

「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 ナノ溶融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かった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>【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> <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="472 1308 1401 1473"> <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="472 1733 1401 1877"> <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値で、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タを得る技術 |

| | | |
|-------------|--|--|
| 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 | エチレンオキッド構造を主鎖に、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 slurry | 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/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 | decharge-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。昭和電工(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、簡単に層面が辻つ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錯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。 |

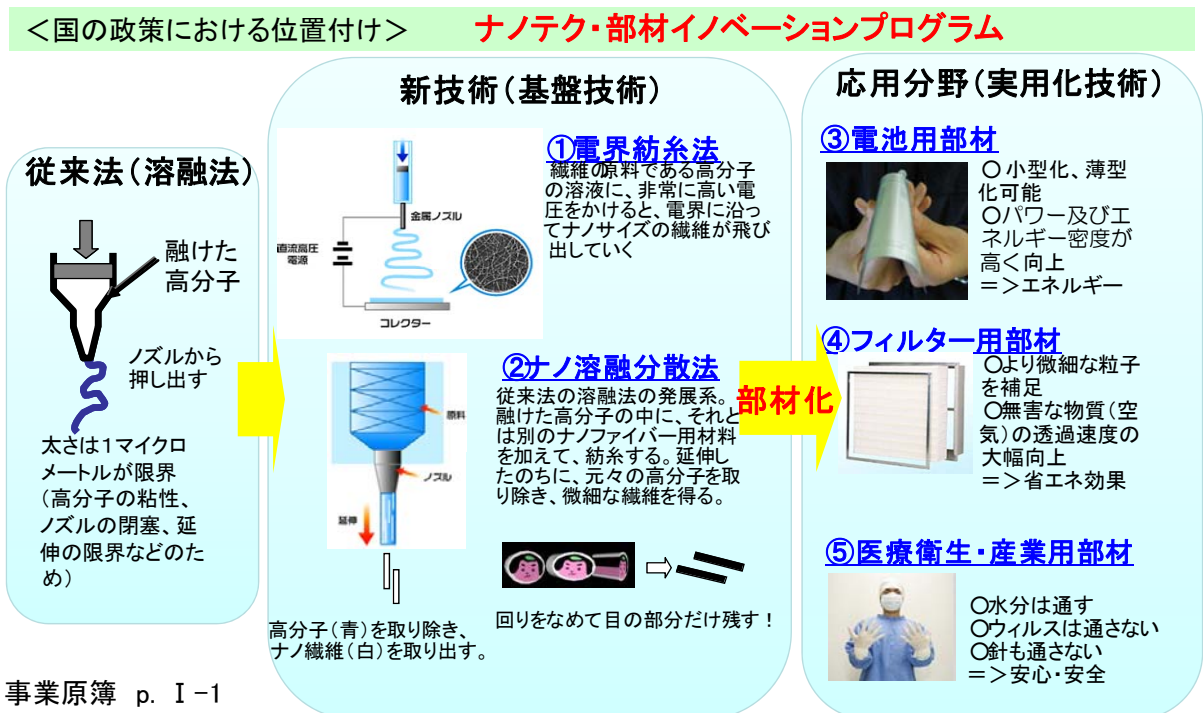
I. 事業の位置付け・必要性について

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。

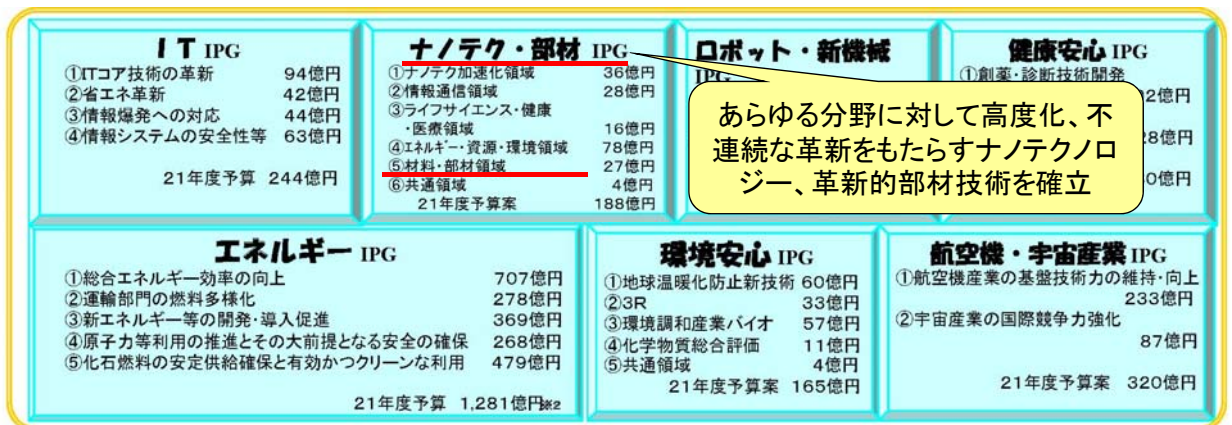


図 1. 1-2 イノベーションプログラムの中での位置付け



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。

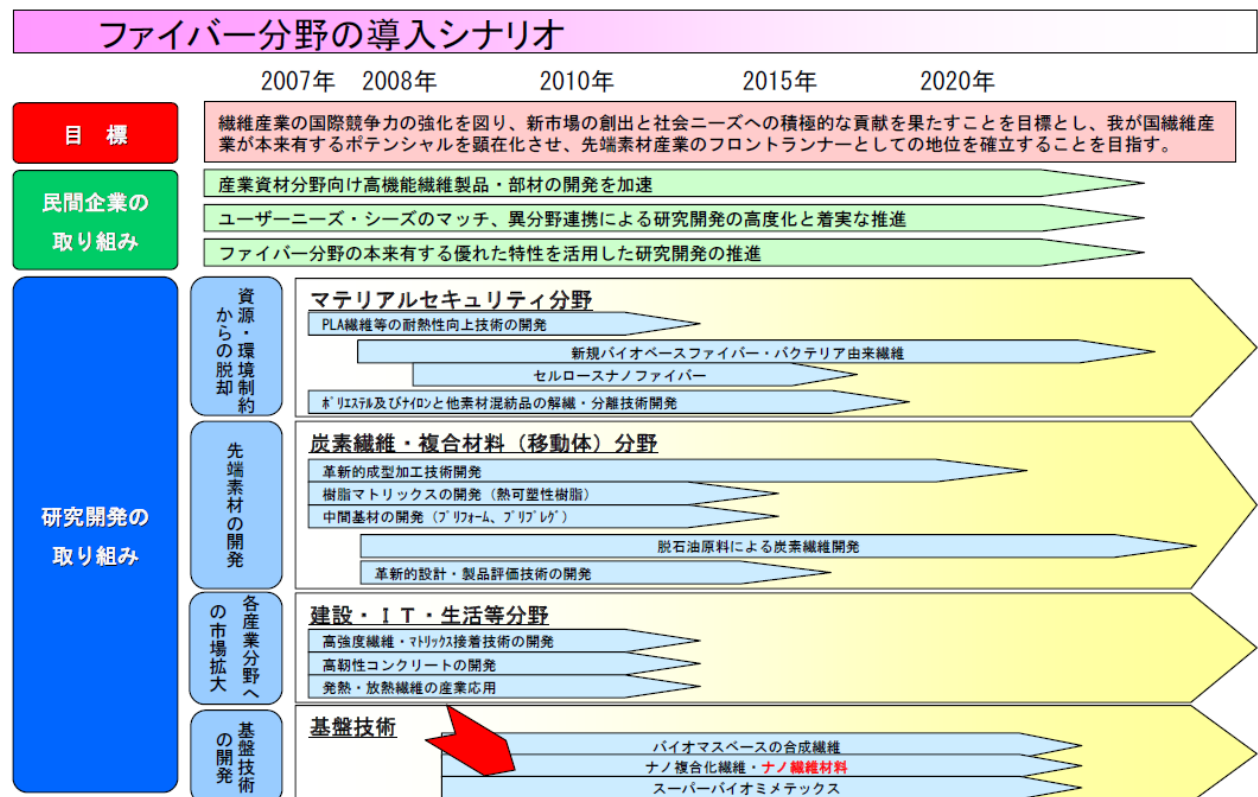


図 1. 1-4 技術戦略マップ（ファイバー分野）での位置付け

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

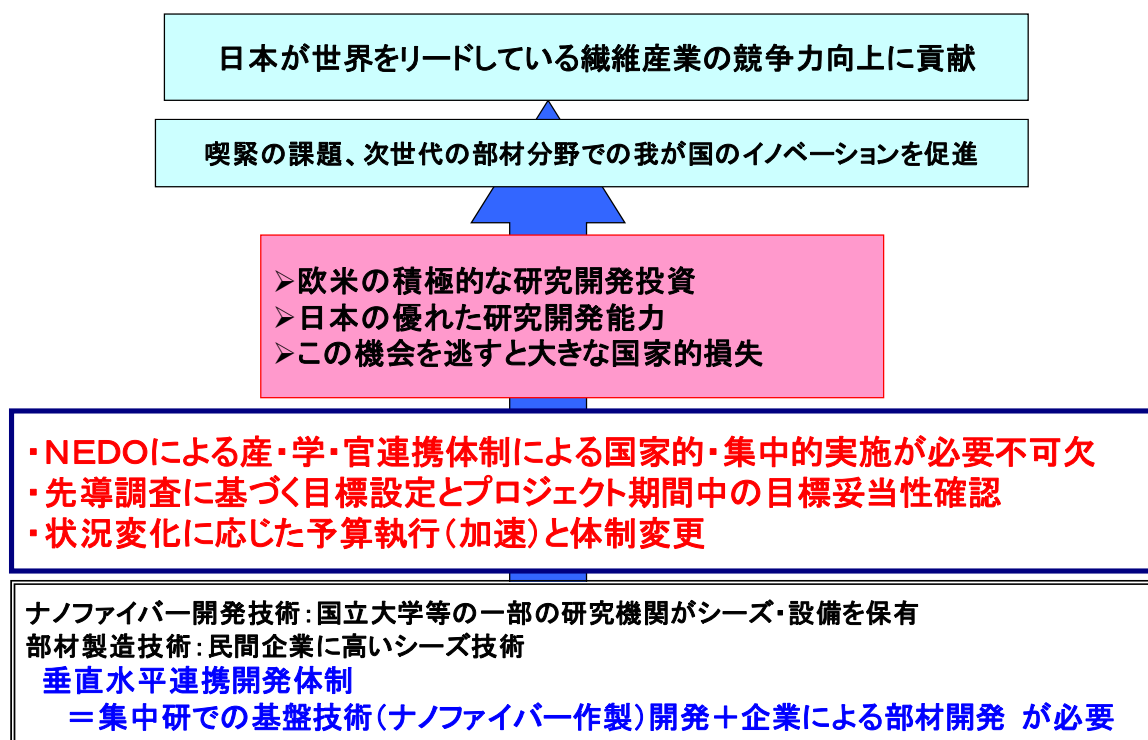


図1. 1-5 NEDOが関与することの意義1

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。

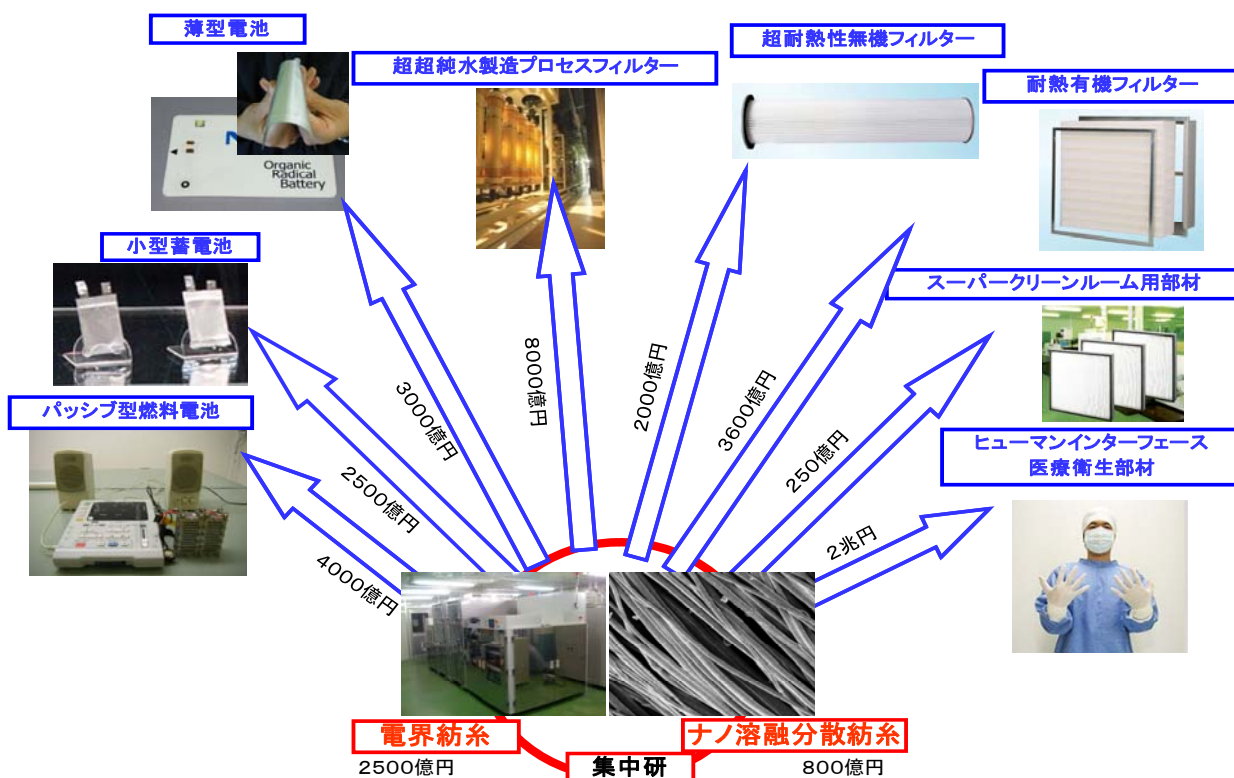


図 1. 2 - 2 本事業が関係する市場規模の統計

【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】

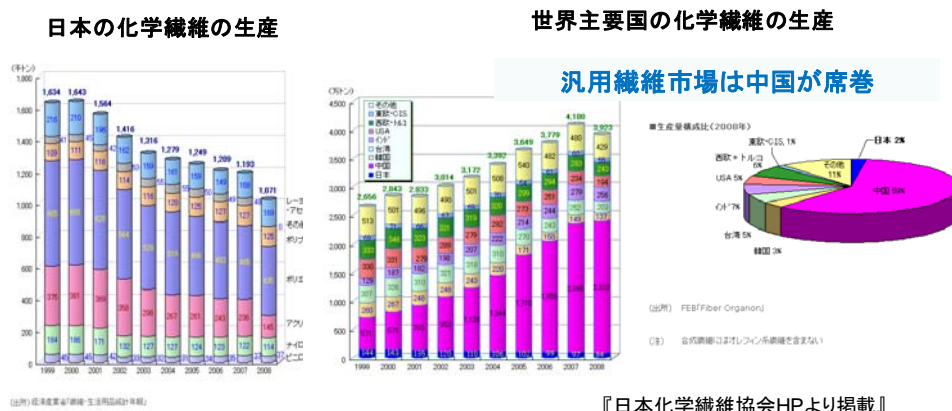
本事業では、医療衛生分野での医療事故やウイルス感染の防止の観点から、ウイルス・細菌の侵入や超微細ゴミを完全に除去する部材や着用快適性に優れたクリーン服・身体防護ウェア部材、針の刺さらない高強度部材を開発する。製品イメージは、手袋・ウェア・マスク等の医療用・産業用資材や食品や誘拐物質等の汚染防止保護材等多岐にわたる。これら技術の普及により、2015 年時点で 2000 億円程度、2020 年頃には 2 兆円規模の市場創出効果が見込まれる。

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

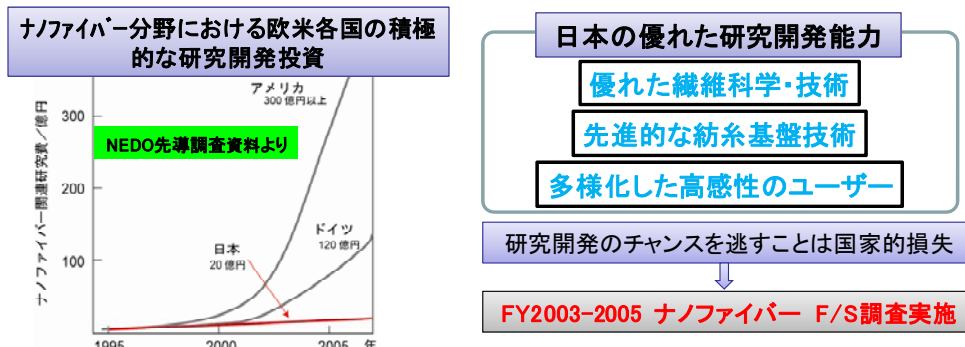


図 2. 1-2 日本のハイテク繊維の現状と世界のナノファイバーへの研究開発投資

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) |
| 二次電池用活物質 | 二次電池電解液 | 導電性 | 高分子配列材料(導電導膜) |
| | 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 | 電圧特性、繰り返し特性 | 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 | 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、ガスバリア層材料)、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)、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、多元素系無機化合物材料センサー |
| | フィルター | 高耐熱性、除去率向上、高透過効率、高効率除去、耐毒性、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) |
| | 高効率水浄化 | 高効率水質浄化 | 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 | |

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。

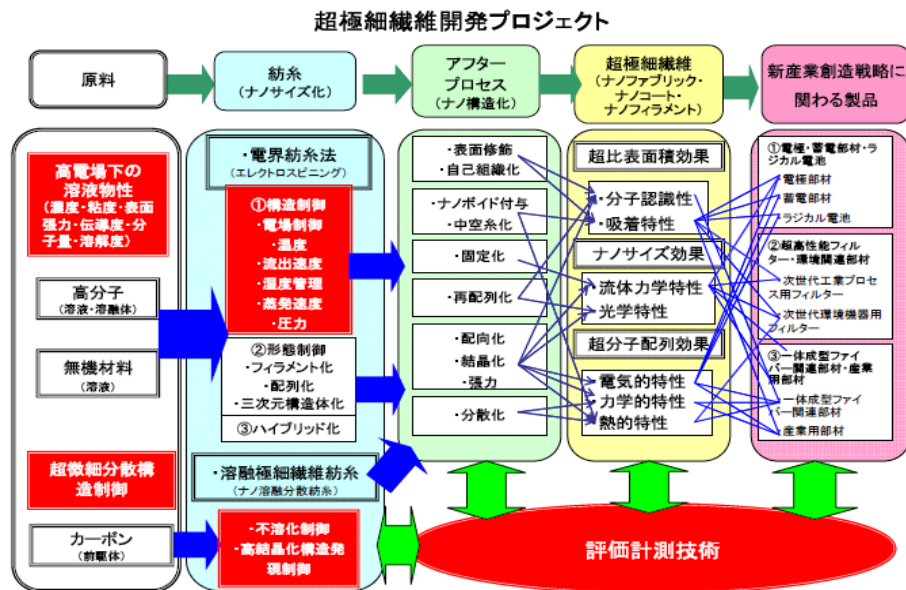


図 2. 1-5 プロジェクトの概要

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)。

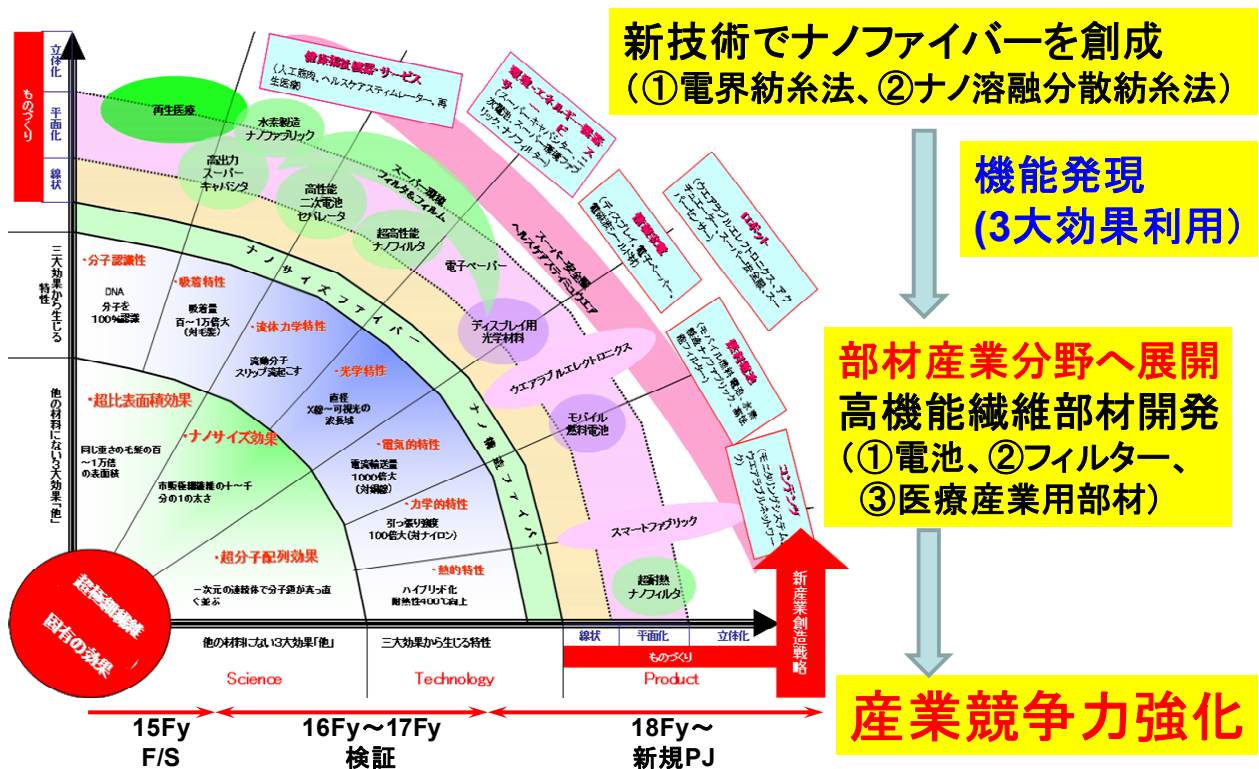


図2. 2-1 事業の目的・意義

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。

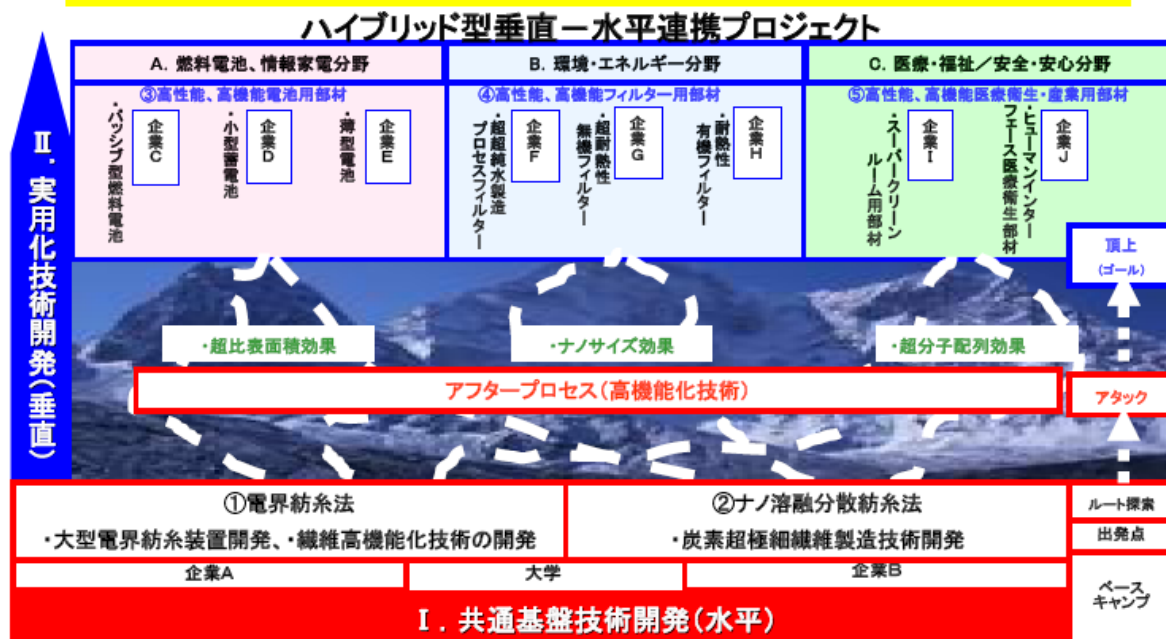
材料技術は、材料の特性・機能の向上が製品機能の向上に直結するなど産業技術全般に大きな波及効果をもたらす基盤技術であるが、昨今の国際競争の激化により、さらな

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

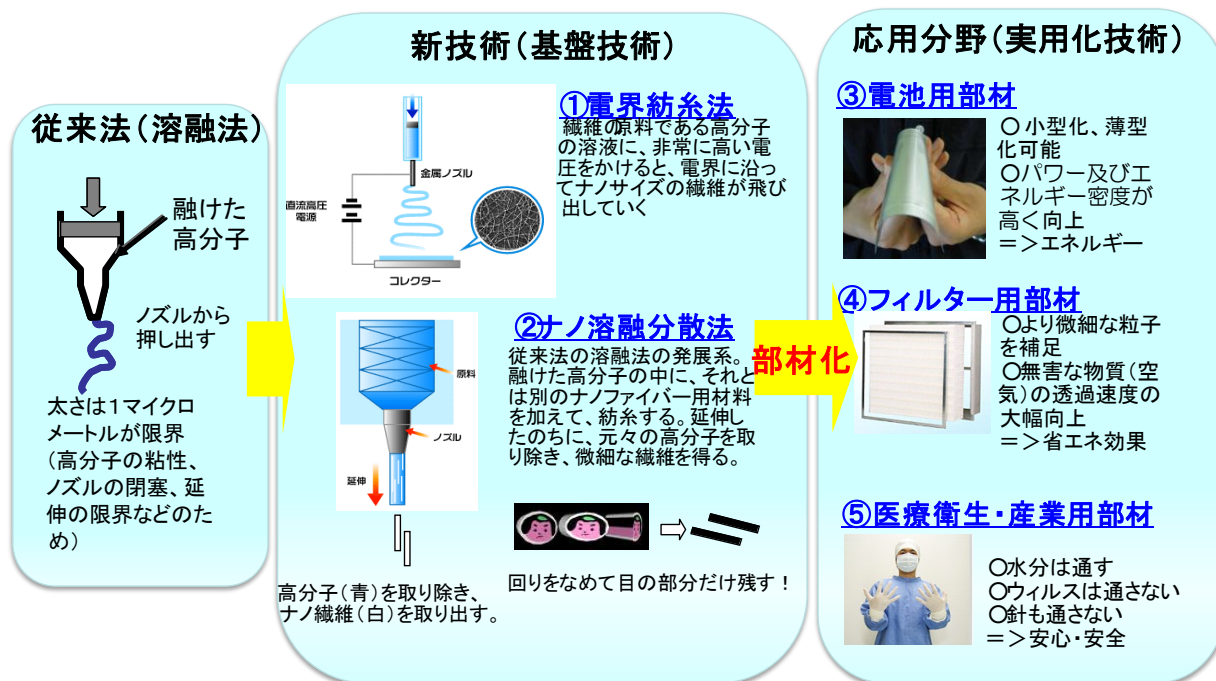


図 1 - 1 事業目標の概略

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。

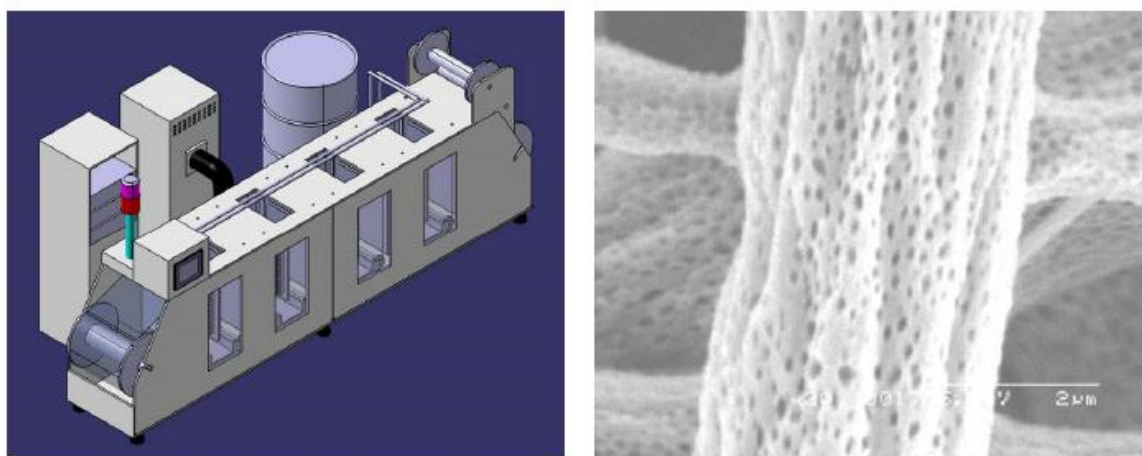


図 1 - 2 電界紡糸装置、高機能化繊維

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。

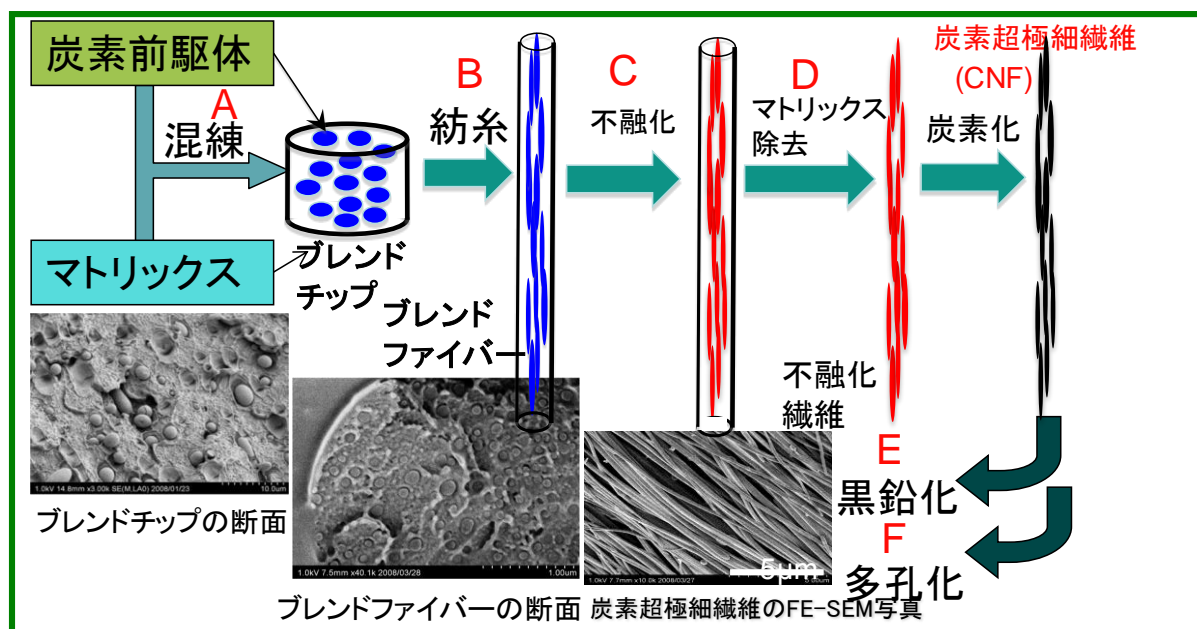


図 1 - 3 ナノ溶融分散紡糸法と炭素超極細繊維

【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。

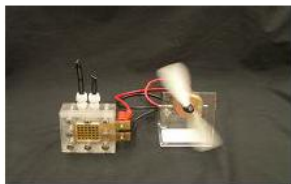


図 1 - 4 高性能、高機能電池

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

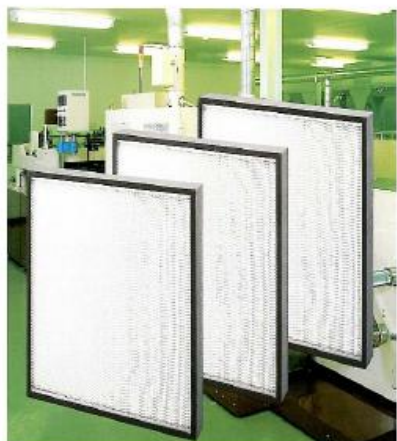
⑤高性能、高機能医療衛生・産業用部材の開発

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。本表からも明らかの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

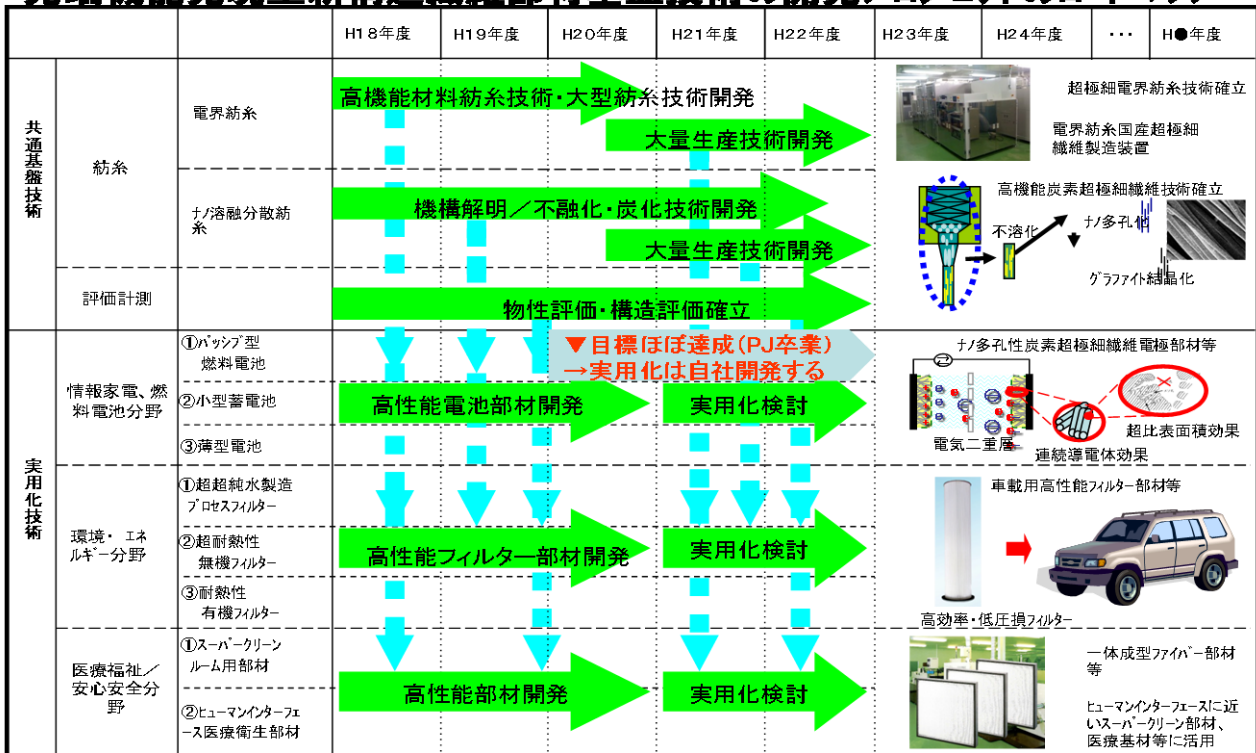


図 2. 1-1 開発プロジェクトのロードマップ

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 μl /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。

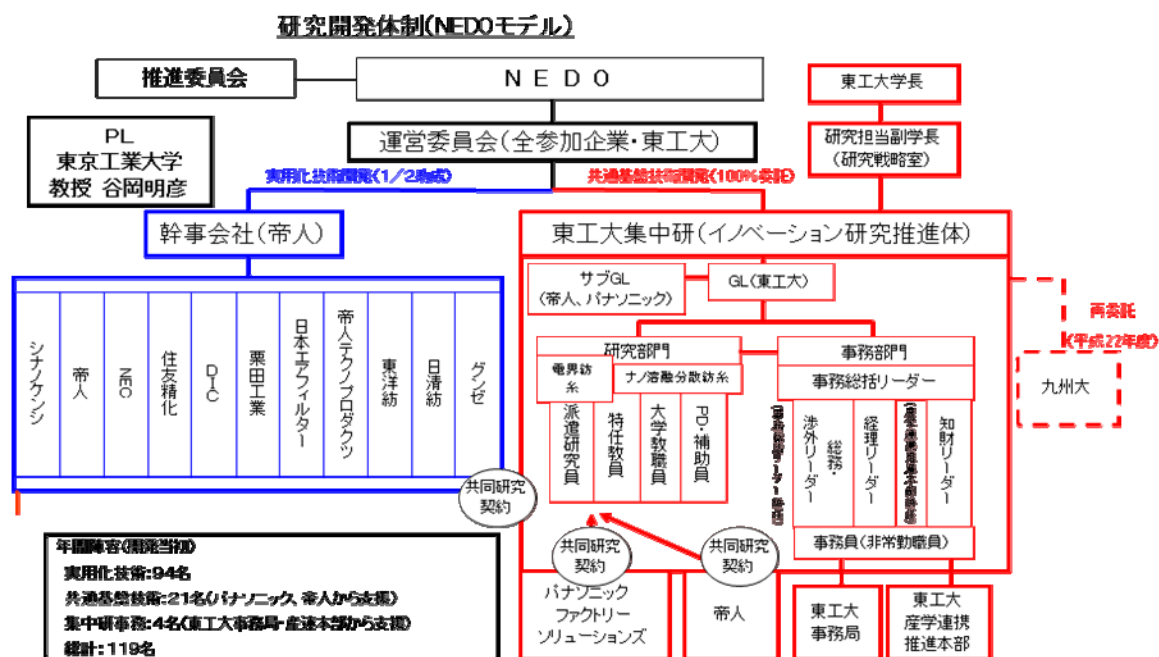
最終目標：平成22年度はウイルス除去のため、細孔サイズを10 nm、着用快適性の指標としての透湿性能を20,000 ml/24h/m²、0.08 mmφの針が貫通しない構造で、血液等の侵入防止に有効な撥水性の指標としての接触角150°を達成する。

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)

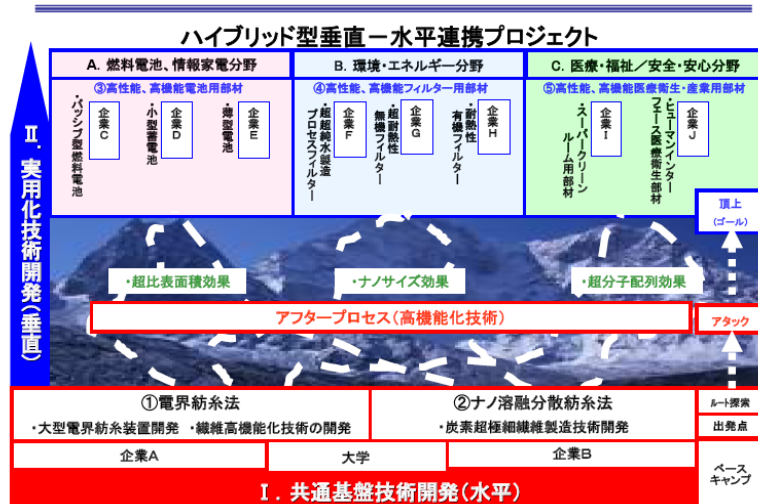


図2. 2-2 実施体制

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。

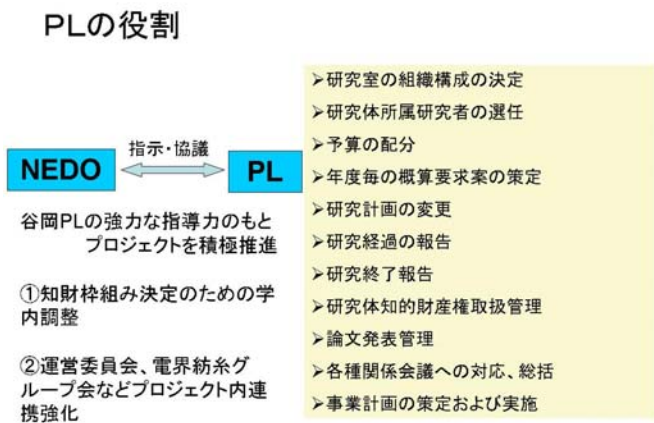


図 2. 3 - 1 PL の役割

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 | <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 <ul 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 | <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 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 | <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 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 | <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 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 | <ul 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 | <ul 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

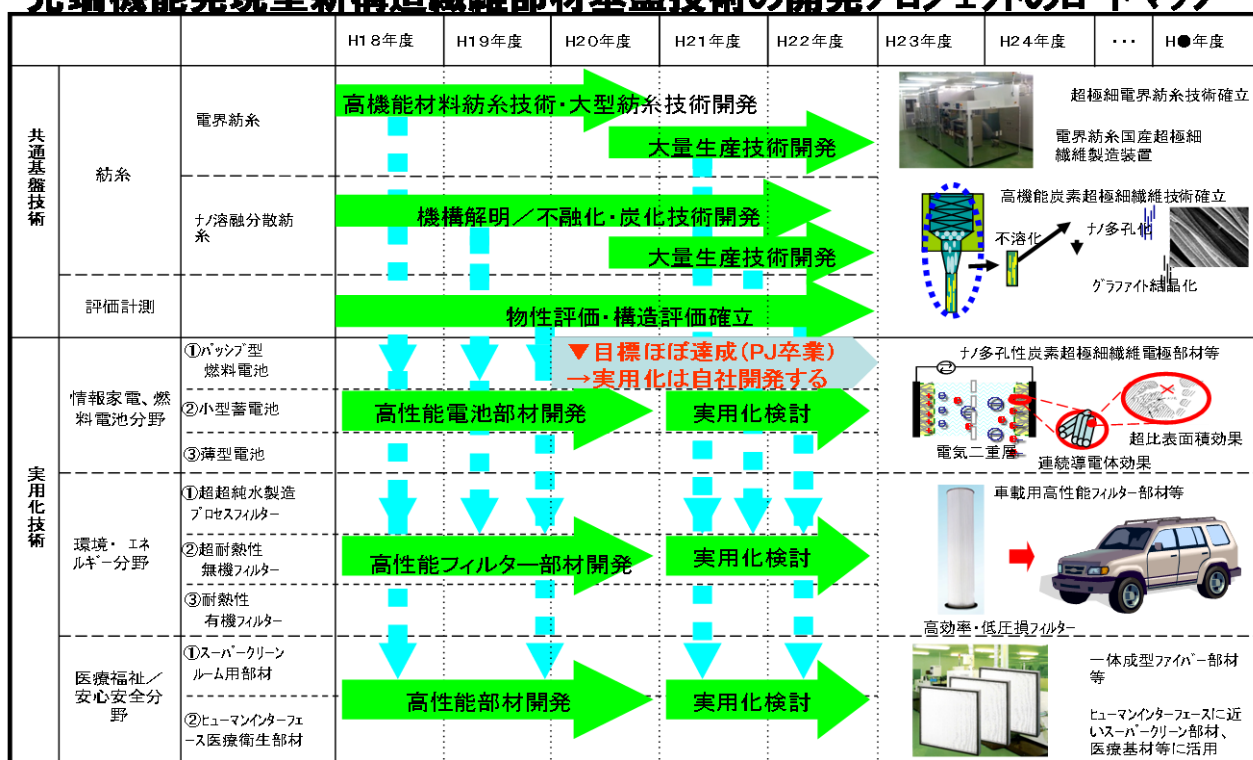


図 3 - 1 プロジェクトの開発ロードマップ

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。

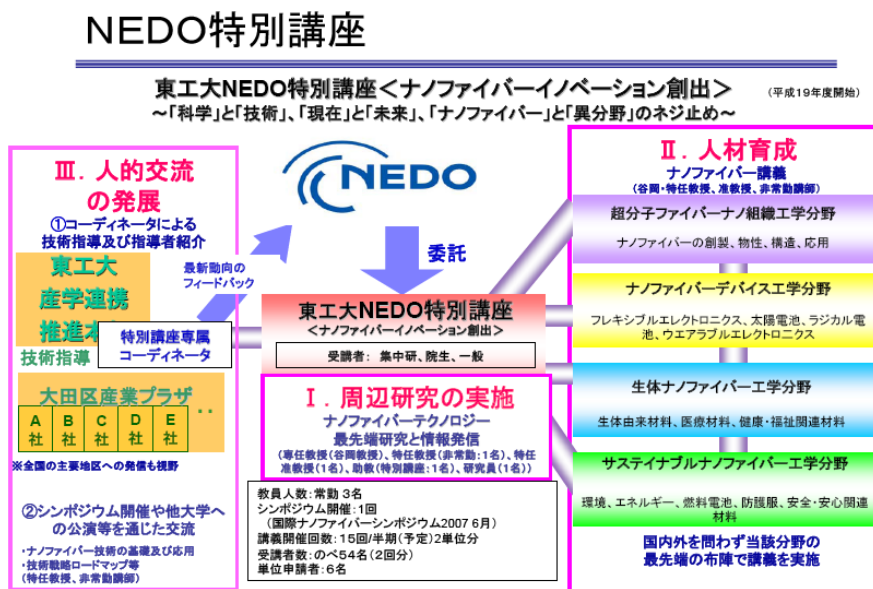


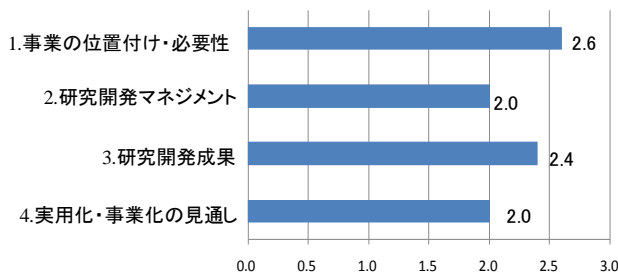
図3-2 NEDO特別講座

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> | |
|--|--|--|

◎：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]

| 表 2.1.2-4 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

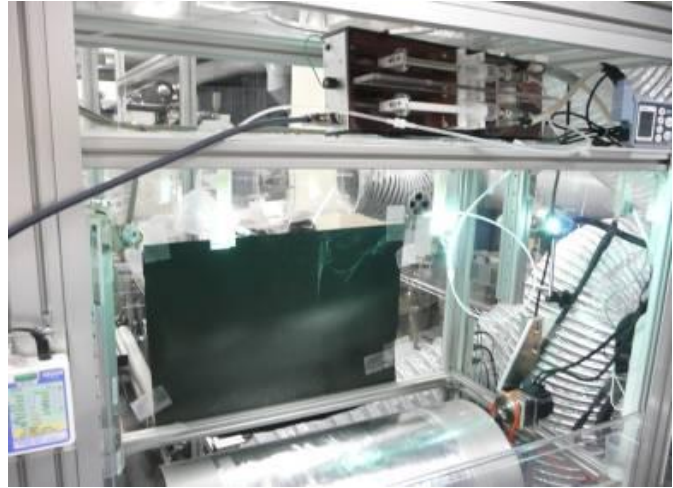


図 2.1.3.1-2 フィラメント化用実験機

(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)

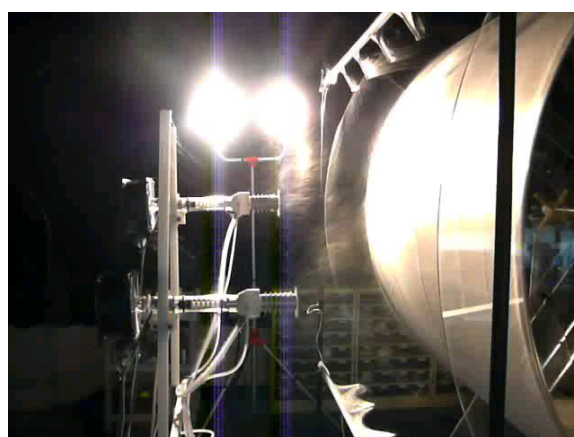


図 2.1.3.1-5

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。

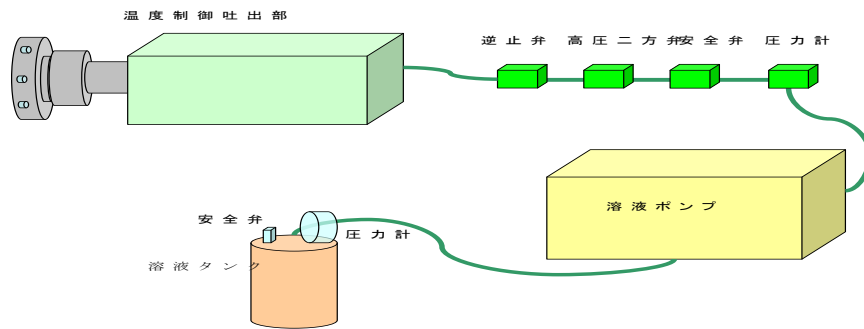


図 2.1.3.1-6 溶液保存タンクから吐出部までの概要

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。

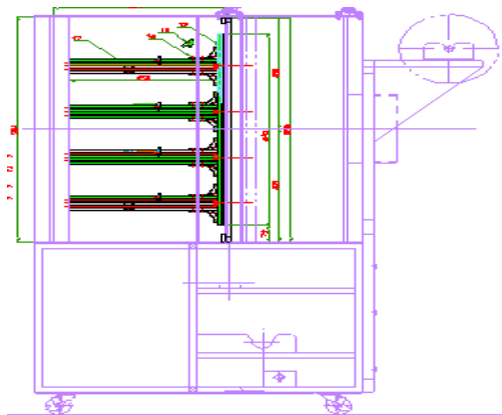


図 2.1.3.1-7

多ノズル方式電界紡糸装置の概略図

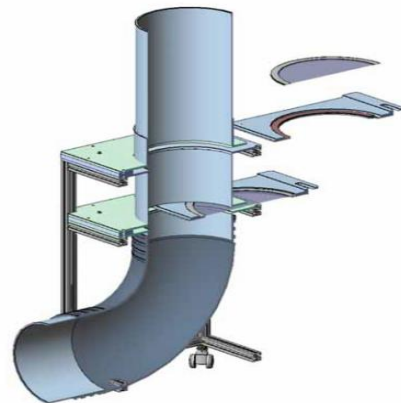


図 2.1.3.1-8

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。

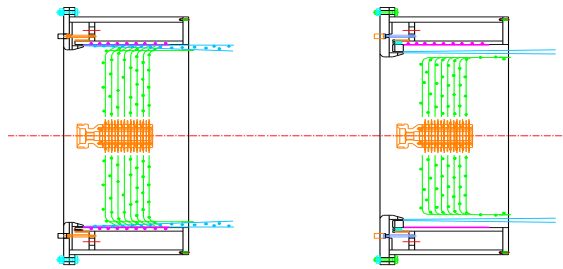


図 2.1.3.1-9

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。

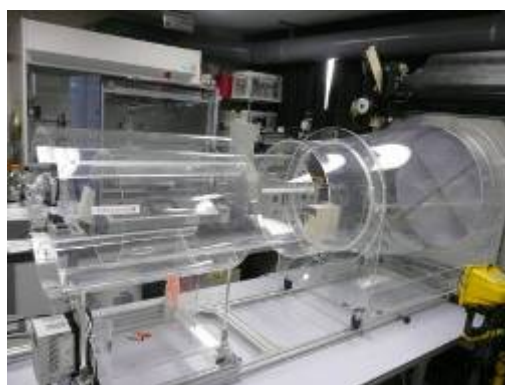


図 2.1.3.1-11
リング電極方式メインフレーム

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

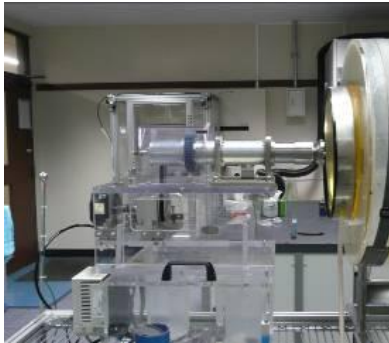


図 2.1.3.1-15

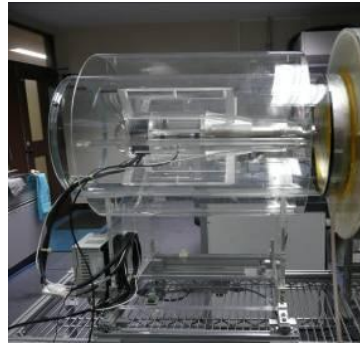
多ノズル方式電界紡糸メインフレーム

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。

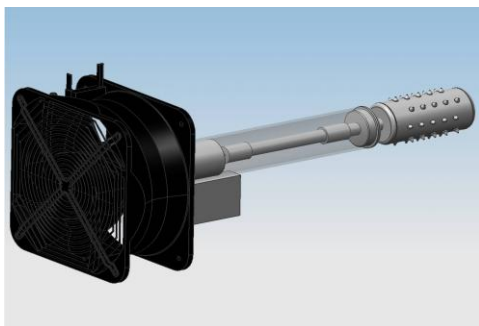


図 2.1.3.1-17
超高性能ノズル

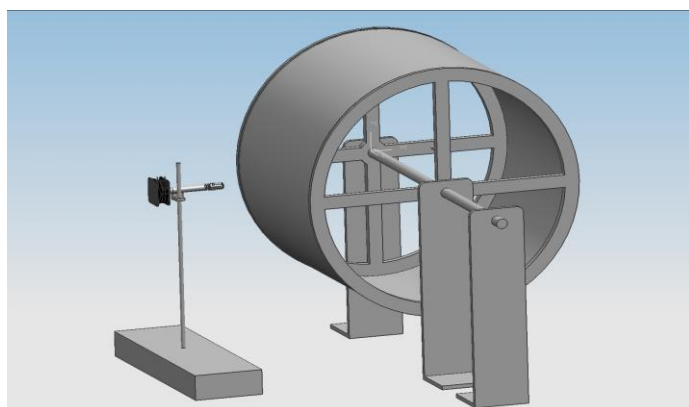
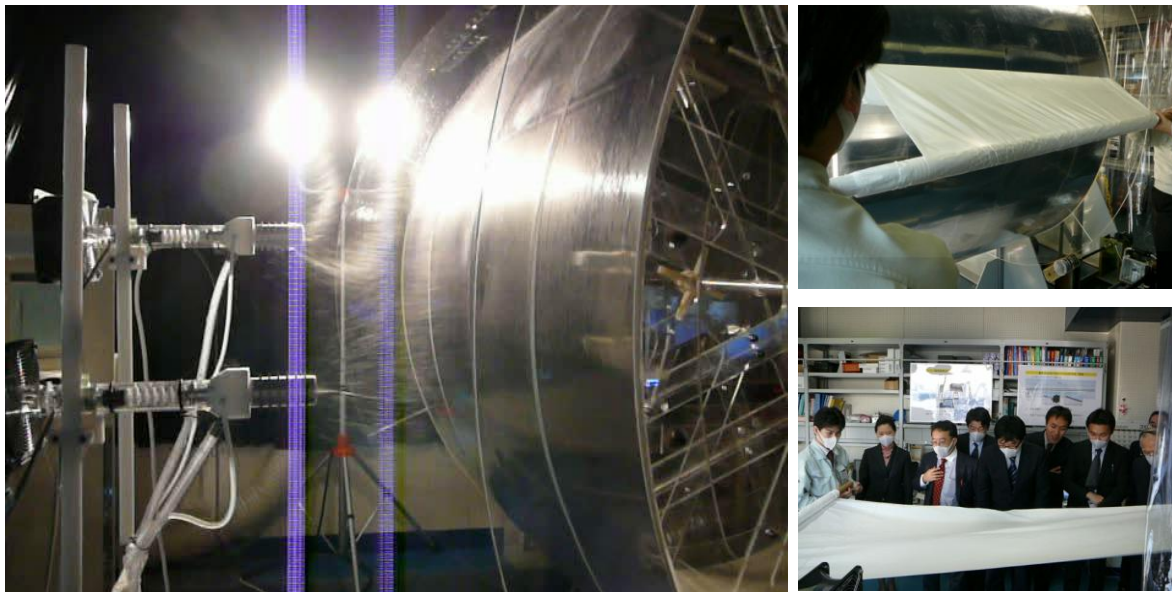


図 2.1.3.1-18
大型ドラム

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。

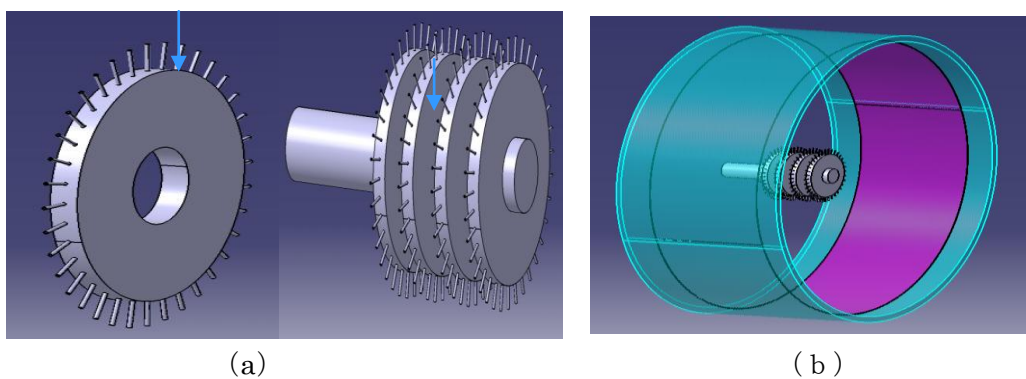
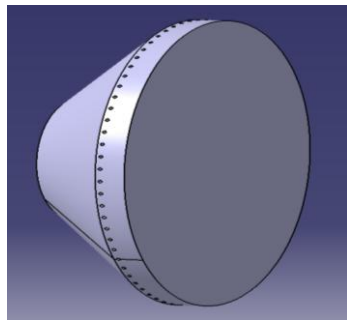
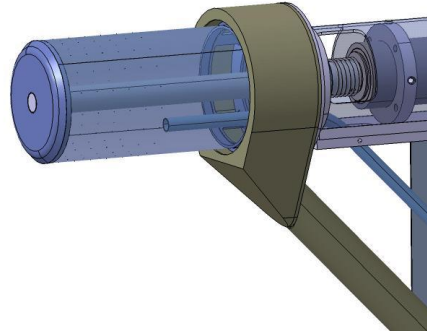


図 2.1.3.1-20 ディスクタイプノズル (a) とその配置 (b)



(a)

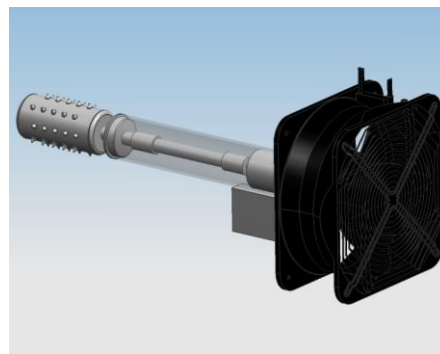


(b)

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。

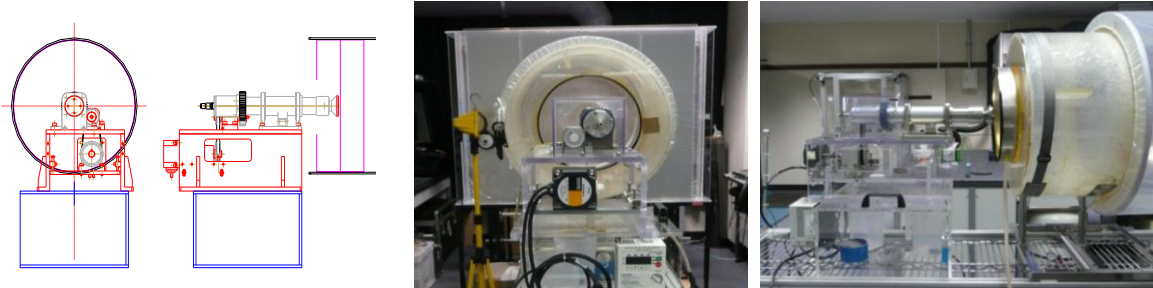


図 2. 1. 3. 1-23 マグナムヘッド 1

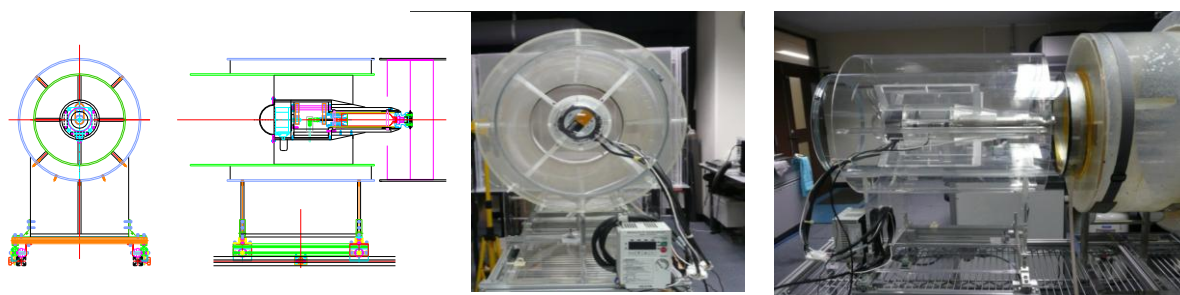


図 2. 1. 3. 1-24 マグナムヘッド 2

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。

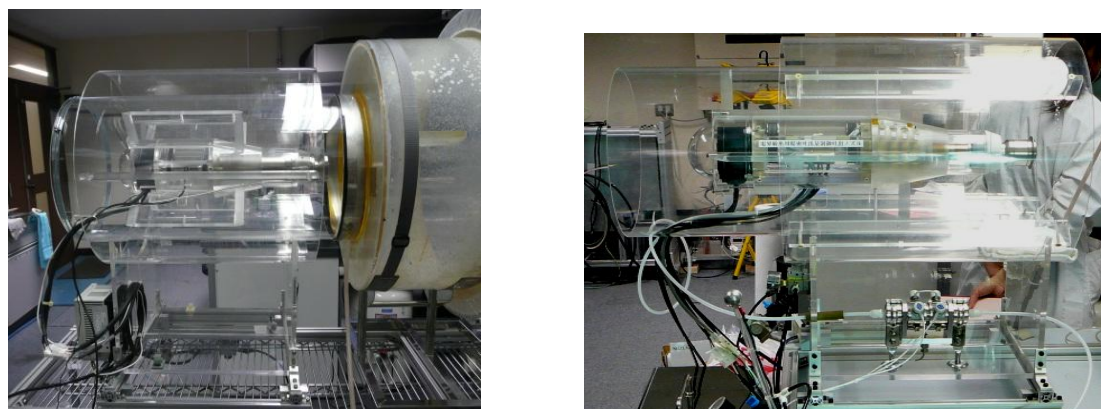


図 2. 1. 3. 1-25 ホットマグナムヘッド

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。

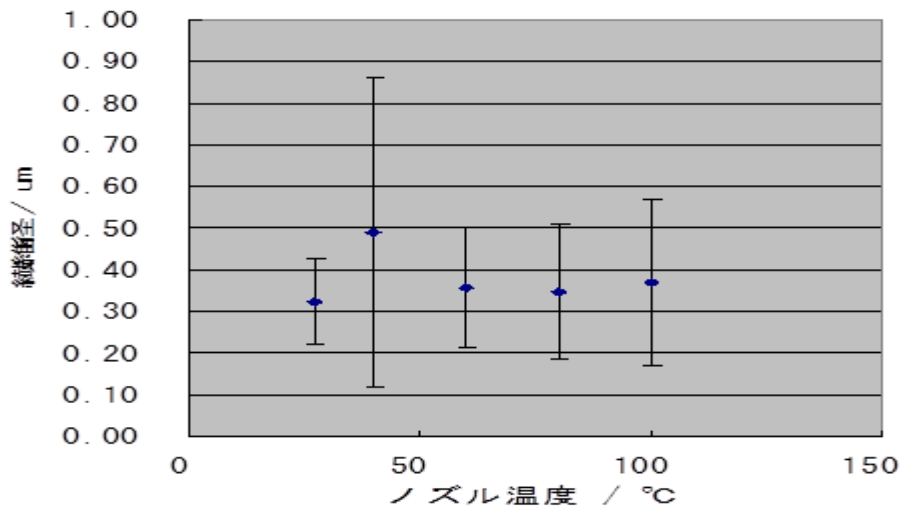


図 2.1.3.1-26 ノズル温度 (°C) と平均繊維径 (μm) の関係

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。

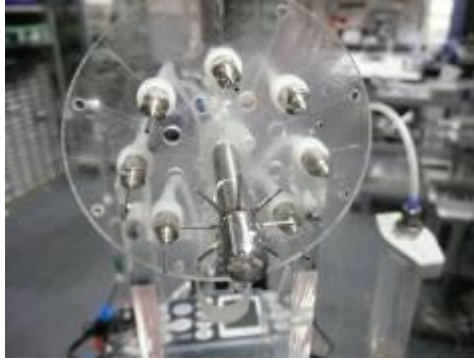


図 2.1.3.1-28 エアジェットノズル

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、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。

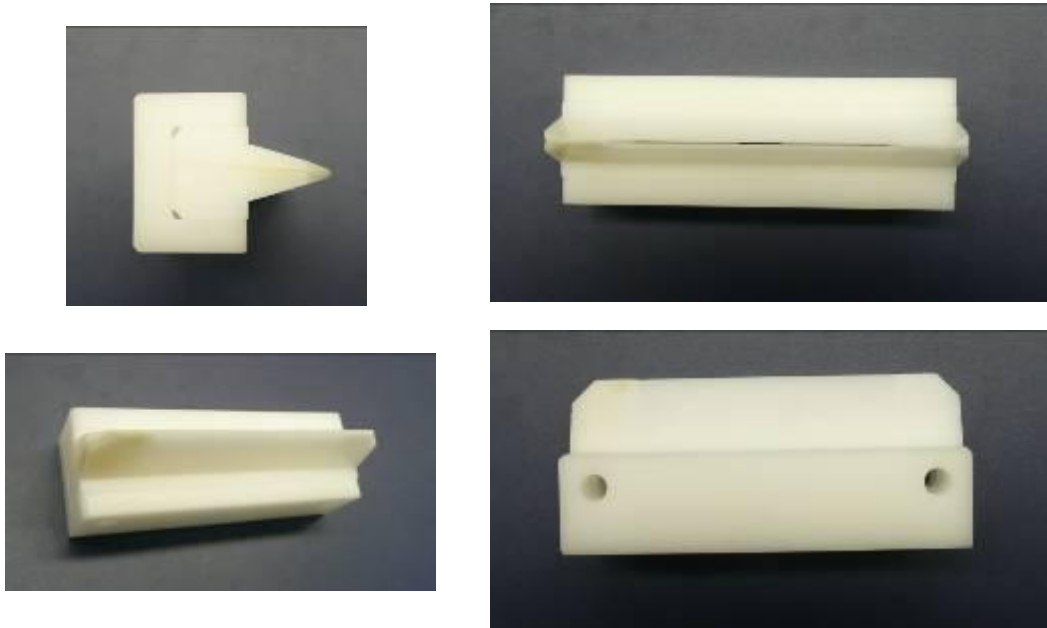


図 2.1.3.1-29 樹脂ノズル

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。

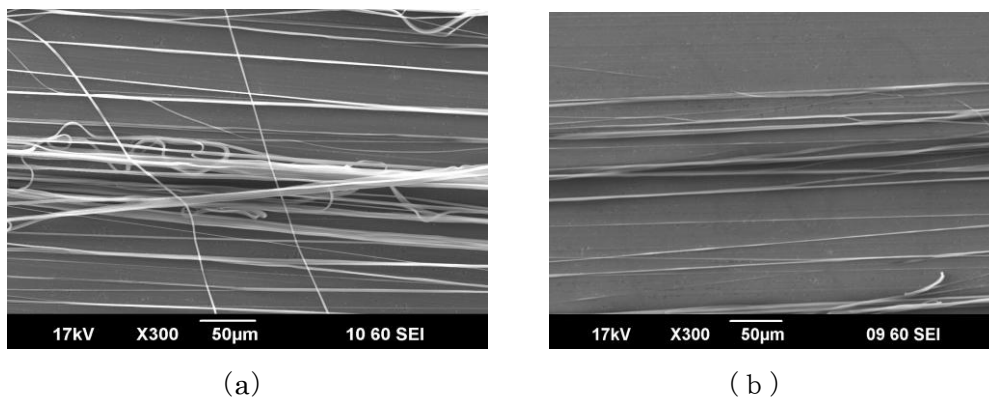


図 2.1.3.1-30 フィラメント用ノズルを用いて製造したフィラメント
 (a) 巻取速度 30 m/min (b) 巻取速度 60 m/min

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。

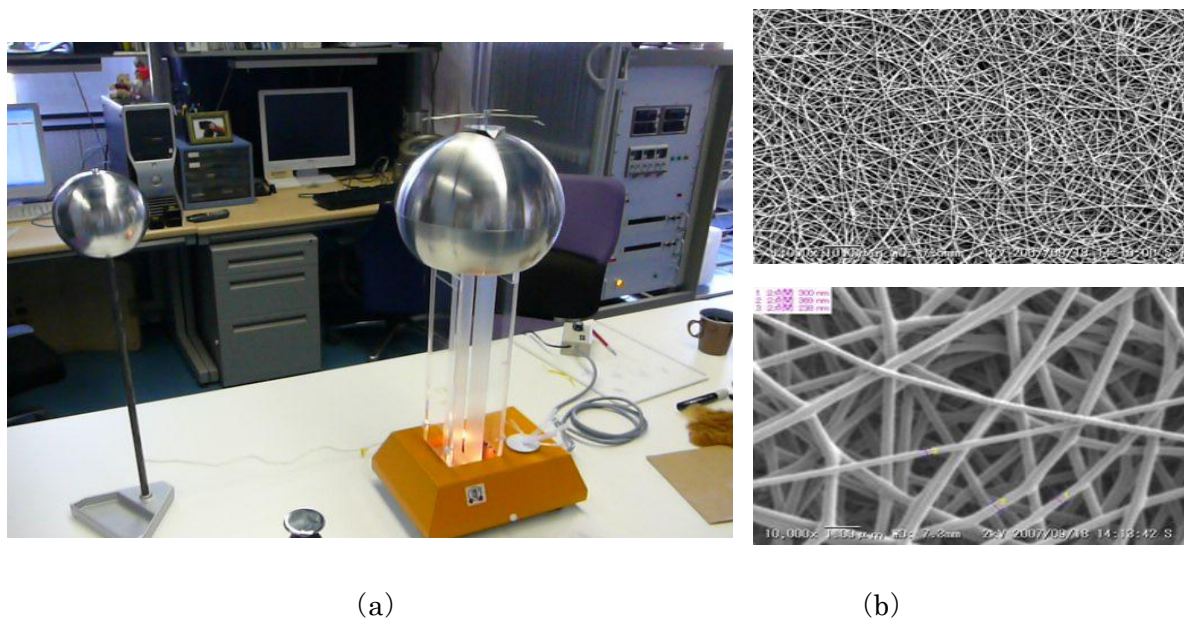


図 2.1.3.1-31
 (a) バンデグラフ装置 (b) 製造されたナノファイバー

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。

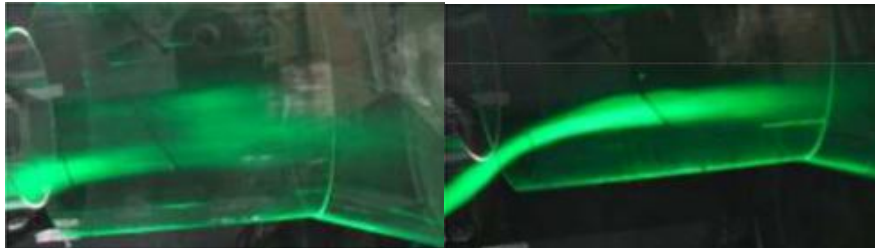


図 2. 1. 3. 1-32 電界紡糸装置内の風洞内気流可視化結果例

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。

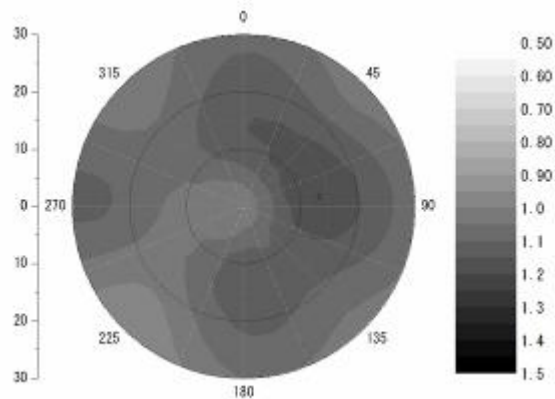


図 2.1.3.1-34 捕集部面で得られた平均風速で規格化した捕集部面での風速分布

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。

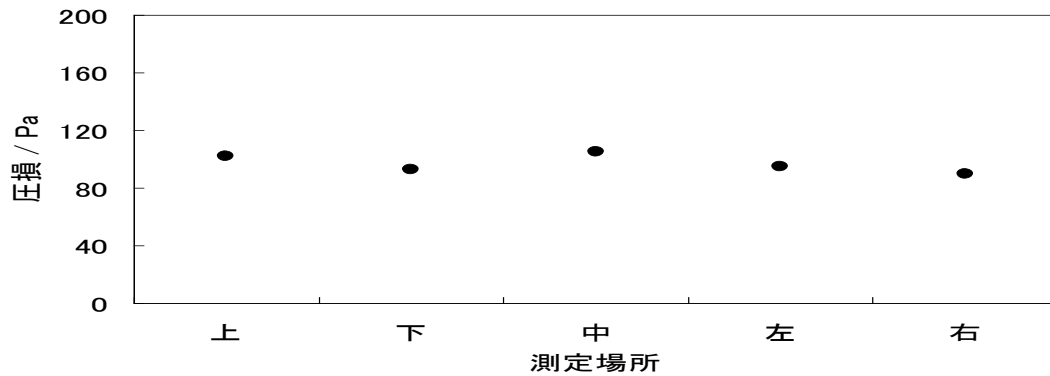


図 2.1.3.1-35 捕集面の位置（測定場所）とフィルターにおける圧力損失との関係

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。

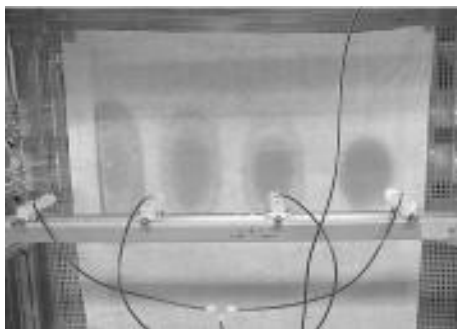


図 2.1.3.1-36
多ノズル方式による堆積面積の縮小

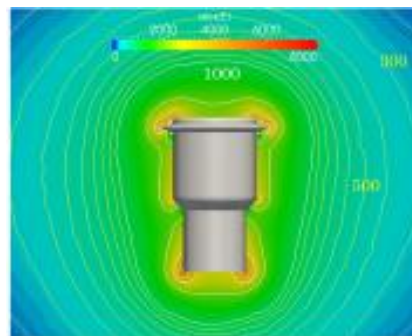


図 2.1.3.1-37
吐出ノズル周囲の電場強度

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。

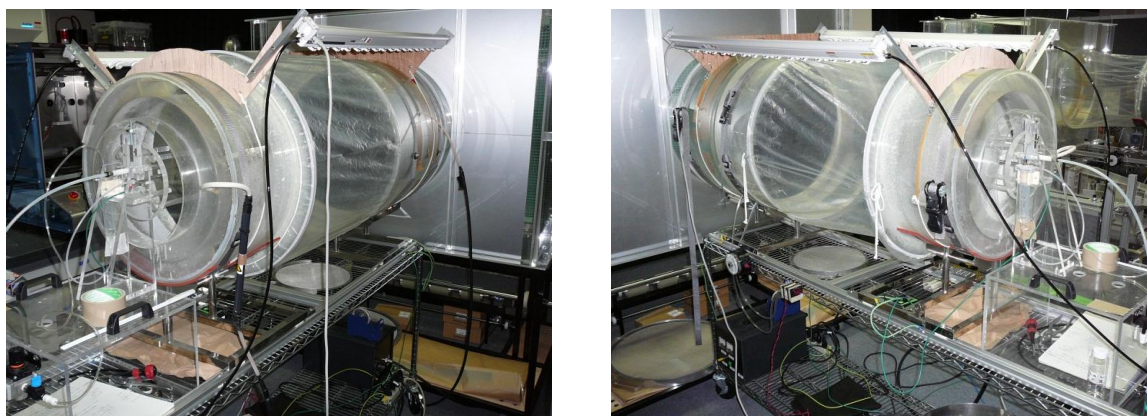


図 2.1.3.1-38 電界紡糸装置風洞の除電

(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。

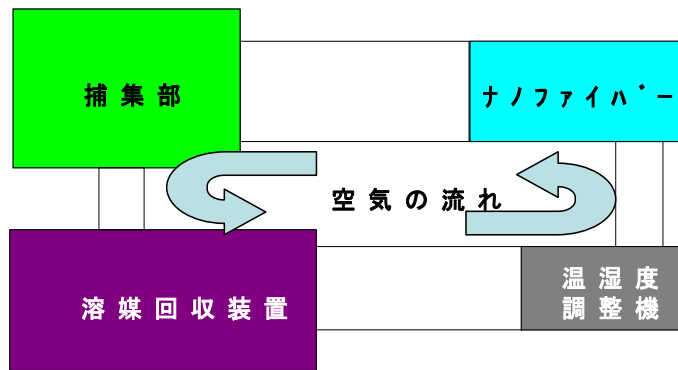


図 2.1.3.1-39 溶媒・繊維塵回収 電界紡糸システムの概念図

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 $24\% \text{RH}$ 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。

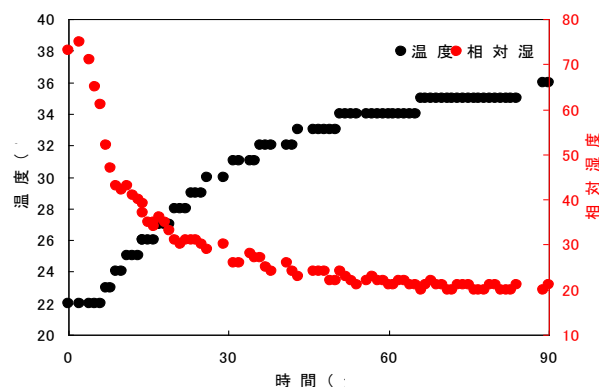


図 2.1.3.1-40 電界紡糸装置内の温度及び湿度の時間変化

(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。

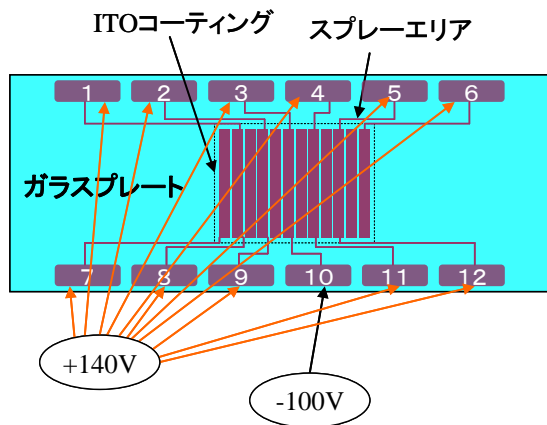


図 2. 1. 3. 1-41

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。）

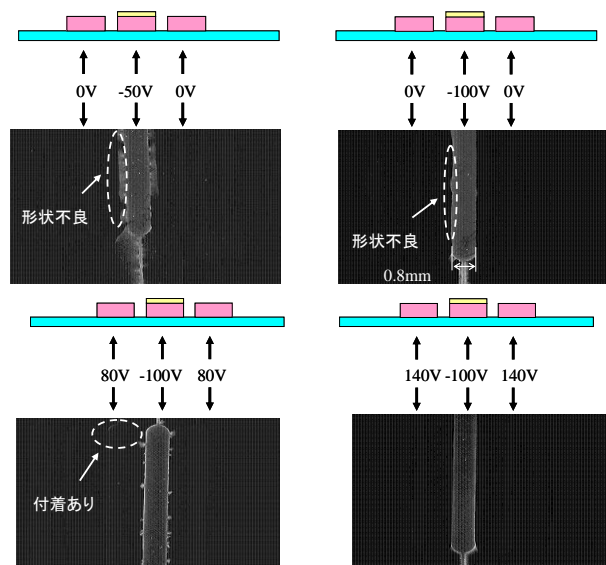


図 2. 1. 3. 1-42

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。

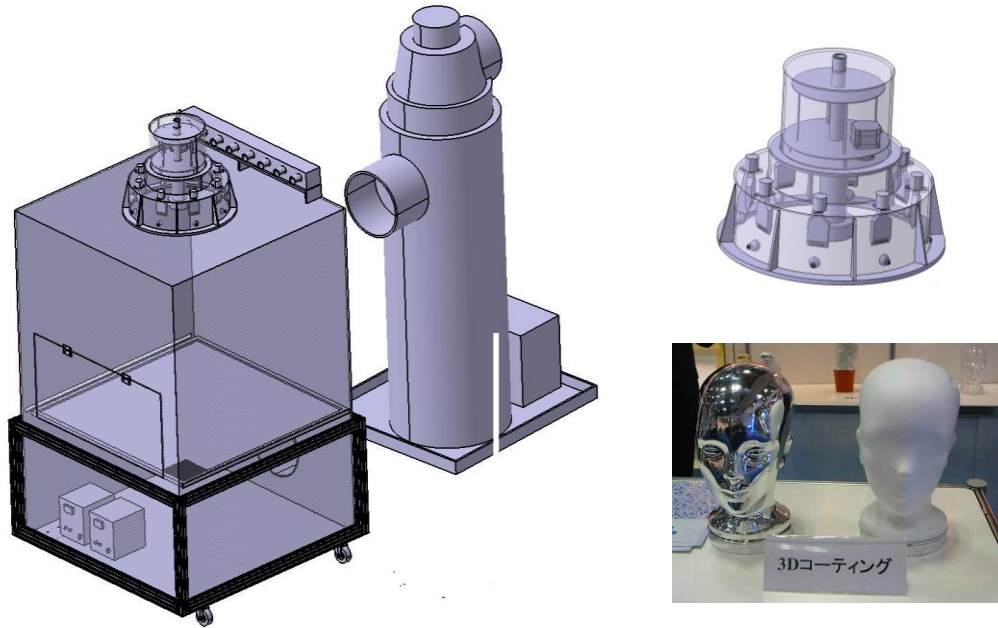


図 2.1.3.1-43

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

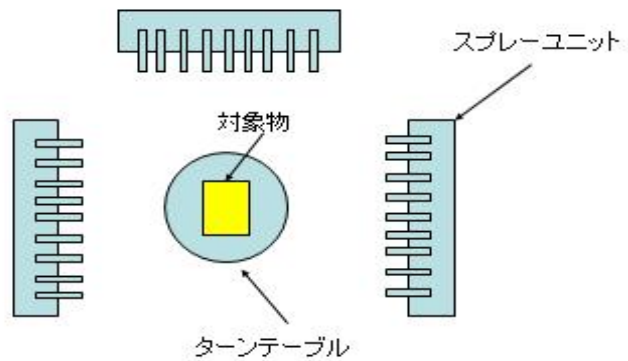
(iv) 3次元成型大型装置開発

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

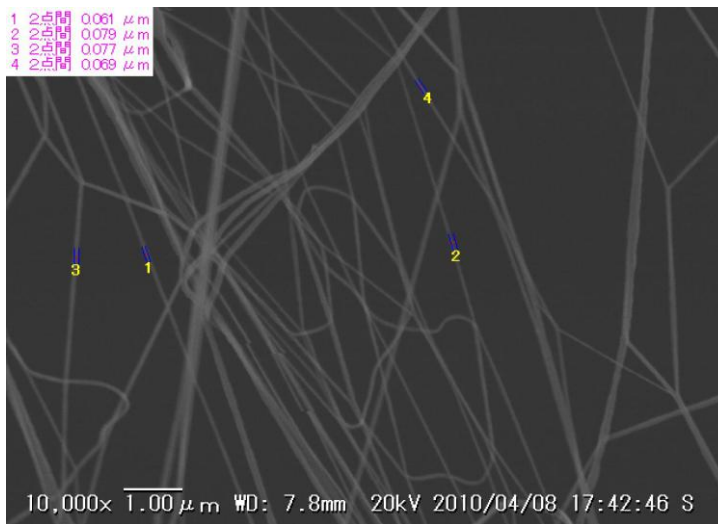


図 2.1.3.1-46 紡糸された直径 50 nm のナノファイバー

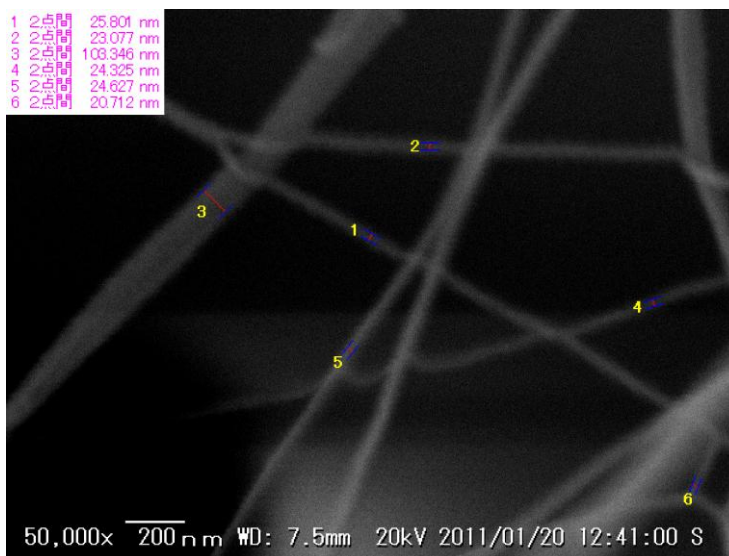


図 2.1.3.1-47 紡糸された直径 20 nm のナノファイバー