を見ると、容量 Q は膜厚の増加につれて、820 nm まで直線的に増加して

いるように見える (図2.3.3-40)。勾配は膜の密度 1 g/cm^3 を仮定して算出した理論容量とほぼ一致したが、15~270 nm付近までと、400~ 820 nmの間では、異なるメカニズムで容量 Q が増加しているのではないかと推定される。

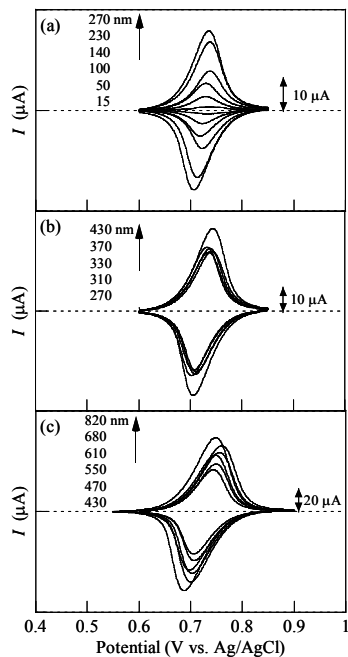


図 2.3.3-39
ラジカルポリマー膜の CV 曲線
($\text{CH}_3\text{CN}/0.1 \text{ M TBAClO}_4$)
($\nu = 1 \text{ mV/s}$)

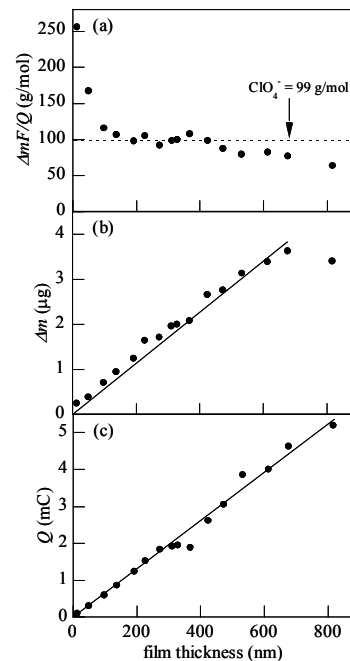


図 2.3.3-40
ラジカルポリマー膜厚に対する $\Delta mF/Q$ (a), Δm (b), and Q (c) プロット
($\text{CH}_3\text{CN}/0.1 \text{ M TBAClO}_4$) ($\nu = 1 \text{ mV/s}$)

ラジカルポリマー膜のニトロキシドラジカル部位の酸化に伴う重量変化 Δm も、680 nmまで直線的に増加した (図2.3.3-40(b))。レドックスサイト ($>\text{N-O}\cdot$) 1モル当たりの重量変化 $\Delta mF/Q$ は、100 nmより薄膜では顕著に増加し、対イオン ClO_4^- の移動が溶媒分子を伴うことを示す。膜厚が厚くなるにつれ溶媒分子の量は減少し、150~400 nm厚の膜では $\Delta mF/Q$ は、 ClO_4^- の分子量にほぼ等しく、対イオンは溶媒分子を伴わずにラジカルポリマー中に入り出している。更にラジカルポリマーの膜厚が増加すると、 $\Delta mF/Q$ は ClO_4^- の重量 (99 g/mol)を下回るようになり、異なる挙動を示す (図2.3.3-40(a))。

厚膜のラジカルポリマー (2) の高速充放電挙動に対する知見を得るため、膜厚820 nmの厚膜で掃引速度 (ν) 20 mV/sにおけるQCM及びCV応答を測定した (図2.3.3-41および図2.3.3-43)。有機ラジカルポリマーのニトロキシドラジカル部位の酸化に伴い、共振周波数は一旦極小値 ($\Delta f = -5.66 \text{ kHz}$, $\Delta mF/Q = 207 \text{ g/mol}$) を経て、最終的に $\Delta f = -3.91 \text{ kHz}$ ($\Delta mF/Q = 81 \text{ g/mol}$) となった。レドックス1 mol当たりの重量変化は ClO_4^- イオンの分子量 (99 g/mol) より一度大きくなり、溶媒和された ClO_4^- イオンが膜中に取り込まれたことを示す。電位の上昇に伴い、 ClO_4^- イオンの分子量 (99 g/mol) より小さい値を示す様になる。すなわち、溶媒和された ClO_4^- イオンの電極膜中への導入により、ラジカルポリマーが電極表面側から膨潤し、剛性が失われて電極表面から脱落しているのではないかと考えられる。このような Δf の極小値は膜厚200 nm付近より現れ、270 nm以降に顕著になった。上記図2.3.3-40 (c)の膜厚400~ 820 nmの挙動は、この膜の脱離を示すものと推定される。

印刷により形成される複合電極膜厚は従来のコーター方式に比べ薄く形成できるが、本実験の800nmレベルよりも厚い。従ってこのような厚膜側での現象には留意する必要がある。

炭素繊維複合電極において、導電付与剤である炭素繊維の量を抑えるため、膜厚が大きいポリマーのレドックスについて検討した。膜厚820 nmの薄膜に対するQCM及びCV応答を図2.3.3-41および42に示す。ニトロキシドの酸化に伴い、共振周波数は一旦極小値 ($\Delta f = -5.66$ kHz, $\Delta mF/Q = 207$ g/mol) を経て、最終的に $\Delta f = -3.91$ kHz ($\Delta mF/Q = 81$ g/mol) となった。レドックス1 mol当りの重量変化は、 ClO_4^- イオンの分子量 (99 g/mol) より小さく、膜の酸化に伴うイオン・溶媒の導入により膜が電極表面側から膨潤して剛性が失われていることが分かった。このような Δf の極小値は膜厚200 nm付近より現れ、270 nm以降に顕著になった。

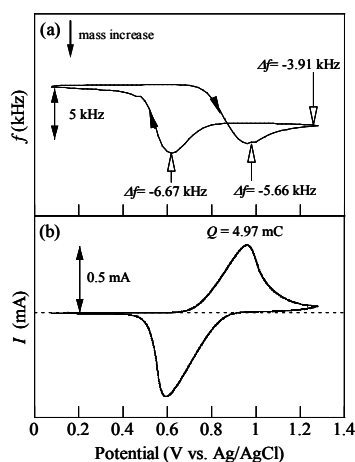


図 2.3.3-41
ラジカルポリマー膜の
QCM (a) と CV (b) 曲線
($\text{CH}_3\text{CN}/0.1$ M TBAClO_4) (ν
= 20 mV/s)

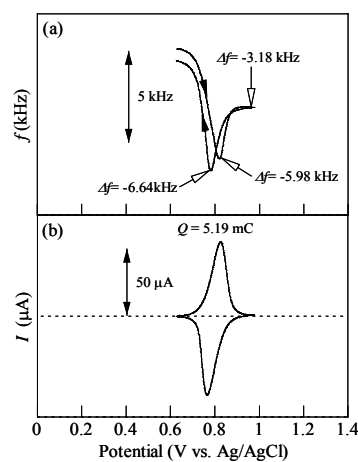


図 2.3.3-42
低掃引速度 ($\nu = 1$ mV/s) におけ
る QCM (a) と CV (b) 曲線

(1-2) 2層複合電極の電子移動度 (平成 20 年度)

2層複合電極構造における電子移動過程の解析をインピーダンス測定にて行った。インピーダンス測定におけるコールコールプロット (図 2.3.3-25) において一層複合電極構造の場合、電荷移動抵抗が 250Ω (Z' ; $50 \sim 300 \Omega$ の半円) であったが、二層複合電極構造とすることで電荷移動抵抗が 80Ω (Z' ; $50 \sim 130 \Omega$ の半円) に減少し、インピーダンスの低下を示した。これは、導電補助層を集電体上に設けることで、電極層/集電体界面の接触抵抗や電極層の内部抵抗が明らかに低下したことを示す。二層複合電極構造を用いて二次電池を形成した場合、界面抵抗や内部抵抗による電荷ロスが低減され、レート特性が向上すると推定され、事実、図 2.3.3-26 に示すようにレート特性が向上した。

(2) ラジカルポリマー膜内電荷伝播の温度特性の究明 (平成 21 年度)

(2-1) ラジカルポリマー薄膜の酸化還元に伴う温度依存性

温度により、電池特性に差が出ることから、ラジカルポリマーの電荷伝播速度の温度依存性を評価する。5~50°Cまでの温度上昇に伴い、酸化還元容量が増加し、電荷伝播速度が向上した (図 2.3.3-43)。温度上昇に伴い電荷伝播速度が増加していることから、高温ではポリマーの膜厚が増加しても定量的な容量が得られることが期待される。

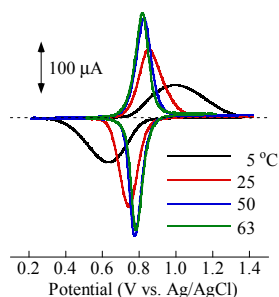


Fig. 1 Temperature-dependent cyclic voltammograms of polymer **1** film (100 nm) in acetonitrile containing 0.1 M $(C_4H_9)_4ClO_4$. Scan rate = 5 mV/s.

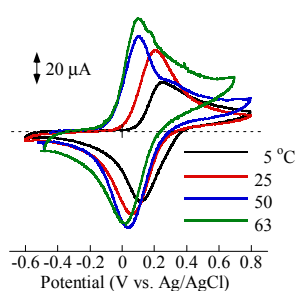


Fig. 2 Temperature-dependent cyclic voltammograms of polymer **2** film (120 nm) in acetonitrile containing 0.1 M $(C_4H_9)_4ClO_4$ and 5 mM LiO^tBu . Scan rate = 5 mV/s.

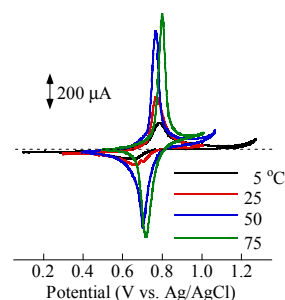


Fig. 3 Temperature-dependent cyclic voltammograms of polymer **3** film (100 nm) in H_2O containing 0.1 M NaCl. Scan rate = 5 mV/s.

図 2.3.3-43 CV 特性の温度依存性

一方、高温測定中に電位掃引に伴う容量の減衰が観察されており、高温での電池特性の劣化の原因として、活物質の失活、薄膜の溶出などの可能性が考えられる。

(2-2) ラジカルポリマー内の電荷伝播における溶媒および温度の影響（平成 21 年度）

電解質溶媒が温度特性に与える影響を調べるため、数種の溶媒でポリマー **1** 内の抵抗成分および酸化還元の温度依存性を検討した。今回検討した溶媒は、 CH_3CN 、PC、EC/DEC ($v/v = 1/1$) の 3 種類、電解質は何れも 0.5 M $(C_4H_9)_4NClO_4$ である。

交流インピーダンス測定結果を図 2.3.3-44 に示す。降温に伴い電荷移動抵抗は増加し、特に 5 °C で抵抗が急激に大きくなった。今回の測定温度範囲 (5–60 °C) では、EC/DEC で温度の影響が最も小さかった。低温下での性能維持の観点から、3 溶媒の中で EC/DEC の優位性が示された。

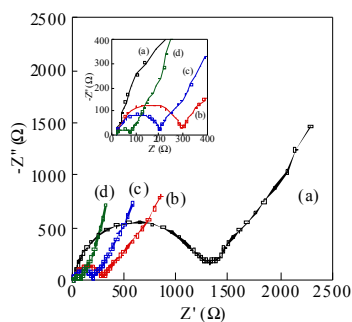


Fig. 5 Nyquist plots of polymer **1** film (thickness = 80 nm) in acetonitrile containing 0.5 M $(C_4H_9)_4NClO_4$. (a) 5 °C, (b) 20 °C, (c) 40 °C and (d) 60 °C.

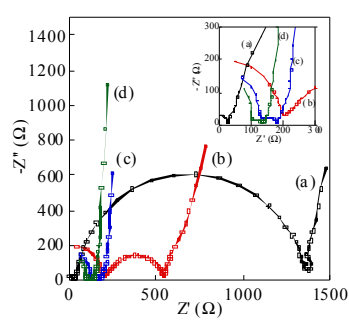


Fig. 6 Nyquist plots of polymer **1** film (thickness = 80 nm) in propylene carbonate containing 0.5 M $(C_4H_9)_4NClO_4$. (a) 5 °C, (b) 20 °C, (c) 40 °C and (d) 60 °C.

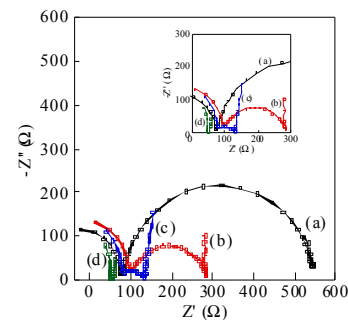


Fig. 7 Nyquist plots of polymer **1** film (thickness = 80 nm) in EC/DEC ($v/v = 1/1$) containing 0.5 M $(C_4H_9)_4NClO_4$. (a) 5 °C, (b) 20 °C. (c) 40 °C and (d) 60 °C.

図 2.3.3-44 ナイキストプロットの温度依存性

(2-3) レート特性に関する EQCM 解析（平成 21 年度）

膜厚増加に伴うレート特性の低下を詳しく調べるため、膜厚 130 nm と 370 nm の電極を用いて 60 °C および 90 °C における EQCM 解析を行った。膜厚 130 nm の電極では、電流密度に関わらずニトロキシドラジカルの酸化に伴う脱溶媒和過程が見られ、充放電容量は理

論容量の 90 % 以上を維持していた (図 2.3.3-45)。膜厚 370 nm の電極では、低電流密度 (60 C) において同様の溶媒移動が見られたものの、大電流 (900 C) では移動量が顕著に低下しており、充放電容量は 50 % 程度に留まった (図 2.3.3-46)。

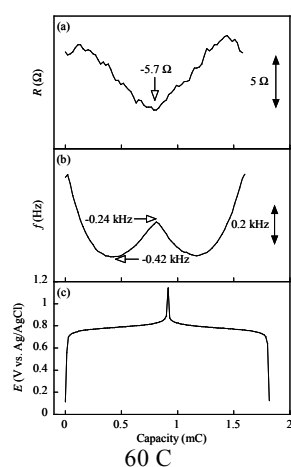


図 2.3.3-45

130 nm 厚フィルムの QCM と充放電容量

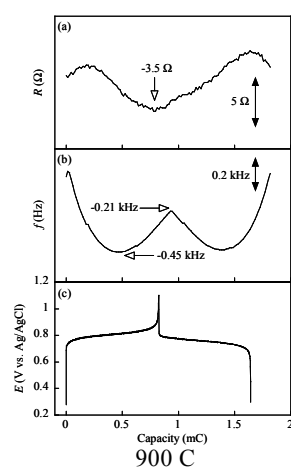
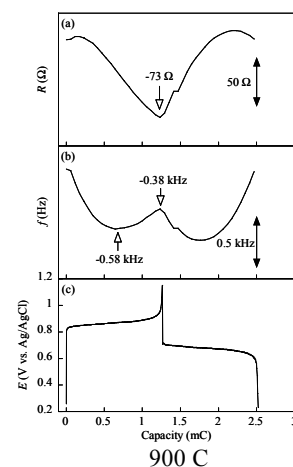
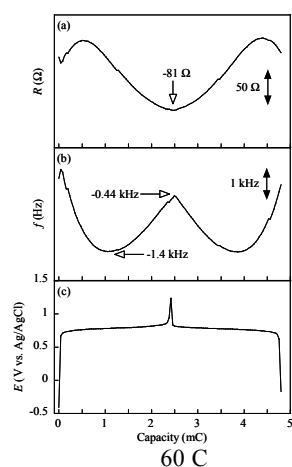


図 2.3.3-46

370 nm 厚フィルムの QCM と充放電容量



また、容量低下に合わせて電荷補償度 ($\Delta mF/Q$) も 130 g/mol (60C) から 90 g/mol (900C) に低下した。膜厚が増加すると高速充放電において溶媒の移動が律速となり、十分に電荷補償されないと考えられる。溶媒分子の移動を制御したポリマー膜構造の設計が必要であることが判った。

(2-4) ラジカルポリマー内の対イオン挙動における溶媒および温度の影響 (平成 22 年度)

温度変化に伴う対イオン挙動の変化と電解質溶媒が温度特性に与える影響を調べるため、数種の溶媒でポリマー修飾 QCM 電極を用いて CV および EQCM 測定を行った。検討した溶媒は、 CH_3CN 、PC、EC/DEC (v/v = 1/1) の 3 種類、電解質は何れも 0.5 M $(\text{C}_4\text{H}_9)_4\text{NClO}_4$ である。 CH_3CN 、PC、EC/DEC を用いた CV および EQCM 測定結果をそれぞれ図 2.3.3-47、48、49 に示す。

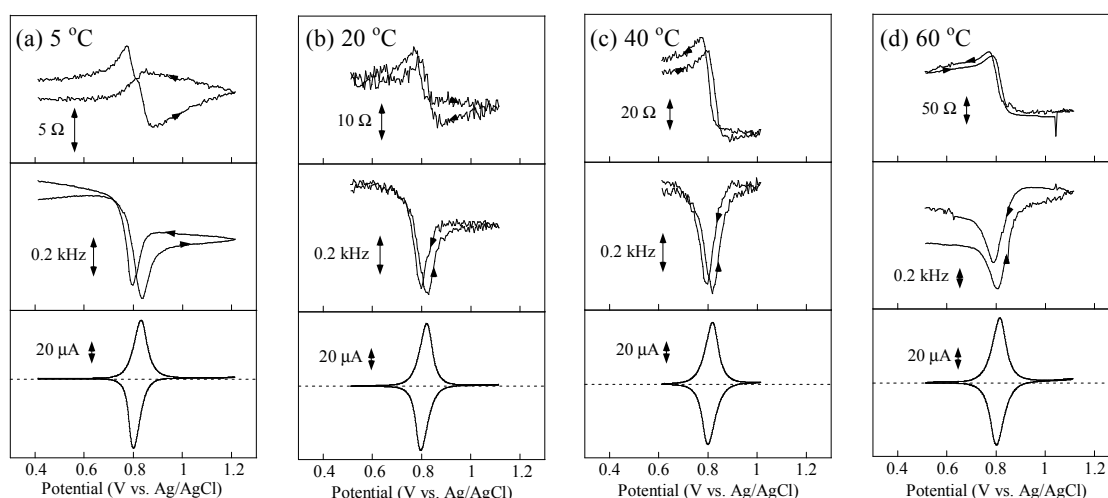


図 2.3.3-47 QCM and CV curves of polymer 1 film (thickness = 100 nm) in acetonitrile containing 0.5 M $(\text{C}_4\text{H}_9)_4\text{NClO}_4$. (a) 5 °C, (b) 20 °C, (c) 40 °C and (d) 60 °C.

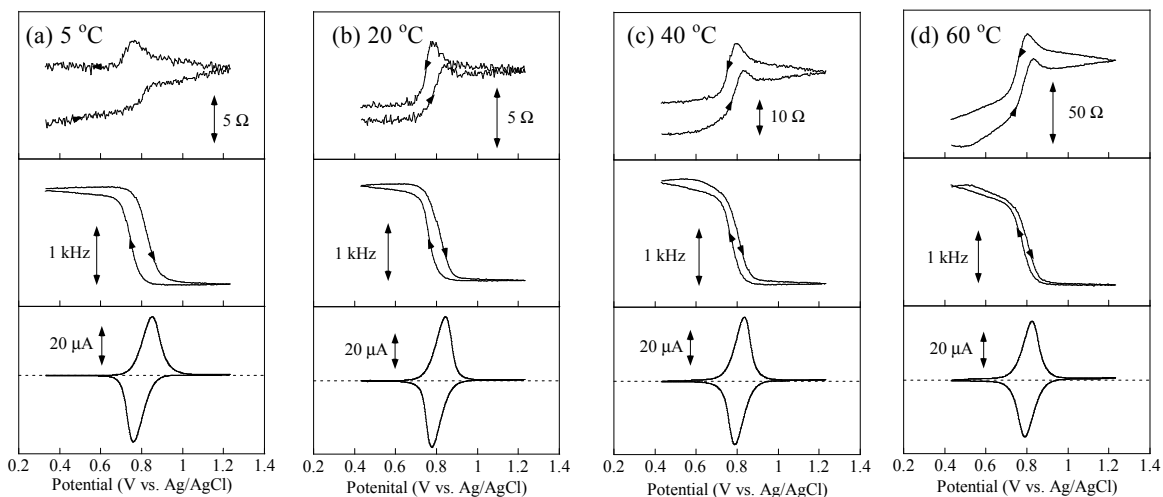


図 2.3.3-48 QCM and CV curves of polymer **1** film (thickness = 100 nm) in propylene carbonate containing 0.5 M $(C_4H_9)_4NClO_4$. (a) 5 °C, (b) 20 °C, (c) 40 °C and (d) 60 °C.

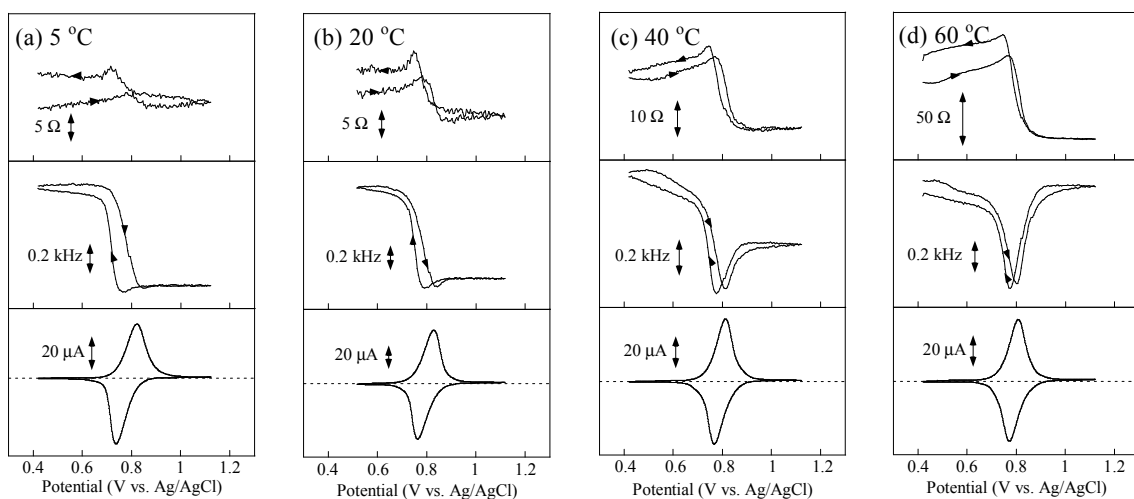


図 2.3.3-49 QCM and CV curves of polymer **1** film (thickness = 100 nm) in EC/DEC (v/v = 1/1) containing 0.5 M $(C_4H_9)_4NClO_4$. (a) 5 °C, (b) 20 °C, (c) 40 °C and (d) 60 °C.

CH_3CN 、EC/DEC とも温度の上昇に伴い、一部の対イオンまたはポリマーを膨潤させている溶媒分子が膜外へ漏出していると考えられる。EC/DEC では低～中温部では酸化後の漏出の度合いはより小さく、高温になるほど顕著になった。一方、PC においてはこのような漏出挙動を全く示さず、PC が温度変化に対して酸化還元反応に伴うイオン拡散挙動が最も安定であることが示された。また低温下で漏出の程度が小さい系 (EC/DEC) では電荷移動が小さくなっており、レート特性の高い低抵抗膜の設計指針を示唆していると考えられ、今後の検討に値する。

[3] 新有機ラジカル材料の開発／複合化（担当：住友精化）

（1）ピロリン系化合物の合成

プロキシラジカル（ピロリン系化合物）は、TEMPO（2,2,6,6-テトラメチル-1-ピペリジニルオキシル フリーラジカル）と類似した構造を有し、安定したレドックス特性を示す。また、ラジカル当たりの分子量が TEMPO より小さく、ラジカルの高密度化が可能である。

ピロリン系化合物（147 mAh/g）の合成を目的とし、モノマーの合成ルートと反応条件を検討し、収率良くモノマーを取得する最適な反応条件を確立した。

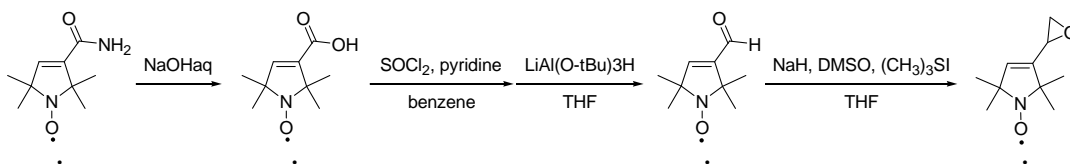


図 2.3.3-50 反応式

<3-カルボキシ-2,2,5,5-テトラメチルピロリン-1-オキシルの合成>

3-カルバモイル-2,2,5,5-テトラメチルピロリン-1-オキシルを 10 wt%水酸化ナトリウム水溶液に懸濁させ、2Hr 沸点還流、流量計よりアンモニアの生成が終了したことを確認した。反応終了時には、系は均一の黄色溶液となった。その後、10 mol%希塩酸により pH 試験紙で確認しながら中和、エーテル抽出した。さらに、塩化アンモニウムを水層に加え、エーテル/ヘキサン混合溶媒にて再結晶精製し、黄色結晶として 3-カルボキシ-2,2,5,5-テトラメチルピロリン-1-オキシルを得た。

<3-ホルミル-2,2,5,5-テトラメチルピロリン-1-オキシルの合成>

3-カルボキシ-2,2,5,5-テトラメチルピロリン-1-オキシルをベンゼン/ピリジン混合溶媒に溶解させ、氷浴を用いて冷却（5 ～8 ）、塩化チオニル/ベンゼンを加え、1 Hr 反応後、溶媒の留去を経て、THF にて希釈、Ar 雰囲気下、-78 で 1M-水素化リチウムアルミニウム-*t*-ブトキシド（LiAl(O-*t*Bu)₃H）/THF 溶液を滴下し、2 Hr 反応させた。ろ過、酢酸エチルによる抽出、エーテル/ヘキサン混合溶媒を用いたカラム精製を経て、黄色結晶としてホルミル体を得た。

<3-オキシラニル-2,2,5,5-テトラメチルピロリン-1-オキシルの合成>

水素化ナトリウムを DMSO に加え、Ar 雰囲気下、65 で 1 Hr 反応させた。THF で希釈後、塩化カルシウム氷浴により冷却（-10 ）、トリメチルスルホニウムヨージド（(CH₃)₃SI）/DMSO 溶液を加え、5 分間攪拌した。THF に溶解させたホルミル体をキャニュレーションにより滴下、-10 で 30 分、さらに室温で 2 Hr 反応させ、酢酸エチルにより抽出、酢酸エチル/ヘキサン混合溶媒を用いたカラム精製を経て、橙色液体としてエポキシドモノマーを得た。

<重合>

ZnEt₂/H₂O を開始剤に用い、40 にてバルク重合を行い、黄色ポリマーを得た（*M_n*=120,000、*M_w*/*M_n*=4.9）。

<評価結果>

上記の重合で得たポリマーを THF に溶解し、ITO 基板上にドロップキャストして薄膜を作成し、サイクリックボルタンメトリー（CV）を測定して、ニトロキシドラジカル-オキソアンモニウムカチオン間での可逆で安定な酸化還元波を確認した。（CV 測定条件：0.1M (C₄H₉)₄NClO₄、solvent CH₃CN、scan rate 5-20 mV/s）。

N-メチルピロリドン中、上記のポリマー/気相成長炭素繊維 (VGCF) /ポリフッ化ビニリデン (PVDF) を 1/8/1 の重量比で混合した後にアルミ箔上に塗布、乾燥して電極を作成した。この電極を用いてコインセル (1M LiPF₆ 電解質塩を含むエチレンカーボネート/ジエチルカーボネート混合溶液 (混合重量比 1 : 1)) を作成して評価した。

- ・ 電位 : 3.7 V
- ・ 放電容量 : 121 mAh/g
- ・ レート特性 : 120 C (30 s でフル充・放電) で容量の低下なし
- ・ サイクル特性 : 90 % の容量を維持 (500 サイクル後)

(2) ニトロニルニトロキシド置換ポリマーの設計と合成

p 型および n 型レドックス能を有するニトロニルニトロキシドに着目し、新しいポリマー構造について検討し、合成過程で高分子反応を必要としないポリ [(p-エチニルフェニル)ニトロニルニトロキシド] (**1**) およびフェニルニトロニルニトロキシド置換ポリノルボルネン (**2**) の合成法を見出した。また、より高容量となるフェニルニトロニルニトロキシド 2 置換ポリノルボルネン (**2'**) のモノマーを合成した。

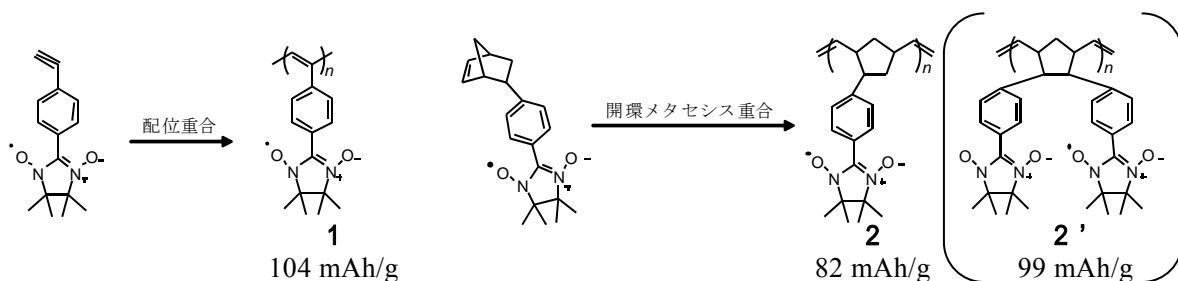


図 2.3.3-51 反応式

<ポリ [(p-エチニルフェニル)ニトロニルニトロキシド] **1** の合成>

ラジカルモノマーを THF 中、[Rh(COD)(Et₃N)Cl] を触媒として重合後、THF によるソックスレー洗浄を経てポリ [(p-エチニルフェニル)ニトロニルニトロキシド] **1** を濃青色固体として得た。

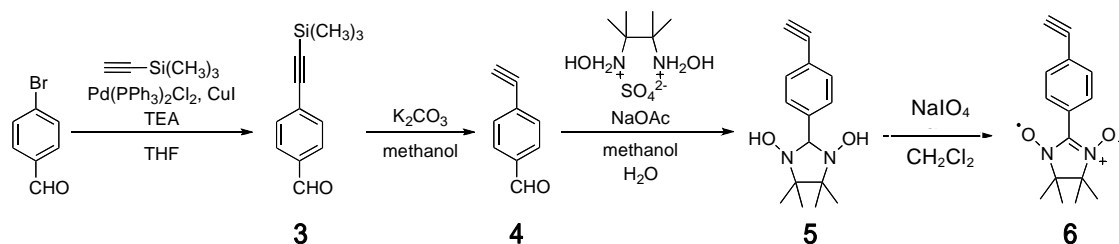


図 2.3.3-52 反応式

モノマーおよびポリマーの具体的な合成方法を下記に示す。

4-ブロモベンズアルデヒドを出発物質として、窒素雰囲気下にて THF 中、ヨウ化銅(II)、ジクロロビストリフェニルホスフィンパラジウム(II)を攪拌し、ここへトリエチルアミン、トリメチルシリルアセチレン/THF を添加し室温で 5 Hr 反応させた。ヘキサンによる濾過洗浄後、ヘキサン/酢酸エチル混合溶液によるカラム精製を経て **3** を得た。塩基による脱保護反応により **4** を得た。窒素雰囲気下にてメタノール/水混合溶液中、**4**、ヒドロキシアンモニウム硫酸塩、酢酸ナトリウムを室温で 24 Hr 激しく攪拌し、クロロホルムと水による濾過洗浄を経て **5** を白色粉末として得た。ジクロロメタン/水混合溶液中 **5** において、**5** を NaIO₄ で酸化し、ジクロロメタンによる分液、カラム精製後、ヘキサンによる再結晶精製を経て **6** を濃青色結晶として得た。

＜ポリマー 1 の合成＞

ジクロロメタンにラジカルモノマー6を溶解し、脱気・窒素置換後、クロロ(1,5シクロオクタジエン)ロジウムダイマー/トリエチルアミン/ジクロロメタン溶液をすばやく添加し25 min、室温で激しく攪拌し重合した。得られた濃青色粉末をジクロロメタンでソックスレー洗浄し不溶な1を得た。

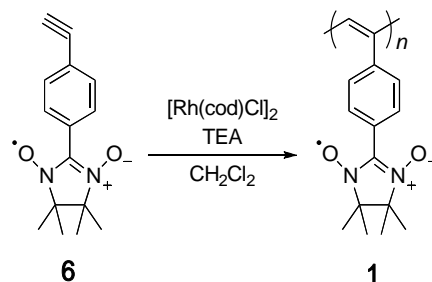


図 2.3.3-53 反応式

＜フェニルニトロニルニトロキシド置換ノルボルネン 9 の合成＞

1,5-ノルボルナジエンと4-ブロモベンズアルデヒドをDMF中、80℃でパラジウム触媒によりカップリングし、カラムおよび減圧蒸留による精製を経てベンズアルデヒド置換ノルボルネン7を無色透明粘稠性液体として得た。続いてスルフェート塩を用いて閉環縮合させクロホルム、水による洗浄を経てラジカル前駆体8を白色粉末として得た。8をジクロロメタン中、二酸化マンガンにより酸化後、再結晶精製を経てフェニルニトロニルニトロキシド置換ノルボルネン9(1置換体)を濃青色針状結晶として得た。

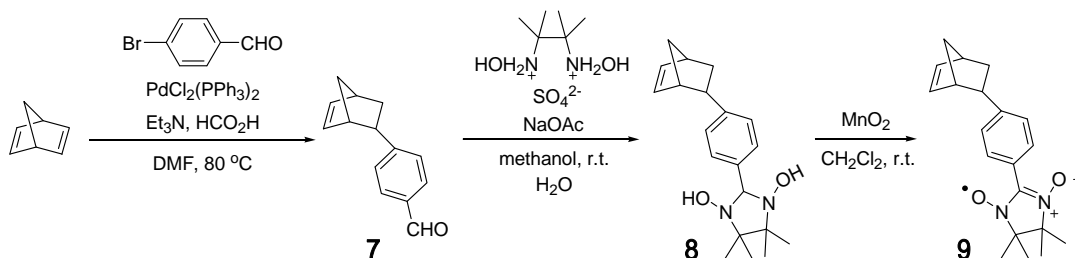


図 2.3.3-54 反応式

＜ポリマー 2 の合成＞

ジクロロメタンにラジカルモノマー9を溶解し、脱気・窒素置換後、Grubbs 第二世代触媒/ジクロロメタン溶液をすばやく添加し1 Hr、室温で激しく攪拌し開環メタセシス重合した。メタノールへの沈殿精製を経て2を得た。乾燥後はジクロロメタンに不溶であった。SQUID磁化測定によるラジカル濃度は95%であった。

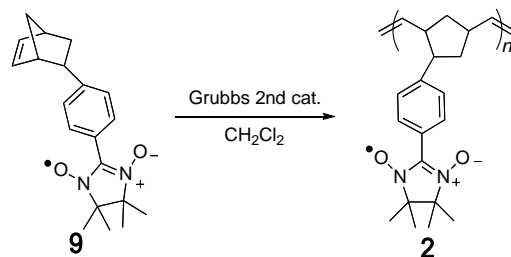


図 2.3.3-55 反応式

＜モノマー 9 およびポリマー 2 の電気化学特性＞

0.1 M 過塩素酸テトラブチルアンモニウムのアセトニトリル電解液にモノマー9を溶解させ、Pt作用極、Ag/AgCl参照極、白金対極の三極系でCV測定した。N₂バブリングし酸素除去した後、1.4 V - -1.6 V (vs. Ag/AgCl) で掃引した。+0.75 V (vs. Ag/AgCl) にp型酸化還元波を、-0.96 V (vs. Ag/AgCl) にn型酸化還元波を示し、繰り返し掃引後も安定であった。

ポリマー2/気相成長炭素繊維 (VGCF) /ポリフッ化ビニリデン (PVdF) を1/8/1(質量比)で混合した炭素複合電極をITO基板上に作製し、モノマーと同じ電解液でCV及びクロノポテンショメトリー(CP)により電気化学特性を評価した。p型の酸化還元波は+0.78 V (vs. Ag/AgCl) に現れ、n型の酸化還元波はアニオン状態を安定化させるためテトラブチ

ルアンモニウムヒドロキシドを塩基として加えたところ-0.80 V(vs. Ag/AgCl)に現れた。

5 Cレートでの充放電ではp型が充電容量 65.4 mAh/g (理論容量 82.4 mAh/gの79%)、放電容量 53.8 mAh/g (理論容量の65%)であり、n型が充電容量 51.8 mAh/g (理論容量の63%)、放電容量 44.1 mAh/g (理論容量の54%)であった。

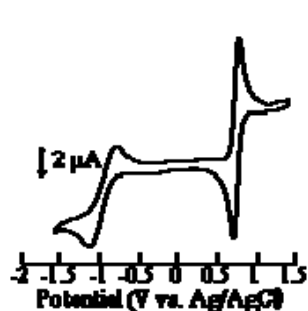


図 2.3.3-56

Cyclic voltammogram of **5** in acetonitrile with 0.1 M $(C_4H_9)_4NClO_4$ at 100 mV/s scan rate.

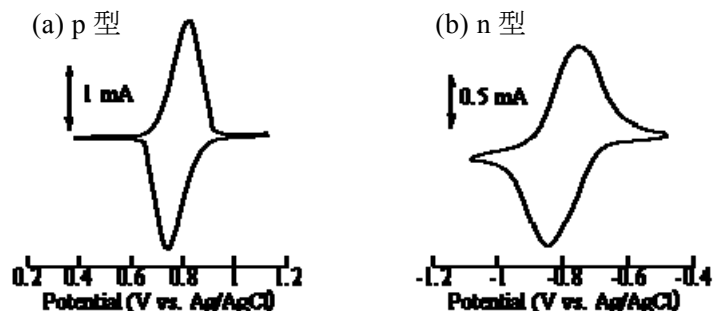


図 2.3.3-57

Cyclic voltammogram of **1**/carbon composite electrode at 5 mV/s scan rate. (a) p-type redox in acetonitrile with 0.1 M $(C_4H_9)_4NClO_4$, (b) n-type redox in acetonitrile with 0.1 M $(C_4H_9)_4NClO_4$ and base additive $(C_4H_9)_4OH$.

<フェニルニトロニルニトロキシド置換ノルボルネン **12** の合成>

1,5-ノルボルナジエンと 4-ヨードベンズアルデヒドおよび 4-ホルミルフェニルボロン酸を THF/水混合溶液中、**60** でパラジウム触媒によりカップリングしカラム、再結晶による精製を経てベンズアルデヒド置換ノルボルネン **10** を白色結晶として得た。続いてスルフェート塩を用いて閉環縮合させクロロホルム、水による洗浄を経てラジカル前駆体 **11** を白色粉末として得た。**11** をジクロロメタン中、二酸化マンガンにより酸化後、カラム、再結晶精製を経てフェニルニトロニルニトロキシド置換ノルボルネン **12** を濃青色結晶として得た。

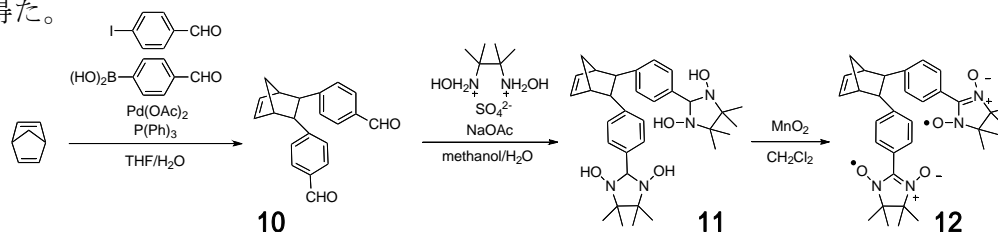


図 2.3.3-58 反応式

<モノマー**12**の電気化学特性>

0.1M 過塩素酸テトラブチルアンモニウムジクロロメタン電解液中、モノマー **12** を溶解させグラッシーカーボン作用極、Ag/AgCl 参照極、白金対極の三極系で CV を測定した。十分に N_2 バブリングし酸素を除去した後、1.2 V - -1.5 V (vs. Ag/AgCl) で掃引したところ +0.80 V (vs. Ag/AgCl) に p 型酸化還元波を、-0.85 V (vs. Ag/AgCl) に n 型酸化還元波を示し、繰り返し掃引後も安定であった。

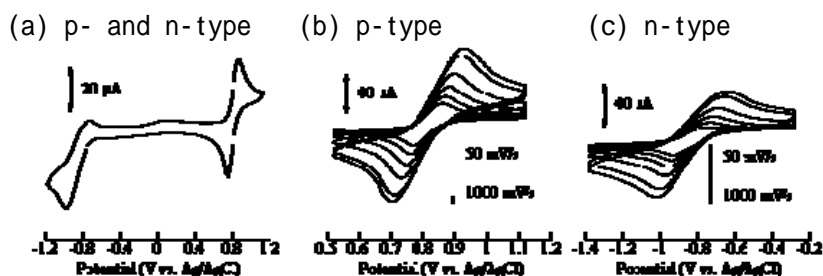
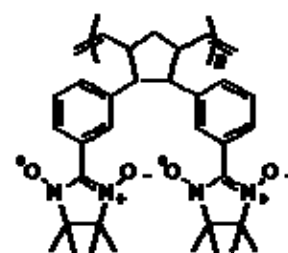


図 2.3.3-59

Cyclic voltammogram of **12** in dichloromethane with 0.1 M $(C_4H_9)_4NClO_4$, (a) p- and n-type redox at 100 mV/s scan rate, (b) p-type redox at 50-1000 mV/s scan rate, (c) n-type redox at 50-1000 mV/s scan rate.

<フェニルニトロニルニトロキシド *m*-位 2 置換ポリノルボルネン **2'**の合成>

2,5-ノルボルナジエンと 3-ヨードベンズアルデヒドおよび 3-ホルミルフェニルボロン酸を THF/水混合溶液中、60 °C でパラジウム触媒によりカップリングし、カラム、再結晶による精製を経てベンズアルデヒド置換ノルボルネン **13** を白色結晶として得た。続いてスルフェート塩を用いて閉環縮合させクロホルム、水による洗浄を経てラジカル前駆体 **14** を白色粉末として得た。**14** をジクロロメタン中、二酸化マンガンにより酸化後、カラム、再結晶精製を経てフェニルニトロニルニトロキシド 2 置換ノルボルネン **15** を濃青色結晶として得た。



2' 96 mAh/g

図 2.3.3-60

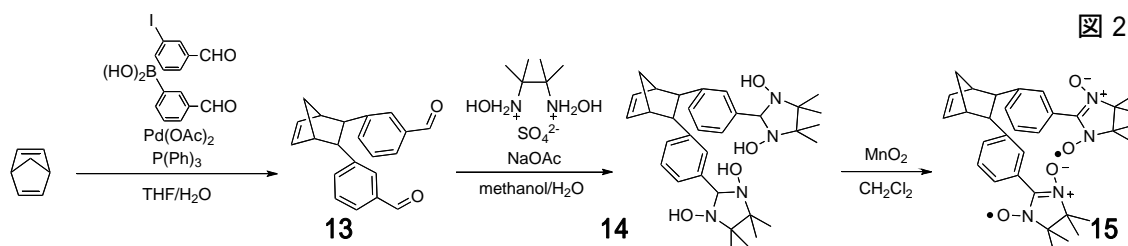


図 2.3.3-61 反応式

<2 置換体モノマー**15**の電気化学特性および ESR 測定>

2 置換体モノマー**15** をアセトニトリル電解液中で CV 測定を行った。1.3 V - -1.4 V (vs. Ag/AgCl) で掃引したところ、+0.77 V (vs. Ag/AgCl) に p 型の酸化還元波が 1 段階で現れた。また、-0.72 V、-0.88 V (vs. Ag/AgCl) に n 型の酸化還元波が 2 段階で現れ繰り返し掃引後も安定であった。p、n 型の微分パルスボルタンメトリーからも n 型が 2 段階の酸化還元能を有していることが示された。

2 置換体モノマー**15** の ESR を測定したところ、1 置換体ではニトロニルニトロキシド由来の 5 峰性のシグナルが観測されるのに対し、2 置換体 **15** では 9 峰性のシグナルが観測された。これは **15** 分子内の 2 つのニトロニルニトロキシドが近接した位置に存在するため、分子内での相互作用が生じたことによると考えられる。

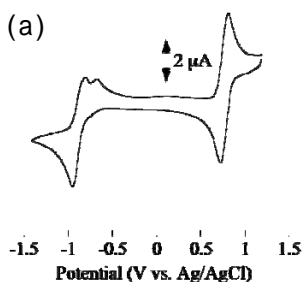


図 2.3.3-62

(a) Cyclic voltammograms and (b) differential pulse voltammogram of **15** in acetonitrile with 0.1 M $(C_4H_9)_4NClO_4$.

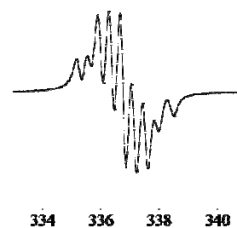
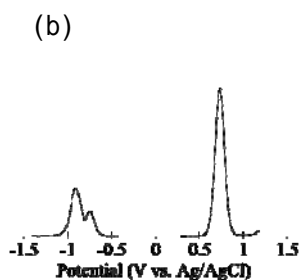


図 2.3.3-63

ESR spectra of **15**.

<電解 UV による酸化還元安定性評価>

p-位にニトロニルニトロキシドが置換したモノマーの酸化還元における高い安定度は既に報告している。*m*-位にニトロニルニトロキシドが置換したモノマーについても、*p*、*n* 型酸化還元能の安定性を検証するため、モノマー**15**の電解 UV-vis-NIR 測定を行った。0.3 V – 1.1 V の電位印加に伴いニトロニルニトロキシドに由来する吸収が減少しカチオン種に由来する吸収が増大した。同様に -0.3 V ~ -1.2 V の電位印加に伴いニトロニルニトロキシドに由来する吸収が減少しアニオン種に由来する吸収が増大した。いずれも逆方向の電位掃引により、もとのスペクトルに戻った。

等吸収点の存在によりラジカル由来の *p*、*n* 型の酸化還元過程と、そのタイムスケールでの長期安定性が示された。

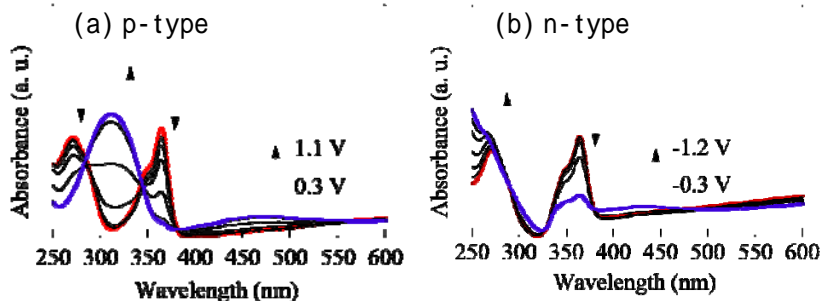


図 2.3.3-64

Electrolytic UV-vis spectra of **15** in acetonitrile with 0.1 M $(C_4H_9)_4NClO_4$. Applied potential: (a) 0.3 V to 1.1 V, (b) -0.3 V to -1.2 V in the presence of $(C_4H_9)_4NOH$.

<第3世代Grubbs触媒を用いた重合>

第 3 世代触媒は第 2 世代触媒 (**G2**) と比べて著しく速いため、高分子量体、低分散度、リビング重合性が期待できる。そこで、第 3 世代 Grubbs 触媒 (**G3**) を用いた 1 置換体および 2 置換体モノマーの重合を検討した。

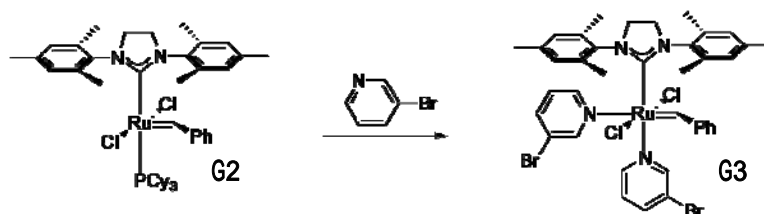


図 2.3.3-65 反応式

ナスフラスコに **G2** に 3-ブロモピリジン を添加し室温大気下で 20 分攪拌した。配位子交換が進行するにつれて触媒の色は茶褐色から緑色に変化した。反応後、ペンタンを添加すると析出し、冷蔵庫 (<5) にて終夜冷却した。桐山ロートを用いたペンタンによる濾過洗浄、真空乾燥を経て **G3** を緑色個体として得た。

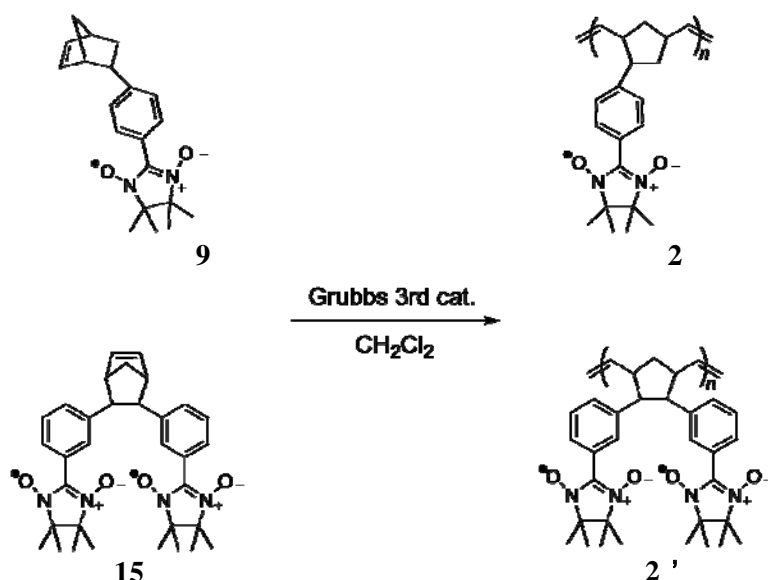


図 2.3.3-66 反応式

第 3 世代 Grubbs 触媒は重合開始速度が成長速度よりも速いため($k_i \gg k_p$)、分子量の制御及び低分散度の NN 置換ポリマーの合成が期待できる。1 置換モノマー**9** および 2 置換モノマー**15** の重合を検討した。

ナスフラスコに **9** を導入し N_2 置換後、ジクロロメタンを導入し -78°C で脱気・ N_2 置換を 3 回繰り返した。

一方で同様に Grubbs 触媒 **G3** ($[\text{M}]/[\text{I}] = 25$) をサンプルビンに封入し N_2 置換後、ジクロロメタンを入れ脱気・ N_2 置換を 3 回繰り返した。モノマー溶液を室温で攪拌しているところに、触媒溶液を素早く導入し 5 分間重合し、その後エチルビニルエーテルを加えて 30 分間攪拌し反応停止し、エーテル/ヘキサン中への沈殿生成、遠心分離による可溶部除去を 3 回繰り返すことでポリマー**2** を濃青色粉末として得た。DMF 溶媒の GPC では $M_n = 6.8 \times 10^3$ 、 $M_w/M_n = 1.21$ であり、理論値の $M_n = 8.1 \times 10^3$ に近い分子量であった。モノマー**15** の重合においても同様の手順で重合しポリマー**2'** を得た。SQUID 磁化測定により算出した $[\text{M}]/[\text{C}] = 25$ で得たポリマー**2** のラジカル濃度は 97%、ポリマー**2'** は 95% であり第 2 世代触媒と同様にラジカル部位への副反応なく重合が進行することが示された。

<第 3 世代 Grubbs 触媒を用いた重合の解析>

9 の手順で触媒量を変えて $[\text{M}]/[\text{I}]$ の比率の異なる重合を検討した。 $[\text{M}]/[\text{I}] = 615$ であっても収率が 94% と重合がほぼ 100% 進行しており、また M_n の理論値と GPC の実測値が近い値をとること、 M_w/M_n も低く、 $[\text{M}]/[\text{I}]$ に対し M_n が直線的に増加していることなどから仕込み比通り重合が進行しており、かつリビング性を有する重合であることが分かった。

表 2.3.3-7 重合結果 (9 および 15 での重合結果)

	[M]/[C]	Yield [%]	Theo. M_n [$\times 10^3$]	Obs. M_n [$\times 10^3$]	Obs. M_w [$\times 10^3$]	PDI
9	25	98	8.1	6.8	8.3	1.21
	50	98	16.3	14.2	17.4	1.23
	100	95	32.5	34.5	42.9	1.25
	150	94	48.8	44.8	56.4	1.26
	200	94	65.1	62.4	73.0	1.16
	615	94	200	246	382	1.55
	1843	40	600	705	1070	1.52
15	25	97	13.9	11.1	14.4	1.28
	50	97	27.8	24.1	31.7	1.31
	100	99	55.7	35.8	54.7	1.52
	150	99	83.5	52.4	67.9	1.29

a) Determined by 0.1 M LiCl DMF GPC relative to Polystyrene standards.

2. 3. 3. 3 成果の意義

・開発した薄型電池と他のエネルギーデバイスとの比較

図 2.3.3-67 は、本研究開発で得られた薄型電池とその他のエネルギーデバイスのエネルギー密度とパワー密度の関係を示す。目標とする薄型電池は、大きなパワー密度とエネルギー密度を兼ね備えている点で、これまでのエネルギーデバイスにない革新的な特徴を持つ。

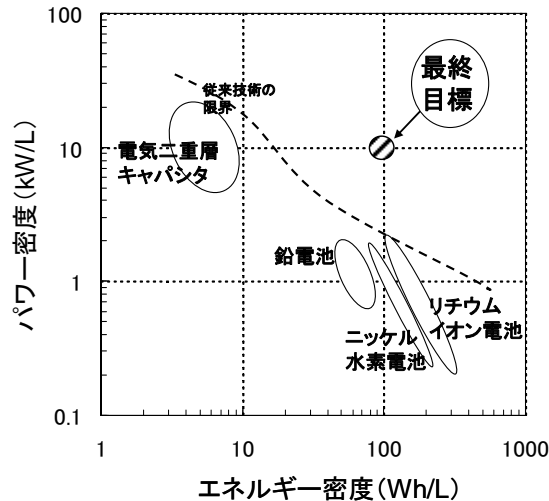


図 2.3.3-67 エネルギーデバイスのエネルギー密度とパワー密度の関係

本研究開発の最終目標と同等の薄さ (0.2 mm) の薄型電池は、現在のところ開発および市販されていない。しかしながら、最薄で厚さ 0.45 mm の薄型電池はすでに開発され市販されている。

薄型 Mn 一次電池は、厚さ 0.5 mm で基本構成は水溶液を電解液に用いた市販のマンガン一次電池と同じである。長所としては、廉価な汎用電池と同じ構成なので低コストという点がある。欠点としては、充電ができない (一次電池) ため使い捨て、出力が小さいという点が挙げられる。薄型 Li 一次電池もすでに市販されている。厚さが 0.45 mm と市販電池では最も薄い。基本構成はコイン型の Li 電池と同じである。長所としては、汎用電池と同じ構成であるため低コスト、および高いエネルギー密度という点が挙げられる。欠点としては、充電ができない (一次電池)、比較的出力が小さいという点が挙げられる。薄型全固体 Li イオン二次電池は米国オークリッジ国立研究所で研究されていた技術を基本とし、米国、台湾のベンチャーが実用化に向けて開発しているものである。充電が可能な二次電池タイプである。電池本体 (電極+固体電解質) は 25 μm 程度と極めて薄い、封止層を含めると 0.5 mm 程度の厚みとなる。電極、電解質を真空プロセスで長時間をかけて作製するためにプロセスコストが高いという欠点がある。また、イオン伝導度が低いと出力が小さいという欠点もある。薄型二重層キャパシタは厚さ 1.9mm と若干厚いため、カードなどの薄型デバイスに内蔵する用途に適さない。出力が極めて大きいという長所を持つ一方、エネルギー密度が小さいという欠点をもつ。競合する薄型エネルギーデバイスは、それぞれ課題を持ち合わせているが、薄型有機ラジカル電池は評価項目において大きな欠点がなくバランスのとれた薄型エネルギーデバイスである。

- ・期待される市場創出効果

薄型電池の実現により創出される高機能 IC カードの市場およびこれを活用するサービスの市場として、新たに 6000 億円程度創出されると見込んでいる。また、本研究開発により創出した薄型電池は、RFID や電子ペーパーなどにも適用可能であると思われる。また、高出力であるがゆえにデジタルカメラや携帯電話のフラッシュの電源としても利用できると思われる。これらの用途にも大きな市場創出効果があると見込んでいる。

- ・新たな技術領域開拓への期待

本研究により創出した有機ラジカルポリマーは、薄型電池用の電極活物質以外にもエレクトロクロミック薄膜表示素子、アルコール酸化触媒、活性酸素センサー用電極触媒への用途展開の可能性がある。

本研究で開発した印刷法を応用した電極作製技術は、プリンタブルエレクトロニクス分野の進展に拍車をかけ、あらたな市場を創出するものと思われる。薄型電池を搭載したアクティブ型非接触 IC カードやアクティブ型非接触 IC タグにおいても、電極以外の電池部材（固体電解質、配線、回路、封止等）や、更には、周辺のアンテナ回路や IC を含め、全てを印刷技術により同時に形成し、コストや生産性を飛躍的に向上させようとする技術革新へのトリガーとなると思われる。

2. 3. 3. 4 知的財産権の取得

(1) 出願済みの関連特許

本研究開発期間中に 51 件の特許出願を行った。

2. 3. 3. 5 成果の普及

(1) 新聞発表

1. 「nano tech 2009 国際ナノテクノロジー・総合展・薄型有機ラジカル電池を出展」 NEDO記者会見
2. 「実用レベルの薄くて曲がる有機ラジカル電池を開発」NECプレスリリース(2010/11/5)
3. 「紙のように薄く曲げられる充電電池、実用化にめど」朝日新聞(2010/11/5)

(2) 展示会出展

1. nano tech 2008 (2008/2)
2. nano tech 2009 (2009/2)
3. nano tech 2010 (2010/2)
4. C&Cユーザーフォーラム & iEXPO 2011 (2010.11)
5. nano tech 2011(2011/2)

(3) 学会発表

1. 岩佐繁之、中原謙太郎、須黒雅博、笠井正紀、五十住宏、小幡孝義、藤本信貴、第 49 回電池討論会、(2008).
2. 岩佐繁之、安井基陽、西教徳、中原謙太郎、須黒雅弘、中野嘉一郎、第 51 回電池討論会、(2010).
3. S. Iwasa, M. Yasui, N. Nishi, K. Nakahara, M. Suguro, K. Nakano, 2010 MRS fall meeting, (2010).

(4) 受賞

第 10 回 (2010 年度) GSC 賞文部科学大臣賞、日本電気株式会社 中原、岩佐、須黒、西、安井

2. 4 高性能、高機能フィルター用部材の開発

2. 4. 1 超超純水プロセスフィルターの開発

2. 4. 1. 1 開発目標と達成度

a. 背景

開発した超極細繊維フィルターの適用場所（イメージ）を図 2.4.1.1-1 に示す。開発するフィルターは、次世代半導体、MEMS、FPD 等電子デバイス製造プロセスの洗浄に用いる超超純水製造プロセス用の微量不純物除去用フィルターであり、クリーンルーム内デバイス洗浄機器近傍の超超純水製造システムの POU（Point of Use）における不純物ポリッシングフィルターとして用いる。

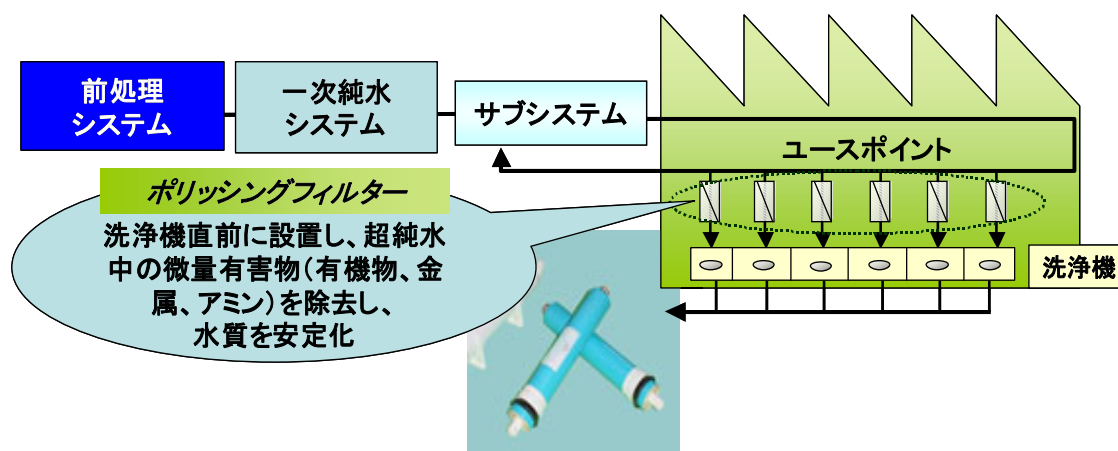


図 2. 4. 1. 1-1 開発するフィルターの適用場所（イメージ）

国際半導体技術ロードマップ 2005（以下 ITRS2005）では、全有機物（TOC）濃度レベルは 2005 年以降 1 ppb 未満で変化がないが、最先端半導体製造の歩留まり向上のためには ITRS2005 目標数字よりも高い清浄度レベルが必要である。金属類の ITRS2005 での目標は 2008 年以降 0.5 ppt であるが、同様に、最先端半導体製造の歩留まり向上のためには ITRS2005 目標数字よりも高い清浄度レベルが必要である。

現在の超純水製造プロセスにおいては微量不純物除去にイオン交換樹脂、活性炭、逆浸透膜（RO 膜）や限外ろ過膜（UF 膜）等の膜フィルター、等を用いているが、図 2.4.1.1-2 に示すように、さらに清浄度レベルを上げるには課題がある。たとえば、用いている膜やイオン交換樹脂、配管といった部材からの極微量の溶出が無視できなくなっている、現在用いている部材の性能を向上させるには技術的な限界が来ている、対象物質によっては微量領域での除去技術が現在ない、等であり、新しい部材の開発が望まれている。

本プロジェクトにおける本開発項目の位置づけを図 2.4.1.1-3 に示す。環境・エネルギー分野で、水処理用途の高性能、高機能フィルター用部材開発の位置であった。

最先端半導体、MEMS、FPD等ナノデバイス製造プロセスの洗浄
 用いる超高純度超純水製造プロセス用。特に微量特定物質除去。

<p>＜従来技術では除去できない物質＞ イオン交換樹脂からの有機物、尿素様物質 従来技術 ⇒ 1ppb以下 (技術なし) ⇒ 0.1ppb以下への挑戦 重金属イオン(Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn) 従来技術 ⇒ 0.1ppt以下 次世代・次々世代 ⇒ 0.01ppt以下 無機物系イオン(ホウ素等) 従来システム(RO膜、イオン交換樹脂)では除去が不十分。 開発中 ⇒ 0.1ppt以下 将来の未知物質 さらなる超高純度化では、使用母材からの溶出防止が課題。</p> <div style="border: 2px solid red; padding: 5px; margin-top: 10px;"> <p>従来素材はいずれも溶出の問題があり、抜本的な母材の見直しが必要。</p> </div>	<div style="display: flex; flex-direction: column; align-items: center;"> <div style="display: flex; align-items: center; margin-bottom: 10px;">  <div style="margin-left: 10px;"> <p>交換容量不足 母材の分解</p> </div> </div> <div style="display: flex; align-items: center; margin-bottom: 10px;">  <div style="margin-left: 10px;"> <p>特異性なし (微量ホウ素、尿素を吸着できず) 吸着量不足</p> </div> </div> <div style="display: flex; align-items: center;">  <div style="margin-left: 10px;"> <p>エネルギー消費大</p> </div> </div> </div>
--	--

図 2.4.1.1-2 本開発の背景

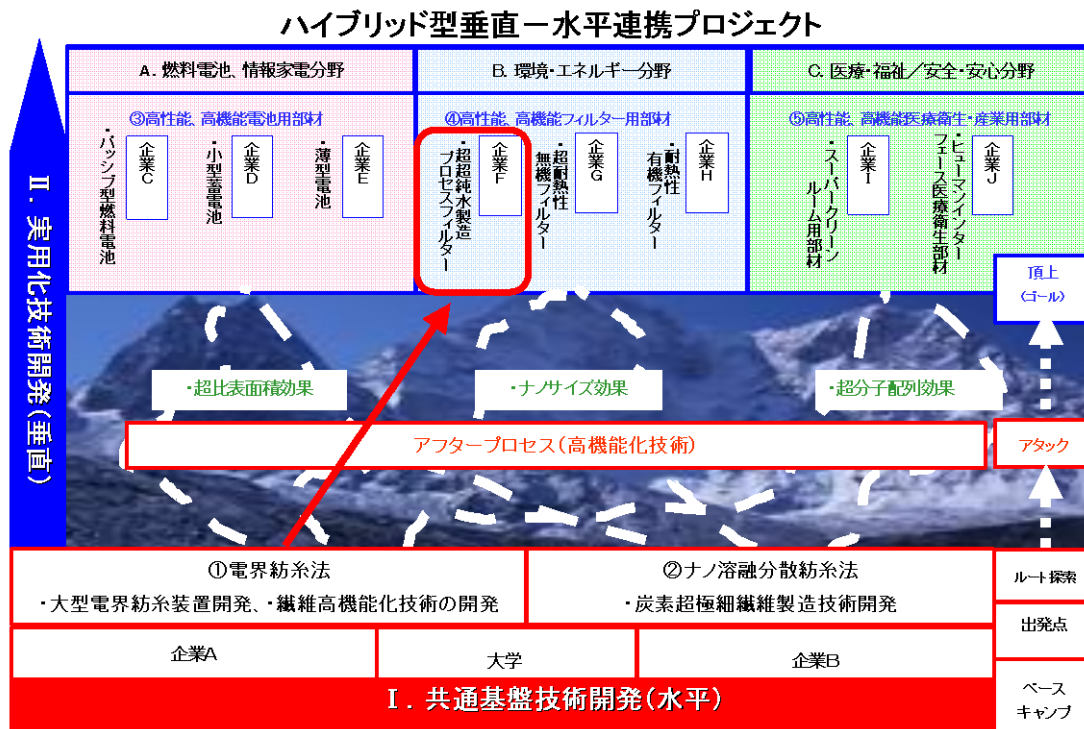


図 2.4.1.1-3 本開発項目のプロジェクトにおける位置づけ

b. 技術課題

ITRS2005 では、全有機物 (TOC) 濃度レベルは 2005 年以降 1 ppb 未満で変化がないが、最先端半導体製造の歩留まり向上のためには ITRS2005 目標数字よりも高い清浄度レベルが必要である。金属類の ITRS2005 での目標は 2008 年以降 0.5 ppt であるが、同様に、最先端半導体製造の歩留まり向上のためには ITRS2005 目標数字よりも高い清浄度レベルが必要である。

これらのレベルでは不純物除去用部材自身からの溶出が極めて少なく、かつ、極微量濃度域での除去効果をもつユースポイント用微量不純物除去フィルターの開発が必要である。

開発目標とした超極細繊維フィルターの開発初期での内部イメージを図 2.4.1.1-4 に示す。微量不純物の全有機物 (TOC)、金属類をそれぞれ除去する超極細繊維層を複合化したフィルターが最終イメージである。

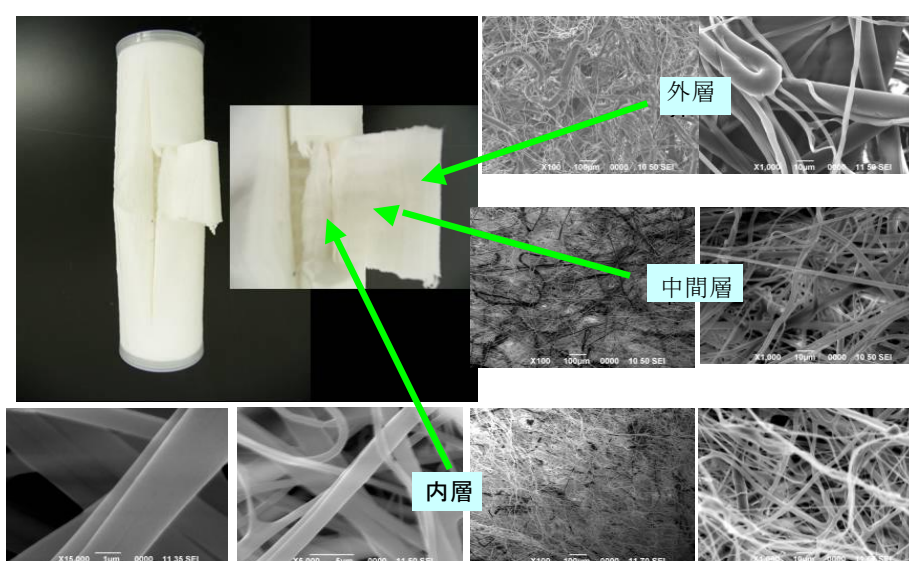


図 2.4.1.1-4 開発フィルターの内部構造 (開始時イメージ)

c. 検討項目と目標

検討項目は 2 項目である。

(1) 有機物除去用フィルター

有機物の中でもっとも除去が難しいとされる尿素を評価対象物質として取り扱い、フィルター出口濃度で TOC (全有機炭素) 濃度 0.1 ppb 以下を達成する素材の探索、超極細繊維化、およびフィルターモジュール化とそれを用いた評価確認により開発を実施した。

なお、中間評価時点でフィルター単独での達成を難しいと判断し、前処理としての装置システムによる除去と超極細フィルターでの除去の組み合わせで目標水質を達成することを目標とした。

(2) 金属類除去用フィルター

カルシウム (Ca)、鉄 (Fe)、ナトリウム (Na) 等の金属類を評価対象物質として取り扱い、フィルター出口濃度で 0.01 ppt 以下を達成する素材の探索、超極細繊維化、およ

びフィルターモジュール化とそれを用いた評価により開発を実施した。

d. 目標の設定根拠

表 2.4.1.1-5 に目標設定の根拠、および、開発目標のレベルのまとめを示す。

(1)有機物除去用フィルター

競合の最先端技術は 1 ppb までを達成するものであり、開発目標とする 0.1 ppb 達成は世界初を狙ったものである。

(2)金属類除去用フィルター

イオン交換樹脂を使った超超純水製造も 0.05 ppt を達成できるようになっている。開発目標とする 0.01 ppt は水質としては世界最高水準であり、また、競合技術がイオン交換樹脂や UF フィルター等の複数の大型装置を組み合わせるの技術に対して、フィルターのみで達成することを目指している点では、競合技術に対してコスト的にかなり優位にたつことができる技術である。

また、開発するイオン除去フィルターの寿命は、競合技術の最高品で 3 か月間に対して開発技術は 1 年間と 4 倍を目標とした。

表 2.4.1.1-5 目標の設定根拠

項目		開発技術	従来技術・競合技術
有害物 除去性能	有機物除去	世界初 ・中間目標：1ppb ・最終目標：0.1ppb	紫外線分解+吸着除去法：1ppb (フィルター技術はない)
	金属除去	世界最高水準 ・中間目標：0.05ppt ・最終目標：0.01ppt	イオン交換樹脂： 0.05ppt イオンフィルター：0.1ppt以下
寿命	金属除去	世界最高水準 ・寿命1年	イオンフィルター： 3か月

e. 開発目標の達成度

表 2.4.1.1-6 に目標に対する研究開発成果と達成度を示す。有機物（TOC）用フィルター、金属用フィルター、ともに目標を達成した。

(1)有機物除去用フィルター

有機物として最も除去が難しい尿素を対象物質として、入口 1.5 ppm を出口 0.1 ppb とする（除去率として 99.9993 %に相当）システムを考案し、0.5 ppb の水質までを確認するとともに、システム最適化で 0.1 ppb 以下を達成できる見通しを得た。

表 2.4.1.1-6 目標に対する研究開発成果と達成度

目 標	研究開発成果	達成度
<p>(1) 超超純水製造 プロセスフィルターの開発</p> <p>TOC濃度で0.1 ppb以下、</p> <p>及び</p> <p>金属類を0.01 ppt以下を達成する。</p>	<p>TOC: 入口1.5 ppmを出口0.1 ppbとする(除去率として99.9993%に相当)システムを考案し、0.5 ppbの水質までを確認するとともに、システム最適化で0.1ppb以下を達成できる見通しを得た。</p> <p>金属: 入口1 pptを出口0.01 ppt以下とする(除去率として99 %以上に相当)、イオン交換能を有する超極細繊維を含むフィルタを開発し、試作品での性能を確認した。</p>	<p>達成</p>

(2)金属類除去用フィルター

入口 1 ppt を出口 0.01 ppt 以下とする（除去率として 99 %以上に相当）、イオン交換能を有する超極細繊維を含むフィルターを開発し、試作品での性能を確認した。

f. 研究開発スケジュール

研究開発スケジュールを図 2.4.1.1-7 に示す。

(1)有機物除去用フィルター

有機物除去を対象とするフィルター開発は他の方法でも除去が難しい有機物を対象物質とした吸着素材探索とその極細繊維化を検討したが、いくつか見つかった候補物質もその吸着能と目標との差、極細繊維化の難しさ、などからプロジェクト中間期において方針を変更し、前段での装置プロセスによる有機物分解と後段での超極細繊維フィルターによる除去、という組み合わせの検討を平成 21 年度から追加した。

(2)金属類除去用フィルター

ほぼ当初計画通りの開発を実施できたが、実用化に必要な大面積超極細繊維体の高速紡糸技術開発、および、そのための物性研究、および、紡糸試料を用いたモジュール製作とモジュールによる金属イオン除去性能確認に時間が計画よりかかり、当初計画では平成 22 年度からに計画していた商業化前段の試作品フィルターによる現場での長期評価開始が平成 23 年度以降にずれ込んだ。

g. 共通基盤技術開発との連携

本プロジェクトの特長である垂直－水平連携での研究開発として、「大型電界紡糸装置開発・繊維高速化技術の開発」を実施した大学および企業 A とプロジェクト開始初期から連携しての開発を進めてきた。

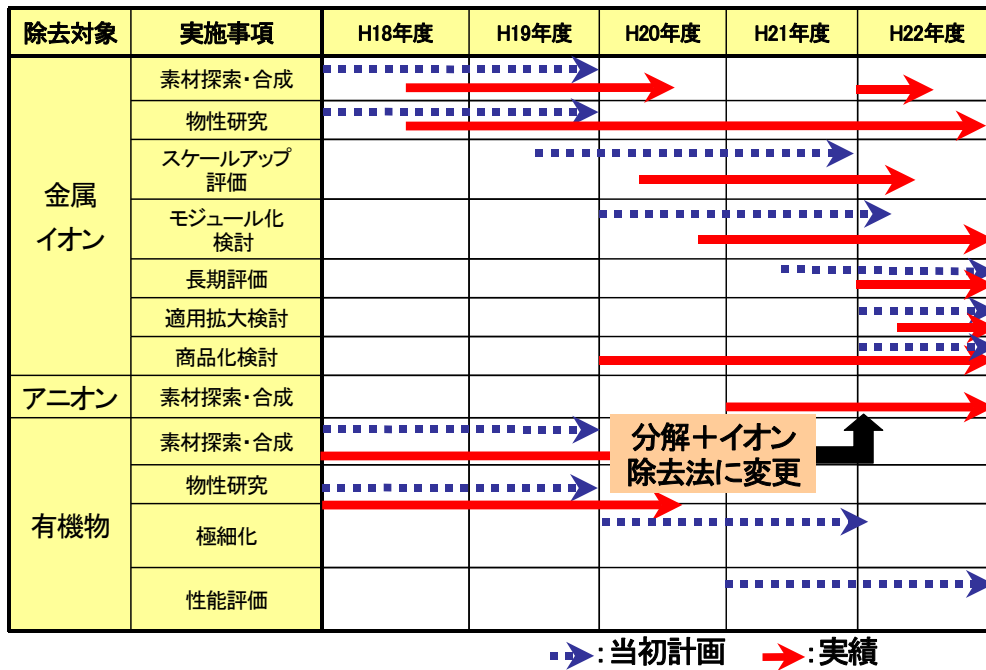


図 2. 4. 1. 1-7 研究開発スケジュール

表 2.4.1.1-8 に共通基盤技術開発との連携の実績を示す。

大学および企業 A 設置の大型紡糸装置を使った実験、各種分析装置を活用した物性測定、および、頻繁な協議を行いながらの連携を実施した。

表 2. 4. 1. 1-8 共通基盤技術開発との連携の実績

連携	期間：平成18年6月～平成23年3月
〈進捗協議〉	
大学・企業A・企業F	12回
大学・企業F	21回
企業A・企業F	3回
〈実験回数〉	
大学	92回
企業A	4回

2. 4. 1. 2 検討内容

(非公開)

2. 4. 1. 3 成果の意義

(非公開)

2. 4. 1. 4 知的財産権の取得

開発に関わる特許出願を国内 20 件、そのうち 1 件を PCT 出願および台湾等への外国出願を実施した。

2. 4. 1. 5 成果の普及

開発したフィルター分野では、競合品がすでに存在すること、また、有害物質除去に関わる水処理企業、フィルター企業の競合が国内・国外ともに激しいことから、本開発品は上市の時期に对外発表を行う方針としており、学会発表、新聞発表は平成 23 年 4 月時点では未実施である。

2. 4. 2 超耐熱性無機フィルターの開発

2. 4. 2. 1 計画、目標

[背景]

近年、社会の関心が、省エネルギー化、環境問題に集められている中で、フィルターに対して、さらなる高捕集効率化かつ低圧力損失化が求められている。中でも従来技術では困難とされた焼却炉、オーブン等の超高温条件下での塵埃除去の要求が高い。

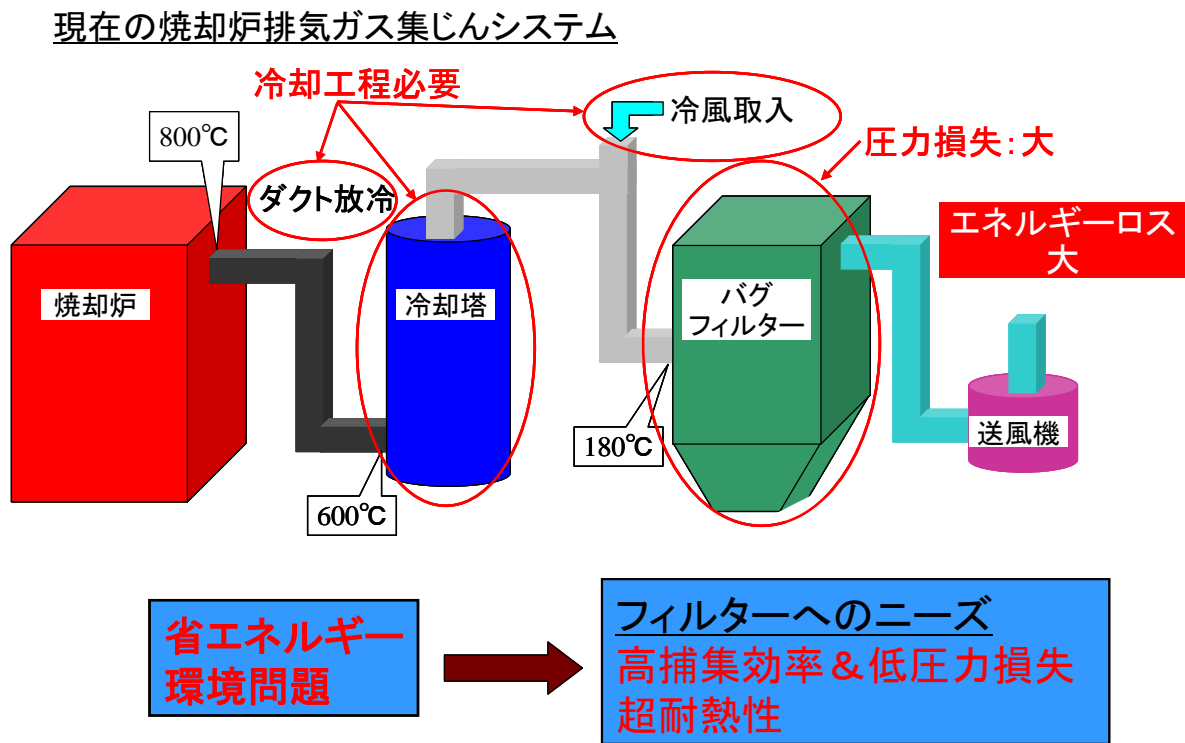


図 2. 4. 2. 1-1 本開発における技術的背景

これらの要求に応えるべく図 2.4.2.1-2 に示すごとく、共通基盤技術開発における大型電界紡糸装置開発、繊維高機能化技術開発を応用し、ナノサイズ効果を活かした実用化技術開発を行い、高性能、高機能フィルター用部材を開発する。

ハイブリッド型垂直－水平連携プロジェクト

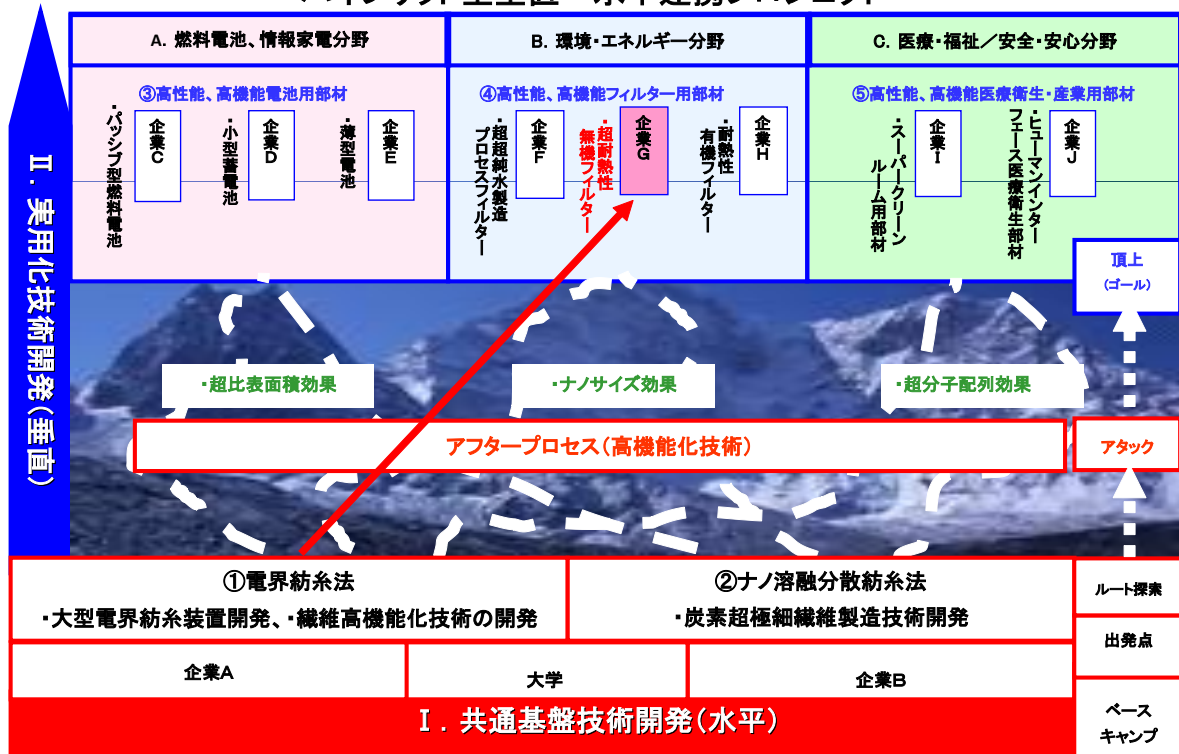


図 2.4.2.1-2 共通基盤技術開発と実用化技術開発の連携図

[技術課題]

超耐熱性無機フィルターを開発するにあたり、表 2.4.2.1-1 に示す開発テーマ及び技術課題を挙げ、取り組むこととした。

表 2.4.2.1-1 開発テーマと技術課題

開発テーマ	技術課題
無機超極細繊維製造技術	無機超極細繊維紡糸条件の確立
	無機超極細繊維コンポジット技術確立
	ろ材構成の最適化
超耐熱性フィルター製造技術	無機超極細繊維フィルター基本性能評価
	フィルターユニット製造技術

[検討項目とその説明]

上記、表 2.4.2.1-1 に記した技術課題を解決する為の検討課題及びその手段を表 2.4.2.1-2 に示す。また、検討を実施していくにあたっての役割分担を図 2.4.2.1-3 に示す。

表 2.4.2.1-2

課題	手段	担当
無機超極細繊維紡糸条件の確立	電界紡糸技術による無機超極細繊維の作成条件を検討し、安定した、無機超極細繊維作成条件を確立する。また、様々な無機化合物について無機超極細繊維の作成条件を検討する。	帝人
無機超極細繊維コンポジット技術開発	無機超極細繊維と保護基材とを複合化する技術を開発する。	帝人
ろ材構成の最適化	無機超極細繊維と保護基材との複合体構成を最適化する。	帝人 日本エアー・フィルター
無機超極細繊維フィルター基本性能評価	今までの経験や、JIS 等の規格に準じた方法により、 $0.1 \mu\text{m}$ 以上の粒子を測定可能な測定機器を用いて、基本性能（初期圧力損失、初期粒径別捕集率等）を評価し、フィルターとして使用可能となる無機超極細繊維フィルターを検証する。	日本エアー・フィルター
フィルターユニット製造技術	無機超極細繊維フィルターの素材特性を把握し、フィルター形状、加工方法等の製造技術を検討し、確立する。	日本エアー・フィルター

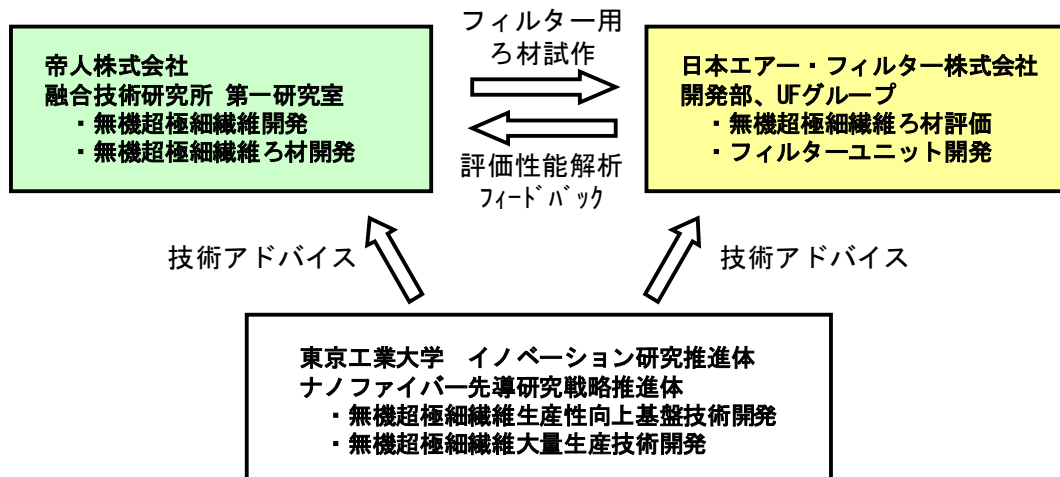


図 2.4.2.1-3 役割分担（グループ内体制図）

[成果のまとめ]

表 2.4.2.1-3

検討課題	主要な研究内容	顕著な成果
④-(2)-1 無機超極細繊維紡糸条件の確立	各種組成による電界紡糸条件の検討 基盤技術活用による生産性向上	繊維径 500 nm 以下、耐熱温度 1000℃以上で、柔軟性を損なわない無機超極細繊維を従来より 100 倍以上の速度で生産できることを確認した。
④-(2)-2 無機超極細繊維コンポジット技術開発	シート化技術の開発	無機超極細繊維と無機繊維の混合抄紙により、低圧力損失と取扱性確保の両立を確認した。
④-(2)-3 ろ材構成の最適化	保護基材との複合化、最適化	保護基材の選定を行い、耐熱性を持つ基材を使用して無機超極細繊維のみで抄紙できることを確認した。
④-(2)-4 無機超極細繊維フィルター基本性能評価	基本性能評価による無機超極細繊維目付量の把握	無機超極細繊維目付量と粒子捕集効率の関係を把握し、目標値を満足しうる性能を発揮できる目付量を確認した。
④-(2)-5 フィルターユニット製造技術	フィルター形状の検討、性能評価による検証	フィルターユニットを製作して性能評価し、最終目標値を満足しうる性能を発揮できることを確認した。

[目標値とその妥当性]

表 2.4.2.1-4

検討項目	中間目標	最終目標	目標値の妥当性
<u>捕集効率</u> 0.1 μm 粒子の何%を捕集できるか。	90 % (at 0.1 μm)	90 % (at 0.1 μm)	焼却炉排気ガス処理の基準値クリア
<u>初期圧力損失</u> フィルターとしての使用開始時、フィルター入り口と出口の風圧の差	180 Pa	120 Pa	既存の水準では、耐熱性を有し、0.1 μm 粒子が捕捉可能なフィルターでは、初期圧力損失が 250 Pa である。上記目標の圧力損失を達成する為には、フィルターに用いる無機繊維の繊維径を微細かつ柔軟性を持たせる事が必要である。そこで、左記目標の無機超極細繊維を開発する。この無機超極細繊維により左記目標が達成されると、初期圧力損失が現状対比半減でき、使用電力量が約 40 %削減できる。
<u>耐熱性</u> フィルターろ材が形態を維持できる最高温度	800℃	1000℃	焼却炉排気ガスの冷却工程不要
<u>超極細繊維繊維径</u> フィルターろ材を構成する超極細繊維の平均繊維径	< 500 nm	< 500 nm	500 nm 以下であるとサブミクロン粒子の捕捉が可能

[最終目標に対する達成度]

表 2.4.2.1-5

検討項目	最終目標	達成値	達成度	内容
捕集効率(0.1 μ m 粒子)	> 90 %	> 99 %	◎	保護基材を無機繊維不織布に変更し、無機超極細繊維の目付量を最適化して、目標値を達成することができた。
初期圧力損失	< 120 Pa	< 100 Pa	◎	無機超極細繊維の微細化を検討し、300 nm～100 nm とすることに成功した。この無機超極細繊維で抄紙シートを作製し、最終目標値を満足していることを確認した。
耐熱性	1000℃	1000℃	◎	室温及び 1000℃加熱後の性能差を確認し、1000℃においても捕集効率目標値を維持できる無機超極細繊維の目付量を見出した。
超極細繊維繊維径	< 500 nm	< 300 nm	◎	無機超極細繊維の微細化を検討し、300 nm～100 nm とすることに成功した。

[実用化の見通し]

今回開発したセラミック系無機材料からなる超極細繊維作成技術を用いることで、超耐熱性フィルターとして使用可能な無機超極細繊維を生産することが可能となった。これにより、従来は存在しなかった、超耐熱性、高い捕集効率、低圧力損失を兼ね備えたフィルターが完成した。この開発技術を実用化するためには、現在使用されている空気清浄装置に設置可能となるようなフィルター形状のフレキシブル性を実現し、また集塵装置として一般的なパルスエアによる捕集粉じんの払い落とし機能の付加が必要となってくる。これらの課題と解決ステップのイメージについて図 2.4.2.1-4 に示す。

本研究の無機超極細繊維フィルターは柔軟性を有しているが、有機繊維で行われている一般的な加工機械ではプリーツ加工を施すことが出来なかった。この点については、セラミック超極細繊維に適した構造（大型化やプリーツ構造の最適化）により解決できる。また、払い落とし機能付加については現在集塵用フィルターに用いられている剥離性の高い素材との組み合わせ加工や、超極細繊維の固定化技術、強度維持基材によるサンドイッチ構造を用いた繊維保護技術を応用することにより実用化できる。

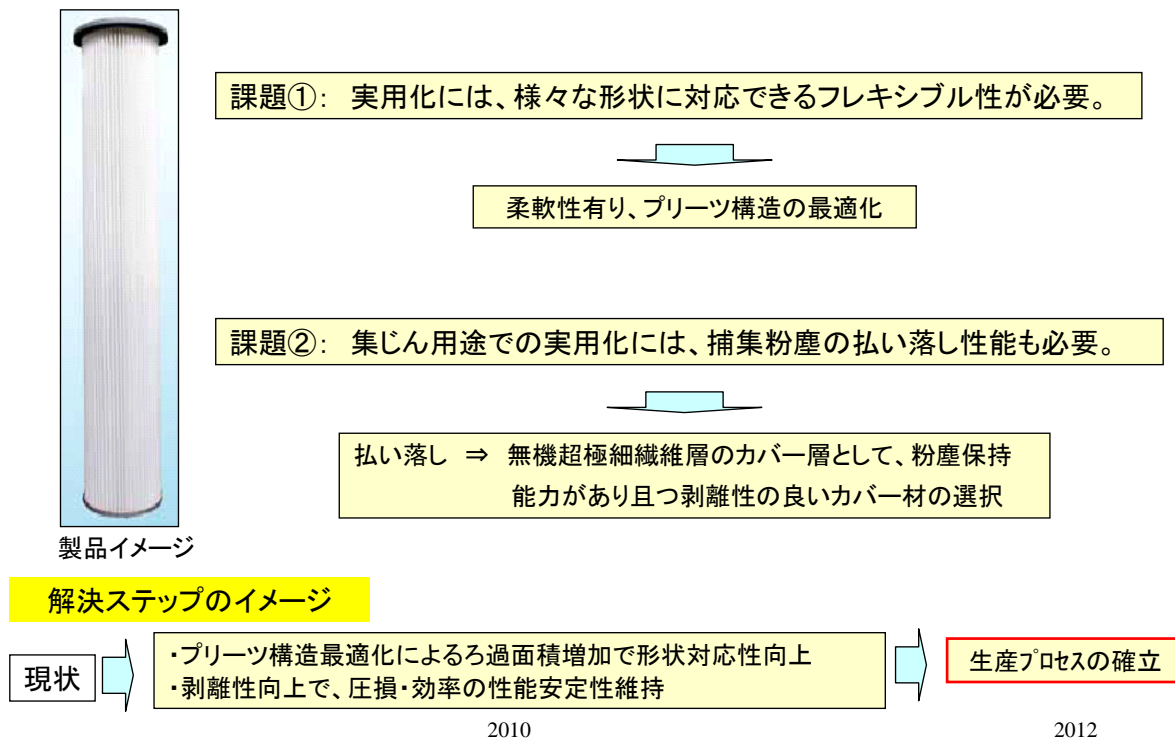


図 2.4.2.1-4 実用化までの課題と解決ステップ

2. 4. 2. 2 成果、解決方法

[研究成果]

様々な組成の無機化合物について超極細繊維が得られる条件を見出すとともに、1000°C以上の温度でも柔軟性が損なわれない無機超極細繊維を開発した。また得られた無機超極細繊維からフィルター用ろ材を試作し、既存のフィルターとの性能比較を実施した。

この結果、無機超極細繊維の生産性を従来の100倍以上に向上させることが出来た。また、無機超極細繊維と無機繊維を混合してシート化することにより、低圧力損失と取扱性を両立できることを確認した。さらに、無機超極細繊維からなる、異なる目付量のフィルター用ろ材を試作・評価し、目付量の違いによる性能を把握すると共に、中間目標値を満足しうる目付量のフィルター用ろ材について、製作方法の目処を得た。

2. 4. 2. 2-1 無機超極細繊維作製技術開発

無機超極細繊維ろ材は、電界紡糸により無機前駆体超極細繊維を作製した後、これを焼成して無機超極細繊維を作製し、更にこれを抄紙することでシート化して作製する。

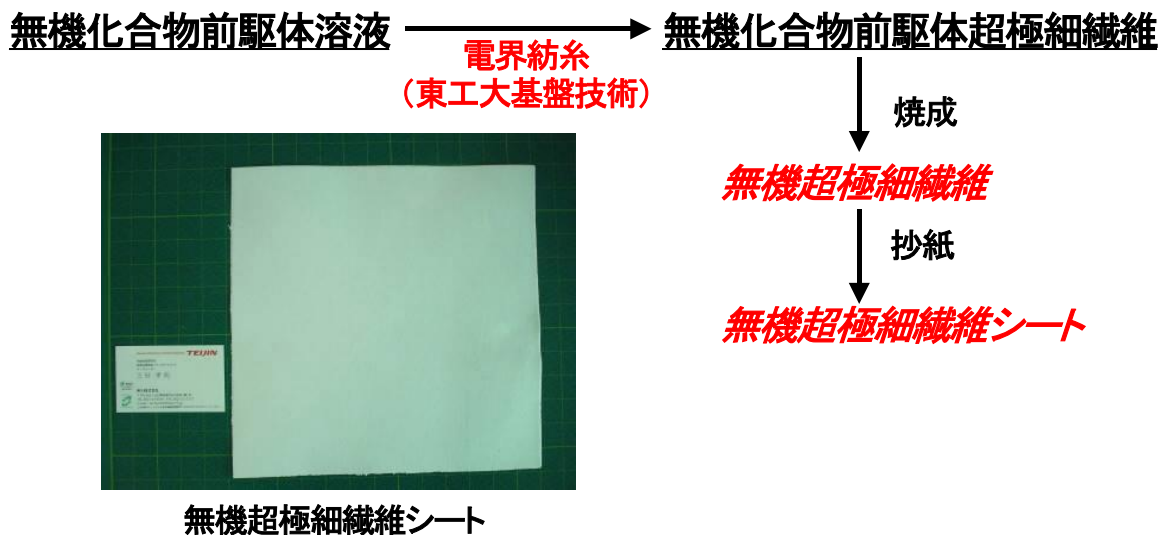


図 2.4.2.2-1 無機超極細繊維シート作製スキーム

その結果、繊維径が 500nm 以下であり、1000℃以上の温度でも柔軟性が損なわれない、無機超極細繊維を作製することに成功した。(国内特許 1 件、国際特許 1 件出願)

2. 4. 2. 2-2 無機超極細繊維シート化技術開発

無機超極細繊維を用いたフィルターで圧力損失を小さくするためには、無機超極細繊維の目付量を小さくする必要がある。しかしながら、目付量を小さくすると取扱性が悪くなる。そこで、無機超極細繊維と無機繊維を混合してシート化することにより、低圧力損失と取扱性を両立する方法を検討した。繊維径 500 nm 以下の無機超極細繊維と繊維径数 μm の無機繊維を混合して抄紙することにより、低圧力損失と取扱性を両立できることが確認された。(国内特許 1 件出願)

[最終目標に向けての課題と解決策]

2. 4. 2. 2-3 フィルターユニットの作製

無機超極細繊維を用いて、フィルターユニットの試作を行った。圧力損失を低減させるには可能な限りろ材面積を増やしてろ過風速を下げる必要があるため、プリーツ構造を検討した。その結果、無機超極細繊維では折り曲げ時に繊維を損傷してしまうおそれがあるため、折り曲げを伴わないパネル構造とした。

2. 4. 2. 2-4 フィルターユニットのフィルター性能評価

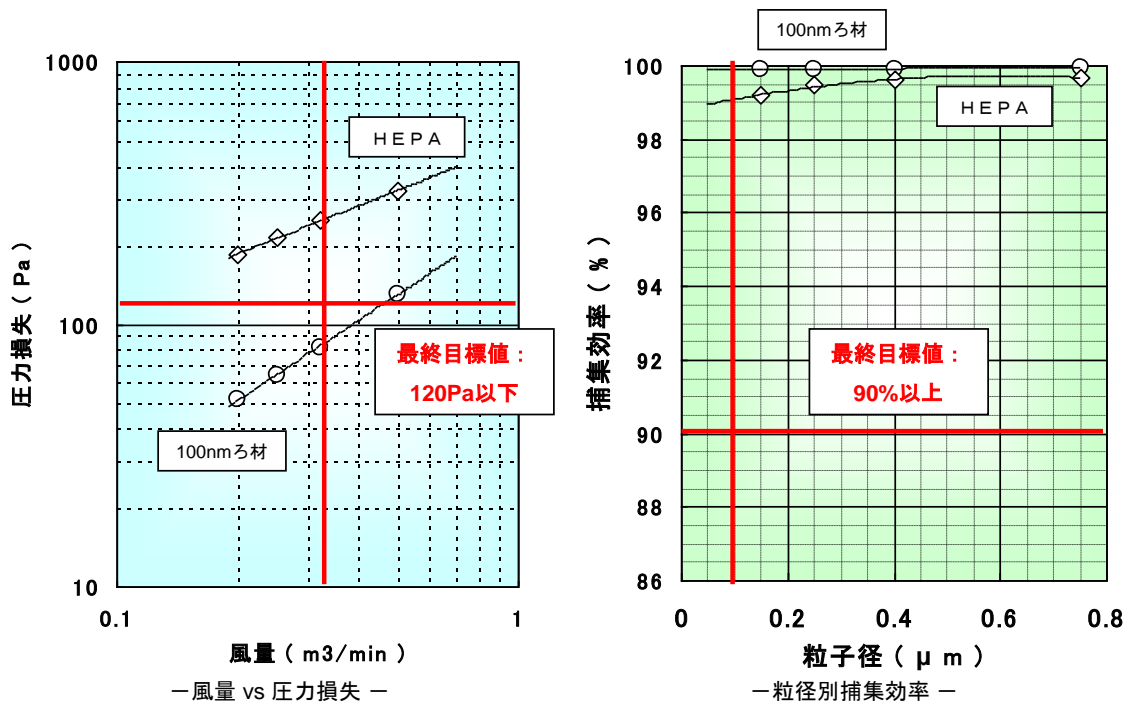


図 2.4.2.2-2 フィルターユニットでの性能評価結果

従来のガラス繊維製 HEPA ろ材の圧力損失 250 Pa (風量 $0.32 \text{ m}^3/\text{min}$) に対して、無機超極細繊維フィルターでは大幅に低く、最終目標値を満足できた。捕集効率も $0.1 \mu\text{m}$ で 90% 以上であり最終目標値を満足できるものが完成した。

[成果の意義]

本事業による開発品は世界最高水準の耐熱性を有し、競合技術への優位性が大きいことから、多種グレードのフィルターへの展開が可能であり、また新市場創出効果も大きい。(図 2.4.2.2-3)

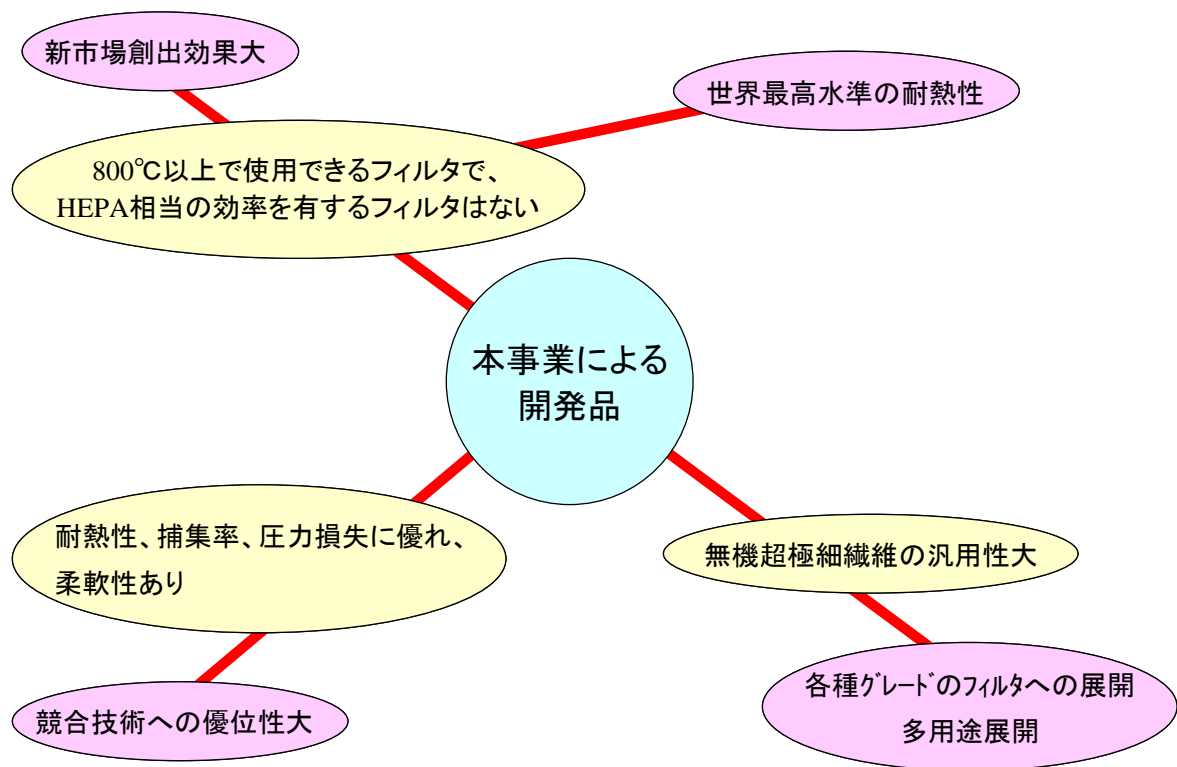


図 2.4.2.2-3 成果の意義

[成果の発表]

無機超極細繊維、耐熱性と柔軟性を兼ね備えた超極細繊維、取扱性と低圧力損失を兼ね備えたシートに関して、特許出願を行った。

また、nano tech（国際ナノテクノロジー総合展・技術会議）において成果物サンプルを出展し、成果について発信している。

表 2.4.2.2-1 出願特許リスト

名称	出願番号	発明者
セラミック繊維およびセラミック繊維の製造方法	特願 2006-351765	三好孝則、小村伸弥、佐藤友祐
無機繊維およびその製造方法	特願 2008-197746	天満美和、三好孝則
無機繊維およびその製造方法	特願 2009-024805	天満美和、三好孝則
ショットを含まない無機繊維及びその製造方法	特願 2009-035017	天満美和、三好孝則
無機繊維およびその製造方法	特願 2009-046004	天満美和、三好孝則
セラミック繊維およびセラミック繊維の製造方法	PCT/JP2007/074391	三好孝則、小村伸弥、佐藤友祐
セラミック繊維およびセラミック繊維の製造方法	特願 2008-551050	三好孝則、小村伸弥、佐藤友祐
セラミック繊維およびセラミック繊維の製造方法	中国特願 200780048437.0	三好孝則、小村伸弥、佐藤友祐
セラミック繊維およびセラミック繊維の製造方法	欧州特願 07850861.1	三好孝則、小村伸弥、佐藤友祐
セラミック繊維およびセラミック繊維の製造方法	韓国特願 2009-7013218	三好孝則、小村伸弥、佐藤友祐
セラミック繊維およびセラミック繊維の製造方法	米国特願 12/517137	三好孝則、小村伸弥、佐藤友祐
不織布	PCT/JP2008/050851	三好孝則、小村伸弥
不織布	特願 2008-555080	三好孝則、小村伸弥

2. 4. 3 耐熱性有機フィルターの開発

2. 4. 3. 1 計画、目標

[背景]

近年、省エネルギー、環境問題に関心が高まる中、フィルター分野においては、高捕集効率かつ低圧力損失の部材、また環境に配慮した廃棄処理方法が求められている。表 2.4.3.1-1 に示すように、これまで、微粒子の捕集には抄紙からなるガラス繊維ろ材のフィルターが適用されてきたが、圧力損失が高いため、フィルターに流体を通過させてる過する場合には、エネルギーを多く消費している。またガラス繊維は焼却処理が一般的には困難であり、多くが産業廃棄物として埋め立て処理されているため、場所確保の困難、自然環境に及ぼす影響等が取りざたされている。一方、合成繊維によるフィルターろ材の開発も進められているが、現状では合成繊維では微細繊維化が難しく、微粒子の高捕集効率化を実現するためには厚みのあるフィルターろ材を作成する必要がある、軽量、コンパクト化は困難である。また、焼却炉などの耐熱性を要求される高温環境下における使用では、フィルター使用可能温度まで流体を冷却する必要があり、設備が大きくなるばかりでなく、エネルギーの消費量が多くなる。したがって、合成繊維からなるフィルターで、高捕集効率と省エネルギーの両方を同時には達成出来ていない。

高捕集効率と低圧力損失を同時に満足するために、直径がナノメートルオーダーである繊維を用いたフィルターの開発が検討されている。直径がナノメートルオーダーの繊維からなるろ材では、その形状から、スリップフローによる低圧力損失化や、サブミクロンオーダーの粒子の高捕集効率を達成することができる。したがって、従来技術では成しえなかった高捕集効率かつ低圧力損失のろ材開発が可能となる。しかしながら、これらの繊維は、熱可塑性ポリマーで構成されており、耐熱性が不十分であるため、TGA が 400℃以上を満足するような耐熱性に優れたフィルターは開発されていない。

また、現在 HEPA、ULPA 用の素材として使用されているガラス繊維は、耐熱性および捕集効率の点では優れているが、前述のように、圧力損失が高く、廃棄処理の際に環境への負荷が高いといった問題がある。以上のように、捕集効率、圧力損失、耐熱性、環境対応といった全てを満足する高性能フィルターは存在しない。

これに対して、帝人テクノプロダクツ株式会社の所有するアラミド繊維は、耐熱性、耐薬品性に優れており、様々な用途において使用実績のある有機高分子である。本事業においては、アラミド繊維の超極細繊維成形技術の開発ならびに新規技術の付与により、従来フィルター性能を飛躍的に向上させ、例えば、常用 200℃の使用に耐えうる、半導体の乾燥炉排ガス処理のような用途にも展開できる、耐熱性に優れた有機フィルターの開発を目標とする。

本開発では、表 2.4.3.1-2 に示すように、平成 20 年度（中間目標）において、0.1 μm 粒子が 90 % 以上捕集可能な初期圧力損失が 180 Pa であり、耐熱性 300℃を達成し、平成 22 年度（最終目標）において、0.1 μm 粒子が 99 % 以上捕集可能な初期圧力損失が 120 Pa であり、耐熱性 400℃を達成するフィルターの開発を目標としている。

また、本開発は、先端機能発現型新構造繊維部材基盤技術の開発プロジェクトの一部であり、東京工業大学およびパナソニックファクトリーソリューションズ、帝人が開発を行う、共通基盤技術（水平）を利用した、実用化技術開発（垂直）における、環境・エネルギー

ギー分野ー高機能・高性能フィルター用部材ー耐熱有機フィルターに位置する。本内容の
 まとめを図 2.4.3.1-1 に示す。

表 2.4.3.1-1 対象と技術アプローチ

対象	従来技術	問題点	本事業の 技術的アプローチ	特徴
・ガラス繊維を用いた たる材	・抄紙	・高圧力損失 ・埋立廃棄 ・繊維再飛散	電界紡糸法により 成形された、耐熱 有機超極細繊維 の利用	・高耐熱性 ・省エネルギー 低圧力損失 軽量コンパクト化
・汎用合成高分子 を用いたたる材	・спанレース ・メルトブロー	・低捕集効率 ・耐熱性		・高捕集効率 ・環境配慮 燃焼による廃棄可

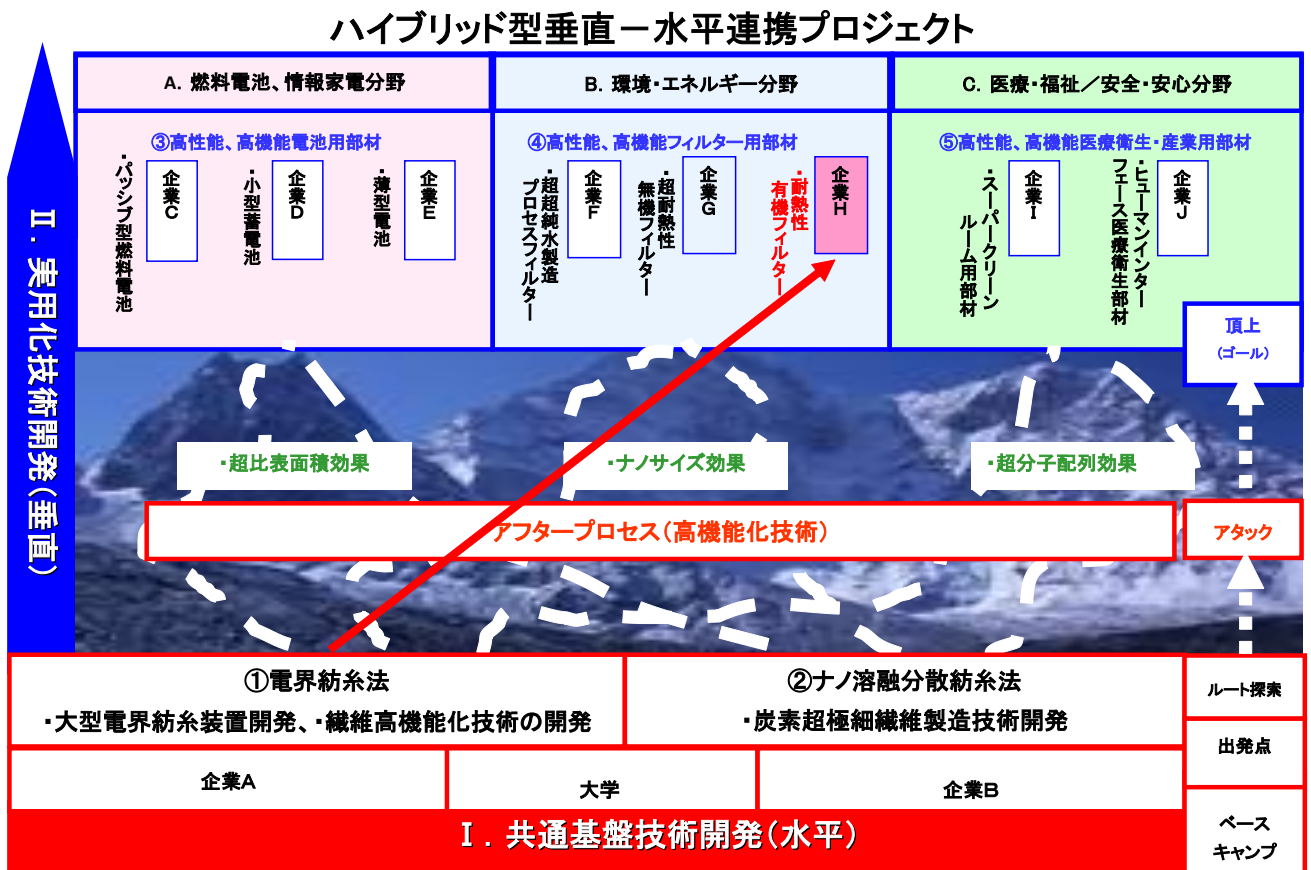


図 2.4.3.1-1 本プロジェクトにおける垂直水平連携図

表 2.4.3.1-2 開発目標

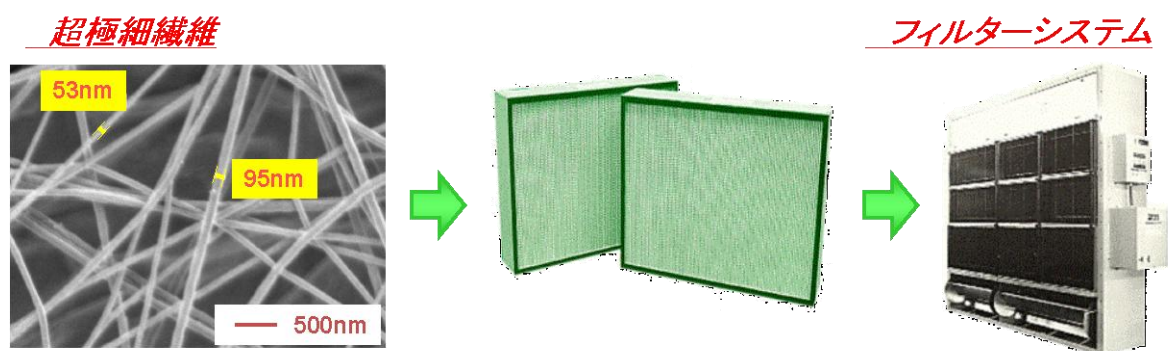
項目	中間目標 (平成 20 年度)	最終目標 (平成 22 年度)
超極細繊維	直径 100 nm 以下	直径 100 nm 以下
フィルター性能	捕集効率 0.1 μm 粒子 90 %以上 初期圧力損失 180 Pa 以下	捕集効率 0.1 μm 粒子 99 %以上 初期圧力損失 120 Pa 以下
耐熱性	300℃	400℃

[技術課題]

本プロジェクトでは、表 2.4.3.1-2 に示すように、繊維径が 100 nm 以下の超極細繊維を利用した 0.1 μm 粒子が 99 %捕捉可能な、初期圧力損失が 120 Pa であり、耐熱性 400℃を達成する耐熱有機フィルターの開発を目標としているため、帝人テクノプロダクツ株式会社および日本エアール・フィルター株式会社では、表 2.4.3.1-3 に示すような開発項目および技術的課題を有する。

表 2.4.3.1-3 耐熱有機フィルター開発における技術課題

開発項目	技術課題
超極細繊維の成形	・基本紡糸条件の設定
有機耐熱フィルターの開発	・有機超極細繊維の物性評価 ・商業生産条件の確立 ・溶剤回収技術の確立 ・耐熱 HEPA フィルターの開発



・低圧力損失、高捕集効率、耐熱性を有するフィルターユニットの完成

* 生産技術・プロセスの確立

* システムとしての評価

図 2.4.3.1-2 本プロジェクトの目標

[検討項目とその説明]

また、本開発では、図 2.4.3.1-3 に示すような開発体制にて連携をとりながら耐熱有機フィルターの開発を実施する。

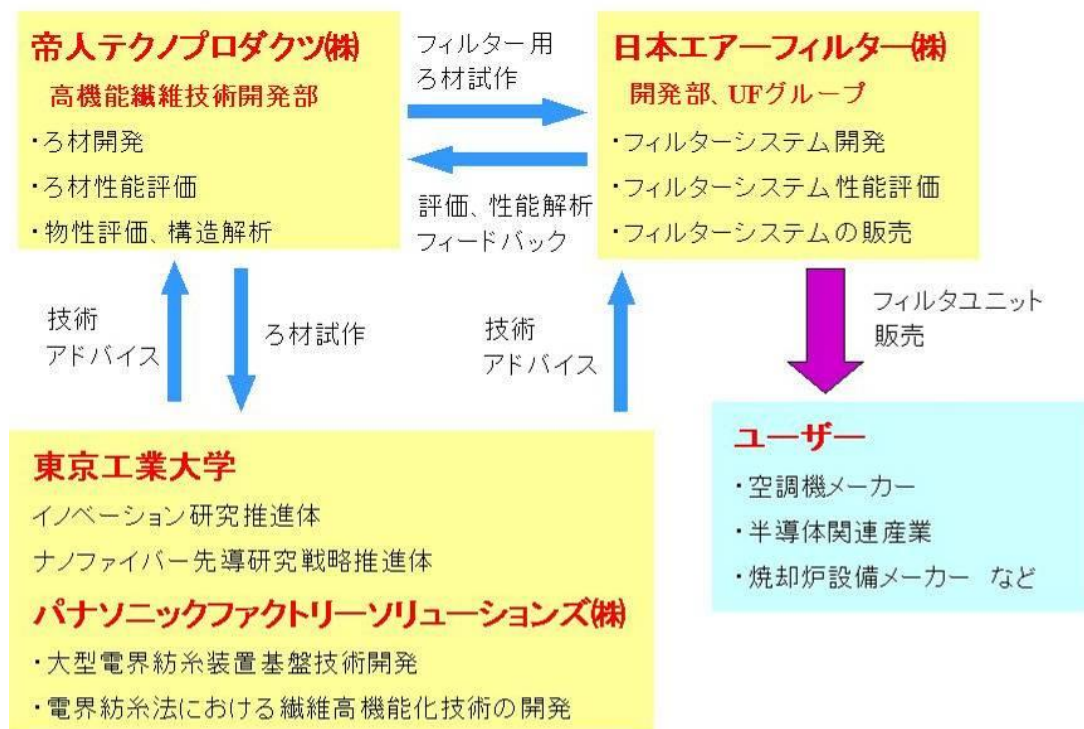


図 2.4.3.1-3 研究開発体制

[成果のまとめ]

本研究では、紡糸基本条件の設定、有機超極細繊維の物性評価、平板フィルターの製作・評価、基材との貼り合わせ試作・評価について研究を行い、一定の成果を得た。研究内容、成果について表 2.4.3.1-4 にまとめる。

表 2.4.3.1-4 成果のまとめ

開発項目	主要な研究内容	顕著な成果
④-(3)-1 紡糸基本条件の 設定	<ul style="list-style-type: none"> ・既設キャピラリー法において、各種紡糸条件の検討を実施した ・基盤技術装置にてテストを実施した 	<ul style="list-style-type: none"> ・溶液中のポリマー濃度に着目し、該濃度を調整することで、超極細繊維が安定的に積層する事を確認した ・既設キャピラリー法よりも生産性が高く、高粘度系アラミドポリマーにも適用可能な事を確認した
④-(3)-2 有機超極細繊維 の物性評価	<ul style="list-style-type: none"> ・レーザー顕微鏡および SEM、通気度計、フィルター評価装置にて積層状態ならびに繊維径を評価した ・超極細繊維の熱分析を実施した 	<ul style="list-style-type: none"> ・得られた結果を紡糸条件へフィードバックした。さらに、局所空調機等を使用し紡糸条件を調整した ・最終目標値である 400℃耐熱性は達成出来る事を確認した
④-(3)-3 商業生産条件の 確立	<ul style="list-style-type: none"> ・大型電界紡糸装置にて、高生産性及び紡糸安定性を両立すべく、設備仕様及び紡糸条件の検討を行った 	<ul style="list-style-type: none"> ・高生産性を維持しながら、安定して超極細アラミド繊維が得られる生産条件を確立した
④-(3)-4 溶剤回収条件の 確立	<ul style="list-style-type: none"> ・紡糸時に発生する低濃度の揮発溶剤を含む排気中からの溶剤回収技術調査を実施した 	<ul style="list-style-type: none"> ・有効な回収技術は無く、新技術の開発が必要である ・本開発は、本プロジェクトの趣旨に必ずしも合致しない為、本プロジェクト外で技術調査・検討を実施した
④-(3)-5 耐熱 HEPA フィ ルターの開発	<ul style="list-style-type: none"> ・アラミド超極細繊維使用試作平板ろ材の評価を実施した ・有機耐熱繊維を調査し、超極細繊維との接着性、強度、剛性を調査した ・フィルターユニットを試作して性能を評価した 	<ul style="list-style-type: none"> ・平板ろ材、フィルターユニットにおいて最終目標値を達成できることを確認した

[成果の意義]

本研究での市場創出効果としては、超極細繊維の利点である超比表面積効果や超微小サイズ効果、耐熱性効果を活かし、新たな技術領域開拓により焼却炉排気や原子炉関連施設、半導体関連産業、医薬品産業、食品工場などでの新市場の創出が期待できる。また、従来のフィルターシステムでは困難であった、焼却廃棄可能でかつ高捕集効率・低圧力損失が実現可能となり、競合技術と比較して高い優位性があることから、フィルター素材として世界最高水準に到達することが出来る。

[目標値とその妥当性]

本プロジェクトにおける中間目標および最終目標について表 2.4.3.1-5 にまとめる。最終目標は現状の技術と比較して大きな優位性を有しており、これらの目標を達成することで新たな市場の創出が可能となる。

表 2.4.3.1-5 目標値とその妥当性

検討項目	中間目標 (平成 20 年度)	最終目標 (平成 22 年度)	目標値の妥当性
超極細繊維の成形	直径 100 nm 以下	同左	従来の耐熱繊維であるガラス繊維の繊維径は最小で 300 nm 程度であり、目標値は、低圧損化が可能になる 100 nm 以下にした
フィルター性能	捕集効率 0.1 μm 粒子 90 %以上 初期圧力損失 180 Pa 以下	捕集効率 0.1 μm 粒子 99 %以上 初期圧力損失 120 Pa 以下	捕集が最も困難な 0.1 μm 粒子において、捕集効率は従来品と同等レベルとし、初期圧力損失を従来の約 250 Pa から 1/2 倍以下である 120 Pa を目標とした。これにより、動力コストを約 40 %削減可能と推定され、環境に優しい省エネ対応が可能となる
耐熱性	300℃	400℃	従来の合成繊維の耐熱性は 200℃程度であり、耐熱フィルターとして十分な需要が見込める 400℃とした

[最終目標に対する達成度]

最終目標ならびに達成度を表 2.4.3.1-6 に示す。

- パラアラミド超極細繊維の基本紡糸条件の検討を行い、ポリマー溶液、紡糸装置、紡糸条件を最適化することで、安定紡糸条件を見出した。本条件では平均 60 nm のパラアラミド超極細繊維を安定的に連続して紡糸することが可能であり、中間・最終目標である 100 nm 以下を達成できた。
- パラアラミド超極細繊維の熱分析を実施した結果、最終目標である耐熱性 400℃を達成した。
- パラアラミド超極細繊維の目付け量を変更し、フィルターろ材を作製した。超極細繊維を基材に積層後、やや太い超極細繊維を上から積層させることで超極細繊維層の強度が増し、これらを重ね合わせることで最終目標のフィルター性能(圧力損失 120 Pa 以下、0.1 μm 粒子捕集効率 99 %)を十分に達成可能なことが分かった。
- 上記のフィルターろ材を用いて、ユニットフィルターを製作した。超極細繊維層の損傷がないフィルター形状を検討し、ろ材以外の部分についても耐熱性素材を使用して

性能評価を行い、最終目標値を満足していることを確認した。

表 2.4.3.1-6 最終目標に対する達成度

検討項目	最終目標 (平成22年度)	到達値	達成 状況	今後の課題
超極細繊維 の成形	繊維径 100nm以下	繊維径 60nm	◎	長尺ろ材の開発
フィルター 性能	・捕集効率 0.1μm粒子を99%以上 ・初期圧力損失 120Pa以下	・捕集効率 ろ材: 99.99% ユニットフィルター: 99.8% ・初期圧力損失 ろ材: 100Pa ユニットフィルター: 120Pa	◎	ユニットフィルターでの 更なる性能向上を 検討
耐熱性	400℃ (重量減量率5%以下)	400℃ 重量減量率3%	◎	

[実用化の見通し]

本研究では、従来のガラス繊維や合成繊維では不可能であった、低圧力損失・高捕集効率を維持しつつ耐熱性 400℃を実現し、かつ焼却処理が可能な有機超極細繊維フィルターがラボスケールでの試作において実現できた。これを製品スケールまで拡大するためには、有機超極細繊維層が損傷して捕集効率が低下しないように、有機超極細繊維層に耐熱繊維によるカバー材をかぶせて保護する方法や、高温対応バインダ等を用いて有機超極細繊維層と基材との接着を強固にする方法などを検討し、性能を低下させずにユニット化できる方法を確立する。また、プリーツ加工の方法についても例えばろ材と接触しないようにして加工する方法や、プリーツ加工を用いないユニットフィルター形状等を確立することで実用化が可能になる。

なお、ユニットフィルター量産化に当たっては、有機超極細繊維を積層させたろ材の長尺化や、パネル構造等のフィルターアセンブリ工程の最適化などの対応が必要となってくる。実用化に向けての可能性を検証するため、これらについても検討していく。

2.4.3.2 成果、解決方法

[研究成果]

耐熱性有機超極細繊維を得る為に、キャピラリー方式にてパラアラミドポリマーの電解紡糸を検討した結果、図 2.4.3.2-1 に示すようなポリマー溶液、紡糸装置、紡糸条件の全てを最適化した条件において、綿状物質が発生せず、フィルム化が抑制され、パラアラミド超極細繊維を安定的に紡糸可能であることを見出した。

また、パラアラミド超極細繊維の生産性向上の為に、以上のキャピラリー方式の知見を基に、東工大の基盤技術として開発された超極細繊維紡糸技術を用いた大型電解紡糸設備にて検討を行った。その結果、本大型電解紡糸設備にて、安定的に紡糸でき、キャピラリー方式対比大幅に生産性向上可能となった。

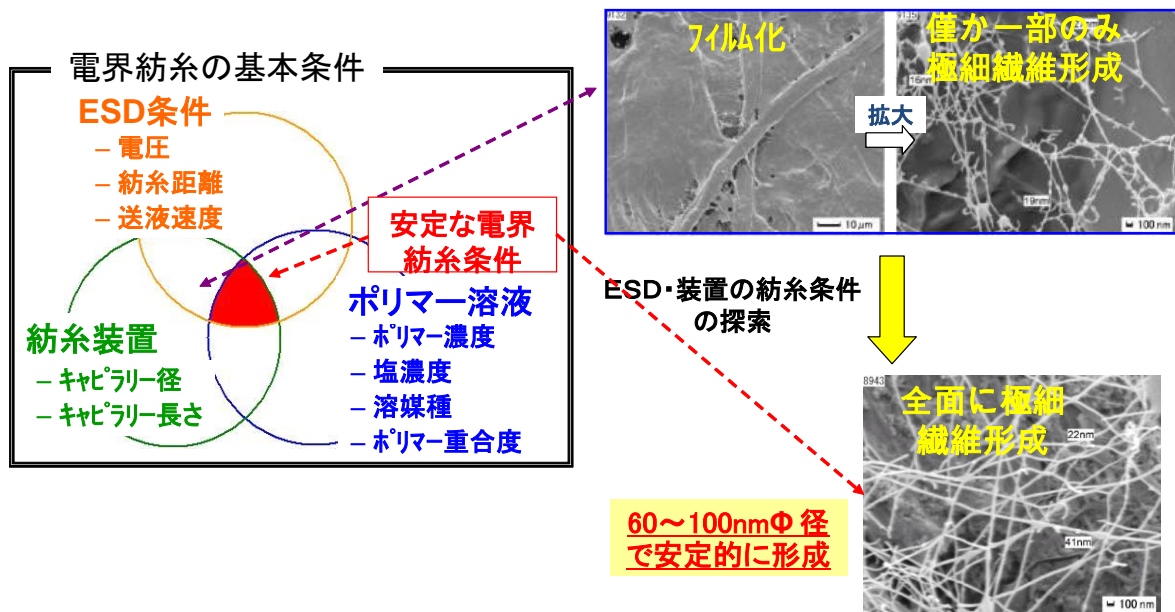


図 2.4.3.2-1 安定紡糸条件の探索

本研究の最終目的であるフィルターユニットとして完成させるため、その構造について検討を行った。フィルター製品は、フィルターろ材をプリーツ加工してユニットフィルター形状とすることで、処理可能風量・フィルター寿命などが大幅に改善できる。これまでの研究結果より、超極細繊維層の強度は非常に弱いことが明らかになっているので、フィルターユニットのプリーツ構造について超極細繊維層を損傷しないような方法を検討した。あらかじめ2枚重ねとした積層ろ材をパネルで挟み込んで固定し、ジグザグに配置してユニット化することで超極細繊維層の損傷を押さえる構造を考案した。

この構造により、超極細繊維積層時からの捕集効率低下を最小限に抑えることが可能となり、従来のガラス繊維 HEPA フィルターろ材で製作したフィルターユニットと比較して、大幅な低圧力損失化が実現できた。

[知的財産権等の取得及び標準化の取組]

フィルターろ材作製工程に関して、帝人テクノプロダクツ株式会社では表 2.4.3.2-1 に示すような特許をすでに出願しており、これらの知見を活かして超極細繊維の成形および基材上への均一積層、ろ材折畳み工程を考慮したハンドリング特性の向上を行った。

表 2.4.3.2-1 帝人テクノプロダクツ株式会社の超極細繊維関連特許

特許	件数	代表的な特許
超極細繊維への機能付与	1	・有害化学物質を吸着分解する繊維構造体(発明者:岩重安泰、吉田誠、出願人:帝人テクノプロダクツ株式会社、特開 2005-060904)
超極細繊維の加工技術	5	・複合繊維構造体(発明者:岩重安泰、吉田誠、出願人:帝人テクノプロダクツ株式会社、特開 2005-271511)
超極細繊維フィルター	1	・高捕集効率と低圧力損失とを兼ね備えたフィルター(発明者:嘉数あや、出願人:帝人テクノプロダクツ株式会社、特願 2005-110852)

□フィルターのユニット化工程

- ユニット化に際するフィルターろ材の低圧力損失化
- フィルターユニットの耐熱化

超極細繊維からなるフィルターろ材は従来のろ材とは構成が異なるため、ユニット化の加工も最適化が必要となる。フィルターユニットに関して日本エアー・フィルター株式会社では、表 2.4.3.2-2 に示すような生産技術特許を出願済である。この技術を活かしてフィルターユニット化の検討を行い、超極細繊維に適した生産設備への改良やフィルターの耐熱化を進め、新技術としてパネル構造でのフィルターユニットについて帝人テクノプロダクツ株式会社、東京工業大学と共同で特許出願を行った。

表 2.4.3.2-2 日本エアー・フィルター株式会社のフィルターユニット関連特許

特許	件数	代表的な特許
高温に耐えうるバインダを含めた製作、素材技術	1	・空気清浄用フィルタ[共願](発明者:岡本正行、小牧宗太、出願人:日本エアー・フィルター株式会社、特開 2005-138078)
低圧力損失に加工できる生産装置に関する技術	1	・フィルタエレメントの製造装置(発明者:志摩亨、青木照雄、出願人:日本エアー・フィルター株式会社、特開 2003-265910)
超極細繊維に適したフィルターユニット構造	1	・エアフィルタ装置(発明者:下田達弥、野地直樹、岡本正行、奥山一博、伊澤一、皆川美江、志摩亨、山口貴義、出願人:日本エアー・フィルター株式会社、帝人テクノプロダクツ株式会社、東京工業大学、特願 2011-030164)

[成果普及]

本開発の成果物である耐熱有機フィルターについては、日本エアー・フィルター株式会社にてガラス繊維の耐熱フィルターを取り扱っており、各顧客が要求するフィルター性能および耐熱性等の市場情報はすでに把握している。本開発品の耐熱有機フィルターは既存

品より圧力損失、捕集効率の面で明確な優位性を有しており、容易に既存の耐熱フィルター代替となりうる。また、本開発品は高捕集効率と低圧力損失の面で非耐熱領域における既存フィルターに対しても優位性を有する。したがって、汎用分野までの代替も可能であり、大きな市場規模を有している。

2. 5 高性能、高機能医療衛生産業用部材の開発

2. 5. 1 スーパークリーンルーム用部材の開発

2. 5. 1. 1 計画・目標

(1) 背景

超極細繊維が応用される最も汎用的かつ上市可能な用途のひとつとしてクリーンルーム用エアフィルタ類が挙げられる。日本の主要産業である電気・電子部材、特に液晶パネル製造および半導体製造において、常に生産工場内のクリーン度の向上が求められ、クリーン度が液晶パネルや半導体の製品性能を左右すると言っても過言ではない。また、電気・電子部材に携わるメーカーは、コスト削減・環境負荷低減を会社方針に打ち出しているメーカーが多く、省エネルギー、廃棄物処理に貢献する素材の開発に対する要求も高い。さらに近年開発が加速し、今後急速にその市場が拡大すると予測される次世代型の高性能半導体や大型液晶パネルを中心とした製造において、更なるクリーン度向上および省エネルギーに貢献できる材料への要望が高まっている。これらの要望に応えられる高性能の繊維系材料として超極細繊維が挙げられるが、現状開発されている超極細繊維は汎用樹脂（ナイロン、アクリルなど）から作成されたもので、特に力学特性が通常の繊維よりも弱く、フィルタ等の耐久性や化学安定性や耐熱性が要求される分野には必ずしも満足のものでは無い。当社が知的財産権を保有する高性能ポリマーを用いて力学強度（耐久性）に優れ且つ高度な耐熱性を兼備する超極細繊維を製造することに成功すれば、新規な高強度と耐熱性を有する高性能材料を提供することが可能になるばかりか、前述の次世代電気・電子部材の開発も加速することが期待され、産業界全体においても意義深い開発であると考えられる。

上記の背景のもと、高性能かつ省エネルギー型のクリーンルーム用フィルタ部材の開発を開始した。集中研において開発する新規電界紡糸装置を活用しつつ、独自の超極細繊維製フィルタ部材を開発するスキームとなっている。

(2) 技術課題

超極細繊維の最も根本的な特徴として繊維径が極めて細いことが挙げられる。この特徴がフィルタ材料として画期的な性能を発揮する根源となるうる可能性がある。フィルタの重要な特性として圧力損失がある。エアフィルタの場合、フィルタを構成する繊維と気体との摩擦により、フィルタ通過前の気体圧力に比較して通過後の圧力が低下する。これを圧力損失と呼び、圧力損失が大きなフィルタでは、フィルタを通過させるために高い圧力が必要となりフィルタ運転のためのエネルギー損失も大きくなって望ましくない。従って、良いフィルタとは、高い捕集効率と低い圧力損失を両立するものである。一般に、繊維径が小さいほど圧力損失は低下する傾向が知られているが、繊維径が気体の平均自由行程（空気の場合約 70 nm）よりも繊維径が小さくなると、繊維表面で気体分子が滑るという特異な現象（スリップフロー）が発現するといわれている。超極細繊維は、この気体の平均自由行程よりも低い繊維径を実現できる可能性があり、劇的な圧力損失の低減が期待できる。本検討における重要課題のひとつは、独自の耐熱ポリマーによる超極細繊維の開発と従来品よりも優れた特性を発揮するエアフィルタ部材の開発である。さらに、クリーンルーム用エアフィルタの機能として粒子の除去だけでなく、化学物質を気体から除去す

ることも望まれている。超極細繊維を炭素化・活性化することにより高性能のケミカルフィルタを開発することも、もうひとつの重要な課題である。

(3) 検討項目とその説明

上記の課題を達成するための検討項目およびその解決方法を以下に示す。

1) 新規高性能ポリマーによる超極細繊維の開発

(検討項目)

a) 高性能ポリマーの溶液の組成（分子量、粘度）の最適化などの超極細繊維化に関する技術確立

b) 活性炭素化超極細繊維に適したポリマーおよび溶液の組成（分子量、粘度）の最適化などの技術確立

c) 高生産性技術の確立

(解決方法)

a) 当社には、高強度、耐熱性を有するポリマーの製造実績があり、分子設計、溶液調整技術により各種溶液の作製が可能である。電界紡糸の結果をフィードバックして最適化を計る。

b) 当社には、活性炭素化技術および活性炭素繊維の実績があり、これらの知見を用い、超極細繊維の活性炭素化の最適化を計る。

c) 集中研にて開発中の大型電界紡糸装置の技術を活用することにより、従来の超極細繊維に比較して低コストでの生産を図る。

2) 超極細繊維の応用技術の開発

(課題)

a) 超極細繊維を用いた高性能エアフィルタの構造の最適化、評価技術の構築

b) 超極細繊維を用いたエレクトレット化技術の構築

c) 超極細繊維を用いた活性炭素化技術の構築

d) 一体成型型の超極細繊維の作製

(解決方法)

a) b) c) 当社は汎用樹脂による高性能エアフィルタ、エレクトレットフィルタ、活性炭素繊維を製造販売しており、その評価システムを利用し、まずは超極細繊維によるエアフィルタの一次性能を把握し、具体的な商品に対応するように不織布構造の最適化を行うことで達成可能と考える。

d) 超極細繊維の接着性の確認が必要となるが、接着性を向上させる必要がある場合は、コロナ・プラズマ等の物理手段（装置保有）およびポリマー改質の両面よりその改良を検討する。

(4) 成果のまとめ

検討課題	主要な研究内容	顕著な成果
1. 新規高性能ポリマーによる極細繊維の開発	<ul style="list-style-type: none"> ・特殊ポリマーを用いた溶液組成および紡糸条件の最適化や添加剤の検討 ・エアフィルタ性能の確認 	<ul style="list-style-type: none"> ・気体の平均自由行程に匹敵する繊維径 $70 \text{ nm} \pm 10 \text{ nm}$ を達成。しかも、Beads と呼ばれる欠陥を大幅に低減することに成功した。 ・特殊ポリマーを用いた超極細繊維フィルタにおいて、最終目標をクリアするフィルタ性能を達成した。
2. 新規エレクトレット技術の開発	<ul style="list-style-type: none"> ・超極細繊維に適したエレクトレット法の開発 	<ul style="list-style-type: none"> ・液体荷電法が超極細繊維のエレクトレット法として適していることを見出した。
3. ロールサンプルの作製	<ul style="list-style-type: none"> ・集中研にて開発した新型ノズル方式による連続サンプル作成 	<ul style="list-style-type: none"> ・新型ノズルの制御方法を確立し、均一な連続サンプル取得方法の基礎を確立した。
4. フィルタ構成の最適化.	<ul style="list-style-type: none"> ・基材の選定や超極細繊維の構成制御法の検討 	<ul style="list-style-type: none"> ・当社製不織布にて紡糸性、基材密着性等に優れた基材を選定した。
5. 活性炭素化の検討	<ul style="list-style-type: none"> ・超極細繊維の活性炭素化の検討 	<ul style="list-style-type: none"> ・ポリアクリロニトリル系ポリマーの超極細繊維の活性炭素化に成功。ケミカルフィルタへの展開の可能性を見出した。
6. 中型評価機的设计	<ul style="list-style-type: none"> ・ロールサンプル作製可能なベンチスケール機的设计と導入 	<ul style="list-style-type: none"> ・集中研開発の方式による中型評価機を導入した。また本方式での歩留まり大幅向上策を見出した。
7. モジュール化によるプロトタイプ作製	<ul style="list-style-type: none"> ・プリーツ加工によるモジュールユニットの作製 	<ul style="list-style-type: none"> ・超極細繊維ウェブ部材のモジュール化加工が可能であることを確認した。
8. モジュール体の完成とユーザー評価	<ul style="list-style-type: none"> ・モジュール体の実用評価 	<ul style="list-style-type: none"> ・モジュール化時のフィルタ破損の抑制を低減する検討が必要である。

(5) 目標値とその妥当性

検討項目	中間目標	最終目標	目標値の妥当性
スーパークリーンルーム用部材の開発	初期圧力損失が約 180 Pa で 0.3 μm 粒子の捕集効率が 99.97 % を達成する。	初期圧力損失が約 130 Pa で 0.3 μm 粒子の捕集効率が 99.97 % 以上を達成する。	<ul style="list-style-type: none"> ・現行品（ガラス繊維）と同じ捕集効率を維持して、圧力損失を約 1/2 に低減した値が目標値である。 ・ULPA フィルタ（600 mm×1200 mm）の圧力損失の 50 % 低減が達成できた場合、フィルタ 1 枚当たり約 806 kWh/年の省電力となり、コストダウンの観点で顧客訴求力が大きい。 ・全国 ULPA フィルタ 20 万枚を置き換えた場合、約 4000 万 L/年の石油消費削減と約 3 万 t-C/年の CO2 排出量削減効果を見込むことができる。目標設定としてチャレンジングではあるが、波及効果が大きく社会的なインパクトも大きい。

(6) 最終目標に対する達成度

検討項目	最終目標	達成値	達成度	内容
スーパークリーンルーム用部材の開発	初期圧力損失が約 130 Pa で 0.3 μm 粒子の捕集効率が 99.97 % を達成する。	ULPA フィルタと同等以上の捕集効率で圧力損失 120 Pa	◎ (最終目標達成)	繊維径 70 nm±10 nm の当社特殊ポリマー製超極細繊維を用いたフィルタ部材にて達成。

(7) 研究開発スケジュール

目標達成に向けて以下のスケジュールにて検討を実施した。プロジェクト期間の前半の平成 18 年度から平成 20 年度は、当社高性能特殊ポリマーを用いた超極細繊維の開発を中心に検討を実施した。繊維径の制御や、原料ポリマーおよび組成の最適化を行い、当社ポリマーの超極細繊維化の基礎技術を確立した。当然、フィルタ性能の確認を行い、その知見を超極細繊維作成技術に反映している。また、将来の生産技術確立を見据えた基礎技術の確立もこの期間に実施した。すなわち、超極細繊維に適したエレクトレット法の探索、ロールサンプルの作製技術の確立、フィルタ構成の最適化を実施した。エアフィルタだけでなく、ケミカルフィルタへの応用として、超極細繊維の活性炭素化を平成 20 年度に検討

した。後半の平成 21 年度、平成 22 年度には、実用化に向けた検討を実施した。平成 21 年度には集中研と共同で中型評価機の設計を実施し、当年度に当社に中型評価機を導入した。また、実用的な特性把握とユーザー評価を実施するためにモジュール化を実施し、実用化の検討をこの期間に実施した。表 2.5.1-1 に上記のスケジュールを線表としてまとめた。

表 2.5.1-1 事業期間中の計画

年度 研究 開発項目	平成 18 年度	平成 19 年度	平成 20 年度	平成 21 年度	平成 22 年度
1. 新規高性能ポリマーによる超極細繊維の開発 (1) ポリマー・溶液の最適化 (2) A4 サイズサンプルの作製・評価 (3) ベンチ装置の設計 (4) 装置の問題点抽出と手直し	<p>→</p> <p>順次フィードバックし最適を図る。目標品質繊維が得られる事</p> <p>→</p> <p>超極細繊維の基本性能が把握できること。</p> <p>→</p> <p>市販設備購入後手直し:超極細繊維が得られる事</p> <p>→</p> <p>同上</p>	<p>-----→</p>	<p>-----→</p>		
2. 新規エレクトレット技術の開発		<p>→</p> <p>超極細繊維を破壊する事なく行える事</p>			
3. ロールサンプルの作製		<p>→</p> <p>A4 サイズのサンプルと同等以上のものが連続的に製造できる事</p>			
4. フィルタ構成の最適化.			<p>→</p> <p>高性能フィルタ構成を見極め、中間目標を達成する事</p>		
5. 活性炭素化の検討			<p>→</p> <p>超極細繊維を破壊する事なく行える事</p>		

6. 中型評価機的设计				ベンチ機と同等以上の物が得られること	
7. モジュール化によるプロトタイプ作製				サンプルと同程度以上の量産品が製造できる目処がつく事	
8. モジュール体の完成と実用評価					実用性能を有している事

2. 5. 1. 2 課題解決のための指針

まず、スーパークリーンルーム用部材として超極細繊維のあるべき姿（繊維径、繊維集合体としての構造）を、粉塵除去理論を基に考察し、課題達成に向けた解決方策を設定する。

エアフィルタとしての除塵性能は、捕集効率、圧力損失、粉塵保持容量の3つの性能が重要である。特に、前者ふたつはフィルタの初期性能を決める重要なパラメータであるため、以下に解説する。

(1) 捕集効率・圧力損失の定義

フィルタ評価は、乾燥後のフィルタサンプルに対し、図 2.5.1-1 に示すように、フィルタ上流、下流の静圧 $P1$ 、 $P2$ および粒子濃度 $C1$ 、 $C2$ を測定し、式 2.5.1-1、-2 より圧力損失 (ΔP)、及び粒子透過率を算出する。

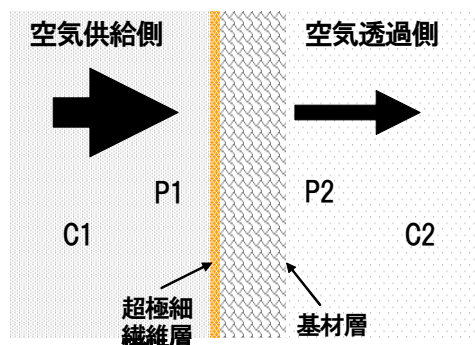


図 2.5.1-1 フィルタ評価 概略図

$$\text{圧力損失} \quad \Delta P = P1 - P2 \quad (2.5.1-1)$$

$$\text{粒子透過率} \quad P = \frac{C2}{C1} \quad (2.5.1-2)$$

$$\text{粒子捕集効率} \quad E = 1 - \frac{C2}{C1} \quad (2.5.1-3)$$

(2) 粒子捕集機構

気体中に浮遊する微粒子を気体から分離除去するためには、粒子と気体流体との間に相対運動を起こさせるための分離力（力の場合）、あるいは流体のみを通過させて粒子をさえぎる分離体（隔壁場）が必要である（図 2.5.1-2）。一般的には、力の場合のみでは、圧力損失は小さいが分離性能も低いものとなり、隔壁場のみでは分離性能は高いが圧力損失も高いものになる。従って、両者の組み合わせにより分離性能と圧力損失のバランスのとれたフィルタを得るのが一般的である。圧力損失を低く保ちながら高い捕集効率を実現するためには、捕集機構を理解することが重要である。

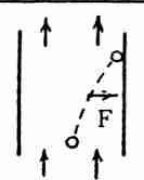
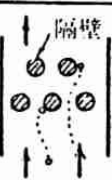
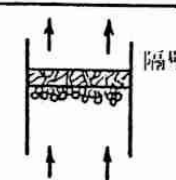
分離の要因	力の場合	力+隔壁	隔壁場
分離形態			
分離性能	小	中	大
圧力損失	小	中	大
性能評価の指標	分離速度	衝突効率 圧力損失	圧力損失

図 2.5.1-2 分散系からの粒子分離の基本型¹⁾

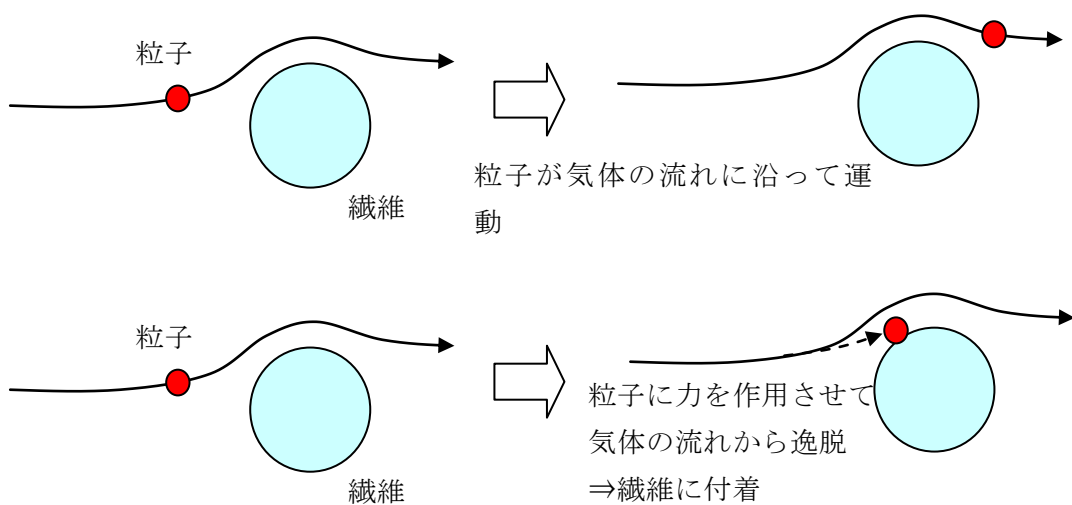
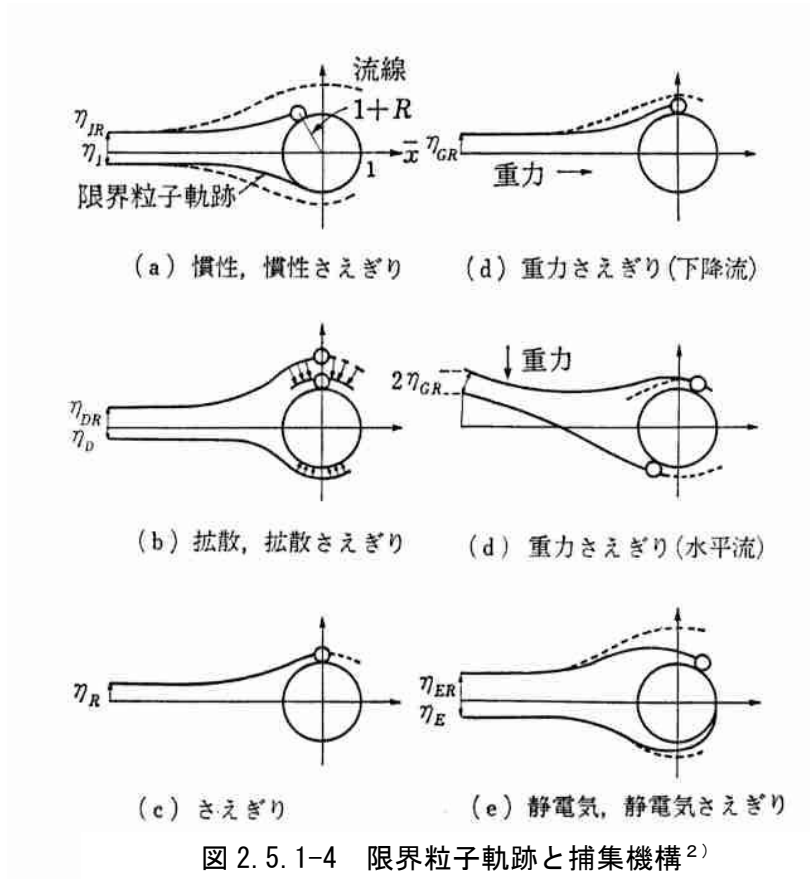


図 2.5.1-3 繊維による粒子捕捉過程の模式図

気体の流れに沿って運動する粒子を、繊維によって捕捉するためには、粒子に相対運動を起こさせて繊維に付着させなければならない(図 2.5.1-3)。相対運動を起こさせるためには、粒子になんらかの力を作用させる必要がある。その力として、慣性力、ブラウン運動(拡散力)、重力、静電気力などがある。これらの力に応じて図 2.5.1-4 に示すように異なる機構の捕集メカニズムがある。



上記のように繊維に近づいた粒子は各種の力の作用で気体の流線から逸脱して繊維表面に衝突し、捕捉される。この基本原理を基に、フィルタ捕集効率を計算する式が与えられている。

$$\text{捕集効率} E = 1 - \frac{C_2}{C_1} = 1 - \text{Exp} \left[-\frac{4}{\pi} \frac{\alpha}{1-\alpha} \frac{L}{d_f} \eta \right] \quad (2.5.1-4)$$

または、

$$\ln P = -\frac{4}{\pi} \frac{\alpha}{1-\alpha} \frac{L}{d_f} \eta \quad (2.5.1-5)$$

ここで、 α : 粒子充填率、 L : フィルタ厚み、 d_f : 繊維径、である

また、 η は単一繊維捕集効率であり、図 2.5.1-5 および式 2.5.1-4 で定義される。

$$\text{単一繊維捕集効率} \eta = \frac{d_e}{d_f} \quad (2.5.1-6)$$

従って、単一繊維捕集効率がろ過条件の関数として与えられると、任意の厚さ、充填率のフィルタ捕集効率が計算できる。

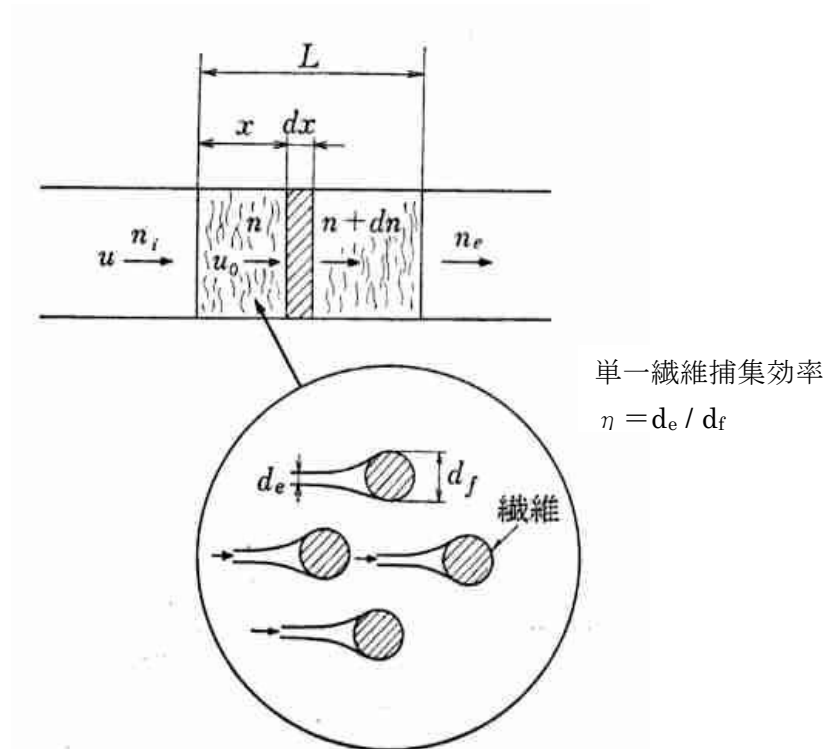


図 2.5.1-5 繊維層内の濃度変化と単一繊維による捕集²⁾

一方、フィルタ性能のとして、もうひとつの重要なパラメータである圧力損失は以下の式で求めることができる（ただし、繊維は気体流に対して垂直配置を仮定する）。

$$\text{圧力損失} \Delta P = \frac{4}{\pi} \frac{\alpha}{1-\alpha} \frac{L}{d_f} \frac{\rho u^2}{2} C_D \quad (2.5.1-7)$$

ここで、 α は繊維充填率、 L はフィルタ厚さ、 d_f は繊維径、 ρ は気体密度、 u はフィルタへの空気接近速度である。また、 C_D は抵抗係数と呼ばれ、繊維の配列因子 K 、充填率 α 、繊維径基準の例レイノズル数 Re の関数である。

捕集効率 E と圧力損失 ΔP というフィルタ性能を表現する二つの数値の関係は、式 2.5.1-5 と式 2.5.1-7 の右辺の共通項を消去することにより式 2.5.1-8 となる。

$$\ln P = -\frac{\eta}{C_D} \frac{2}{\rho u^2} \Delta P \quad (2.5.1-8)$$

従って、粒子透過率 P の対数を圧力損失 ΔP に対してプロットしたときに直線関係が得られる。同じ透過率 P に対して、直線の傾きが大きいほど、圧力損失 ΔP を小さくすることができる。従って、傾きが大きいほど、すなわち η/C_D が大きいフィルタほど性能の良いフィルタとみなすことができる。

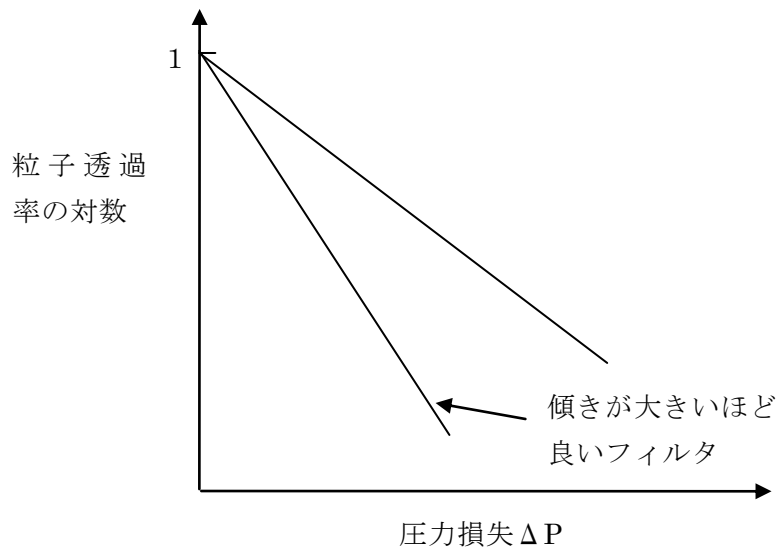


図 2.5.1-6 ろ過理論に基づくフィルタ性能解析の模式図

η/C_D を大きくすることが良いフィルタを得る指針であることが式 2.5.1-8 によって示されたが、超極細繊維をフィルタ部材に適用する上で極めて重要な現象が知られている。繊維径 d_f が細くなると、慣性、拡散、さえぎりによる捕集が促進され η は大きくなる。さらに、 d_f が空気分子の平均自由行程 λ (常温、常圧で 65 nm) と同程度となると、繊維表面で空気流れにすべりが生じる (スリップフロー。図 2.5.1-7)。繊維表面で速度が 0 という連続流体の境界条件が成立しない。このことを考慮し、繊維まわりの速度分布式にクヌッセン数 $Kn=2\lambda/d_f$ を導入し拡散方程式を解くと、 Kn が大きいほど η が大きくなることが示されている。まさに超極細繊維の繊維径は空気の平均自由行程と同程度であるため、超極細繊維をフィルタに用いると、極めて高性能のフィルタが得られる可能性がある。

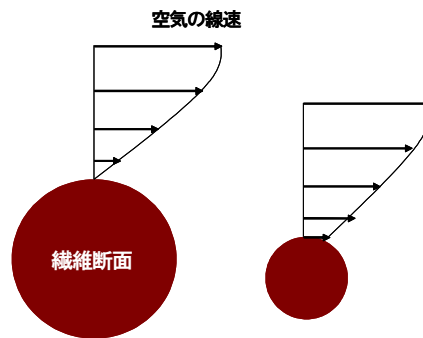


図 2.5.1-7 スリップフローの模式図

一方、上記のろ過理論は理想化した状態を仮定して求めたものであるが、実際の繊維には繊維径分布や、充填率の不均一が存在し、これらはフィルタ性能を低下させることが知られている。従って、超極細繊維をフィルタ部材に応用する際に、これらの不均一性の改善にも配慮することが必要である。

以上をまとめると、スーパークリーンルーム用部材に適した超極細繊維とは、以下のようなものと推定される。

繊維径が空気の平均自由行程（100 nm 程度）同等もしくはそれ以下の超極細繊維。そのような繊維径を達成することで、スリップフローを発生させ高性能フィルタの創生が期待できる。

繊維径の分布が小さく、また充填率の不均一が小さい超極細繊維集合体を形成することも重要である。

以上の粉塵除去理論に基づいて考察した超極細繊維のあるべき構造を達成するために、スーパークリーンルーム用部材に適した超極細繊維の開発を検討してきた。目標達成のための、各年度の具体的検討項目および目標を以下に説明する。

平成 18 年度 研究開発内容

平成 18 年度は研究開発項目「1. 新規高性能ポリマーによる超極細繊維の開発」を実施した。当社の保有する耐熱性樹脂を用いた超極細繊維の開発、特に作製条件の最適化及び作製した超極細繊維の初期評価を行った。また、超極細繊維をエアフィルタとして用い、圧力損失の低減を実現できるのかの可能性を確認した。更に、集中研との連携により事業化への足がかりとなる連続化装置の設計および作製を実施した。

表 2.5.1-2 に示す具体的な研究開発内容、検討項目、目標を設定し実施した。

表 2.5.1-2 平成 18 年度の研究開発内容、検討項目、目標

研究開発内容	検討項目	目標
1. 新規高性能ポリマーによる超極細繊維の開発	○ポリマー・溶液の最適化 ・繊維径低減 ・Beads 数低減の検討	繊維径：100 nm、Beads 数低減
	○A4 サイズサンプル作製：フィルタ評価 ・超極細繊維効果の検討	圧力損失低減の方向性を確認 (中間年目標) 圧力損失 (圧損)：180 Pa 以下、 (0.3 μm 粒子) 捕集効率：99.97 % 以上
	○ベンチ装置の設計 ・連続化装置の設計	連続化装置の導入
	○装置の問題点抽出と手直し ・連続化の可能性 検討	連続化の可能性を確認

平成 19 年度 研究開発内容

平成 19 年度は研究開発項目「1. 新規高性能ポリマーによる超極細繊維の開発」、「2. ロールサンプルの作製」および、「3. 新規エレクトレット技術の開発」を実施した。「1. 新規高性能ポリマーによる超極細繊維の開発」として、当社の保有する耐熱性樹脂・特殊高分子を用いた検討を実施し、特に繊維径や繊維集合構造の均一度と製造条件の関係を詳細に解析した。その知見を活用し、繊維径を高度に制御して得られた超極細繊維のエアフィルタとしての性能評価を実施し、平成 18 年度よりも優れた性能を示すフィルタの作製に成功した。「2. ロールサンプルの作製」として、集中研との連携により、新方式の超極細繊維作製装置を平成 18 年度に導入し、平成 19 年度はその基礎的な運転条件の確立と基本性能の確認を実施した。また、同装置を用いた連続サンプルの試作を実施した。「3. 新規エレクトレット技術の開発」として、超極細繊維に適したエレクトレット法の探索を実施し、液体荷電法を見出した。さらに、平成 20 年度に予定していた「4. 活性炭素化超極細繊維の開発」に関して、先行的に検討を開始し、超極細繊維の炭素化が可能であることを確認した。

表 2.5.1-3 に示す具体的な研究開発内容、検討項目、目標を設定し実施した。

表 2.5.1-3 平成 19 年度の研究開発内容、検討項目、目標

研究開発内容	検討項目	目標
1. 新規高性能ポリマーによる超極細繊維の開発	・繊維径低減、 ・Beads 数低減の検討	・繊維径：100 nm かつ Beads 数低減
2. ロールサンプルの作製	・集中研方式製造装置の検討 ・連続サンプルの作製	・当社独自ポリマーにおける適正運転条件の基礎確立と集中研方式の実力把握

		・ A4 サンプルと同等の性能を示す連続サンプルの試作
3. 新規エレクトレット技術の開発	・ 超極細繊維の荷電方法の探索	・ 超極細繊維に適した荷電方法を見出す
4. 活性炭素化極細繊維の開発	・ 超極細繊維の活性炭素化	・ 超極細繊維の活性炭素化の可能性確認

平成 20 年度 研究開発内容

平成 20 年度は研究開発項目「1. 新規高性能ポリマーによる超極細繊維の開発」、「4. 活性炭素化極細繊維の開発」、「5. フィルタ構成の最適化」および、「6. 中型評価機的设计」を実施した。「1. 新規高性能ポリマーによる超極細繊維の開発」として、当社の保有する耐熱性特殊ポリマーを用いた検討を実施し、特に紡糸溶液の諸性質が繊維径や繊維集合構造に与える影響について解析した。「4. 活性炭素化極細繊維の開発」として、超極細繊維を破壊することなく活性炭素化する技術の検討、並びに得られた超極細活性炭素繊維の吸着評価を実施した。またシート評価を可能にするための炭化炉装置を導入した。「5. フィルタ構成の最適化」として、フィルタ用途に適した超極細繊維構造の検討およびそれを用いたフィルタ性能評価を行い、中間目標を達成した。「6. 中型評価機的设计」に関しては、集中研との連携により、中型評価機のプロトタイプを用いて、当社耐熱性特殊ポリマーによる高効率生産の可能性を見出した。

表 2.5.1-4 に示す具体的な研究開発内容、検討項目、目標を設定し実施した。

表 2.5.1-4 平成 20 年度の研究開発内容、検討項目、目標

研究開発内容	検討項目	目標
1. 新規高性能ポリマーによる超極細繊維の開発	・ 溶液パラメータが電界紡糸に与える影響の調査	繊維径：100 nm、Beads 数低減
4. 活性炭素化極細繊維の開発	・ 活性炭素化超極細繊維のガス除去性能評価 ・ 炭化处理装置の導入	ガス除去性能の優位性確認 装置設計、設置
5. フィルタ構成の最適化	・ ポリマー溶液、プロセスの最適化 ・ 3次元構造とエアフィルタ性能の関係把握	中間年目標の達成 (圧力損失：180 Pa 以下、0.3 μm 粒子の捕集効率：99.97 %以上)
6. 中型評価機的设计	・ 集中研の中型評価機による試作検討	弊社独自ポリマーの適用性確認 装置仕様の決定

平成 21 年度 研究開発内容

平成 21 年度は研究開発項目「6. 中型評価機的设计」、「7. モジュール化によるプロトタイプの作製」を実施した。「6. 中型評価機的设计」に関しては、集中研との連携により、

中型評価機のプロトタイプを用いて、弊社向けの中型評価機を設計し、導入した。「7. モジュール化によるプロトタイプの作製」に関しては、平成 19 年度に弊社に導入した連続化装置を用いてエアフィルタ向けロールサンプルを作製し、モジュール化を実施した。

表 2.5.1-5 に示す具体的な研究開発内容、検討項目、目標を設定し実施した。

表 2.5.1-5 平成 21 年度の研究開発内容、検討項目、目標

研究開発内容	検討項目	目標
6. 中型評価機の設計	・集中研の中型評価機による試作検討	・高生産化に向けた問題点の抽出 ・装置仕様の決定及び導入
7. モジュール化によるプロトタイプの作製	・プリーツ加工、モジュール化工程に耐えるロールサンプルの作製	・超極細繊維を用いたフィルタ部材のモジュール化

平成 22 年度 研究開発内容

平成 22 年度は研究開発項目「8. モジュール体の完成と実用評価」を実施した。集中研との連携により、中型評価機で最大の問題であった歩留まり向上策の検討を実施し、解決の目処を得た。フィルタ性能向上のための品位向上策を検討し、最終目標を達成した。また、モジュール化サンプルのフィルタ性能評価を実施した。

表 2.5.1-6 に示す具体的な研究開発内容、検討項目、目標を設定し実施した。

表 2.5.1-6 平成 22 年度の研究開発内容、検討項目、目標

研究開発内容	検討項目	目標
8. モジュール体の完成と実用評価	・超極細繊維を用いたフィルタ部材のモジュール化と実用評価	(最終目標) 圧力損失：130 Pa 以下 0.3 μm 粒子 捕集効率：99.97 %以上
	・中型評価機の安定量産技術の検討	・歩留まり向上の検討 ・上記解決策の中型評価機への適応実施

では、各検討項目における平成 18 年～平成 22 年の成果を以下に具体的データを示しながら報告する。①超極細繊維の開発：電界紡糸プロセスを用いた繊維作製条件の検討・フィルタ適用性の検討、②大型電界紡糸装置の活用並びに最適化の検討、に分けて報告する。

2. 5. 1. 3 超極細繊維の開発：電界紡糸プロセスを用いた繊維作製条件の検討・フィルタ適用性の検討（研究開発内容：1（1）（2）、3、4、5）

新規高性能ポリマーによる超極細繊維の開発

- ・当社高性能ポリマーの超極細繊維化の検討

当社の高性能ポリマー重合技術を用いた耐熱性ポリマーの中でも溶媒溶解性が高いことやポリマー骨格を容易に変更できることを考慮し、ある当社製特殊ポリマーを選定した。

・溶液の最適化

電界紡糸は、ポリマー溶液に高電圧（数 kV～数 10 kV）を印加し、電荷を有したポリマー溶液を紡糸ノズルから吐出する。紡糸ノズルから吐出されたポリマー溶液は、はじめ表面張力によって紡糸ノズル部に溶液溜りを作る。印加電圧を高めることで、溶液溜りは紡糸ノズルとアースされたターゲット部（繊維捕集部）の間にできた電場の力によって円錐状（Taylor cone）に引き伸ばされ、ターゲット部へ向かって引き伸ばされる。ターゲット部に到達するまでの間、溶剤の蒸発とそれに伴う引き伸ばされた溶液の表面積の減少による表面電荷に集中によるクーロン爆発を繰り返すことで繊維が小さくなる（図 2.5.1-8）。

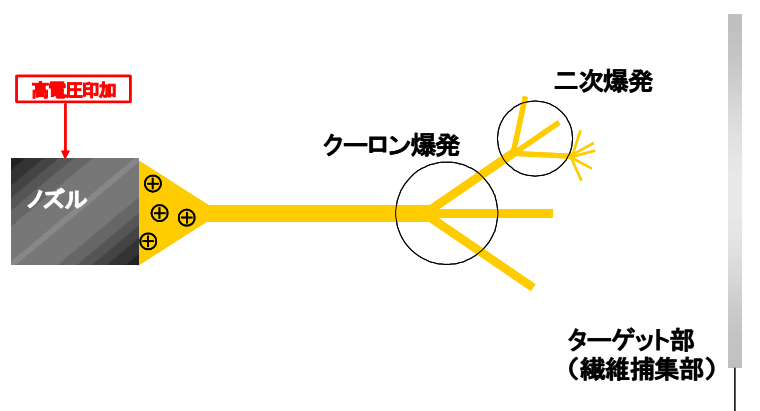


図 2.5.1-8 荷電紡糸における超極細繊維形成スキーム

繊維径を左右する影響として、溶媒の種類、溶液中のポリマー濃度（溶液粘度）に着目し検討を実施した。溶媒の種類に関して、溶媒の沸点、作業者への安全性を考慮して、ある高沸点有機溶媒を選定した。この有機溶媒をポリマー溶解溶剤として使い、溶液中のポリマー濃度に関して検討を行った。一般的には、溶液中のポリマー濃度を小さくすることで繊維径が小さくなることは知られている。本検討結果においても同様にポリマー濃度を小さくすることで繊維径が小さくなることが確認できた。また、高速度カメラを用い紡糸状態を観察したところ、文献等で提唱されているのと同様、ターゲット部に向かってスパイラル状に引き伸ばされているという有用な情報を得ることができた。しかし、ポリマー濃度を下げていくと、繊維径は小さくなるが、Beads と呼ばれる円形または紡錘状の粗大粒子（図 2.5.1-9）が混在し始め、さらにポリマー濃度を下げると繊維に対する Beads の比率が上がり、さらにポリマー濃度を下げるとターゲット部に溶剤が残留した状態となり超極細繊維は形成されず膜状となった。本結果より、ポリマー濃度のみで繊維径を小さくするには限界を有することがわかった。また、繊維径が 100 nm 近傍になると Beads が多数混在することがわかった。

Beads は直径が数 μm を有する粗大粒子であり、エアフィルタ用途に対して利用する場

合、単位面積当たりに対する超極細繊維の質量（目付量）を同じにした場合、粉塵をろ過するために必要な繊維数が減ることになり、粉塵の捕集効率を低下させると考えられる。また、スリップフロー効果を低減させるとも考えられる。このことから、Beads をなくすことが必要である。そこで、Beads 低減の方策のひとつとして、添加剤の検討を実施した。

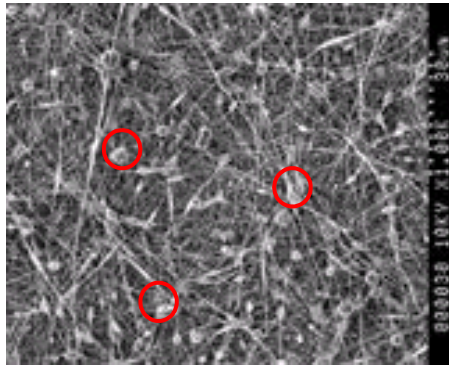
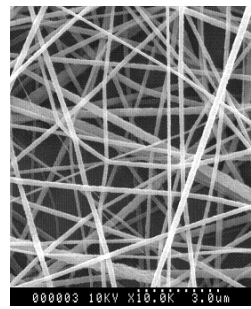
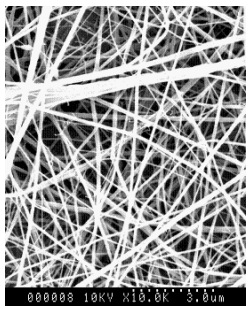
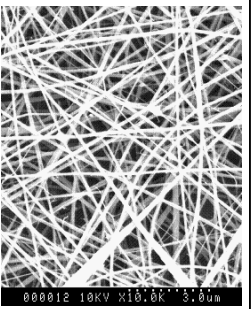
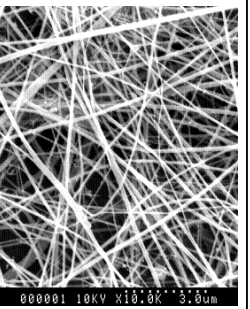
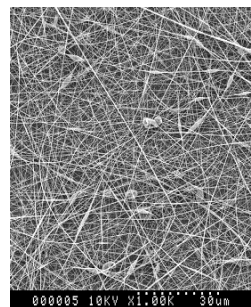
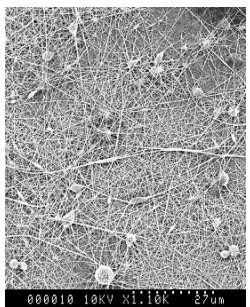
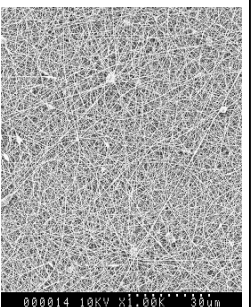
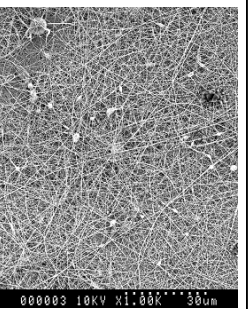


図 2.5.1-9 Beads 混在写真（赤丸内が Beads）

・添加剤の検討

Beads は、紡糸ノズルから紡出された溶液がターゲット部に向かって延伸される際、延伸不十分な部分が発生することによって発生すると推察した。溶液内の電荷量を増加させ、溶液中のクーロン斥力を増加させ延伸応力を大きくする、また、ターゲット部に到達するまでのクーロン爆発回数を増加させることが可能な方法を検討した。具体的には電荷量を増加させる添加剤をポリマー溶液中に加え検討を行った。また、併せて紡糸時の条件を最適化する検討も行った。その結果として、図 2.5.1-10 に示すように繊維径を 100 nm レベルに維持しながら Beads を大幅に減少させることを実現した。

この添加剤の効果は、上述したように溶液の電荷量が変化したことによると推定している。ところが一方で、導入した粘度計を用いて添加剤の添加有無と溶液粘度の関係を調査したところ、ポリマーの分子量や溶液濃度によっては粘度が変化するケースが認められた。溶液の粘度も繊維径に影響を及ぼしている可能性もあるので、さらに溶液特性と繊維径の制御を詳細に検討した。

添加剤濃度	0	2%	4%	5%
平均繊維径*	202 nm	104 nm	112 nm	105 nm
SEM倍率 10000倍				
SEM倍率 1000倍				

*30本の平均値

図 2.5.1-10 添加剤によるビーズ低減効果

・溶液の最適化

繊維径を支配する要因として、溶液の粘度が特に支配的であるといわれている。我々の検討でも各種ポリマーにおいて、繊維径の強い溶液粘度依存性が認められた(図 2.5.1-11)。他の溶液特性に関しても詳しく調査したが、溶液粘度がもっとも繊維径に強い影響をおよぼすことが明らかとなった。図 2.5.1-11 より明らかであるが、あるポリマーA および B において 100 nm 以下の繊維径が得られている。しかしながら、繊維径は目標値を達成しているものの、低溶液粘度領域では **Beads** と呼ばれる構造が多数観察された(図 2.5.1-12a)。また、**Beads** 以外にも超極細繊維が観察されずに膜化した部分が多く観察される場合があった(図 2.5.1-12b)。この膜化現象の原因は明確では無いが、図 2.5.1-8 に示した超極細繊維の形成スキームが十分に進行せずに、液滴状の溶液がターゲット上に到達した結果このような膜化現象につながったと推定している。この **Beads** や膜化は、エアフィルタにおいて圧力損失を上昇させる原因となる可能性があるため、発生量を低減させることに取り組んだ。

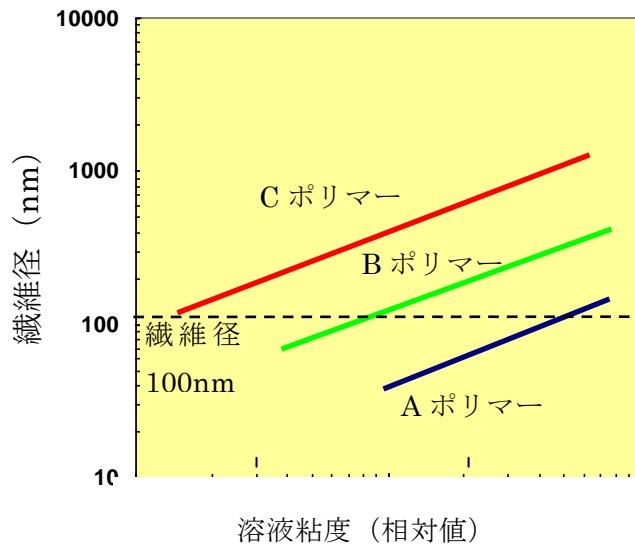


図 2.5.2-11 溶液粘度と繊維径の関係の一例

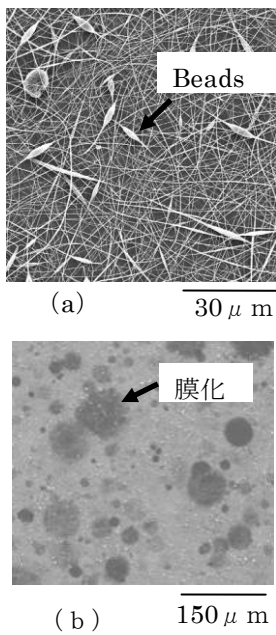


図 2.5.1-12 超極細繊維ウェブに発生した欠陥構造

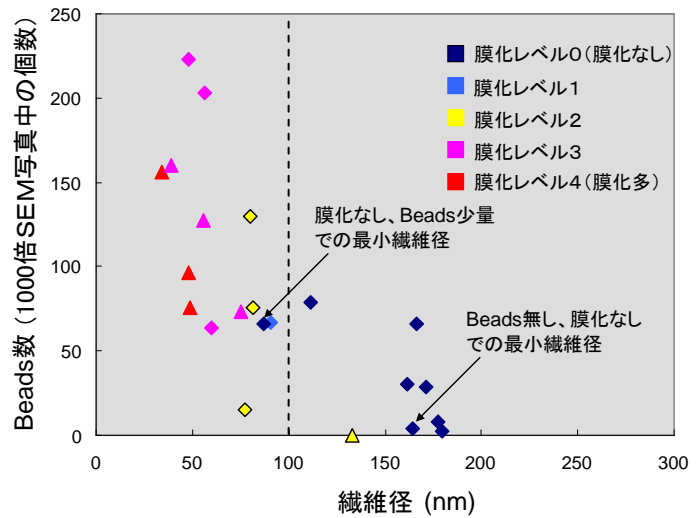


図 2.5.1-13 無欠陥での到達最小繊維径

各種ポリマーでの結果を重ねてプロットしてある。縦軸は倍率 1000 倍で撮影した SEM 写真中に観測される Beads の平均個数。膜化の程度は相対的に 5 段階に分類し、色で表現した。

・溶液パラメータが電界紡糸に与える影響の調査

電界紡糸では、ポリマー溶液に高電圧（数 kV～数 10 kV）を印加し、電荷を有したポリマー溶液を紡糸ノズルから吐出する。紡糸ノズルから吐出されたポリマー溶液は、はじめ表面張力によって紡糸ノズル部に溶液溜りを作る。印加電圧を高めることで、溶液溜りは

紡糸ノズルとアースされたターゲット部（繊維捕集部）の間にできた電場の力によって円錐状（Taylor-Cone）に引き伸ばされ、ターゲット部へ向かって引き伸ばされる。ターゲット部に到達するまでの間、溶剤の蒸発とそれに伴う引き伸ばされた溶液の表面積の減少によって表面電荷が集中し、その結果クーロン爆発を繰り返すことで、繊維径が小さくなると考えられている。

上記のように溶液が経由する過程において、さらなる検討が必要と考え、溶液および紡糸条件（紡糸環境）が与える影響について、図 2.5.1-14 のように考察した。この中の重要と思われる項目について、その影響を調べた。

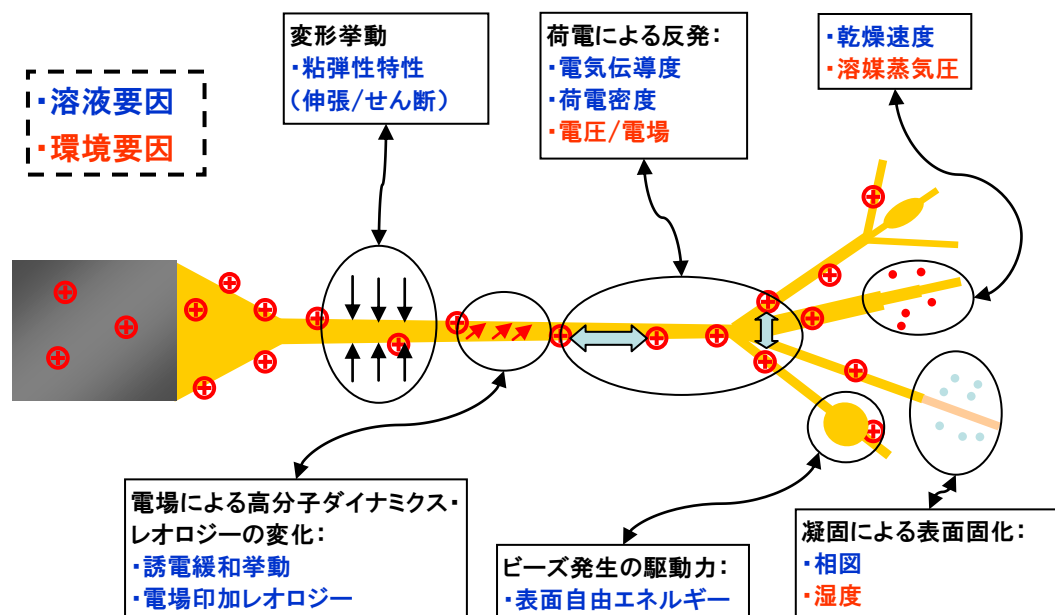


図2.5.1-14 溶液および紡糸条件が荷電紡糸に与える影響について

・レオロジー的性質

電界紡糸において溶液が経る変形速度は 100～1000 (1/s) 程度と考えられるので、この近傍における紡糸溶液のレオロジー的性質を予め知っておくことは重要である。弊社特殊ポリマーを用いた紡糸溶液について、そのせん断粘度を測定した。通常の高分子溶液では、高せん断領域で粘度が低下する所謂“Shear-Thinning”が発生する。この Shear-Thinning 挙動とナノファイバー中の Beads 有無について調べたところ、傾向として、Beads が発生するような系では Shear-Thinning が見られないことがわかった。Shear-Thinning は溶液中の高分子鎖の絡み合いと密接な関係があると考えられるため、Beads 発生有無（均一な繊維形成）の原理的な側面として、高分子鎖の絡み合いが重要な寄与を果たしていると考えられる。

・溶液の固化特性

電界紡糸中、溶液がターゲットに到達する前に固化することで、ターゲット到達後も繊維の形態を保つことができる。従って、溶液の固化特性を知ることは重要である。電界紡糸中の固化プロセスは「乾燥」および「凝固」の2つのプロセスで成り立っていると考え

られるので、これら2つのプロセスについて、ポリマーや溶媒による差異をモデル的に検証した。

図 2.5.1-15 に、弊社特殊ポリマー溶液について、溶媒を変えて調製したポリマー溶液の乾燥曲線を示す。溶媒間で乾燥挙動は大きく異なる。実際、溶媒 C では蒸発速度が極端に遅いため、前述の膜化が発生し、電界紡糸による繊維を得ることができなかった。また乾燥速度が大きい溶媒 A においては、溶媒 B の場合よりも大きい繊維径が得られている。

乾燥挙動同様、凝固挙動も溶媒による差が現れた。図 2.5.1-15 と同じ試料を用いて湿度凝固速度を比較したところ、溶媒 A > 溶媒 B > 溶媒 C の順に凝固速度が大きいことがわかった。

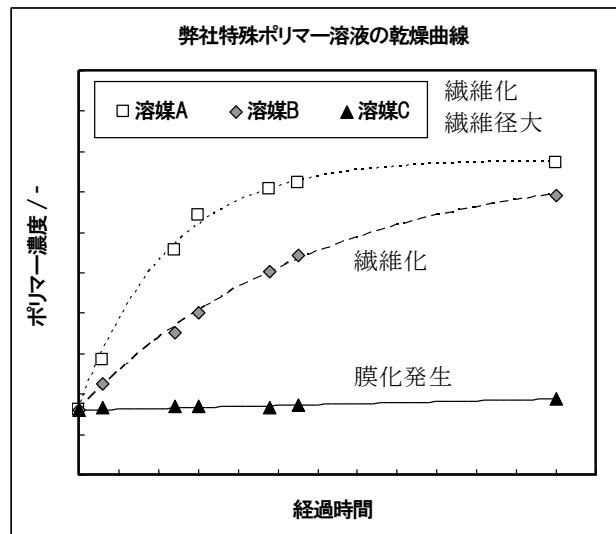


図2.5.1-15 弊社特殊ポリマー溶液の乾燥曲線

・超極細繊維の高品位化 検討結果まとめ

上記を種々検討した結果、最適化したプロセスによる超極細繊維作製結果を図 2.5.1-16 に示す。わずかに beads が残存しているものの、膜化が存在しない、無欠陥超極細繊維として、繊維径 70 nm を得ることに成功した。

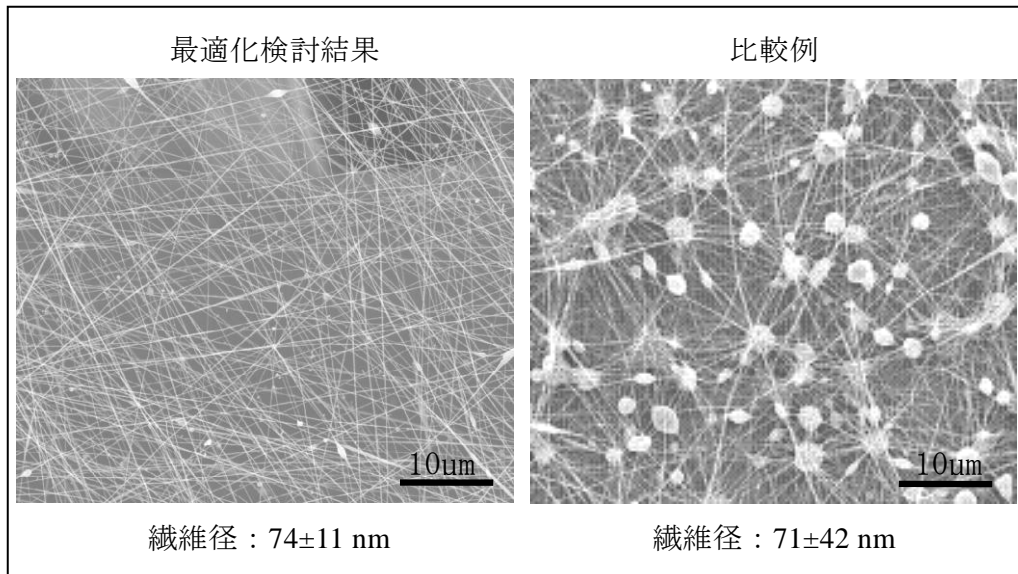


図2.5.1-16 条件最適化によって得られた超極細繊維の例

・ A4 サイズサンプル作製・フィルタ評価

溶液の最適化により、繊維径 100 nm 以下かつ beads の少ない超極細繊維のウェブが得られた。そこで、現在得られている超極細繊維を用いてフィルタサンプルを作製し、超極細繊維化による圧力損失低減の方向性を確認した。フィルタ評価は、乾燥後のフィルタサンプルに対し、図 2.5.1-17 に示すように、フィルタ上流、下流の静圧 $P1$ 、 $P2$ および粒子濃度 $C1$ 、 $C2$ を測定し、式 2.5.1-9、-10 より圧力損失 ΔP 、及び粒子透過率を算出した。

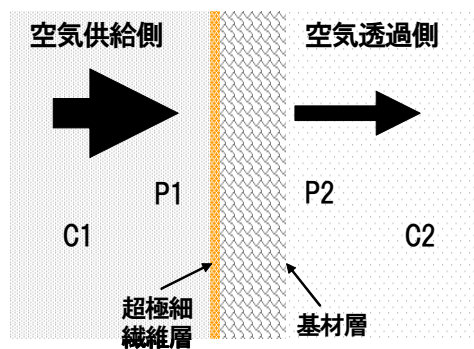


図 2.5.1-17 フィルタ評価 概略図

$$\text{圧力損失} \quad \Delta P = P_1 - P_2 \quad (2.5.1-9)$$

$$\text{粒子透過率} \quad P = \frac{C_2}{C_1} \quad (2.5.1-10)$$

$$\text{粒子捕集効率} \quad E = 1 - \frac{C_2}{C_1} \quad (2.5.1-11)$$

図 2.5.1-18 に当社特殊ポリマーを用いて作製した超極細繊維ウェブのエアフィルタ評価結果の例を示す。図より明らかなように、本フィルタサンプルにより、中間評価目標である初期圧力損失が約 130 Pa、0.3 μm 粒子の捕集効率が 99.97 % を達成することができた。

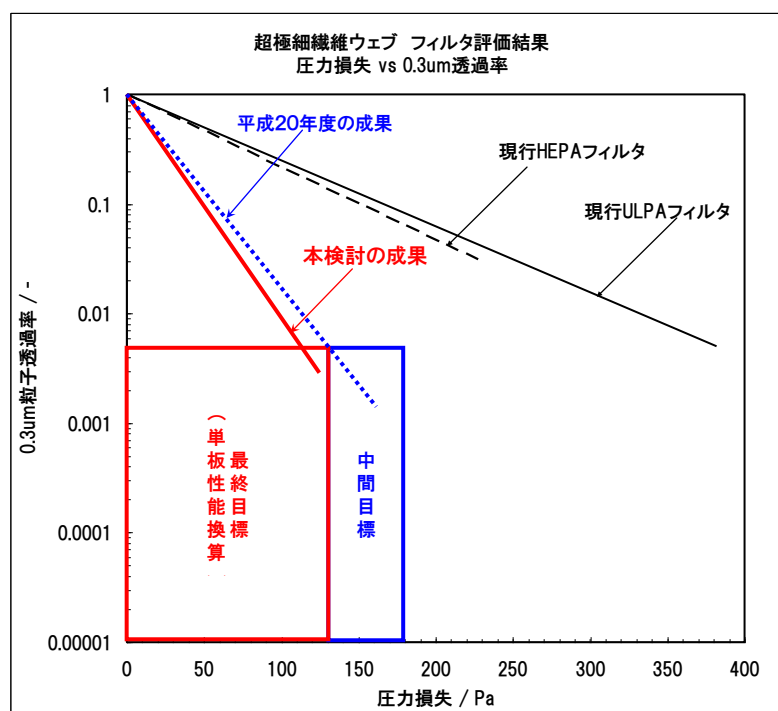
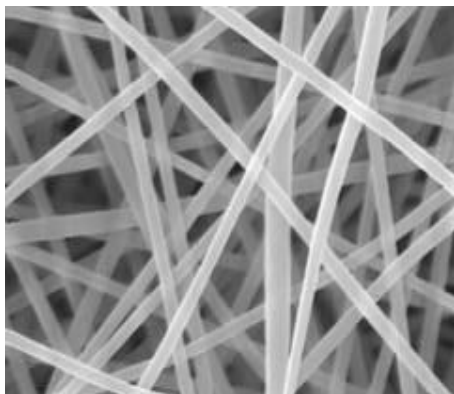


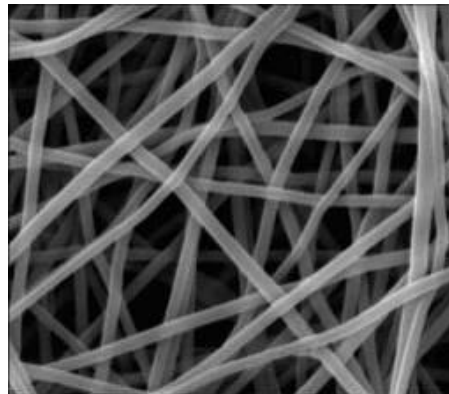
図2.5.1-18 超極細繊維ウェブを用いたエアフィルタ評価結果

・活性炭素化極細繊維の開発

有機高分子を用いた超極細繊維は、粒子を除去するエアフィルタとして適しているが、エアフィルタには化学物質を除去する機能が求められることがある。そのようなケミカルフィルタは、各種の VOC 物質の除去を目的として多くの分野で使用されており、部材として年間 100 億円以上の市場がある。超極細繊維を活性炭素化することができれば、通常の活性炭素繊維よりも著しく高い比表面積効果によって優れたケミカルフィルタが得られる可能性がある。そこで、超極細繊維の活性炭素化の検討を開始した。活性炭素化に適したポリマーとしてポリアクリルニトリルを選択し、超極細繊維化そして超極細繊維の活性炭素化を検討した。繊維径 300 nm のポリアクリルニトリル超極細繊維を炭素化そして活性炭素化することに成功した (図 2.5.1-19)。



(a) 特殊ポリアクリロニトリルポリマーの超極細繊維。平均繊維径 約 300 nm。



(b) 炭素化した特殊ポリアクリロニトリルポリマーの超極細繊維。平均繊維径 約 300 nm。

図 2.5.1-19 特殊ポリアクリロニトリルポリマーの超極細繊維化および炭素化の例

本検討で得られた活性炭化超極細繊維について、ホルムアルデヒドの吸着評価を実施した。炭素化、活性炭化超極細繊維のホルムアルデヒド除去能は、粒状活性炭と比較して高い除去率、速い除去速度であることを確認した。しかしながら、ホルムアルデヒドが化学吸着で除去できるアミン系薬剤を添着した活性炭と比較すると低い値を示したため、さらなる改良が必要と考えている。

2. 5. 1. 4 大型電界紡糸装置の活用並びに最適化の検討（研究開発内容：1（3）（4）、3、6、7、8）

・連続化装置の設計

事業開発当初はバッチ式の装置にて検討を実施しており、A4サイズのサンプル作製が限界であった。事業化を進めるためには、ロール状の長尺サンプルを生産する技術確立が必要がある。そこで、集中研との連携により事業化への足がかりとして連続化装置の設計および作製を実施した。基盤技術研究にて検討を行っていたプロト機をベースにロール搬送、ロール巻取装置を組み込めるような設計、仕様変更を行い、自社に適した連続化装置を設計した。

・当社独自ポリマーにおける適正運転条件の基礎確立と集中研方式の実力把握

集中研にて開発した新方式を連続化装置に導入し、運転条件の最適化を検討した。粘度等の溶液特性、吐出条件、印加電圧や雰囲気湿度などの運転条件を最適化した結果、一般的なポリアクリロニトリルポリマーおよび当社特殊ポリマーにおいて、従来のシリンジ方式と同等の繊維径を達成し、かつ単孔あたりの溶液吐出量としてシリンジ方式に比べて50倍以上の効率が得られることを確認した。

- ・集中研開発の中型評価機プロトタイプの検討

中型評価機を導入するため、その設備仕様検討を実施した。本検討は集中研と連携を取りながら検討を進めた。東工大に設置されている中型評価機のプロトタイプを用いて、弊社特殊ポリマーによる中型評価機導入の可能性を検討した。

- ・溶液吐出能力の検討

弊社特殊ポリマーによる試作検討を行った結果、集中研方式ではノズルユニット当たりの溶液吐出能力が従来のシリンジ方式に比較して約 1000 倍であることがわかった。

- ・幅広化の検討

弊社が必要とする中型評価機は、1m 以上の幅のロールサンプルが作製できることである。このためには、紡糸機の形状を改良する必要がある。

いくつかの紡糸機形状についてシミュレーションを実施した。また実際に、それに対応する装置を集中研に製作して頂き、シミュレーション結果との整合性を確認した。検討の結果、最良と判断した紡糸機形状に基づいて中型評価機を設計し、平成 21 年度末に弊社研究所に導入した。

- ・中型評価機の改良：紡糸躯体への繊維付着改良

中型評価機の最も大きな問題点として、生成した超極細繊維の大部分が紡糸機の内面に付着してしまい、生産時の歩留まりが非常に悪いということがあった。長時間に渡って安定的に超極細繊維を生産し、量産性を確保するには、紡糸機内面への繊維付着は実質的にゼロとすることが必須である。この問題の解決を集中研と共同で図った。

紡糸機の形状について、種々シミュレーションを実施して検討した。検討形状の中から、短時間の紡糸時間において紡糸機内の繊維付着を実質的にゼロとする形状を見出した。

本結果を元に、弊社に導入されている中型評価機の改造を実施し、同様の効果を確認した。

- ・幅方向の目付分布均一化技術の検討

モジュール向けの超極細繊維ウェブ ロールサンプルにおいては、幅方向に超極細繊維が均一に塗布・堆積していることが重要である。集中研方式において、紡糸機形状を種々変更することで、超極細繊維の幅方向の目付分布を制御できることがわかった。この知見は、ロールサンプル作製の際に、ロール速度等の生産条件に応じて、目付分布を制御できる有用な技術と考えられる。

- ・モジュール化によるプロトタイプの作製

エアフィルタは通常表面積を大きくする目的で、プリーツ加工を施してモジュールの形で供給される。基材上に直接塗布された超極細繊維/基材の積層体が適用可能であることを確認するため、モジュール化によるプロトタイプの作製を実施した。

約 6 m 長のロールサンプルを用いてプリーツ加工を実施し、モジュール化を行った。プ

プロセスにおいては、従来の設備ラインで問題なくモジュール化可能であることを確認した。モジュール化サンプルを図 2.5.1-20 に示す。

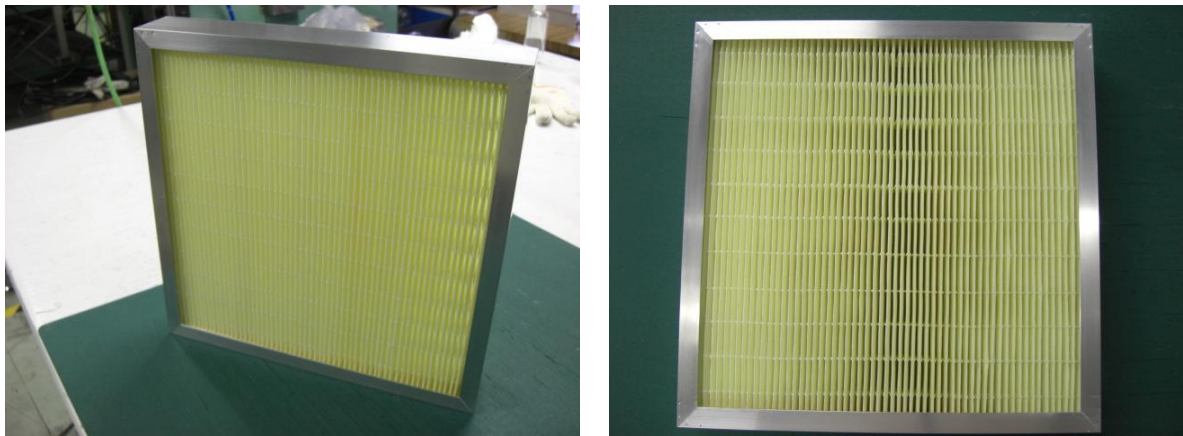


図 2.5.1-20 作製したモジュール化サンプル

- ・超極細繊維ウェブを用いたフィルタ部材のモジュール化と実用評価

不織布上に超極細繊維を堆積させたフィルタ部材をプリーツ加工し、モジュール化した部材の粒子捕集効率を測定した。

捕集効率が約 50%と非常に低い値となった。捕集効率が異常に低い要因としては、超極細繊維フィルタ部材作製時における超極細繊維の欠陥、およびモジュール化加工時における超極細繊維部材の裂けによる欠陥が考えられる。この点については、集中研方式における品位向上策のさらなる検討、中型評価機による製造条件の検討が必要である。尚、連続使用における急激な圧力損失の上昇、捕集性能の低下は、検討の範囲内では見られていないが、連続使用性能に関してはさらに長時間での検討が必要である。

2.5.1.5 今後の課題

- ・量産化と細繊維径化の両立

上述の通り、超極細繊維ウェブの製造方法の検討では、各種溶液パラメータや紡糸環境を制御することで、100 nm 以下の繊維径を実現することができた。また量産化の検討においては、集中研開発の方式により、ノズル当たりの吐出量として、シリンジ方式と比較して約 1000 倍程度までは可能であることを見出している。しかしながら両者を同時に満たす製造条件を中型評価機において見出すことができていないため、今後は中型評価機による 100 nm 以下の繊維製造条件の検討が必要である。

- ・モジュール化時の品位改善

モジュール化加工時にはプリーツ加工を施すが、この際の超極細繊維の破損防止についての検討する必要がある。基材と超極細繊維の密着性の調整検討並びに超極細繊維ウェブの強度向上検討が必要と考えている。前者については、基材の前処理や積層構造を変更することで達成可能と考えている。後者については、溶液パラメータや後加工による繊維間融着の検討によって、達成可能と考えている。

2. 5. 1. 6 特許・論文・外部発表

表 2.1.5-7 特許・論文・外部発表件数

区分 年度	特許出願			論文		その他外部 発表
	国内	外国	PCT	査読付き	その他	
H18FY	4 件	0 件	0 件	0 件	0 件	0 件
H19FY	0 件	0 件	1 件	0 件	0 件	0 件
H20FY	3 件	0 件	0 件	0 件	0 件	0 件
H21FY	1 件	0 件	0 件	0 件	0 件	1 件
H22FY	0 件	0 件	0 件	0 件	0 件	1 件

特許に関しては調査を含め戦略的出願を実施している。まず、国内外特許約 1500 件を検索により抽出し、個々に精査を実施した。その結果、当社特殊ポリマーを用いたエアークリスタ部材の障害となる問題特許は 0 件であることを確認した。自社出願に関しては上記のように、イ号・主要用途特許は出願を完了し、自社の権利は確保した。今後は、さらなる特許強化策を実施してゆく。外部発表については、国際ナノテクノロジー総合展（平成 21 年度、平成 22 年度）に出展し、成果の普及に努めた。学会発表は実施して来なかったが、今後は知財確保の進捗に応じて実施していく予定である。

以 上

2. 5. 2 ヒューマンインターフェース医療衛生・産業用部材の開発

2. 5. 2. 1 計画、目標

[背景]

本開発の背景には、地球温暖化等の環境変化、大規模災害、ボーダレス化による感染症の急速拡大等から人体を防護及び予防する社会的要求が高まっていること、及び、既存の防護・医療防護用品には、遮断性重視により気密性が高くなり、着用者への負荷並びにそれによるストレスや長時間作業が不可能などの問題がある。一方、電界紡糸により紡糸される超極細繊維不織布は、その細さにより非常に細かな目付（細孔）と大きな表面積を有することから、ウイルス、細菌、微粒子を高捕集する一方、空気や蒸気を通す高いフィルター能力を持つことが知られていた。

我々は、この超極細繊維不織布のフィルター性能や表面積効果を更に高め、且つ、新機能の発現や機能の複合化技術を開発することで、安全・安心・快適な防護部材の開発を行なうことを目標とした。図 2.5.2.1-1 に示すように、例えばこれまでの医療用防護製品（手袋、ガウン等）は、防護性を最も重視するために、ゴムや樹脂フィルム等の高い遮断性を有する材料で構成されている。遮断性を有するという事は、逆に人体側からの熱や湿気も遮断されることであり、汗蒸れ等で非常に不快で、長時間の使用にはストレスを伴うものであった。我々は、本開発を通して、防護性を維持向上させると共に作業者の快適な環境も備えた防護部材を開発することを目標とした。

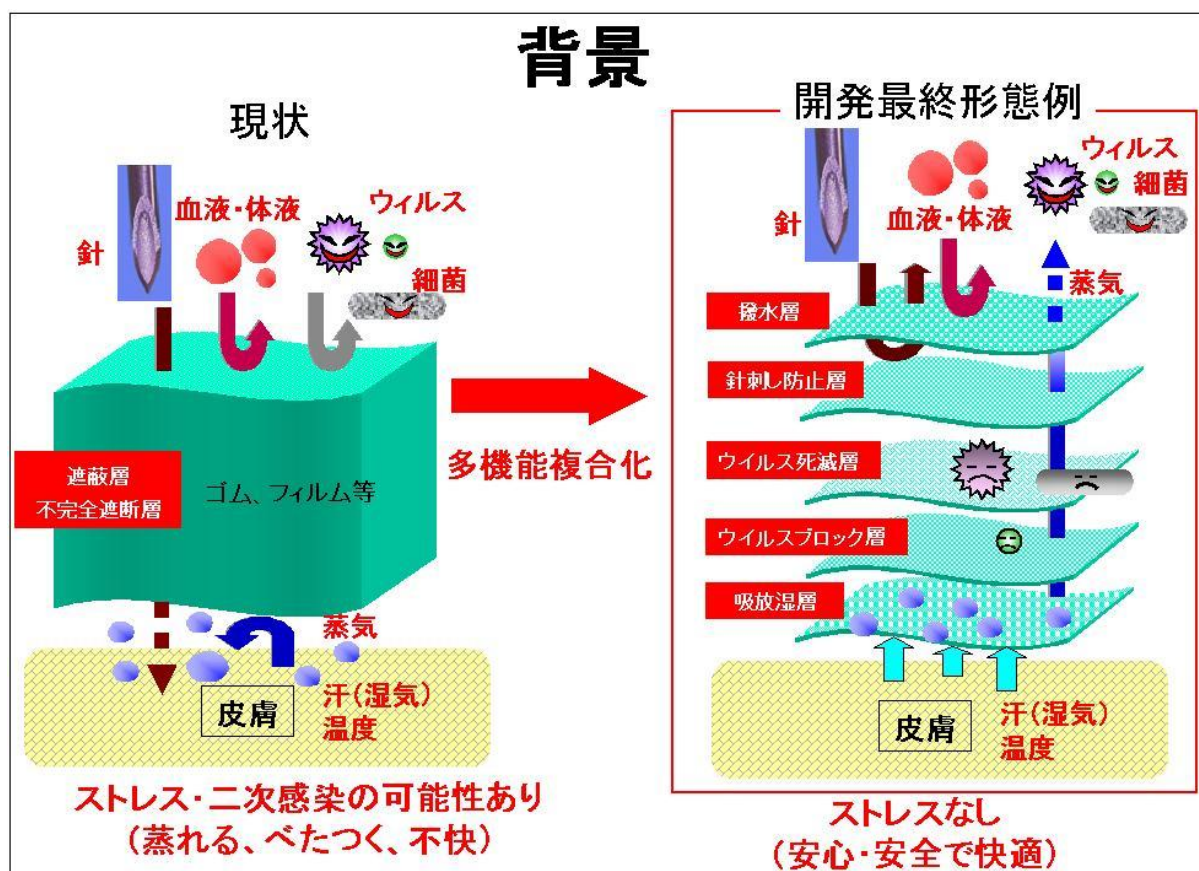


図 2.5.2.1-1 背景と開発最終形態例

本プロジェクトにおける我々の位置づけは、図 2.5.2.1-2 に示すプロジェクト全体体制の

中で、基盤技術で開発ならびに培われた技術と装置を用いて上記背景を鑑み、医療衛生や産業分野で必要とされる部材を超極細繊維の特徴と性質を導き出しながら開発したものである。加えて、日清紡とグンゼは、特に衣料の分野において長年共同で製品の開発販売の実績があり、本プロジェクト成果の展開においても、製造（川上）を日清紡が、製品化（川下）をグンゼが担う将来的な体制を見据えて、共同開発を実施した。

図非公開

図 2.5.2.1-2 垂直－水平連携

[技術課題]

本開発のテーマとその技術課題は、

① ウイルス完全除去部材の開発

空気中に漂うウイルスに対する防護用マスク等のフィルター機能材料は、その遮断（捕集）レベルに応じて、各国で基準が設けられ規定されている。日本、米国、EUでは、概ね同等の基準であり、ユニセフ等の国際機関では米国基準 N シリーズが採用されている。一般的な病原性ウイルスであるインフルエンザなどは乾燥状態で約 70 nmΦ 程度であり、N シリーズでは、70 nmΦ 粒子を、95 %以上カット（捕集）する場合を N95、99 %以上を N99 としている。超極細繊維を用いれば、物理的な繊維の密度を高めることができ、繊維と繊維の隙間をウイルス以下のサイズにしてしまうことは、可能であろうことが予想できる。しかしながら、密度を上げることにより繊維と通気の摩擦が上昇することも明らかであり、マスクとして考えた場合、その通気圧力損失は、実用上問題となる。N99 基準を満足しつつ、且つ、実用的通気性を確保した超極細繊維部材を開発することが課題であった。また、超極細繊維は強度不足であり通気圧で飛沫が発生する為、人体への影響を考慮して飛沫が出ない部材を開発することも課題であった。

② 血液侵入防止部材の開発

血液や汚染液体からの医療従事者の二次感染を防ぐためには、不可欠な機能であり、ゴムやフィルム等による高遮断性の物質で手袋やガウン等の医療用防護服が構成されているのが現状である。しかしながら、これらの遮断性は医療従事者本人から発せられる汗等を放出できない欠点があり、ストレスを与えていることも事実である。一方、超極細繊維及びその不織布は、①で記したように繊維間に適度な細孔（空間）があり、且つ、その表面積の大きさに起因する超撥水（もちろん樹脂によっては超親水）効果もたらされることが期待された。それゆえ、下記③で述べる着用快適性の効果を維持しながら、液体による二次感染を予防する超極細繊維不織布部材を開発することが課題であった。

③ 着用快適性部材の開発

上記②で述べたように、ゴムやフィルム等による高遮断性の物質で手袋やガウン等の医療用防護服を長時間着用すると発汗量の増加に伴い、水蒸気を衣類外に放出しきれなくなり、結露によるベタツキが発生して着用時の不快感が高まる。そのため、作業員へのストレス低減、すなわち快適性を得るには作業員の汗等の代謝物を放出、すなわち透湿性がコントロールできる衣料部材の開発が課題であった。

④ 針の刺さらない部材の開発

一度使用した注射針等の汚染された医療器具を安全に廃棄するために、注射針を鞘に戻すリキャップ等の行為があり、この際に医療従事者が誤って自分を刺してしまい二次感染を起こす事故が存在する。これら事故の低減を図るために専用器具等の普及でかなり事故件数は低減されてきてはいるものの、針自体の極細化（患者負担を減らす為）により、汚染針を刺してしまったことすら認識できずに二次感染を引き起こす等の新たなケースも散見され始めている。先の尖った針などは、これまでのゴムやフィルムでも防ぐことは出来ない問題であるが、針先より細い超極細繊維を利用すること、ならびに、その受け止めた力を繊維間ネットワークで分散させることで針刺しによる医療事故を防止することが課題であった。

⑤ 抗菌消臭部材の開発

ウイルスのみならず、菌類による感染症も問題が多い。特に、院内感染等は狭い空間に抵抗力の低い患者が多数いることで一般的には問題のない常在菌が引き起こすケースが多々ある。これまでも基本的に抗菌性がある繊維やフィルム等を用いた医療器具や着衣が使用されていたが、その抗菌効果の強さや持続性に問題があり、不十分であるがゆえに引き起こされていると考えられる。上述のような用途に用いられる部材にも、患者の着衣等にも抗菌性が求められるのは最低限の機能であり、超極細繊維においても欠かすことの出来ない性能として付与することが課題であった。

⑥ 複合機能部材の開発

上記①から⑤の機能性部材は、それ単独の機能のみ必要とされることは少ないと想定され、複合化する必要があった。加えて、超極細繊維の欠点である強度不足を補うには、既存の高強度部材との複合化が不可欠であった。しかしながら、開発する超極細繊維部材の機能を損なわず（あるいは、増強する）複合化する技術は、超極細繊維自体を分析把握しながら検討する必要がある、プロジェクト後半の大きな課題であった。

⑦ 一体成型技術の確立

製品への展開を考えた場合、開発された超極細繊維部材あるいは複合部材を立体的に加工する必要性がある。従来のように縫製をした場合は、折角発揮させた超極細繊維のフィルター性能や抗菌性を縫製部に生ずる大きな穴で損なう可能性がある。加えて、縫製等の後加工を伴うことは、端的にもコストを増大させる行為であり好ましくない。一方、電界紡糸方は、基本的に常温で空間中に繊維を放出する技術であり、電界紡糸時に立体的なターゲット（例えば、マネキン等）へ吹き付けて繊維と不織布を形成させてしまえば、縫製跡が無い（シームレス）製品の形成が可能となると考えた。基盤技術研究と共同でこの課題に取り組んだ。

⑧ 複合一体型高機能部材の開発

これまでの①から⑦までの開発技術を統合する技術課題である。言い換えると、①から⑦までの開発検討は、複合的で且つ一体型の高機能部材に仕上げることを念頭に開発する課題であり、最終的には、全てを一体化した高機能部材に仕上げるのが課題であった。

[検討項目とその説明]

本開発の目標は、下記に示すように、開始から2年間は、超極細繊維不織布の基本性能把握と改良、及び、新機能発現に重点を置いた基礎的開発を行い、後の3年間は東工大基盤研究からもたらされる比較的大きな面積の超極細繊維不織布を用いた、実用化研究開発を行った。

具体的には、

① ウイルス完全除去部材の開発

超極細繊維及びその不織布の物理的（繊維径、目付など）と化学的（樹脂種、溶媒、分子量など）要素が、微粒子の捕集性能に及ぼす影響を明らかにしながら、

中間目標：細孔径30 nm以下のナノファイバー不織布の開発

最終目標：細孔径10 nm以下のナノファイバー不織布の開発

を数値目標として検討した。

② 血液侵入防止部材の開発

超極細繊維不織布の特徴である高密度繊維表面を利用して、撥水性を高め

中間目標：接触角130°のナノファイバー不織布の開発

最終目標：接触角150°のナノファイバー不織布の開発

を数値目標として検討した。

③ 着用快適性部材の開発

超極細繊維不織布の繊維間多孔を利用すると共に、吸水あるいは撥水性のある樹脂を超極細繊維化して化学的にも透湿性や人体適合性を付与し、快適な着用感の部材を検討した。この数値目標として、

中間目標：透湿性18,000 ml/24hr/m²（綿生地ベース換算）

最終目標：透湿性20,000 ml/24hr/m²（綿生地ベース換算）

とした。

④ 針の刺さらない部材の開発

医療現場では使用済みの注射針を二次的事故が起こらないよう医療従事者が針キャップを使用直後に戻す作業が行なわれ、この際の事故が非常に多いことが報告されている。これに対応するために、針先よりはるかに細い超極細繊維をネットワーク化し、応力を分散することで針刺し事故の軽減を目標に検討した。その数値的目標として、

中間目標：0.5 mmφの針が刺さらない

最終目標：0.08 mmφの針が刺さらない

とした。

⑤ 抗菌消臭部材の開発

医療、災害現場での抗菌対策は言うまでも無く必要であり、既存の製品にも抗菌対策を施されたものは極一般的に出回っている。しかしながら、その多くは抗菌性物質を表面にコートしたり、練りこんだりしているため、多量の抗菌剤を使用したり、長時間の使用に耐えなかつたりする。超極細繊維は、その細さゆえに非常に大きな表面積を有していることから、抗菌性物質を含有させた場合、繊維表面と菌の接触確率が上がり、微量でも大きな効果が期待できる。

中間目標：部材に抗菌性を与える

最終目標：部材に抗菌性・消臭性を与える
として検討した。

⑥ 複合機能部材の開発

超極細繊維の問題点の一つには、細いがために絶対的強度に乏しいことがある。一般的には、既存の強度部材に積層接着することで補強できるが、超極細繊維不織布の特徴である目付、細孔径や比表面積の大きさを維持したまま接着する技術は確立されていなかった。また、上記のように開発する機能は、例えば、撥水性と透湿性は同じ部材や製品上で同時に機能しなければ快適性は損なわれるので、超極細繊維同士の積層による複合化は避けて通れない。この項目の開発は、基本的には各機能や実用化目標が明らかになり始めた H20 年度以降に実施した。

⑦ 一体成型技術の確立

上記で開発しようとした機能性部材は、殆どが平面部材であった。人体に適合させるには 3 次元の立体的成型体である必要があり、一般的には繊維製品は縫製することで達せられている。しかしながら、超極細繊維部材は、繊維が極細であることが特徴であり、それを既存の太い繊維で縫い合わせることはナンセンスであると同時に、縫製部分の欠陥からウイルスなどの侵入を引き起こす危険性があった。また、製造コストの観点からも、電界紡糸方で紡糸すると同時に成型することは有利であった。本開発は、電界紡糸装置仕様の目処が立った H20 年度以降から、

中間目標：球状や円錐状の立体対象物へ超極細繊維を均一に吹きつける

最終目標：複雑な立体対象物へ超極細繊維を均一に吹きつける

として、東工大基盤研究との共同研究で本格的に始動した。

⑧ 複合一体型高機能部材の開発

本開発は、上記で開発する機能や成型技術の集大成であり、最終 2 年間で開発した。

これらの検討項目に対して、図 2.5.2.1-3 に示す体勢で研究・開発及び事業化を推進した。19 年度までは、各機関とも基礎的な研究開発が主であるため、研究項目ごとに主たる担当を決めて実施し、20 年度からはそれぞれの成果を統合すべく、複合化、立体成型等に重きを置き、具体的な部材（製品化に向けた応用開発）開発へ主軸を移行した。

図非公開

図 2.5.2.1-3 研究体制

[目標値とその妥当性]

検討項目	中間目標	最終目標	目標値の妥当性
①ウイルス完全除去部材	細孔径 30 nm	細孔径 10 nm	病原性ウイルスの大きさは30 nm以上であり、物理的に遮断するための目標値を10 nmとした。
②平面型血液進入防止部材	接触角 130°	接触角 150°	現状の一般的な撥水性樹脂部材は接触角 130°程度であり、これを上回る超撥水レベルのナノ構造を目標とした。
③ 平面型着用快適性部材	透湿性 18,000 ml/24hrs/m ² (綿と同等)	透湿性 20,000 ml/24hrs/m ²	綿は衣料として用いられる代表的な素材であり、綿の透湿性を中間目標とした。最終目標は超極細繊維構の素材と構造の最適化および他素材との組み合わせを研究開発することにより、綿を超える透湿性を目標とした。
④ 平面型針刺し防止部材	0.5 mmφ の針が刺さらないこと	0.08 mmφ の針が刺さらないこと	現在最もよく使用されている針のサイズは0.5 mmφ であり、中間目標はこのサイズの針が刺さらないことを目標とした。最終目標は針刺し時における痛み軽減の開発動向を考慮し、0.08 mmφ (世界最小) が刺さらないとし、さらに立体成型によるフィット性向上を図った。
⑤ 平面型抗菌・消臭部材	抗菌性超極細繊維部材の開発	抗菌・消臭性超極細繊維部材の開発	医療現場での細菌による感染を防ぐために抗菌性は不可欠。
⑥～⑧立体成型部材	球状や円錐状の立体対象物へ超極細繊維を均一に吹き付ける	一体化成型技術の確立 複合化技術の確立	縫製による欠陥(大きな細孔)や部材の強度減を防ぐ及び、二次加工(縫製等での立体加工)のコストを削減するため。 強度と快適性の向上の為

[研究開発スケジュール]

スケジュール表非公開

2. 5. 2. 2 成果・検討内容

[最終目標に対する達成度と成果のまとめ]

目標	研究開発成果	達成度
(1)ウイルス完全除去部材 細孔径 10nm	粒子径 60 nm を 99 %捕集 米国マスク規格 N99 (ウイルス粒子サイズ 60 nm を 99 %捕集し通気抵抗 245 Pa 以下) を達成。課題であったナノレベル飛沫の問題も克服した。	○
(2)平面型血液進入防止部材 接触角 150°	接触角 150° 高耐水性機能開発により、血液等液体中での作業環境耐性を付与した。	◎
(3)平面型着用快適性部材 透湿性 20,000 ml/24hrs/m ²	透湿性 21,100 ml/24hrs/m² 高透湿性と防風性を兼ね備えながら、高伸縮性が高い複合性能部材を開発、新たな衣料部材を創造する	◎
(4)平面型針刺し防止部材 0.08 mmφ の針が刺さらないこと	0.2 mmφ (市販世界最小径) の針が刺さらない 針刺し抵抗値の向上により市販世界最小径 0.2 mmφ の針刺し防止が可能となる。最終目標の 0.08 mmφ は現有しないが、針径がより細くなるため、座屈現象により針が刺さらないと推測される。	○
(5)平面型抗菌・消臭部材 抗菌・消臭性超極細繊維部材の開発	超極細繊維の高い抗菌活性を発見 超極細繊維には抗菌作用があることを世界で初めて発見。消臭部材も開発した。	◎
(6)立体成型部材 一体化成型技術の確立 複合化技術の確立	一体化成型技術の確立に目処 複合化技術を確立	◎

[検討内容]

(1) 平面型ウイルス完全除去部材の開発

中間目標：細孔径30 nm以下のナノファイバー不織布の開発

最終目標：細孔径10 nm以下のナノファイバー不織布の開発

平成20年度までの開発により、中間目標は達成した。最終目標値に対する開発を進めたが、細孔径を10 nm以下にした場合、フィルターとしての機能が損なわれる。すなわち、空気抵抗が高すぎ、フィルターにしてマスク用フィルターに用途展開するには息苦しく、使用できないことが判明した。一方、一般的なウイルス（例 インフルエンザウイルス等）を防護するマスクには、国際的基準・米国規格N99（直径75 nmの粒子を99 %以上捕集）があり、これを実用化の目標として変更した。結果、補助機構（排

気弁や空気ポンプ等)を伴わない、いわゆる、使い捨てマスク用のフィルターを世界で最初(実施者調べ)に開発した。

しかしながら、このナノファイバーマスクフィルター自体から発生するナノレベルの発塵による人体への影響も懸念される。もちろん、一般的には、有機物ナノファイバー及びその飛沫の健康影響は、生物の免疫能力から考えると、極端な暴露環境で無い限り大きな問題にならないとも言える。

平成20年度から最終年度の期間は、集中研(東工大)と協力し、飛沫の発生を極力低減したマスク用フィルターの開発を実施した。ナノファイバー自体が飛沫化する原因は、その繊維が細いゆえの絶対的な強度不足により摩擦で破壊することが主要因である。

しかしながら、細いナノファイバーの強度を実用レベルの強度にすることは非常に困難である。そこで、ナノファイバー繊維どうしを架橋し、ネットワーク構造にすることで、構造的に飛沫を防ぐことを検討した。すなわち、繊維間が架橋すれば、架橋点の間の繊維中2箇所が同時に切断されない限り、飛沫が発生しないと考え実施した。

図2.5.2.2-1。

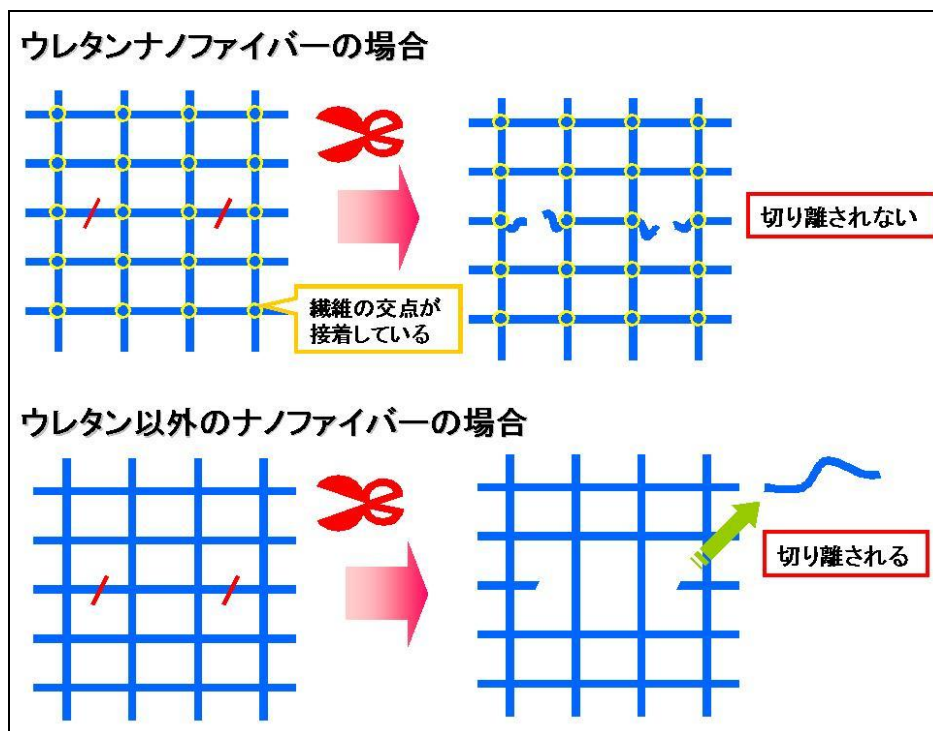


図2.5.2.2-1 ネットワーク構造

これまでの技術開発の経験から、当該ネットワーク(図2.5.2.2-1)を構成するポリウレタンナノファイバーを選択し、米国規格N99に準じたマスクフィルターを試作検討した。結果、繊維径を200 nm以下、最良の状態としては150 nm以下にすることで、99%以上ウイルス様粒子(擬似ウイルス粒子、一般的には 75 ± 20 nmの食塩粒子)を遮断し、且つ、スリップフロー現象を伴って、通気性の良い(息苦しくない: 通気抵抗245 Pa以下)マスクフィルターが出来ることを確認した(図2.5.2.2-2)。

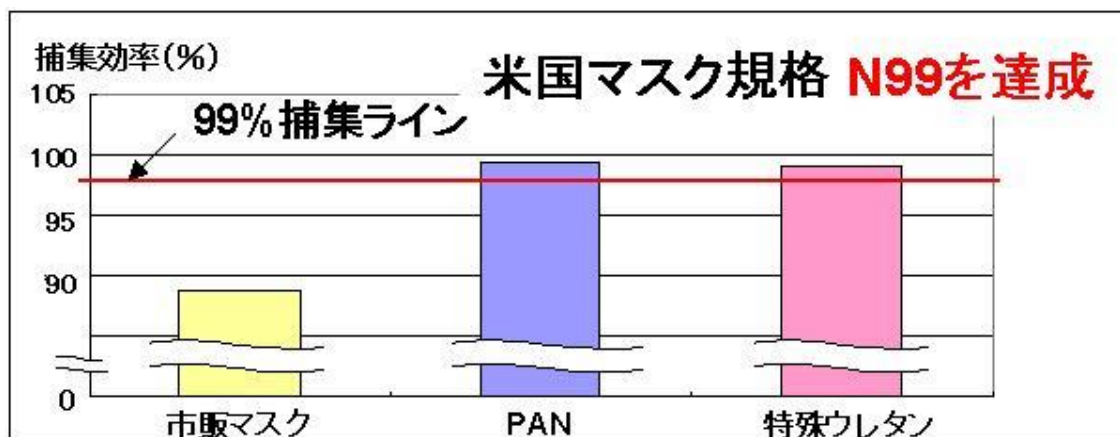


図2.5.2.2-2 捕集効率結果

また、飛沫の有無を確認した結果、PANナノファイバーでは飛沫が確認され、ネットワークを構成するポリウレタンナノファイバーでは飛沫が確認されなかった。

以上の結果より、特殊ポリウレタンナノファイバーを使用することで、通気性が良くナノレベル飛沫も防止することができ、ウイルス完全除去部材の目標を達成することができた。

(2) 平面型血液進入防止部材の開発

中間目標：接触角 130° のナノファイバー不織布の開発

最終目標：接触角 150° のナノファイバー不織布の開発

最終目標である接触角 150° に対しては、ポリウレタンナノファイバーに撥水加工を施すことで平成20年度に既に達成しており（図2.5.2.2-3）、引き続き耐水性向上の技術開発を行なった。医療衛生分野にて最も耐水性を要求される代表用途は、手袋であり、血液や体液などからの汚染を防ぐ必要がある。

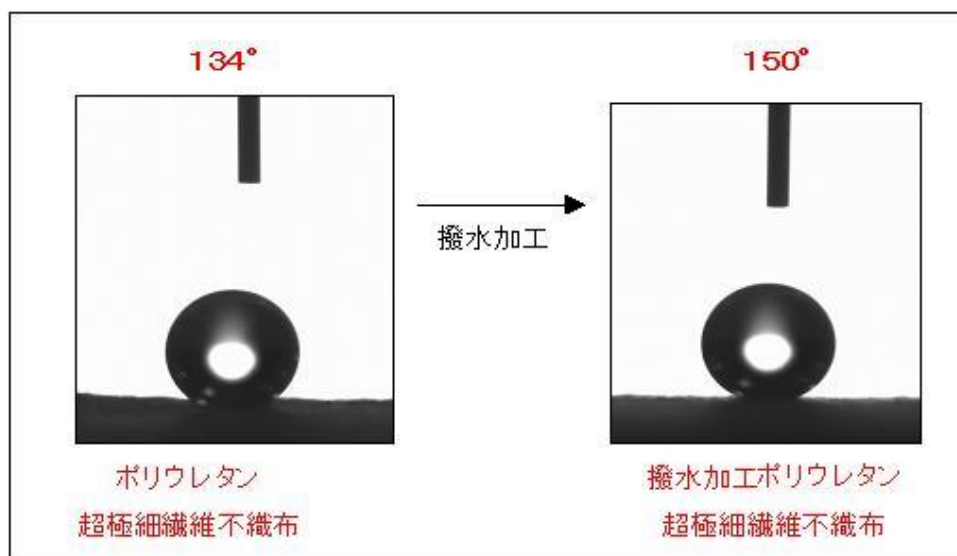


図2.5.2.2-3 ポリウレタン超極細繊維不織布の表面水接触角

左：ポリウレタン超極細繊維不織布の接触角（撥水処理無し）

右：撥水加工ポリウレタン超極細繊維不織布の接触角（フッ素系撥水剤加工）

残念ながら、基本的に水の分子より大きな穴の開いているナノファイバー不織布では、内部への水の浸入を完全に防ぐことは出来ない結果となった。

しかしながら、本検討の過程で、完全に水の浸入は防げないものの、低水圧や短時間の水との接触では、不織布内部への水の浸入を防ぐ能力があることが明らかとなり、加えて、ナノファイバーの目付や複合化（基材とナノファイバーを張り合わせる）により、そのレベルを制御できることを見出した。

(3) 透湿性部材の開発

中間目標：透湿性18,000 ml/24hr/m²（綿生地ベース換算）

最終目標：透湿性20,000 ml/24hr/m²（綿生地ベース換算）

樹脂、繊維径、空隙率、細孔径の最適化により、最終目標値透湿性20,000 ml/24hr/m²（綿生地ベース換算）を達成。

検討した樹脂として次に挙げる親水性樹脂を中心に検討した。ポリアミド系エラストマー、親水性ポリウレタンおよびセルロースの3点である。ポリアミド系エラストマー（PEBAX）の溶媒はHFIP（；ヘキサフルオロイソプロピルアルコール）、クレゾール等の特殊かつ危険度が高い有機溶剤であり実際はHFIPで検討を行った。PEBAXを超微細繊維（；ナノファイバー）化した場合は親水化が顕著に現れた（接触角小）。その時の繊維と透湿性を図2.5.2.2-4に示す。綿生地（綿100フライス肌着）と比較して約90%である。

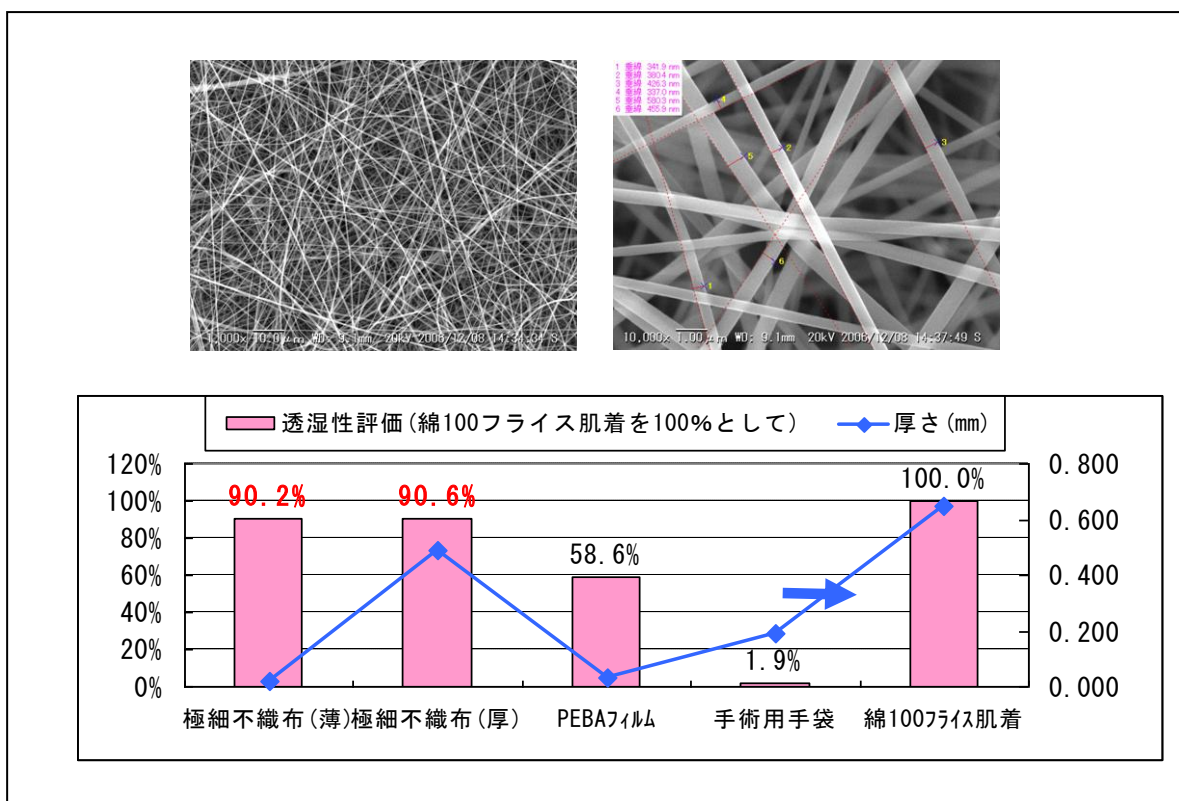


図 2.5.2.2-4 PEBAX の超微細繊維化（上図）とその透湿性評価結果（下図）

ここでは PEBAX の超極細繊維不織布を極細不織布（薄）、（厚）として示す

また親水性ポリウレタン中、透湿性ポリウレタンの透湿性が優れている(図 2.5.2.2-5)。同樹脂は有機溶剤 HFIP、DMF (ジメチルホルムアミド) 等に可溶であり超微細繊維化が可能である。繊維径は該ポリウレタン樹脂の固形分濃度と有機溶剤の揮発性・導電性および ESD 条件等によりある程度制御することができる。セルロースについては溶媒 THF (テトラヒドロフラン) にて溶解、ESD の可能性を検討した。セルロースについては樹脂の膨潤により固形分濃度が 3 %程度と少なく、ナノファイバーとしては集積が難しい(時間を要し生産性が低い) という面があった。

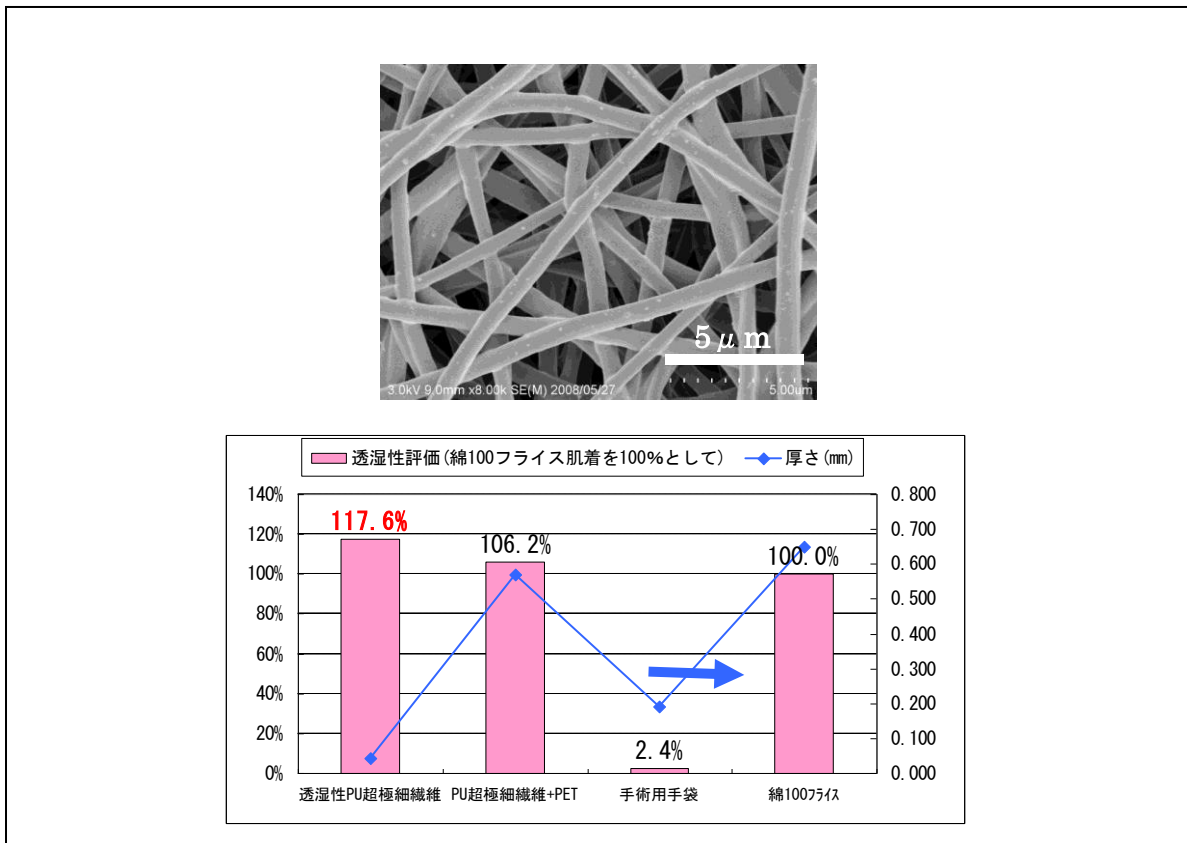


図 2.5.2.2-5 透湿性ポリウレタンの超微細繊維化(上図)とその透湿性評価結果(下図)

上記の各樹脂も含め、各種の試験を行った結果、透湿性ポリウレタン超極細繊維不織布にて、最終目標値である 20,000 ml/24hrs/m² を上回る 21,100 ml/24hrs/m² (綿生地比較 117.6%) を達成した。さらに超極細繊維不織布は綿生地と比べ、水分子の衝突が少なく、かつ繊維表面を滑る「スリップ・フロー現象」も透湿性が高くなった要因と推測される。スリップ・フロー現象においては図 2.5.2.2-4 におけるデータにより、超極細繊維不織布の厚みに係らず、透湿性がほとんど変わらないことから理解できる。

また現在、ポリウレタン超極細繊維不織布と通常生地との貼り合せによる冬用肌着を商品化すべく検討しているが、(通常生地にも多少左右されると思われるが) 貼り合わされた生地の透湿性はそれほど落ちない結果を得ている。

(4) 平面針刺し防止部材の検討

中間目標：0.5 mmφの針が刺さらない

最終目標：0.08 mmφの針が刺さらない

他素材との複合化により、最終目標値を達成。

まず最初に針刺し抵抗値の評価・測定方法について検討を行った。図 2.5.2.2-6 に針刺し抵抗測定方法について原理を示す。もともと針刺し時の痛みを軽減するため、その抵抗値は低くなるよう工夫されている（ランセットポイント型等）。このため針刺しの抵抗値を正確に読み取るためロードセルの感度を上げその測定を行った。その結果、現在、市販の手術用手袋の貫通する針刺し抵抗値は、上降伏点の約 1.9～3.56 cN 程度とかなり小さい値であることが判った。

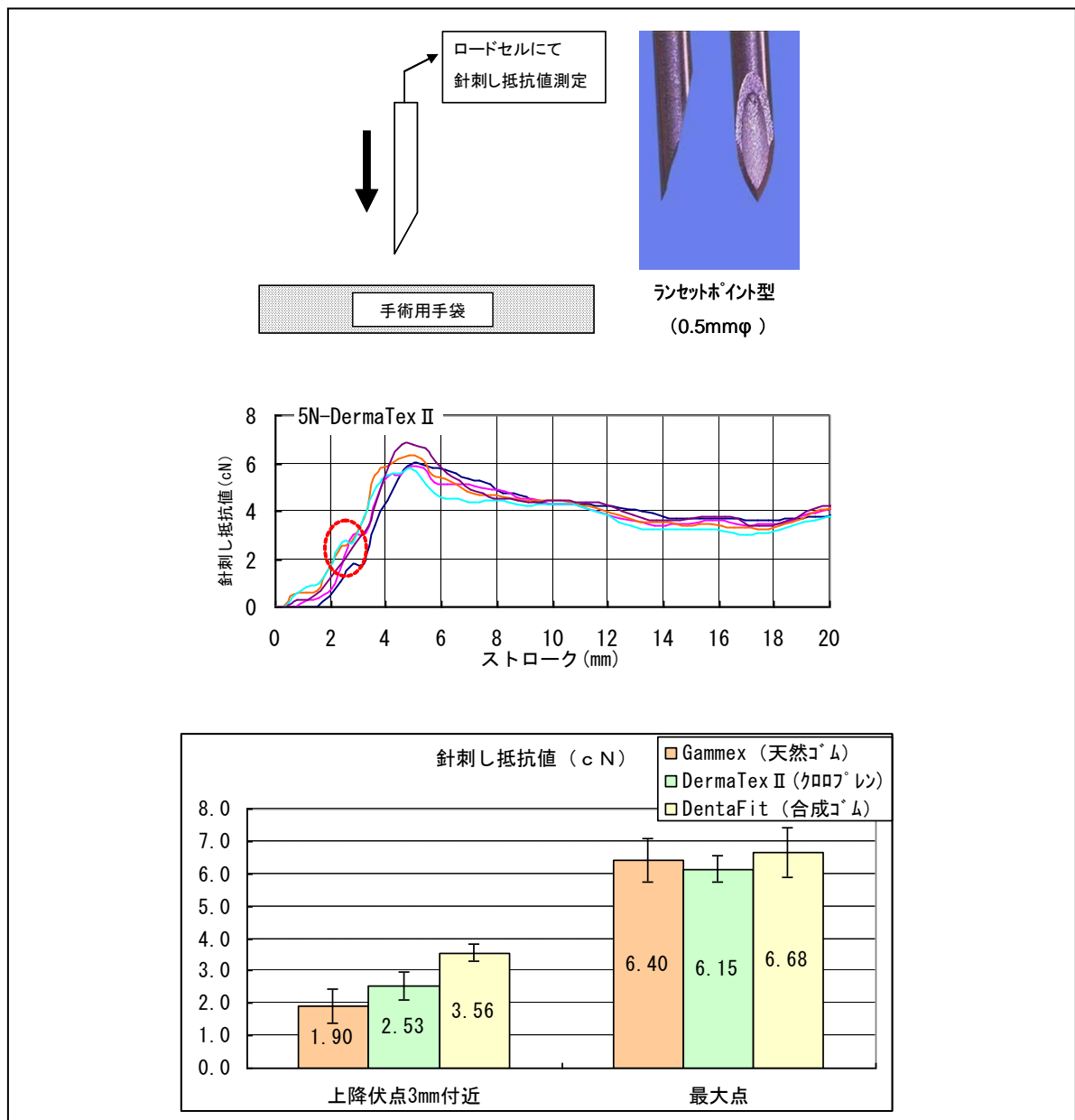


図 2.5.2.2-6 針刺し抵抗値の測定原理（上図）、
針刺し抵抗値の測定結果（中図）および、
市販の手術用手袋の針刺し抵抗値（下図）

ESD から作られるナノファイバーそのものは通常の紡糸方法とは異なり、繊維方向での延伸・配向が一般には起こりにくい。さらにナノファイバーそれ自身は繊度も細く繊維自身の強度は一般に弱い。こうしたことから我々は、針が刺さらない、すなわち針刺し抵抗値を上げるため、下記の手法に基づき検討を行った。

1. 硬い樹脂素材を用いる（貫通しないようにする）
2. 粘弾性のある樹脂を用いる（針刺しがまとわりつき、貫通抵抗を上げる）

構成部材に下記部材を選択、針刺し抵抗値を測定した。

1にPI（ポリイミド）、PAI（ポリアミドイミド）を選択

2にゴム；TPU（熱可塑性ポリウレタン）を選択

これにより針が刺さる（部材の構成）順序により針刺し抵抗が上がる組み合わせがあることが判った（図 2.5.2.2-7）。

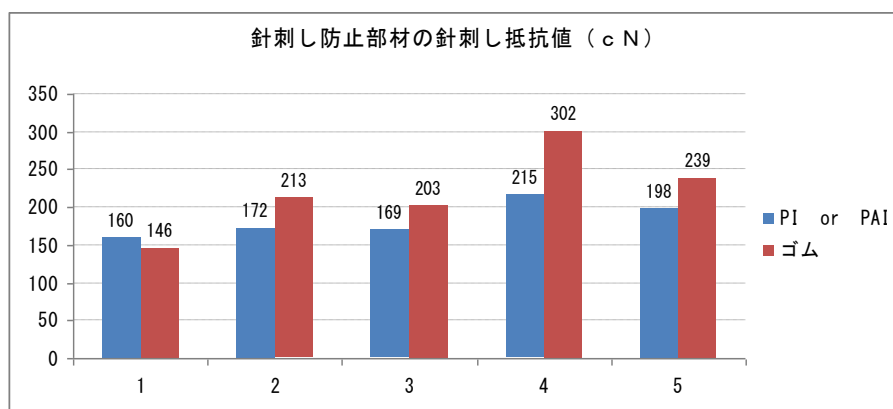


図 2.5.2.2-7 針刺し抵抗値測定結果（針径 0.5 mmφ）

針がポリウレタン樹脂およびポリアミドイミド樹脂の各フィルムの最適複合化により、手術用手袋の約 100 倍以上の針刺し抵抗値を向上した。針刺し防止抵抗値は注射針のリキャップ想定し 250 cN 以上とした。世界最小径は 0.2 mmφ（ナノパス；テルモ社製）であり、表層面が硬い④においては針が曲がり、刺さらないという状況であった（図 2.5.2.2-8）。最終目標の 0.08 mmφ は現有しないが、針径がより細くなるため、座屈現象により針が刺さらないと推測される。

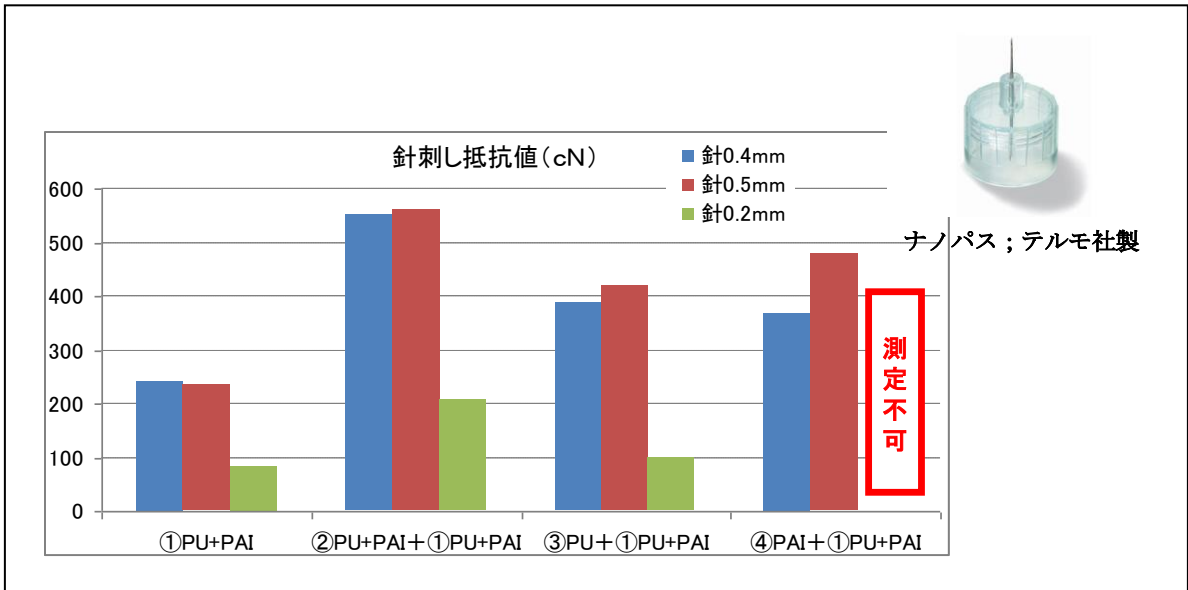


図 2.5.2.2-8 針刺し抵抗値測定結果 (各種)

前述の「③透湿性部材の開発」で得られた高い透湿性と、ナノファイバー不織布の特徴を活かし、事業化の1つである快適衣料素材「ナノウォーム」の開発を進めた。

【目的】

ナノファイバー不織布の特性をインナーウェアに展開し、新コンセプトを市場に提案する。

ナノファイバーの特徴	肌着にした場合の特徴
1. 軽量	軽い
2. 高空隙率	空気層ができる→保温性
3. ナノサイズ効果	低通気性→外部からの空気を入れにくい
4. スリップ・フロー効果	繊維表面で物質が滑る→透湿性が落ちない；高い

表 2.5.2.2-9 ナノファイバー特徴が肌着にもたらすメリット

【商品コンセプト】

冬用衣料『薄く、軽く、暖かい』を極める。

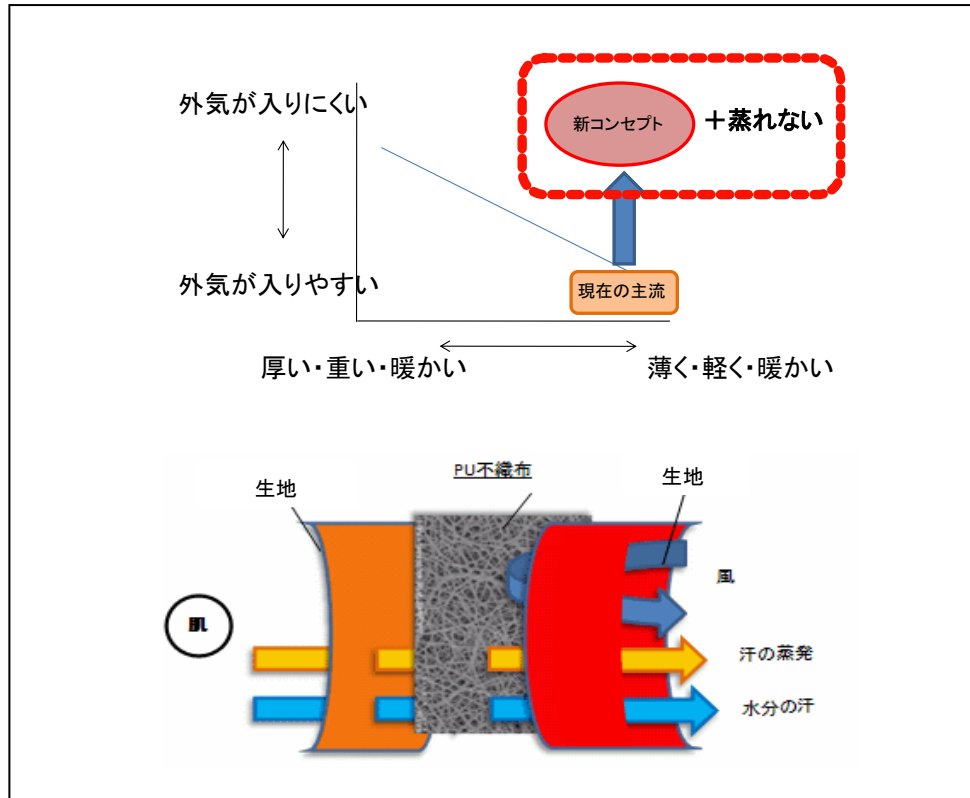


図 2.5.2.2-10 冬用肌着における特性（上図）と
試作構成（PU ナノファイバー不織布をラミネート、下図）

【生地特性値】

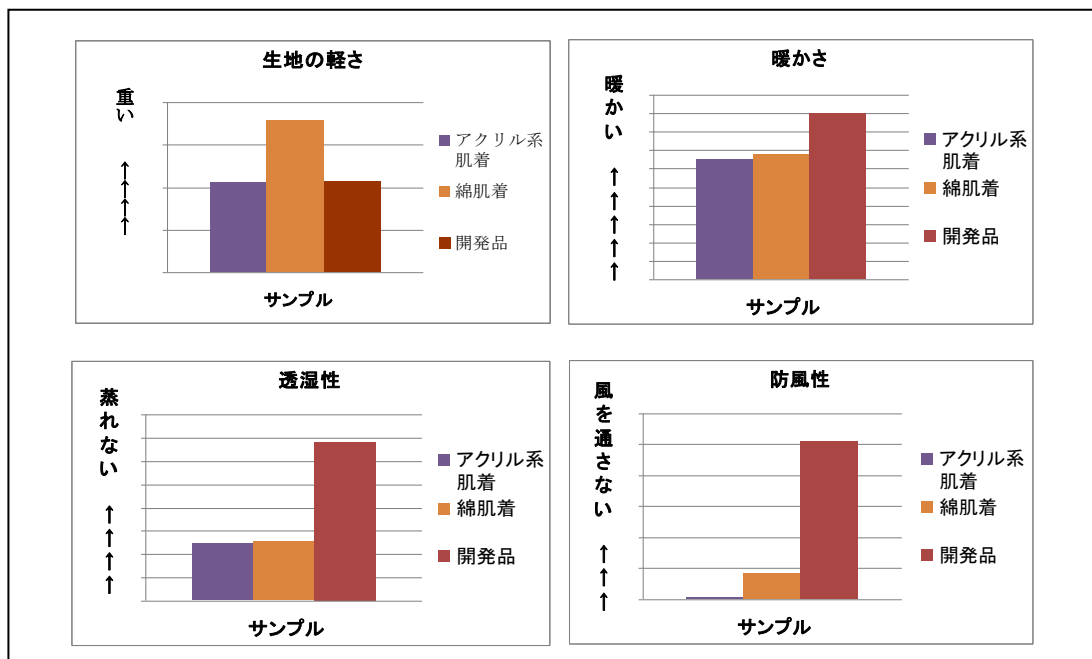


図 2.5.2.2-11 冬用肌着における開発品と市販品との性能比較

(5) 平面型抗菌消臭部材の開発

中間目標：部材に抗菌性を与える

最終目標：部材に抗菌性・消臭性を与える

当初の目標では、ナノファイバーに抗菌物質を種々導入して抗菌性を与える予定であったが、この検討中に、ナノファイバー不織布に対しては、何ら抗菌性物質を付与すること無く抗菌性が発揮されることを見出した。この現象の発見（新規ナノファイバー効果）は世界初である。また、消臭性部材を開発することにも成功し、これらの成果により最終目標を達成した。

(6) 立体成型部材の検討

中間目標：球状や円錐状の立体対象物へ超極細繊維を均一に吹きつける

最終目標：複雑な立体対象物へ超極細繊維を均一に吹きつける

集中研（東工大）と共同で立体物への電界紡糸装置開発を行なった。表面に凹凸がある顔型やこれまで不可能であった不導体にまでも電界紡糸で直接紡糸する技術を開発し、目標を達成した。これにより、一体化成型技術の確立に目処が立った。

[最終目標達成の流れ]

開発当初は、超極細繊維不織布の特異機能は単機能で、その細さ故に基本的には絶対的な強度が不足していた。しかし、これまでの開発でウレタンナノファイバー不織布は例外的で繊維同士を交点で結合させる、及び樹脂自体が弾性であることで、実用に近い強度が実現できていることが確認できたため、特異機能をウレタンに複合し全ての特長

を兼ね備えた特殊ウレタンナノファイバー不織布を開発した。この成果により、当初描いていた最終形態例は図 2.5.2.2-12 のような複合部材となり、より実用化に近い形となった。

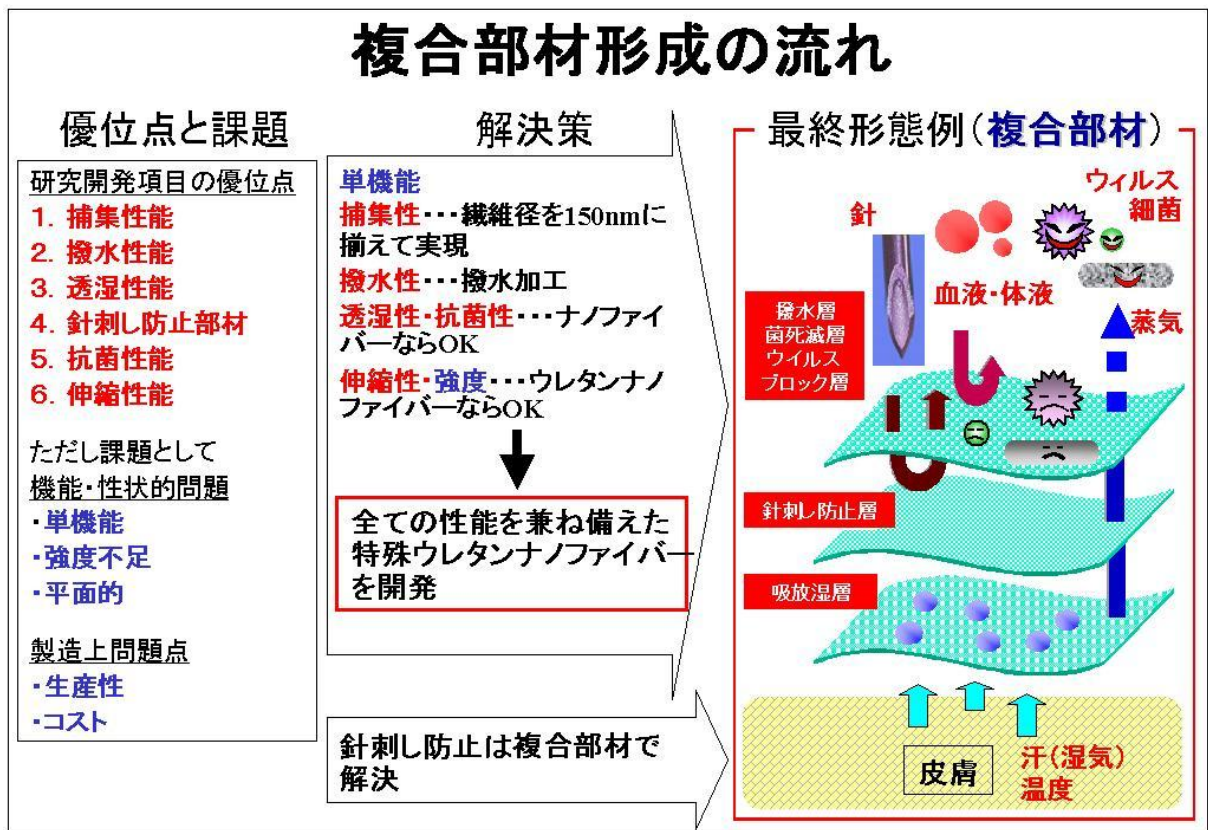


図 2.5.2.2-12 複合部材形成の流れ

機能の複合化は、開発した機能部材を積層することで実現した。ナノファイバー層にいくつもの機能性を持たせて複合部材の層を薄くできたことは非常に大きな成果であり、伸縮性も多孔性も損なわずに積層できたことは大きな成果である。

[実用から見た研究開発成果]

表 2.5.2.2-13 に現在市場に出ている商品と比較した優位性をまとめた。

部材 (出口)	方式		原料		使用条件		優劣	
	現行	開発	現行	開発	現行	開発	現行	開発
防護部材 (医療用手袋・ガウン等)	完全遮断	高透湿性 快適部材	フィルム(ゴム、ウタン)	ウタン、セルロースなど豊富	・汗蒸れ等で頻繁に交換 ・着用者のストレス大きい(長時間作業不可)	・蒸れなく 快適 フィット感	通気性なし、不快	通気性が あり快適、且つ、ウイルス 保持性もあり、安全
マスク米国規格 N99(75nmウイルス様 微粒子99%カット +245Pa以下の通気性)	捕集能高い場合は、排気弁等の補助装置	排気弁不要	PP、PE等の不織布	ポリ乳酸やセルロース低環境負荷、人体適合、安全	排気弁や酸素ポンプ等で着用者にストレス	・軽量、 コンパクト	防護性重視であり、快適性や手軽さは犠牲に	医療や緊急時のみならず、一般的(日常)の 予防用でありながら高い防護性能
抗菌性部材	抗菌性物質(抗生物質、抗菌剤等)の配合や被膜	素材樹脂本来の抗菌作用の 発見	キサン等の天然抗菌剤の配合・コーティング	多数の普及樹脂(新規ナノファイバー効果)	洗濯等の繰り返しで性能劣化(耐久性不足)	素材元来の抗菌性を利用しているため耐久性が高い	抗菌剤の溶出による副的作用に懸念	新規ナノファイバー効果を利用しているため、安全性・耐久性が高い
防水・防寒ウエア	多孔質フィルムのラミネート	超極細繊維不織布の緻密な繊維間多孔、他素材との複合	フッ素系多孔質フィルムを他素材にラミネート	ウタン(伸縮性用途)セルロース(人体適合、低環境負荷)	伸縮性に乏しく、フィット感がないので、主にアウター用に用途が限定される	ウタン等の伸縮性素材の適用でインナーにも適用でき、用途が限定されな	加工性に乏しい	加工性に優れ、適応範囲が広い

表 2.5.2.2-13 競合技術との比較優位性

上記の基本的な性能に加え、ナノファイバー不織布の強度不足を補う生地の開発に目処が立った。これにより、医療用防護服の新素材として、菌やウイルスは通さず、衣服内の湿度を排出できる快適素材を提供することが可能となった。

また、この生地は医療用のみならず、一般的な衣類、特に冬用の下着等に適用できることも同時に判明した。ナノファイバー不織布は、気孔率70% (空気層)まで設計することができ、空気断熱効果が高い。一般的な発熱性繊維と異なり、発汗を伴わずに空気断熱で保温効果がある点は、今後の高齢化社会において、発汗作用の低下した高齢者でも十分な保温効果を発揮できる。もちろん、ナノファイバー生地は、下着に換算すると一着200g以下であり、非常に軽い。

更に、ナノファイバー不織布の透湿性、通気性、蒸散性もコントロールできることも解りつつある。

2. 5. 2. 3 成果の意義

図 2.5.2.3-1 に成果の優位性をまとめた。

図非公開

図 2.5.2.3-1 成果の優位性

[高捕集性部材及び技術の開発]

ナノファイバーのスリップフロー効果が発揮されて、ウイルスは通さない微細な孔を持ちつつ、通気抵抗の低い部材を開発できた。これはマスク規格のN99を達成するものであり、補助機構（排気弁や空気ボンベ等）を伴わない、いわゆる、使い捨てマスク用のフィルターを世界で最初（実施者調べ）に開発したという点で有意義である。一般的な防護用マスクへの展開が可能であり、二次感染を防ぐという付加価値も付けられる点で優位性がある。

[抗菌性部材の開発]

ナノファイバー自体に抗菌性があるということを見出したのは世界で初めてであり、大変大きな成果である。余計な化学物質を添加せずに抗菌性を発現するという点で優位性がある。医療用手袋や衣類、介護用サニタリーや寝具などに展開することが可能となった。また、医薬品や化粧品、食品包装や保存剤、などに展開すれば防腐剤や抗生物質を用いない製品を開発することができ、様々な分野での応用展開が期待できる点で有意義である。

[高透湿性・高撥水性・高弾性部材の開発]

気孔率が70%以上で従来のフッ素系多孔性フィルムラミネート服の2倍以上であり、これに上回る透湿性を持つ、という点において優位性がある。また、ウレタン素材ではこれに加えて高強度・高弾性という性能を持たせることが可能であり、これを用いればこれまでアウター用（防寒着の外張り）に限られていた用途をインナー等に拡大できる。これは非常に優位性がある。また、インナーやスポーツウエアなどに展開するだけでなく、介護医療分野での低刺激性インナーやサポーター、工業用部材で自動車用内装やシートなど様々な分野で応用できる可能性がある。

[針刺し防止部材の開発]

針刺し防止は医療現場での事故防止として高いニーズがある。特に使用済みの注射針を二次的事故が起らないよう医療従事者が針キャップを使用直後に戻す作業が行なわれ、この際の事故が非常に多いことが報告されている。これに対応して一部で針全体を処分する装置も導入が図られているが十分ではない状況である。また手術中にも針刺し事故は起こっている。こうした中でポリウレタンとポリアミドイミドの複合部材によって針刺し抵抗値を上げ、針刺し事故の軽減に繋がる可能性が示されたことは意義があると思われる。今後は更なる針刺し抵抗値向上と3次元立体成型や編織組織等で医療用品へのフィット性向上を行う必要があると考えている。

2. 5. 2. 4 成果の発表

日清紡

区分 年度	特許出願			論文		その他外部発表 (プレス発表等)
	国内	外国	PCT 出願	査読付き	その他	
H18 年度	1 件					
H19 年度	8 件					2 件
H20 年度						1 件
H21 年度			1 件	1 件		1 件
H22 年度			1 件			1 件

グンゼ

区分 年度	特許出願			論文		その他外部発表 (プレス発表等)
	国内	外国	PCT 出願	査読付き	その他	
H18 年度						
H19 年度	5 件					3 件
H20 年度	1 件					1 件
H21 年度	4 件					2 件
H22 年度	1 件		1 件			1 件

成果の詳細

外部発表・論文等

日清紡

発表者	外部発表	内容	効果・反響等
日清紡 HD(株) (単独)	危機管理産業展 2007	日清紡 ガイアコット (抗ウイルス、抗菌、消臭綿 製品)との複合化技術紹 介	防護関係企業、防衛庁関係との情 報交換継続中
日清紡 HD(株)	nanotech2008	NEDO ブースにて東工大 等と出展	400 名程度の来訪と数社へのサン プル供給
日清紡 HD(株)	nanotech2009	NEDO ブースにて東工大 等と出展	300 名程度の来訪と数社へのサン プル供給
日清紡 HD(株)	nanotech2010	NEDO ブースにて東工大 等と出展	300 名程度の来訪と数社へのサン プル供給
日清紡 HD(株)	nanotech2011	NEDO ブースにて東工大 等と出展	300 名程度の来訪と数社へのサン プル供給
日清紡 HD(株)	プラスチック成 形加工学会誌	タイトル「電界紡糸法に より作成した超極細織 維不織布の抗菌活性」	「成形加工」 第 21 巻 第 5 号 2009 年 p287-290

グンゼ

発表者	外部発表	内容	効果・反響等
グンゼ (株)	nanotech2008	NEDO、自社ブースにて出展	400名程度の来訪、国内外から注目される。
グンゼ (株)	nanotech2009	NEDO、自社ブースにて出展	300名程度の来訪
グンゼ (株)	nanotech2010	NEDO、自社ブースにて出展	300名程度の来訪、ナノテク大賞受賞（グンゼ全体として）
グンゼ (株)	nanotech2011	NEDO、自社ブースにて出展	300名程度の来訪
グンゼ (株)	FC エキスポ 2008	自社ブースにて出展	ナノファイバー積層ファブリックを展示、自社顧客に素材提案を行った
グンゼ (株)	AT International 2008	自社ブースにて出展	ナノファイバー積層ファブリックを展示、自社顧客に素材提案を行った

3. 安全性の検討

本プロジェクトにおいては高分子ナノファイバー、カーボンナノファイバー、セラミックスナノファイバーが研究開発の対象である。近年特定のアスベストが中皮腫を引き起こすことが報告されて以来、類似の繊維径とアスペクト比を有するカーボンナノチューブ（CNT）が同様の作用をもたらすのではないかと議論の対象となって来た。CNTはナノメートルオーダーの直径と100以上のアスペクト比を有し、超極細繊維（ナノファイバー）の範疇として取り扱うことができる。CNTの安全性に関する研究や議論は国内外を問わず活発に行われているが、高分子ナノファイバー等については体系だった研究は世界的に見てもほとんど行われていない。今後超極細繊維を使用した製品が上市されると共に安全性について問題になる可能性があることから、ここではまず高分子ナノファイバーの安全性試験を行い、今後の研究や議論に対する指針を与えると共に、CNTの安全性に関して海外調査を行い、研究の手法や議論について高分子ナノファイバーに適用することを試みた。CNTの安全性に関しては、米国での調査を行うと共に、国内では安全性のシンポジウムを行った。さらに本プロジェクトに関係する高分子ナノファイバーの安全性試験を行った。

まず、米国調査に関しては、平成20年3月及び平成21年2月に米国国立労働安全衛生研究所（NIOSH）及び環境保護庁（EPA）研究所を訪問し施設の見学と安全性に関するシンポジウムを行った。これらの機関はNNIの開始とほぼ平行してCNTの安全性の評価を行っており、従前からアスベストの安全性に関する膨大なデータも蓄積しており、超極細繊維の安全性に関して多くのデータを有している。さらに2009年6月には東工大において国際ナノファイバーシンポジウム2009を開催した。ここではCNTの安全性に関するブレインストーミングを行った。CNTの安全性に関して専門家である、米・ロチェスター大 G.Oberdoerster 教授、米・国立労働安全衛生研究所部長 V.Castranova 博士、デンマーク・国立安全衛生研究所 N.R.Jacobsen 博士、ドイツ・デュッセルドルフ大 R.Schins 教授、信州大 遠藤守信教授のコメントのあと、聴衆である研究者、技術者、ジャーナリスト等を交え活発の議論を行った。このような形式は世界的にも初めてであり、海外において「東京シンポジウム」として高く評価されている。これらの調査やシンポジウムの結果「CNTは第二のアスベストでは無い」という結論が得られた。

次に、超極細繊維の安全性に関する試験を行った。ナノオーダーの粒子に対する危険性も指摘されているが、一般的に超極細繊維からなるフィルターはこれらの粒子を捕獲することが知られている。本事業では主として既存の高分子材料を使用しているが、材料の化学組成に基づく安全性の試験よりもむしろ、超極細繊維すなわちアスペクト比等「ナノオーダーの直径を有する繊維状物質」という繊維構造上における安全性の確認を行わなければならない。超極細繊維は経皮からよりも吸入により体内に浸入する可能性が高い。本事業で最も問題になるのは、電界紡糸中に飛散するナノオーダーの繊維塵である。装置的には閉鎖系で行われ、完全に回収されることから安全性は確保されていると考えられる。しかし装置の事故等で飛散する場合や製品中から剥離飛散する場合も考えられ、これらの状況を考慮すると超極細繊維の安全性確認は必要である。しかし、これらの物質の安全性試験を行う評価機関は限られている。本研究開発では、全ての超極細繊維について行うのではなく、実用化される物質について行った。

平成18年度は安全性評価機関の調査と安全性評価物質及び安全性試験内容を立案し、検討を行った上で安全性試験の試行を試験機関に依頼した。平成19年度は安全性評価機関による安全性試験を行った。平成20年度も引き続き安全試験内容を立案し安全評価機関による安全性試験を行った。平成21年度 22年度は大量に製造され、実用化される極細繊維に対して物質の安全性試験を含め安全評価機関による安全性試験を行った。これら安全性試験に関して5年間に行った実績を次表に示す。

	材料	項目	投与濃度量	方法	観察
2006年度	PVA	ナノファイバー試験 7日間	0.5 mg/mL 0.5 mg/mL/Kg	単回投与実験	肺
2007年度	PMMA	繊維長 (3,6 μm) の異なるNFの予備実験 7日間	0.5 mg/mL 0.5 mg/mL/Kg	単回投与実験	肺
2008年度	PMMA	繊維長 (3,6 μm) の異なるNFの本実験 日間	560.5 mg/mL 0.5 mg/mL/Kg	単回投与実験	肺
	PMMA	繊維長 (3,6 μm) の異なるNFの予備実験 高濃度 7日間	1.0 mg/mL 1.0 mg/Kg	単回投与実験	肺
2009年度	PAN	NF L/D>50 予備実験	0.5 mg/mL 0.5 mg/mL/Kg	単回投与実験	肺
	CNT	カーボンナノファイバーの肺への予備実験	0.5 mg/mL 0.5 mg/mL/Kg	単回投与実験	肺
2010年度	PAN	PANnanofiber 7日間連続投与実験		単回投与実験	肺
	CNT	カーボンナノファイバーの肺への本実験 90日間		単回投与実験	肺
					肺

表 3-1 安全性試験の実績

安全試験は各試料について（被験物質）をラットに単回経口投与し、毒性を検討した。観察・測定および検査に関しては次の項目に関して行った。

- i. 一般状態
- ii. 体重
- iii. 剖検時の肉眼的観察
- iv. 肺の気管支肺胞洗浄液（BALF）検査
- v. 細胞学的検査

投与後1日3日7日及び長期に関しては56日及び90日(長期)における白血球、好中球、好酸球、リンパ球および貪欲細胞の数の比較（対照群）

- vi. 生化学検査

BALF上清中のLDH及びTP濃度は投与7日後までLDH及びTP濃度について各投与群ともに対照群と比較

vii. 病理組織学的検査

投与後 検査により 1 日、3 日、7 日、28 日、56、90 日における肺胞壁の状態を写真により確認

viii. 統計学的処理

次に、各種高分子ナノファイバーにおける試験結果を報告する。

(1) ポリビニルアルコール (PVA) ナノファイバーを用いたラットの単回経口投与毒性試験
次図に PVA 安全性試験の方法及び結果を示す。

**Polyvinyl alcohol ナノファイバーのラットを用いた
単回経口投与毒性試験**

• **試験目的**

Polyvinyl alcohol ナノファイバーの安全性評価の一環として、被験物質をラットに単回経口投与し、急性毒性を検討した。

• **材料と方法**

Polyvinyl alcohol ナノファイバーを約200mg/mL 水溶液として調製

- **投与** (OECD Testing Guideline TG420(固定用量法)を基に設定)
予備試験として1匹に500mg/kgを投与し、24時間以上観察したが、明確な毒性がみられなかった。
予備試験の結果から、本試験として5匹に最高用量の2000mg/kgを投与

図 3-1 PVA ナノファイバーの安全性試験方法

以上の試験において、PVA ナノファイバー200 g/mL の水溶液を 0.01 mL/g 体重の投与液量で、ラットに単回 (2000 mg/kg) 経口投与したが、本試験条件下では急性毒性の症状は認められなかった。

この実験検証を基に以下の実験を行った

(2) 平均繊維長の異なる繊維のラット単回気管内投与試験 (予備試験 2007年度)

次図に平均繊維長の異なる繊維のラット単回気管内投与予備試験方法及び結果を示す。

**平均繊維長の異なる繊維のラット気管内投与試験
(予備試験 2007年度)**

- ・ **試験目的**
PMMAナノファイバー (ポリメチルメタクリレート) 3 μm (平均繊維径481nm) 及び6 μm (平均繊維径344nm) の安全性評価の一環として、ラットにおける単回気管内投与による肺の局所刺激性試験を実施
- ・ **材料と方法**
PMMAナノファイバーを約200mg/mL 水溶液として調製
- ・ **投与** (OECD Testing Guideline TG420(固定用量法)を基に設定)
予備試験として1匹に500mg/kgを投与し、24時間以上経過を観察
投与量: 0.5 mg/mL/Kg

図 3-2 平均繊維長の異なる繊維の安全性試験方法 (1)

これらの試験により次のことが明らかとなった。

- ①一般状態及び体重では、投与7日後までPMMA 3 mm 及び 6 mm の単回気管内投与に関連した変化は認められなかった。
- ②病理組織学的検査、BALF 中の細胞学的検査及び生化学的検査では単回気管内投与後、全例で、投与1日後をピークとして肺への局所炎症反応を引き起こすが、投与7日後までに回復することが明らかになった。

以上の結果より、本試験条件下では肺に対するPMMAの局所刺激性に繊維長は関係しないことが明らかになった。

(3) - 1 平均繊維長の異なる繊維のラット単回気管内投与試験 (本試験 56日間 2008年度)

次図に平均繊維長の異なる繊維のラット単回気管内投与本試験方法及び結果を示す。

**平均繊維長の異なる繊維のラット気管内投与試験
(本試験56日間 2008年度)**

- ・ **試験目的**
PMMAナノファイバー (ポリメチルメタクリレート) 3 μm (及び6 μm) の安全性評価の一環として、ラットにおける単回気管内投与による56日間における肺の局所刺激性試験を実施
- ・ **材料と方法**
PMMAナノファイバーを約200mg/mL 水溶液として調製
- ・ **投与** (OECD Testing Guideline TG420(固定用量法)を基に設定)
予備試験として1匹に500mg/kgを投与し、24時間以上経過を観察

図 3-3-1 平均繊維長の異なる繊維の安全性試験方法 (本試験)

これらの試験により次のことが明らかとなった。

- ①一般状態の観察，体重及び病理組織学的検査（脳，心臓，腎臓，肝臓，脾臓）では，PMMA の長さ 3 μm 及び 6 μm の単回気管内投与に関して変化は認められなかった。
- ②肺の病理組織学的検査，BALF 中の細胞学的検査及び生化学的検査では単回気管内投与後，全例で，肺への局所炎症反応が認められたが投与 7 日後までに回復し，以降投与 56 日後まで各投与群間で差は認められなかった。

以上より，本試験条件下において，PMMA は繊維長に関わらず肺への局所刺激性が低いと考えられる。

(3)－2 平均繊維長の異なる繊維のラット気管内投与試験（予備試験高濃度 2008 年度）

次図に平均繊維長の異なる繊維のラット単回気管内投与予備試験方法及び結果を示す。

平均繊維長の異なる繊維のラット気管内投与試験 （予備試験高濃度 2008 年度）

- ・ **試験目的**

PMMA ナノファイバー（ポリメチルメタクリレート）3 μm （及び 6 μm ）の安全性評価の一環として，ラットにおける単回気管内投与による 7 日間における肺の局所刺激性試験を実施

- ・ **材料と方法**

PMMA ナノファイバーを約 200mg/mL 水溶液として調製

- ・ **投与**（OECD Testing Guideline TG420（固定用量法）を基に設定）

予備試験として 1 匹に 1mg/kg を投与し，24 時間以上経過を観察

図 3-3-2 平均繊維長の異なる繊維の安全性試験結果（試験方法）

これらの試験により次のことが明らかになった。

- ① 一般状態及び体重及びでは，高濃度 PMMA 3 mm 及び 6 mm の気管内投与に関連した変化は認められなかった。
- ② 病理組織学的検査，BALF 中の細胞学的検査及び生化学的検査では気管内投与後，全例で，投与 1 日後をピークとする肺への局所炎症反応が認められた。この反応は全ての群で投与 7 日後までに回復した。
- ③ 高濃度（1 mg/mL/kg）で投与を行った本試験条件下において，繊維長に関わらず PMMA による肺への局所刺激性は低いと考えられる

(4) アスペクト比（繊維長／繊維径）が 50 以上のポリアクリロニトリル極細繊維のラット単回気管内投与試験（予備試験 2009 年度）

次図にアスペクト比が 50 以上のポリアクリロニトリル極細繊維のラット単回気管内投与予備試験方法及び結果を示す。

繊維長／繊維径 > 50 の極細繊維のラット気管内投与試験 (予備試験 2009年度)

- **試験目的**
- **ナノファイバーのアスペクト比(繊維長さ／繊維径)が100以上である定義されている。**
- 今回このようなアスペクト比を持つナノファイバー製造ができず以下の試料で予備実験を行った
PANナノファイバー (ポリアクリロニトリル) の繊維長(L)／繊維径(D) > 50
なおファイバー安全性 評価の一環 として、ラットにおける単回気管投与による7日間における肺の局所刺激性試験を実施
- **材料と方法**
PANナノファイバーを約200mg/mL 水溶液として調製
- **投与**(OECD Testing Guideline TG420(固定用量法)を基に設定)
予備試験として1匹に0.5mg/kgを投与し、24時間以上経過を観察

図 3-4 アスペクト比 > 50 の極細繊維のラット単回気管内投与試験

これらの試験により次のことが明らかとなった。

- ① 一般状態及び体重では、いずれの群も単回気管内投与に関連した変化は認められなかった。
- ② BALF 中の細胞学的検査及び生化学的検査では単回気管内投与後、全例で、投与後肺への局所炎症反応が認められたが、全ての群で投与 3 日後までに回復した。
- ③ この反応は PAN 群で対照群と比較して、より強く認められたが、投与 3 日後の剖検では、対照群と同等なレベルまで低下していた。

以上より、本試験条件下で PAN は単回気管内投与によって投与 1 日後をピークとする肺への局所炎症反応を示すが、投与 3 日後までには回復することが明らかになった。

(5) アスペクト比（繊維長／繊維径）が 50 以上のポリアクリロニトリル超極細繊維のラット 7 日間反復気管内投与試験（2010 年度）

次図にアスペクト比が 50 以上のポリアクリロニトリル極細繊維のラット 7 日間反復気管内投与本試験方法及び結果を示す。

**ポリアクリロニトリル超極細繊維のラット7日間反復気管内投与試験
繊維長／繊維径>50の極細繊維のラット気管内投与試験
(2010年度)**

投与回数 : 予備検討¹⁾の結果, PANの単回投与によって投与1日後をピークとする肺への局所炎症反応を示すが, 投与3日後までには回復することが明らかになった。そこで, 生産現場でヒトが暴露される可能性を考慮して7回(7日間)投与とする。

図 3-5 アスペクト比>50 の極細繊維のラット 7 日間反復気管内投与試験

これらの試験により次のことが明らかとなった。

- ① 体重に影響はなかった。
- ② 投与終了後第 1 及び 7 日においては白血球数、好中球及びリンパ球の増加、LDH 及び TP の増加が見られた。これらは投与終了後第 56 日においても継続して増加した。
- ③ 肺の病理組織学的検査では投与終了後第 1 日においては軽度の肺胞マクロファージの集簇、炎症性変化として限局性肺胞壁肥厚及び肺胞内好中球浸潤、軽度～中等度の血管周囲への単核細胞浸潤、軽度の血管周囲への好酸球浸潤及び気管周囲への単核細胞浸潤が認められた。軽度の肺胞マクロファージの集簇及び限局性肺胞壁肥厚は投与終了 56 日後においても認められた。

本試験条件下で PAN は 7 日間反復気管内投与によって少なくとも、投与終了後 56 日まで肺葉に滞留していることが明らかになった。

(6) ある繊維系分布をもつカーボンナノファイバー (CNF) のラット単回気管内投与試験 (予備試験 2009年度)

次図にある繊維系分布 (平均繊維径 116 μm 、平均繊維長 3.1 μm) をもつ CNF のラット単回気管内投与予備試験方法及び結果を示す。

**ある繊維系分布をもつCNFのラット気管内投与試験
(予備試験 2009年度)**

CNFについての安全評価の知見・データがないため、炭素超極細繊維の応用展開を図るためには、製造中の飛散及び製品中から剥離飛散する超極細炭素繊維塵が吸気等により生物内に取り入れられた場合の安全性評価は必須である。

予備試験としてカーボンナノファイバー (CNF) のサンプル (1種類) で短期間投与試験を行い

材料と方法

平均繊維径: 116 nm (標準偏差 68 nm)

平均繊維長: 3.1 μm (標準偏差 2.1 μm)

必要量の被験物質を電子天秤にて量り取り、0.12wt%牛血清アルブミンを加えた生理食塩水を投与する

投与濃度および量

濃度 0.5 mg/mL 投与量 1mgCNF/ mL/kgラット

期間

1日、3日、7日

図 3-6 ある繊維系分布をもつ CNF のラット単回気管内投与予備試験

これらの試験により次のことが明らかとなった。

- ① CNF のラットにおける単回気管内投与による肺の局所刺激試験を実施した。投与検体は濃度を 0.5 mg/ml 吸入量を 1 ml/kg とし対照群には生理食塩水 (SAL)、溶媒対照群には牛血清アルブミン含有生理食塩水 (SAL-BSA) を投与した。
- ② 投与 1, 3 及び 7 日後に麻酔下で放血し右肺より気管支肺胞洗浄液を採取し、BALF の細胞学的検査及び生化学検査を行った。剖検までは一般状態の観察をおこなった。体重変化はなく肺への局所炎症は認められたが 7 日後までには回復した。
- ③ 病理組織学検査では肺泡マクロファージ内に黒色針状物の沈着が観察されたが増加はなかった。

(7) ある繊維系分布をもつカーボンナノファイバー (CNF) のラット単回気管内投与試験 (本試験 2010年度)

カーボンナノファイバー (CNF) のラットにおける単回気管内投与による肺の局所刺激性試験を実施し、投与後第 1, 7, 28 及び 90 日の経過を観察した。次図にある繊維系分布 (平均繊維径 116 μm 、平均繊維長 3.1 μm) をもつ CNF のラット単回気管内投与本試験方法及び結果を示す。

**ある繊維系分布をもつCNFのラット気管内投与試験
(本試験 2010年度)**

平成21年度は、予備試験としてカーボンナノファイバー(CNF)のサンプル(1種類)で短期間投与試験を行い、評価データを得た。本年度は、更に長期に亘る投与試験を行い、評価・検証していくこととする。

図 3-7 カーボンナノファイバーの肺への本実験

これらの試験により次のことが明らかとなった。

- ① CNF の気管内投与による一般状態及び体重増加に影響はみられなかった。
- ② BALF 中細胞学検査では CNF 群では投与後 1 日では白血球、好酸球数、好中球数又はリンパ球数の増加又は増加傾向及び単核球/マクロファージ比の低下、乳酸脱水素酵素 (LDH) 及び総蛋白 (TP) の増加、MCP-1 の増加及び TNF- α の低下がみられた。これらの変化は、投与後第 90 日では消失していた。
- ③ 病理組織学的検査では肺で血管周囲への単核細胞及び好酸球浸潤、リンパ組織内胚中心形成などの変化がみられた。これらの BALF 中細胞学検査や病理組織学的検査でみられた炎症性反応ないし炎症性反応に伴う変化は投与後 7 日以降に減弱し、投与後第 90 日では消失していた。
- ④ 剖検所見では投与後 1 日から 28 日まで肺葉の淡黒色化がみられ、病理組織学的検査では、肺葉に肺泡マクロファージ及び黒色針状物質沈着が認められた。以上より、本試験条件下で CNF は単回気管内投与によって投与後第 28 日以降、炎症反応は消失していくことが明らかになった。

IV. 実用化・事業化の見通しについて

1. 共通基盤技術における実用化・事業化の見通し

1. 1 電界紡糸法

電界紡糸では大型装置に対応した高性能ノズルの開発及び大型装置における電場、溶液、温度、湿度等の制御により、最終目標とした直径 50 nm、ばらつき 20 %以下の均質な超極細繊維の製造技術を開発することができた。さらに高性能ノズルに対応した装置設計、メインフレーム、電源及び電界・流体制御技術の確立により製造速度に関して最終目標である不織布状材料において 60 m/分、コーティングにおいて 300 m/分、フィラメントにおいて 60 m/分を達成した。さらに高性能ノズルに対応したメインフレームおよび超極細繊維コレクターの開発により溶媒回収・再利用、繊維塵回収が極めて容易になった。各国で問題視されている防爆問題が解決した。これらのことにより実用化が可能となり、事業化の見通しがたった。

1. 2 ナノ溶融分散紡糸法

大型装置による超微細混練・紡糸技術、炭素不融化・焼成技術等の開発により、最終目標である直径 100 nm、比表面積 1500 m²/g の炭素超極細繊維に対し、不融化時間を現状の 1/10 を達成することができた。また小型蓄電池や薄型電池の開発との進捗にもあわせることが可能となり実用化・事業化の見通しがたった。

2. 実用化技術における実用化・事業化の見通し

2. 1 パッシブ型燃料電池

最終目標である出力 100 mW/cm²、層厚 100 μm に対してほぼ達成見込みが立った。本燃料電池は単位面積当たりの出力が高い。この成果を用いることにより、燃料電池の小型化が可能となり、持ち運びが可能なモバイル燃料電池が実現できる。現在モバイル型燃料電池の市場を開拓中である。

2. 2 小型蓄電池

電極材料としての特性を評価しながら、優れた性能を有する電極材料用炭素超極細繊維を開発した上で、当該炭素超極細繊維を用いた負極材として Li イオンをグラファイト層間に挿入したハイブリッド型のキャパシタ及びその製造プロセスを開発し、最終目標である出力密度 10 kW/L を達成した。エネルギー密度は最終目標には未達であったが、実用化可能なレベルは達成した。最終的に主要用途と考えている自動車用途への採用のためには、信頼性の確保が極めて重要である。そこで、第 1 ステージとして各種携帯機器向け小容量キャパシタで参入し、ついで各種バックアップ電源や移動機器用電源など中容量キャパシタへと拡大し、最終的に自動車用途に展開する。

2. 3 薄型電池

炭素超極細繊維/ラジカル材料複合電極を開発することにより本研究の最終目標であるパワー密度 10 kW/L、エネルギー密度 100 Wh/L、厚さ 0.2 mm を達成することができた。さらに材料面ではラジカル材料の合成時の失活抑制などの基本的な課題の解決およびスケールアップ合成技術の確立、電池作製プロセスの面では量産用インキおよび印刷プロセスの確立、電池特性の面ではアプリケーションから要求される信頼性（サイクル特性、低自己放電性、使用温度に対する耐性）を満足させることにより、市場価値の高い薄型電池が

創出される。この薄型電池は、ICカードなど小型のユビキタスデバイスに搭載でき、市場が要望する、センサー機能、信号発信機能、表示機能などを付与したデバイスの構築を実現化できる。薄型電池搭載のユビキタスデバイスは、すべての人が至る所で、何ら制約を受けず、自由に安心して情報通信サービスを利用できるユビキタスネットワーク社会を実現するためのキーデバイスとなりえる。

2. 4 超超純水プロセスフィルター

高い除去対象物質を立体認識する物質を合成すると同時に、粒子状で金属類除去用フィルターとの併用などで、超超純水製造用有機物除去用フィルターとして最終目標である TOC（全有機炭素）濃度 0.1 ppb 以下を達成できる見通しを得た。また従来は難しいとされていた荷電をもつ物質を用いたイオン交換性物質（イオン交換基としてスルホン酸基）の電界紡糸によるフィルター合成を行い金属類除去用フィルターとして最終目標である 0.01 ppt 以下を達成した。さらに有機物吸着除去と分解機能を有するハイブリッドフィルター合成した。これらのことにより、不純物の徹底的な除去が必要とされる超超純水市場への投入が可能となった。その結果、超超純水装置プロセス用不純物除去フィルター、既設超純水製造装置のアップグレード用不純物除去フィルター、シャットダウンメンテナンス後の垂直立ち上げ用メンテナンスフィルターとしての用途が広がった。

2. 5 超耐熱性無機フィルター

無機材料の適切な選択、電界紡糸による無機超極細繊維と無機繊維を混合してシート化することにより、最終目標である 0.1 μm の直径を有する粒子に対して捕集効率 90 %、初期圧力損失 120 Pa、耐熱性 1000 $^{\circ}\text{C}$ 、超極細繊維繊維径 500 nm 以下を達成することができた。本無機フィルターは加工のために曲げても折れない柔軟性を有している。本フィルターは焼却炉排気ガスの冷却工程が必要なく、有害物質の分解除去も可能となる。その結果、焼却炉排気ガス処理フィルターや高炉排気ガスフィルターといった高温ガス排気処理用としての実用化が可能となった。

2. 6 耐熱性有機フィルターの開発

紡糸用高分子溶液の調整、電界紡糸による有機超極細繊維層に耐熱繊維によるカバー材をかぶせて保護する方法、高温対応バインダ等を用いて有機超極細繊維層と基材との接着を強固にする方法、及びろ材と接触しないようにしてプリーツ加工する方法等を用いることにより、フィルターとしての最終目標である直径 0.1 μm 粒子の捕集効率 99 %以上、初期圧力損失 120 Pa、耐熱性 400 $^{\circ}\text{C}$ を達成した。本耐熱性有機フィルターの開発によって、必要な耐熱性を維持しつつ、現状のガラス繊維では困難であった焼却廃棄が可能となり、かつ低圧力損失で省エネルギーを追求した、高性能の焼却炉用排気ガスフィルター、原子炉塵埃用高性能フィルター、半導体生産工場乾燥炉用フィルター、半導体生産工場用ボロンフリーフィルターとして市場への投入が可能となった。

2. 7 スーパークリーンルーム用部材

高性能ポリマーの溶液の組成の最適化などの超極細繊維化に関する技術確立、活性炭素化超極細繊維に適したポリマーおよび溶液の組成の最適化、超極細繊維を用いた高性能エアフィルターの構造の最適化、評価技術の構築、超極細繊維を用いたエレクトレット化技術の構築、一体成型型の超極細繊維の作製等により、スーパークリーンルーム用部材として初期圧力損失が約 130 Pa で、0.3 μm 粒子の捕集効率が 99.97 %以上とした最終目標を達

成することができた。従来品に比較して半分の圧力損失の達成は、クリーンルーム送風動力運転費のコストダウンに直接つながるため顧客メリットは大きく、高性能かつ低価格のクリーンルーム用部材として大きく市場が広がった。

2. 8 ヒューマンインターフェース医療衛生・産業用部材

電界紡糸大型装置の開発に併せてそれぞれの項目に関して次のように最終目標を達成した。

① ウイルス完全除去部材の開発

超極細繊維及びその不織布の物理的（繊維径、目付など）と化学的（樹脂種、溶媒、分子量など）要素が、微粒子の捕集性能に及ぼす影響を明らかにしながら、微粒子径 10 nm をほぼ完全に捕集できる部材を開発した。

② 血液侵入防止部材の開発

超極細繊維不織布の特徴である高密度繊維表面を利用して、撥水性を高め、表面水滴接触角 150°を実現し、血液汚染等からの防護部材を開発した。

③ 着用快適性部材の開発

超極細繊維不織布の繊維間多孔を利用すると共に、吸水あるいは撥水性のある樹脂を超極細繊維化して化学的にも透湿性や人体適合性を付与し、快適な着用感の部材を開発した。その結果、透湿性綿繊維製品を超える 20,000 ml/m²/24h を達成することができた。

④ 針の刺さらない部材の開発

医療現場では使用済みの注射針を二次的事故が起こらないよう医療従事者が針キャップを使用直後に戻す作業が行なわれ、この際の事故が非常に多いことが報告されている。これに対応するために、針先よりはるかに細い超極細繊維をネットワーク化し、応力を分散することで針刺し事故の軽減を目標に検討した。その結果 0.5 mmΦ の注射針（一般医療用）が刺さらない部材を開発することができた。最終目標とした 0.08 mmΦ（インスリン用）の針が刺さらない部材に関しては、この径を有する針が開発されておらず確認は出来なかった。

⑤ 抗菌消臭部材の開発

医療、災害現場での抗菌対策は言うまでも無く必要であり、既存の製品にも抗菌対策を施されたものは極一般的に出回っている。しかしながら、その多くは抗菌性物質を表面にコートしたり、練りこんだりしているため、多量の抗菌剤を使用したり、長時間の使用に耐えなかつたりする。超極細繊維は、その細さゆえに非常に大きな表面積を有していることから、抗菌性物質を含有させた場合、繊維表面と菌の接触確立が上がり、微量でも大きな効果が期待できる。市販材料からなる繊維をナノファイバー化すると抗菌性が出現するなど新たな発見があり大きな成果が得られた。

⑥ 複合機能部材の開発

超極細繊維の問題点の一つには、細いがために絶対的強度に乏しいことがある。一般的には、既存の強度部材に積層接着することで補強できるが、超極細繊維不織布の特徴である目付、細孔径や比表面積の大きさを維持したまま接着する技術はまだ確立されていない。また、上記のように開発する機能は、例えば、撥水性と透湿性は同じ部材や製品上で同時に機能しなければ快適性は損なわれるので、超極細繊維同士の積層による複合化は裂けて通れない。接着方法の検討が進み複合機能部材としての開発が大きく進捗した。

⑦ 一体成型技術の確立

上記で開発する機能性部材は、殆どが平面部材である。人体に適合させるには3次元の立体的成型体である必要があり、一般的には繊維製品は縫製することで達せられている。しかしながら、超極細繊維部材は、繊維が極細であることが特徴であり、それを既存の太い繊維で縫い合わせることはナンセンスであると同時に、縫製部分の欠陥からウイルスなどの侵入を引き起こす危険性がある。また、製造コストの観点からも、電界紡糸法で紡糸すると同時に成型することは有利である。電界紡糸法による3次元コーティング技術が開発され一体成型技術が確立された。

⑧ 複合一体型高機能部材の開発

本開発は、上記で開発する機能や成型技術の集大成である。しかしながら、人体適合性（人間工学的設計など）等に関して初年度より随時研究開発を進め、立体成型用電界紡糸装置の開発につながった。

以上の結果、超極細繊維、超極細繊維構造体からなる衣料用部材、一般産業用部材が開発され、従来の繊維および繊維構造体では成しえなかった機能性を大きく向上させ、超快適性の付与または付加価値、または環境に配慮した素材を提供ことが可能となった。その結果医療・衛生部材のみならず様々な分野に用途が広がった。本研究開発から生まれた各種用途の例を次に示す。

1. 衣料用途

- ・快適衣料肌着、パンスト、靴下等)、スポーツ用衣料、スマート衣類
- ・猛暑環境下、悪環境下での身体防御部材
- ・次世代身体強化部材

2. 一般産業用途

- ・高強度、高耐熱のナノファイバー、アスベスト代替え
- ・防護服、防災製品
- ・耐熱性のミシン糸
- ・クリーンルーム用部材、衣服、靴、手袋など
- ・微細繊維フィルター、半導体のプロセス用、
- ・機能性メンブレンの補強材用途

3. 医療用途

- ・医療用衛生部材（マスク、ガーゼ、手袋など）
- ・吸収性医療材料、細胞培養用足場。

4. ナノ製造加工技術

上記製品化に伴い、ナノ繊維とその繊維構造物の生産装置開発販売。その加工装置の開発販売や特許などの知的財産権、ノウハウのライセンスビジネス

V. 成果資料

1. 各種展示会での成果の発表

大学・法人・企業名	展示内容
日清紡 (2007/10/17～19)	危機管理産業展（東京ビッグサイト） ・ ナノファイバー不織布を日清紡「ガイアコット」へ積層した複合化部材の試作品展示 ・ ウレタンナノファイバー不織布の試作品展示
NEDO・東京工業大学 他 (2008/2/13～15)	ナノテク2008(東京ビッグサイト) ・ 集中研：各種ナノファイバーシート ・ NEC：薄型電池 ・ 日清紡：ナノファイバーを使用した手袋 ・ グンゼ：ナノファイバー下着
グンゼ (2008/2/27～29)	第4回国際水素・燃料電池展（FC EXPO2008） ・ ナノファイバー不織布とポリエステルメッシュ生地を積層した複合部材の試作品展示 ・ ナノファイバー不織布(ウレタン、ナイロン)の試作品展示
グンゼ (2008/7/23～25)	AT International（幕張メッセ） ・ ナノファイバー不織布とポリエステルメッシュ生地を積層した複合部材の試作品展示(約15cm角) ・ ナノファイバー不織布（ウレタン、ナイロン）の試作品展示(約15cm角) ・ ナノファイバー不織布(ナイロン)の試作品展示(約50cmX約100cm角)
NEDO・東京工業大学 他 (2009/2/18～20)	ナノテク2009（東京ビッグサイト） ・ 集中研：電界紡糸法によるナノファイバー、ナノ熔融紡糸法によるCNT、フィルターへの応用 ・ NEC：薄型電池への応用 ・ 日清紡：抗菌剤 ・ グンゼ：ナノファイバー下着
グンゼ(単独) (2009/2/18～20)	ナノテク2009（東京ビッグサイト） ・ ナノファイバー反物

<p>N E D O・東京工業大学 他 (2010/2/17～19)</p>	<p>ナノテク 2 0 1 0 (東京ビッグサイト)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・集中研：ナノファイバーロール物、ナノファイバー各種シート、静電溶融電界紡糸法によるサンプル、CNT サンプル、キャパシタ他応用製品 ・NEC：薄型電池他 ・日清紡：消臭ナノファイバー ・グンゼ：ナノファイバー下着 ・東洋紡：クリーンルーム用フィルター ・日本エアフィルター・帝人・帝人テクノプロダクツ：有機ナノファイバーフィルタ、無機ナノファイバーフィルタ
<p>グンゼ(単独) (2010/2/17～19)</p>	<p>ナノテク 2 0 1 0 (東京ビッグサイト)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ナノファイバー不織布と合繊生地を積層したインナー試作品を展示
<p>N E D O・東京工業大学 他 (2011/2/16～18)</p>	<p>ナノテク 2 0 1 1 (東京ビッグサイト)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・集中研：ナノファイバー長尺ロール物、CNT サンプル ・帝人：キャパシタ他応用商品 ・NEC：薄型電池他 ・日清紡：抗菌性ナノファイバー、マスク、消臭ナノファイバー ・グンゼ：快適インナー ・東洋紡：ナノファイバーエアフィルター ・日本エアフィルター・帝人・帝人テクノプロダクツ：有機ナノファイバーフィルター、無機ナノファイバーフィルター

2. 新聞、雑誌記事

No	掲載紙	年月日	内容
1	応セラ研ニュースレター	2007/3/16	ナノ溶融分散紡糸法による炭素ナノファイバーの創製
2	化学工業日報	2007/4/20	ナノファイバー国際シンポジウムの紹介記事
3	日本繊維新聞	2007/4/19	同上
4	日本繊維新聞	2007/4/20	同上
5	繊維研究新聞	2007/4/20	同上
6	日本繊維新聞	2007/5/22	私論試論「ナノファイバー研究」
7	日経産業新聞	2007/6/8	国際ナノファイバーシンポジウム紹介
8	日刊工業新聞	2007/6/8	国際ナノファイバーシンポジウム紹介
9	日経産業新聞	2007/9/13	イノベーションの潮流「ナノ繊維で産学官連携
10	石油化学新聞	2007/9/17	より豊かで持続可能な発展へ～新たな世界を創る”夢・科学”特集でナノファイバーを紹介
11	科学新聞	2008/2/8	シリーズ NEDO 戦略 7 = NEDO 講座：ナノファイバーイノベーション創出＝開講式紹介 新産業を拓く”ナノファイバー”東工大拠点に人材育成など展開へ
12	日経 B P techno.Nikkeibp NEWS	2008/2/15	【nano tech】「素材の産業革命が起きる」－NEDO がナノファイバーの大型量産装置の開発に成功
13	日経サイエンス	2008/3	5 年先の基盤技術と期待、ナノファイバーテクノロジー
14	日刊工業新聞	2008/7/4	「CNT 広がる不安」の記事において谷岡教授の意見を紹介。リスク管理さえ徹底すれば危険は防げる。製造現場で CNT を外に出さないこと。
15	日本繊維新聞	2008/7/8	ナノファイバー相次ぎ事業化(帝人・東レが量産技術)
16	日刊工業新聞	2008/7/16	「レーザー」カーボンナチューブの安全性について
17	日刊工業新聞	2008/7/31	炭素繊維不織布に柔軟性、電極への応用も。フェノール樹脂を材料に電界紡糸法を利用して作成。
18	日刊工業新聞	2008/11/1	電界紡糸法により作製した高蛍光性ポリイミドナノファイバー積層フィルムでは、スピンコート法により作製したフィルムと比較して蛍光強度の著しい増加が確認された。
19	日刊工業新聞	2008/11/13	CNT 消えない不安、中皮種・がんの可能性 中立的な試験機関が必要、「ナノ材料の安全性評価及び管理に関する現状と展望」

20	大学情報 FAX スタンダード	2008/12/2	ナノファイバー学会設立記事、学会事務所など紹介
21	石油化学新聞 日刊通信	2008/12/2	ナノファイバー学会設立記事、安全性調査や応用プロジェクトなどを実行
22	化学工業日報	2008/12/2	ナノファイバー学会設立記事 10日発足、無機、有機、金属3学際を網羅
23	ビジネス アイ	2008/12/2	ナノファイバー学会設立記事、産学連携で量産体制構築
24	日経産業新聞	2009/1/14/	太陽電池で新技術 色素増感型の発電効率向上技術を開発 0.1~1 μ mの炭素繊維の表面に針状の酸化亜鉛の繊維が並んだ構造。電極の表面が針状になって電子がながれやすくなった。
25	日刊工業新聞	2009/1/26	”レーザー”谷岡教授「付き合い方が大事」→CNTの安全性について「まったく安全な物質などない。納得のいく安全管理体制の構築と言った『付き合い方』が大事」
26	日経産業新聞	2009/1/29	先端技術・先端人 谷岡明彦氏紹介 ナノファイバー世界へ ITや医療革命の種に
27	日経産業新聞	2009/2/5	新人脈、地脈「ナノファイバー学会」異分野融合研究領域広く
28	日刊工業新聞	2009/2/18	ナノテク 2009 東工大開発紹介 ナノテク下着公開
29	日経産業新聞	2009/2/24	2030年への挑戦一次世代産業技術ー先端技術・医療 ナノファイバー上 ナノファイバーの応用：色素増感型太陽電池、燃料電池および京大平尾教授のガラス内ナノファイバーの紹介
30	日経産業新聞	2009/2/25	2030年への挑戦一次世代産業技術ー先端技術 ナノファイバー下 東北大中山准教授の金属ナノファイバーを紹介。有機・無機・金属の総合力が米国を抜く。
31	化学工業日報	2009/3/27	国際ナノファイバーシンポジウムの紹介
32	日刊工業新聞	2009/5/28	～加速する次世代材料研究 未来へ伸ばせ ナノファイバー① エレ・医療・衣料などに普及へ 高い機能で用途拡大 市場規模 6.5兆円
33	日刊工業新聞	2009/6/2	～加速する次世代材料研究 未来へ伸ばせ ナノファイバー② ナノ材料の安全性 評価の基準づくり必要

34	日刊工業新聞	2009/6/4	～加速する次世代材料研究 未来へ伸ばせ ナノファイバー③ 三つの製造方法 「戦える」水準へ技術に磨き
35	織研新聞	2009/6/4	談話室 谷岡教授談話 ナノファイバーは十数年後には世界で約 6 兆円の市場規模まで成長すると注目されている。 高速大量生産技術は世界一、新型エアフィルターが実用化の代表格
36	日本繊維新聞	2009/6/8	ナノファイバー ”産官学一体”進む研究開発 市場は 10 年後 6.5 兆円 超高性能を生み出すナノファイバー 世界は日本を注視
37	日刊工業新聞	2009/6/9	～加速する次世代材料研究 未来へ伸ばせ ナノファイバー④ ES 法内外で新技術 低コスト・高速装置で普及へ
38	日刊工業新聞	2009/6/11	～加速する次世代材料研究 未来へ伸ばせ ナノファイバー⑤ 用途広い複合紡糸法 商品化で日本勢優位
39	日刊工業新聞	2009/6/16	～加速する次世代材料研究 未来へ伸ばせ ナノファイバー⑥ 障壁は用途開発 “メーカー”物語作り”に苦心
40	日本繊維新聞	2009/6/17	東工大「国際ナノファイバーシンポジウム 2009」最先端情報を一堂に 7カ国 30人超の研究者が講演
41	日刊工業新聞	2009/6/18	～加速する次世代材料研究 未来へ伸ばせ ナノファイバー⑦ ユニークな特性 中長期的な姿勢で用途開発
42	日刊工業新聞	2009/6/23	～加速する次世代材料研究 未来へ伸ばせ ナノファイバー⑧ セルロースナノファイバー 天然由来で環境負荷低減
43	化学工業日報	2009/6/23	国際ナノファイバーシンポで議論 CNTは第2のアスベストにはならない リスク踏まえ適切対応を ガイドライン整備など提言
44	日刊工業新聞	2009/6/25	～加速する次世代材料研究 未来へ伸ばせ ナノファイバー⑨ 安全性の確保 各国協調で管理指針作成へ
45	日刊工業新聞	2009/6/30	～加速する次世代材料研究 未来へ伸ばせ ナノファイバー⑩ 米国の最新動向（上） 応用研究で欧日引き離す

46	日刊工業新聞	2009/7/2	～加速する次世代材料研究 未来へ伸ばせ ナノファイバー⑪ 米国の最新動向（下） 軍関連の研究 積極化
47	日刊工業新聞	2009/7/7	～加速する次世代材料研究 未来へ伸ばせ ナノファイバー⑫ チョウの羽を再現 光の干渉で色生み出す
48	日刊工業新聞	2009/7/9	～加速する次世代材料研究 未来へ伸ばせ ナノファイバー⑬ 東レの技術ブランド ナノ加工でコア技術開発
49	日刊工業新聞	2009/7/14	～加速する次世代材料研究 未来へ伸ばせ ナノファイバー⑭ バイオ関連の展開 再生医療へ貢献を模索
50	日刊工業新聞	2009/7/16	～加速する次世代材料研究 未来へ伸ばせ ナノファイバー⑮ 真のナノテク領域 CNTがブーム牽引
51	日刊工業新聞	2009/7/23	～加速する次世代材料研究 未来へ伸ばせ ナノファイバー⑯ 単層 CNT 量産 低コスト化へ開発競う
52	日刊工業新聞	2009/7/28	～加速する次世代材料研究 未来へ伸ばせ ナノファイバー⑰ 進む CNT 研究 新たな特性を生み出す
53	日刊工業新聞	2009/7/30	～加速する次世代材料研究 未来へ伸ばせ ナノファイバー⑱ 期待される”この先” 国際競争力維持へ産学官協力（最終版）
54	日刊工業新聞	2009/8/14	ナノファイバー学会法人化記念で講演会 来月18日 NPO 法人化したことを記念した特別講演会「身近にあるマイクロエネルギーとナノファイバーの関係」がメインテーマ
55	日経産業新聞	2009/11/13	炭素ナノファイバーを帝人・東工大、量産技術を開発。電気3割通しやすくEV電池出力アップ 高分子学会第18回ポリマー材料フォーラムで発表内容
56	日経産業新聞	2010/1/1	次の10年へ 未来を読む 生活を変える技術 キーワード3「サービスロボット、エコカー、新素材」
57	日刊工業新聞	2010/2/4	グラフェンナノリボン量産化、米ライス大が生成法開発、トランジスタなどに応用、オープンソース方式で課題解決へ

58	日刊工業新聞	2010/2/12	「ナノテク成果開花」 テーマはグリーン、NEDO 展示会に出展 JAF とグンゼはナノファイバーを使った高機能製品を展示する。JAF は圧力損失の低いフィルターを、グンゼは群れず薄く軽く暖かい下着「ナノフォーム」を提案。
59	日経産業新聞	2010/2/12	肌着にナノサイズ繊維 グンゼが開発 暖かく蒸れにくい 開発品は「ナノウォーム」エラストマー系の高分子からナノファイバーを作成。
60	日刊工業新聞	2010/2/19	「ナノテク大賞にグンゼ」ナノテク実行委ーナノファイバーを用いた高機能性肌着などナノテクの"出口"をアピールした点が評価されたー
61	日経産業新聞	2010/2/25	日本エアー・フィルター ナノ繊維で空調省エネ 電力 4 割減 空気抵抗少なく
62	日刊工業新聞	2010/10/18	大学の研究室から 浸透圧を利用して発電 環境技術の実現を後押し
63	朝日新聞（関東版、関西版）	2010/11/5	薄く曲がる電池、13 年実用化 NEC 携帯電話搭載目指す
64	Polyfile	2010/11 月号	メソフェーズピッチを用い、ナノ溶融分散紡糸法で得られた CNF の粉体体積抵抗率など本材料の基本物性及び形態を紹介

3. 論文リスト

No	発表日	著者	所属	題名	雑誌等の名称	巻・号・ページ	査読
1	2009/4/20	大串由紀子 他	日清紡、東京工業大学	電界紡糸法により作成した超極細繊維不織布の抗菌活性	成形加工	第 21 巻・第 5 号 2009 年 P 287-290	有り
2	2009	皆川美江他	東京工業大学	Simulation study on the influence of electric field on water evaporation	学術雑誌 Journal of Molecular Structure: Theochem	Vol. 904, No.1-3, pp. 83-90 2009.	有り

N E D O 講座

No	発表日	著者	所属	題名	雑誌等の名称	巻・号・ページ	査読
1	2008	松本英俊他	東京工業大学	Carbon nanotubes on carbon fabrics for flexible field emitter arrays	学術雑誌 Applied Physics Letters	Vol. 93, No. 5, pp. 053107/1-05 3107/3, 2008.	有り
2	2008	松本英俊他	東京工業大学	Photoelectrochemical cell using dye sensitized zinc oxide nanowires grown on carbon fibers	学術雑誌 Applied Physics Letters	Vol. 93, No.13, PP. 133116/1-13 3116/3, 2008.	有り
3	2008	松本英俊他	東京工業大学	ZnO nanowire and WS2 nanotube electronics	学術雑誌 IEEE Transactions on Electronic Devices	Vol. 55, No. 11, pp. 2988-3000, 2008.	有り
4	2009	松本英俊他	東京工業大学	PVDF/PMMA composite nanofiber fabricated by electrospray deposition: Crystallization of PVDF Induced by solvent extraction of PMMA component	学術雑誌 Journal of Applied Polymer Science	Vol.112, No.4, pp. 1868-1872, 2009.	有り

5	2009/5/15	松本英俊他	東京工業大学	Preparation of PVDF/PMMA nanofibers by electrospray deposition: effects of blending ratio and humidity	学術雑誌 Polymer Journal	Vol.4, No. 5, pp. 402-406, 2009.	有り
6	2009	松本英俊他	東京工業大学	Synthesis and characterization of carbon nanotube grown on flexible and conducting carbon fiber sheet for field emitter	学術雑誌 Diamond and Related Materials	Vol. 18, No. 2-3, pp. 341-344, 2009.	有り
7	2009/12/15	松本英俊他	東京工業大学	Phenolic resin-based carbon nanofibers prepared by electrospinning: additive effects of poly(vinyl butyral) and electrolytes	学術雑誌 Polymer Journal	Vol. 4, No. 12, pp. 1124-1128, 2009.	有り
8	2010.4.23 (インターネット公開)	松本英俊他	東京工業大学	Nanomaterial-enhanced all-solid flexible zinc-carbon batteries	学術雑誌 ACS Nano	Vol. 4, No.5, pp. 2730-2734, 2010	有り
9	2010/9/15	松本英俊他	東京工業大学	Control over internal structure of liquid crystal polymer nanofibers by electros	学術雑誌 Macromolecular Rapid Communications	Vol. 3, No. 18, pp. 1641-1645 2010.	有り
10	2011.1.26(インターネット公開)	松本英俊他	東京工業大学	Top-down process based on electrospinning, twisting, and heating for producing one-dimensional carbon nanotube assembly	学術雑誌 ACS Applied Materials & Interfaces	Vol.3, No.2, pp.469-475, 2011	有り
11	2009/10/10	松本英俊他	東京工業大学	東工大 NEDO 特別講座のアクティビティ～ナノファイバーイノベーションの実現を目指して	学術雑誌 繊維学会誌	Vol. 65, No. 10, pp. 369-372, 2009	なし

12	2010/6/1	松本英俊	東京工業大学	欧米におけるナノファイバー研究の最新動向	工業材料	Vol. 58, No. 6, pp. 22-25, 2010.	なし
13	2010/5/1	松本英俊	東京工業大学	ナノファイバー膜-エレクトロスピニングによる膜の作製とその応用	学術雑誌 膜	Vol. 35, No. 3, pp. 113-118, 2010.	有り
14	2010/7/16	松本英俊他	東京工業大学	欧米におけるウェアラブルエレクトロニクス研究の動向	学術雑誌 ナノファイバー学会誌	Vol. 1, No. 1, pp. 49-52, 2010	なし
15	2010/7/16	松本英俊他	東京工業大学	カーボンナノファイバー表面へのナノ構造体の階層的ハイブリッド化とフレキシブル電極への応用	学術雑誌 ナノファイバー学会誌	Vol. 1, No. 1, pp. 23-26, 2010	なし
16	2010/11/10	松本英俊他	東京工業大学	カーボンナノファイバーのフレキシブル電子デバイスへの応用	加工技術	Vol. 45, No. 11, pp. 698-703, 2010	なし

4. 口頭発表リスト

No	発表日	著者・発表者	所属	題名	学会等の名称	巻・号・ページ	備考（開催場所）
1	2007/11/28-30	安田榮一 他	東京工業大学	ピッチへのヨウ素吸収	第34回炭素材料学会年会		ビーコンプラザ別府市国際会議場
2	2008/7/13-18	安田榮一 他	東京工業大学	ヨウ素の挙動	CARBON 2008		ポテルメトロポリタン長野
3	2008/9/25	五十住宏 他	DIC (株)	ラジカルポリマー/炭素繊維複合電極の電荷移動特性	高分子学会第57回高分子討論会	P4325	大阪市立大学
4	2008/12/3-6	安田榮一 他	東京工業大学	等方性ピッチ+ヨウ素 炭素化挙動	第35回炭素材料学会年会		筑波大学 (大会会館・総合交流会館)
5	2009/5/7	安田榮一 他	東京工業大学	ヨウ素を吸収した炭素質液晶のヨウ素の挙動	炭化物利用研究会 (京都工芸繊維大)		
6	2009/11/26-27	安田榮一 他	東京工業大学	ピッチを用いたカーボンナノファイバー	高分子学会第18回ポリマー材料フォーラム	予稿集1 P B07	タワーホール船堀
7	2009/12/1-3	小村伸弥 他	帝人 (株)	キャパシタ用カーボンナノファイバー	第36回炭素材料学会年会	要旨集114頁	仙台市戦災復興記念館
8	2009/12/1-3	安田榮一 他	東京工業大学	ピッチを用いたカーボンナノファイバー	第36回炭素材料学会年会	要旨集377頁	仙台市戦災復興記念館
9	2009/10/20-23	五十住宏 他	DIC (株)	有機ラジカル電池の正極に用いるラジカルポリマー	1st FAPS Polymer Congress	P 433	名古屋国際会議場
10	2009/12/1-3	安田榮一 他	東京工業大学	CNF 表面状態の制御	第36回炭素材料学会年会	要旨集100頁	仙台市戦災復興記念館
11	2010/6/1-2	山口貴義 向井絵美 他	東京工業大学	電圧一定条件下の電界紡糸においてノズルコレクター間距離が作製されるナノファイバーの繊維径及び繊維径分布に与える影響について調べた。	第21回プラスチック成形加工学会年次大会	D-101	タワーホール船堀
12	2010/6/1-2	向井絵美 他	東京工業大学	電界紡糸法において紡糸ノズルの素材が作製されるナノファイバーの繊維径及び繊維径分布に与える影響について調べた	第21回プラスチック成形加工学会年次大会	P24	タワーホール船堀

13	2010/6/16-18	山口貴義 他	東京工業大 学	電界紡糸法によっ て作製したサンプ ルのフィルター特 性を測定した。織 維径の減少ととも に圧力損失も減少 することを確認 し、ナノファイバ ーのスリップフロ ー現象について論 じた。	平成22年度 繊維学会年次 大会	65巻1 号 3G12	タワーホー ル船堀
14	2010/6/29	山口貴義 他	東京工業大 学	電界紡糸法により 作製したナノファイ バー不織布フィル ター素材の圧力 損失と捕集効率を 評価することで、 スリップフロー効 果について検討し た。	ナノファイバ ー学会第1回 年次大会	P18	東京工業大 学
15	2010/6/29	向井絵美 他	東京工業大 学	電界紡糸法により 作製したナノファイ バーの衛生部材 への応用展開につ いて検討した。	ナノファイバ ー学会第1回 年次大会	P19	東京工業大 学
16	2010/9/27-28	向井絵美 他	東京工業大 学	電界紡糸法におい て紡糸ノズルの素 材が作製されるナ ノファイバーの織 維径及び繊維径分 布に与える影響に ついて調べた	平成22年度織 維学会秋季研 究発表会	65巻3 号 1P12	山形大学
17	2010/8/30-9/1	谷岡明彦 他	東京工業大 学	導電性ナノファイ バーの応用と将来 展望について Hierarchical Hybridization of 1-D Nanostructures on Electrospun Carbon Nanofibers and Applications for Flexible Electrodes	第3回ナノフ ァイバーミレ ニアム国際 会議 NANOFIBERS FOR THE 3rd MILLENNIUM		米国ノース カロライナ 州 ローリ ー・マリオ ット・シテ ィセンター
18	2010/12/1～3	安田榮一 他	東京工業大 学	カーボンナノファイ バー (CNF)の濡れ性 について報告。「弱 く吸着したガス」 について CNFの電気伝導 度の予測。体積抵 抗率を繊維径と織 維長の関係につ いてモデル計算。	第37回炭素材 料学会年会	要旨集42 頁	兵庫県立大 学(姫路市 民会館)

19	2010/12/1～3	小村伸弥 他	帝人（株）	易黒鉛化性KOH賦活炭の充放電機構を明らかにする為に、ポリマーブレンド紡糸法によって新規開発された易黒鉛化性活性炭ナノ繊維をEQCM分析（電気化学水晶振動子マイクロバランス法）し、充放電機構について考察した。	第37回炭素材料学会年会	要旨集 22 頁	兵庫県立大学（姫路市民会館）
20	2011/3/29～31	小村伸弥 他	帝人（株）	易黒鉛化性KOH賦活炭の充放電機構を明らかにする為に、ポリマーブレンド紡糸法によって新規開発された易黒鉛化性活性炭ナノ繊維をEQCM分析（電気化学水晶振動子マイクロバランス法）し、充放電機構について考察した。	電気化学会（電気化学会第78回大会）	予稿集 1 C 1 9	横浜国立大学

N E D O 講座

No	発表日	著者	所属	題名	学会等の名称	巻・号・ページ	備考（開催場所）
1	2008/5/14-16	松本英俊 他	東京工業大学	Characterization of wetting behavior on surfaces of nanofiber fabrics	Fiber Society's Spring Conference（口頭発表）	pp.52.	ENSISA, Mulhouse, France
2	2008/5/28-30	松本英俊 他	東京工業大学	カーボンファイバーファブリック上に成長させたカーボンナノチューブの電子放出特性	第57回高分子学会年次大会（ポスター発表）	Vol. 57, No. 1, pp. 1372.	パシフィコ横浜
3	2008/5/28-30	松本英俊 他	東京工業大学	電界紡糸法によるナノ細径化カーボンファイブリックの作製	第57回高分子学会年次大会（ポスター発表）	Vol. 57, No. 1, pp. 1201.	パシフィコ横浜
4	2008/5/28-30	松本英俊 他	東京工業大学	電界紡糸法により作製した生分解性高分子ファブリックの形状記憶効果	第57回高分子学会年次大会（ポスター発表）	Vol. 57, No. 1, pp. 1200.	パシフィコ横浜
5	2008/5/28-30	松本英俊 他	東京工業大学	電界紡糸法により作製した蛍光性ポリイミドナノファイバーの光学特性	第57回高分子学会年次大会（ポスター発表）	Vol. 57, No. 1, pp. 1240.	パシフィコ横浜
6	2008/6/3-5	松本英俊 他	東京工業大学	ナノファイバーコート表面の濡れ制御	プラスチック成形加工学会の第19回年次大会（口頭発表）	pp. 181-182.	タワーホール船堀
7	2008/6/18-20	松本英俊 他	東京工業大学	電界紡糸法によるカーボンファイバーファブリックの作製	平成20年度繊維学会年次大会（口頭発表）	Vol. 63, No. 1-2, pp. 47.	タワーホール船堀

8	2008/6/18-20	松本英俊 他	東京工業 大学	電界紡糸法によるシリ カベースナノファイ バーの作製	平成 20 年度 繊維学会年次 大会（口頭発 表）	Vol. 63, No. 1-2, pp. 45.	タワーホー ル船堀
9	2008/6/18-20	松本英俊 他	東京工業 大学	エレクトロスプレー 法により作製した PVDF ナノファイバ ーの微細構造	平成 20 年度 繊維学会年次 大会	Vol. 63, No. 1-2, pp. 23.	タワーホー ル船堀
10	2008/6/18-20	松本英俊 他	東京工業 大学	電界紡糸法による高 分子電解質ファイバ ーの形態制御	平成 20 年度 繊維学会年次 大会（ポスタ ー発表）	Vol. 63, No. 1-2, pp. 442.	タワーホー ル船堀
11	2008/7/9-11	松本英俊 他	東京工業 大学	Biological ion-exchange nanofibre fabrics by electrospinning	IEX2008（ポ スター発表）	Recent Advances in Ion Exchange Theory and Practice (Proceedin gs of the Society of Chemical Industry Conferenc e on Ion Exchange, IEX 2008), pp.495-49 9	University of Cambridge, Cambredge, UK
12	2008/8/28-29	松本英俊 他	東京工業 大学	電界紡糸法により作 製した PVDF/PMMA コンポジットナノフ ァイバーの結晶化	第 17 回繊維 連合研究発表 会	pp. 10.	奈良女子大 学
13	2008/9/24-26	松本英俊 他	東京工業 大学	カーボンファイバー ファブリック上に成 長させたカーボンナ ノチューブの電子放 出特性	第 57 回高分 子討論会（口 頭発表）	Vol. 57, No. 2, pp. 3949-3950 .	大阪市立大 学
14	2008/9/24-26	松本英俊 他	東京工業 大学	電界紡糸法により作 製した生分解性高分 子ファブリックの形 状記憶効果	第 57 回高分 子討論会（口 頭発表）	Vol. 57, No. 2, pp. 3899-3900 .	大阪市立大 学
15	2008/9/24-26	松本英俊 他	東京工業 大学	電界紡糸法による蛍 光性ポリイミドの蛍 光取り出し効率の向 上と発行角度の拡大	第 57 回高分 子討論会（口 頭発表）	Vol. 57, No. 2, pp. 4514-4515 .	大阪市立大 学
16	2008/9/24-26	松本英俊 他	東京工業 大学	電界紡糸によるポリ フッ化ビニリデンナ ノファイバの固体 19 F M A S N M R 法 を用いた結晶構造解 析	第 57 回高分 子討論会（口 頭発表）	Vol. 57, No. 2, pp. 3550-3551 .	大阪市立大 学
17	2008/12/5	松本英俊 他	東京工業 大学	電界紡糸法によるカ ーボンナノファイバ ーファブリックの作 製	第 46 回高分 子と水に関す る研究会（口 頭発表）	pp. 3-4.	東京工業大 学

18	2008/12/5	松本英俊 他	東京工業 大学	薄膜構造設計を目標 した新規有機半導体 の合成と物性、	第46回高分子と水に 関する研究会（口頭 発表）	pp. 5-6.	東京工業 大学
19	2008/12/5	松本英俊 他	東京工業 大学	電界紡糸法による蛍 光性ポリイミドの蛍 光取り出し効率・蛍 光量子収率の向上	第16回日本 ポリイミド・ 芳香族系高 分子会 議	Vol. 17, No. 1, pp. 3.	豊橋技術科 学大学
20	2008.12.11-13	松本英俊 他	東京工業 大学	電界紡糸法を用いた オリゴチオフェン誘 導体の薄膜化	第35回有機 典型元素討 論会（ポス ター発表）	pp. 399-400.	首都大学東 京
21	2009/3/2-4	松本英俊 他	東京工業 大学	電界放出のためのカ ーボンファイバー上 のカーボンナノチュ ーブの成長	第36回フラ ーレン・ナ ノチューブ 総合シ ンポジウ ム、		名城大学
22	2009/3/7	松本英俊 他	東京工業 大学	電界紡糸法により作 製したキトサンナノ ファイバーの界面荷 電特性とDNA吸着 性	シンポジウ ム「ナノ、 バイオ、 環境科学 の基礎と しての界 面動電現 象」（ポ スター 発表）	pp. P.5.	筑波大学
23	2009/3/11-12	谷岡明彦 他	東京工業 大学	Surface wetting behavior of nanofiber matrix	Nanofibers for the 3rd millenium - Nano for Life(招待 講演)	Conferenc e proceedin gs of Nanofiber s for the 3rd millenni um — Nano for Life, pp. 66-69	Prague,cz ech republic
24	2009/4/1	松本英俊 坪井一真 他	東京工業 大学	エレクトロスプレー 法により作製された PVDFナノファイバ ー薄膜の強誘電特性	第56回応用 物理学関係 連合講演 会(ポ スター 発表)	No. 3, pp. 1313.	筑波大学
25	2009/4/13-17	松本英俊 他	東京工業 大学	Efficient carbon nanotube filed emitter using electrospun carbon nanofibers as a flexible electrode	2009 MRS Spring Meeting（口 頭発表）	Materials Research Society Symposiu m Proceedin gs, Vol. 1173E, pp. 1173-U06- 03.	San Francisco, CA, USA
26	2009/4/13-17	坪井一真 他	東京工業 大学	Surface plasmon resonance with electrospun nanofibers on gold surface	2009 MRS Spring Meeting（口 頭発表）	Materials Research Society Symposiu m Proceedin gs, Vol. 1173E, pp. 1173-U06- 05.	San Francisco, CA, USA

27	2009/6/18-20	松本英俊 他	東京工業 大学	Photoelectrochemical characterization of zinc oxide nanowires grown on carbon fibers	Internanitorial Nanofiber Symposium 2009 (ポスタ ー発表)	No. 3, pp. 139.	Tokyo Institute of Technology
28	2009/6/18-20	松本英俊 他	東京工業 大学	Flexible and highly porous carbon nanofiber fabrics produced by electrospinning	Internanitorial Nanofiber Symposium 2009 (ポスタ ー発表)	No. 3, pp. 117.	Tokyo Institute of Technology
29	2009/6/18-20	松本英俊 他	東京工業 大学	Characterization of ferroelectric properties of uniaxially oriented PVDF nanofiber	Internanitorial Nanofiber Symposium 2009 (ポスタ ー発表)	No. 3, pp. 140.	Tokyo Institute of Technology
30	2009/6/18-20	松本英俊 他	東京工業 大学	Synthesis and properties of new oligothiophenes for field effect transistors	Internanitorial Nanofiber Symposium 2009 (ポスタ ー発表)	No. 3, pp. 129.	Tokyo Institute of Technology
31	2009/6/18-20	坪井一真 他	東京工業 大学	Fabrication and characterization of plasmon sensor by using of electrospun nanofiber	Internanitorial Nanofiber Symposium 2009 (ポスタ ー発表)	No. 3, pp. 135.	Tokyo Institute of Technology
32	2009/6/18-20	松本英俊 他	東京工業 大学	Inner structure of electrospun liquid crystal polymer nanofiber	Internanitorial Nanofiber Symposium 2009 (ポスタ ー発表)	No. 3, pp. 128.	Tokyo Institute of Technology
33	2009/6/18-20	松本英俊 他	東京工業 大学	All solid, flexible thin film batteries for portable applications	Internanitorial Nanofiber Symposium 2009 (ポスタ ー発表)	No. 3, pp. 113.	Tokyo Institute of Technology
34	2009/5/27-29	松本英俊 他	東京工業 大学	電界紡糸法により作 製したポリペプチド ナノファイバーの配 向構造解析	第 58 回高分 子学会年次大 会	Vol. 58, No. 1, pp. 1128.	神戸国際会 議場・神戸 国際展示場
35	2009/5/27-29	松本英俊 他	東京工業 大学	電界紡糸法により作 製した液晶高分子ナ ノファイバーの内部 構造	第 58 回高分 子学会年次大 会 (ポスター 発表)	Vol. 58, No. 1, pp. 1049.	神戸国際会 議場・神戸 国際展示場
36	2009/5/27-29	松本英俊 他	東京工業 大学	電界紡糸法によるカ ーボンナノファイバ ーの作製と応用	第 58 回高分 子学会年次大 会 (ポスター 発表)	Vol. 58, No. 1, pp. 1539.	神戸国際会 議場・神戸 国際展示場
37	2009/6/10-12	松本英俊 他	東京工業 大学	新規チオフェン系有 機半導体分子の合成 と電界紡糸法を用い た繊維状薄膜の作製	平成 2 1 年度 繊維学会年次 大会 (ポスタ ー発表)	Vol. 64, No. 1, pp. 296.	タワーホー ル船堀
38	2009/6/10-12	坪井一真 他	東京工業 大学	ナノファイバーを用 いたプラズモンセン サーの作製と評価	平成 2 1 年度 繊維学会年次 大会 (ポスタ ー発表)	Vol. 64, No. 1, pp. 297.	タワーホー ル船堀
39	2009/6/10-12	松本英俊 他	東京工業 大学	電界紡糸法により作 製した液晶高分子ナ ノファイバーの内部 構造	平成 2 1 年度 繊維学会年次 大会 (ポスタ ー発表)	Vol. 64, No. 1, pp. 293.	タワーホー ル船堀

40	2009/6/3-4	松本英俊 他	東京工業 大学	電界紡糸法によるカーボンナノファイバーの作製と応用	第20回プラスチック成形加工学会年次大会（口頭発表）	pp. 313-314.	タワーホール船堀
41	2009/8/27-29	松本英俊 他	東京工業 大学	Flexible and highly porous carbon nanofiber fabrics produced by electrospinning	第40回繊維学会夏季セミナー（ポスター発表）	pp. 130.	ユアーズホテルフクイ
42	2009/9/16-18	松本英俊 他	東京工業 大学	酸化多孔質構造制御と色素増感太陽電池の発電特性	化学工学会第41回秋季大会（口頭発表）	CD-ROM	広島大学キャンパス
43	2009/9/16-18	松本英俊 他	東京工業 大学	電界紡糸法により作製したポリペプチドナノファイバーの配向構造解析	第58回高分子討論会		熊本大学黒髪キャンパス
44	2009/9/24-25	松本英俊 他	東京工業 大学	Flexible and highly porous carbon nanofibrous networks produced by electrospinning	3rd Symposium on Electro-surface Phenomena in Advanced Materials Science（ポスター発表）	pp. 18.	Leibniz Institute of Polymer Research Dresden, Germany
45	2009/9/24-25	坪井一真 他	東京工業 大学	Local surface plasmon resonance sensor fabricated on the surface of electrospun nanofibers, 3rd Symposium on Electro-surface Phenomena in Advanced Materials Science	3rd Symposium on Electro-surface Phenomena in Advanced Materials Science（ポスター発表）	pp. 22.	Leibniz Institute of Polymer Research Dresden, Germany
46	2009/9/24-25	松本英俊 他	東京工業 大学	Wetting behavior on nanofiber thin-film coatings	3rd Symposium on Electro-surface Phenomena in Advanced Materials Science（ポスター発表）	pp. 19.	Leibniz Institute of Polymer Research Dresden, Germany
47	2009/11/30-12/4	谷岡明彦 他	東京工業 大学	Electrospun nanofiber networks for electronics and optics	2009 Materials Research Society Fall Meeting（招待講演）	Materials Research Society Symposium Proceedings, Vol. 1240E, pp.1240-WW10-04.	Boston, MA, USA
48	2009/12/3	松本英俊 他	東京工業 大学	温度応答性高分子ナノファイバーコート表面の濡れ挙動	第47回高分子と水に関する研究会（口頭発表）	pp. 27-28.	東京工業大学百年記念館
49	2009/12/3	松本英俊 他	東京工業 大学	電界紡糸法による液晶高分子ナノファイバーの構造	第47回高分子と水に関する研究会（口頭発表）	pp. 13-14.	東京工業大学百年記念館

50	2010/1/24	松本英俊 他	東京工業 大学	Molecular orientation in polypeptide nanofibers prepared by electrospray deposition	Advanced Polymeric Materials and Technology Symposium(A PMT2010),	Vol. 1, pp. PS079.	Jeju,Korea
51	2010/3/18-20	松本英俊 他	東京工業 大学	チタニア多孔質膜の 構造制御とそれを利用 した色素増感太陽 電池の作製	化学工学会 7 1 年会 (口頭 発表)	CD-ROM	鹿児島大学
52	2010/3/17-20	坪井一真 他	東京工業 大学	電界紡糸ナノファイ バーを用いたブラズ モン材料の作製	2010年春 季第57回応 用物理学関係 連合講演会 (ポスター発 表)	CD-ROM(pp.03-226)	東海大学湘 南キャンパ ス
53	2010/5/26-28	松本英俊 他	東京工業 大学	電界紡糸法によるカー ボンナノチューブ 複合ナノファイバー ヤーンの作製	第59回高分 子学会年次大 会 (ポスター 発表)	Vol. 59, No. 1, pp. 1349.	パシフィコ 横浜
54	2010/5/26-28	松本英俊 他	東京工業 大学	電界紡糸法とマイク ロパターンニングよ る1次元ナノ構造体 の作製	第59回高分 子学会年次大 会 (ポスター 発表)	Vol. 59, No. 1, pp. 717.	パシフィコ 横浜
55	2010/5/26-28	松本英俊 他	東京工業 大学	温度応答性高分子を 用いたナノファイバ ーコート表面の親疎 水性制御	第59回高分 子学会年次大 会 (ポスター 発表)	Vol. 59, No. 1, pp. 778.	パシフィコ 横浜
56	2010/5/26	坪井一真 他	東京工業 大学	電界紡糸ナノファイ バーを用いたブラズ モン材料の作製	第8回ブラズ モニクスシン ポジウム (口 頭発表)	pp. 7.	島津製作所 東京支社イ ベントホー ル
57	2010/6/16-18	松本英俊 他	東京工業 大学	温度応答性高分子を 用いたナノファイバ ーコート表面の親疎 水性制御	平成22年度 繊維学会年次 大会 (口頭発 表)	Vol. 65, No. 1, pp. 221.	タワーホー ル船堀
58	2010/6/16-18	松本英俊 他	東京工業 大学	電界紡糸法によるカー ボンナノチューブ 複合ナノファイバー ヤーンの作製	平成22年度 繊維学会年次 大会 (口頭発 表)	Vol. 65, No. 1, pp. 217.	タワーホー ル船堀
59	2010/6/29	松本英俊 他	東京工業 大学	ナノファイバー積層 コート表面の濡れ制 御	ナノファイバ ー学会第1回 年次大会 (ポ スター発表)	pp. 45.	東京工業大 学
60	2010/6/29	松本英俊 他	東京工業 大学	温度応答性高分子を 用いたナノファイバ ーコート表面の親疎 水性制御	ナノファイバ ー学会第1回 年次大会 (ポ スター発表)	pp. 46.	東京工業大 学
61	2010/6/29	坪井一真 他	東京工業 大学	電界紡糸ナノファイ バーの光散乱特性を 利用した表面ブラズ モンポラリトンの共 鳴励起	ナノファイバ ー学会第1回 年次大会 (ポ スター発表)	pp. 47.	東京工業大 学
62	2010/6/29	坪井一真 他	東京工業 大学	電界紡糸ナノファイ バーを用いた高感度 ブラズモンセンサの 作製,	ナノファイバ ー学会第1回 年次大会 (ポ スター発表)	pp. 48.	東京工業大 学

63	2010/6/29	松本英俊 他	東京工業 大学	電界紡糸法とマイクロパターニングによる1次元ナノ構造体の作製	ナノファイバー学会第1回年次大会(ポスター発表)	pp. 49.	東京工業 大学
64	2010/6/29	松本英俊 他	東京工業 大学	電界紡糸法によるカーボンナノチューブの繊維化,	ナノファイバー学会第1回年次大会(ポスター発表)	pp. 33.	東京工業 大学
65	2010/6/29	松本英俊 他	東京工業 大学	電界紡糸法によるカーボンナノファイバーの作製	ナノファイバー学会第1回年次大会(ポスター発表)	pp. 34.	東京工業 大学
66	2010/8/27	鴻巣裕一 他	東京工業 大学	温度応答性高分子を用いたナノファイバーコート表面の親疎水性制御	第41回繊維学会夏季セミナー(ポスター発表)	pp. 102.	三島東レ研 修センター
67	2010/8/30	松本英俊 他	東京工業 大学	カーボンナノファイバーの階層的構造制御とその応用	日本化学会第4回関東支部大会における研究発表(依頼講演)	pp. 102.	筑波大学筑 波キャンパ ス
68	2010/9/15	鴻巣裕一 他	東京工業 大学	エレクトロスピンング法により作製したナノファイバー積層コート表面の濡れ性	第59回高分子討論会(口頭発表)	Vol. 59, No. 2, pp. 4509-4510	北大
69	2010/9/16	松本英俊 他	東京工業 大学	電場とナノ流動場を利用したカーボンナノチューブの繊維化	第59回高分子討論会(口頭発表)	Vol. 59, No. 2, pp. 4175-4176	北大
70	2010/9/28	松本英俊 他	東京工業 大学	電界紡糸法によるカーボンナノチューブコンポジットナノファイバーの作製	平成22年度繊維学会秋季研究発表会(口頭発表)	Vol. 65, No. 3, pp. 76.	山形大
71	2011/1/8	松本英俊 他	東京工業 大学	電界紡糸法ナノファイバーにおける液晶高分子の構造形成	平成22年度繊維学会秋季研究発表会(口頭発表)	Vol. 65, No. 3, pp. 75.	山形大
72	2011/1/8	松本英俊 他	東京工業 大学	エレクトロスピンング技術を用いたナノ・マイクロファブリケーション	4大学ナノ・マイクロファブリケーションコンソーシアム・2010年度課題抽出型研究会(依頼講演)		東京大学生 産技術研究 所
73	2011/1/18	松本英俊 他	東京工業 大学	電界紡糸カーボンナノファイバーのフレキシブル電極への応用	東京工業大学環境エネルギー機構第1回産学連携研究交流会(ポスター発表)	pp.70	東京工業大 学蔵前会館
74	2011/3/3	松本英俊 他	東京工業 大学	ナノファイバーを用いたプラズモンセンサーの作製と評価	4大学ナノ・マイクロファブリケーションコンソーシアム拠点形成シンポジウム(ポスター発表)	pp.69	川崎市産業 振興会館

5. 特許リスト

No	出願者	出願番号	国内、外国、PCT	出願日	状態	名称	発明者
1	栗田工業(株)	特願 2005-092009	国内	2005/3/28	公開	分離膜及び水処理装置	早川邦洋 他
2	栗田工業(株) 東京工業大学	特願 2005-159798	国内	2005/5/31	公開	吸着構造体およびその製造方法	小林秀樹 他
3	栗田工業(株)	特願 2005-228360	国内	2005/8/5	登録	超純水の精製方法および精製装置	小林秀樹 他
4	栗田工業(株)	特願 2006-267691	国内	2006/9/29	公開	純水製造装置	池田宏之 他
5	住友精化(株)	2006-272112	国内	2006/10/3	取下	(メタ)アクリル酸イミノ化合物およびその製造方法	藤本信貴 他
6	住友精化(株)	2006-272113	国内	2006/10/3	取下	(メタ)アクリル酸系架橋重合体およびそれを用いた二次電池の電極	藤本信貴 他
7	住友精化(株)	2006-282111	国内	2006/10/17	取下	(メタ)アクリル酸系架橋重合体の製造方法および該架橋重合体を用いた二次電池の電極	藤本信貴 他
8	日清紡績(株) (単独)	特願 2006-315713	国内	2006/11/22	出願	抗菌・消臭性物品用樹脂組成物、並びにこれから得られる抗菌・消臭性ファイバーおよび不織布	今城靖雄 他
9	松下電器産業(株)	特願 2006-317003	国内	2006/11/24	擬制 取下	ナノファイバー及び高分子ウェブの製造方法と装置	高橋光弘 他
10	松下電器産業(株)	特願 2006-317004	国内	2006/11/24	公開	ナノファイバーの製造装置	高橋光弘 他
11	松下電器産業(株)	特願 2006-320256	国内	2006/11/28	公開	金属製機器の帯電防止方法と装置	黒川崇裕 他
12	松下電器産業(株)	特願 2006-330169	国内	2006/12/7	擬制 取下	ナノファイバーの合糸方法と装置	住田寛人 他
13	松下電器産業(株)	特願 2006-335913	国内	2006/12/13	公開	不織布製造装置、不織布製造方法	石川和宜 他
14	松下電器産業(株)	特願 2006-344948	国内	2006/12/21	公開	不織布製造装置、不織布製造方法	住田寛人 他
15	帝人(株)	特願 2006-351765	国内	2006/12/27	擬制 取下	セラミック繊維およびセラミック繊維の製造方法	三好孝則 他
16	松下電器産業(株)	特願 2007-007330	国内	2007/1/16	公開	高分子ファイバー生成用のノズルとこれを用いた高分子ファイバー生成装置	住田寛人 他
17	松下電器産業(株)	特願 2007-007529	国内	2007/1/17	公開	ナノファイバー製造方法および製造装置	石川和宜 他
18	松下電器産業(株)	特願 2007-009599	国内	2007/1/18	公開	高分子ファイバー生成方法と装置、これらを用いた高分子ファイバー製造方法と装置	住田寛人 他
19	松下電器産業(株)	特願 2007-013240	国内	2007/1/24	公開	ナノファイバーの製造方法及び装置	住田寛人 他

20	日本電気(株)	特願 2007-014997	PCT 出願、国内移行 米国出願 中国出願	2007/1/25	中国公開	ポリラジカル化合物ー導電性物質複合体及びその製造方法ならびにそれを用いた電池	草地雄樹 他
21	帝人(株)	特願 2007-016302	国内	2007/1/26	擬制取下	不織布	小村伸弥 他
22	日清紡績(株)単独	特願 2007-22753	国内	2007/2/1	出願	マスク	今城靖雄 他
23	日清紡績(株)単独	特願 2007-22760	国内	2007/2/1	出願	抗菌・防塵生地	今城靖雄 他
24	松下電器産業(株)	特願 2007-027549	国内	2007/2/7	公開	高分子ウェブの製造方法及び装置	住田寛人 他
25	松下電器産業(株)	特願 2007-029860	国内	2007/2/9	公開	ナノファイバー製造方法およびナノファイバー製造	石川和宜 他
26	日本電気(株)	特願 2007-035110	PCT 出願、国内移行	2007/2/15	PCT 番号取得	電極形成用スラリー、および電池	草地雄樹 他
27	松下電器産業(株)	特願 2007-041314	国内	2007/2/21	公開	ナノファイバー製造装置、不織布製造方法	住田寛人 他
28	シナノケンシ(株)(単独)	特願 2007-042878	国内	2007/2/22	取下	複合材、これを用いた燃料電池、および複合材の製造方法	松井淑孝
29	東洋紡績(株)	特願 2007-56775	国内	2007/3/7	公開	繊維集合体の製造方法	中森雅彦 他
30	東洋紡績(株)	特願 2007-56776	PCT / JP2008 / 053922 (W008 / 108392)	2007/3/7	取下	極細繊維およびその製造法	
31	日本電気(株)	特願 2007-057366	国内	2007/3/7	審査申請	蓄電デバイス	草地雄樹 他
32	住友精化(株)	2007-057248	国内	2007/3/7	取下	ニトロキシドアルコール化合物およびそれを用いた(メタ)アクリル酸ニトロキシド化合物の製造方法	藤本信貴 他
33	東洋紡績(株)	特願 2007-60396	国内	2007/3/9	公開	エレクトレット濾材およびその製造方法	後藤禎仁 他
34	東洋紡績(株)	特願 2007-60404	国内	2007/3/9	公開	極細繊維濾材及びその製造方法	後藤禎仁 他
35	松下電器産業(株)	特願 2007-064435	国内	2007/3/14	公開	高分子ウェブの製造方法及び装置	黒川崇裕 他
36	松下電器産業(株)	特願 2007-074539	国内	2007/3/22	登録	不織布製造装置	住田寛人 他
37	栗田工業(株)	特願 2007-091669	国内	2007/3/30	取下	フィルタ、フィルタカートリッジ、濾過装置及びその運転方法	小林秀樹 他

38	栗田工業(株)	特願 2007-093808	国内	2007/3/30	公開	有機尿素系化合物吸着剤、有機尿素系化合物吸着装置及び有機尿素系化合物処理方法	池田宏之他
39	日清紡績(株) (単独)	特願 2007-096979	国内	2007/4/3	出願	抗菌性エステル系ポリウレタンナノファイバー	今城靖雄他
40	日清紡績(株) (単独)	特願 2007-100116	国内	2007/4/6	出願	抗菌性ポリアミド繊維	今城靖雄他
41	松下電器産業(株)	特願 2007-109911	国内	2007/4/18	公開	ナノファイバ製造装置及びナノファイバ製造方法	黒川崇裕他
42	日本電気(株)、早稲田大学、住友精化(株)	特願 2007-124391	国内	2007/5/9	審査申請	ポリラジカル化合物および電池	岩佐繁之他
43	日本電気(株)、早稲田大学、住友精化(株)	特願 2007-124392	国内	2007/5/9	審査申請	ポリラジカル化合物、電極活物質および電池	森岡由紀子他
44	住友精化(株) 日本電気(株) 早稲田大学	2007-124392	国内	2007/5/9	公開	ポリラジカル化合物、電極活物質および電池	藤本信貴他
45	住友精化(株) 日本電気(株) 早稲田大学	2007-124391	国内	2007/5/9	公開	ポリラジカル化合物および電池	藤本信貴他
46	東京工業大学 松下電器産業 (共願)	特願 2007-127116	国内	2007/5/11	公開	高分子ウェブの製造方法と装置	高橋光弘他
47	松下電器産業(株)	特願 2007-133856	国内	2007/5/21	登録	ナノファイバー製造方法及び装置	住田寛人他
48	松下電器産業(株)	特願 2007-141907	国内	2007/5/29	公開	ナノファイバーの合糸方法及び装置	住田寛人他
49	松下電器産業(株)	特願 2007-151623	国内	2007/6/7	公開	ナノファイバー製造装置、不織布製造装置、および、ナノファイバー製造方法	高橋光弘他
50	松下電器産業(株)	特願 2007-151624	国内	2007/6/7	公開	ナノファイバー製造装置、不織布製造装置、および、ナノファイバー製造方法	住田寛人他
51	松下電器産業(株)	特願 2007-151788	国内	2007/6/7	公開	ナノファイバー製造装置、不織布製造装置、および、ナノファイバー製造方法	高橋光弘他
52	住友精化(株)	2007-165683	国内	2007/6/22	取下	架橋ポリ(メタ)アクリル酸ニトロキシド化合物の製造方法	藤本信貴他
53	東京工業大学 松下電器産業 (共願)	特願 2007-171950	国内	2007/6/29	公開	積層高分子ウェブの製造方法及び装置	高橋光弘他
54	松下電器産業(株)	特願 2007-171876	国内	2007/6/29	公開	ナノファイバーの製造装置	住田寛人他
55	住友精化(株)	2007-175052	国内	2007/7/3	公開	(メタ)アクリロイルイミダゾリジンニトロキシド化合物およびその製造方法	金原祐治他
56	松下電器産業(株)	特願 2007-177651	国内	2007/7/5	公開	ナノファイバー製造装置、ナノファイバー製造方法	住田寛人他

57	松下電器産業 株	特願 2007-177822	国内	2007/7/5	公開	ナノファイバー及び高分子 ウェブの製造方法と装置(特 願 2006-185833 の優先権出 願)	高橋光弘
58	松下電器産業 株	特願 2007-181915	国内	2007/7/11	公開	不織布製造装置、不織布製造 方法	住田寛人 他
59	松下電器産業 株	特願 2007-182365	国内	2007/7/11	擬制 取下	微細高分子材料製造方法、微 細高分子材料製造装置	高橋光弘 他
60	松下電器産業 株	特願 2007-190133	国内	2007/7/20	公開	微粒子の製造方法及び装置 (特願 2006-199473 の優先 権出願)	高橋光弘
61	松下電器産業 株	特願 2007-203420	国内	2007/8/3	公開	試料堆積方法、試料堆積装置	富永善章 他
62	栗田工業株	特願 2007-203273	国内	2007/8/3	公開	糸巻型フィルタ及び水処理 方法	川勝孝博 他
63	日清紡績株 (単独)	特願 2007-203837	国内	2007/8/6	出願	多糖類ナノファイバー	今城靖雄 他
64	松下電器産業 株	特願 2007-206071	国内	2007/8/8	公開	ナノファイバーの製造方法 及び装置	黒川崇裕 他
65	松下電器産業 株	特願 2007-207089	国内	2007/8/8	公開	素子材料堆積方法、素子材料 堆積装置	横山政秀 他
66	松下電器産業 株	特願 2007-218911	国内	2007/8/24	公開	高分子ウェブの製造方法と 装置	住田寛人 他
67	グンゼ株	特願 2007-231804	国内	2007/9/6	公開	濾過フィルタ用繊維構造物とそ の製造方法	金武潤也
68	東京工業大学 松下電器産業 (共願)	特願 2007-234762	国内	2007/9/10	公開	ナノファイバーの合糸方法 及び装置	高橋光弘 他
69	日清紡績株 (単独)	特願 2007-243373	国内	2007/9/20	出願	抗菌性ナノファイバー	今城靖雄 他
70	日本電気株、 早稲田大学、 住友精化株	特願 2007-245589	PCT 出 願、国内 移行	2007/9/21	PCT 番号 取得	ピロリン系ニトロキシド重 合体およびそれを用いた電池	岩佐繁之 他
71	東京工業大学 松下電器産業 (共願)	特願 2007-258280	国内	2007/10/2	公開	高分子ファイバーの合糸方 法と装置	高橋光弘 他
72	松下電器産業 株	特願 2007-269673	国内	2007/10/1 7	公開	ナノファイバー及び高分子 ウェブの製造方法と装置	住田寛人 他
73	松下電器産業 株	特願 2007-269674	国内	2007/10/1 7	公開	ナノファイバー製造装置	住田寛人 他
74	日本電気株	特願 2007-275007	国内	2007/10/2 3	審査 申請	機能性 IC カードおよびそれ に用いるラミネート電池	三浦貞彦 他
75	日清紡績株 (単独)	特願 2007-278642	国内	2007/10/2 6	出願	ポリウレタンナノファイバ ー不織布の製造方法	佐々木直 一他
76	日清紡績株 (単独)	特願 2007-285964	国内	2007/11/2	出願	樹脂製極細短繊維およびそ の製造方法	佐々木直 一他
77	松下電器産業 株	特願 2007-288671	国内	2007/11/6	公開	コンデンサ製造方法、コンデ ンサ、回路基板	瀬野真透
78	松下電器産業 株	特願 2007-288844	国内	2007/11/6	公開	ナノファイバ製造装置	住田寛人 他

79	住友精化(株)	2007-299661	国内	2007/11/19	公開	ニトロキシド重合体およびそれを用いた電池	藤本信貴 他
80	住友精化(株)	2007-301105	国内	2007/11/21	公開	(メタ)アクリル酸アダマンチル化合物およびその製造方法	藤本信貴 他
81	住友精化(株)	2007-301106	国内	2007/11/21	公開	(メタ)アクリル酸ジアザアダマンチル化合物およびその製造方法	藤本信貴 他
82	住友精化(株)	2007-301107	国内	2007/11/21	公開	(メタ)アクリル酸アダマンチル系架橋重合体およびそれを用いた二次電池の電極	藤本信貴 他
83	住友精化(株)	2007-301108	国内	2007/11/21	公開	(メタ)アクリル酸アダマンチル系架橋重合体の製造方法および該架橋重合体を用いた二次電池の電極	藤本信貴 他
84	松下電器産業(株)	PCT/JP2007/72447	PCT	2007/11/22	公開	ナノファイバー及び高分子ウェブの製造方法と装置 (特願 2006-317003 の優先権出願の外国出願)	高橋光弘 他
85	松下電器産業(株)	特願 2007-303536	国内	2007/11/22	登録	ナノファイバー及び高分子ウェブの製造方法と装置 (特願 2006-317003 の優先権出願)	住田寛人 他
86	松下電器産業(株)	特願 2007-312756	国内	2007/12/3	擬制取下	ナノファイバ製造装置	住田寛人 他
87	松下電器産業(株)	特願 2007-315093	国内	2007/12/5	公開	ナノファイバーの合糸方法及び装置(特願 2006-330169 の優先権出願の外国出願)	住田寛人 他
88	東京工業大学 松下電器産業(共願)	特願 2007-319462	国内	2007/12/11	公開	ナノファイバ製造装置	富永善章 他
89	東京工業大学 松下電器産業(共願)	特願 2007-323794	国内	2007/12/14	公開	複合糸の製造方法及び装置	富永善章 他
90	東京工業大学 松下電器産業(共願)	特願 2007-323801	国内	2007/12/14	公開	ナノファイバーの合糸方法及び装置	富永善章 他
91	帝人(株)	PCT/JP2007/074391	PCT	2007/12/19	指定国移行済み	セラミック繊維およびセラミック繊維の製造方法	三好孝則 他
92	帝人(株)	特願 2008-551050	国内(PCT移行)	2007/12/19	審査請求	セラミック繊維およびセラミック繊維の製造方法	三好孝則 他
93	日本電気(株)	特願 2007-338863	国内	2007/12/28	審査申請	薄型電池	山下 修 他
94	松下電器産業(株)	特願 2008-007356	国内	2008/1/16	公開	ナノファイバ製造装置、不織布製造装置	住田寛人 他
95	ゲンゼ(株)	特願 2008-9841	国内	2008/1/18	公開	複合ファブリック	澤井恒祐 他
96	帝人(株)	PCT/JP2008/050851	PCT	2008/1/23	指定国移行済み	不織布	小村伸弥 他

97	帝人(株)	2008-555080	国内 (PCT 移行)	2008/1/23	審査 請求	不織布	小村伸弥 他
98	東京工業大学 松下電器産業 (共願)	特願 2008-022941	国内	2008/2/1	公開	ナノファイバー合糸方法及 び装置	富永善章 他
99	松下電器産業 (株)	特願 2008-033607	国内	2008/2/14	公開	ナノファイバー製造装置、不 織布製造装置	黒川崇裕 他
100	松下電器産業 (株)	特願 2008-033667	国内	2008/2/14	公開	ナノファイバー製造装置、不 織布製造装置	黒川崇裕 他
101	松下電器産業 (株)	PCT/JP2008/000 254	PCT	2008/2/19	公開	ナノファイバーの合糸方法 及び装置(特願 2007-41314、 2007-288844 の外国出願)	住田寛人 他
102	栗田工業(株) 東京工業大学	特願 2008-048091	国内	2008/2/28	公開	フィルタ及び液処理方法	川勝孝博 他
103	松下電器産業 (株)	特願 2008-054133	国内	2008/3/4	公開	ナノファイバー製造装置、ナ ノファイバー製造方法	住田寛人 他
104	松下電器産業 (株)	特願 2008-062725	国内	2008/3/12	公開	ナノファイバー製造方法、ナ ノファイバー製造装置	住田寛人 他
105	松下電器産業 (株)	特願 2008-063190	国内	2008/3/12	公開	ナノファイバー製造装置、ナ ノファイバー製造方法	住田寛人 他
106	栗田工業、 東京工業大 学、 松下電器産業 (共願)	特願 2008-064396	国内	2008/3/13	公開	フィルター用繊維、糸巻型フ ィルタ及び水処理方法	川勝隆博 他
107	栗田工業(株) 東京工業大学 松下電器産業 (株)	特願 2008-064396	国内	2008/3/13	公開	フィルタ用繊維、糸巻型フ ィルタ及び水処理方法	川勝孝博 他
108	グンゼ(株)	特願 2008-67717	国内	2008/3/17	公開	針刺し防止部材および該部 材を含む防護手袋	塚田章一 他
109	日本電気(株)	特願 2008-072808	国内	2008/3/21	公開	高分子ラジカル材料・導電性 材料複合体、その製造方法及 び蓄電デバイス	岩佐繁之 他
110	松下電器産業 (株)	特願 2008-076474	国内	2008/3/24	公開	ナノファイバ製造装置、およ びナノファイバ製造方法	黒川崇裕 他
111	日本電気(株)	特願 2008-080742	国内	2008/3/26	公開	薄型電池	山下修他
112	日本電気(株)	特願 2008-083787	国内	2008/3/27	公開	蓄電デバイス	中原謙太 郎他
113	栗田工業(株)	特願 2008-083390 PCT/JP2009/055 901 98110150	国内 PCT 台湾	2008/3/27 2009/3/25 2009/3/25	公開	ポリマー繊維体、その製造方 法及び流体濾過用フィルタ	川勝孝博 他
114	グンゼ(株)	特願 2008-85719	国内	2008/3/28	公開	不織布	倉橋孝臣 他
115	グンゼ(株)	特願 2008-86504	国内	2008/3/28	公開	複合ファブリック	倉橋孝臣 他
116	松下電器産業 (株)	特願 2008-096539	国内	2008/4/2	公開	ナノファイバ製造装置、ナノ ファイバ製造方法	住田寛人 他

117	東洋紡績(株)	特願 2008-99473	国内	2008/4/7	公開	極細繊維およびその製造方法	松山佳奈 他
118	東洋紡績(株)	特願 2008-99474	国内	2008/4/7	公開	エレクトレット濾材およびその製造方法	水谷晶徳 他
119	東洋紡績(株)	特願 2008-99475	国内	2008/4/7	公開	極細繊維およびその製造方法	峯村慎一 他
120	東京工業大学、帝人(株)	特願 2008-100029	国内	2008/4/8	擬制 取下	炭素繊維の製造方法	小村伸弥 他
121	東京工業大学、帝人(株)	特願 2008-100030	国内	2008/4/8	擬制 取下	超極細炭素繊維及びその製造方法	小村伸弥 他
122	松下電器産業(株)	特願 2008-102633	国内	2008/4/10	公開	ナノファイバ製造装置、ナノファイバ製造方法	黒川崇裕 他
123	松下電器産業(株)	特願 2008-105875	国内	2008/4/15	公開	ナノファイバ製造装置、不織布製造装置、ナノファイバ製造方法	住田寛人 他
124	東京工業大学 松下電器産業 (共願)	特願 2008-116095	国内	2008/4/25	公開	不織布製造装置	黒川崇裕 他
125	松下電器産業(株)	PCT/JP2008/001 134	PCT	2008/5/1	公開	ナノファイバーの合糸方法及び装置(特願 2007-141907の外国出願)	住田寛人 他
126	松下電器産業(株)	特願 2008-121196	国内	2008/5/7	公開	ナノファイバ製造装置	黒川崇裕 他
127	松下電器産業(株)	特願 2008-121717	国内	2008/5/7	公開	ナノファイバ製造装置	黒川崇裕 他
128	松下電器産業(株)	特願 2008-121721	国内	2008/5/7	公開	ナノファイバ製造方法	黒川崇裕 他
129	松下電器産業(株)	PCT/JP2008/001 185	PCT	2008/5/12	公開	ナノファイバー製造方法及び装置(特願 2007-133856、2008-033667の外国出願)	住田寛人 他
130	栗田工業(株) 東京工業大学	特願 2008-127297	国内	2008/5/14	公開	複合繊維体、その製造方法、フィルタ及び流体濾過方法	川勝孝博 他
131	松下電器産業(株)	特願 2008-129958	国内	2008/5/16	公開	ナノファイバ製造装置、および製造方法	富永善章 他
132	東京工業大学 松下電器産業 (共願)	特願 2008-131549	国内	2008/5/20	公開	ナノファイバーの合糸方法及び装置	富永善章 他
133	DIC(株) 日本電気(株)	特願 2008-141692 →特願 2010-503285	PCT 日本 で登録	2008/5/29	登録 (日本)	二次電池およびその製造方法ならびに電極形成用インキ	笠井正紀 他
134	松下電器産業(株)	特願 2008-144660	国内	2008/6/2	公開	ナノファイバー製造装置	黒川崇裕 他
135	東京工業大学 松下電器産業 (共願)	特願 2008-145870	国内	2008/6/3	公開	マスク製造装置、マスク製造方法	石川和宜 他
136	東京工業大学 松下電器産業 (共願)	特願 2008-150994	国内	2008/6/9	公開	無接合筒体製造装置、無接合筒体製造方法	石川和宜 他
137	松下電器産業(株)	特願 2008-163529	国内	2008/6/23	公開	ナノファイバ製造装置、および製造方法	黒川崇裕 他

138	東京工業大学、帝人(株)	特願 2008-170526	国内	2008/6/30	出願 公開	炭素繊維の製造方法	小村伸弥 他
139	東京工業大学、帝人(株)	特願 2008-170527	国内	2008/6/30	擬制 取下	炭素繊維の製造方法	小村伸弥 他
140	帝人(株)	特願 2008-172170	国内	2008/7/1	出願 公開	超極細炭素繊維の製造方法	三好孝則 他
141	DIC(株) 日本電気(株)	特願 2008-174839→ 特願 2010-503289	PCT 日 本で登 録 米国へ 移行済 み (審査 中)	2008/7/3	登録 (日 本) 特許 4637 293	二次電池およびその導電補助層用カーボンインキ	笠井正紀 他
142	松下電器産業(株)	PCT/JP2008/001 785	PCT	2008/7/4	公開	微細高分子材料製造方法、微細高分子材料製造装置(特願2007-182365の外国出願)	高橋光弘 他
143	東京工業大学 松下電器産業 (共願)	特願 2008-177252	国内	2008/7/7	公開	多孔質部材製造方法	石川和宜 他
144	松下電器産業(株)	特願 2008-178156	国内	2008/7/8	公開	ナノファイバ製造装置	黒川崇裕 他
145	松下電器産業(株)	特願 2008-178233	国内	2008/7/8	公開	ナノファイバ製造装置、ナノファイバ製造方法	黒川崇裕 他
146	松下電器産業(株)	特願 2008-180187	国内	2008/7/10	公開	ナノファイバーの合糸方法と装置	黒川崇裕 他
147	松下電器産業(株)	特願 2008-180696	国内	2008/7/10	公開	微細高分子材料製造方法、微細高分子材料製造装置	黒川崇裕 他
148	松下電器産業(株)	特願 2008-187216	国内	2008/7/18	公開	ナノファイバー製造装置、ナノファイバー製造方法	黒川崇裕 他
149	東京工業大学 松下電器産業 (共願)	特願 2008-174839	国内	2008/7/25	公開	ナノファイバーの合糸方法及び装置	高橋光弘 他
150	帝人(株)	特願 2008-197746	国内	2008/7/31	擬制 取下	無機繊維およびその製造法	天満美和 他
151	松下電器産業(株)	特願 2008-211218	国内	2008/8/19	公開	燃料電池用触媒層製造方法、燃料電池用触媒層製造装置、固体高分子型燃料電池	光嶋隆敏 他
152	東京工業大学 松下電器産業 (共願)	特願 2008-216495	国内	2008/8/26	公開	ナノファイバーの合糸方法と装置	高橋光弘 他
153	松下電器産業(株)	特願 2008-223929	国内	2008/9/1	公開	ナノファイバ製造装置、ナノファイバ製造方法	黒川崇裕 他
154	松下電器産業(株)	特願 2008-223937	国内	2008/9/1	公開	ナノファイバ製造装置、ナノファイバ製造方法	黒川崇裕 他
155	住友精化(株) 日本電気(株) 早稲田大学	2009-533174	PCT	2008/9/18	公開	ピロリン系ニトロキンド重合体およびそれを用いた電池	藤本信貴 他
156	パナソニック(株)	特願 2008-256730	国内	2008/10/1	公開	ナノファイバ製造装置、ナノファイバ製造方法	石川和宜 他
157	パナソニック(株)	特願 2008-256862	国内	2008/10/1	公開	ナノファイバ製造装置、ナノファイバ製造方法	石川和宜 他

158	東京工業大学 パナソニック (共願)	特願 2008-257864	国内	2008/10/2	公開	ナノファイバーの合糸方法 及び装置	高橋光弘 他
159	パナソニック 株	特願 2008-257474	国内	2008/10/2	擬制 取下	ナノファイバ製造方法、およ び製造装置	黒川崇裕 他
160	パナソニック 株	特願 2008-258292	国内	2008/10/3	公開	ナノファイバ製造装置、ナノ ファイバ製造方法	石川和宜 他
161	東京工業大学	特願 2008-272461	国内	2008/10/2 2	公開	紫外線遮断機能を有する不 織布及びその製造法	皆川美江 他
162	パナソニック 株	特願 2008-286890	国内	2008/11/7	公開	ナノファイバ製造装置、ナノ ファイバ製造方法 (特願 2007-312756の優先権 出願)	黒川崇裕 他
163	東京工業大 学、日本電気、 帝人、DIC、 住友精化(共 願)	特願 2008-287971	国内	2008/11/1 0	公開	二次電池及びその製造方法	岩佐繁之 他
164	東京工業大 学、日本電気 株、帝人株、 DIC株、住友 精化株	特願 2008-287971	国内	2008/11/1 0	公開	二次電池及びその製造方法	岩佐繁之 他
165	日本電気株 東京工業大学 帝人株 DIC株 住友精化株	特願 2008-287971	国内	2008/11/1 0	出願 公開	二次電池及びその製造方法	岩佐繁之 他
166	住友精化株 日本電気株 DIC株 東工大 帝人株	2008-287971	国内	2008/11/1 0	公開	二次電池及びその製造方法	藤本信貴 他
167	パナソニック 株	特願 2008-293847	国内	2008/11/1 7	公開	ナノファイバ製造方法、ナノ ファイバ製造装置	石川和宜 他
168	パナソニック 株	特願 2008-294950	国内	2008/11/1 8	公開	ナノファイバ製造装置、ナノ ファイバ製造方法	黒川崇裕 他
169	パナソニック 株	特願 2008-298802	国内	2008/11/2 1	公開	ナノファイバ製造装置、ナノ ファイバ製造方法	黒川崇裕 他
170	東京工業大 学、帝人株	特願 2008-306111	国内	2008/12/1	出願 公開	ピッチ繊維の製造方法	三好孝則 他
171	パナソニック 株	特願 2008-307808	国内	2008/12/2	公開	ナノファイバ製造方法、およ び製造装置	住田寛人 他
172	パナソニック 株	特願 2008-320702	国内	2008/12/1 7	公開	高分子ウェブの製造方法、お よび装置	住田寛人 他
173	パナソニック 株	特願 2008-323939	国内	2008/12/1 9	公開	ナノファイバ製造方法、およ び製造装置	黒川崇裕 他
174	栗田工業株	特願 2009-000913	国内	2009/1/6	公開	フィルタ、その製造方法及び 流体処理方法	川勝孝博 他
175	パナソニック 株	特願 2009-002073	国内	2009/1/7	公開	ナノファイバ製造装置、ナノ ファイバ製造方法	黒川崇裕 他

176	東京工業大学 パナソニック (共願)	特願 2009-006738	国内	2009/1/15	公開	ナノファイバ製造装置、および製造方法	富永善章 他
177	住友精化(株)	2009-022910	国内	2009/2/3	公開	ニトロキシドラジカル架橋 重合体組成物	松下英樹 他
178	パナソニック (株)	特願 2009-023866	国内	2009/2/4	公開	ナノファイバ製造装置	黒川崇裕 他
179	パナソニック (株)	特願 2009-024336	国内	2009/2/4	公開	ナノファイバ製造装置、ナノ ファイバ製造方法	石川和宜 他
180	パナソニック (株)	特願 2009-025329	国内	2009/2/4	擬制 取下	ナノファイバ製造装置、ナノ ファイバ製造方法	石川和宜 他
181	帝人(株)	特願 2009-024805	国内	2009/2/5	擬制 取下	無機繊維およびその製造方 法	天満美和 他
182	パナソニック (株)	特願 2009-032628	国内	2009/2/16	公開	ナノファイバ製造装置、およ び製造方法	宮田正伸 他
183	パナソニック (株)	特願 2009-033158	国内	2009/2/16	公開	ナノファイバ製造装置、ナノ ファイバ製造方法	石川和宜 他
184	帝人(株)	特願 2009-035017	国内	2009/2/18	出願 公開	ショットを含まない無機織 維及びその製造方法	天満美和 他
185	帝人(株)	特願 2009-046004	国内	2009/2/27	出願 公開	無機繊維およびその製造方 法	天満美和 他
186	パナソニック (株)	特願 2009-051032	国内	2009/3/4	公開	ナノファイバ製造装置、樹脂 変更方法	黒川崇裕 他
187	パナソニック (株)	特願 2009-051114	国内	2009/3/4	公開	ナノファイバ製造装置、ナノ ファイバ製造方法	黒川崇裕 他
188	パナソニック (株)	PCT/JP2009/001 050	PCT	2009/3/9	公開	繊維製造方法、繊維製造装 置、固体高分子型燃料電池 (特願 2008-063190、 2008-211218 号の外国出願)	住田寛人 他
189	パナソニック (株)	特願 2009-058691	国内	2009/3/11	公開	ナノファイバ製造装置、ナノ ファイバ製造方法	黒川崇裕 他
190	日本電気、早 稲田大学、住 友精化	特願 2009-059233	2010/3/5 PCT 出 願	2009/3/12	PCT 番号 取得	ピロリン系ニトロキシド重 合体およびそれを用いた電 池	岩佐繁之 他
191	住友精化(株) 日本電気(株) 早稲田大学	2009-059233	PCT	2009/3/12	公開	ピロリン系ニトロキシド重 合体およびそれを用いた電 池	藤本信貴 他
192	ゲンゼ(株)	特願 2008-9842	国内	2009/3/19	公開	複合ファブリック、該複合フ ァブリックを含む衣料及び 該複合ファブリックを製造 する方法	倉橋孝臣 他
193	パナソニック (株)	PCT/JP2009/001 256	PCT	2009/3/23	公開	ナノファイバ製造装置、ナノ ファイバ製造方法 (特願 2008-096539、2008-178233 号の外国出願)	住田寛人 他
194	日本電気(株)	特願 2009-082753	国内	2009/3/30	公開	電池及び電池の製造方法	山下修他
195	東京工業大 学、帝人(株)	特願 2009-091008	国内	2009/4/3	出願 公開	超極細炭素繊維の製造方法	三好孝則 他
196	東京工業大 学、帝人(株)	特願 2009-091009	国内	2009/4/3	出願 公開	炭素繊維の製造方法	小村伸弥 他

197	パナソニック 株	特願 2009-091552	国内	2009/4/3	公開	ナノファイバ製造装置、ナノ ファイバ製造方法	石川和宜 他
198	東京工業大 学、帝人株	PCT(特願 2008-100029,30 合体) PCT/JP2009/057 406	PCT	2009/4/6	指定 国移 行済 み	炭素繊維およびその製造方 法	小村伸弥 他
199	東京工業大 学、帝人株	特願 2010-507294	国内 (PCT 移行)	2009/4/6	審査 請求	炭素繊維及びその製造方法	小村伸弥 他
200	東京工業大 学、帝人株	98111505	台湾	2009/4/7	出願 公開	炭素繊維及びその製造方法	小村伸弥 他
201	帝人株 群馬大学	特願 2009-094735	国内	2009/4/9	出願 公開	電気二重層キャパシタ用導 電助剤および電気二重層キ ャパシタ	車金柱他
202	帝人株	200780048437.0	中国	2009/6/1	審査 請求	セラミック繊維およびセラ ミック繊維の製造方法	三好孝則 他
203	帝人株	12/517137	米国	2009/6/1	出願 公開	セラミック繊維およびセラ ミック繊維の製造方法	三好孝則 他
204	日本電気株	特願 2009-132950	国内	2009/6/2	取下	蓄電デバイス	中原謙太 郎他
205	住友精化株	2009-142148	国内	2009/6/16	公開	3-ホルミル-2, 2, 5, 5-テトラメチルピロリン -1-オキシルの製造方法	金原祐治 他
206	住友精化株	2009-142149	国内	2009/6/16	公開	3-オキシラニル-2, 2, 5, 5-テトラメチルピロリン -1-オキシルの製造方 法	金原祐治 他
207	日本電気株	特願 2009-091009	国内	2009/6/18	取下	回路搭載二次電池及びその 製造方法	山下修他
208	帝人株	2009-7013218	韓国	2009/6/25	出願 公開	セラミック繊維およびセラ ミック繊維の製造方法	三好孝則 他
209	パナソニック 株	特願 2009-150618	国内	2009/6/25	擬制 取下	ナノファイバ製造装置、およ びナノファイバ製造方法	黒川崇裕 他
210	日清紡ホール ディングス株	JP2009/061896	PCT	2009/6/30	出願	液体の保存材および保存方 法	佐々木直 一他
211	帝人株	07850861.1	欧州	2009/7/14	審査 請求	セラミック繊維およびセラ ミック繊維の製造方法	三好孝則 他
212	東京工業大学 パナソニック 株	特願 2009-168295	国内	2009/7/16	公開	ナノファイバ製造装置およ び製造方法	高橋光弘 他
213	グンゼ株	特願 2009-181737	国内	2009/8/4	公開	極細繊維不織布の製造方法 及び極細繊維不織布	倉橋孝臣 他
214	グンゼ株	特願 2009-220545	国内	2009/8/5	出願	冷感素材用複合ファブリッ ク	塚田章一 他
215	住友精化株	2009-194054	国内	2009/8/26	出願	(メタ)アクリル酸系ニトロ キシド重合体の製造方法	藤本信貴 他
216	パナソニック 株	PCT/JP2009/004 480	PCT	2009/9/10	公開	ナノファイバ製造方法、及び 製造装置(特願 2008-257474 の外国出願)	黒川崇裕 他

217	栗田工業(株)	特願 2009-228115	国内	2009/9/30	出願	ポリマー繊維体、その製造方法及び流体濾過用フィルタ	川勝孝博 他
218	東京工業大学	特願 2009-238247	国内	2009/10/15	出願	電界紡糸方法および電界紡糸装置	皆川美江 他
219	帝人(株) 群馬大学	特願 2009-268834	国内	2009/11/26	出願 未公開	電極材料、その製造方法、およびその電極材料を用いた電気化学キャパシタ	小村伸弥 他
220	東京工業大学	特願 2009-288722	国内	2009/12/21	出願	電界紡糸方法および電界紡糸装置	松本英俊 他
221	住友精化(株)	2009-285352	国内	2009/12/25	出願	N, N-ビス-(2, 2, 6, 6-テトラメチル-ピペリジン-4-イル)-アミン-(メタ)アクリルアミドおよびN, N-ビス-(2, 2, 6, 6-テトラメチル-ピペリジン-N-オキシル-4-イル)-アミン-(メタ)アクリルアミド化合物架橋重合体	藤本信貴 他
222	住友精化(株)	2009-285353	国内	2009/12/25	出願	N, N-ビス-(2, 2, 6, 6-テトラメチル-ピペリジン-N-オキシル-4-イル)-アミン-(メタ)アクリルアミド化合物およびN, N-ビス-(2, 2, 6, 6-テトラメチル-ピペリジン-N-オキシル-4-イル)-アミン-(メタ)アクリルアミド化合物架橋重合体	藤本信貴 他
223	東京工業大学 パナソニック(株)	特願 2010-001515	国内	2010/1/6	出願	ナノファイバー製造装置および製造方法	石川和宜 他
224	住友精化(株)	2009-294687	国内	2010/1/7	公開	(メタ)アクリル酸系ニトロキシドラジカル重合体の製造方法	坂田淳他
225	東京工業大学 パナソニック(株)	特願 2010-008538	国内	2010/1/18	出願	ナノファイバー製造装置および製造方法	石川和宜 他
226	パナソニック(株)	PCT/JP2010/000245	PCT	2010/1/19	公開	ナノファイバー製造装置、ナノファイバー製造方法 (特願 2009-025329 の外国出願)	石川和宜 他
227	東京工業大学 パナソニック(株)	特願 2010-012504	国内	2010/1/22	出願	ナノファイバー製造装置および製造方法	石川和宜 他
228	東京工業大学 パナソニック(株)	特願 2010-018803	国内	2010/1/29	出願	ナノファイバー製造装置および製造方法	石川和宜 他
229	東京工業大学、栗田工業(株)、パナソニック(株)	特願 2010-017707	国内	2010/1/29	出願	ポリマー繊維体の製造方法及び装置	谷岡明彦 他
230	栗田工業(株) 東京工業大学 パナソニック(株)	特願 2010-017707	国内	2010/1/29	出願	ポリマー繊維体の電界紡糸方法及び電界紡糸装置	川勝孝博 他

231	栗田工業(株)	特願 2010-046710	国内	2010/3/3	取下	イオン交換フィルタ	川勝孝博 他
232	栗田工業(株)	特願 2010-057590	国内	2010/3/15	出願	液濾過用フィルタ及び液濾過方法	川勝孝博 他
233	グンゼ(株)	特願 2010-093341	国内	2010/4/14	出願	抗ウイルスフィルター	澤井恒祐 他
234	東京工業大学	特願 2010-117876	国内	2010/5/23	出願	電界紡糸方法および電界紡糸装置	皆川美江 他
235	住友精化(株) 日本電気(株) 早稲田大学	2010-127809	国内	2010/6/3	出願	ラジカルを有する化合物、重合体、およびその重合体を用いた蓄電デバイス	藤本信貴 他
236	パナソニック(株)	特願 2010-167971	国内	2010/7/27	公開	高分子ウェブの製造方法及び装置 (特願 2007-303536 の分割出願)	住田寛人 他
237	東京工業大学、帝人(株)	特願 2010-176199	国内	2010/8/5	出願 未公開	極細炭素繊維綿状体の製造方法	小村伸弥 他
238	東京工業大学、帝人(株)	09730139.4	欧州	2010/10/6	審査請求済	炭素繊維及びその製造方法	小村伸弥 他
239	東京工業大学、帝人(株)	12/936799	米国	2010/10/7	出願	炭素繊維及びその製造方法	小村伸弥 他
240	東京工業大学、帝人(株)	2010-7024412	韓国	2010/10/29	出願 未公開	炭素繊維及びその製造方法	小村伸弥 他
241	日清紡ホールディングス(株)	JP2010/070334	PCT	2010/11/4	出願	フレキシブル炭素繊維不織布	佐々木直一 他
242	栗田工業(株)	特願 2010-262515	国内	2010/11/25	出願	イオン交換フィルタ	川勝孝博 他
243	東京工業大学、帝人(株)	200980121444.8	中国	2010/12/8	審査請求済	炭素繊維及びその製造方法	小村伸弥 他
244	東京工業大学、栗田工業(株)、パナソニック(株)	特願 2010-277020	国内	2010/12/13	出願	ナノファイバー不織布の製造方法及び装置	小林秀樹 他
245	栗田工業(株) 東京工業大学 パナソニック(株)	特願 2010-277020	国内	2010/12/13	出願	ナノファイバー不織布の製造方法及び装置	小林秀樹 他
246	栗田工業(株)	特願 2010-278117	国内	2010/12/14	出願	複層シート	川勝孝博 他
247	栗田工業(株) 東京工業大学	特願 2011-008996	国内	2011/1/19	出願	複合膜、その製造方法、吸着フィルタ及び流体処理方法	小川祐一 他
248	栗田工業(株) 東京工業大学	特願 2011-008997	国内	2011/1/19	出願	複合膜、その製造方法、吸着フィルタ及び流体処理方法	小川祐一 他
249	東京工業大学	特願 2011-13251	国内	2011/1/25	出願	光電変換素子およびその製造方法	谷岡明彦 他
250	東京工業大学、帝人(株)	特願 2011-028731	国内	2011/2/14	出願 未公開	貴金属担持極細炭素繊維綿状体の製造方法	小村伸弥 他

251	東京工業大学 日本エアーフ ィルター(株) 帝人テクノプ ロダクツ(株)	特願 2011-030164	国内	2011/2/15	出願	エアフィルタ装置	奥山一博 他
-----	--	-------------------	----	-----------	----	----------	-----------

6. 受賞

- 2011年3月18日
第10回グリーン・サステイナブル ケミストリー(GSC)賞 文部科学大臣賞
「環境調和性に優れた有機ラジカル電池の研究開発」
日本電気株式会社
- 2010年2月
nano tech 2010 国際ナノテクノロジー展「nano tech 大賞」
グンゼ株式会社

7. 国際調査

調査年度	対象国	対象機関
平成 18 年度	ドイツ	マールブルグ大学 デンケンドルフ繊維研究所
	チェコ	エルマルコ社
	スウェーデン	繊維高分子研究所
	イギリス	ケンブリッジ大学等材料工学科及び先進フォトエレクトロニクス研究所
平成 19 年度	アメリカ	ニューヨークポリテクニク大学 カリフォルニア大学デービス校 ノースカロライナ州立大学 コーネル大学 ESPIN社 ドナルドソン社 Filtration 2008 (シカゴ) NIOSH
平成 20 年度	スイス	国際不織布展 (ジュネーブ)
	ドイツ	国際フィルトレーション展 (ライプチヒ)
	フランス	繊維学会大会 (ミュールーズ)
	カナダ	繊維学会大会 (モントリオール)
	アメリカ	IFAIEキスポ (国際工業織布展) (シャーロット) フィルトレーション展示会 (フィラデルフィア) NIOSH、EPA
	ヨーロッパ	展示会 デンケンドルフ繊維加工研究所 マールブルグ大学 エルマルコ社 ケンブリッジ大学
平成 21 年度	アメリカ	スタンフォード大学 ライス大学 プリンストン大学
	ドイツ	ドレスデン・ライプニッツ高分子研究所 GKSS生体材料開発センター フロイデンベルグ社
	スイス	スイス連邦材料試験研究所 (EMPA)
	イギリス	ケンブリッジ大学 先端フォトニクス・エレクトロニクス研究所 オックスフォード大学材料学科 ケンブリッジ大学金属工学科

平成 21 年度	オーストリア	1 3 t h international symposium on Wearable Computers(Linz)
	ベルギー	International Conferece,Latest Advancements in High Tech Textiles and Textile-based Materals 他 (Ghent University)
	ドイツ	マックスプランク研究所コロイド界面部門 Johannes Gutenberg University
	アメリカ	A A T C C meeting(South Carolia) Fiber Society Meeting(Georgia) Geogia Tech(Atlanta) IDTh シンポジウム(Denver)
	アメリカ	2009 Materials Research Society fall Meeting(ボストン) School of Engineering and Applied Sciences Harvard University(ケンブリッジ) MIT Media Lab(ケンブリッジ)
	ドイツ	Principles and Applications of Micro and Nanofluidics シンポジウム (Darmstadt)
平成 22 年度	アメリカ	Nanofibers for the 3rd millennium (North Carolina)
	オーストリア	Jphannes Kepler University of Linz
	シンガポール	シンガポール国立大学 ナンヤン工科大学

ナノテク・部材イノベーションプログラム基本計画

平成22年4月1日

産業技術環境局

製造産業局

1. 目的

「新成長戦略（基本方針）」（2009年12月閣議決定）に記載されている我が国の強みを活かした「課題解決型国家」の実現に向け、世界をリードする「グリーン・イノベーション」、「ライフ・イノベーション」などを迅速に推進し、課題解決とともに新たな成長の実現を目指す。

具体的には、ナノテク・部材イノベーションプログラムにおいては、情報通信、ライフサイエンス、環境、エネルギーなど、あらゆる分野に対して高度化あるいは不連続な技術革新（ジャンプアップ）をもたらすナノテクノロジー及び革新的部材技術を確立するとともに、その実用化や市場化を促進することで、我が国産業の国際競争力の維持・強化や解決困難な社会的課題の克服等を可能とすることを目的とする。

2. 政策的位置付け

○新成長戦略（基本方針）（2009年12月閣議決定）

- ・「（2）グリーン・イノベーションによる環境・エネルギー大国戦略」「（3）ライフ・イノベーションによる健康大国戦略」「（5）科学・技術立国戦略」に対応

○第3期科学技術基本計画（2006年3月閣議決定）

- ・「ナノテクノロジー・材料分野」は、特に重点的に研究開発を推進すべき分野（重点推進4分野）の一つに指定、優先的に資源配分することとされている。
- ・我が国の材料技術は、基礎研究から応用研究、素材、部材の実用化に至るまでの全ての段階において世界のトップレベルを堅持しており、我が国製造業の国際競争力の源泉となっている。

○「イノベーション25」（2007年6月閣議決定）

- ・「ナノテクノロジー・材料分野」は、中長期的に取り組むべき課題として、「1. 生涯健康な社会形成」、「2. 安全・安心な社会形成」、「4. 世界的課題解決に貢献する社会形成」、及び「5. 世界に開かれた社会形成」の分野に位置付けられている。
- ・所要の措置を講じていくことが必要である事項として以下の点が指摘されている。
 - ・学際領域・融合領域における教育等人材育成、拠点形成
 - ・社会受容を促すための積極的な取り組み
 - ・知的財産確保のための戦略的な取り組み

3. 達成目標

- ・世界に先駆けて、ナノテクノロジーを活用した不連続な技術革新を実現する。
- ・我が国部材産業の強みを更に強化することで、他国の追随を許さない競争優位を確保す

るとともに部材産業の付加価値の増大を図る。

- ・ ナノテクノロジーや高機能部材の革新を技術先導することで、これら部材を活用した情報通信、ライフサイエンス、環境、エネルギーなどの幅広い産業の付加価値の増大を図る。
- ・ 希少金属などの資源制約の打破、省エネルギー化を目指した低炭素社会の実現など、解決困難な社会的課題の克服を目指す。

4. 研究開発内容

[プロジェクト]

I. ナノテクノロジーの加速化領域

ナノテクノロジーを活用した不連続な技術革新を加速・促進する。

(1) 異分野異業種ナノテクチャレンジ（運営費交付金）

①概要

革新的なナノテクノロジーの研究開発を促進し、キーデバイスの早期実現を目指すため、大学や研究機関などの川上と企業などの川下の連携、異業種異分野の連携による提案公募によって、ナノテク実用化に向けたチャレンジを支援する。

②技術目標及び達成時期

マテリアル・プロセス研究、加工・計測技術研究、昨今の環境意識向上に対応した研究、社会課題を解決するための基盤技術研究に加え、異分野等の融合研究を推進することにより、2014年度までにナノテクノロジーの産業化のための基盤的技術を確立し、実用化を図る。

③研究開発期間

2005年度～2014年度

．情報通信領域

ナノテクノロジーや革新的部材開発技術を駆使して既存技術の微細化の壁を突破し、電子デバイス・光デバイスで世界をリードするとともに、高度化された製造技術の開発を行う。

(1) ナノエレクトロニクス半導体新材料・新構造技術開発—うち新材料・新構造ナノ電子デバイス（運営費交付金）

①概要

従来の半導体は、性能の向上（高速化、低消費電力化、高集積化）を確保するために微細化が進められてきたが、絶縁性、誘電率等の物理的限界、微細化に伴う製造コストの増大など、集積度向上によるメリットが十分達成されなくなっている。

本研究開発では、シリコンで培った微細化技術やデバイス原理を活用しながら、シリコン材料の物理的限界を突破するための“新材料”および“新（デバイス）構造”の開発を行い、次世代の電子デバイス技術を確立する。

②技術目標及び達成時期

2011年度までに、産業界が10年後を見据えた将来の電子デバイスを開発する際に、産業技術として活用できるかどうかの実現可能性を見極め、また技術シーズを確立

する。

③研究開発期間

2007年度～2011年度

(2) スピントロニクス不揮発性機能技術プロジェクト（運営費交付金）

①概要

将来のエレクトロニクスにおいて中核的な基盤技術となり得るスピントロニクス技術（電子の電荷ではなく、電子の自転＝「スピン」を利用する全く新しいエレクトロニクス技術）を確立するため、強磁性体ナノ構造体におけるスピンの制御・利用基盤技術を開発し、我が国が世界に誇るシーズ技術を核として、産学官の共同研究体制を構築し、将来の中核的エレクトロニクス技術における我が国の優位性の確保を図る。

②技術目標及び達成時期

2010年度までに、超高集積で高速な不揮発性メモリとして期待されるスピンメモリのための基盤技術を確立する。また、新ストレージ・メモリデバイス、不揮発性スピノ光機能素子、スピン能動素子等の新しい動作原理によるスピン新機能素子の実現のための基盤技術を確立する。

③研究開発期間

2006年度～2010年度

(3) ナノエレクトロニクス半導体新材料・新構造技術開発—うち窒化物系化合物半導体基板・エピタキシャル成長技術の開発（運営費交付金）（再掲）

①概要

窒化物系化合物半導体は、パワーデバイス、高周波デバイス、発光デバイス等、重要なデバイスの飛躍的な性能向上と消費電力削減への貢献を期待されている。このため、従来の半導体材料では実現出来ない領域で動作可能なハイパワー・超高効率の電子素子、超高速電子素子等の作成に必要な窒化物系化合物半導体先進技術の国際競争力を強化すべく、高品質かつ大口径単結晶基板、高品質かつ大口径エピタキシャル成長技術等の開発を行う。

なお、本事業は、エネルギー需給構造の高度化を図る観点から行うものである。

②技術目標及び達成時期

2011年度までに、次世代窒化物系半導体デバイスを実現する以下結晶作製技術を開発する。

1) 基板技術（GaN、AlNバルク結晶作製技術）

・口径2～4インチで高品質エピ成膜を可能とする低コストの単結晶基板作製技術の確立。

2) エピ技術（エピタキシャル成膜及び計測評価技術）

・低欠陥高品質エピ層を実現する成膜技術及び膜成長過程を計測評価する技術の確立。

・高出力かつ高安定動作可能なエピ層の実現

・高耐圧超高速な新しいデバイス構造の開発

③研究開発期間

2007年度～2011年度

(4) 三次元光デバイス高効率製造技術（運営費交付金）

①概要

波面制御素子による空間光変調技術を確立し、ガラス中に三次元造形を高精度に一括形成できるプロセス技術を開発する。この技術を用いて、具体的な光デバイスを作製し、当該技術の有効性の確認と市場への早期参入のための基盤技術を確立する。

②技術目標及び達成時期

2010年度までに波面制御素子による空間光変調技術を用いたフェムト秒レーザー照射技術等を確立し、高精度の光デバイスを高速に作製できるプロセス技術を開発する。

③研究開発期間

2006年度～2010年度

(5) 低損失オプティカル新機能部材技術開発（運営費交付金）（再掲）

①概要

近接場光の原理・効果を応用した低損失オプティカル新機能部材技術を開発し、実用化の目処を得ることを目的とする。動作原理に近接場光を用いるオプティカル新機能部材は、従来の材料特性のみに依存した光学部品では不可能な機能・性能を発揮し、液晶プロジェクター・液晶ディスプレイなど情報家電の省エネルギー、高性能・高信頼化を図る上でのキーデバイスとなることが期待できる。

なお、本事業は、エネルギー需給構造の高度化を図る観点から行うものである。

②技術目標及び達成時期

2010年度までに、共通基盤技術として、ナノ構造部材の設計・作製・評価技術を開発するとともに、ナノ構造部材に発現する近接場光の機能を動作原理とする低損失オプティカル新機能部材を検討し機能を確認する。

③研究開発期間

2006年度～2010年度

(6) 半導体機能性材料の高度評価基盤開発（運営費交付金）（再掲）

①概要

情報通信機器の高機能化や低消費電力化等の要求を満たす半導体集積回路を実現するため、新たな機能性材料開発に貢献する評価基盤技術を開発し、さらに開発した機能性材料を半導体及び半導体集積回路に適用できる統合的なソリューション技術を開発する。

なお、本事業は、エネルギー需給構造の高度化を図る観点から行うものである。

②技術的目標及び達成時期

2011年度までに、半導体デバイス性能に直結する接合素子の性能性及び信頼性等、半導体製造プロセス全体を俯瞰しつつ、機能性材料開発が可能となる評価基盤技術を開発し、開発した機能性材料を用いた統合的なソリューションが提案できる材料評価基盤を構築する。

③研究開発期間

2009年度～2011年度

． ライフサイエンス・健康・医療領域

ナノテクノロジーを駆使して初めて可能となる診断・治療により革新的な医療を実現する。

(1) 個別化医療実現のための技術融合バイオ診断技術開発（運営費交付金）（再掲）

①概要

我が国が有する微細加工技術・表面処理技術といったナノテク等の強みを活かし、染色体異常を高感度、高精度かつ迅速、安価で非コード領域までを検出するゲノムアレイや解析基盤技術開発を行うとともに、全自動解析システムの開発を行う。

②技術目標及び達成時期

2010年度までに、BAC（染色体の断片）を用いた非コード領域を含むゲノム全領域を検出できる高精度ゲノムアレイを開発する。さらに、臨床現場において、微量サンプル（数ナノグラム）から、12時間以内に染色体異常（増幅、欠失、コピー数多型等）を、低コストかつ定量性・再現性を確保して検出ができる自動染色体異常解析システムのプロトタイプを開発する。

③研究開発期間

2006年度～2010年度

． エネルギー・資源・環境領域

ナノテクノロジーや革新的部材開発技術を駆使して、エネルギー・資源・環境等の社会的制約を克服すると同時に我が国の強みであるナノテク関連産業・部材産業の競争力を強化する。

() エネルギー制約の克服

(1) サステナブルハイパーコンポジット技術の開発（運営費交付金）（再掲）

①概要

炭素繊維複合材料は、軽量、高強度等の優れた特性を有している。従来の熱硬化性樹脂を用いた炭素繊維複合材料では成形性・加工性に乏しくリサイクルが困難であったため、熱可塑性樹脂を用いた炭素繊維複合材料（CFRTP）の開発を行う。

なお、本事業は、エネルギー需給構造の高度化を図る観点から行うものである。

②技術目標及び達成時期

2012年度までに、炭素繊維と熱可塑性樹脂との中間基材を開発し、高速成形技術、接合技術及びリサイクル技術を開発する。

③研究開発期間

2008年度～2012年度

(2) マルチセラミックス膜新断熱材料の開発（運営費交付金）（再掲）

①概要

住宅やビルなどの冷暖房における大幅な省エネを実現する画期的な断熱性能を持つ壁および窓材料を、セラミックスのナノ多孔体構造やポリマー複合化構造などからなるマルチセラミックス膜アセンブリ技術によって開発する。

なお、本事業は、エネルギー需給構造の高度化を図る観点から行うものである。

②技術目標及び達成時期

2011年度までに、熱貫流率（熱の伝わりやすさ）が $0.3\text{W}/\text{m}^2\text{K}$ 以下、壁厚さ10mm程度の超断熱壁材料および熱貫流率が $0.4\text{W}/\text{m}^2\text{K}$ 以下、光（可視光）透過率が65%以上（Low-Eガラス使用）、ヘイズ率が1%以下の超断熱窓材料を実現する。

③研究開発期間

2007年度～2011年度

(3) カーボンナノチューブキャパシタ開発プロジェクト（運営費交付金）（再掲）

①概要

高純度、高密度に配向した長尺の単層カーボンナノチューブの大量合成技術を開発するとともに、これを用いた従来よりも格段にパワー（電力）と蓄電量が大きなキャパシタを開発する。

なお、本事業は、エネルギー需給構造の高度化を図る観点から行うものである。

②技術目標及び達成時期

2010年度までに、単層カーボンナノチューブの高度配向技術及び大量生産技術を確立するとともに、キャパシタ製造技術を確立することで、 $20\text{Wh}/\text{Kg}$ の高エネルギー密度と耐久性を有する電気二重層キャパシタを開発する。

③研究開発期間

2006年度～2010年度

(4) 革新的省エネセラミックス製造技術開発（運営費交付金）（再掲）

①概要

小型炉設備で生産可能な小型セラミック中空ユニットを複数組みあわせることで、これまでその製造が難しかった複雑形状かつ大型セラミックス部材を省エネで製作することができる革新的なセラミック部材製造技術を開発する。

なお、本事業は、エネルギー需給構造の高度化を図る観点から行うものである。

②技術目標及び達成時期

2013年度までに、高機能化された小さな精密ブロックを立体的に組み上げ、高効率で接合、一体化をし、複雑形状や大型の部材を製造可能とする革新的なプロセス技術の基盤を確立し、高耐性部材、高温断熱部材及び高比剛性部材の試作を行う。

③研究開発期間

2009年度～2013年度

(5) 革新的ガラス溶融プロセス技術開発（運営費交付金）（再掲）

①概要

プラズマ等による高温を利用し瞬時にガラス原料をガラス化することにより、極めて効率的にガラスを気中で溶融（インフライトメルティング法）し省エネに資する革新的ガラス溶融プロセス技術を開発する。

なお、本事業は、エネルギー需給構造の高度化を図る観点から行うものである。

②技術目標及び達成時期

2012年度までに、インフライトメルティング法により原料を溶解する技術、カレットをガラス原料として利用するため高効率で加熱する技術、カレット融液とインフライトメルティング法による原料融液とを高速で混合する技術を開発する。

③研究開発期間

2008年度～2012年度

(6) 革新的セメント製造プロセス技術開発（運営費交付金）（再掲）

①概要

クリンカ（セメントの中間製品）焼成温度の低温化等の効果がある物質（鉍化剤）の開発等を行うことにより、焼成温度の低温化や焼成時間の短縮化等、非従来型の革新的なセメント製造プロセスの基盤技術を開発する。

なお、本事業は、エネルギー需給構造の高度化を図る観点から行うものである。

②技術目標及び達成時期

2014年度までに、単位セメント製造重量当たりのエネルギー消費量8%削減を可能とする基盤技術を確立する。

③研究開発機関

2010年度～2014年度

(7) 高温超電導電力ケーブル実証プロジェクト（運営費交付金）（再掲）

①概要

革新的な高効率送電技術を確立して高温超電導ケーブルの実用化を促進するため、工業生産プロセスで実用化レベルに達している高温超電導線材（DI-BSCCO等）を活用し、首都圏の系統に接続する実証試験及び評価を行う。

なお、本事業は、発電用施設による電気の供給の円滑化を図る観点から行うものである。

②技術目標及び達成時期

2012年度までに、200MVA級の中間接続部を有した三心一括型高温超電導ケーブルを、冷却装置や保護装置などの付帯設備とともに66KV実系統に接続して、12ヶ月以上の長期連系試験を行うことによって総合的な安全性や信頼性を実証する。

③研究開発期間

2007年度～2012年度

(8) 発電プラント用超高純度金属材料の開発（運営費交付金）（再掲）

①概要

超高純度金属材料を発電設備の蒸気配管等に実用化することを目指し、高純度金属材料の高度化に向けた低コスト・量産化製造技術を開発し、実使用環境における超高純度金属材料の耐久性試験等を行う。

なお、本事業は、発電用施設における電気の供給の円滑化を図る観点から行うもので

ある。

②技術目標及び達成時期

2010年までに、不純物総量100ppm未満、溶解量数100kg以上の低コスト・量産化技術製造技術を開発するとともに、製造された超高純度材料が発電プラントの各種機器に適用でき、本材料の持つ優れた特性を長期に亘って発揮できることを確認する。

③研究開発期間

2005年度～2010年度

(9) 次世代蓄電池材料評価基盤技術開発（運営費交付金）（新規）（再掲）

①概要

新しい蓄電池材料の性能や特性を共通的に評価できる基盤技術を確立する。これにより、各材料メーカーと電池メーカーとの擦り合わせ期間が短縮され、高性能蓄電池・材料開発の効率が抜本的に向上・加速化される。

②技術目標及び達成時期

2014年度までに、蓄電池の新材料について、構成材料間での適合性及び材料－製造工程間の相互影響の解析を踏まえた、共通的な性能特性評価方法（最適な製造工程、充放電様式等）を確立し、それを踏まえ、評価シミュレーション・システム技術の開発を行う。

③研究開発期間

2010年度～2014年度

(10) 低炭素社会を実現する新材料パワー半導体プロジェクト

①概要

次世代自動車のインバータ（電力制御装置）などに用いるパワー半導体について、Si（シリコン）に比べ、電力損失が1/100以下であるなど、優れた物性を有するSiC（シリコンカーバイド）の実用化を目指す。

②技術目標及び達成時期

高品質・低コストな大口径SiCウエハ製造技術及びSiC高耐圧スイッチングデバイス製造技術を確立する。具体的には、2014年度までに直径15cm（現状の1.5倍。面積では約2.3倍）のウエハ製造技術、鉄道等に用いられる5kV級の高耐圧スイッチングデバイス製造技術を開発する。

③研究開発期間

2010年度～2014年度

() 資源制約の克服

(1) 希少金属代替材料開発プロジェクト（運営費交付金）

①概要

ハイテク製品の製造に不可欠であり世界的な需給逼迫が懸念されるレアメタル（タンガステン、インジウム、ディスプロシウム）について、ナノテクノロジー等の最先端技

術を活用して、代替材料開発・使用量削減を行う。なお、平成21年度からは、これまでの対象3鉱種に加えて、白金、セリウム、テルビウム等も研究開発の対象とする。

②技術目標及び達成時期

タングステン、インジウム、ディスプレイウムについては2011年度までに、白金、セリウム、テルビウム等については2013年度までに、使用原単位について現状と比較して削減ができる製造技術を開発し、ユーザー企業、大学等の外部機関に対して機能評価のためにラボレベルで提供（試料提供）できる水準に至るまでの技術を確立することを目標とする。また、製品の機能や製造コストは現状と同等であることを少なくとも維持することを前提とする。

〔対象元素〕

- ・超硬工具向けタングステン（W）
- ・透明電極向けインジウム（In）
- ・希土類磁石向けディスプレイウム（Dy）
- ・排ガス浄化向け白金族（Pt）
- ・精密研磨向けセリウム（Ce）
- ・蛍光体向けテルビウム、ユーロピウム（Tb、Eu）

③研究開発期間

2007年度～2013年度

（ ）環境制約の克服

（1）グリーン・サステイナブルケミカルプロセス基盤技術開発

①概要

化学品等の製造プロセスにおけるシンプル化、クリーン化、原材料・資源の多様化・有効利用、更に、廃棄物の減容化、容易なりサイクル等を実現し、産業競争力強化、国際規制の先取りを図って、将来にわたっても持続的に化学品等を製造するための必要なGSC（グリーン・サステイナブルケミカル）プロセスを開発する。

②技術的目標及び達成時期

2015年度までに、有害な化学物質を削減できる又は使わない革新的な製造プロセス、廃棄物、副生成物を削減できる革新的な製造プロセス、資源生産性を向上できる革新的な製造プロセスの開発を行う。

③研究開発期間

2008年度～2015年度

（2）革新的マイクロ反応場利用部材技術開発（運営費交付金）（再掲）

①概要

マイクロリアクター、ナノ空孔などの精密反応場を利用し、反応分子の自由な運動を活性種レベルで制御した革新的な化学反応プロセスと新機能材料創成技術の確立を目指す。さらに、マイクロリアクターとナノ空孔反応場の組み合わせ、各反応場とマイクロ波等のエネルギー供給手段との組み合わせにより協奏的反応場を構成し、さらなる高効率生産等を可能にする基盤技術を開発する。これらの技術の確立により、反応システム

の小型化、多段プロセスの簡略化等を通じた化学産業の製造工程等の省エネルギー化を図る。

なお、本事業は、エネルギー需給構造の高度化を図る観点から行うものである。

②技術的目標及び達成時期

2010年度までに、マイクロリアクター技術、ナノ空孔技術を軸とし、これらに更にマイクロ波、超臨界流体等のエネルギー供給手段を組み合わせた協奏的反応場を構成することにより、これまでにない革新的な化学反応プロセスを確立し、新機能材料創成技術を実現する。さらに、これらの技術を用いて高性能・高機能電子材料、医薬中間体などの部材を開発する。

③研究開発期間

2006年度～2010年度

(3) 循環社会構築型光触媒産業創成プロジェクト（運営費交付金）

①概要

我が国で発見された光触媒技術の新産業分野開拓を目指し、サイエンスにさかのぼることにより、紫外光のみならず、可視光レベルでの性能・機能の飛躍的な向上のための技術基盤を構築する。これにより、従来では困難とされてきた医療関連分野や住宅建材分野、環境関連分野等に光触媒技術を導入し、安心・安全な環境を提供できる技術を開発する。

②技術目標及び達成時期

2011年度までに、材料レベルで紫外光活性2倍、可視光活性10倍の感度向上を達成し、その高感度光触媒を適用した成膜プロセス技術の基盤技術を確立する。

③研究開発期間

2007年度～2011年度

(4) 高感度環境センサ部材開発

①概要

ダイオキシンをはじめとする極微量有害有機物質を超高感度で安価かつ簡易に計測するために、高感度セラミックセンシング材料を用いた環境センサーを開発する。

②技術目標及び達成時期

2010年度までに、ダイオキシン類、エストラジオール及びビスフェノールAについて、0.001ng・mlの濃度において有意な電気信号として検出し得る小型・携帯型計測器に挿入可能な寸法のセンサ部材の開発を目標とする。

③研究開発期間

2006年度～2010年度

(5) 次世代高信頼性ガスセンサー技術開発（運営費交付金）（再掲）

①概要

一酸化炭素中毒やガス漏れなどのガス事故を限りなくゼロに近づけるため、センサー素子のナノレベルでのメカニズム解析及び開発設計を行い、コードレスで高信頼性を有

する次世代高信頼性ガスセンサー（COセンサー・メタンセンサー）を開発する。

なお、本事業は、エネルギー需給構造の高度化を図る観点から行うものである。

②技術目標及び達成時期

2011年度までに、最先端のナノテクノロジー及びMEMS技術を導入し、電池駆動で5年以上の長寿命、高信頼性（数百ppm以下の故障率）、低コストなCOとメタンのセンサーを開発する。

③研究開発期間

2008年度～2011年度

(6) 環境調和型水循環技術開発（運営費交付金）（再掲）

①概要

我が国が強みを持つ、膜技術を始めとする水処理技術を強化し、省水型・環境調和型の水循環システムの開発に資する省エネ・省水型の要素技術を開発する。

②技術目標及び達成時期

2013年度までに、以下の技術を開発する。

・革新的膜分離技術の開発：

従来法に比べ膜透過加圧エネルギー等を50%以上削減。

・省エネ型膜分離活性汚泥法（MBR）技術の開発：

従来法に比べ膜洗浄の曝気（空気気泡）エネルギー等を30%以上削減。

・有用金属・有害物質の分離・回収技術の開発：

従来法に比べ汚泥の削減により汚泥処理・処分エネルギーを80%以上削減。

・高効率難分解性物質分解技術の開発：

従来法に比べ窒素処理に係るエネルギーを50%以上削減。

オゾン酸化法等のエネルギーを50%以上削減。

③研究開発期間

2009年度～2013年度

材料・部材領域

極めて広範囲な産業領域に波及する材料・部材領域について、ユーザー製造業等との連携（川上・川下連携）を促進し、高度な部材産業群の「すり合わせ力」を一層強化する。

(1) 鉄鋼材料の革新的高強度・高機能化基盤研究開発（運営費交付金）（再掲）

①概要

プラント、構造物や自動車等の革新的な高効率化、省エネルギー化、長寿命化、安全・安心化を図るため、最新の科学的知見を導入し、鉄鋼材料及び鋼構造体を超高機能化する基盤的研究開発を行う。具体的には、高強度鋼、高機能鋼の実用化拡大の基盤となる(1)高級鋼厚板(高強度鋼、極低温用鋼、耐熱鋼)溶接部の信頼性・寿命を大幅に向上する溶接施工技術(高密度・清浄熱源溶接技術)、及び金属組織制御技術を基本とする材料技術(クリーブ破壊及び水素破壊の機構解明等を踏まえた)の開発、(2)部材の軽量化を図るために強度、加工性等の最適機能傾斜を付与する機械部品鍛造技術(駆動部材の信頼性確保のための耐疲労破壊特性の向上を踏まえた)の開発を行う。

なお、本事業は、エネルギー需給構造の高度化を図る観点から行うものである。

②技術目標及び達成時期

2011年度までに、高級鋼厚板（高強度鋼・極低温用鋼・耐熱鋼）の溶接を予熱・後熱なしに可能とする溶接技術と材料技術を開発するとともに、傾斜機能部材の鍛造技術を開発する。

③研究開発期間

2007年度～2011年度

(2) 超ハイブリッド材料技術開発（運営費交付金）

①概要

従来実現が不可能と考えられていた相反する複数機能（トレードオフ機能）を両立できる材料を、異種素材の組合せ（ハイブリッド化）により実現するための技術を開発する。要素技術として、異種材料間の界面挙動をシミュレーション技術等により解明し、ナノレベルよりもさらに微小な原子・分子レベルでのハイブリッド化構造・配列制御のための合成技術を開発する。従来の単一材料では実現困難であったトレードオフの性能を引き出すことで、自動車用構造材料、パワーデバイス用材料、光学材料等を出口イメージとした、高機能革新部材製造に必要な技術基盤を開発する。

②技術目標及び達成時期

2011年度までに、電気・電子材料、光学材料、その他工業材料について従来材料では実現できなかった相反機能を解消するとともに、市場評価が可能な成果物を供試し、市場（ユーザー）から、客観的な実用化研究開発課題を抽出する。また、単なる相反機能の解消ではなく、相反機能を制御・実現する技術を開発する。

③研究開発期間

2007年度～2011年度

(3) 先端機能発現型新構造繊維部材基盤技術の開発（運営費交付金）

①概要

電界紡糸や溶融紡糸等により創製される極微細な繊維状材料に対してナノオーダーの成形加工や微細な界面加工ならびに複合化することで材料を高機能化した革新的部材を創出する。高機能新材料を求めるユーザーの要望を満たす繊維の極微細加工と高次複合化を解決する基盤技術開発を行う。

②技術的目標及び達成時期

2010年度までに、電界紡糸法による繊維高機能化、大型装置化技術およびナノ溶融分散紡糸法による超極細炭素繊維製造技術を開発し、これら基盤技術を活用して、高性能・高機能電池用部材、高性能・高機能フィルター用部材、高性能・高機能医療衛生用・産業用部材を開発する。

③研究開発期間

2006年度～2010年度

(4) 次世代光波制御材料・素子化技術（運営費交付金）（再掲）

①概要

ガラス材料に関する精密モールド技術を確立し、機能性の高い光波制御素子を低コストで生産できるプロセス技術を開発することで部材の小型化・高機能化を図りつつ、省エネを実現する。

なお、本事業は、エネルギー需給構造の高度化を図る観点から行うものである。

②技術目標及び達成時期

2010年度までにサブ波長レベルの微細構造をガラス表面にモールド成形する技術を実現し、実装可能な具体的なデバイスを作製する。

③研究開発期間

2006年度～2010年度

(5) 高機能複合化金属ガラスを用いた革新的部材技術開発（運営費交付金）

①概要

複合化金属ガラス（金属ガラスマトリックス中に第二相として微結晶や微粒子または微小空隙等を分散させたもの）を創製して、次世代高密度記録媒体、超微小モータ用部材および高強度・高導電性電気接点部材を開発する。

②技術目標及び達成時期

2011年度までに、複合化金属ガラス合金を創製し、従来の金属ガラス単層合金の持つ優れた特徴に加えて、塑性加工性、硬磁気特性、高電気伝導性等を付与する。この複合化金属ガラスの新規特性を用いて、従来の金属ガラス単層合金では為しえなかった革新的部材の開発を行い、さらに多様な工業製品に応用することで、我が国産業の優位性を確保する。

③研究開発期間

2007年度～2011年度

(6) マグネシウム鍛造部材技術開発プロジェクト（運営費交付金）

①概要

マグネシウム合金部材について、製品歩留まりが高く、高耐疲労性を付与する鍛造技術の開発を行う。また、循環型素材としてのマグネシウム合金部材の特性を活かし、リサイクル材の鍛造用ビレット化に係る課題抽出を行う。当該技術開発により、マグネシウム鍛造部材製造技術の基盤を構築し、我が国の家電、自動車等の川下産業の競争力の強化に不可欠な高度部材を供給する。

②技術目標及び達成時期

2010年度までに高強度・高耐疲労・加工性に優れたマグネシウム鍛造技術を確立する。

③研究開発期間

2006年度～2010年度

(7) 低炭素社会を超軽量・高強度融合材料プロジェクト

①概要

日本で発見されたカーボンナノチューブ（CNT）は、電気や熱をよく通す、高強度で高い柔軟性を持つ等、非常に多くの優れた特性を持つ新規ナノ材料である。このCNTと既存材料との融合を通じて、世界をリードする成長産業の創出に貢献する高機能、高性能な新規融合材料の開発を目指す。

②技術目標及び達成時期

2011年度までにCNTの形状、物性等の制御、分離・評価技術、既存材料中に分散する技術など融合基盤研究を、2014年度までにCNTを既存材料と融合させた応用研究開発技術を確立する。

③研究開発期間

2010年度～2014年度

． 共通基盤領域

ナノテクノロジーにおけるリスク不安に対処するため、リスク管理手法を開発し、社会に貢献する産業化のための支援を推進する。

（1）ナノ粒子の特性評価手法開発（運営費交付金）

①概要

ナノ粒子のキャラクタリゼーション、計測技術の確立とともに、生体影響等評価手法、暴露評価手法及びナノテクノロジーによるリスク不安に対処したリスク管理手法を開発する。

②技術目標及び達成時期

2010年度までに、生体影響等評価手法、暴露評価手法及びリスク評価手法を開発し、ナノ粒子のリスク評価及び管理の考え方の提言を行う。

③研究開発期間

2006年度～2010年度

5. 政策目標の実現に向けた環境整備（関連施策）

ナノテクノロジーは、情報通信、ライフサイエンス、環境、エネルギーなどの分野における科学技術の進歩や課題解決に貢献する重要な技術シーズである。そのため、ナノテクノロジーの研究開発と一体となった関連施策を実施することで、その成果を市場に出していくことが重要である。主な関連施策を、以下に示す。

[技術戦略マップ]

- ・NEDO及び経済産業省では、技術戦略マップを策定、毎年改訂し、ナノテクノロジー・部材分野の将来の方向性を見定めながら、合理的かつ効果的な研究開発プロジェクトを推進している。また、技術戦略マップを活用して、多様な連携（川上川下の垂直連携、異業種間の水平連携など）による研究開発を促進、支援し、当該分野の技術革新を促進している。

[サンプル提供・実用化促進]

- ・NEDOでは、実施する研究開発プロジェクト成果のサンプルを対象として、それらを活用した用途の開発、実用化ないし製品化提案を有する企業とのマッチングを図ることで、プロジェクトの事業化を促進する取組みを実施している(サンプルマッチング事業)。

[基準・標準化]

- ・経済産業省では、ナノテクノロジー関連の研究開発成果を社会及び市場等に普及するための環境整備として、ナノテクノロジーの標準化活動（ISO/IEC、JIS）を推進している。

[広報]

- ・ナノテクノロジーに関する先端技術及び製品等の世界最大の展示会である「nano tech」が毎年日本で開催されている。

[社会受容]

- ・ナノテクノロジーの産業化の推進とともに、ナノ粒子のキャラクタリゼーション技術や人の健康や環境に及ぼす影響等の潜在的な課題に関する知見を蓄積する等のナノテクノロジーの社会受容に対する取組みを推進している。
- ・経済産業省では、2006年度から「ナノ粒子の特性評価手法開発」を開始し、工業ナノ粒子のリスク評価管理手法の確立を目標としたプロジェクトを開始し、2009年10月に「ナノ材料リスク評価書」（中間報告書）を公表した。また、政策的対応として、2009年3月に取りまとめた「ナノマテリアル製造事業者等における安全対策のあり方研究会」報告書に基づき、ナノマテリアルの製造事業者等における自主的な安全対策を促進するための情報収集・開示プログラムを実施している。
- ・OECDでは、2006年9月、化学品委員会に工業ナノ材料作業部会（WPMN）が設置され、代表的な14種の工業ナノ材料について、試験計画の合意と試験実施を目的とする「スポンサーシッププログラム」が実施されている。スポンサーシッププログラム対象物質のうち、カーボンナノチューブ（単層、多層）、フラーレンの3物質については日本が中心となって担当し、「ナノ粒子の特性評価手法開発」等の成果で貢献している。

[人材育成]

- ・独立行政法人産業技術総合研究所は、「ナノテク製造中核人材の養成プログラム」を実施し、情報家電、燃料電池、ロボット、医療機器、バイオ等の応用分野において、その産業の基盤と創出を支える中堅企業を対象として、「基礎加工技能・技術、特殊な要素技能・技術に習熟し、製造技術の高度化を図る人材」及び「豊富なナノ加工プロセスの知識や先端機器を使いこなすノウハウ等を習熟し、製造現場の技能・技術を統括できる人材」の育成を行っている。
- ・NEDOでは、我が国の産業技術の発展のため、先端分野や融合分野の技術を支える人材の育成と、人的交流の面から産学連携を促進するための「場」の形成を促進する取組みを実施している（NEDO特別講座）。具体的には、優れた成果を生み出しつつあり、大学が技術の中核となっている研究開発プロジェクトをコアプロジェクトとし、そのプロジェクトリーダーの所属大学に拠点を設置し、関連技術の人材育成、人的交流の拡大、周辺研究の実施を行うもの。ナノテクノロジー関連の研究開発プロジェクトも複数実施している。

[関係機関との連携]

- ・ナノエレクトロニクス半導体新材料・新構造技術開発—うち新材料・新構造ナノ電子デバイス、希少金属代替材料開発プロジェクトにおいては、文部科学省との合同会議を設

置するなど、連携しつつプロジェクトを推進している。

- ・経済産業省・文部科学省が協力のもと、平成21年6月より産業技術総合研究所、物質・材料研究機構、筑波大学が中核なり、茨城県つくば市において世界的なナノテク研究拠点を形成するための「つくばイノベーションアリーナ(TIA nano)」構想が推進されている。ナノエレクトロニクス、カーボンナノチューブ、ナノ材料安全評価などの研究領域、ナノデバイス実証・評価ファウンドリーなどのインフラを生かし、主要企業・大学との連携網を広げ、産学官に開かれた融合拠点として、ナノテクの産業化と人材育成を一体的に推進することとしている。

6. 研究開発の実施に当たっての留意事項

事業の全部又は一部について独立行政法人の運営費交付金により実施されるもの（事業に（運営費交付金）と記載したものは、中期目標、中期計画等に基づき、運営費交付金の総額の範囲内で、当該独立行政法人の裁量によって実施されるものである。

7. 改訂履歴

- (1) 平成12年12月28日付け制定。
- (2) 平成14年2月28日付け制定。材料ナノテクノロジープログラム基本計画（平成12・12・27工総第16号）は、廃止。
- (3) 平成15年3月10日付け制定。ナノテクノロジープログラム基本計画（平成14・02・25産局第8号）は、廃止。
- (4) 平成16年2月3日付け制定。ナノテクノロジープログラム基本計画（平成15・03・07産局第1号）は、廃止。
- (5) 平成17年3月31日付け制定。ナノテクノロジープログラム基本計画（平成16・02・03産局第7号）は、廃止。
- (6) 平成18年3月31日付け制定。ナノテクノロジープログラム基本計画（平成17・03・25産局第4号）は、廃止。
- (7) 平成19年4月2日付け制定。ナノテクノロジープログラム基本計画（平成18・03・31産局第13号）は、廃止。
- (8) 平成14年2月28日付け制定。
- (9) 平成15年3月10日付け制定。革新的部材産業創出プログラム基本計画（平成14・02・25産局第9号）は、廃止。
- (10) 平成16年3月7日付け制定。革新的部材産業創出プログラム基本計画（平成15・03・07産局第5号）は、廃止。
- (11) 平成17年3月31日付け制定。革新的部材産業創出プログラム基本計画（平成16・03・07産局第5号）は、廃止。
- (12) 平成18年3月31日付け制定。革新的部材産業創出プログラム基本計画（平成17・03・25産局第3号）は、廃止。
- (13) 平成19年4月2日付け制定。革新的部材産業創出プログラム基本計画（平成18・03・31産局第14号）は、廃止。
- (14) 平成20年4月1日付け、ナノテク・部材イノベーションプログラム基本計画制定。

ナノテクノロジープログラム基本計画（平成19・03・20産局第1号）および革新的部材プログラム基本計画（平成19・03・19産局第4号）は、本イノベーションプログラム基本計画に統合することとし、廃止。

（15）平成21年4月1日付け制定。ナノテク・部材イノベーションプログラム基本計画（平成20・03・24産局第1号）は、廃止。

（16）平成22年4月1日付け制定。ナノテク・部材イノベーションプログラム基本計画（平成21・03・27産局第2号）は、廃止。

(ナノテク・部材イノベーションプログラム)

「先端機能発現型新構造繊維部材基盤技術の開発」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

我が国の材料産業は、国際的に高い技術力と競争力を有し、我が国の経済社会の発展を支えているが、川下産業との取引のオープン化に伴いユーザーとの連携の希薄化が進行する一方で、汎用的な材料技術はアジア諸国の技術向上によるキャッチアップが進行している。そのため我が国において産学官を含む連携の強化(川上川下の垂直連携、材料創成と加工の水平連携など)を図ることで、次世代の部材分野での我が国のイノベーションを促進することが喫緊の課題となっている。

そこで本プロジェクトは、『部材分野の技術戦略マップを活用し、将来の部材の基盤技術の方向性を見定めるとともに、材料関係者だけでなく多様な連携(川上川下の垂直連携、材料創成と加工の水平連携等)による基盤技術開発を支援することで、部材分野の技術革新を促進すること』を目的とした「ナノテク・部材イノベーションプログラム」の中で、特に『川上・川中・川下の各段階における擦り合わせの連鎖こそが我が国高度部材産業の強みとなっていることから、この擦り合わせ力の向上に貢献すること』を目的として実施するものである。

材料技術は、材料の特性・機能の向上が製品機能の向上に直結するなど産業技術全般に大きな波及効果をもたらす基盤技術であるが、昨今の国際競争の激化により、さらなる飛躍的発展のキーテクノロジーとして革新的な新材料創製技術が求められている。総合科学技術会議の科学技術基本政策策定の基本方針においても、「ナノテクノロジー・材料分野」を国家的・社会的課題に対応した研究開発の重点化対象とすることについては、多様な視点から概ね妥当と評価しうるとされている。

先端機能発現型新構造繊維部材基盤技術の開発は、豊かで快適な人間生活を送りたいという国民の願望のもとに高度情報社会、省エネ・省資源、安全・安心、健康長寿命を目指した社会の実現に向けて、科学的知見を基盤に革新的な新材料創製技術を通じて深く寄与するものである。また、技術戦略マップの「環境・エネルギー分野、燃料電池、情報家電分野、医療・福祉/安全・安心分野」等にも位置づけられている。特に近年の状況は、海外においても、米国やヨーロッパを中心にこの方面の研究開発に資金や研究者開発者を投入して精力的な取り組みがなされており、グローバルな開発競争となっている。しかしわが国の現状は、高い科学的水準や技術開発力を有しているにもかかわらず、大学・研究機関や民間会社において個別に行われているにすぎない。このため、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技術開発機構」という。)は、産学の科学的、技術的ポテンシャルを結集して、共通基盤技術(水平)の上に複数の実用化技術(垂直)の展開を図るというこれまでにない新しいプロジェクト形式を組み、産学の連携を推進しつつ産業技術を組織的かつ戦略的に展開することを事業方針とし、以下のプロジェクトを実施する。

本プロジェクトは繊維状材料に対してナノオーダーの成形加工や微細な界面加工ならびに複合化することで材料を高機能化し、革新部材を創出する。共通基盤技術として、①電界紡糸法における繊維高機能化、大型装置化技術の開発、 ナノ溶解分散紡糸法による炭素超極細繊維製造技術の開発を実施し、高分子材料や無機材料や炭素材料の超極細繊維を製造すると同時にそれらを製造するために必要な基礎データ集積や製造された繊維状材料の物性や構造の計測と評価、資源環境問題を

配慮しつつ、安全性の評価等を行う。さらに、共通基盤技術で開発した成果をもとに 高性能、高機能電池用部材の開発、 高性能、高機能フィルター用部材の開発、 高性能、高機能医療衛生・産業用部材の開発を実施し、我が国産業の競争力の強化を図ることを目的とする。

(2) 研究開発の目標

【共通基盤技術】

電界紡糸法における繊維高機能化、大型装置化技術の開発

電界紡糸では大型装置における電場、溶液、温度、湿度等の制御により、

中間目標：平成 20 年度に直径のばらつきが均質な超極細繊維の製造技術を開発する。不織布状材料（ファブリック）、コーティング、フィラメントにおいての高速製造技術を開発する。

最終目標：平成 22 年度には平成 20 年度に比べて直径及びばらつきが半分以下の均質な超極細繊維の製造技術、不織布状材料、コーティング、フィラメントにおいて倍以上の高速連続製造を達成する。超極細繊維材料を各種用途に対応させるために、評価・計測に伴う結果を利用して繊維高機能化技術の開発を行う。

ナノ溶融分散紡糸法による炭素超極細繊維製造技術の開発

中間目標：平成 20 年度に直径サイズを低減、比表面積を増大した炭素超極細繊維を開発する。さらに短時間で不融化する技術開発を行う。

最終目標：平成 22 年度においては平成 20 年度に比べて平均直径で 1/5 以下、比表面積 5 倍程度、不融化時間を 1/3 以下の炭素超極細繊維の製造技術の開発を行う。

【実用化技術】

高性能、高機能電池用部材の開発

上記、共通基盤技術で得られた成果を用いることにより燃料電池、小型蓄電池、高機能電池等のエネルギー密度、出力（パワー）密度を向上し、薄型化、低コスト化した電池を開発する。

高性能、高機能フィルター用部材の開発

上記、共通基盤技術で得られた成果を用いることにより超超純水製造プロセスフィルター、超耐熱性有機および超耐熱性無機フィルター等において、捕捉能力、耐熱性向上、有害物質濃度、圧力損失低減したフィルターを開発する。

高性能、高機能医療衛生・産業用部材の開発

上記、共通基盤技術で得られた成果を用いることによりヒューマンインターフェース医療衛生部材、産業用部材等において、捕捉能力向上、圧力損失低減、細孔サイズ微細化、透湿性能向上、身体防護可能な医療衛生・産業用部材を開発する。

(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。

【共通基盤技術】

- ①電界紡糸法における繊維高機能化技術の開発
- ナノ溶融分散紡糸法による炭素超極細繊維製造技術の開発

【実用化技術】

- 高性能、高機能電池用部材の開発
- 高性能、高機能フィルター用部材の開発
- 高性能、高機能医療衛生・産業用部材の開発

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、NEDO技術開発機構が、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し実施する。

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技術開発機構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）国立大学法人 東京工業大学 教授 谷岡 明彦を置き、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。

本研究開発において、NEDO技術開発機構が主体となって行うべき基礎的・基盤的研究開発であると判断される研究開発内容に示した①②の事業は委託により実施し、市場化に向けた産業界の具体的な取り組みが示されるべき実用化研究開発であると判断される研究開発内容に示した③④⑤の事業は助成（助成率1/2）により実施する。

(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 技術開発機構は、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技術開発機構は、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

- ・ 共通基盤技術の形成に資する成果の普及

研究開発成果については、NEDO技術開発機構、実施者とも普及に努めるものとする。

- ・ 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。

- ・ 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。

(2) 基本計画の変更

NEDO技術開発機構は、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2号及び3号に基づき実施する。

(4) その他

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技術開発機構に連絡する。

その際に、NEDO技術開発機構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。

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）決定に伴い改訂。

(3) 平成19年3月、研究開発動向に合わせ目標値の単位を一部変更。

(4) 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。

(別紙) 研究開発計画

研究開発項目①「電界紡糸法における繊維高機能化、大型装置化技術の開発」

1. 研究開発の必要性

燃料電池、情報家電分野、環境・エネルギー分野、医療・福祉／安全・安心分野に求められる高機能部材を、繊維・樹脂分野の新素材開発により創成する。ユーザーの要望に対応する高度部材を供給するためには、繊維の極細化やナノ加工及び高次複合化が必須であり、これらを解決するためには高分子材料、無機材料を用いた超極細繊維や超微細構造繊維を製造し、事業化へのステップのために大型装置を用いた電界紡糸（エレクトロスピンニング）の基盤技術開発が必要である。またこれらを促進するためには基礎データ集積や製造された繊維状材料の物性や構造の計測と評価、および材料の安全性の確保が必要であり、さらに用途展開を行う上でナノ構造制御をはじめとする制御技術、被覆技術（コート）、複合化技術等の基盤技術構築が必要である。

2. 研究開発の具体的内容

(1) 大型電界紡糸装置基盤技術の開発

高分子材料や無機材料等の超極細繊維を製造し、革新部材として各種用途試験を行い実用に供するためには、不織布状材料化、コーティング化、フィラメント化が可能な高速で大型の電界紡糸装置が必要である。このために、従前とは異なるノズル製造技術、電界の制御技術、流体制御技術及び溶媒と繊維塵回収技術等の基盤技術開発を行う。

(2) 電界紡糸法における繊維高機能化技術の開発

電界紡糸法において製造される超極細繊維材料を実用に供するために、ナノ構造制御をはじめとする制御技術、被覆技術、複合化技術、ポイド化技術、中空糸化技術、固定化技術、再配列化技術、分散化技術等の繊維高機能化技術の開発を行う。

電界紡糸法において超極細繊維の直径、構造、形態、製造速度等を制御するには高電場下における高分子の溶液物性の評価・計測が必要であり、これらの方法の開発を行う。また電界紡糸法やそれに引き続く高機能化技術より製造された超極細繊維や超微細構造繊維における構造や物性の評価・計測法、および安全性の評価等について検討する。

3. 達成目標

(1) 大型電界紡糸装置基盤技術の開発

電界紡糸では大型装置における電場、溶液、温度、湿度等の制御により、

中間目標：平成 20 年度に直径 100nm、ばらつき 50%以下の均質な超極細繊維の製造技術を開発する。

最終目標：平成 22 年度には 20 μ l /本・分の噴出速度、20 万本のノズルに相当する機能を有する大型装置により直径 50nm、ばらつき 20%以下の均質な超極細繊維の製造技術を開発する。

これは超高性能エアフィルターの実現に必要な値であるがすべての実用化部材の基準となる。

(2) 電界紡糸法における繊維高機能化技術の開発

大型装置は $20\mu\text{l}/\text{本}\cdot\text{分}$ の噴出速度を有する 20 万本のノズルから構成される機能に相当しており、
中間目標:平成 20 年度には不織布状材料において $30\text{m}/\text{分}$ 、コーティングにおいて $150\text{m}/\text{分}$ 、
フィラメントにおいて $30\text{m}/\text{分}$ の製造速度を達成する。

最終目標:平成 22 年度には不織布状材料において $60\text{m}/\text{分以上}$ 、コーティングにおいて $300\text{m}/\text{分以上}$ 、
フィラメントにおいて $60\text{m}/\text{分以上}$ の高速連続製造を達成する。

さらに得られた各種知見を利用して必要な太さにおける単分散超極細繊維製造、超微細構造繊維化、被覆化、複合化へと展開することができる。

研究開発項目②「ナノ溶融分散紡糸法による炭素超極細繊維製造技術の開発」

1. 研究開発の必要性

燃料電池、情報家電分野、環境・エネルギー分野、医療・福祉／安全・安心分野に求められる高性能部材を、繊維・樹脂分野の新素材開発により創成する。ユーザーの要望に対応する高度部材を供給するためには、繊維の極細化やナノ加工及び高次複合化が必須であり、これらを解決するためには炭素材料を用いた超極細繊維や超微細構造繊維を製造し、溶融極細繊維紡糸（ナノ溶融分散紡糸）の基盤技術開発が必要である。またこれらを促進するためには基礎データ集積や製造された繊維状材料の物性や構造の計測と評価、および材料の安全性の確保が必要であり、さらに用途展開を行う上でナノ構造制御をはじめとする制御技術、被覆技術、複合化技術等の基盤技術構築が必要である。

2. 研究開発の具体的内容

(1) ナノ溶融分散紡糸法による炭素超極細繊維製造技術の開発

炭素超極細繊維は電極等における革新部材として用途試験を行い実用に供される。大型装置による超微細混練・紡糸技術、炭素高速不融化・焼成技術、結晶構造制御技術等の確立により製造時間の短縮とそれに伴うコスト低下を図るための技術開発を行う。さらに高機能化を図るための表面ナノ多孔化、超微細構造繊維化、被覆化、複合化技術の開発を行う。ナノ溶融分散紡糸法により製造された超極細繊維や超微細構造繊維における構造や物性の評価・計測法、および安全性の評価等について検討する。

3. 達成目標

ナノ溶融分散紡糸法では大型装置による超微細混練・紡糸技術、炭素不融化・焼成技術等の開発により、

中間目標：平成 20 年度に直径 500nm、比表面積 300m²/g の炭素極細繊維に対し、不融化時間を現状の 1/3 を達成する。

最終目標：平成 22 年度においては平均直径 100nm、比表面積 1500m²/g、不融化時間を現状の 1/10 の炭素超極細繊維の製造技術を達成する。

これは蓄電材料の実現に必要な値であるがすべての実用化部材の基準となる。また不融化時間を現状の 1/10 に短縮し製造コストを低下させることが可能となる。さらに各種知見を利用して必要な太さにおける超極細繊維製造、超微細構造繊維化、被覆化、複合化へと展開することができる。

研究開発項目③「高性能、高機能電池用部材の開発」

1. 研究開発の必要性

炭素超極細繊維を用いたパッシブ型燃料電池は、酸素供給性、CO₂排気性、集電性、触媒保持性に優れ薄層化が可能となる。さらに燃料や酸素の強制供給を必要としないことから超小型化 DMFC (Direct Methanol Fuel Cell) として期待されており、携帯テレビ電話、無充電モバイルパソコン、電動スクーター・カート、ロボット、パワースーツ等に必要である。また、炭素超極細繊維を用いた小型蓄電池はパワー密度及びエネルギー密度が高く瞬発性と持続性に優れており、現状対比 1/5 の低コスト化が可能となることから、高性能携帯用情報家電機器、ハイブリッド自動車、燃料電池車に必要である。さらに炭素超極細繊維を用いた薄型電池は薄型フレキシブルで高速充電可能なユビキタス電池であり、アクティブ型の IC カードやタグ、ウェアラブルデバイス、電子ペーパー等の広範なユビキタスデバイスに必要である。

2. 研究開発の具体的内容

(1) パッシブ型燃料電池の開発

電界紡糸法により超極細繊維複合布の革新的形成技術を確立し、次に電界紡糸法と焼成技術を用いて超極細炭素繊維複合布の一括多層化技術を確立する。さらに超極細炭素繊維複合電極における超極細構造効果発現の実用化技術の開発を行い、これらの電極と電解質膜を用いて MEA (Membrane and Electrode Assembly) を構成し、電池の基礎性能を確認後、パッシブ型燃料電池を組み立てる。これと同時に副生成物分解電極の開発も実施する。さらに本電池をデジタル TV 放送等動画対応型携帯電話機に内蔵する。

(2) 小型蓄電池の開発

ナノ溶融分散紡糸法により開発された炭素超極細繊維を使用する。まず、炭素超極細繊維作成技術確立後、電池性能を飛躍的に高性能化する超極細繊維のナノ孔構造制御技術開発を行う。次に、スーパーキャパシタ試作を行い基本性能評価後、実用化技術検討及び実用レベルでの性能評価を行う。当初は小容量スーパーキャパシタの製造から始め、順次中容量、大容量と容量を増大させ、大量生産技術の確立を図る。

(3) 薄型電池の開発

ナノ溶融分散紡糸法により開発された炭素超極細繊維を使用する。高速充電を図るために超極細炭素繊維との高次複合化によるラジカルポリマーの導電性向上を目指し、ラジカルポリマーと電解液の最適組合せによる電極反応速度の向上についても検討する。さらにエネルギー密度の向上も踏まえて、本超極細炭素繊維に適した新ラジカルポリマー開発及び部材/電池構成最適化による電極パック (充填) 率の向上を目指す。また、カード、タグに内蔵可能な薄型化を目指し、本超極細炭素繊維へのインクジェット印刷法などによるラジカルポリマーのコーティング技術を確立する。これら技術要素を融合して目標とする薄型電池の構成と大量生産技術の構築を図る。

3. 達成目標

(1) パッシブ型燃料電池の開発

中間目標：平成 20 年度は電極の厚さが 120 μm、燃料電池出力密度が 50 mW/cm² を達成する。

最終目標：平成 22 年度は電極の厚さが 100 μm 以下、燃料電池出力密度が 100 mW/cm² 以上、及び低コスト化を実現する。

(2) 小型蓄電池の開発

小型蓄電池である電気二重層キャパシタにおいて、

中間目標：平成 20 年度はエネルギー密度 20Wh/l、出力密度 5kW/l を達成する。

最終目標：平成 22 年度はエネルギー密度 200Wh/l、出力密度 10kW/l を達成する。

既存技術の水準は、粒状炭素質を賦活処理した粒状活性炭を用いているため、高比表面積の形成に限界がある。蓄電材料として現状の性能を凌駕する事を目的とし、炭素超極細繊維を用い、微細構造及び細孔径形成を制御する。

(3) 薄型電池の開発

薄型電池においては、10 秒程度の高速充電が可能な薄型二次電池に必要な材料並びに製造技術を開発する。電池性能としては、

中間目標：平成 20 年度は厚さ 0.3 mm、パワー密度～5 kW/L、エネルギー密度～50 Wh/L を達成する。

最終目標：平成 22 年度は厚さ 0.2 mm、パワー密度～10 kW/L、エネルギー密度～100 Wh/L を達成する。

研究開発項目④「高性能、高機能フィルター用部材の開発」

1. 研究開発の必要性

超超純水用プロセスフィルターでは不溶性基材による超極細繊維の製造、ならびに、超極細繊維への有害物質除去機能（イオン交換基や吸着物性）の付与によりノニオン及びアニオンやカチオンの除去が十分に行われる。またモジュール化、カートリッジ化等のアSEMBリにおいて、最終使用形態自体からの不純物の溶出がゼロに近いことおよびカートリッジ生産コストの低下を実現することからデバイス産業のみならず食品や医薬品等様々な分野に必要である。超耐熱性無機フィルターでは目標を達成すると使用電力量が約 40%削減される。また、耐熱性に優れる無機材料は脆弱でフィルター化が出来なかった。その無機材料からなる超極細繊維において柔軟性（曲げても折れない特性）を実現し、耐熱温度 1000℃以上のフィルターを実現する。これによって、焼却炉排気ガスの冷却工程が必要なくなる。また、本フィルターでは、無機材料の選択により、有害物質の分解除去も可能となる。このことから本フィルターは焼却用排気ガスや有害化学物質等の除去に必要である。耐熱性有機フィルターでは必要な耐熱性を維持しつつ、現状のガラス繊維では困難であった、焼却廃棄が可能で、ガラス繊維再飛散に起因するアスベスト類似作用の問題の解決につながることから従来のガラス繊維フィルターの代替に必要である。また焼却炉やその他排ガスのフィルターにも必要とされる。

2. 研究開発の具体的内容

(1) 超超純水製造プロセスフィルターの開発

超極細繊維製造及び改質を行うと同時に微量イオンや有機化合物の吸着除去発現機構解明を行う。次にフィルターの試作及びクリーンな環境下での評価試験を行い、アSEMBル技術を用いてフィルターモジュールの製作を行う。さらに長期的性能評価と各種除去システムとのハイブリッド化技術を確立する。

(2) 超耐熱性無機フィルターの開発

セラミックス系材料を用いて超極細繊維製造を行うと同時に紡糸基本条件の設定を行う。次にフィルター基本性能評価を行ったあと、コンポジット技術の確立を図る。さらにフィルター製造を行い、フィルターユニットを組み立て、試験後実用化する。

(3) 耐熱性有機フィルターの開発

アラミド系高分子を用いて超極細繊維製造を行うと同時に紡糸基本条件の設定を行う。次にフィルター基本性能評価を行ったあと、ファブリックの積層法技術の確立を図る。さらにフィルター製造を行い、フィルターユニットを組み立て、試験後実用化する。

3. 達成目標

(1) 超超純水製造プロセスフィルターの開発

中間目標:平成 20 年においてイオン交換樹脂からの有機物に関して TOC 濃度で 1ppb 程度及び金属類を 0.05ppt 程度を達成する。

最終目標:平成 22 年度は TOC 濃度で 0.1ppb 以下、及び金属類を 0.01ppt 以下を達成する。

目標値を達成するにはイオン交換繊維だけではなく活性炭、逆浸透膜等に用いている母材の分解、エネルギー消費量大などの課題がある。

(2) 超耐熱性無機フィルターの開発

中間目標:平成 20 年度は 0.1 μm 粒子が 90%捕捉可能な初期圧力損失が 180Pa であり、耐熱性 800℃を達成する。

最終目標：平成 22 年度は、0.1 μm 粒子が 90% 捕捉可能な初期圧力損失が 120Pa であり、耐熱性 1000 を達成する。

(3) 耐熱性有機フィルターの開発

中間目標：平成 20 年度は 0.1 μm 粒子が 90% 以上捕捉可能な初期圧力損失が 180Pa であり、耐熱性 300°C を達成する。

最終目標：平成 22 年度は、0.1 μm 粒子が 99% 捕捉可能な初期圧力損失が 120Pa であり、耐熱性 400°C 以上を達成する。

研究開発項目⑤「高性能、高機能医療衛生・産業用部材の開発」

1. 研究開発の必要性

繊維の極細加工と高次立体複合化により、医療衛生分野での医療事故やウイルス感染の防止の観点から、スーパークリーンルーム用部材及びヒューマンインターフェース医療衛生部材として、ウイルス・細菌の侵入や超微細ゴミを完全に除去する部材や着用快適性に優れたクリーン服・身体防護ウェア部材、針の刺さない高強度部材が必要とされ、手袋、ウェア、マスク等の医療用・産業用資材や食品や有害物質等の汚染防止保護材等、多岐材料に応用可能となる。

2. 研究開発の具体的内容

(1) スーパークリーンルーム用部材の開発

電界紡糸法を用いて高性能高分子を超極細繊維化した後、本超極細繊維と賦活化処理した超極細活性炭素繊維とを一体成型することにより、高性能ケミカルフィルター性能を併せ持つスーパークリーンルーム用部材を製造する。これらをフィルター化及びフィルターユニット化すると同時に防塵部材化を行い性能試験後実用化する。

(2) ヒューマンインターフェース医療衛生部材の開発

電界紡糸法における立体成型技術の開発と平行させながら本技術開発を進める。電界紡糸法を用いて、まず、抗菌・消臭機能を有する平面型高機能部材を開発し、次に針の刺さない高強度部材としての立体型高機能部材を開発する。また超微細ゴミや菌の侵入を完全に除去する一体型高機能部材の開発を行う。さらに長時間着用快適性にすぐれた身体防護ウェアとしての複合一体型高機能部材の開発を行う。

3. 達成目標

(1) スーパークリーンルーム用部材の開発

本プロジェクトの共通基盤で研究開発した高強度・耐熱・化学安定性を有する超極細繊維を用いて超極細活性炭素繊維を一体成型することにより、

中間目標：平成 20 年度において初期圧損が約 180Pa で捕集効率が 99.97% (直径 0.3 μm 粒子) を達成する。

最終目標：平成 22 年度は初期圧損が約 130Pa で捕集効率が 99.97%以上 (直径 0.3 μm 粒子) を達成する。

この結果、クラス 1 のスーパークリーンルームを実現する。

(2) ヒューマンインターフェース医療衛生部材の開発

中間目標：平成 20 年度はウイルス除去のため、細孔サイズを 30nm、着用快適性の指標としての透湿性能を 18,000ml/24h/m²、0.5mm の針が貫通しない構造で、血液等の侵入防止に有効な撥水性の指標としての接触角 130° を達成する。

最終目標：平成 22 年度はウイルス除去のため、細孔サイズを 10nm、着用快適性の指標としての透湿性能を 20,000ml/24h/m²、0.08mm の針が貫通しない構造で、血液等の侵入防止に有効な撥水性の指標としての接触角 150° を達成する。

事前評価書（案）

		作成日	平成18年1月26日
1. 事業名称 (コード番号)	先端機能発現型新構造繊維部材基盤技術の開発 (革新的部材産業創出プログラム)		
2. 推進部署名	ナノテクノロジー・材料技術開発部		
3. 事業概要	<p>(1) 概要： 本プロジェクトは繊維状材料に対してナノオーダーの成形加工や微細な界面加工ならびに複合化を行うことで材料のパフォーマンスを高機能化し、革新部材を創出することを目的としている。 このために電界紡糸（エレクトロスピンニング）及び熔融極細繊維紡糸（ナノ熔融分散紡糸）の大型装置を用いて高分子材料や無機材料や炭素材料の超極細繊維を製造すると同時にそれらを製造するために必要な基礎データ集積や製造された繊維状材料の物性や構造の計測と評価を行う。 さらに用途展開を行う上で必要な超微細構造制御をはじめとする制御技術、被覆技術（コート）、複合化技術等の基盤技術構築を図る。 これらの繊維状材料は実用化技術開発で加工され各分野の部材として商品化される。</p> <p>(2) 事業規模：総事業費 約 56 億円 (平成 18 年度事業費 9 億円)</p> <p>(3) 事業期間：平成 18 年度～22 年度（5 年間）</p>		
4. 評価の検討状況	<p>(1) 事業の位置付け・必要性 事業自体の必要性 部材技術マップの「環境・エネルギー分野、燃料電池、情報家電分野、医療・福祉／安全・安心分野」に求められる高機能部材を、繊維・樹脂分野の新素材開発により創成する。ユーザーの要望に対応する高度部材を供給するためには、繊維の極細化や極微細加工及び高次複合化が必須であり、これらを解決するためには高分子や炭素を用いた超極細繊維や超微細構造繊維を製造し、事業化へのステップのために大型装置を用いた電界紡糸（エレクトロスピンニング）及び熔融極細繊維紡糸（ナノ熔融分散紡糸）の基盤技術開発が必要である。</p> <p>②上位政策との関係からみた位置付け わが国における高いエレクトロニクス制御技術のポテンシャル及び高分子材料や炭素材料に関する加工分野でのポテンシャルを活かし、また両方を融合しつつ最新の高度加工技術へと発展させ、ユーザーの高機能要望に対応することで新産業創造戦略に貢献することを目指す。</p>		
	<p>(2) 研究開発目標の妥当性 <目標> 【共通基盤技術】 電界紡糸では大型装置における電場、溶液、温度、湿度等の制御により、現状、直径に 100%以上のばらつきがあるのに対し、直径 50nm、ばらつき 20%以下の均質</p>		

な超極細繊維の製造が必要である。これは超高性能エアフィルターの実現に必要な値であるがすべての実用化部材の基準となる。さらに、大型装置は $20\mu\text{l}/\text{本}\cdot\text{分}$ の噴出速度を有する 20 万本のノズルから構成されており、現状は不織布状材料（ファブリック）において $20\text{m}/\text{分}$ 、コーティングにおいて $100\text{m}/\text{分}$ 、フィラメントにおいて $20\text{m}/\text{分}$ の製造速度に対し、それぞれ $60\text{m}/\text{分以上}$ 、 $300\text{m}/\text{分以上}$ 、 $60\text{m}/\text{分以上}$ の高速連続製造が可能となる。さらに得られた各種知見を利用して必要な太さにおける単分散超極細繊維製造、超微細構造繊維化、被覆化（コート）、複合化へと展開することができる。

ナノ溶解分散紡糸では大型装置による超微細混練・紡糸技術、炭素不融化・焼成技術等の確立により、現状は直径 1000nm 、比表面積数十 m^2/g の炭素超極細繊維に対し、将来においては平均直径 100nm 、比表面積 $1500\text{m}^2/\text{g}$ の炭素超極細繊維の製造が必要である。これは蓄電材料の実現に必要な値であるがすべての実用化部材の基準となる。また不融化時間を現状の $1/10$ に短縮し製造コストを低下させることが可能となる。さらに各種知見を利用して必要な太さにおける超極細繊維製造、超微細構造繊維化、被覆化、複合化へと展開することができる。

【情報家電、燃料電池分野】

共通基盤技術で得られた成果を用いることにより燃料電池、小型蓄電池、高機能電池等のエネルギー密度、出力（パワー）密度を向上し、薄型化、低コスト化した電池が可能となる。

①パッシブ型燃料電池

パッシブ型燃料電池において現状は燃料電池用電極の厚みが $200\mu\text{m}$ 、燃料電池出力密度が $25\sim 50\text{mW}/\text{cm}^2$ に対し、将来は厚みが $100\mu\text{m}$ 以下、燃料電池出力密度が $100\text{mW}/\text{cm}^2$ 以上、及び低コスト化が可能となる。

②小型蓄電池

電気二重層キャパシターにおいて現状はエネルギー密度 $1\text{Wh}/\text{l}$ 、出力密度 $1\text{KW}/\text{l}$ に対し、将来はエネルギー密度 $200\text{Wh}/\text{l}$ 、出力密度 $10\text{KW}/\text{l}$ が可能となる。

既存技術の水準は、粒状炭素質を賦活処理した粒状活性炭を用いているため、高比表面積の形成に限界がある。蓄電材料として現状の性能を凌駕する事を目的とし、炭素超極細繊維を用い、微細構造及び細孔径形成の制御する。

③薄型電池

10 秒程度の高速充電が可能な薄型二次電池に必要な材料並びに製造技術を開発する。電池性能としては、現状は厚さ約 0.3mm 、パワー密度 $\sim 2\text{kW}/\text{kg}$ 、エネルギー密度 $\sim 10\text{Wh}/\text{kg}$ に対し、将来は厚さ 0.2mm 、パワー密度 $\sim 10\text{kW}/\text{kg}$ 、エネルギー密度 $\sim 100\text{Wh}/\text{kg}$ が可能となる。

薄型電池は出力特性に優れた二次電池であるとともに、ポリマーであるが故に、今後重要となるユビキタス機器向けに求められる薄型化にも適している。また、薄型電池は日本で開発された技術であり、基本特許を含む特許網も日本企業が押さえている。上記目標は意欲的な数値であるが、今後、極微細導電性繊維等との高次複

合化による高出力化や、新規材料の開発による高エネルギー密度化の可能性を考えると妥当な数値目標であるといえる。

【環境・エネルギー分野】

共通基盤技術で得られた成果を用いることにより超超純水製造プロセスフィルター、超耐熱性有機および超耐熱性無機フィルター等において、捕捉能力、耐熱性向上、有害物質濃度、圧力損失低減したフィルターが可能となる。

①超超純水製造プロセスフィルター

超純水中の不純物のうち、現状ではイオン交換樹脂からの有機物の除去は困難であり金属類は 0.1ppt まで可能であるのに対し、将来はイオン交換樹脂からの有機物に関して TOC 濃度で 0.1ppb 以下（100ppt 以下）及び金属類を 0.01ppt 以下とする表面を改質した超極細繊維からなる水処理用のフィルターの開発が望まれている。

目標値を達成するにはイオン交換繊維だけではなく活性炭、逆浸透膜等に用いている母材の分解、エネルギー消費量大などの課題がある。

②超耐熱性無機フィルター

現状の耐熱性無機フィルターは 0.1 μm 粒子が 90%捕捉可能で初期圧力損失が 250Pa であり、脆弱で折り曲げが不可能であるのに対し、初期圧力損失が現状対比半減でき、折り曲げ自在な耐熱温度 1000 $^{\circ}\text{C}$ 以上である超極細繊維からなる超耐熱性無機エアフィルターが可能となる。

③耐熱性有機フィルター

現状の耐熱性有機フィルターは 0.1 μm 粒子が 90%捕捉可能で初期圧力損失が 250Pa 程度であるのに対し、将来は 0.1 μ 粒子 99%捕捉可能という能力を維持しながら、初期圧力損失が現状対比半減でき、耐熱温度が 400 $^{\circ}\text{C}$ 以上である超極細繊維からなるエアフィルターが実現できる。

【医療・福祉／安心・安全分野】

共通基盤技術で得られた成果を用いることによりヒューマンインターフェース医療衛生部材、産業用部材等において、捕捉能力向上、圧力損失低減、細孔サイズを微細化、透湿性能向上、身体防護可能な医療衛生・産業用部材が可能となる。

①スーパークリーンルーム用部材

現在の高性能エアフィルター及びHEPA フィルターの初期圧損はそれぞれ 170Pa 及び 245Pa であり、また現在の高性能エアフィルター及びHEPA フィルターの捕集効率はそれぞれ 90%及び 99.97%である。

本プロジェクトの共通基盤で研究開発した超高強度・耐熱・化学安定性を有する超極細繊維を用いて超極細活性炭素繊維を一体成型しエレクトリック化技術を加えることにより、初期圧損が約 130Pa で捕集効率が 99.97%以上（直径 0.3 μm 粒子）である超高性能フィルターの開発が望まれている。この結果、クラス 1 のスーパークリーンルームが実現可能となる。

②ヒューマンインターフェース医療衛生部材

- ・超微細ゴミや菌の侵入を完全に除去する部材の開発

現状、最高レベルの産業用・医療用マスクの細孔サイズは75nm程度であるが、将来は10nmとすることにより、最小サイズのポリオウイルスまで完全に除去することが可能となる。さらに、血液などの侵入を防ぐためには表面に付着させないことが有効である。水との接触角が140～150°になると表面ですべりが生じ付着しなくなることから、現状では100°以下である接触角を将来は150°とすることで血液等の侵入防止を可能となる。

- ・着用快適性にすぐれた身体防護ウェア部材の開発

実着用においては、蒸れが問題となる。現状では、ナイロンシートの透湿性能は100ml/24h/m²程度であり、綿のそれは18,000ml/24h/m²であるのに対し、将来は、20,000ml/24h/m²とすることで着用快適性が確保されることが期待できる。

- ・針の刺さらない高強度部材の開発

医療事故は針によるものが多く、現状の注射針は最小0.5mmである。また、無痛針の開発がなされており将来は0.08mm程度が望まれる。0.08mmの針が貫通しない構造とすることで感染防止することが可能である。

これら材料を複合化することによる目的にあった部材開発が期待できる。

<妥当性>

目標設定は最終製品のプロトタイプを作製する段階である本事業においては十分と考えられるが、今後有識者ヒアリングなどで意見を聴取し、妥当性について更なる検討を行う必要がある。

(3) 研究開発マネジメント

公募を行い最適な研究開発体制を構築する。本プロジェクトにおいては、大学と基盤技術開発企業との産学連携による基盤技術確立と、当該基盤技術のユーザーとをプロジェクト開始時より同時立ち上げの垂直連携の形で参加させ、開発目標と評価体制を明確にすることで共同開発の促進と実用化の加速を図る。

プロジェクト開始後3年目に中間評価を予定しており、その評価結果を踏まえて事業全体について見直しを行うことを想定している。

(4) 研究開発成果

【共通基盤技術】

電界紡糸においては高速大型装置の実現と本装置を用いた環境・エネルギー分野、燃料電池、情報家電分野、医療・福祉／安全・安心分野の部材等の実用化技術開発に必要な各種高分子材料や無機材料による超極細繊維や超微細構造繊維等の製造を実現する。

ナノ溶解分散紡糸では、炭素極細繊維のナノサイズ溶解分散紡糸技術、高速不融化学技術、結晶構造制御技術、表面ナノ多孔化技術などを確立し、実用的な低コスト製造技術の確立を目指すと共に、電極・電池部材等の実用化に有用かつ必須な炭素材料による超極細繊維や超微細構造繊維等の製造を実現する。

【情報家電・燃料電池分野】

パッシブ型燃料電池では超極細炭素繊維複合電極を形成することにより、酸素供給性、CO₂排気性、集電性、触媒保持性に優れ薄層化が可能となる。

小型蓄電池における本技術開発が達成されると、現状対比 1/5 の低コスト化が可能となり車載などの大型キャパシターへの展開につながる。

超極細炭素繊維と二次電池活物質の高次複合化技術、並びに薄型電極作製技術の開発により、高速充電可能で薄型フレキシブルな「ユビキタス電池」の基本技術が確立される。

【環境・エネルギー分野】

超超純水用プロセスフィルターでは不溶性基材による超極細繊維の製造、ならびに、超極細繊維への有害物質除去機能（イオン交換基や吸着物性）の付与によりノニオン及びアニオンやカチオンの除去が十分に行われる。またモジュール化、カートリッジ化等のアセンブリにおいて、最終使用形態自体からの不純物の溶出がゼロに近いことおよびカートリッジ生産コストの低下を実現する。

超耐熱性無機フィルターでは目標を達成すると使用電力量が約 40%削減される。また、耐熱性に優れる無機材料は脆弱でフィルター化が出来なかった。その無機材料からなる超極細繊維において柔軟性（曲げても折れない特性）を実現し、耐熱温度 1000℃以上のフィルターを実現する。これによって、焼却炉排気ガスの冷却工程が必要なくなる。また、本フィルターでは、無機材料の選択により、有害物質の分解除去も可能となる。

耐熱性有機フィルターでは必要な耐熱性を維持しつつ、現状のガラス繊維では困難であった、焼却廃棄が可能で、ガラス繊維再飛散に起因するアスベスト類似作用の問題の解決につながる。さらに、初期圧力損失が現状対比半減を達成することで、省エネルギー化にも貢献する。

【医療・福祉／安心・安全分野】

繊維の極細加工と高次立体複合化により、医療衛生分野における針刺し防止部材、生活分野における身体防護ウェア部材、防菌部材、産業資材分野における超クリーンルーム部材を実現する。

(5) 実用化・事業化の見通し

【共通基盤技術】

事業の成果を適用することによって高速大型電界紡糸装置に事業化が図れるのみならず、本装置を用いた超極細繊維や超微細構造繊維製造の事業化が可能となり平成 32 年頃には年間約 5000 億円の経済効果が見込まれる。またナノ溶融分散紡糸による炭素製造の事業化が図られ本方法による炭素繊維は平成 32 年頃には年間約 2500 億円の経済効果が見込まれる。

さらにこれらの製品は環境・エネルギー分野、燃料電池、情報家電分野、医療・福祉／安全・安心分野の部材として平成 32 年頃には蓄電材料関係、モバイル燃料電池関係、超純水製造、スーパー環境フィルター、スーパークリーンルーム、医療用スーパー安全製品に利用されそれぞれ年間 1.5～3 兆円の経済効果が見込まれる。

【情報家電・燃料電池分野】

本技術開発によるパッシブ型燃料電池は携帯テレビ電話、無充電モバイルパソコン、電動スクーター・カート、ロボット、パワースーツ等に展開されると最終的な市場は 5 兆 4 千億円と予想されている。

本小型蓄電池技術において開発される電極材料はキャパシター以外にも、燃料電池や Li 電池に応用できる可能性がある。波及効果を含めた市場規模は平成 22 年 1000 億円、その後車載用が展開されれば最終的に 2 兆円と予想されている。そのうち、キャパシター用炭素電極材料は、平成 27 年には 2000 億円が見込まれる。

本事業では、薄型二次電池正極材料の導電性向上に向けた正極材料並びに超極細炭素繊維、及びそれらの高次複合化技術の開発を行なうとともに、薄型電極作製技術を開発し電池性能の実証を行なう。製品イメージは、薄型フレキシブルで高速充電可能なユビキタス電池であり、アクティブ型の IC カードやタグ、ウェアラブルデバイス、電子ペーパー等の広範なユビキタスデバイスへの搭載が期待できる。本事業終了後、信頼性向上と低コスト化等の検討を経て、平成 25 年頃までに実用化する見通しである。これらの技術の普及により、平成 32 年時点で 1 兆円程度の市場創出効果が見込まれる。

【環境・エネルギー分野】

本技術によって開発される、超超純水用プロセスフィルターはデバイス産業のみならず食品や医薬品等様々な分野に展開できる。無機系の超耐熱性超極細繊維はフィルター以外にも、各種蓄電材料のセパレーターや複合材料などに応用できる可能性がある。耐熱性有機フィルターはアスベスト代替品として利用できる。

超超純水製造プロセスフィルターは、平成 22 年以降の市場規模は波及効果も含めて 8200 億円と想定されている。大気汚染防止用装置・資材の平成 22 年市場規模は 3 兆円、そのうち超耐熱性無機及び耐熱性有機フィルターの市場規模は 8200 億円と予想されている。

【医療・福祉／安心・安全分野】

本事業では、医療衛生分野での医療事故やウイルス感染の防止の観点から、ウイルス・細菌の侵入や超微細ゴミを完全に除去する部材や着用快適性に優れたクリーン服・身体防護ウェア部材、針の刺さらない高強度部材を開発する。製品イメージは、手袋・ウェア・マスク等の医療用・産業用資材や食品や誘拐物質等の汚染防止保護材等多岐にわたる。これら技術の普及により、平成 27 年時点で 2000 億円程度、平成 32 年頃には 2 兆円規模の市場創出効果が見込まれる。

(6) その他特記事項

NEDO 調査（平成 16 年－17 年）「ナノファイバー技術の実用化課題の調査」によると、「わが国が有する強みである繊維を基とした、セパレーター、フィルター、高強度構造材などの繊維複合材料は多くの産業分野への応用が可能であり、特に IT 分野（2次電池）、環境分野（フィルター）、バイオ分野への応用は本格的な研究開発プロジェクトにより組織的に対応する必要がある」と報告されている。また本報告書をもとに超極細繊維や超微細構造繊維の製造には電界紡糸（エレクトロスピンニング）技術及び熔融極細繊維紡糸（ナノ熔融分散紡糸）技術が重要と判断できる。

5. 総合評価

NEDOの実施する事業として適切であると判断する。

「先端機能発現型新構造繊維部材基盤技術の開発 基本計画（案）」に対するパブリックコメント募集の結果について

平成18年3月13日
NEDO技術開発機構
ナノテクノロジー材料技術開発部

NEDO POST 3において標記基本計画（案）に対するパブリックコメントの募集を行いました結果をご報告いたします。
みなさまからのご協力を頂き、ありがとうございました。

1. パブリックコメント募集期間

平成18年2月15日～平成18年2月21日

2. パブリックコメント投稿数＜有効のもの＞

計0件

以上

2. 分科会における説明資料

次ページより、プロジェクト推進・実施者が、分科会においてプロジェクトを説明する際に使用した資料を示す。

ナノテク・部材イノベーションプログラム

「先端機能発現型新構造繊維部材基盤技術の開発」 (平成18年度～平成22年度 5年間)

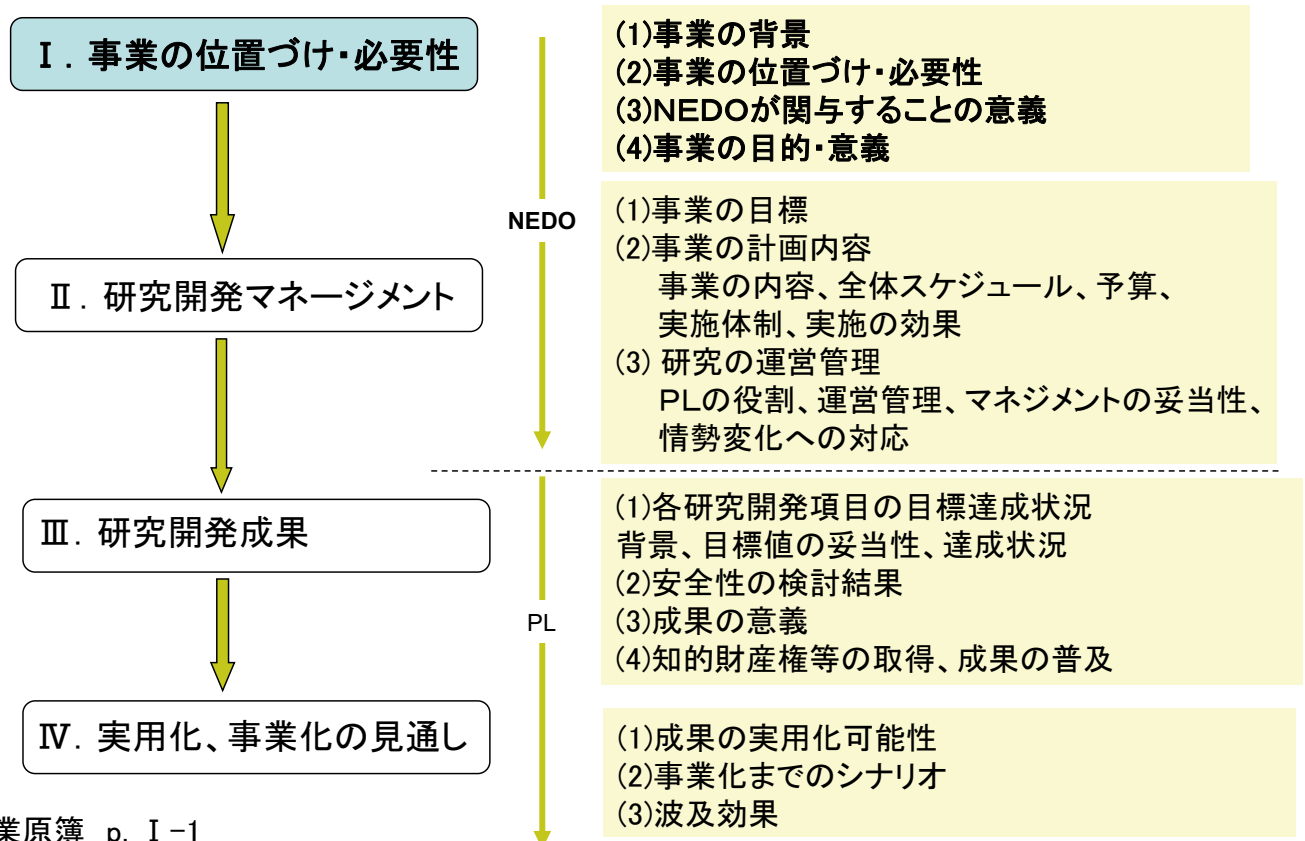
5. プロジェクトの概要説明

5-1 事業の位置づけ・必要性、研究開発マネジメント

新エネルギー・産業技術総合開発機構
電子・材料・ナノテクノロジー部
平成23年9月16日(金)

事業原簿 p. I-1

概要説明 報告の流れ

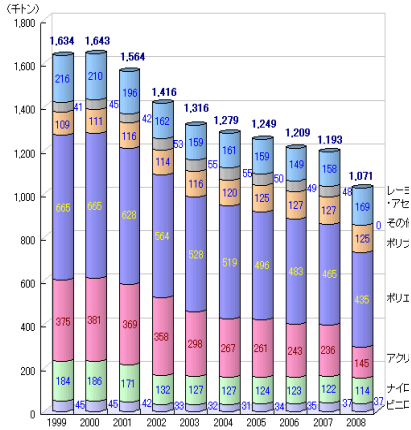


事業原簿 p. I-1

事業の背景

汎用的商品は近隣アジア諸国の技術力向上による低コスト攻撃

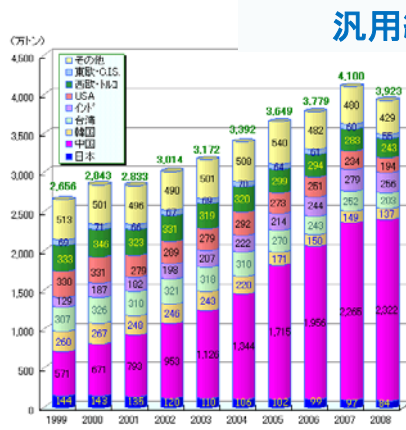
日本の化学繊維の生産



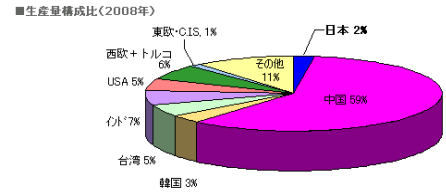
(出所) 経済産業省「繊維・生活用品統計年報」

(注) その他は、ポリエステル、ポリエチレン、ビニロン等である。
2002年以降、調査票の変更により、ビニロンおよびアクリル系はその他に含まれる。

世界主要国の化学繊維の生産



汎用繊維市場は中国が席巻



(出所) FEB(Fiber Organon)

(注) 合成繊維にはオレフィン系繊維を含まない

『日本化学繊維協会HPより掲載』

- ▶ 先端機能を発現する高付加価値繊維部材(電子・電気産業部材分野など)の開発
- ▶ 産学官を含む連携の強化(川上・川下の垂直連携・材料創世と加工の水平連携)

事業の背景(ハイテク繊維現状とナノファイバー)

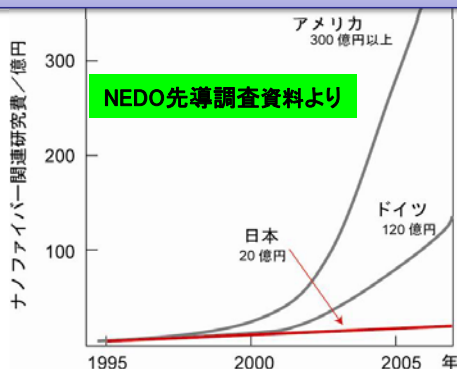
部材用ハイテク繊維(高性能、高機能繊維)

- 高強度・高弾性繊維 パラ系アラミド、超高分子ポリエチレン、ポリアリレート、PBO、炭素
- 高耐熱性繊維 メタ系アラミド、PPS、フッ素
- 生分解性繊維 ポリ乳酸

上記ハイテク繊維は全て商品化されており、炭素繊維、アラミド繊維は既に日本の世界シェアが70%以上。それぞれ部材への適用が進められている。

繊維のサイズや構造制御による高性能化、高機能化に視点を転換→ナノファイバー着目

ナノファイバー分野における欧米各国の積極的な研究開発投資



日本の優れた研究開発能力

優れた繊維科学・技術

先進的な紡糸基盤技術

多様化した高感性のユーザー

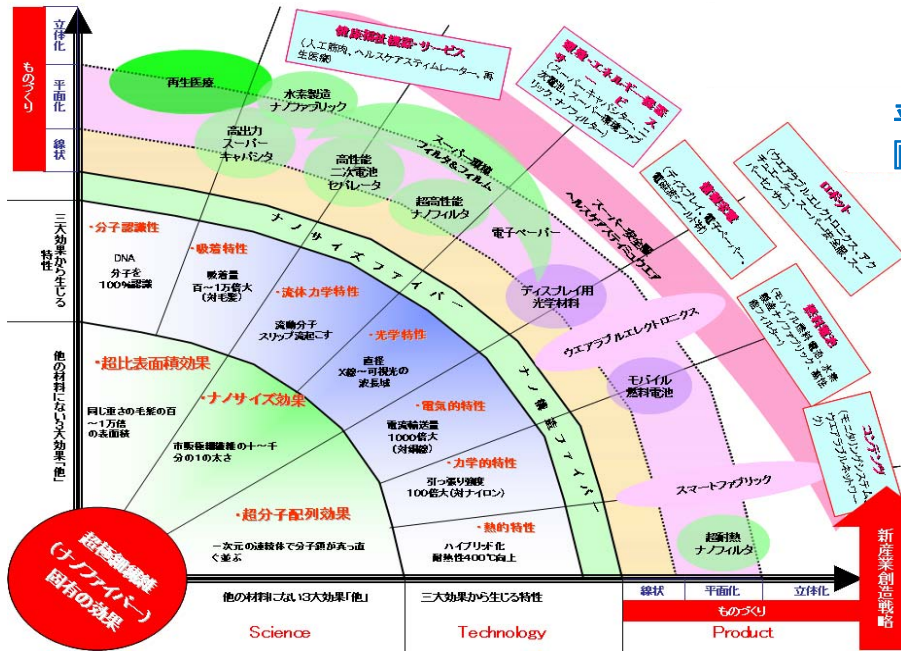
研究開発のチャンスを逃すことは国家的損失

FY2003-2005 ナノファイバー F/S調査実施

事業の背景(調査結果)

事業原簿 p. I-11

平成16年度NEDO調査報告『ナノファイバー技術の実用化課題に関する調査』



- ・ナノファイバーが応用可能な部材は広範囲
- ・潜在市場としての規模は数10兆円以上と予想

製造技術課題として①電界紡糸法②ナノ溶融分散紡糸法の大量、高効率製造技術開発、実現可能性やエネルギー、省エネ、安全・安心といった社会的ニーズを考慮して③電池用部材、④フィルター用部材、⑤医療・産業用部材を実用化出口として抽出した。
 →FY2006より「先端機能発現型新構造繊維部材基盤技術の開発」PJスタート

事業の位置付け・必要性(事業の概要)

＜国の政策における位置付け＞ ナノテク・部材イノベーションプログラム

従来法(溶融法)

融けた高分子
ノズルから押し出す
太さは1マイクロメートルが限界(高分子の粘性、ノズルの閉塞、延伸の限界などのため)

新技术(基盤技術)

①電界紡糸法

繊維の原料である高分子の溶液に、非常に高い電圧をかけると、電界に沿ってナノサイズの繊維が飛び出していく

②ナノ溶融分散法

従来法の溶融法の発展系。融けた高分子の中に、それとは別のナノファイバー用材料を加えて、紡糸する。延伸したのちに、元々の高分子を取り除き、微細な繊維を得る。

高分子(青)を取り除き、ナノ繊維(白)を取り出す。

応用分野(実用化技術)

③電池用部材

- 小型化、薄型化可能
- パワー及びエネルギー密度が高く向上
- ⇒エネルギー

④フィルター用部材

- より微細な粒子を補足
- 無害な物質(空気)の透過速度の大幅向上
- ⇒省エネ効果

事業原簿 p. I-1

新技术でナノファイバーを創成 → 機能発現 → 部材産業分野へ展開

事業の位置付け・必要性(製造法比較)

ナノファイバー製造法比較

紡糸技術	長所	課題	対象材料
電界紡糸法	<ul style="list-style-type: none"> 常温での紡糸可能 紡糸可能な繊維径は数nm～数10μm 表面構造制御容易 工程が簡易 コンポジット化容易 	<ul style="list-style-type: none"> 生産性が低い(多ノズル化等で解決可能) 高電圧が必要 溶剤回収が必要 	<ul style="list-style-type: none"> 溶剤可溶性高分子、たんぱく質(ほとんどの高分子に適用可能) 熱に弱い材料 無機材料も紡糸可能
複合熔融紡糸法(従来法)	<ul style="list-style-type: none"> 100nm以下の超極細繊維紡糸可能 	<ul style="list-style-type: none"> 繊維分割の工程が必要 熱に弱い素材には適用不可能 	<ul style="list-style-type: none"> 熔融可能な高分子にのみ適用可能(ナイロン、PET)
メルトブロー法(従来法)	<ul style="list-style-type: none"> 工程が簡易 	<ul style="list-style-type: none"> 繊維径0.5μ以下の紡糸は困難 熱に弱い素材には適用不可能 	<ul style="list-style-type: none"> 熔融可能な高分子にのみ適用可能(PP,PE,PET)

カーボンナノファイバー製造法比較

製造方法	金属触媒	結晶性	コスト
ナノ熔融紡糸法(カーボンナノファイバー)	除去の必要なし	◎	◎
気相成長法(カーボンナノファイバー)	除去必要	○	△
気相成長法など(カーボンナノチューブ)	除去必要	◎	×

事業原簿 p. II-6,7

事業の位置付け・必要性

事業原簿 p. I-2

<国の政策における位置付け> イノベーションプログラム

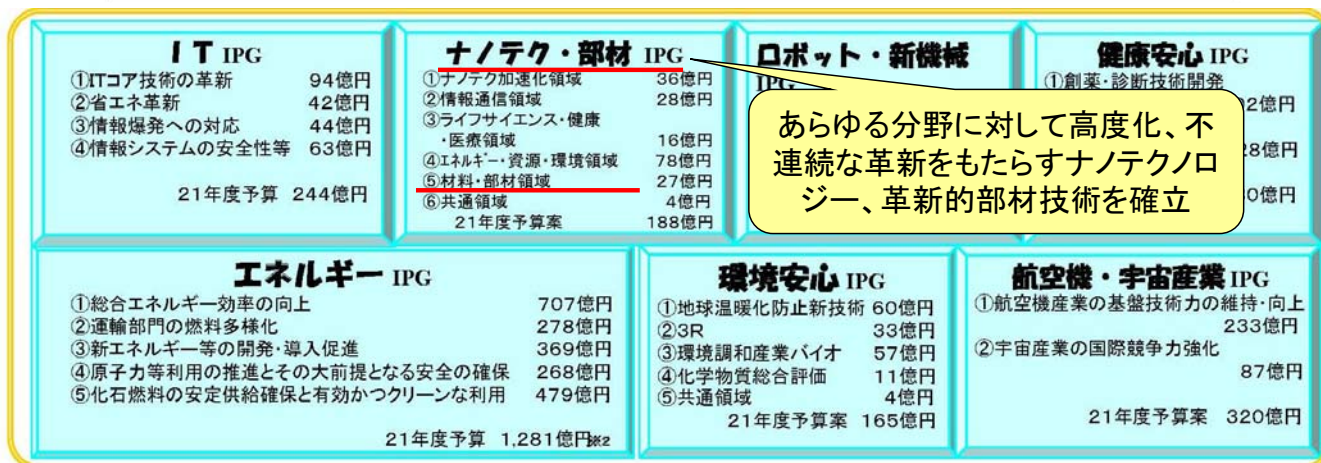
イノベーションプログラムについて

1. 「イノベーションプログラム」の中での体系的推進 (Inside Management & Accountability)

- 経済産業省の全ての研究開発プロジェクトは、政策目標毎に7つの「イノベーションプログラム」の下で体系的に推進。
- 各プログラムの中で、政策目標に向けたプロジェクトの位置付けと目標の明確化、市場化に必要な関連施策(規制改革、標準化等)との一体化を図り、イノベーション実現に向け各プロジェクトを効果的に推進。

2. 「技術戦略マップ」に基づく戦略的企画立案 (Outside Communication & Networking)

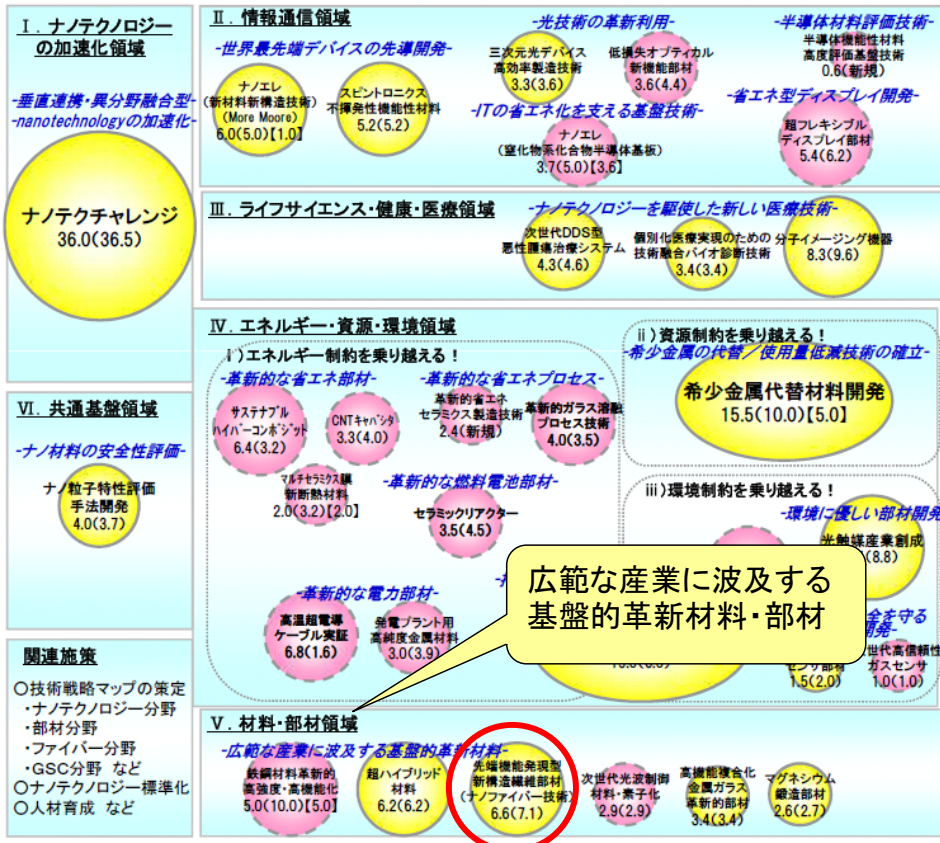
- 先端産業技術動向を把握し、国が取り組むべき技術課題とイノベーションの道筋を明確化するため、産学官で協働するロードマッピング手法を導入(『技術戦略マップ 2005/2006/2007/2008』)。
- 研究開発プロジェクトの選定に当たっては、イノベーションプログラムにおける政策目標を基に技術戦略マップに位置付けられた重要技術課題を抽出し戦略的に企画立案。



ナノテク・部材イノベーションプログラムにおける 本プロジェクトの位置付け

公開

事業原簿 p. I-2



IPGの目標

-ナノテクによる非連続技術革新-
世界に先駆けてナノテクノロジーを活用した不連続な技術革新を実現する。

-世界最強部材産業による価値創出-
我が国部材産業の強みを更に強化することで、他国の追随を許さない競争優位を確保するとともに、部材産業の付加価値の増大を図る。

-広範な産業分野での付加価値増大-
ナノテクノロジーや高機能部材の革新を先導することで、これら部材を活用した情報通信、ライフサイエンス、環境、エネルギーなどの幅広い産業の付加価値の増大を図る。

-エネルギー制約・資源制約などの課題解決-
希少金属などの資源制約の打破、圧倒的な省エネルギー社会の実現など、解決困難な社会的課題の克服を目指す。

技術戦略マップ(ファイバー分野)における 本プロジェクトの位置付け

公開

事業原簿 p. I-3

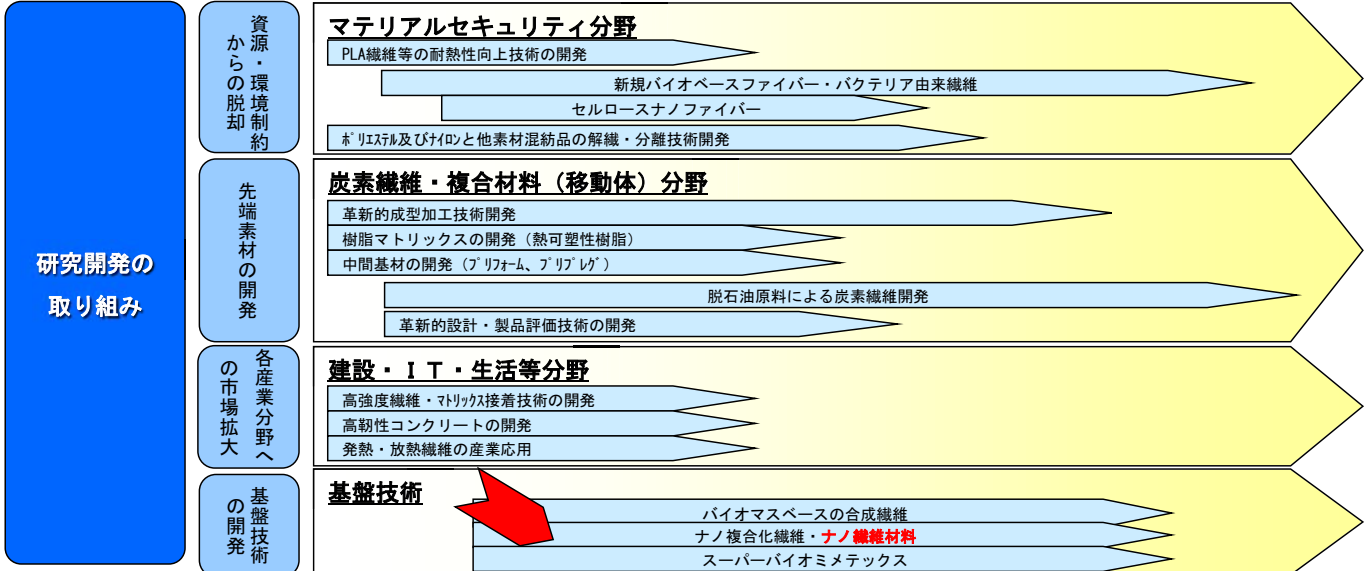
ファイバー分野の導入シナリオ

2007年 2008年 2010年 2015年 2020年

目標 繊維産業の国際競争力の強化を図り、新市場の創出と社会ニーズへの積極的な貢献を果たすことを目標とし、我が国繊維産業が本来有するポテンシャルを顕在化させ、先端素材産業のフロントランナーとしての地位を確立することを目指す。

民間企業の取り組み

- 産業資材分野向け高機能繊維製品・部材の開発を加速
- ユーザーニーズ・シーズのマッチ、異分野連携による研究開発の高度化と着実な推進
- ファイバー分野の本来有する優れた特性を活用した研究開発の推進



NEDOが関与することの意義

事業原簿 p. I-5

1. プロジェクト企画・立案段階

- ・基本計画策定 ← 先導調査により、具体的な課題、目標を設定
- ・プロジェクト実施体制 ← 豊富なネットワークおよび知見をいかした産学緊密連携体制を構築
- ・知財マネジメント ← 実用化促進のための知財の枠組決定

2. プロジェクト期間中

- ・フレキシブルな予算管理 ← 進捗状況、評価結果に対応した加速財源配分
- ・目標妥当性確認 ← 海外企業、研究機関との情報交換による競合技術比較
- ・フレキシブルな体制変更 ← 新規評価技術に関して再委託先追加

3. プロジェクト終了段階

- ・実用化促進のマネジメント ← 経産省実証事業へ展開
- ・研究開発の高度化 ← 高機能化、新規機能開発をNEDO事業で推進

事業の目的・意義

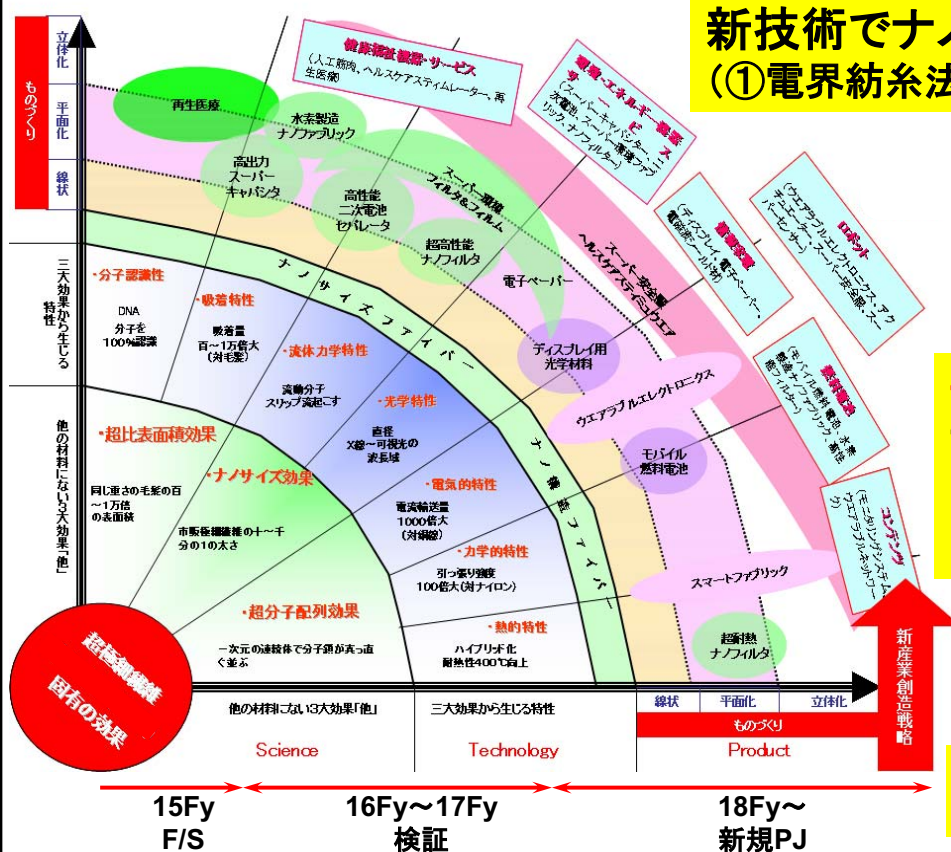
事業原簿 p. I-13

新技術でナノファイバーを創成
(①電界紡糸法、②ナノ溶融分散紡糸法)

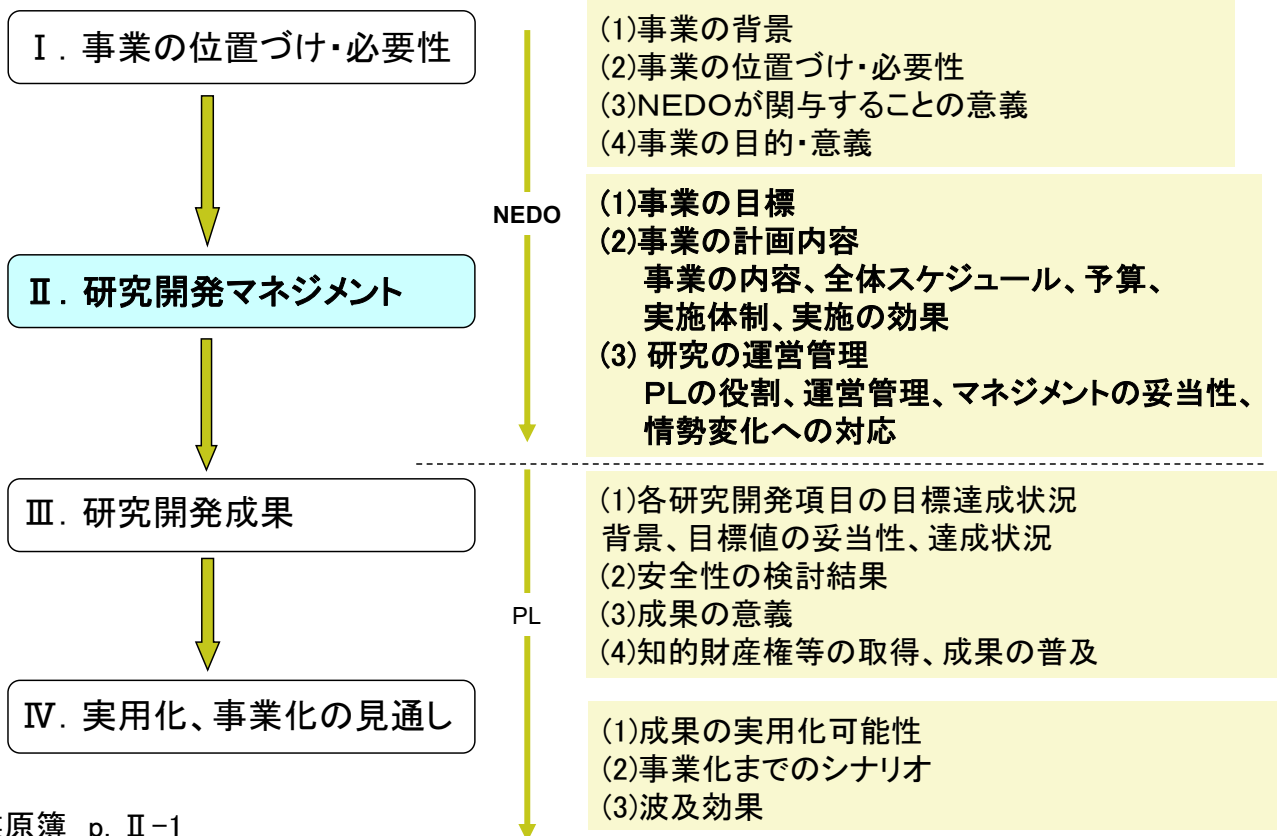
機能発現
(3大効果利用)

部材産業分野へ展開
高機能繊維部材開発
(①電池、②フィルター、③医療産業用部材)

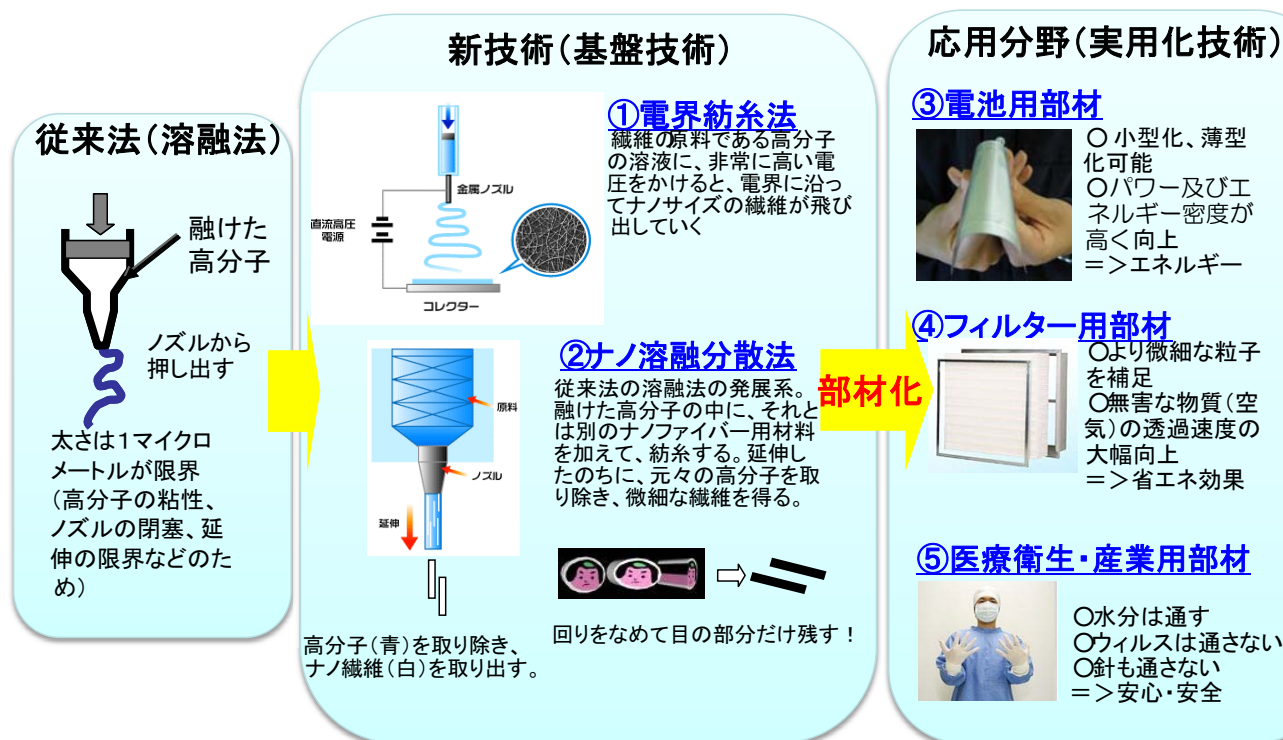
産業競争力強化



概要説明 報告の流れ



事業の目標(事業の概要)



事業の目標

【共通基盤技術】(委託事業)

①電界紡糸法における繊維高機能化、大型装置化技術の開発

電界紡糸では大型装置における電場、溶液、温度、湿度等の制御により、

中間目標:平成20年度に直径のばらつきが均質な超極細繊維の製造技術を開発する。**不織布状材料(ファブリック)、コーティング、フィラメントにおいての高速製造技術を開発**する。

最終目標:平成22年度には平成20年度に比べて直径及びばらつきが半分以下の均質な超極細繊維の製造技術、**不織布状材料、コーティング、フィラメントにおいて倍以上の高速連続製造を達成**する。超極細繊維材料を各種用途に対応させるために、評価・計測に伴う結果を利用して繊維高機能化技術の開発を行う。

②ナノ溶融分散紡糸法による炭素超極細繊維製造技術の開発

中間目標:平成20年度に**直径サイズを低減、比表面積を増大した炭素超極細繊維を開発**する。さらに**短時間で不融化する技術開発**を行う。

最終目標:平成22年度においては平成20年度に比べて**平均直径で1/5以下、比表面積5倍程度、不融化時間を1/3以下の炭素超極細繊維の製造技術の開発**を行う。

事業原簿 p. II-2~3

事業の目標

【実用化技術】(1/2助成事業)

③高性能、高機能電池用部材の開発(超比表面積効果利用)

上記、共通基盤技術で得られた成果を用いることにより**燃料電池、小型蓄電池、高機能電池等のエネルギー密度、出力(パワー)密度を向上し、薄型化、低コスト化した電池を開発**する。

④高性能、高機能フィルター用部材の開発(ナノサイズ、超分子配列効果利用)

上記、共通基盤技術で得られた成果を用いることにより**超超純水製造プロセスフィルター、超耐熱性有機および超耐熱性無機フィルター等において、捕捉能力、耐熱性向上、有害物質濃度、圧力損失低減したフィルターを開発**する。

⑤高性能、高機能医療衛生・産業用部材の開発(ナノサイズ、超分子配列効果利用)

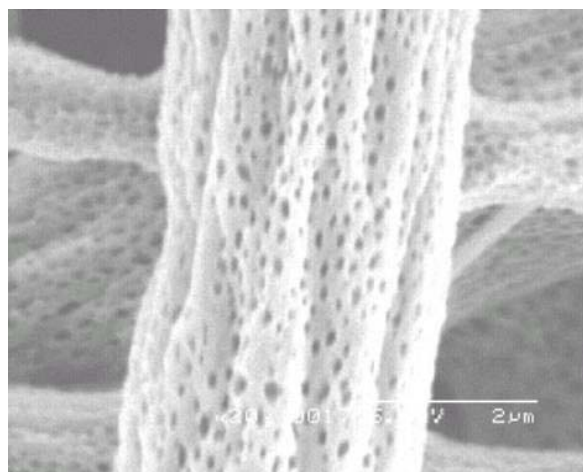
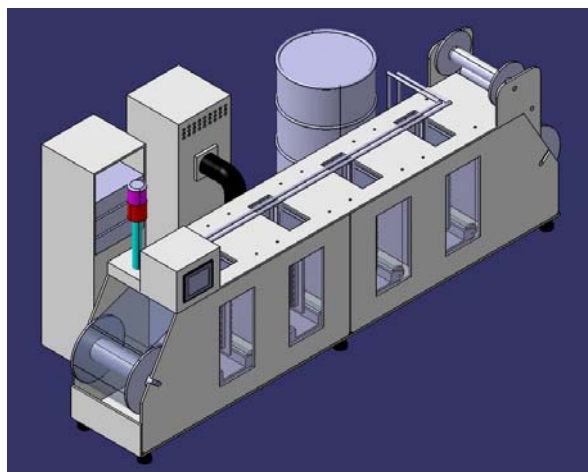
上記、共通基盤技術で得られた成果を用いることにより**ヒューマンインターフェース医療衛生部材、産業用部材等において、捕捉能力向上、圧力損失低減、細孔サイズ微細化、透湿性能向上、身体防護可能な医療衛生・産業用部材を開発**する。

事業原簿 p. II-4~5

委託事業

①電界紡糸法における繊維高機能化、大型装置化技術の開発

電界紡糸法とは電界利用の超極細繊維製造技術で、常温での紡糸、表面構造制御やハイブリッド化等が容易でほとんどの高分子に適用できる。本格的工業生産のための生産性向上と溶媒回収技術確立等を踏まえた大型装置開発および繊維高機能化技術開発を行う。

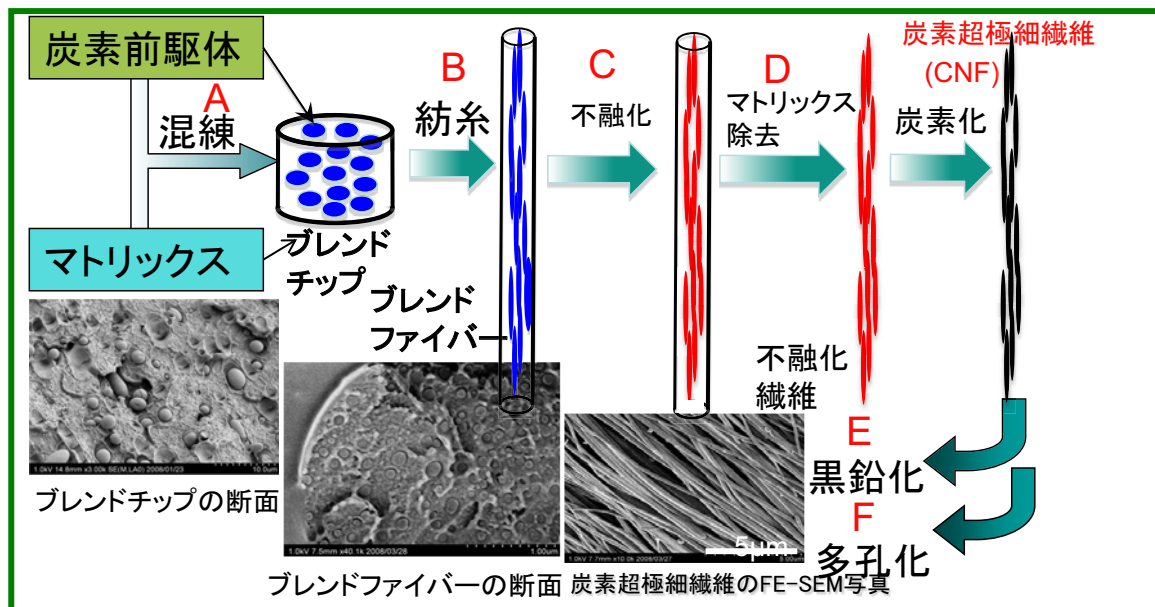


事業原簿 p. II-2

委託事業

②ナノ溶融分散紡糸法による炭素超極細繊維製造技術の開発

本紡糸法は炭素超極細繊維大量製造技術で、大型装置による超微細混練・紡糸技術、炭素高速不融化・焼成技術、結晶構造制御技術等の確立により製造時間短縮とコスト低下を図るための技術開発及び表面ナノ多孔化等の高機能化を図るための技術の開発を行う。



事業原簿 p. II-3

助成事業

③高性能、高機能電池用部材の開発

超極細繊維を用いた、(1) パッシブ型燃料電池、(2) 小型蓄電池、(3) 薄型電池の開発を行う。

(1) は、薄層化が可能で燃料や酸素の強制供給が不必要であることから超小型化DMFCとして期待され、携帯テレビ電話、モバイルパソコン等に利用される。



(2) はパワー及びエネルギー密度が高く瞬発性と持続性に優れており、高性能携帯用情報家電機器、ハイブリッド自動車、燃料電池車に利用される。



(3) は薄型フレキシブルで高速充電可能なユビキタス電池であり、アクティブ型のICカードやタグ、ウェアラブルデバイス、電子ペーパー等に利用される。



事業原簿 p. II-4

助成事業

④高性能、高機能フィルター用部材の開発

超極細繊維を用いた(4) 超超純水製造プロセスフィルター(5) 超耐熱性無機フィルター(6) 耐熱性有機フィルターの開発を行う。

(4) はノニオン及びイオンの除去が十分で、アセンブリの不純物溶出がゼロに近く、デバイス産業、食品、医薬品等に利用される。



(5) は柔軟性があり耐熱温度千度以上であることから、焼却炉排気ガスの冷却工程が必要なくなる。焼却用排気ガスや有害化学物質等の除去に利用される。



超耐熱性無機ろ材を用いたプリーツ型バッグフィルタ

(6) は必要な耐熱性を維持しつつ、焼却廃棄が可能で、ガラス繊維フィルターの代替や焼却炉やその他排ガスのフィルターに利用される。



耐熱性有機ろ材を用いたろ材交換型フィルタ

事業原簿 p. II-4

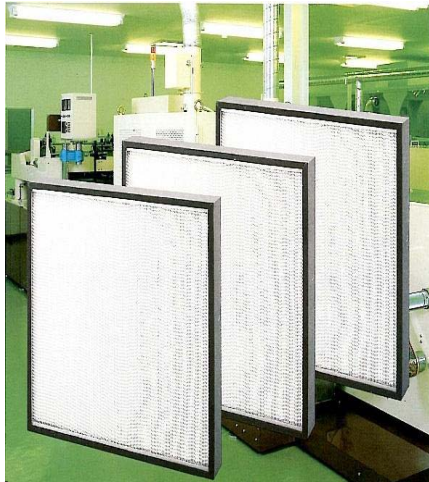
助成事業

⑤高性能、高機能医療衛生・産業用部材の開発

超極細繊維を用いた(7)スーパークリーンルーム用部材、(8)ヒューマンインターフェース医療衛生部材の開発を行う。

(7)は超極細活性炭素繊維との一体成型により構成された超高性能ケミカルフィルター。

(8)は抗菌・消臭機能、針刺防止機能、超微細ゴミや菌の侵入防止機能、長時間着用快適性を有した複合一体型高機能部材。



事業原簿 p. II-5

研究開発スケジュール

先端機能発現型新構造繊維部材基盤技術の開発プロジェクトのロードマップ

		H18年度	H19年度	H20年度	H21年度	H22年度	H23年度	H24年度	...	H●年度	
共通基盤技術	紡糸	高機能材料紡糸技術・大型紡糸技術開発					大量生産技術開発	超極細電界紡糸技術確立 電界紡糸国産超極細繊維製造装置			
	ナノ溶融分散紡糸	機構解明／不融化・炭化技術開発					大量生産技術開発	高機能炭素超極細繊維技術確立 不溶化 ナノ多孔化 グラファイト結晶化			
	評価計測	物性評価・構造評価確立									
実用化技術	情報家電、燃料電池分野	①パック型燃料電池 ②小型蓄電池 ③薄型電池					▼目標ほぼ達成(PJ卒業)→実用化は自社開発する	ナノ多孔性炭素超極細繊維電極部材等 電気二重層 連続導電体効果 超比表面積効果			
	環境・エネルギー分野	①超超純水製造プロセスフィルター ②超耐熱性無機フィルター ③耐熱性有機フィルター					高性能フィルター部材開発	車載用高性能フィルター部材等 高効率・低圧損フィルター			
	医療福祉／安心安全分野	①スーパークリーンルーム用部材 ②ヒューマンインターフェース医療衛生部材					高性能部材開発	一体成型ファイバー部材等 ヒューマンインターフェースに近いスーパークリーン部材、医療基材等に活用			

研究開発予算(実績値、加速込)

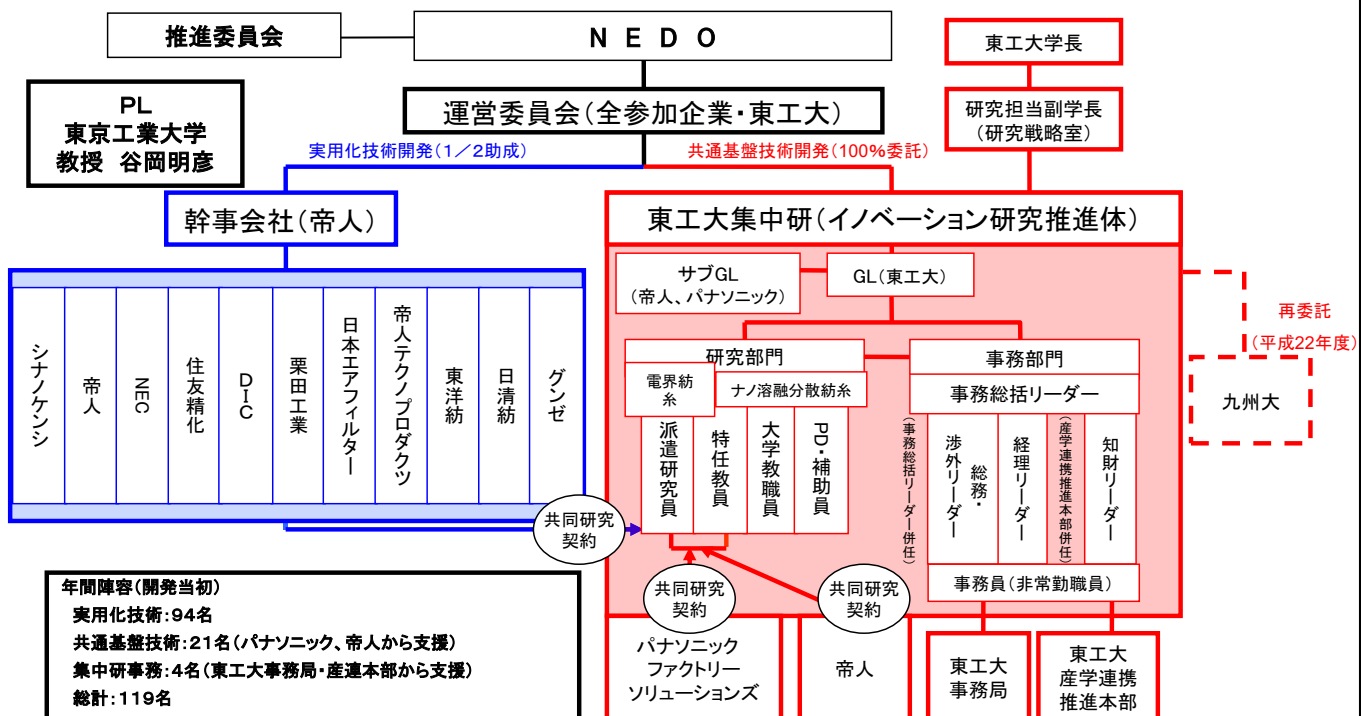
単位 百万円

研究開発項目		H18	H19	H20	H21	H22	合計
委託	①電界紡糸法における繊維高機能化、大型装置化技術の開発	427	352	294	254	180	1,507
	②ナノ溶融分散紡糸法による炭素超極細繊維製造技術の開発	185	165	121	146	96	713
	小計	612	517	415	400	276	2,220
1/2助成	③高性能、高機能電池用部材の開発	188	203	136	91	78	696
	④高性能、高機能フィルター用部材の開発	74	90	69	59	35	327
	⑤高性能、高機能医療衛生・産業用部材の開発	138	152	105	99	65	559
	小計	400	445	310	249	178	1,582
その他	ナノファイバーイノベーション創出 NEDO講座	-	-	-	-	33	33
合計		1,012	962	725	649	487	3,835

研究開発の実施体制

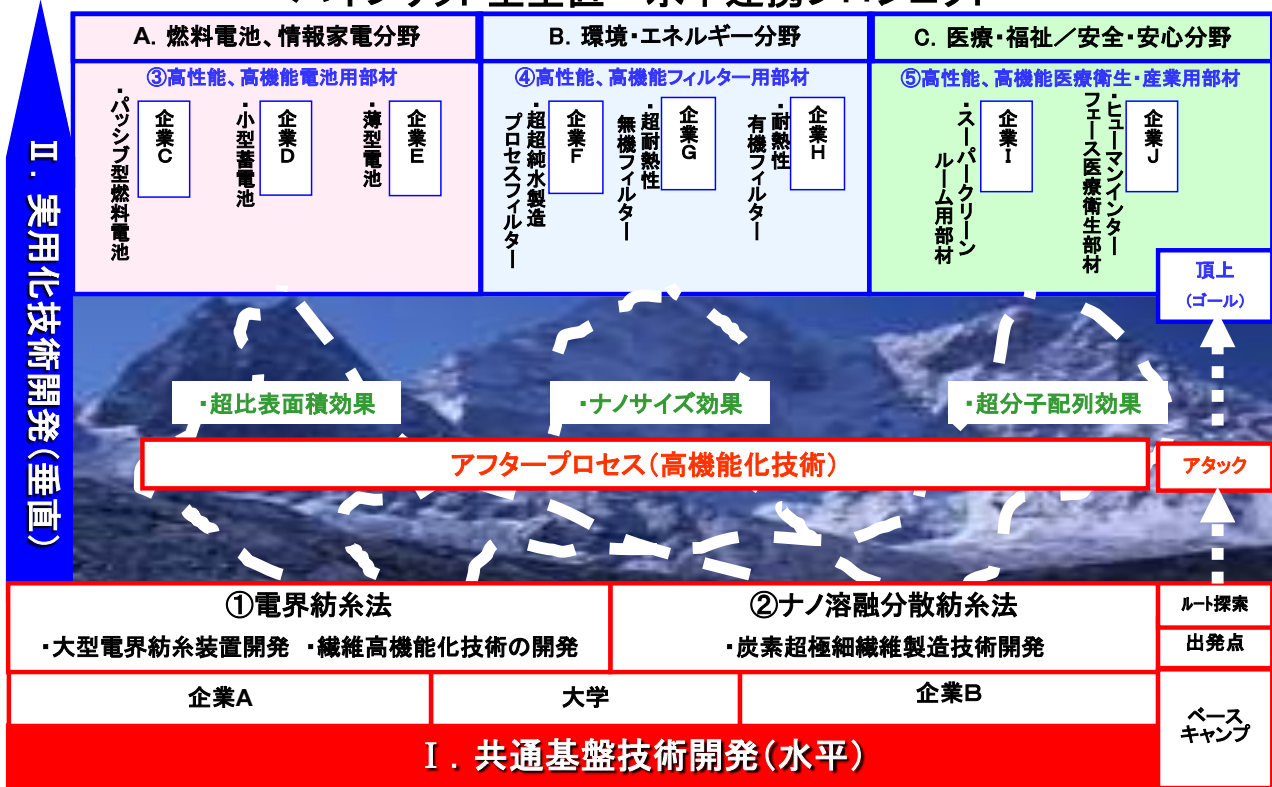
- ▶プロジェクト期間:平成18年度~平成22年度
- ▶研究開発費(実績額):38億円

研究開発体制(NEDOモデル)



研究開発の実施体制(垂直一水平連携)

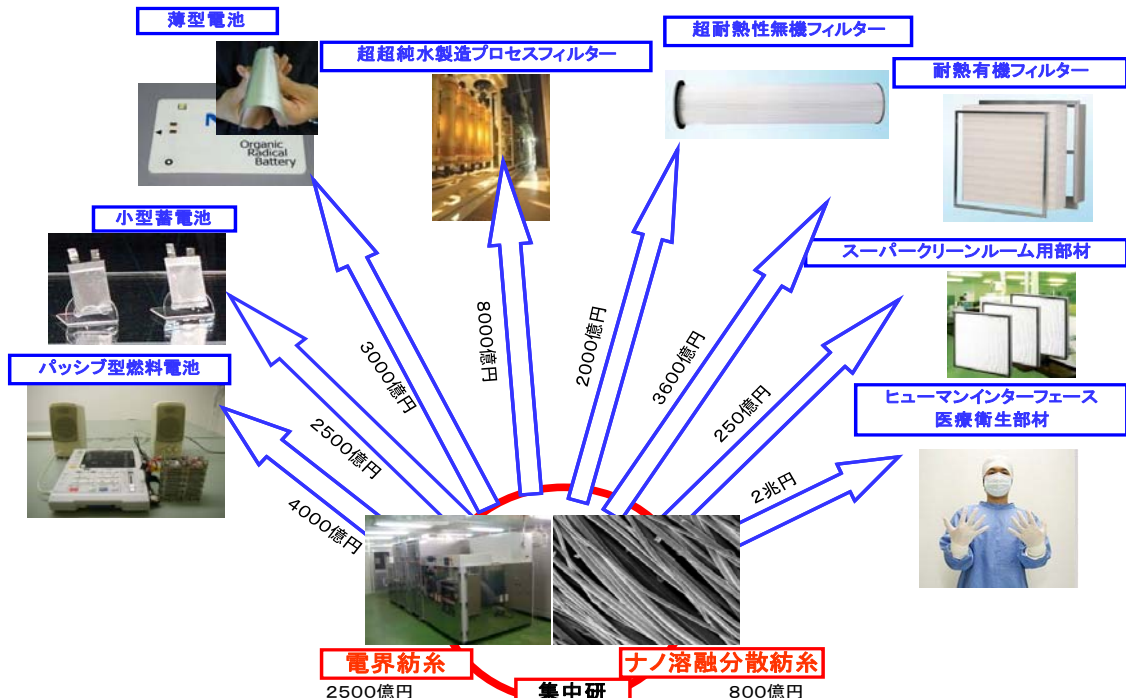
ハイブリッド型垂直一水平連携プロジェクト



実施の効果(費用対効果)

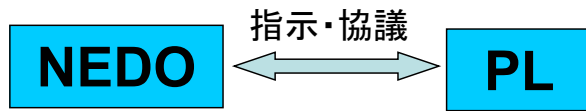
<開発費用(国費合計)>

5年間で約38億円(平成18年度～平成22年度:実績額(加速込))



<効果> 各個本プロジェクト関連分野の市場規模(上記合計)は約4.7兆円

PLの役割



谷岡PLの強力な指導力のもと
プロジェクトを積極推進

①知財枠組み決定のための学
内調整

②運営委員会、電界紡糸グ
ループ会などプロジェクト内連
携強化

- 研究室の組織構成の決定
- 研究体所属研究者の選任
- 予算の配分
- 年度毎の概算要求案の策定
- 研究計画の変更
- 研究経過の報告
- 研究終了報告
- 研究体知的財産権取扱管理
- 論文発表管理
- 各種関係会議への対応、総括
- 事業計画の策定および実施

研究開発成果の実用化・事業化に向けた マネジメントの妥当性(1)

1. 大学が実施する基盤技術開発において、高速連続製造とか工程の短時間化など実用化・事業化を目指した目標設定
2. 実用化を担当する企業が大学成果を利用しやすい実施体制を構築(委託・助成ハイブリッド型、垂直・水平連携)
3. 商品化の際に課題となる、ナノファイバーの安全性検討を技術開発と並行して実施
4. 状況変化や研究開発の進捗状況に応じて加速財源の配分と再委託先追加を実施
5. プロジェクト終了後の**実用化**、さらに**高性能・高機能化**、**新規用途に向けた開発を推進**
 - ①基本的に実用化技術は企業が積極推進
 - ②先端技術実証・評価設備整備事業(経済産業省)に採択決定
 - ③ベンチャー企業設立
 - ④超省エネ型環境浄化用複合機能化ナノ構造エアデバイスの研究開発推進中(ナノテク・先端技術実用化研究開発:NEDO事業)
 - ⑤グリーンセンサ・ネットワーク技術開発プロジェクトへの参画(H23~H26、NEDO事業)

研究開発成果の実用化・事業化に向けた マネジメントの妥当性(2)

公開

事業原簿 p. II-26

6. 海外の企業、研究機関との情報交換、学会参加等を通じ、競合技術との比較をプロジェクト期間中も実施し、目標の妥当性を確認

国名 社名	日本	アメリカ				チェコ	フィンランド	韓国
	繊維PJ(東工大) 現状性能(中間・最終目標値)	A社	B社	C社	D社	E社	F社	G社
繊維直径(nm)	数千~数万(中間100, 最終50)		150-500		35		30	数十~数百
繊維径バラツキ(%)	40(中間50%, 最終20%)			2	1.75	1.6(3.2?)		1.5
製品幅(m)	1.5		1.4		6			
ライン速度(m/分)	50(中間30, 最終80)			15-50				
塗布量(μl/分)	20μl/本・分							
ノズル性能(本)	1000万(中間・最終20万)本相当			9900				数万本
メンテナンス時間	数分	1日	1日	1日	1日	1時間	1日	1時間以内(推定)
生産量(m ² /日)		10,000 (生産量100,000 目標)						
その他	溶解電界紡糸			電界紡糸+フロー併用				
適用樹脂								
ポリウレタン	○							○
ナイロン	○	○	○			○		○
ポリフッ化ビニリデン	○					○		○
セルロース	○							
ポリアクリロニトリル	○							
その他	アミド、無機			無機(酸化チタン)	ポリサルホン ポリカーボネート	ホリビニアルコールなど	無機(アルミナ)	
溶剤	水・有機溶媒 無溶剤も可(溶解電界紡糸) 防爆(溶剤回収)完了		ジメチルアセトアミド?		ジメチルアセトアミド	水		
備考(技術課題等)	3次元コーティング フィラメント パターンニング	爆発経験あり	爆発経験あり	爆発経験あり 基材接着性	爆発経験あり 層間密着性 湿度コントロール	爆発経験あり 有機溶媒への対応	爆発経験あり	シート以外できない 多品種対応難
製品	エアークリッドフィルター 電池部材 衣料・医療用	エアークリッドフィルター ・換気空調用 ・自動車用 ・プラント用 ・軍事用 ・電子機器(HDD)用	エアークリッドフィルター ・建物用換気空調設備 のバグフィルター リキッドフィルター	ナノファイバー ・家庭用エアークリッド等 のOEM製造	ナノファイバー ・医療 ・フィルター ・テキスタイル ・電池部材 等のOEM	電界紡糸装置 ・フィルター ・吸音材 ・電池部材 ・医療用部材	リキッドフィルター	ナノファイバー ・フィルター ・自動車関連部品

ナノファイバーの製造能力(ノズル性能)、防爆技術を重点開発

29

研究開発成果の実用化・事業化に向けた マネジメントの妥当性(3)(知財マネジメント)

公開

1. プロジェクト開始時に、大学と企業との『知財の枠組み調整』を行い、取り扱い方針を決定

28通りのパターンに対して、取り扱い方針、ルールを決定

実用化促進のため大学と企業との共同出願の場合、大学への不実施補償なし

プロジェクトにおける知財取り扱い方針

実施者	特許権者							備考
	単独出願			共同出願				
	東工大	基盤	1/2(A)	東&基盤	東&1/2(A)	東&基&1/2(A)	基&1/2(A)	
東工大(東)								東工大は自己実施しない
基盤企業(基A)	有償	無償	検討a	無償	検討a	無償/検討a用途*	無償/検討a用途*	出願人企業は、自由かつ無償で実施可能。
1/2助成企業(1/2 A)	有償	検討a	無償	検討a	無償	無償/検討a用途*	無償/検討a用途*	
B(基盤及び助成)	有償	検討a	検討a	検討a	検討a	検討a	検討a	
非参加企業(X社)	検討b	検討b	検討b	検討b	検討b	検討b	検討b	出願人企業以外のプロジェクト参加企業は特別な理由が無い限り実施許諾を受けられる

2. 基盤技術に関する特許は積極出願、実用化技術に関しては企業の戦略を尊重

30

運営管理

各種連絡会を実施し、グループ間およびグループ内の情報交換を積極的に図り、本プロジェクトの目的・目標に照らした適切な運営管理を実施

ナノファイバープロジェクト運営委員会(27回)

プロジェクト全体の運営方針を議論。運営委員会委員(各実施者代表)が出席
電界紡糸グループ会(116回)

電界紡糸関連グループの打ち合わせ。電界紡糸関係者が出席

ナノ溶融分散紡糸グループ会(103回)

ナノ溶融分散紡糸関連グループの打ち合わせ。ナノ溶融分散紡糸関係者が出席

助成テーマ毎の打ち合わせ等

東工大集中研とPFSCとの打合せ(27回)

ナノ溶融分散紡糸WG推進会(ナノ溶融分散紡糸関係者+PLが出席:36回)

小型蓄電池(34回)、ラジカルポリマー薄型電池(117回)

パッシブ型燃料電池(16回)、超超純水製造プロセスフィルター(36回)

超耐熱性無機フィルター(12回)、耐熱性有機フィルター(26回)

スーパークリーンルーム(63回)、ヒューマンインターフェース医療衛生部材(147回)

事業原簿 p. II-21

運営管理

技術推進委員会(NEDO推進部主催)

NEDOが外部の専門家、有識者等によって構成される技術推進委員会を1回/年度目処に開催し、プロジェクトの目標達成度を適時確認。

さらに、その結果をプロジェクトの見直し、加速等のマネジメントにも活用

評価項目	開催実績	第一回:平成19年3月12日
1) マイルストーンについて		第二回:平成20年4月24日
2) 研究開発成果について		第三回:平成21年10月16日
3) 実用化の見通しについて		

第一回、第二回技術推進委員会外部有識者委員

氏名	所属 部署	役職
金谷 利治	国立大学法人京都大学 化学研究所 複合基盤化学研究系 高分子物質科学	教授
指田 禎一	日清紡績株式会社	取締役会長
長島 徳明	山形大学	客員教授
林 義郎	グローバル情報社会研究所株式会社	顧問

第三回技術推進委員会外部有識者委員

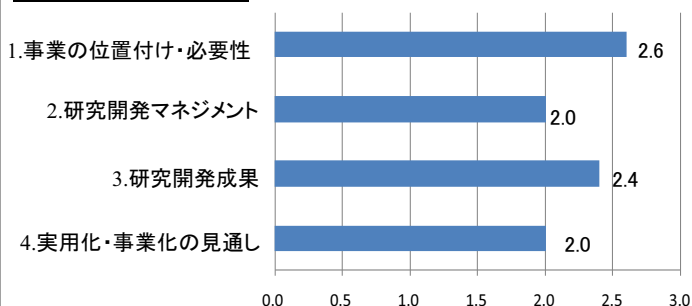
氏名	所属 部署	役職
金谷 利治	国立大学法人京都大学 化学研究所 複合基盤化学研究系 高分子物質科学	教授
岩下 俊士	日清紡ホールディングス株式会社	取締役会長
長島 徳明	山形大学	客員教授
林 義郎	グローバル情報社会研究所株式会社	顧問

(敬称略・順不同)

運営管理

平成20年度に有識者による中間評価を実施(NEDO評価部主催委員会)

中間評価結果



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。

研究開発成果+実用化・事業化の見通し:
3以上が「合格」、4以上が「優良」
→本プロジェクトは 2.4+2.0=4.4 で「優良」評価

中間目標を達成していることから、
研究開発の一部加速して継続

・最終目標達成の目途がたった、燃料電池開発については21年度より自主事業

<評価と対処方針>

・我が国独自の繊維化技術の開発に成功している。平行して、新素材による世界初や世界最高レベルの高性能、高機能な部材や製品が開発され、実用化に向けた検討が順調に進んでいる。産学官連携および水平・垂直連携という斬新な体制構築が上手く機能し、革新的成果がでていけると言える。

・部材や製品の普及に向けて、**実用化、事業化の可能性の高いテーマに予算を集中的に投下する**といった検討をするなど、本分野の日本の優位性をプロジェクトの後半部分で是非、達成して欲しい。
→ **ナノファイバーの大量生産化に向けた革新的技術を開発するという成果を受けて、分野の日本の優位性を確立すべくナノファイバーの高機能化技術の加速を行う。**

・分野の違う部材や製品の実用化に向けての課題で共通のものがあるように考えるので、本事業内での情報の共有化による連携強化とともに、オールジャパンで知財の確立、さらなる技術展開を目指して貰いたい。→事業者間の情報共有を行うため、**ナノファイバー運営委員会、電界紡糸グループ会、ナノ溶融分散紡糸グループ会**を開催し連携を強化するとともに、**ナノファイバー学会**が設立(平成20年12月)されたことから、本学会を活用し知識の蓄積と技術の有効活用を通して、オールジャパンで推進していく。

・ナノファイバーには非常に広い応用分野が開けていると考えられるので、もう少し幅を広げることも視野に入れることが望ましい。→**ナノファイバーの研究の進展にともない、新たな応用の可能性についても引き続き整理していく。**

平成21年度独法評価ではNEDO代表プロジェクトとして優良評価を得た。

33

情勢変化への対応

予算推移(追加配分による加速)

プロジェクトの運営管理として、進捗状況や**中間評価、技術推進委員会**の結果をふまえ、目覚ましい技術的成果を上げた案件に関し、年度内に更なる**追加配分**を行い、加速的に研究を進捗させた

	研究開発項目	H18y	H19y	H20y	H21y	H22y
委託	①電界紡糸法における繊維高機能化、大型装置化技術の開発	加速(130) 297	加速(62) 290	加速(50) 244	加速(23) 231	180
	②ナノ溶融分散紡糸法による炭素超極細繊維製造技術の開発	加速(60) 125	加速(19) 146	121	加速(29) 117	96
1/2助成	③高性能、高機能電池用部材の開発	188	加速(13) 190	136	91	78
	④高性能、高機能フィルター用部材の開発	74	90	69	59	35
	⑤高性能、高機能医療衛生・産業用部材の開発	138	加速(8) 144	105	99	65
	予算(百万円)	1,012	962	725	649	487

情勢変化への対応(加速)

プロジェクトの運営管理として、進捗状況や技術推進委員会の結果をふまえ、目覚ましい技術的成果を上げ、年度内に更なる追加配分を行い、加速的に研究を進捗させた

平成18年度加速実績: 190百万円

開発項目	加速内容	金額 (百万円)
①	繊維の形態、構造等に関する評価装置を導入することにより超微細繊維、超微細繊維構造形成状態の観察、前駆体、繊維の表面構造や積層構造に対して表面物性の測定、電気的物性や細孔径分布の計測が迅速となり大型電界紡糸装置の開発が促進された。	130
②	炭素超極細繊維の電気伝導性や配向性の計測装置を導入することにより炭素繊維製造方式の妥当性が確認され研究開発が促進された。	60

基盤技術①②に評価機器等を導入し、研究開発を促進した。

平成19年度加速実績: 105百万円

開発項目	加速内容	金額 (百万円)
①	溶剤回収装置の試作装置を導入することにより水系溶から有機溶系まで高分子を電界紡糸する装置の開発が促進された。	62
②	真空置換炉および品質評価設備を導入することにより、炭素繊維超極細繊維の品質向上が促進された。	19
③	炭素前駆体の粘弾性測定装置や電池性能評価設備を導入することにより電池用部材の開発が促進された。	13
⑤	三次元変革高度測定装置等を導入することによりテキスタイルの構造体としての均一性の確認が容易となり、医療衛生部材等の開発が促進された。	8

基盤技術①に試作設備
②に品質評価設備
助成事業③⑤評価機器等を導入し、研究開発を促進した。

事業原簿 p. II-29~31

情勢変化への対応(加速と再委託先追加)

平成20年度加速実績: 50百万円

開発項目	加速内容	金額 (百万円)
①	3次元立体成型電界紡糸装置一式を導入することにより、極細繊維の製造速度向上と3次元立体成型電界紡糸高品質化の両立を図る技術開発が促進された。	30
①	高機能化制御装置一式を導入することにより、極細繊維の製造速度向上と多種材料同時紡糸の両立を図り、異なる機能(強度、密着性、抗菌性等)を持つナノファイバー不織布を同時に成型する技術開発が促進された。	20

基盤技術①に試作設備、評価機器等を導入し、研究開発を促進した。

平成22年度10月: 再委託先追加九州大学
(CNT単子の熱伝導率測定技術保有)

②ナノ溶融分散紡糸法による炭素超極細繊維製造技術の開発グループでは、カーボンナノファイバー(CNF)の高品質化のため、CNF単子の熱伝導性測定・評価を行った。

平成21年度加速実績: 62百万円

開発項目	加速内容	金額 (百万円)
①	超極細繊維大容量発生装置を導入し、高速かつ大容量のエアを安定して供給することで繊維径のばらつきが少ない高品質の超極細繊維を高速で、安全に、かつ低電力消費で作製する技術の開発が促進される。	18
①	電界紡糸吐出挙動解析装置一式を導入し、ノズルから吐出する超極細繊維の吐出挙動の解析を行うことで、高速紡糸と高品質化の技術開発が促進された。	15
②	超極細炭素繊維用途開拓用サンプル製造装置一式を導入することにより、効率的量産へ向けた基礎技術の検討ならび、用途開発/用途開拓に向けたサンプルワークが促進された。	29

基盤技術①に試作設備と解析装置②に試作設備を導入し、研究開発を促進した。

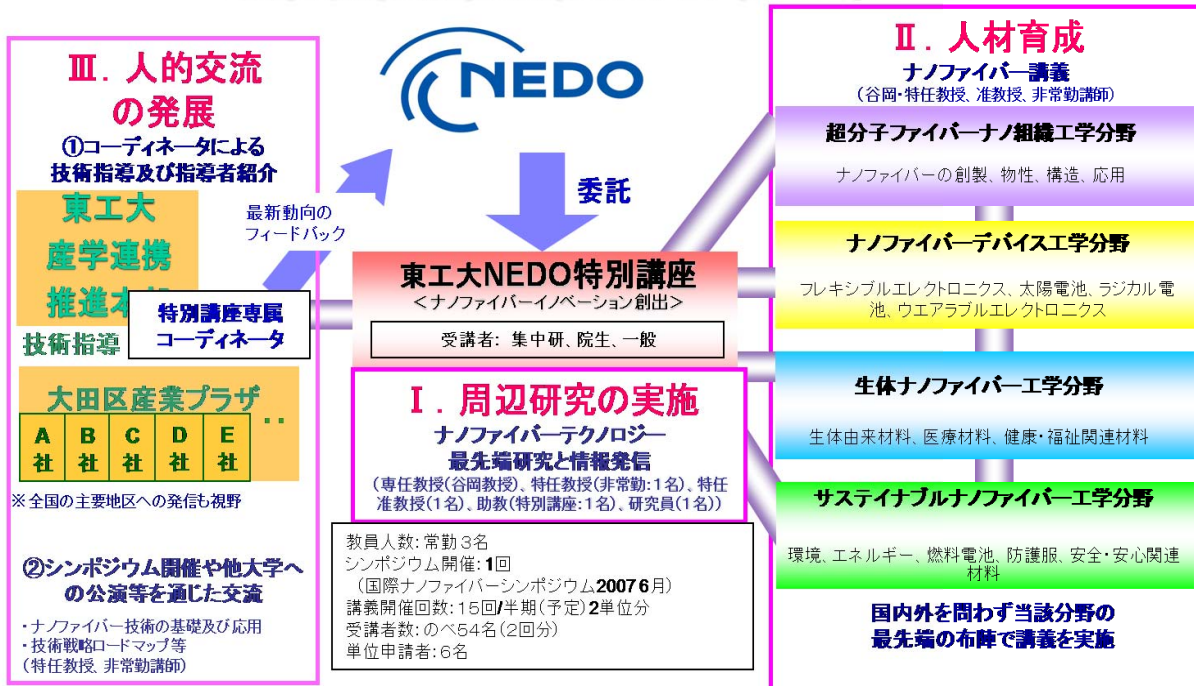
事業原簿
p. II-21~33

基盤(電界紡糸、ナノ溶融分散紡糸)技術を確立でき、結果として実用化技術開発を促進することができた。

NEDO特別講座

コアプロジェクトの基幹技術に関連した周辺研究の実施、人材育成、人的交流事業を展開し、産学連携を促進するための「場」を形成

東工大NEDO特別講座<ナノファイバーイノベーション創出> (平成19年度開始)
 ~「科学」と「技術」、「現在」と「未来」、「ナノファイバー」と「異分野」のネジ止め~



ナノテク・部材イノベーションプログラム

「先端機能発現型新構造繊維部材基盤技術の開発」

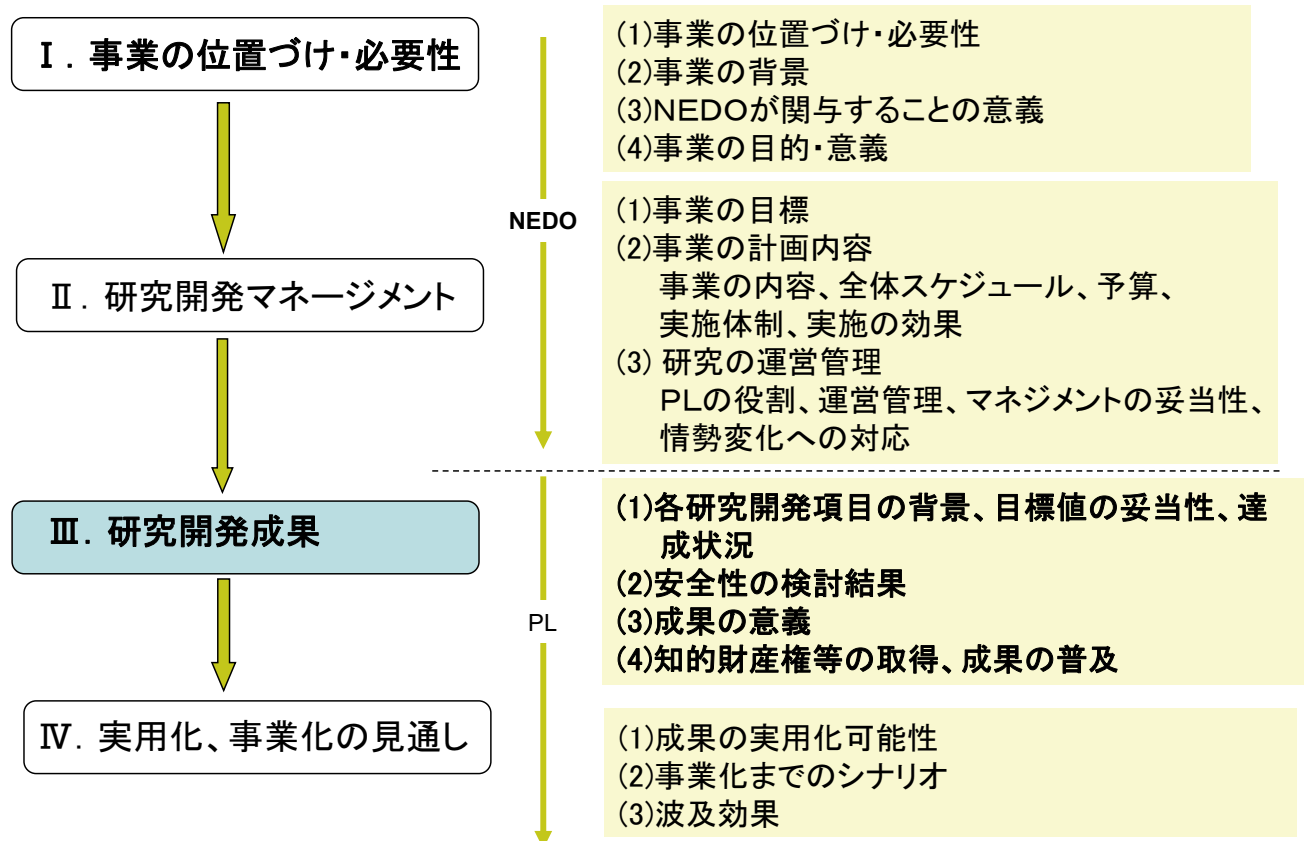
5. プロジェクトの概要説明

5-2 研究開発成果、実用化事業化の見通し

プロジェクトリーダー
東京工業大学大学院 理工学研究科 教授
谷岡 明彦

平成23年9月16日(金)

概要説明 報告の流れ



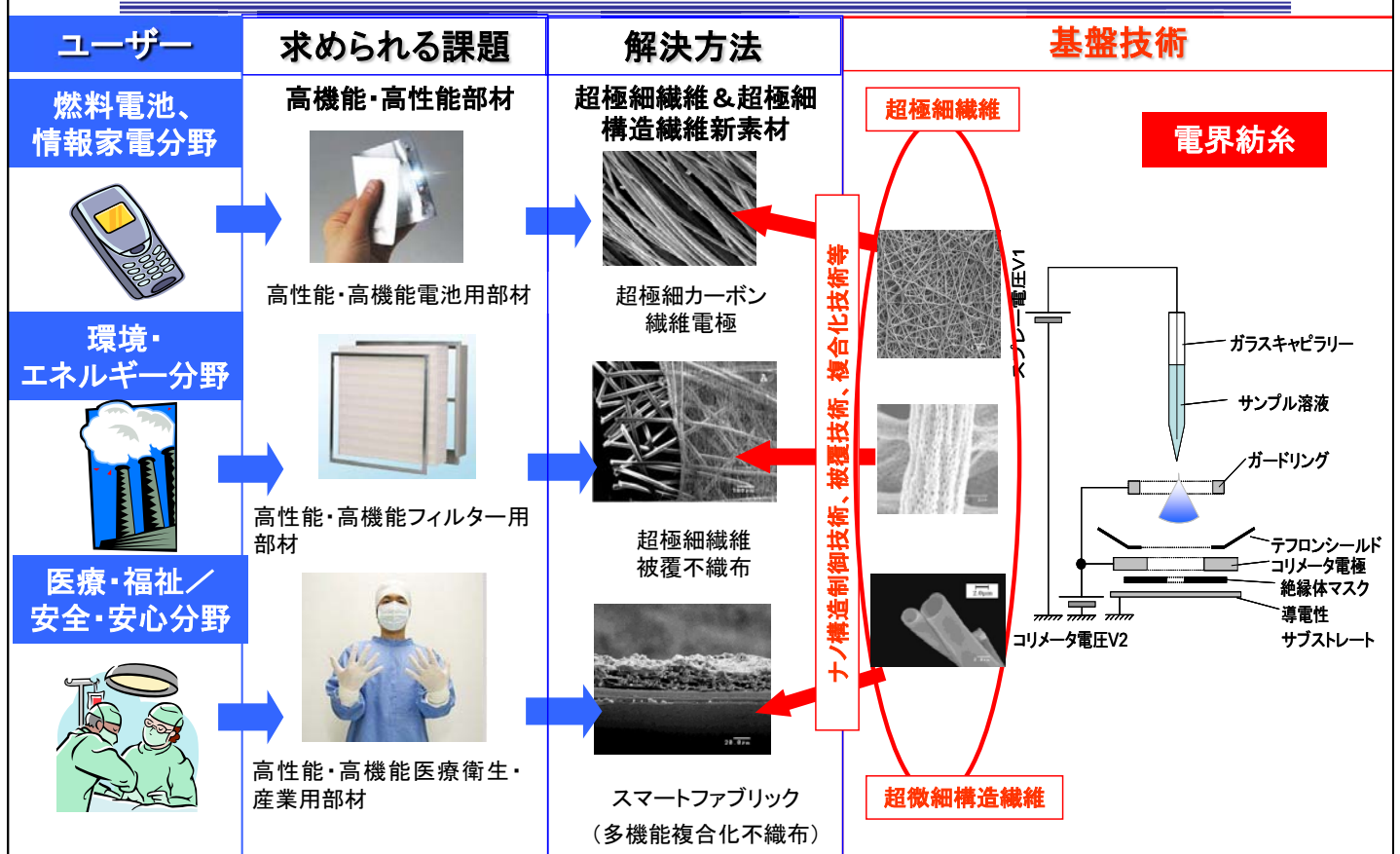
開発目標と達成状況

◎、○、×の定義

- ◎: 最終目標 達成
- : 最終目標 ほぼ達成
- △: 最終目標 未達だが、
実用化可能レベルには達成
- ×: 最終目標 未達

研究開発項目①「電界紡糸法における繊維高機能化、大型装置化技術の開発」

背景



Ⅲ. 研究開発成果(開発目標の妥当性) 事業原簿 p. Ⅲ-2.1-6,13 **公開**

研究開発項目①「電界紡糸法における繊維高機能化、大型装置化技術の開発」

(1)大型電界紡糸装置基盤技術の開発

検討項目	中間目標	最終目標	設定理由
ノズル性能	20 μ l/本・分(噴出速度)×20万本のノズル性能に相当	20 μ l/本・分(噴出速度)×20万本のノズル性能に相当	現在稼動している世界最大の生産装置はノズル数が約2万本から構成されている。不織布状材料の大量生産を図るには現状の10倍のノズル数に設定する必要がある。
繊維直径	100nm	50nm	現在エアフィルター用等に工業生産(メルトブロー法)されている最小繊維径は500nm程度であり、超高性能エアフィルター開発にはさらにその10分の1の繊維径が必要である。
繊維径のばらつき	50%以下	20%以下	エアフィルターにおいて圧力損失の出来るだけ低減するには繊維径のばらつきをできるだけ小さくする必要がある。海外の大型電界紡糸装置では繊維径のばらつきが100%程度であるから5分の1に設定

(2)電界紡糸法における繊維高機能化技術の開発

検討項目	中間目標	最終目標	設定理由
不織布状材料	30m/分	60m/分	超極細繊維不織布を大量生産するには最大60m/分の製造ラインが必要である。海外の大型装置では1m/分～5m/分程度である。
コーティング	150m/分	300m/分	エアフィルター用部材等の製造を行うためのコーティングでは最大300m/分の製造ラインが必要である。海外の大型装置では10m/分～50m/分程度である。
フィラメント	30m/分	60m/分	超極細繊維フィラメント製造には60m/分程度の製造ラインが必要である。海外の大型装置に実績がなく不織布状材料と同等であれば十分である。

Ⅲ. 研究開発成果(開発目標の妥当性) 事業原簿 p. Ⅲ-2.1-7,14 **公開**

研究開発項目①「電界紡糸法における繊維高機能化、大型装置化技術の開発」

(1)大型電界紡糸装置基盤技術の開発

検討項目	最終目標	到達値	達成状況	内容
ノズル性能	20 μ l/本・分(噴出速度)×20万本のノズル性能に相当	20 μ l/本・分(噴出速度)×20万本のノズル性能に相当	◎	超高性能ノズル及びファイバーリング方式に改良を加えより高性能化を図った。
繊維直径	50nm	50nm	◎	溶媒の種類、溶液濃度、温度、湿度、電場等の制御をより詳細に行い細繊維化を進めることができた。
繊維径のばらつき	20%以下	20%以下	◎	溶媒の種類、溶液濃度、温度、湿度、電場等の制御をより詳細に行い繊維径のばらつきを改善することができた。

(2)電界紡糸法における繊維高機能化技術の開発

検討項目	最終目標	到達値	達成状況	内容
不織布状材料	60m/分	60m/分	◎	固定化や自立膜の分離など繊維コレクターやロール系の改善をすることで高速化を行うことができた。
コーティング	300m/分	300m/分	◎	
フィラメント	60m/分	60m/分	◎	ノズル及び糸巻き取り系、電界制御系の改善を行うことで高速化を行うことができた。

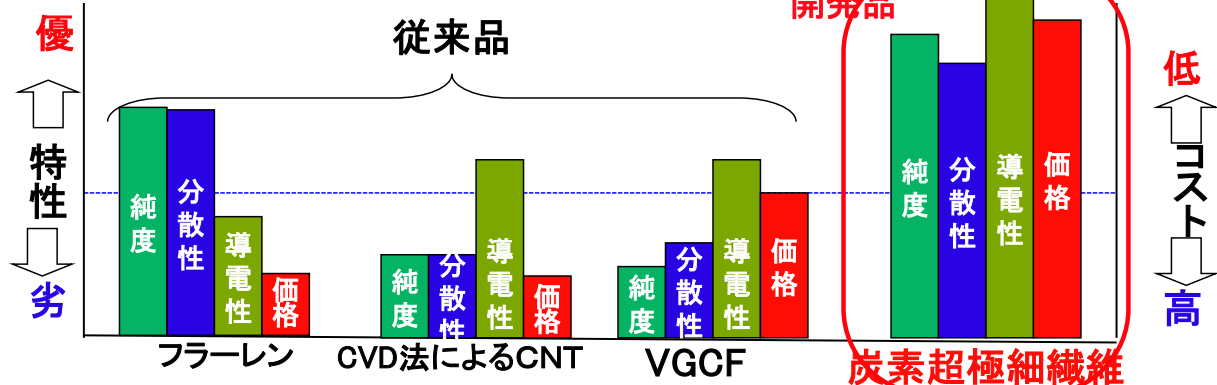
研究開発項目②「ナノ溶融分散紡糸法による炭素超極細繊維製造技術の開発」

公開

背景

ナノカーบอนは、電極材料、導電材料、蓄電材料、放熱材料等の高機能炭素材料として大きな市場が期待されている。

開発の目標



高純度で高度に配向した(高導電性の)、100nmオーダーの炭素超極細繊維や、高い比表面積を有する炭素超極細繊維の効率的な製造技術を開発する

最終目標

検討項目	最終目標
繊維径	100 nm
比表面積	1500 m ² /g
不融化時間	現状の1/10

事業原簿 p. III-2.2-1,7

Ⅲ. 研究開発成果(開発目標の妥当性)

公開

研究開発項目②「ナノ溶融分散紡糸法による炭素超極細繊維製造技術の開発」

項目	中間目標	最終目標	目標値の妥当性
繊維径	500nm	100nm	<ul style="list-style-type: none"> 薄型電池の電極では印刷による高容量化が求められ、超極細炭素繊維の開発が急務。 一般の溶融紡糸で作製する炭素繊維では繊維径7μ mで、特殊な方法で作っても1~2μ mが限界。 その一桁下を最終目標に設定。 中間目標は、その中間の500nmを設定した。
比表面積	300 m ² /g	1500 m ² /g	<ul style="list-style-type: none"> 一般の活性炭は賦活処理をして比表面積1000~2000 m²/gを達成。しかし、賦活処理は炭素を酸化して穴を空けるので、半分以上の炭素が消失。 中間目標は、賦活処理をしないでどこまで出来るかを調べる意味で300m²/gを設定。 最終目標はキャパシター等を想定した場合、外表面からの拡散距離が重要となり、ナノファイバーでは拡散距離を半径の50nmと短くする事で有利となることから1500 m²/gに設定。
不融化時間	現状の1/3	現状の1/10	<ul style="list-style-type: none"> 100μ m程度のブレンド繊維の中心部までを軟化点よりも低い温度で不融化するには30時間以上必要。 コスト高を解決するために、中間目標は1/3の10時間に設定。 最終目標は産業化を想定して1/10の3時間に設定。

事業原簿 p. III-2.2-7

Ⅲ. 研究開発成果

公開

研究開発項目②「ナノ溶融分散紡糸法による炭素超極細繊維製造技術の開発」

検討項目	最終目標	到達値	達成状況	コメント
繊維直径	100 nm	88 nm	◎	使用目的によっては太い繊維の混入が必要なこともあるが、繊維系分布の狭いCNFを作る技術が必要である
非表面積	1500 m ² /g	1550 m ² /g	◎	賦活収率の向上が必要である
不融化時間	現状の1/10	現状の1/20	◎	不融化時間は達成できたが、かさ高いCNFの焼成コストの問題が顕在化した。

◎:達成 ○:ほぼ達成 △:未達だが、実用化可能レベルには達成 ×:未達

全ての項目で目標達成！
世界最高レベルを達成！

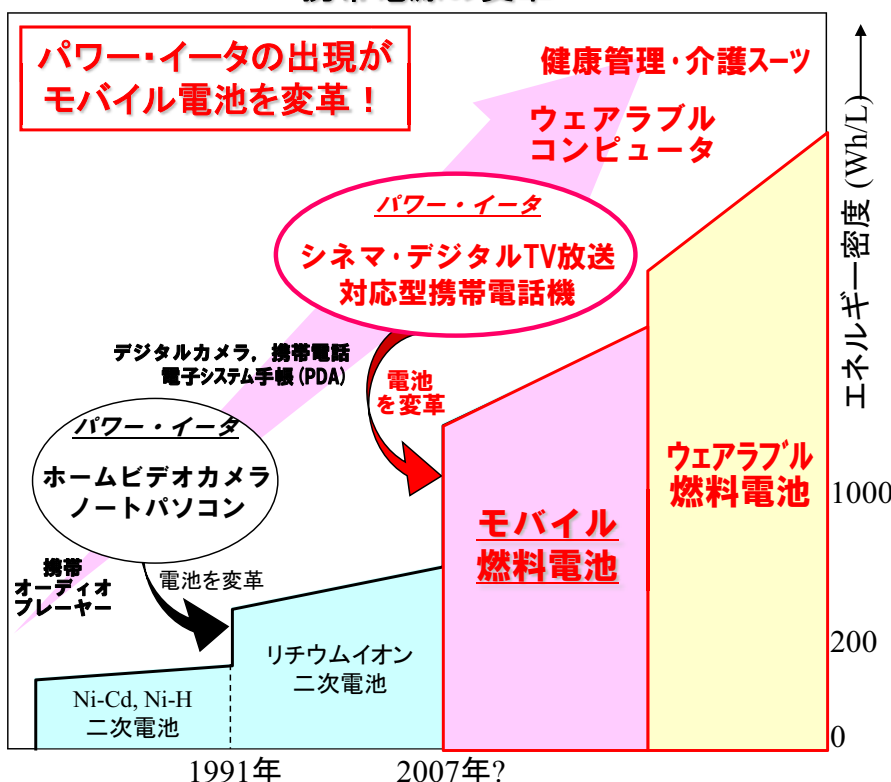
事業原簿 p. Ⅲ-2.2-9

研究開発項目③「高性能、高機能電池用部材の開発」

公開

③-(1) パッシブ型燃料電池の開発
背景

携帯電源の変革



モバイル燃料電池

次世代携帯電話機において、シネマや地上デジタルTV放送を長時間視聴可能にするには、内蔵用の小型モバイル燃料電池の開発が必須。



シネマ・デジタルTV放送
対応型次世代携帯電話機

事業原簿 p. Ⅲ-2.3.1-1

Ⅲ. 研究開発成果(開発目標の妥当性)
 研究開発項目③「高性能、高機能電池用部材の開発」
 ③-(1) パッシブ型燃料電池の開発

検討項目	中間目標	最終目標	設定理由
燃料電池出力	50 mW/cm ²	100 mW/cm ²	最終目標は現時点で 世界最高レベル に匹敵する値である。 開発したCNFbc複合電極は電池出力を1.5倍にする効果があり、パッシブ型燃料電池の大幅な小型化が可能となり、携帯機器等への搭載が容易となる。
拡散層の厚さ	120 μm	100 μm	上記目標を達成するための最適な厚みである。

事業原簿 p. Ⅲ-2.3.1-4

Ⅲ. 研究開発成果
 研究開発項目③「高性能、高機能電池用部材の開発」
 ③-(1) パッシブ型燃料電池の開発

検討項目	最終目標	到達値	達成状況	コメント
燃料電池出力	100 mW/cm ²	100 mW/cm ²	◎	燃料電池全体でのレベルアップとCNFbcによる集電性・拡散性・排水性により目標を達成することができた。今後は燃料電池の実用化に向けて市場の動向をウォッチングしながら研究開発を進めていく。2008年9月の中間評価にて最終目標達成の目処が立ったためプロジェクトを卒業し、独自に事業化を検討中である。
拡散層の厚さ	100 μm	113 μm	○ (達成とみなせる)	拡散層の厚さは薄ければよいというものではなく、集電性と拡散性のバランスが取れる最適値があることが判明した。

◎:達成 ○:ほぼ達成 △:未達だが、実用化可能レベルには達成 ×:未達

事業原簿 p. Ⅲ-2.3.1-4

研究開発項目③「高性能、高機能電池用部材の開発」

公開

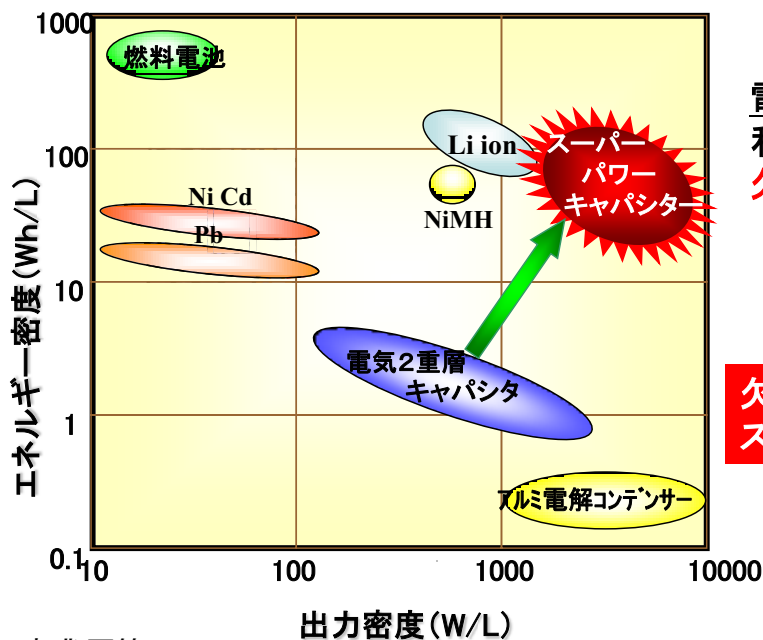
③-(2) 小型蓄電池の開発
背景

市場ニーズ

環境配慮型社会: HEV・FCEV
ユビキタス社会: 高性能携帯機器

先進的蓄電部材

瞬発力、持続力、高出力、
高エネルギー密度、安全性...



電気二重層キャパシタ

利点: 瞬発力、長寿命(充放電特性)
欠点: 低エネルギー密度、高コスト

欠点を解消した
スーパーパワーキャパシタが不可欠

事業原簿 p. III-2.3.2-1

Ⅲ. 研究開発成果(開発目標の妥当性)

公開

研究開発項目③「高性能、高機能電池用部材の開発」

③-(2) 小型蓄電池の開発

検討項目	中間目標	最終目標	設定理由
エネルギー密度	20 Wh/L	200 Wh/L	現在提案されているうちで最高性能レベルの電気二重層キャパシタと比べ、約5倍の値である。また、電極材料のコストは、炭素超極細繊維を用いると、最高性能レベルの電気二重層キャパシタに用いられている電極材料の1/2となることが期待される。その結果、電気容量当たりのコストが既存技術に比べて大幅に低減できる。
出力密度	5 kW/L	10 kW/L	現在提案されているうちで最高性能レベルの電気二重層キャパシタと比べほぼ同等の値である。エネルギー密度を重視したことから出力密度は現実的な値とした。

事業原簿 p. III-2.3.2-4

Ⅲ. 研究開発成果
 研究開発項目③「高性能、高機能電池用部材の開発」
 ③-(2) 小型蓄電池の開発

検討項目	最終目標	到達値	達成状況	内容
エネルギー密度	200 Wh/L	100 Wh/L	△	賦活化した炭素超極細繊維と易黒鉛化性炭素の粉碎品との混合電極を正極に用いることによって、電極内の炭素材料の密度を上昇させることができ、エネルギー密度を向上させることができた。
出力密度	10 kW/L	>10 kW/L	◎	電極組成および電極成形法検討による電極の薄葉化を行い、出力密度を向上させることができた。

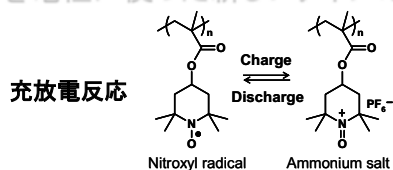
◎:達成 ○:ほぼ達成 △:未達だが、実用化可能レベルには達成 ×:未達

➤更なる高エネルギー密度化には、リチウムイオン二次電池の正極活物質との複合化により、高い出力密度を保持した状態で、高エネルギー密度化を達成することができるか、検討を進める。

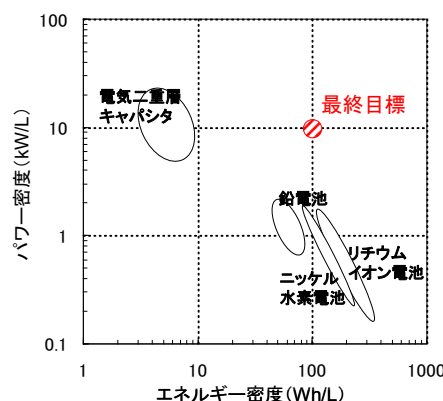
事業原簿 p. Ⅲ-2.3.2-5

研究開発項目③「高性能、高機能電池用部材の開発」
 ③-(3) 薄型電池の開発
 背景

有機ラジカル電池 (2001年に日本電気が提案した新電池)
 蓄電性プラスチックを電極に使った新しいタイプの二次電池

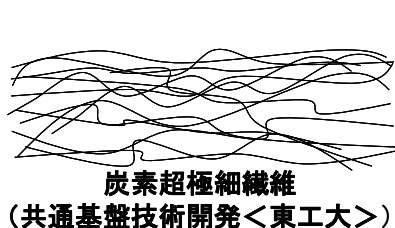


- ✓薄型フレキシブル: 柔軟なプラスチック材料を用いた電極
- ✓二次電池: 充電することで、繰り返し使用可能 (3.5V 動作)



本研究の目的: 炭素超極細繊維との複合化による
 高パワー密度、高エネルギー密度電池の実現

炭素繊維の役割: 電極における導電付与剤 (ラジカルへの電子の受け渡し役)
 → 炭素超極細繊維により内部抵抗の低減、ラジカル利用率を向上



炭素超極細繊維および複合電極の構造最適化



- 炭素超極細繊維の最適化項目
- ①繊維径および長さ
 - ②結晶化度
 - ③表面状態

ラジカル材料/炭素超極細繊維複合電極

事業原簿 p. Ⅲ-2.3.3-1

Ⅲ. 研究開発成果(開発目標の妥当性)
 研究開発項目③「高性能、高機能電池用部材の開発」
 ③-(3) 薄型電池の開発

事業原簿
 p. Ⅲ-2.3.3-1

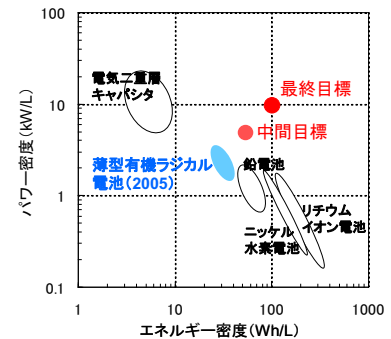
検討項目	中間目標	最終目標	設定理由
厚さ	0.3 mm	0.2 mm	規格サイズ(0.76mm厚)のICカードに内蔵可能な薄さ→厚さ 0.2 mm
パワー密度	5 kW/L	10 kW/L	30秒でほぼフル充電、10秒で3割程度充電が可能 → パワー 0.2 W
エネルギー密度	50 Wh/L	100 Wh/L	数日間の信号発信(約5万回以上)が可能→出力 2 mWh

* 電極面積1cm×1cmを想定

● 他の薄型エネルギーデバイスとの比較

薄型エネルギーデバイス	一次or二次	薄さ	パワー	エネルギー
薄型Mn一次電池(市販)	一次	○ 0.5mm	× <1kW/L	△ 50Wh/L
薄型Li一次電池(市販)	一次	○ 0.4mm	× <1kW/L	◎ 150Wh/L
薄型二重層キャパシタ(開発中)	二次	× 1.9mm	◎ 25kW/L	× <1.0 Wh/L
薄型有機ラジカル電池(本研究開発)	二次	◎ 0.2mm	○ 10kW/L	○ 100Wh/L

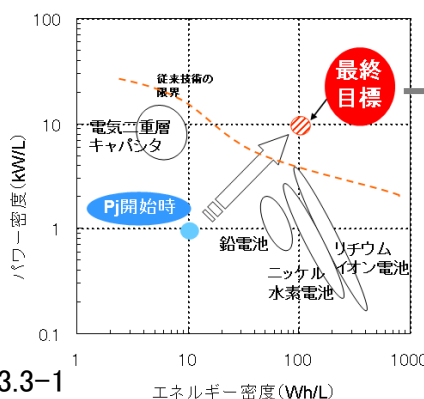
● 他のエネルギーデバイスとの比較



Ⅲ. 研究開発成果
 研究開発項目③「高性能、高機能電池用部材の開発」
 ③-(3) 薄型電池の開発

検討項目	最終目標	到達値	達成状況	コメント
厚さ	0.2 mm	0.15 mm	◎	電極の圧縮による 薄型化
パワー密度	10 kW/L	12.3 kW/L	◎	炭素超極細繊維の細繊維化および新構造(綿花構造)により パワー密度向上
エネルギー密度	100 Wh/L	116 Wh/L	◎	炭素超極細繊維の細繊維化および新構造によるラジカル使用効率の向上および電極圧縮により エネルギー密度向上

◎:達成 ○:ほぼ達成 △:未達だが、実用化可能レベルには達成 ×:未達



ICカードなどの薄型**ユビキタス**デバイスに適用

研究開発項目④「高性能、高機能フィルター用部材の開発」

公開

④-(1) 超超純水製造プロセスフィルターの開発

背景

次世代半導体、MEMS、FPD等ナノデバイス製造プロセスの洗浄に用いる**超高純度超純水製造プロセス用**。特に微量特定物質除去。

＜従来技術では除去できない物質＞

イオン交換樹脂からの有機物、尿素様物質

従来技術 ⇒ 1ppb以下

(技術なし) ⇒ 0.1ppb以下への挑戦

重金属イオン(Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn)

従来技術 ⇒ 0.1ppt以下

次世代・次々世代 ⇒ 0.01ppt以下

無機物系イオン(ホウ素等)

従来システム(RO膜、イオン交換樹脂)では除去が不十分。

開発中 ⇒ 0.1ppt以下

将来の未知物質

さらなる超高純度化では、使用母材からの溶出防止が課題。

従来素材はいずれも溶出の問題があり、抜本的な母材の見直しが必要。

事業原簿 p. III-2.4.1-1

従来技術の問題点



イオン交換繊維

交換容量不足
母材の分解



活性炭

特異性なし
(微量ホウ素、尿素を吸着できず)
吸着量不足



逆浸透膜

エネルギー消費大

Ⅲ. 研究開発成果(開発目標の妥当性)

公開

研究開発項目④「高性能、高機能フィルター用部材の開発」

④-(1) 超超純水製造プロセスフィルターの開発

項目	中間目標	最終目標	設定理由
有機物除去 TOC濃度として	1ppb以下	0.1ppb以下	紫外線分解装置、逆浸透膜(RO膜)、限外ろ過膜(UF膜)等を組み合わせた現在の最高水質は0.1ppb前後である。本プロジェクトの到達目標水質は現状技術レベルと同等だが、有機物除去プロセスを大幅に簡素化できるものであり、フィルターによる除去として 世界初 を実現する目標である。
金属類除去	0.05ppt以下	0.01ppt以下	逆浸透膜(RO膜)、限外ろ過膜(UF膜)、イオン交換樹脂装置等を組み合わせたの最高水質は0.05ppt~0.1pptである。本プロジェクトでの到達目標水質は 世界最高水準 である。
金属除去 能力の寿命	—	寿命1年	イオンフィルターの寿命は3ヶ月であり、本プロジェクトでの到達目標は、 世界最高水準 を実現する目標である。

* TOC濃度換算: 全有機炭素濃度

事業原簿 p. III-2.4.1-4

Ⅲ. 研究開発成果

公開

研究開発項目④「高性能、高機能フィルター用部材の開発」

④-(1) 超超純水製造プロセスフィルターの開発

項目	最終目標	到達値	達成状況	コメント
有機物除去 TOC濃度として	0.1ppb以下	0.1ppb (システム完成時見通し)	○	入口1.5 ppmを出口0.1 ppbとする(除去率として99.9993%に相当)システムとして、凝集ろ過+熱交換器+栄養剤+生物活性炭+還元処理+フィルター+純水システム+超極細繊維フィルターを考案し、0.5 ppbの水質までを確認するとともに、システム最適化で0.1ppb以下を達成できる見通しを得た。 世界初。
金属類除去	0.01ppt以下	0.01ppt	◎	入口1 pptを出口0.01 ppt以下とする(除去率として99%以上に相当)イオン交換能を有する超極細繊維層を含む3層構造のフィルターを開発し、試作品での性能を確認した。 世界最高水準。
金属除去能力の寿命	寿命1年	寿命1年 (加速試験からの推定値)	○	加速試験からの推定値として、寿命1年であることを確認した。 世界最高水準。

◎:達成 ○:ほぼ達成 △:未達だが、実用化可能レベルには達成 ×:未達

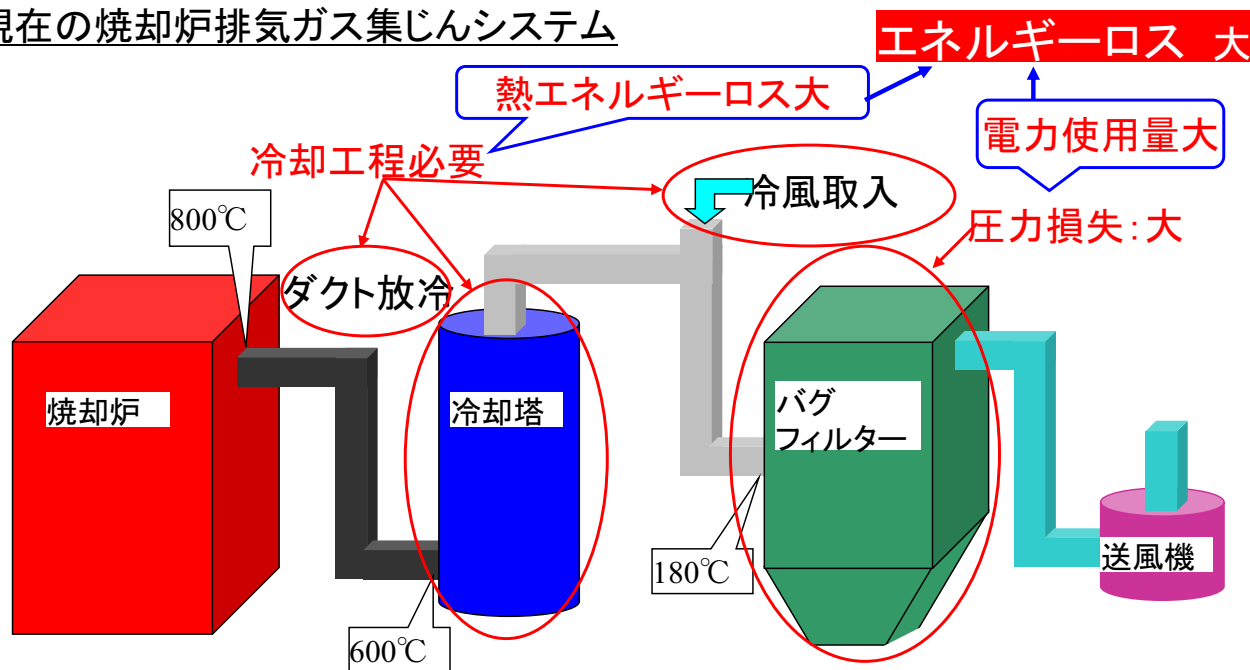
事業原簿 p. Ⅲ-2.4.1-5

研究開発項目④「高性能、高機能フィルター用部材の開発」

公開

④-(2) 超耐熱性無機フィルターの開発
背景

現在の焼却炉排気ガス集じんシステム

省エネルギー
環境問題フィルターへのニーズ
高捕集効率&低圧力損失
超耐熱性

事業原簿 p. Ⅲ-2.4.2-1

Ⅲ. 研究開発成果(開発目標の妥当性)
 研究開発項目④「高性能、高機能フィルター用部材の開発」
 ④-(2) 超耐熱性無機フィルターの開発

検討項目	中間目標	最終目標	設定理由
耐熱性	800 °C	1000 °C	焼却炉排気ガスの冷却工程不要
0.1µm粒子捕集効率	>90 %	>90 %	焼却炉排気ガス処理の基準値をクリア
初期圧力損失	<180 Pa	<120 Pa	既存の水準では、耐熱性を有し、0.1µm粒子が90%捕集可能なフィルターでは、初期圧力損失が250Paである。上記目標の圧力損失を達成する為には、フィルターに用いる無機繊維の繊維径を微細かつ柔軟性を持たせる事が必要である。そこで、上記目標の無機超極細繊維を開発する。この無機超極細繊維により上記目標の値が達成されると、初期圧力損失が現状対比半減でき、使用電力量が約40%削減できる。中間目標値は現状と最終目標値の中間である180Paとした。
超極細繊維繊維径	<500 nm	<500 nm	500nm以下であるとサブミクロン粒子の捕捉が可能

事業原簿 p. Ⅲ-2.4.2-5

Ⅲ. 研究開発成果
 研究開発項目④「高性能、高機能フィルター用部材の開発」
 ④-(2) 超耐熱性無機フィルターの開発

検討項目	最終目標	到達値	達成状況	コメント
耐熱性	1000 °C	1000 °C	◎	室温及び1000°C加熱後の性能差を確認し、1000°Cにおいても捕集効率目標値を維持できる無機超極細繊維の目付量を見出した。
0.1µm粒子捕集効率	>90 %	>99 %	◎	保護基材を無機繊維不織布に変更し、無機超極細繊維の目付量を最適化して、目標値を達成することができた。
初期圧力損失	<120 Pa	<100 Pa	◎	無機超極細繊維の微細化を検討し、300nm～100nmとすることに成功した。この無機超極細繊維で抄紙シートを作製し、最終目標値を満足していることを確認した。
超極細繊維繊維径	<500 nm	<300 nm	◎	無機超極細繊維の微細化を検討し、300nm～100nmとすることに成功した。

◎:達成 ○:ほぼ達成 △:未達だが、実用化可能レベルには達成 ×:未達

事業原簿 p. Ⅲ-2.4.2-6

研究開発項目④「高性能、高機能フィルター用部材の開発」

公開

④-(3) 耐熱性有機フィルターの開発

背景

省エネ・環境問題に関心が高まりを背景として、
フィルター分野においては、

高捕集効率かつ低圧力損失の部材、環境に配慮した廃棄処理方法
が求められている。

しかし現行のガラス繊維・合成繊維は焼却処理性や圧力損失で劣る。

対象	従来技術	問題点	本事業の 技術的アプローチ	特徴
・ガラス繊維を用いたろ材	・抄紙	・高圧力損失 ・埋立廃棄 ・繊維再飛散	電界紡糸法により 成形された、耐熱 有機超極細繊維 の利用	・高耐熱性 ・省エネルギー 低圧力損失 軽量コンパクト化 ・高捕集効率 ・環境配慮 燃焼による廃棄可
・汎用合成高分子を用いたろ材	・スパンレース ・メルトブロー	・低捕集効率 ・耐熱性		

事業原簿 p. III-2.4.3-1

Ⅲ. 研究開発成果(開発目標の妥当性)

公開

研究開発項目④「高性能、高機能フィルター用部材の開発」

④-(3) 耐熱性有機フィルターの開発

検討項目	中間目標	最終目標	設定理由
超極細繊維の成形	直径100nm以下の繊維を安定的に紡糸	直径100nm以下	従来の耐熱繊維であるガラス繊維の繊維径は最小で300nm程度であり、目標値は、スリップフロー効果による低圧損失が可能と判断出来る100nm以下にした。
フィルター性能	捕集効率 0.1 μ m粒子 90%以上 初期圧力損失 180Pa以下	捕集効率 0.1 μ m粒子 99%以上 初期圧力損失 120Pa以下	捕集が最も困難な0.1 μ m粒子において、捕集効率は従来品と同等レベルとし、初期圧力損失を従来の250Pa程度から1/2倍以下である120Paを目標とした。これにより、動力コストを約40%削減可能で、環境に優しい省エネ対応が可能となる。
耐熱性	300 $^{\circ}$ C	400 $^{\circ}$ C	従来の合成繊維の耐熱性は200 $^{\circ}$ C程度のため、目標値は使用温度領域が約2倍になる400 $^{\circ}$ Cとした。また、従来の無機繊維からなる耐熱繊維と比較しても、焼却可能であるため、埋立等の環境問題も解決可能になる。

事業原簿 p. III-2.4.3-3

Ⅲ. 研究開発成果

公開

研究開発項目④「高性能、高機能フィルター用部材の開発」

④-(3) 耐熱性有機フィルターの開発

検討項目	最終目標	到達値	達成状況	コメント
超極細繊維の成形	直径100nm以下	直径60nm	◎	今後の課題としては、長尺ろ材の開発がある
フィルター性能	捕集効率 0.1μm粒子を 99%以上 初期圧力損失 120Pa以下	・捕集効率 ろ材: 99.99% ユニットフィルター: 99.8% ・初期圧力損失 ろ材: 100Pa ユニットフィルター: 120Pa	◎	ユニットフィルターでの更なる性能向上が可能と考える。
耐熱性	400℃ (重量減量率 5%以下)	400℃ 重量減量率3%	◎	耐熱性に起因する因子の抽出、耐熱性向上検討を実施

◎:達成 ○:ほぼ達成 △:未達だが、実用化可能レベルには達成 ×:未達

研究開発項目⑤「高性能、高機能医療衛生・産業用部材の開発」

⑤-(1) スーパークリーンルーム用部材の開発

背景

公開

クリーンルーム用エアフィルタの課題

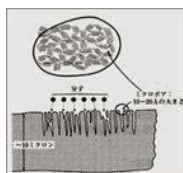
高捕集効率かつ低圧力損失(省エネ)のフィルタ材料が求められている

当社の保有基盤技術

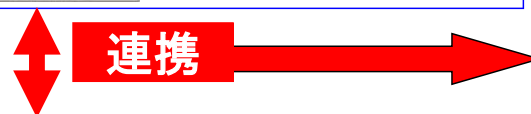
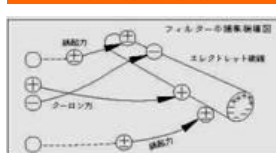
高性能ポリマー



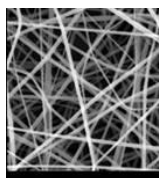
賦活化技術



エレクトレット化技術



共通基盤技術



超極細繊維製造技術

東工大・パナソニックファクトリーソリューションズ*



電界紡糸装置技術

(技術開発)クリーンルーム用部材として、世界No.1技術を確立する。

- ① 耐久性と吸着性能を有する超極細繊維
- ② 吸着面積↑↑(アウトガスや不純物吸着)

Ⅲ. 研究開発成果(開発目標の妥当性)

公開

研究開発項目⑤「高性能、高機能医療衛生・産業用部材の開発」
⑤-(1) スーパークリーンルーム用部材の開発

	中間目標	最終目標	現行品		設定理由
			高性能	HEPA	
初期 圧損	180 Pa以下	130 Pa以下	170	245	ULPAフィルタ(面積600mm×1200mm)の圧力損失50%以下が達成できた場合、 <u>省電力化がフィルタ1枚当たり約330kWh/年が見込まれ、電力量低減が実現し省エネルギーのニーズにマッチする。</u> 全国ULPAフィルタ20万枚を置き換えた場合、約1600万L/年の石油消費削減と約1.2t-C/年のCO2排出量削減が可能となり <u>環境考慮型製品の社会ニーズにマッチする。</u>
捕集 効率	99.97 % 以上	99.97 % 以上	90	99.97	捕集効率は現行品以上とした。

事業原簿 p. Ⅲ-2.5.1-4

Ⅲ. 研究開発成果

公開

研究開発項目⑤「高性能、高機能医療衛生・産業用部材の開発」
⑤-(1) スーパークリーンルーム用部材の開発

	最終目標	到達値	達成状況	コメント
初期 圧損	130 Pa以下	120 Pa	◎	今後の課題としては下記のようなものが挙げられる。 ・量産品高品位化の方策展開: 繊維径100nmφ以下対応へのプロセス改良と製品安定化 ・ユーザー求評と試験販売: 省エネ性能とコスト優位性両立の確認。
捕集 効率	99.97% 以上	99.97% 以上	◎	

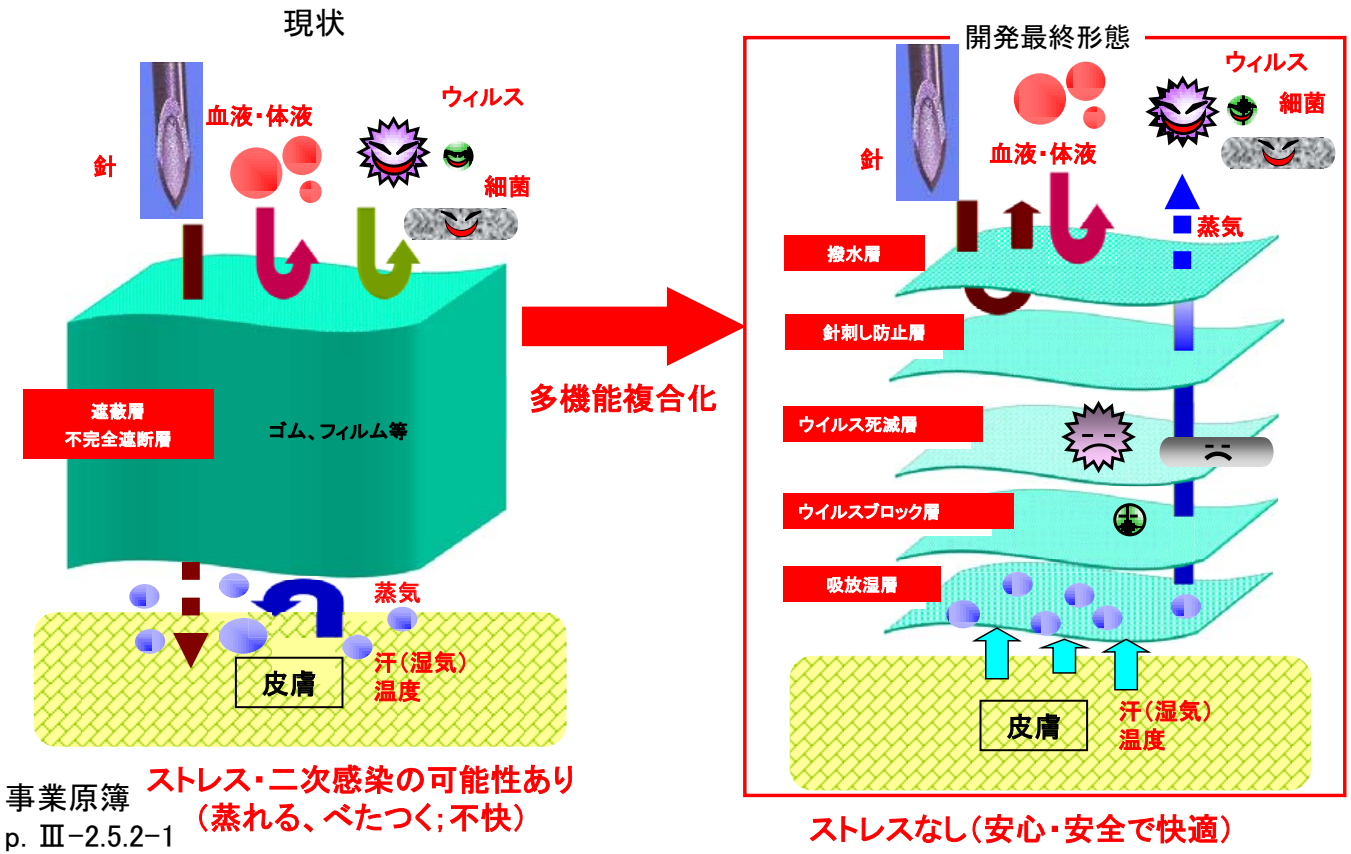
◎:達成 ○:ほぼ達成 △:未達だが、実用化可能レベルには達成 ×:未達

事業原簿 p. Ⅲ-2.5.1-4

研究開発項目⑤「高性能、高機能医療衛生・産業用部材の開発」
⑤-(2) ヒューマンインターフェース医療衛生部材の開発

公開

背景



Ⅲ. 研究開発成果(開発目標の妥当性)

研究開発項目⑤「高性能、高機能医療衛生・産業用部材の開発」
⑤-(2) ヒューマンインターフェース医療衛生部材の開発

公開

事業原簿 p. III-2.5.2-7

検討項目	中間目標	最終目標	設定理由
① ウイルス完全除去部材	細孔径30nm	細孔径10nm	病原性ウイルスの大きさは30nm以上であり、物理的に遮断するための目標値を10nmとした。
② 平面型血液進入防止部材	接触角130°	接触角150°	現状の一般的な撥水性樹脂部材は接触角130°程度であり、これを上回る超撥水レベルのナノ構造を目標とした。
③ 平面型着用快適性部材	透湿性 18,000ml/24hrs/m ² (綿と同等)	透湿性 20,000ml/24hrs/m ²	綿は衣料として用いられる代表的な素材であり、綿の透湿性を中間目標とした。最終目標は超極細繊維構の素材と構造の最適化および他素材との組み合わせを研究開発することにより、綿を超える透湿性を実現する。
④ 平面型針刺し防止部材	0.5mmφの針が刺さらないこと	0.08mmφの針が刺さらないこと	現在最もよく使用されている針のサイズは0.5mmφであり、中間目標はこのサイズの針が刺さらないことを目標とした。最終目標は針刺し時における痛み軽減の開発動向を考慮し、0.08mmφ(世界最小)が刺さらないとし、さらに立体成型によるフィット性向上を図る。
⑤ 平面型抗菌・消臭部材	抗菌性超極細繊維部材の開発	抗菌・消臭性超極細繊維部材の開発	医療現場での細菌による感染を防ぐために抗菌性が不可欠である。
⑥ 立体成型部材	球状や円錐状の立体対象物へ超極細繊維を均一に吹き付ける	一体化成型技術の確立	縫製による欠陥(大きな細孔)や部材の強度減を防ぐ及び、二次加工(縫製等での立体加工)のコストを削減するため。

Ⅲ. 研究開発成果

事業原簿 p. Ⅲ-2.5.2-8

公開

研究開発項目⑤「高性能、高機能医療衛生・産業用部材の開発」
⑤-(2) ヒューマンインターフェース医療衛生部材の開発

検討項目	最終目標	達成値	達成度	コメント
① ウイルス完全除去部材	細孔径10nm	粒子径60nmを99%捕集	○	米国マスク規格N99(ウイルス様粒子を99%捕集し通気抵抗245Pa以下)を達成。 課題であったナノサイズ飛沫の問題も克服した。
② 平面型血液進入防止部材	接触角150°	接触角150°	◎	高耐水性機能開発により、血液等液体中での作業環境耐性を付与する。
③ 平面型着用快適性部材	透湿性 20,000ml/24hrs/m ²	透湿性 21,100ml/24hrs/m ²	◎	高透湿性と防風性を兼ね備えながら、高伸縮性が高い複合性能部材を開発。 新たな衣料部材を創造する。
④ 平面型針刺し防止部材	0.08mmφの針が刺さらないこと	0.2mmφ(市販世界最小径)の針が刺さらない	○	針刺し抵抗値の向上により市販世界最小径0.2mmφの針刺し防止が可能となる。最終目標の0.08mmφは現有しないが、針径がより細くなるため、座屈現象により針が刺さらないと推測される。
⑤ 平面型抗菌・消臭部材	抗菌・消臭性超極細繊維部材の開発	超極細繊維の高い抗菌活性を発見	◎	超極細繊維には抗菌作用があることを世界で初めて発見。積層生地にしても抗菌性があることを確認。加えて、ウイルス保持効果があることも確認した。更に、消臭効果のあるフレキシブルなカーボンナノファイバー不織布を開発。
⑥ 立体成型部材	一体化成型技術の確立 複合化技術の確立	・引張強度を向上させ張り合わせによる手袋試作 ・湾曲面への直接紡糸技術を確立 ・既存生地との複合化	◎	手袋のような複雑な形状への対応は出来なかったものの、円筒形等の湾曲面への直接紡糸技術を確立。また、既存生地とナノファイバーの複合化方法を確立した。

◎:達成 ○:ほぼ達成 △:未達だが、実用化可能レベルには達成 ×:未達

Ⅲ. 研究開発成果(安全性の検討結果)

事業原簿 p. Ⅲ-3

公開

(1) ポリビニルアルコール(PVA)ナノファイバーを用いたラットの単回経口投与毒性試験

・急性毒性の症状は認められなかった。

(2) 平均繊維長の異なる繊維のラット単回気管内投与試験

・本試験条件下では肺に対するPMMAの局所刺激性に繊維長は関係しないことが明らかになった。

(3) 平均繊維長の異なる繊維のラット単回気管内投与試験

・PMMAは繊維長に関わらず肺への局所刺激性が低いと考えられる。

(4) アスペクト比(繊維長/繊維径)が50以上のポリアクリロニトリル極細繊維のラット単回気管内投与試験

・PANは単回気管内投与によって投与1日後をピークとする肺への局所炎症反応を示すが、投与3日後までには回復することが明らかになった。

(5) アスペクト比(繊維長/繊維径)が50以上のポリアクリロニトリル超極細繊維のラット7日間反復気管内投与試験

・PANは7日間反復気管内投与によって少なくとも、投与終了後56日まで肺葉に滞留していることが明らかになった。

(6) ある繊維系分布をもつカーボンナノファイバー(CNF)のラット単回気管内投与試験①

・投与後7日後まで症状は回復するがCNFは完全に排出されず一部滞留することが明らかになった。

(7) ある繊維系分布をもつカーボンナノファイバー(CNF)のラット単回気管内投与試験②

・CNFは単回気管内投与によって投与後第28日以降、炎症反応は消失していくが、投与後第90日まで肺葉に滞留していることが明らかになった。

Ⅲ. 研究開発成果(成果の意義)

研究開発項目	名称	成果の意義
①	「電界紡糸法における繊維高機能化、大型装置化技術の開発」	世界最高水準である高生産性、高い装置安全性、低ランニングコストである大型電界紡糸装置を開発し、先端機能発現型新構造繊維部材の応用が大きく展開した。
②	「ナノ溶融分散紡糸法による炭素超極細繊維製造技術の開発」	世界最高水準の結晶性を有するカーボンナノファイバーが得られ小型蓄電池や薄型電池の開発が著しく進んだ。
③	「高性能、高機能電池用部材の開発」	
(1)	パッシブ型燃料電池の開発	本プロジェクトで開発したカーボンナノファイバーを用いた拡散層により、高出力密度で小型化可能なパッシブ型DMFCの開発が加速できる。
(2)	小型蓄電池の開発	全く新しいコンセプトの超高性能ハイブリッドキャパシタにより低コスト化が可能となり、キャパシタ市場拡大する。
(3)	薄型電池の開発	薄型電池内蔵高機能カードの市場が展開され関連サービス市場が拡大すると共に、ラジカル材料の電子デバイスへの展開やプリンタブルエレクトロニクスへの展開が可能となる。
④	「高性能、高機能フィルター用部材の開発」	
(1)	超超純水製造プロセスフィルターの開発	世界最高水準の有機物と金属除去性能を有するフィルターを開発し超超純水製造装置販売及び装置メンテナンス事業が大きく展開する。
(2)	超耐熱性無機フィルターの開発	世界最高水準の耐熱性を有し捕集性、圧力損失、柔軟性に優れたフィルターにより高温空気清浄市場へ大きく展開できる。
(3)	耐熱性有機フィルターの開発	従来の材料・フィルターシステムでは困難であった圧力損失を低減でき、焼却可能な耐熱性フィルターとして大きく市場展開が可能となった。
⑤	「高性能、高機能医療衛生・産業用部材の開発」	
(1)	スーパークリーンルーム用部材の開発	コストパフォーマンスで世界最高レベルのフィルタ部材が提供できる可能性を見出しクリーンルームへの展開が可能となった。
(2)	ヒューマンインターフェース医療衛生部材の開発	医療・衛生部材のみならず、新しいタイプのインナーウエアやスポーツウエアとして市場の展開が可能となった。

Ⅲ. 研究開発成果(知的財産権等の取得、成果の普及)

特許出願件数・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・251件

(電界紡糸グループ:188件、 ナノ溶融分散紡糸グループ:63件)

(内PCT出願24件＝電界紡糸G:16件、ナノ溶融分散紡糸G:8件)

新聞等発表・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・64件

雑誌発表・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・3件

展示会・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・9件

(Nanotech 2008-2011 NEDOブース等)

論文・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・18件

(NEDO講座:16件、プロジェクト:2件)

学会発表・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・94件

(NEDO講座:74件、プロジェクト:20件)

Ⅲ. 研究開発成果(知的財産権等の取得、成果の普及)

Tech-on! 2008年2月15日/日経BP社の許可を得て転載
<http://techon.nikkeibp.co.jp/article/NEWS/20080215/147524/>

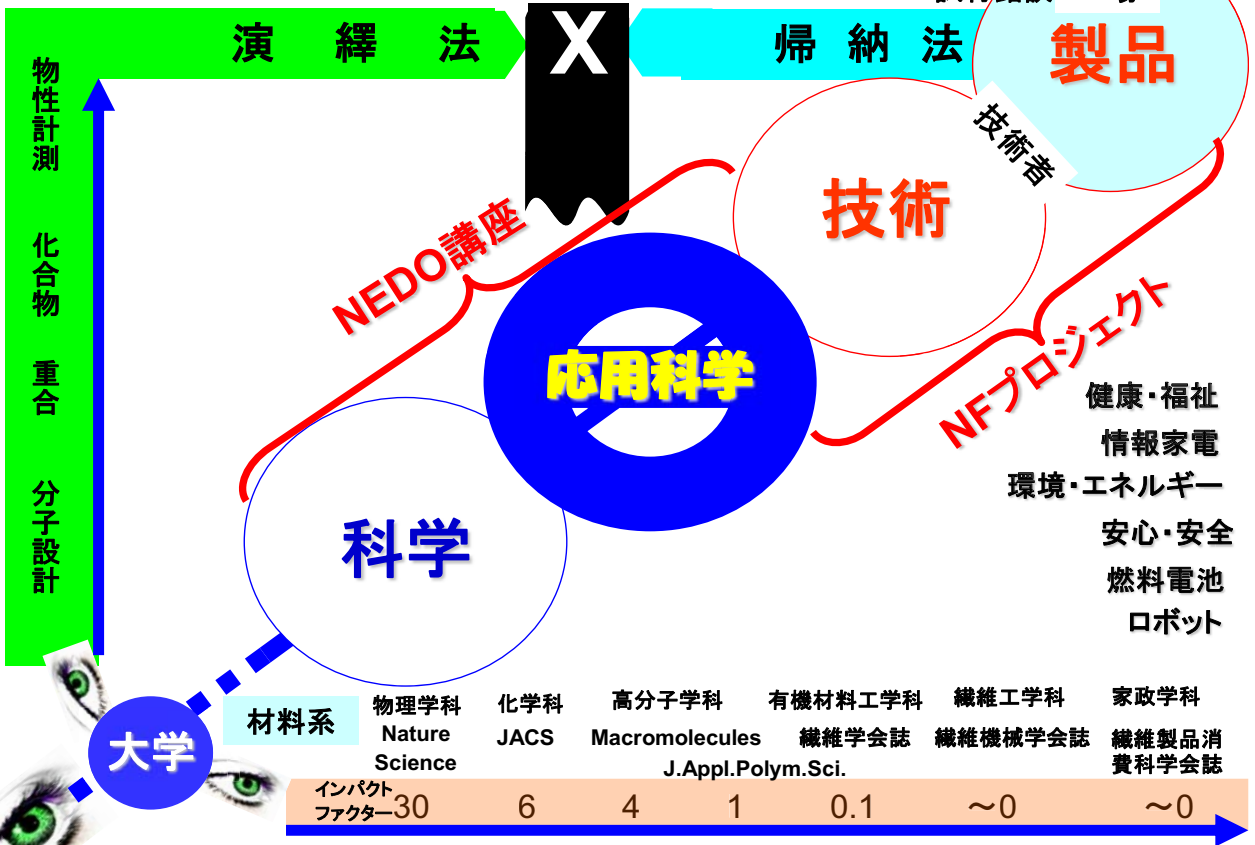


各年それぞれ3日間で500社を超える企業が来訪した。
 集中研作成のナノファイバーに大きな関心を持っていることが伺える。

東工大NEDO特別講座<ナノファイバーイノベーション創出> 事業原簿 p. Ⅲ-2.1-57
 ~「科学」と「技術」、「現在」と「未来」、「ナノファイバー」と「異分野」のネジ止め~



東工大NEDO特別講座の役割



事業原簿 p. III-2.1-56

I. 周辺研究

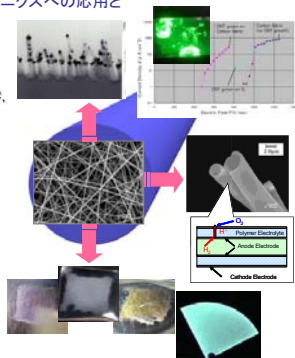
★ナノファイバーのフォトニクス・エレクトロニクスへの応用と電界紡糸法の新展開
★世界をリードする研究者育成

特任准教授 松本 英俊
〈専門〉 ナノファイバー材料, 界面物理化学, 電池材料, 分離材料

- ナノファイバーの表面機能化
- ナノファイバー電池材料
- ナノファイバー触媒
- ナノファイバー撥水・親水材料

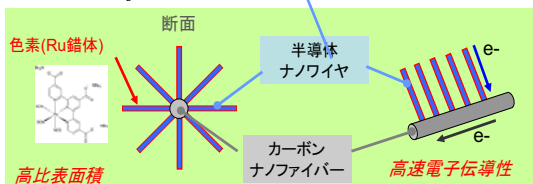
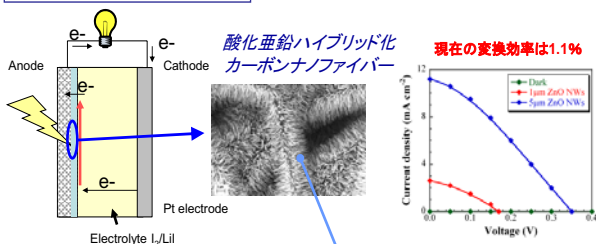
特任助教 坪井 一真
〈専門〉 ナノ光学材料, レーザー光学, バイオセンサー

- ナノファイバー光学材料
- ナノファイバー光増感材料
- ナノファイバー光学デバイス
- ナノファイバーバイオセンサー



分野融合研究によるナノファイバーイノベーションの創出

色素増感太陽電池への応用



東工大ナノファイバーイノベーション創出NEDO特別講座

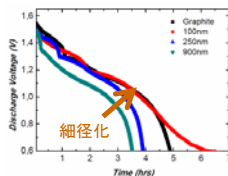
フレキシブルバッテリーへの応用

フレキシブルマンガン電池(1次電池)

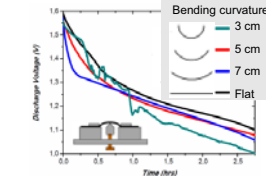


-細径化に伴う電気伝導性及び比表面積の向上により電荷捕集効率が向上。
-電池は曲げた状態でも性能を維持。

カーボンファイバー径の効果



曲げ状態での性能



東工大ナノファイバーイノベーション創出NEDO特別講座

大学院講義(公開講座)

大学院生だけでなく大学研究者、企業研究者も参加
平成19~21年度の参加者 毎年60名程度



カリフォルニア大・ヒーガー教授講演会

講師: Prof. Alan J. Heeger
Department of Chemistry and Biochemistry
University of California, Santa Barbara
2000年ノーベル化学賞受賞

題目: "Plastic" Solar Cells:
Self-Assembly of Bulk Heterojunction Nano-Materials by Spontaneous Phase Separation

日時: 平成22年10月18日(月) 13:20~14:50
場所: 百年記念館3F フライイト会議室



参加人数110名

II. 人材育成 有機・高分子物質専攻
NEDO特別講座(平成21年度)
大学院「ナノファイバーイノベーション創出」開講案内

担当:谷岡明彦 他 単位: 2-0-0
 10月 6日(火) 13:20~14:50 ナノファイバーイノベーション 谷岡明彦 教授
 10月 13日(火) 13:20~14:50 ナノファイバーの基礎 松本英俊 特任准教授
 10月 20日(火) 13:20~14:50 企業における新規事業開発とオープンイノベーションへの取り組み:
 I. 事例とその考え方 川口武行 特任教授(帝人前常務理事)
 10月 27日(火) 13:20~14:50 ナノファイバーの基礎 松本英俊 特任准教授
 11月 10日(火) 13:20~14:50 企業における新規事業開発とオープンイノベーションへの取り組み:
 II. 異分野技術融合と新製品開発 川口武行 特任教授(帝人前常務理事)
 11月 17日(火) 13:20~14:50 オープンイノベーション環境下での研究開発政策(仮)
 土井良治 経産省研究開発課長
 11月 26日(水) 13:20~16:30 日本のものづくり政策(仮)
 (25日のみ102講義室) 渡辺政憲 特任教授(産総研イノベーション推進室 総括企画室主任)
 12月 7日(月) 10:30~17:00 第2回ナノポグ講演会
 (TTFロイヤルブルーホール) 水谷互 特任教授(産総研ナノテクノロジー研究部門副部長)
 1月 26日(火) 13:20~ (a) nanotube, graphene and carbon materials and electronics.
 (集中講義) (b) nanocar and nanomedicine
 米リス大学スモリーナノ科学技術研究所 James M. Tour 教授
 2月 2日(火) 13:20~ Nanoelectronics and photonics(仮)
 (集中講義) 英ケンブリッジ大学 工学部 Gehan Amarantunga 教授
 申告番号: 25030 場所: S8-623教室(大岡山南8号館6階)
 申告期間: 10月5日~16日 連絡教員: 有機・高分子物質専攻 谷岡明彦 内線2426

III. 人的交流 ★地域セクターでの技術指導

東京工業大学 大田区産業振興協会 共催
 地域と大学の共生プロジェクト『東工大発 教育・新技術メッセージ!』
 日時:平成20年1月22日(火)
 場所:大田区産業プラザ3階 特別会議室(参加人数:80名)

プログラム	
12:30	開場
13:00~13:10	開会挨拶 国立大学法人東京工業大学 大倉一郎副学長
【第一部】-東京工業大学 製造中核人材育成推進の紹介-	
13:15~13:55	講演「もの見方・考え方の幅、知識の幅、人脈の幅を広げる“産総研工業スーパーマスタープログラム”」井上徳剛准教授
14:00~14:20	指針「平成20年度開講に向けた企業からのメッセージ」大田区内企業(林総合株式会社 専務取締役 井 秀子氏)
14:20~14:40	質疑応答
【第二部】-東京工業大学NEDO特別講座による技術指導プログラム- ナノファイバーテクノロジーが未来を拓く! ~ナノファイバーの技術革新を追求~	
14:45~15:45	講演「ナノファイバーテクノロジーの展望」谷岡明彦教授
15:45~15:50	技術指導者紹介 産学連携推進本部 柿ゆづ子 コーディネーター
15:50~16:55	技術指導「ナノファイバーの用途開発」高橋 光弘 研究員
16:55~17:00	閉会挨拶 財団法人大田区産業振興協会 専務理事・事務局長 山田伸樹

III. 人的交流

NANOFIBER 2009, JAPAN

— 次世代を拓くナノファイバーマテリアルの応用展開 —

国際ナノファイバーシンポジウム 2009

2009年6月18日(木)~20(土)

主催:東京工業大学

共催:ナノファイバー学会

ナノファイバーイノベーション協議会

東京工業大学デジタル多目的ホール(大岡山キャンパス西9号館)及び百年記念館
 同時開催付

プログラム(予定)

6月18日(木):世界の企業におけるナノファイバーの用途展開(日本、米、英、独、仏、ス、独、チ等)
 6月19日(金):世界におけるナノファイバーの研究動向(日本、米、英、独、仏、ス、独等)
 6月20日(土):ナノ材料の安全性、新しいライフスタイルと地球環境(日本、米、英、独、仏等)
 6月18日~19日:ボスター発表(大岡山9号館)
 6月18日~19日:企業展示(百年記念館1階ホール)
 6月18日(木)18時~:懇親会

参加人数300名

問い合わせ先:

東京工業大学大学院工学研究科
 有機・高分子物質専攻 製造 谷岡明彦
 〒152-8552 東京青葉区大岡山2-12-158-27
 Tel.03-5734-2428, Fax.03-5734-2878, Email: nanofiber@hop.ocn.ne.jp

事業原簿 p. III-2.1-59-60

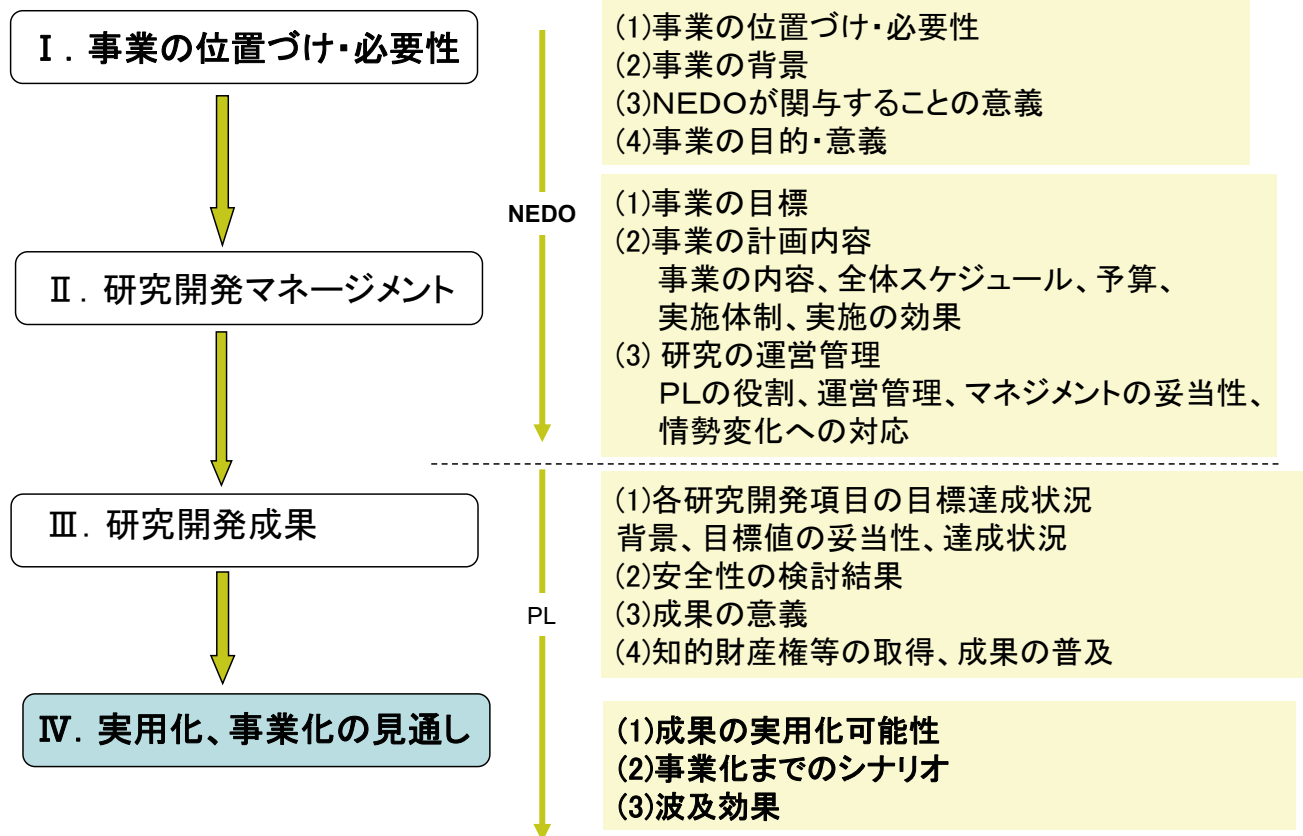
ナノファイバー学会

入会金 無料
 年会費 正会員 10,000円
 学生会員 3,000円
 維持会員 一口 100,000円(一口以上)
 賛助会員 一口 50,000円(一口以上)

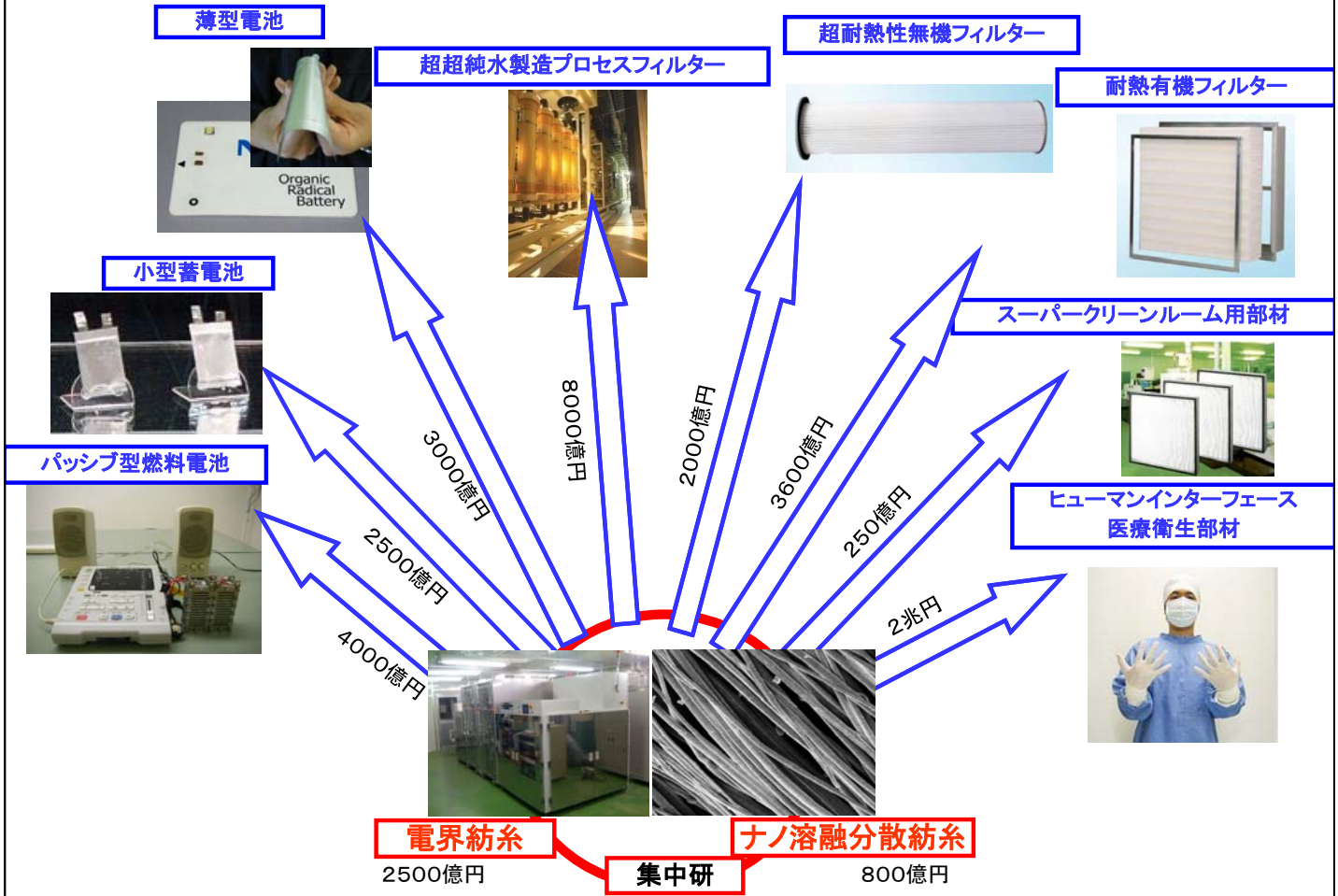
会費振込先 みずほ銀行 大岡山支店 当座口座 0707652
 加入者名称 NPOナノファイバー学会

入会申込書送付先・問合せ先
 ナノファイバー学会事務局
 〒101-0047 東京都千代田区内神田1丁目13-1 豊島ビル4階
 株式会社シーエムシー出版内
 TEL 03-3293-0740 FAX 03-3293-7985
 E-mail nanofiber@hop.ocn.ne.jp

概要説明 報告の流れ








IV. 実用化の見通し(成果の実用化可能性)



IV. 実用化の見通し(実用化までのシナリオ)

		H18年度	H19年度	H20年度	H21年度	H22年度	H23年度	H24年度	~
共通基盤技術	紡糸	高機能材料紡糸技術・大型紡糸技術開発				①微小部コーティング大型装置の開発 ②3次元コーティング大型装置開発 ③3次元成型大型装置開発 大量生産技術開発		超極細電界紡糸技術確立 電界紡糸国産超極細繊維製造装置	
	ナノ溶融分散紡糸	機構解明/不融・炭化技術開発				大量生産技術開発		高機能炭素超極細繊維技術確立 不融・ナノ多孔化 グラファイト結晶化	
	評価計測	物性評価・構造評価確立							
実用化技術	情報家電、燃料電池分野	①パンプ型燃料電池 ②小型蓄電池 ③薄型電池 高性能電池部材開発				実用化検討		ナノ多孔性炭素超極細繊維電極部材等 電気二重層 連続導電体効果 超比表面積効果	
	環境・エネルギー分野	①超超純水製造プロセスフィルター ②超耐熱性無機フィルター ③耐熱性有機フィルター 高性能フィルター部材開発				実用化検討		車載用高性能フィルター部材等 高効率・低圧損フィルター	
	医療福祉/安心安全分野	①スーパークリーンルーム用部材 ②ヒューマンインターフェース医療衛生部材 高性能部材開発				実用化検討		一体成型ファイバ部材等 ヒューマンインターフェースに近いスーパークリーン部材、医療基材等に活用	

IV. 実用化の見通し(プロジェクト成果のまとめと波及効果) (★:世界初、○:世界最高レベル) **公開**

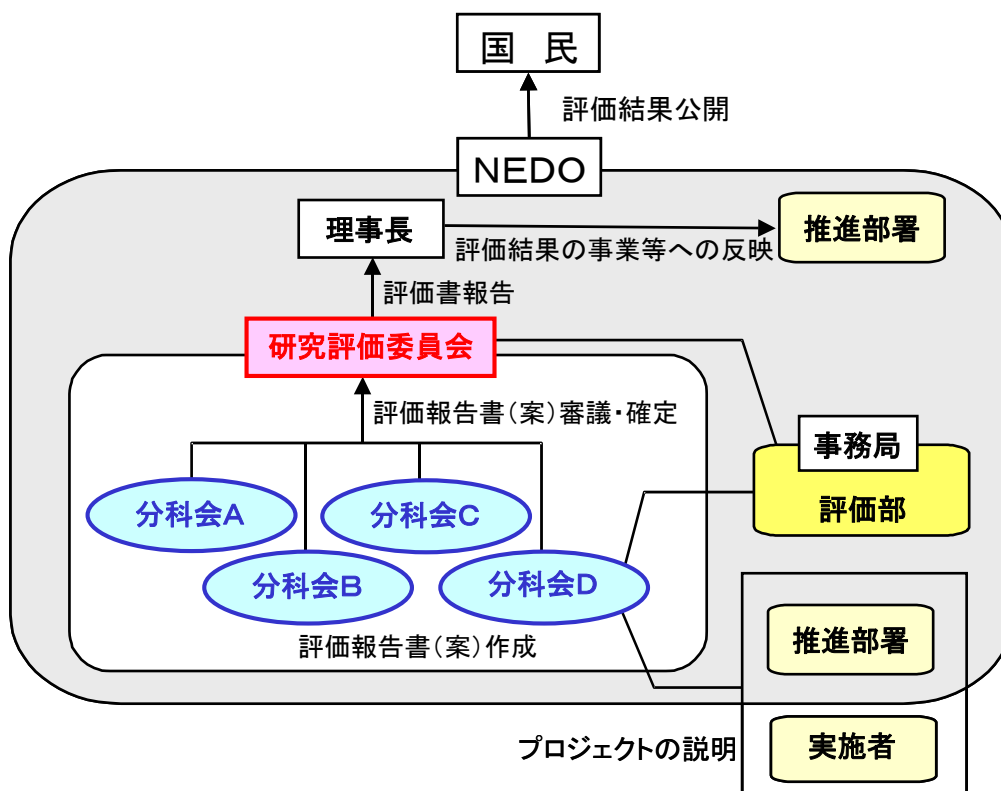
研究開発項目		目標値		達成度		世界のライバルとの比較		波及効果(目標)					
		中間	最終	達成値	成果 特記事項	同種技術での比較	世界技術との比較	2008(中間)	2010(次世代)	2015(今後)	2020		
①	電界紡糸法における繊維高機能化、大型装置化技術の開発	ノズル20万本に相当する性能 繊維径 = 100nm ばらつき = ±25% 製造速度 = 30m/分	同左 = 50 = ±20 = 30	従来方式に比べて100万倍の性能 = 50 = ±20 = 30	★ ★ ★	・新発明超高性能ノズルとファイバリング ・超小型(6m ²)、防塵、高速、高機能化装置	ライバル: ナノスパイダー、エレクトロブロー ⇒ 大型、メンテナンス複雑、溶媒の暴発火災あり、生産性が低い。	ライバル: 複合溶融紡糸、メルトブロー法 ⇒ 高温で断糸、機能化・複合化不可、溶融高分子でのみ利用可で省エネ効果低い。				有機EL	
		ナノ溶融分散紡糸法による酸素超極細繊維製造技術の開発	繊維径 = 500nm 比表面積 = 300 m ² /g 不融化時間 = 1/3	= 100 = 1500 = 1/10	= 88 = 1550 = 1/20	○	・超高純度・高純異性黒鉛 ・電気伝導度世界最高レベル ・高生産性	ライバル: カーボンファイバー ⇒ ナノファイバー化が極めて困難	ライバル: VGCF、カーボンナノチューブ ⇒ 触媒が混ざり低純度で生産コスト高い。				FRP、導電助剤
③	1	パンプ型燃料電池の開発	出力 = 50mW/cm 膜厚 = 120 μm	= 100 = 100	= 100 = 113	○	・世界初拡散層間ナノファイバブリッジで高集電性	ライバル: アクティブ型DMFC ⇒ 燃料供給モーター必要で小型化困難	ライバル: リチウム二次電池 ⇒ 充電が必要、長時間連続運転困難				ロボット
			2	小型蓄電池の開発	エネルギー密度 = 20Wh/L 出力密度 = 5kW/L	= 200 = 10	= 100 = 10	○	・高出力・高容量のハイブリッドハイパワーキャパシタ	ライバル: CNTスーパーキャパシタ ⇒ エネルギー密度及出力密度低い。	ライバル: リチウム二次電池、電気二重層キャパシタ ⇒ 急速充放電不可、出力密度が低い。		
	3	薄型電池の開発	厚み = 0.3mm パワー密度 = 5kW/L エネルギー密度 = 50Wh/L	= 0.2 = 10 = 100	= 0.15 = 12.3 = 116	★	・世界最薄フレキシブルハイパワー二次電池 ・様々なデバイスに内蔵可能	ライバル: なし ⇒ ラジカルを含めプラスチックを電極に利用した二次電池は他に無い	ライバル: 薄膜全固体Li二次電池、薄型Mn一次電池 ⇒ フレキシブル・薄化困難、パワー密度小				ウェアラブル情報機器
	1	超超純水製造プロセスフィルターの開発	TOC除去 <1ppb 重金属除去 <0.05ppt	<0.1 <0.01	TOC <0.1 金属 <0.01	○	・新開発ナノファイバー造水モジュール ・世界最高純度の超超純水	ライバル: イオン交換繊維フィルター ⇒ 除去率が低い。	ライバル: 紫外線分解法、逆浸透膜 ⇒ 高電力消費で除去率が低い。				電子産業力強化 医薬用システム 飲料水用ユニット
	2	超耐熱性無機フィルターの開発	繊維径 <500nm 耐熱性 = 800°C 捕集効率 >90% 圧損 <180Pa	<500 = 1000 >90 <120	<300 = 1000 >99 <100	★	・世界初セラミックナノファイバーを応用化 ・超省エネフィルター	ライバル: セラミックハニカムフィルター ⇒ 低捕集効率で圧損が高く省エネ効果が低い。	ライバル: 金属フィルター ⇒ 捕集効率が低く、圧損高く省エネ効果が低い。				製鉄所・液晶工場
3	耐熱性有機フィルターの開発	繊維径 <100nm 捕集効率 >90% 圧損 <180Pa 耐熱 = 300°C	<100 >99 <120 = 400	= 60 = 99.9 = 100 = 400	○	・低圧損で焼却可能な耐熱フィルター ・耐熱高分子で新規フィルター市場創出	ライバル: ハイブリッドメンブレンテクノロジー ⇒ 耐熱性がない。	ライバル: ガラス繊維フィルター ⇒ 低圧損で焼却成分ができない。省エネ効果低い。				医療・食品産業 OA機器	
⑤	1	スーパーリーニウム用部材の開発	圧損 <180Pa 捕集効率 >99.97%	<130 >99.97	= 120 = 99.97	○	・独自のエレクトレット化技術 ・捕集効率は世界最高値	ライバル: ウルトラウエツプ ⇒ エレクトレット機能が無く捕集効率低い	ライバル: ガラス繊維フィルター ⇒ 圧力損失高く省エネ効果低い。				家電 カーエアコン
			2	ヒューマンインターフェース医療衛生部材の開発	細孔径 = 30nm 接触角 = 130° 透湿性 = 18,000 ml/24hrs/m ² 0.5mm針不通 抗菌性 3D繊維コート	= 10 = 150 = 20,000 0.085 抗菌・消臭性 一体成型	N99達成 = 150 = 21,100 最細針不通 抗菌・消臭性 3D手袋	★ ★	・世界初ナノファイバー効果で抗菌特性発現 ・独自技術で快速・強靱・高伸縮性 ・高伸縮性ナノファイバブリック	ライバル: ゴアテックス ⇒ 抗菌性や消臭性の機能がなく、快速・強靱・高伸縮性の複合機能も持ち合わせていない。	ライバル: 米国防務服 ⇒ 軍用防護服で多機能化を進め防塵や防汚機能が先行 医療・介護、福祉、スポーツ、自動車への転用に遅れ。		

参考資料 1 評価の実施方法

本評価は、「技術評価実施規程」（平成 15 年 10 月制定）に基づいて研究評価を実施する。

独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）における研究評価の手順は、以下のように被評価プロジェクトごとに分科会を設置し、同分科会にて研究評価を行い、評価報告書（案）を策定の上、研究評価委員会において確定している。

- 「NEDO 技術委員・技術委員会等規程」に基づき研究評価委員会を設置
- 研究評価委員会はその下に分科会を設置



1. 評価の目的

評価の目的は「技術評価実施規程」において。

- 業務の高度化等の自己改革を促進する
- 社会に対する説明責任を履行するとともに、
経済・社会ニーズを取り込む
- 評価結果を資源配分に反映させ、資源の重点化及び業務の効率化を
促進する

としている。

本評価においては、この趣旨を踏まえ、本事業の意義、研究開発目標・計画の妥当性、計画を比較した達成度、成果の意義、成果の実用化の可能性等について検討・評価した。

2. 評価者

技術評価実施規程に基づき、事業の目的や態様に即した外部の専門家、有識者からなる委員会方式により評価を行う。分科会委員選定に当たっては以下の事項に配慮して行う。

- 科学技術全般に知見のある専門家、有識者
- 当該研究開発の分野の知見を有する専門家
- 研究開発マネジメントの専門家、経済学、環境問題、国際標準、その他社会的ニーズ関連の専門家、有識者
- 産業界の専門家、有識者
- ジャーナリスト

また、評価に対する中立性確保の観点から事業の推進側関係者を選任対象から除外し、また、事前評価の妥当性を判断するとの側面にかんがみ、事前評価に関与していない者を主体とする。

これらに基づき、分科会委員名簿にある7名を選任した。

なお、本分科会の事務局については、独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構評価部が担当した。

3. 評価対象

平成18年度に開始された「先端機能発現型新構造繊維部材基盤技術の開発」プロジェクトを評価対象とした。

なお、分科会においては、当該事業の推進部署から提出された事業原簿、プ

プロジェクトの内容、成果に関する資料をもって評価した。

4. 評価方法

分科会においては、当該事業の推進部署及び研究実施者からのヒアリングと、それを踏まえた分科会委員による評価コメント作成、評点法による評価及び実施者側等との議論等により評価作業を進めた。

なお、評価の透明性確保の観点から、知的財産保護の上で支障が生じると認められる場合等を除き、原則として分科会は公開とし、研究実施者と意見を交換する形で審議を行うこととした。

5. 評価項目・評価基準

分科会においては、次に掲げる「評価項目・評価基準」で評価を行った。これは、研究評価委員会による『各分科会における評価項目・評価基準は、被評価プロジェクトの性格、中間・事後評価の別等に応じて、各分科会において判断すべきものである。』との考え方に従い、第1回分科会において、事務局が、研究評価委員会により示された「標準的評価項目・評価基準」（参考資料1-7頁参照）をもとに改定案を提示し、承認されたものである。

プロジェクト全体に係わる評価においては、主に事業の目的、計画、運営、達成度、成果の意義や実用化への見通し等について評価した。各個別テーマに係る評価については、主にその目標に対する達成度等について評価した。

評価項目・評価基準

1. 事業の位置付け・必要性について

(1)NEDOの事業としての妥当性

- ・ ナノテク・部材イノベーションプログラムの目標達成のために寄与しているか。
- ・ 民間活動のみでは改善できないものであること、又は公共性が高いことにより、NEDOの関与が必要とされる事業か。
- ・ 当該事業を実施することによりもたらされる効果が、投じた予算との比較において十分であるか。

(2)事業目的の妥当性

- ・ 内外の技術開発動向、国際競争力の状況、エネルギー需給動向、市場動向、政策動向、国際貢献の可能性等から見て、事業の目的は妥当か。

2. 研究開発マネジメントについて

(1)研究開発目標の妥当性

- ・ 内外の技術動向、市場動向等を踏まえて、戦略的な目標が設定されているか。
- ・ 具体的かつ明確な開発目標を可能な限り定量的に設定しているか。
- ・ 目標達成度を測定・判断するための適切な指標が設定されているか。

(2)研究開発計画の妥当性

- ・ 目標達成のために妥当なスケジュール、予算（各個別研究テーマ毎の配分を含む）となっているか。
- ・ 目標達成に必要な要素技術を取り上げているか。
- ・ 研究開発フローにおける要素技術間の関係、順序は適切か。
- ・ 長期プロジェクトの場合、技術蓄積を、実用化の観点から絞り込んだうえで活用が図られているか。

(3)研究開発実施の事業体制の妥当性

- ・ 適切な研究開発チーム構成での実施体制になっているか。
- ・ 真に技術力と事業化能力を有する企業を実施者として選定しているか。
- ・ 全体を統括するプロジェクトリーダー等が選任され、十分に活躍できる環境が整備されているか。

- ・ 目標達成及び効率的実施のために必要な実施者間の連携 and/or 競争が十分に行われる体制となっているか。
 - ・ 実用化シナリオに基づき、成果の受け取り手（ユーザー、活用・実用化の想定者等）に対して、関与を求める体制を整えているか。
- (4) 研究開発成果の実用化、事業化に向けたマネジメントの妥当性
- ・ 成果の実用化、事業化につなげる戦略が明確になっているか。
 - ・ 成果の実用化、事業化につなげる知財マネジメントの方針が明確に示され、かつ妥当なものか。
- (5) 情勢変化への対応等
- ・ 進捗状況を常に把握し、社会・経済の情勢の変化及び政策・技術動向に機敏かつ適切に対応しているか。
 - ・ 計画見直しの方針は一貫しているか（中途半端な計画見直しが研究方針の揺らぎとなっていないか）。計画見直しを適切に実施しているか。

3. 研究開発成果について

- (1) 目標の達成度
- ・ 成果は目標値をクリアしているか。
 - ・ 全体としての目標達成はどの程度か。
 - ・ 目標未達成の場合、目標達成までの課題を把握し、課題解決の方針が明確になっているか。
- (2) 成果の意義
- ・ 成果は市場の拡大或いは市場の創造につながることを期待できるか。
 - ・ 成果は、世界初あるいは世界最高水準か。
 - ・ 成果は、新たな技術領域を開拓することが期待できるか。
 - ・ 成果は汎用性があるか。
 - ・ 投入された予算に見合った成果が得られているか。
 - ・ 成果は、他の競合技術と比較して優位性があるか。
- (3) 知的財産権等の取得及び標準化の取組
- ・ 知的財産権等の取扱（特許や意匠登録出願、著作権の登録、営業機密の管理等）は事業戦略、または実用化計画に沿って国内外に適切に行われているか。
- (4) 成果の普及
- ・ 論文の発表は、研究内容を踏まえ適切に行われているか。

- ・ 成果の受取手（ユーザー、活用・実用化の想定者等）に対して、適切に成果を普及しているか。また、普及の見通しは立っているか。
- ・ 一般に向けて広く情報発信をしているか。

*プロジェクト全体及び個別テーマ③④⑤の場合

4. 実用化、事業化の見通しについて

(1)成果の実用化可能性

- ・ 産業技術としての見極め（適用可能性の明確化）ができているか。
- ・ 実用化に向けて課題が明確になっているか。課題解決の方針が明確になっているか。

(2)事業化までのシナリオ

- ・ NEDO後継プロジェクト、NEDO実用化助成、企業内研究等、プロジェクト終了後の事業化までの道筋は明確か。
- ・ 市場の規模や成長性、コストダウン、競合技術との比較、導入普及、事業化までの期間、事業化とそれに伴う経済効果等の見通しは立っているか。

(3)波及効果

- ・ 成果は関連分野への波及効果（技術的・経済的・社会的）を期待できるものか。
- ・ プロジェクトの実施自体が当該分野の研究開発や人材育成等を促進するなどの波及効果を生じているか。

*個別テーマ①②の場合

4. 実用化の見通しについて

(1)成果の実用化可能性

- ・ 実用化イメージ・出口イメージが明確になっているか。
- ・ 実用化イメージ・出口イメージに基づき、開発の各段階でマイルストーンを明確にしているか。それを踏まえ、引き続き研究開発が行われる見通しは立っているか。

(2)波及効果

- ・ 成果は関連分野への波及効果（技術的・経済的・社会的）を期待できるものか。
- ・ プロジェクトの実施自体が当該分野の研究開発や人材育成等を促進するなどの波及効果を生じているか。

標準的評価項目・評価基準（事後評価）

2010. 3. 26

【事後評価 標準的評価項目・評価基準の位置付け（基本的考え方）】

標準的評価項目・評価基準は、第25回研究評価委員会（平成22年3月26日付）において以下のとおり定められている。（本文中の記載例による1…、2…、3…、4…が標準的評価項目、それぞれの項目中の(1)…、(2)…が標準的評価基準、それぞれの基準中の…が視点）

ただし、これらの標準的評価項目・評価基準は、研究開発プロジェクトの事後評価における標準的な評価の視点であり、各分科会における評価項目・評価基準は、被評価プロジェクトの性格等に応じて、各分科会において判断すべきものである。

1. 事業の位置付け・必要性について

(1) NEDOの事業としての妥当性

- ・ 特定の施策（プログラム）、制度の下で実施する事業の場合、当該施策・制度の目標達成のために寄与しているか。
- ・ 民間活動のみでは改善できないものであること、又は公共性が高いことにより、NEDOの関与が必要とされる事業か。
- ・ 当該事業を実施することによりもたらされる効果が、投じた予算との比較において十分であるか。

(2) 事業目的の妥当性

- ・ 内外の技術開発動向、国際競争力の状況、エネルギー需給動向、市場動向、政策動向、国際貢献の可能性等から見て、事業の目的は妥当か。

2. 研究開発マネジメントについて

(1) 研究開発目標の妥当性

- ・ 内外の技術動向、市場動向等を踏まえて、戦略的な目標が設定されているか。
- ・ 具体的かつ明確な開発目標を可能な限り定量的に設定しているか。
- ・ 目標達成度を測定・判断するための適切な指標が設定されているか。

(2)研究開発計画の妥当性

- ・ 目標達成のために妥当なスケジュール、予算（各個別研究テーマ毎の配分を含む）となっているか。
- ・ 目標達成に必要な要素技術を取り上げているか。
- ・ 研究開発フローにおける要素技術間の関係、順序は適切か。
- ・ 継続プロジェクトや長期プロジェクトの場合、技術蓄積を、実用化の観点から絞り込んだうえで活用が図られているか。

(3)研究開発実施の事業体制の妥当性

- ・ 適切な研究開発チーム構成での実施体制になっているか。
- ・ 真に技術力と事業化能力を有する企業を実施者として選定しているか。
- ・ 研究管理法をを経由する場合、研究管理法が真に必要な役割を担っているか。
- ・ 全体を統括するプロジェクトリーダー等が選任され、十分に活躍できる環境が整備されているか。
- ・ 目標達成及び効率的実施のために必要な実施者間の連携 and/or 競争が十分に行われる体制となっているか。
- ・ 実用化シナリオに基づき、成果の受け取り手（ユーザー、活用・実用化の想定者等）に対して、関与を求める体制を整えているか。

(4) 研究開発成果の実用化、事業化に向けたマネジメントの妥当性

- ・ 成果の実用化、事業化につなげる戦略が明確になっているか。
- ・ 成果の実用化、事業化につなげる知財マネジメントの方針が明確に示され、かつ妥当なものか。

(5)情勢変化への対応等

- ・ 進捗状況を常に把握し、社会・経済の情勢の変化及び政策・技術動向に機敏かつ適切に対応しているか。
- ・ 計画見直しの方針は一貫しているか（中途半端な計画見直しが研究方針の揺らぎとなっていないか）。計画見直しを適切に実施しているか。

3. 研究開発成果について

(1)目標の達成度

- ・ 成果は目標値をクリアしているか。（※）

（※事後評価前倒し実施の場合は、「成果は目標値をクリアする見込みか。」）

- ・ 全体としての目標達成はどの程度か。
- ・ 目標未達成の場合、目標達成までの課題を把握し、課題解決の方針が明確になっているか。

(2)成果の意義

- ・ 成果は市場の拡大或いは市場の創造につながる事が期待できるか。
- ・ 成果は、世界初あるいは世界最高水準か。
- ・ 成果は、新たな技術領域を開拓する事が期待できるか。
- ・ 成果は汎用性があるか。
- ・ 投入された予算に見合った成果が得られているか。
- ・ 成果は、他の競合技術と比較して優位性があるか。

(3)知的財産権等の取得及び標準化の取組

- ・ 知的財産権等の取扱（特許や意匠登録出願、著作権や回路配置利用権の登録、品種登録出願、営業機密の管理等）は事業戦略、または実用化計画に沿って国内外に適切に行われているか。
- ・ 国際標準化に関する事項が計画されている場合、得られた研究開発の成果に基づく国際標準化に向けた提案等の取組が適切に行われているか。

(4)成果の普及

- ・ 論文の発表は、研究内容を踏まえ適切に行われているか。
- ・ 成果の受取手（ユーザー、活用・実用化の想定者等）に対して、適切に成果を普及しているか。また、普及の見通しは立っているか。
- ・ 一般に向けて広く情報発信をしているか。

4. 実用化、事業化の見通しについて

(1)成果の実用化可能性

- ・ 産業技術としての見極め（適用可能性の明確化）ができているか。
- ・ 実用化に向けて課題が明確になっているか。課題解決の方針が明確になっているか。
- ・ 国際標準化に関する事項が計画されている場合、国際規格化等、標準整備に向けた見通しが得られているか。

(2)事業化までのシナリオ

- ・ N E D O 後継プロジェクト、N E D O 実用化助成、企業内研究等、プロジェクト終了後の事業化までの道筋は明確か。
- ・ 市場の規模や成長性、コストダウン、競合技術との比較、導入普及、事業化までの期間、事業化とそれに伴う経済効果等の見通しは立っているか。

(3)波及効果

- ・ 成果は関連分野への波及効果（技術的・経済的・社会的）を期待できるものか。
- ・ プロジェクトの実施自体が当該分野の研究開発や人材育成等を促進するなどの波及効果を生じているか。

※基礎的・基盤的研究及び知的基盤・標準整備等の研究開発の場合は、以下の項目・基準による。

*基礎的・基盤的研究開発の場合

2. 研究開発マネジメントについて

(1)研究開発目標の妥当性

- ・内外の技術動向、市場動向等を踏まえて、戦略的な目標が設定されているか。
- ・具体的かつ明確な開発目標を可能な限り定量的に設定しているか。
- ・目標達成度を測定・判断するための適切な指標が設定されているか。

(2)研究開発計画の妥当性

- ・目標達成のために妥当なスケジュール、予算（各個別研究テーマ毎の配分を含む）となっているか。
- ・目標達成に必要な要素技術を取り上げているか。
- ・研究開発フローにおける要素技術間の関係、順序は適切か。
- ・継続プロジェクトや長期プロジェクトの場合、技術蓄積を、実用化の観点から絞り込んだうえで活用が図られているか。

(3)研究開発実施の事業体制の妥当性

- ・適切な研究開発チーム構成での実施体制になっているか。
- ・真に技術力と事業化能力を有する企業を実施者として選定しているか。
- ・研究管理法人を経由する場合、研究管理法人が真に必要な役割を担っているか。
- ・全体を統括するプロジェクトリーダー等が選任され、十分に活躍できる環境が整備されているか。
- ・目標達成及び効率的実施のために必要な実施者間の連携 and/or 競争が十分に行われる体制となっているか。
- ・実用化シナリオに基づき、成果の受け取り手（ユーザー、活用・実用化の想定者等）に対して、関与を求める体制を整えているか。

(4) 研究開発成果の実用化に向けたマネジメントの妥当性

- ・成果の実用化につなげる戦略が明確になっているか。
- ・成果の実用化につなげる知財マネジメントの方針が明確に示され、かつ妥当なものか。

(5)情勢変化への対応等

- ・ 進捗状況を常に把握し、社会・経済の情勢の変化及び政策・技術動向に機敏かつ適切に対応しているか。
- ・ 計画見直しの方針は一貫しているか（中途半端な計画見直しが研究方針の揺らぎとなっていないか）。計画見直しを適切に実施しているか。

3. 研究開発成果について

(1)目標の達成度

- ・ 成果は目標値をクリアしているか。（※）
（※事後評価前倒し実施の場合は、「成果は目標値をクリアする見込みか。」）
- ・ 全体としての目標達成はどの程度か。
- ・ 目標未達成の場合、目標達成までの課題を把握し、課題解決の方針が明確になっているか。

(2)成果の意義

- ・ 成果は市場の拡大或いは市場の創造につながる事が期待できるか。
- ・ 成果は、世界初あるいは世界最高水準か。
- ・ 成果は、新たな技術領域を開拓することが期待できるか。
- ・ 成果は汎用性があるか。
- ・ 投入された予算に見合った成果が得られているか。
- ・ 成果は、他の競合技術と比較して優位性があるか。

(3)知的財産権等の取得及び標準化の取組

- ・ 知的財産権等の取扱（特許や意匠登録出願、著作権や回路配置利用権の登録、品種登録出願、営業機密の管理等）は事業戦略、または実用化計画に沿って国内外に適切に行われているか。
- ・ 国際標準化に関する事項が計画されている場合、得られた研究開発の成果に基づく国際標準化に向けた提案等の取組が適切に行われているか。

(4)成果の普及

- ・ 論文の発表は、研究内容を踏まえ適切に行われているか。
- ・ 成果の受取手（ユーザー、活用・実用化の想定者等）に対して、適切に成果を普及しているか。また、普及の見通しは立っているか。
- ・ 一般に向けて広く情報発信をしているか。

4. 実用化の見通しについて

(1)成果の実用化可能性

- ・ 実用化イメージ・出口イメージが明確になっているか。
- ・ 実用化イメージ・出口イメージに基づき、開発の各段階でマイルストーンを明確にしているか。それを踏まえ、引き続き研究開発が行われる見通しは立っているか。
- ・ 国際標準化に関する事項が計画されている場合、国際規格化等、標準整備に向けた見通しが得られているか。

(2)波及効果

- ・ 成果は関連分野への波及効果（技術的・経済的・社会的）を期待できるものか。
- ・ プロジェクトの実施自体が当該分野の研究開発や人材育成等を促進するなどの波及効果を生じているか。

* 知的基盤・標準整備等の研究開発の場合

2. 研究開発マネジメントについて

(1)研究開発目標の妥当性

- ・ 内外の技術動向、市場動向等を踏まえて、戦略的な目標が設定されているか。
- ・ 具体的かつ明確な開発目標を可能な限り定量的に設定しているか。
- ・ 目標達成度を測定・判断するための適切な指標が設定されているか。

(2)研究開発計画の妥当性

- ・ 目標達成のために妥当なスケジュール、予算（各個別研究テーマ毎の配分を含む）となっているか。
- ・ 目標達成に必要な要素技術を取り上げているか。
- ・ 研究開発フローにおける要素技術間の関係、順序は適切か。
- ・ 継続プロジェクトや長期プロジェクトの場合、技術蓄積を、実用化の観点から絞り込んだうえで活用が図られているか。

(3)研究開発実施の事業体制の妥当性

- ・ 適切な研究開発チーム構成での実施体制になっているか。
- ・ 真に技術力と事業化能力を有する企業を実施者として選定しているか。
- ・ 研究管理法人を経由する場合、研究管理法人が真に必要な役割を担っているか。

るか。

- ・ 全体を統括するプロジェクトリーダー等が選任され、十分に活躍できる環境が整備されているか。
- ・ 目標達成及び効率的実施のために必要な実施者間の連携 and/or 競争が十分に行われる体制となっているか。
- ・ 実用化シナリオに基づき、成果の受け取り手（ユーザー、活用・実用化の想定者等）に対して、関与を求める体制を整えているか。

(4) 研究開発成果の実用化に向けたマネジメントの妥当性

- ・ 成果の実用化につなげる戦略が明確になっているか。
- ・ 成果の実用化につなげる知財マネジメントの方針が明確に示され、かつ妥当なものか。

(5) 情勢変化への対応等

- ・ 進捗状況を常に把握し、社会・経済の情勢の変化及び政策・技術動向に機敏かつ適切に対応しているか。
- ・ 計画見直しの方針は一貫しているか（中途半端な計画見直しが研究方針の揺らぎとなっていないか）。計画見直しを適切に実施しているか。

3. 研究開発成果について

(1) 目標の達成度

- ・ 成果は目標値をクリアしているか。（※）
（※事後評価前倒し実施の場合は、「成果は目標値をクリアする見込みか。」）
- ・ 全体としての目標達成はどの程度か。
- ・ 目標未達成の場合、目標達成までの課題を把握し、課題解決の方針が明確になっているか。

(2) 成果の意義

- ・ 成果は市場の拡大或いは市場の創造につながることを期待できるか。
- ・ 成果は、世界初あるいは世界最高水準か。
- ・ 成果は、新たな技術領域を開拓することが期待できるか。
- ・ 成果は汎用性があるか。
- ・ 投入された予算に見合った成果が得られているか。
- ・ 成果は公開性が確保されているか。

(3)知的財産権等の取得及び標準化の取組

- ・ 研究内容に新規性がある場合、知的財産権等の取扱（特許や意匠登録出願、著作権や回路配置利用権の登録、品種登録出願、営業機密の管理等）は事業戦略、または実用化計画に沿って国内外に適切に行われているか。
- ・ 国際標準化に関する事項が計画されている場合、得られた研究開発の成果に基づく国際標準化に向けた提案等の取組が適切に行われているか。

(4)成果の普及

- ・ 論文の発表は、研究内容を踏まえ適切に行われているか。
- ・ 成果の受取手（ユーザー、活用・実用化の想定者等）に対して、適切に成果を普及しているか。また、普及の見通しは立っているか。
- ・ 一般に向けて広く情報発信をしているか。

4. 実用化の見通しについて

(1)成果の実用化可能性

- ・ 整備した知的基盤についての利用は実際にあるか、その見通しが得られているか。
- ・ 公共財として知的基盤を供給、維持するための体制は整備されているか、その見込みはあるか。
- ・ 国際標準化に関する事項が計画されている場合、国際規格化等、標準整備に向けた見通しが得られているか。
- ・ J I S 化、標準整備に向けた見通しが得られているか。注）国内標準に限る
- ・ 一般向け広報は積極的になされているか。

(2)波及効果

- ・ 成果は関連分野への波及効果（技術的・経済的・社会的）を期待できるものか。
- ・ プロジェクトの実施自体が当該分野の研究開発や人材育成等を促進するなどの波及効果を生じているか。

参考資料 2 評価に係る被評価者意見

研究評価委員会（分科会）は、評価結果を確定するにあたり、あらかじめ当該実施者に対して評価結果を示し、その内容が、事実関係から正確性を欠くなどの意見がある場合に、補足説明、反論などの意見を求めた。研究評価委員会（分科会）では、意見があったものに対し、必要に応じて評価結果を修正の上、最終的な評価結果を確定した。

評価結果に対する被評価者意見は全て反映された。

本研究評価委員会報告は、独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）評価部が委員会の事務局として編集しています。

平成24年3月

NEDO 評価部

部長 竹下 満

主幹 三上 強

担当 室井 和幸

* 研究評価委員会に関する情報は NEDO のホームページに掲載しています。

(http://www.nedo.go.jp/introducing/iinkai/kenkyuu_index.html)

〒212-8554 神奈川県川崎市幸区大宮町1310番地

ミュージアム川崎セントラルタワー20F

TEL 044-520-5161 FAX 044-520-5162