

平成２２年度戦略的基盤技術高度化支援事業

「ナノ繊維の複合化および混合化を実現するための
水溶媒を用いた加工装置の開発」

研究開発成果等報告書

平成２３年９月

委託者 近畿経済産業局

委託先 株式会社イマック

目 次

第 1 章 研究開発の概要

1-1	研究開発の背景	1
1-2	研究目的	2
1-3	研究体制	4
1-4	当該研究開発の連絡窓口	5
1-5	成果概要	6

第 2 章 本論

2-1	水溶媒に対応する主要な樹脂原料の開発	7
2-2	生産性を向上させるためのノズル部の開発	11
2-3	ノズル駆動部の制動技術の開発	14
2-4	水溶媒を用いたナノ繊維の複合素材および 混合素材加工装置の開発	14
2-5	加工装置を用いて生産したサンプルの評価	20
2-6	ナノ繊維の性能を向上させるためのサンプル評価	20

第 3 章	全体総括	21
-------	------	----

第1章

研究開発の概要

1-1 研究開発の背景

繊維業界における川下製造業者等がナノ繊維の高機能化を目指すにあたり、ナノ繊維の複合素材および混合素材への対応が大きな課題となっている。複合素材とはナノ繊維層を2層以上重ね、貼り合わせた素材のことを、また混合素材とは一つのナノ繊維層の中に2種類以上の樹脂を混ぜ込んだ素材のことをいう。

医療・福祉、安心・安全に関連する市場においてナノ繊維の複合素材および混合素材が求められる理由としては、ナノ繊維製品（フィルター、マスク等）を活用して吸着、分離したい物質が多様多様にわたっており、疎水性あるいは親水性の原料だけでは十分にその効果が得られないという点が挙げられる。このような課題の解決に向けてナノ繊維の高機能化を図る場合、より多くの物質に対応できるよう複数の素材を組み合わせた複合素材や混合素材が求められることになる。ナノ繊維を複合化、混合化することによって、ナノ繊維製品の複数の物質に対する吸着、分離能力が大幅に向上することになる。

しかし、従来の溶剤を溶媒として用いる製造方法では、ナノ繊維の複合素材や混合素材の生産は非常に難しく、量産レベルで複合素材や混合素材を生産している企業は大手も含めて存在していない。これは原料の樹脂を溶かす溶剤が樹脂ごとに異なるため、数種類の樹脂を同時に使用する複合素材や混合素材の製造工程では、この溶剤（回収する段階では溶剤は気化している）の回収、分離、再利用に膨大な手間とコストがかかるという点が大きな理由である。

これに対して、水を溶媒として用いてナノ繊維を製造する技術が確立できれば、複合素材および混合素材を生産する際に必要とされる数種類の溶剤が水だけで済むため、図—1のように製造装置および工程の簡略化が図られる。

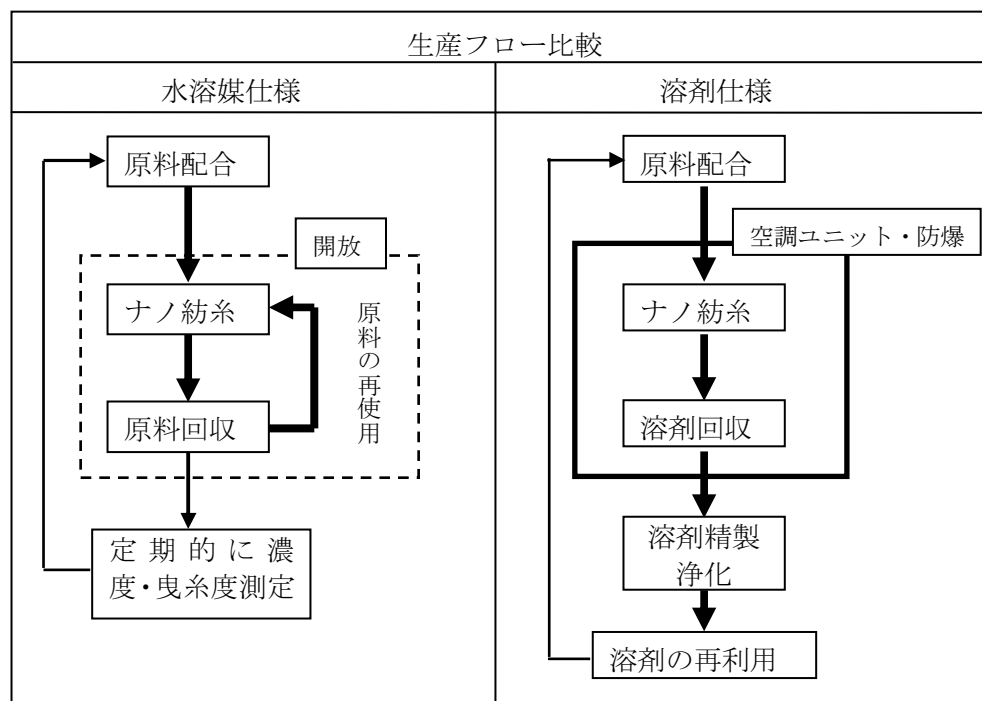
これまで生産の難しかった複合素材や混合素材への対応が可能となり、医療分野、環境分野、電子機器・部品分野などに向けて、衛生材料、フィルター、セパレータといった用途でのナノ繊維の高機能化に大きく貢献できるものである。

また水を溶媒として用いることによって、

- ・ 溶剤を回収、再利用する設備および防爆設備が不要となることによるナノ繊維加工装置のサイズダウンおよびコストダウン

- ・ 溶剤を使用しないことによる作業者の安全および健康の確保
 - ・ 溶剤を使用しないことによる環境負荷の低減
- といった副次的な効果も見込まれる。

図— 1



1-2 研究の目的

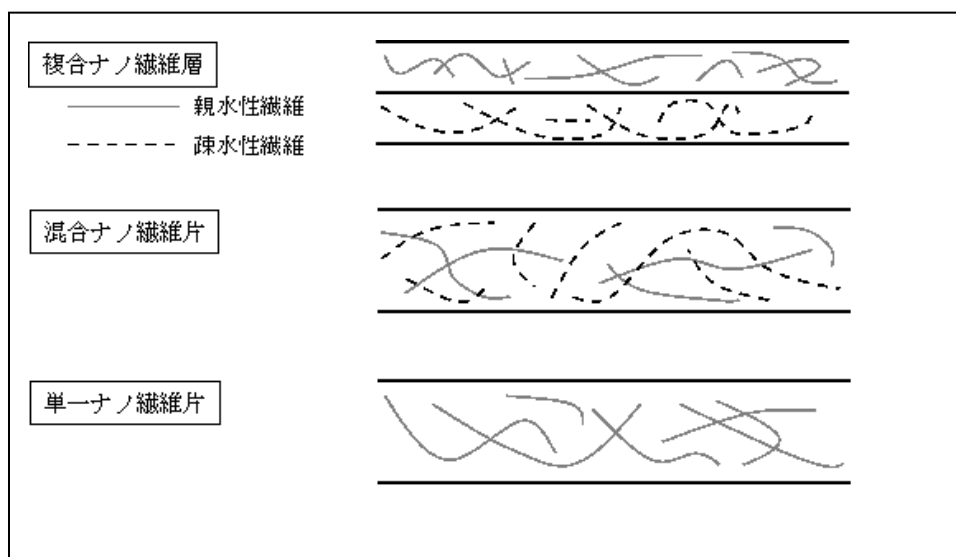
医療・福祉、安心・安全に関連する繊維の市場においてナノ繊維の複合素材および混合素材が求められる理由としては、ナノ繊維製品（フィルター、マスク等）を活用して吸着、分離したい物質が多種多様にわたっており、疎水性原料だけ、あるいは親水性原料だけでは十分にその効果が得られないという点が挙げられる。

このような課題の解決に向けてナノ繊維の高機能化を図る場合、より多くの物質に対応できるよう、図—2のような複数の素材を組み合わせた複合素材や混合素材が求められ、ナノ繊維の複合素材化、混合素材化を図ることによって、ナノ繊維製品の複数の物質に対する吸着、分離能力が大幅に向上することになる。

しかし、従来の溶剤を溶媒として用いる製造方法では、ナノ繊維の複合素材および混合素材の生産は非常に難しいとされており、量産レベルで複合素材および混合素材を生産している企業は大手も含めて存在していない。

これは、原料となる樹脂を溶かす溶剤がそれぞれ樹脂ごとに異なっており、数種類の樹脂を同時に使用する複合素材および混合素材の製造工程では、この溶剤（回収する段階では溶剤は気化している）の回収、分離、再利用に膨大な手間とコストがかかってしまうという点が大きな理由である。

図— 2



そこでこの複合素材、混合素材を製造するのに、水を溶媒としたナノ繊維を製造する技術をラボスケールから研究開発の次のステップである量産化に向け、本事業の中で水溶媒を用いてナノ繊維を製造する技術を高度化させる。

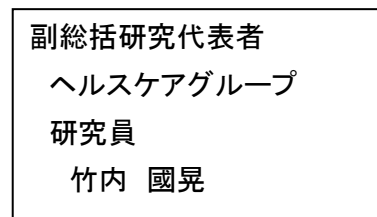
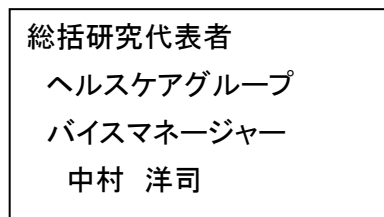
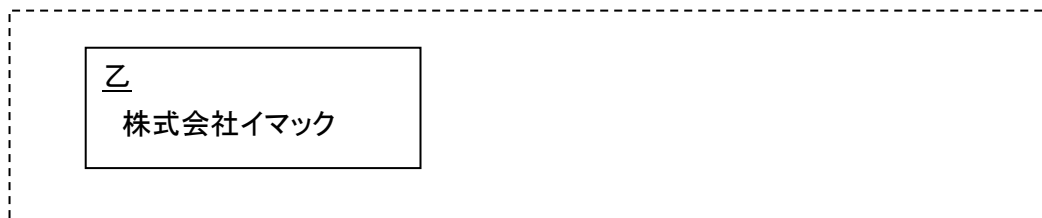
その技術を応用してナノ繊維の複合素材および混合素材を製造する新たな技術の開発、およびそれらのナノ繊維を実用的に製造するための加工装置の開発を行う。

応用製品としてはマスクのみならず、浄水器用フィルター、各種エアフィルター（自動車用吸気フィルター、空気清浄機・エアコン用フィルター、クリーンルーム用 HEPA フィルター、電気掃除機用フィルター等）、浄水効果を付与出来るティーバッグ用等の用途が見込まれている。

1－3 研究体制

(1) 研究組織及び管理体制

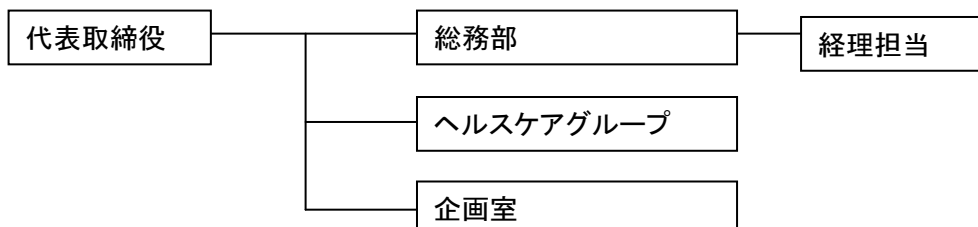
1) 研究組織 (全体)



2) 管理体制

① 事業管理機関

株式会社イマック



(2) 管理員及び研究員

【事業管理機関】株式会社イマック

① 管理員

氏 名	所属・役職	実施内容 (番号)
田中 真理子	総務部長	⑦
中村 洋司	ヘルスケアグループ バysonマネージャー	⑦
花岡 哲	総務部 経理担当	⑦

② 研究員

氏 名	所属・役職	実施内容 (番号)
中村 洋司(再)	ヘルスケアグループ バイスマネージャー	③、④
竹内 國晃	ヘルスケアグループ 研究員	①、②、③、 ④、⑤、⑥
西田 敬	ヘルスケアグループ バイスチーフ	②、③、④、 ⑤、⑥
藤戸 恒地	企画室 リーダー	②、③、④

(3) 経理担当者及び業務管理者の所属、氏名

(事業管理機関)

株式会社イマック

(経理担当) 総務部

経理担当

花岡 哲

(業務管理者) ヘルスケアグループ バイスマネージャー

中村 洋司

1-4 当該研究開発の連絡窓口

株式会社イマック

ヘルスケアグループ バイスマネージャー 中村 洋司

滋賀県守山市幸津川町 1551

TEL : 077-585-6767 FAX : 077-585-6790

E-mail : nakamura@kkimac.jp

1-5 成果概要

1. 汎用性樹脂原料の開発

主要な汎用性樹脂原料（ポリエチレン、ポリエステル）を水溶媒で溶かしてエレクトロスピンニング法によりナノ繊維を作るために、超微粒子エマルジョン樹脂・架橋剤・曳糸性付与剤の選定と原料溶液の開発を進めた。

検討を進めた樹脂原料はナノスプレー状態が主たる状態であり、完全なナノ繊維を作るという成果を得るには至らなかったが、ナノスプレーからナノ繊維になりつつあるものがあり、添加剤の条件設定をもう少し深く研究することでナノ繊維化集積物が得られそうな手ごたえがあった。

2. ノズル部の開発

ノズルは、一定高さのノズルを等間隔に並べ、ひとつのホルダーに14本装着する構造とし、複合紡糸、混合紡糸を行う為のノズル配置を決め、それに合わせたトレイ等の仕様を決定製作した。

原料溶液の回収方法については、溶液の安定性、装置設置場所の問題等から、バッチ処理とした。

3. ノズル駆動部の開発

複合素材および混合素材に対応するノズルユニットの配置、最適なノズルユニットの動きを実現すべく、駆動部にはロボシリンダーを使い、スピード・加減速カーブ・駆動タイミング等はシーケンサーで自由に設定できるようにした。

4. 加工装置の開発

当初目標をほぼ満足できる装置を完成させることは出来たが、原料開発がナノ繊維化に至らず、製品の出来栄評価による見直し改善までは至らなかった。

5. サンプルの評価

事業期間内でのナノ繊維化が出来なかったために、装置の改善に反映させるべき製品サンプルの評価には至らなかった。

6. 性能向上のためのサンプル評価

事業期間内でのナノ繊維化が出来なかったために、装置性能向上に反映させるべき製品サンプルの評価には至らなかった。

我々は今回の委託研究で、主要な汎用性樹脂原料（ポリビニルアルコール、ポリエチレン、ポリエステル）を水溶媒で溶かしてエレクトロスピンニング法によるナノ繊維を作る技術と、異なる材料で混合ナノ繊維・複合ナノ繊維を簡単に、安全に製造出来る加工装置を開発するべく研究を進めたが、十分な成果を得るに至らなかった。

以下にその開発結果を詳述する。

2-1 水溶媒に対応する主要な汎用性樹脂原料の開発

2-1-1 超微粒子エマルジョン樹脂の選定

各樹脂について、最適なガラス転移点および界面活性剤の使用の有無・イオン性・量の仕様を決定し、フィルムテストを実施し、皮膜性について試験した。

● 選定検討を行った原料（系統）

- ・ 易反応性ポバール樹脂系（親水性樹脂）
- ・ 反応性ポリエステルエマルジョン樹脂系（疎水性樹脂）
- ・ ポリエチレンエマルジョン樹脂系（疎水性樹脂）

選定においては水溶性であることを前提に易反応性ポバール樹脂、アニオン変性ポバール、標準タイプの3系統の原料特性をもつ原料に注目して調査を行い、原料公開資料の調査やメーカーへ直接問い合わせ、論文調査や大学関係者よりの助言を考慮して行った

易反応性ポバールでは低重合タイプと高重合タイプの2種が候補に挙げたが、重合性が高く、フィルム強度・耐水性・耐熱水性で評価が高かった高重合タイプを中心に実験を行い、比較対象として低重合タイプを使用した

この2種の比較を基本に、曳糸性機能付与剤の検討、架橋剤の検討を行い、続く試作機でのナノ化・複合化・混合化も考慮して添加量の検討を行い、試験機での検証実験を実施した

高重合タイプを用いた易反応性ポバールでの実験の結果を踏まえ、反応性ポリエステルエマルジョン樹脂系の実験検討を行った。試料サンプルとして入手したPSE-1を用い、単体でのナノ化評価・曳糸性機能付与剤評価を行い、繊維化可能であることを確認した。ポリエステル系では5種のサ

ンプルを検討し、ガラス転移点が最も低い PSE-1 を第 1 候補とし次いでガラス転移点の違う銘柄を比較対象として実験し比較を行った

また、ポリエチレンエマルジョン樹脂に関しても検討を行い、フィルムテストの結果から、ガラス転移点が最も低い PE-1 を基準として曳糸性機能付与剤の検討を行い、ガラス転移点の違う PE-2 を比較対象として比較を行った。この樹脂系では分子内架橋が発生する事例があり、曳糸性機能付与剤・架橋剤の検討と共に原料溶液の可使用期間の検討が必要であることが判った

2-1-2 必要な物性を得る為の最適な架橋剤選定

食品添加物の中から安全性と原料の再利用を考慮して架橋剤の種類および量を選定し、各樹脂の溶液に加えてフィルムテストを実施し、耐水性、耐熱水性、耐溶剤性の物性について試験した。

- ・ NaCl、NaOH 等の塩に分類される架橋剤では紡糸後の試料に架橋を終えていないイオン性の物質が残留する可能性があり、事後のイオン性物質が使用環境に影響を与える可能性が無視できない事
- ・ アジピン酸ヒドラジドでは紡糸後の試料内の残留水分が 5 重量%以下になって自己架橋を開始する性質をもつことから、水分量を保持することで基布からの剥離性の低下をコントロールすることが出来る性質がある事
- ・ 原料の再利用も考えて組成比が変わらず成分変化が起きない事

上記 3 点の理由からアジピン酸ヒドラジドを架橋剤として使用する事にした。

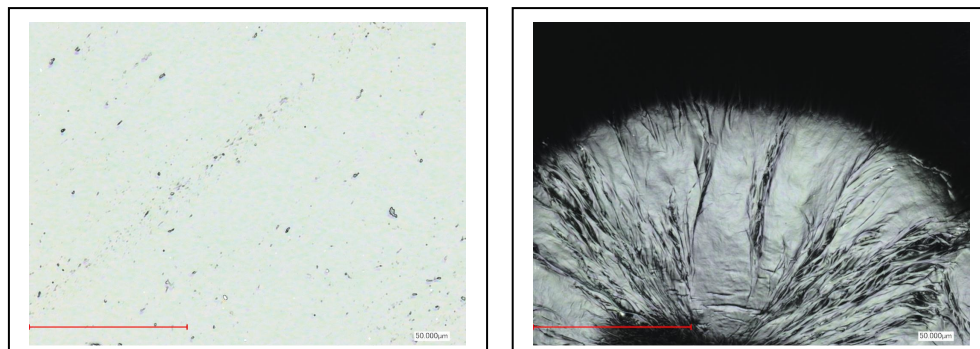
易反応性ポバール樹脂、アニオン変性ポバール、標準タイプの 3 系統とも、官能基や分子量からは、反応性・耐水性・耐溶剤性に大きな差を生じないため、1 品種で架橋剤に対する基本特性の調査実験を行って架橋剤投入量を評価し、性質に変化が現れる境界と思われる最大架橋剤投入量を決定した。

各々の原料に対しては、前述の最大架橋剤投入量において実験時に特異な特性を発現した場合に原因解析・特性評価も含めた最大架橋剤投入量の再検討を行った。

易反応性ポバール樹脂系に関しては原料重量に対しアジピン酸ヒドラジドを高濃度投入したフィルムサンプル形式での試験を行い、高濃度の架橋

剤を投入したサンプルを光学系で観察した結果、フィルム内で分子内架橋が発生していることを確認した。

・ 架橋剤による分子内架橋



架橋剤低濃度添加フィルムサンプル 架橋剤高濃度添加フィルムサンプル

架橋剤の投入濃度を変えたフィルムサンプルを光学系で観察した結果、フィルム内で分子内架橋は発生していなかった。

これにより一定濃度の領域に境界がある事を確認した。

水溶媒系でのエレクトロスピンニングの利点に、使用した原料溶液を回収することで再利用が出来る事があるが、架橋剤であるアジピン酸ヒドラジドは過熱による分解や室温下でも架橋反応が発生するため調整後の原料溶液は経時変化により少しずつ劣化する。

調合した原料溶液の調整直後からの経時変化による使用可能時間(可使用期間)は約1週間程度であるが、可使用期間の延長法の検討及び調査により可使用期間を約13日まで延長することが可能という調査結果(使用温度・保管温度により変化する)を得た。

2-1-3 曳糸性を付与する為の添加剤選定

食品添加物の中から安全性を考慮して、かつ曳糸性を付与できる添加剤の種類および量を選定し、各樹脂の溶液に加えて曳糸性について確認した。

調合後の曳糸性評価法を液錐の最大伸び量測定法で行い、易反応性ポパール樹脂系の溶液で評価を行ったところ、約50mmの曳糸性機能付与状態で、細く安定した錐形を形成したポリエチレンオキサイド P0-1 を曳糸性機能付与剤の主軸とおくことにした。

易反応性ポパール樹脂系で約50mmの曳糸性機能付与状態を与えるには、

P0-1 を一定量添加することで可能であり、易反応性ポリアル樹脂の曳糸性機能付与ではこの添加量を基本とした。

ポリエチレンエマルジョン樹脂においては、P0-1 の低濃度の添加では紡糸時の溶射ノズル先端に形成されるテーラーコーンの形成が難しく、添加 P0-1 の増量・L 系の曳糸性機能付与剤での検討を行った。

結果、P0-1 を 3 倍量添加することで一番安定化したテーラーコーンが形成されたため、ポリエチレンエマルジョン樹脂でのナノ繊維化においては易反応性ポリアル樹脂の 3 倍量の添加を基本とする。

2-1-4 水溶媒に対応する原料の仕様決定

選定した超微粒子エマルジョン樹脂、架橋剤、曳糸性機能付与剤、蒸留水を組み合わせて吐出試験を実施する。

架橋剤に関してはアジピン酸ヒドラジドを、曳糸性機能付与剤に関しては P0-1 を使用することで安定したナノ繊維化が出来ることが実験により確かめられており使用する。

曳糸性機能付与剤においては最大添加可能量であるが、溶液濃度や溶液温度により低下させることができる。

温度に関しては溶解性向上の為の過熱であり、易反応性ポリアルにおいては過熱を要する。

溶液濃度に関しては、最適条件を検討するため吐出試験での濃度以外にも溶液濃度 10%や溶液濃度 25%で検討を行った結果、原料によっては 15%以上の濃度でも可能と分かった。表の溶液濃度は最大濃度であり、表の値以下に濃度調整しても紡糸可能である。

2-1-5 吐出したナノ繊維の耐水性、耐熱水性、耐溶剤性について確認

また最適濃度の原料溶液でフィルムテストを実施し、耐水性、耐熱水性、耐溶剤性について確認して、各樹脂について原料の仕様を決定した。

2-2 生産性を向上させるためのノズル部の開発

今回の加工装置開発に当たっては、ノズル先端での原料凝固・ナノ繊維化されないビットの飛散、原料溶液の回収再利用等を勘案して、上部ターゲットに向けて下から上向きのノズルにすることにした。

上向きノズル先端より原料溶液を溢れさせることにより、原料の凝固を防ぐことが出来る。

有機溶媒で溶解した原料であれば、溶媒の蒸発が早く再利用は難しいが、水溶媒であれば再利用性は高い。

2-2-1 原料溶液の吐出量を最大化できるノズル先端部分の開発

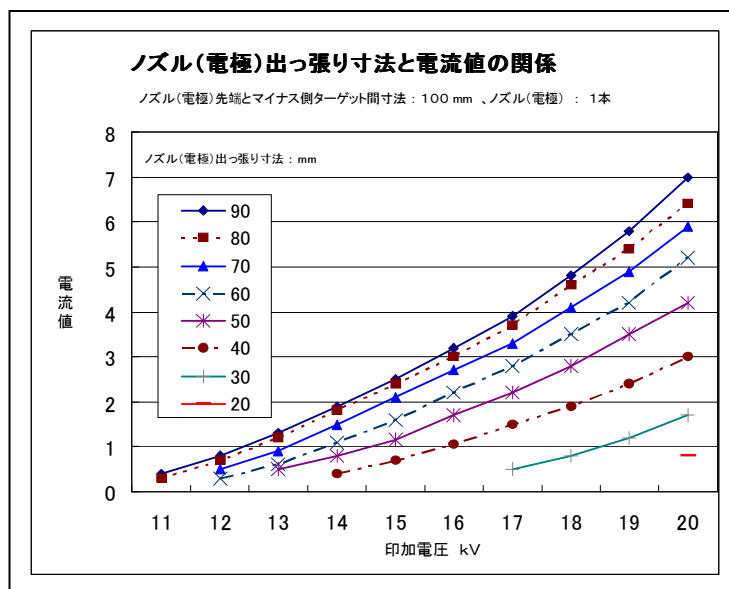
1) ノズル高さ

我々の加工装置は原料溶液回収を目指している為、ノズルを上向きにして上面ターゲットに向けて吐出させる構造とすることになっている。

その為ノズルホルダー面は溢れ出た原料溶液がある為、ノズルに印加した高電圧がホルダー上面にも掛かる事になる。

よって、ホルダー上面の電位がノズル先端の電位傾度に大きく影響する。

その影響度の傾向を見る為に、電極板の上に出っ張り長さの違う金属ノズルを立てて、高電圧と電流の関係を測定した結果を下記に示す。

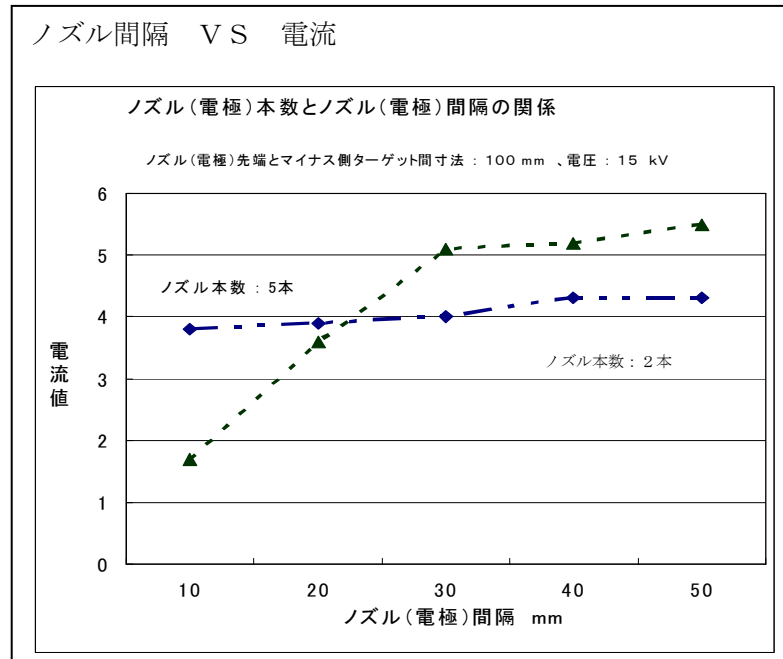


上記グラフより、ノズル出っ張り量は 40 mm 以上あれば問題ないと考え、作業性等を勘案して、40 mm と決定した。

2) ノズル間隔

また、目付けを増やすにはノズル間隔を狭めて本数を多くする考えも有るが、隣り合うノズルの干渉で電位傾度は緩められ、一本当りのノズルからの吐出量は減る。

そこで、ノズル間隔を 10～50 mm に振って最適間隔を検証する為に、ノズル本数 2 本と 5 本の場合で影響度の傾向を見た結果を下記に示す。



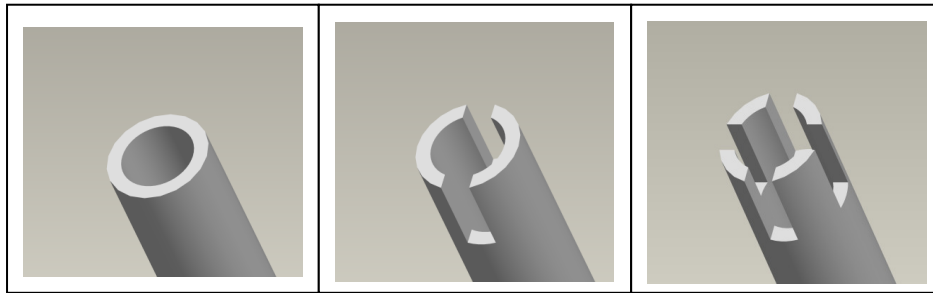
グラフに示すように、ノズル 2 本で、隣接するノズルの影響を受け難い場合はノズル間隔を変えても電流値は余り変わらない。

これに対して、ノズル本数を 5 本にして、隣接するノズルの影響を受け易くすると、電流値が大きく押さえられるが、ノズル間隔 30 mm では飽和してくるので、ノズル一本当りの吐出量と目付けとの兼ね合いを考えると、ノズル間隔 30 mm が最適だと考えられる。

3) ノズル先端形状

ノズル先端形状は過去の経緯から、上向き吐出の場合はスリットを入れると安定することを確認していた。

今回、下図のようなスリットなし、一スリット、十スリットで原料溶液の吐出状況、テーラーコーンの出来具合等を観察した。



その結果、スリット無しでは、テーラーコーンが形成出来ターゲットへ飛んで行く溶液と押し出されて来る溶液とのバランス調整が微妙であり、押し出されてくる溶液が多いと、テーラーコーンが形成できず押し流されてしまう。

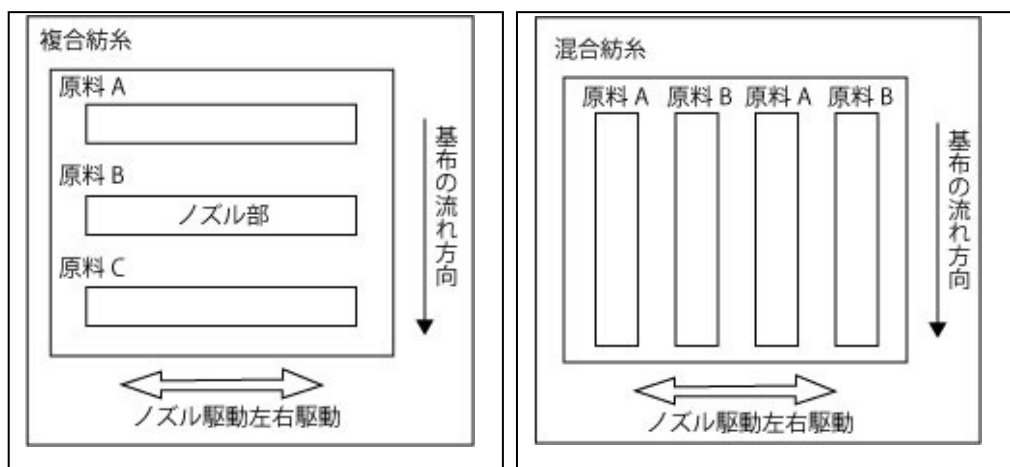
スリット入りのノズルでは、溢れる溶液はスリットより出て行き、テーラーコーンが安定形成することが分かった。－スリットより＋スリットの方がより安定する為、＋スリットを採用することとした。

2-2-3 ナノ繊維の均一化を図るためのノズルユニットの開発

2-2-3-1 ノズルユニットの試作

製品幅 920 mm を想定しているので、作業性等を勘案しノズルホルダーを2分割し、1本のノズルホルダーにノズルを 30 mm ピッチで14本セット出来るようにし、ノズルホルダーの長さは 450 mm とした。

上述したノズルとこのノズルホルダーを組み合わせたノズルユニットを下図のような複合紡糸、混合紡糸の考えを実現し原料溶液を回収するために、複合の場合はノズルホルダーが2本入る長さ 890 mm のトレイを、混合の場合はノズルホルダー1本分の長さ 495 mm のトレイを作ることにした。



混合紡糸、複合紡糸の駆動概略図

2-3 単一、複合、混合の各素材の製造を可能とするノズル駆動部の制動技術の開発

2-3-1 ノズル駆動部の開発

2-3-1-1 ノズル駆動部の設計

複合素材および混合素材に対応するノズルユニットの配置、最適なノズルユニットの動きを実現すべく、駆動部にはロボシリンダーを使い、スピード・加減速カーブ・駆動タイミング等はシーケンサーで自由に設定できるようにした。

今回の事業期間内では原料がナノ繊維化できるに至らず、試行・評価して駆動部の制御仕様を決定することは今後に委ねる事となった。

2-4 水溶媒を用いたナノ繊維の複合素材および混合素材加工装置の開発

2-4-1 加工装置の仕様決定

加工装置の概略仕様を下記のように決めて開発をスタートした。

- 1) 外形寸法は中小企業で使用することを想定して、2000 mm 以内とする。
- 2) 製品幅を一般的な 920 mm として、基布幅は最大 1200 mm に対応できるようにする。

その為、ノズルを設置するベースサイズは 1200 mm × 1200 mm

- 3) ノズルとターゲット間は 50~350 mm

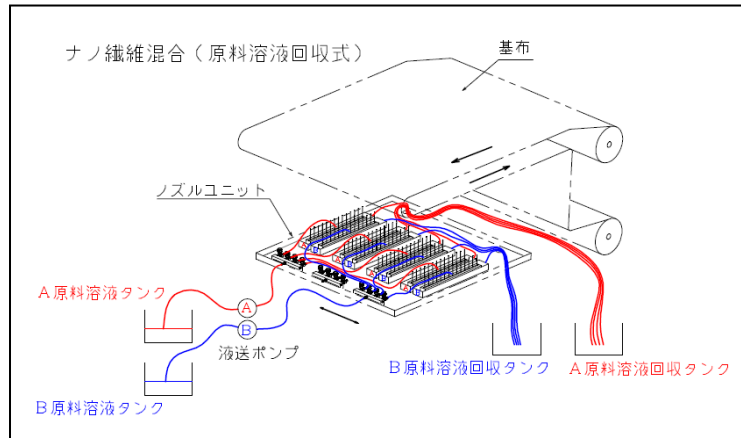
Z 軸は電動で、制御はシーケンサーで行い、タッチパネルで任意の位置に移動させる事が出来る。

また、プリセットしておけば品種を切り替えてもワンタッチで設定条件を呼び出せる

- 4) ターゲットの大きさは 1100 mm 角とする
- 5) 基布の送り量は巻き替えも考慮し、最大送り速度 20 m / min とする
- 6) 紡糸面の均一性を上げるためのノズルの振り幅は ±100 程度
- 7) 基布の蛇行修正は自動調整で行う
- 8) 操作は PLC を使い、タッチパネルで操作する
- 9) 高圧電源は 50 kV 以上で 5 mA 程度とする

2-4-1-1 原料供給部および原料回収部の仕様検討

- 1) 最大 3 種類の原料に同時に対応できるよう、原料供給部および原料回収部については、下図に示すように原料溶液を一度容器に溜め、濃度の確認、調整を行ってから原料供給部分に戻す設計とする。



2) トレー駆動装置の構想

Y 軸は速度およびストロークを任意に変更可能、且つ装置運転中に動作をするため、ロボシリンダ（サーボモーター）を選定した。

Z 軸は、ノズルトレーの高さ変更のみ（装置運転中は、高さ変更はしない）の動作のため、ロボシリンダ（サーボモーター）の使用も検討したが、動作距離と荷重の関係から、レバーシブルモーター + リニアヘッド（ラックピニオン）を選定。

現在位置（高さ）はリニアエンコーダーで確認するものとした。

2-4-1-2 基材の送り出しおよび巻き取り部の仕様検討

（ア）装置要求仕様書に基づき、巻き取り・巻き出し機構、および制御方式の構想を下記の如く行う。

本装置の製作にあたり、基布にナノ繊維を紡糸する関係上、既存の巻き取り装置のような紡糸面を大きく湾曲させる構造の張力検出器ローラー及び、紡糸面にローラーを接触させる構造の送りモーターを使用することはナノ集積物を損傷する虞があるため出来るだけ避けたい。

そこで、近年演算能力の飛躍的に向上した PLC 及びサーボモーター、巻き径検出センサーのみを用いることで、シンプルで紡糸面の損傷も防ぐことが可能な装置の機構を考案した。

（イ）蛇行防止装置構想

ベルト、帯状の製品蛇行防止には、通常ローラーの中心付近の直径を太くした、クラウン形状ローラーを使用する場合もあるが、本装置のローラー長さは基布幅 1200 mm のため、幅の長さの関係でクラウン形状での蛇行防止は難しいと考えられる。

それを踏まえ、ローラーを基布が蛇行して寄った方向のテンションを高く反対側を低くする動作の繰り返しを無段階調整で行えば、蛇行を防止出来ることから、ローラー振り子式蛇行防止装置の構想を採用した。

(ウ) 紡糸後乾燥エリアの構想

紡糸後のナノ集積物の乾燥を巻き取り前に実施する必要がある。

乾燥は紡糸面の損傷を極力減らすため、遠赤外線ヒーターにより乾燥させる方式を採用する。

以上を踏まえ、熱電対、断熱材入りのセラミックヒーターを選定した。

最適な紡糸面乾燥が出来るヒーター高さの条件選定も考慮して、高さ調整機構を設けた。

2-4-2 加工装置の設計

上記の仕様に基づいて、加工装置を設計する。

1) ノズル振り機構 (X 軸)

必要な剛性を保ちつつ、出来るだけ軽量化を目指した。

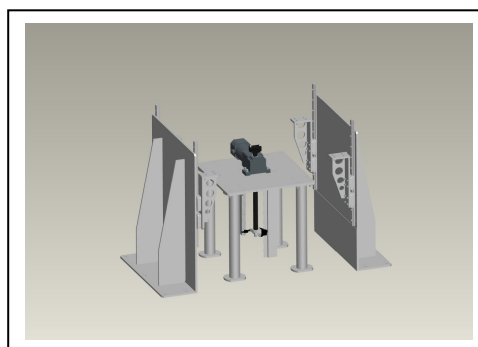
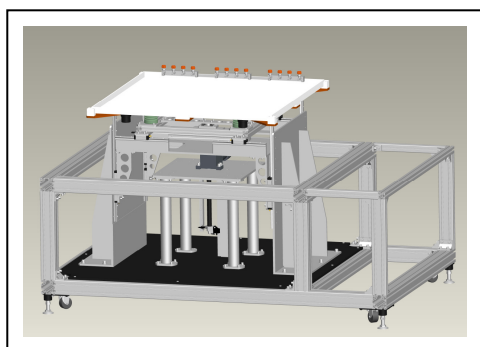
軽量化の効果として、X 軸を左右に動作した時に軽ければ軽いほど慣性による振動が軽減出来、ナノ繊維の吐出に及ぼす悪影響を少なくできる。

以上を実現するため、構成部品は樹脂製及び、アルミ合金製とし、さらなる軽量化をはかるため肉抜き穴を多数開口する設計とした。

2) ノズル上下機構 (Z 軸)

Y 軸を左右に動作させた時に、揺動によるステージの振れを防ぐために必要な剛性を確保する構造とした。

また、Y 軸の揺動動作による装置全体の共振性に対し、装置下部に重量を集めて重心を下げた制振設計とすることで、ナノ繊維紡糸時の振動要素を低減した。



3) 原料溶液供給部

小型の汎用装置では高電圧を鰐口クリップ等でノズルへ直接接続して供給する方式であり不安定で安全性にも問題が有ることから、高電圧供給を原料溶液分配用のマニホールド部から原料溶液に直接供給する方式とし、作業者が高圧電源線に触ることなく安全に作業出来るようにした。

4) 基布巻き出し・巻き取り機構

巻き出し・巻き取り機構の部品を出来るだけ共通部品で構成することにより装置のメンテナンス性を考慮した。

シャフトを簡単に外せる方式にして、紙管の段取り替えの作業性の効率アップを図った設計とした。

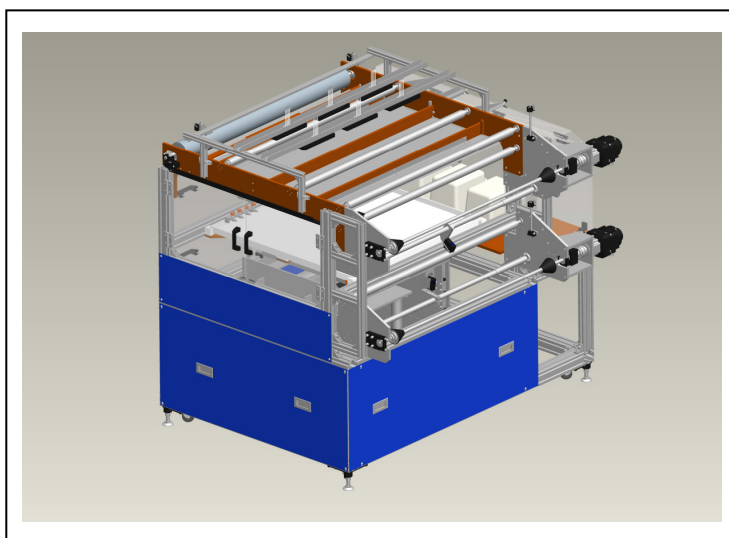
紙管の保持方式に関しては、複数の方式を検討した結果、シンプルな構造で紙管の保持力も大きく、作業性も良好である、ゴムライニングのテーパコーン式を採用した。

また、巻き出し・巻き取り機構のテンションコントロールは紡糸面の損傷を極力減らすため通常のテンションコントローラーを使わず、PLC を使ったオープン制御方式で行うこととした。

5) 機構部全体

装置全体の小型化と紙管の交換作業の効率性を考慮し、巻き出し・巻き取り機構両方を前面に配置することにより片側だけで基布の段取り替え作業を可能とした。

前面



7) 電装関係設計

モーター関係等の制御はシーケンサーで行い、操作はタッチパネルで行う事とした。

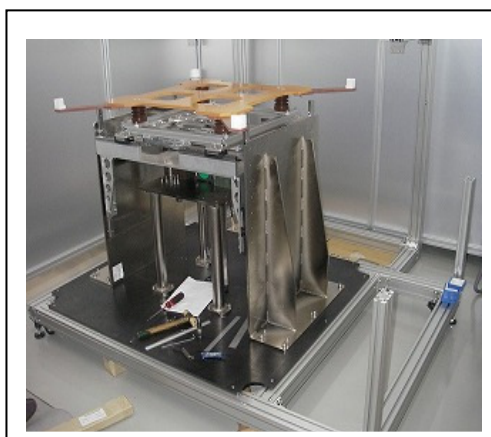
また、品種登録を行い、品種毎に巻き取り速度・張力・ノズル揺らし幅、ノズル揺らし速度・ノズル基布間距離等を設定出来るようにした事により多品種生産時の品種切替を容易とした。



2-4-3 上記の設計に基づいて、試作機を作成した。

1) 下記に製作途中の写真の一部掲載する

上下昇降部



巻き出し・巻き取り部



外枠



原料供給部



完成写真



なお、エレクトロスピニング装置の設置は、ナノ集積物に対する大気塵の影響を考慮し簡易クリーンブース内に設置した。

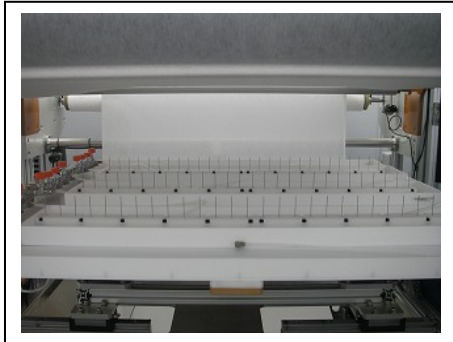
今後の事業化においても、装置を売るだけでなくクリーンブース等作業環境まで含めた提案をして行きたい。

装置完成背景

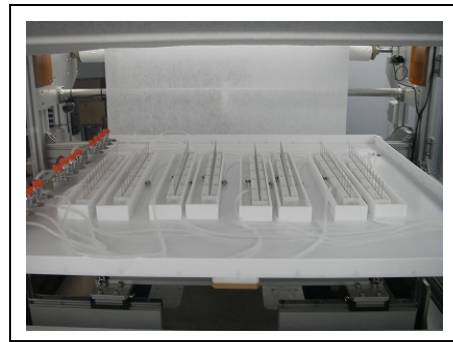


2) 完成した装置に複合・混合紡糸を行うべくユニットを装着した状態写真を下記に示す

複合



混合



2-5 加工装置を用いて生産したサンプルの構造的評価

上記の試作機を用いて作成した複合素材および混合素材のサンプルについて、ナノ繊維になっているかどうか（繊維径）、複合素材、混合素材になっているかどうか、フリスピクチャー（繊維集合体の均一性）、ナノ繊維層の単位重量、層間剥離強度についての評価を行い、必要に応じて原料、ノズル部、駆動部、加工装置の調整を行う予定であったが、ナノ繊維化が実現できていない為、後日の評価に委ねる事とした。

2-6 ナノ繊維の性能を向上させるためのサンプル評価

ナノ繊維層における疎水性ナノ繊維および親水性ナノ繊維の混合比率の評価や吸着性能の評価を行い、必要に応じて原料、ノズル部、駆動部、加工装置の調整等を行う予定であったが、ナノ繊維化が実現できていない為、後日の評価に委ねる事にした。

主要な汎用性樹脂原料（ポリエチレン、ポリエステル）を水溶媒で溶かしてエレクトロスピンニング法によるナノ繊維を作る技術と、異なる材料で混合ナノ繊維・複合ナノ繊維を簡単に、安全に製造出来る加工装置を開発するべく研究を進めたが、研究期間が6ヶ月と短く、十分な成果を得ることが出来なかった。

検討を進めた樹脂原料はナノスプレー状態が主たる状態であり、完全なナノ繊維を作るという成果を得るには至らなかったが、ナノスプレーからナノ繊維になりつつあるものがあり、溶液粘度と溶液温度の条件設定をもう少し深く研究することでナノ繊維化集積物が得られそうな手ごたえがあった。今後とも研究を続行し、当初の目標を達成したい。

ただ、加工装置はほぼ当初の目標通りのものが出来たと考えているが、ナノ繊維化が出来なかったことにより、本装置での加工品質評価が出来ておらず、装置性能向上に向けての改善までは至らなかった。

世界的にも自然環境の悪化、新たな高耐性病原菌の出現等、空気・水の浄化は緊急課題である。そういう意味で本事業のコンセプトは間違いないものと確信している。

今後この命題を解決すべく精力的に研究を継続していく所存である。