

本論文は

世界経済評論 2022年7/8月号

(2022年7月発行)

掲載の記事です



世界経済評論

定期購読のご案内

年間購読料

1,320円×6冊=7,920円

6,600円

税込

17%

送料無料

OFF

富士山マガジンサービス限定特典

※通巻682号以降

定期購読
期間中

デジタル版バックナンバー読み放題!!



世界経済評論 定期購読



☎0120-223-223

[24時間・年中無休]

お支払い方法

Webでお申込みの場合はクレジットカード・銀行振込・コンビニ払いからお選びいただけます。
お電話でお申込みの場合は銀行振込・コンビニ払いのみとなります。

Fujisan.co.jp
雑誌のオンライン書店

大学発ベンチャーは どのように成長するのか！ ：ナノファイバーからの経験から



谷岡 明彦

東京工業大学名誉教授

たにおか あきひこ 1975年東京工業大学大学院理工学研究科博士課程修了工学博士。マックスプランク生物物理研究所客員研究員、東京工業大学大学院教授、NEDO「先端機能発現型新構造繊維部材基盤技術の開発」プロジェクトリーダー、内閣府最先端研究開発支援プログラム「Mega-ton Water System」サブリーダー等を歴任。

大学発ベンチャーやイノベーションという言葉が飛び交っている。著者の経験では10年に一度程度繰り返されているように思える。年々制度が整えられ、資金的にも充実しているが、新しい研究開発を進めながら、人を雇用し、利益を上げていくのは大変難しい。大学発ベンチャー企業の盛衰を見ていると、鴨長明の方丈記にある「ゆく河の流れは絶えずして、しかももとの水にあらず。よどみに浮かぶうたかたは、かつ消えかつ結びて、久しくとどまりたるためしなし。」という一文が脳裏に浮かぶ。確かに「大学発」は理念が先行しすぎていて発展の端緒を掴むのが難しいのかも知れない。ここでは大学での発見が新しい事業の展開に繋がるには、魔の川、死の谷、ダーウィンの海を越えなければならないと聞いている。自分の経験からどのような事例が、これらの言葉に相当するのか考えながら、ナノファイバー事業化の現状と将来について大学での発見、国家プロジェクト、事業化、死の谷と脱出を中心に話を進めたい。

はじめに

ナノファイバーの研究開発にはウクライナ人とのかかわりが非常に深い。まず最初のウクライナ人は、ナノファイバーの実験装置を試作する時に、設計図が頭の中にあり、秋葉原で材料を購入し口と手を器用に使いこなし組み立てた。理化学研究所に滞在後ニューヨーク州立大学に移った。次に、ナノファイバーの表面にはこれまでにない特徴があると考えられ、ドイツで開催された国際学会に出席していたウクライ

ナ出身の研究者と議論したことがある。大変な理論家であったが、現在はスペインの大学にいる。あと数人ウクライナの研究者に会ったことがあるが、共通した特徴は非常に優秀な学術研究者であると同時に自分のベンチャー企業を運営している点であった。自分のアイデアを論文にするだけではなく事業化するという姿勢に強い印象を受けた。

ところで、大学発ベンチャーを言われて直ぐに思い浮かべるのはGoogleである。スタンフォード大学に大きな利益をもたらしたIT企業はお手本のように語られる。日本でもスタン

フォードをお手本にするようにと言われるが文化的背景が全く異なるから実現はなかなか難しい。東工大は渋谷に近いことから、渋谷のIT企業で成功して大学を中退する学生がまれにあることを聞かすが、大学にとってGoogleのような金の卵にはなっていない。これは大学に利益をもたらす仕組みになっていないのと同時に日本人のメンタリティーにも起因しているかも知れない。

我々は「ナノファイバー」をキーテクノロジーに据え、NEDOのプロジェクトを起爆剤として大学発ベンチャー(株)Zettaを立ち上げた。大学で発見した「ナノファイバー」の企業化を図ったわけである。しかし材料系のベンチャーは大変難しいと言われている。これは原料を加工して成型物を作り新製品として需要を喚起するのは至難の業であることに他ならない。このことは、常時指摘され多くの人が認めるところであるが、無鉄砲さを顧みずともかく挑戦してみることになる。ナノファイバーの研究室での発見から23年、NEDOのプロジェクトから16年、(株)Zettaの立ち上げから11年経過し、ようやく企業らしくなって来たのを機に、本紙面をお借りしてこれまでの経緯と現状をお伝えすることにより、「大学発ベンチャー」や「イノベーション」を進める上での参考にしていただければ幸いです。

I 大学での発見と 国家プロジェクト

1. プロジェクトのはじまり

ナノファイバーの大学での発見は全く想像もしないところから始まった。1999年、私とパナソニックの高橋光弘と理研との間でタンパク

チップを用いたセンサーの研究開発を始めた。エレクトロスプレーデポジション(ESD)法と呼ばれる方法でタンパク質水溶液を入れた毛細管と集積板(コレクター)の間に高電圧を印加してセンサーチップを作る。前述のウクライナ人が試作した装置を改良したものである。チップを電子顕微鏡で観察すると凸凹の表面が見えるだけである。この毛細管にたまたまポリエチレングリコール(PEG)水溶液を入れて高電圧を印加し表面の電子顕微鏡観察を行ったところ直径50nm程度の繊維状物質が観察された。これは世紀の大発見とばかりに非常に興奮した。

しかし、いろいろ文献を辿っていくと1930年代にすでに米国でエレクトロスピニング(ESP:電界紡糸)法として特許化されていた。また、米国、ドイツ、ロシア(ソ連)では電界紡糸法を用いて高性能フィルターが製品化されていた。いささかがっかりしたが、2001年に学会で発表したところたまたま聞いておられた方が非常におもしろいので国家プロジェクトを立ち上げようといわれた。この方は東工大の先輩の企業人で大学でも教鞭をとっておられ、大学と企業の役割を非常によく理解されていた。

2. ナノファイバーのポテンシャルを示す

国家プロジェクトを立ち上げるに先立ちナノファイバーの持つ製品としてのポテンシャルを考えておく必要がある。そのためにはナノファイバーの持つ科学的基礎、技術的展開、製品としてのイメージを大きく描く必要がある。また最終的な市場規模を想像することも必要だ。前半は大学人としては比較的容易であるが、市場の規模は大変難しい。後者については6兆円~10兆円程度ということで、大手会社をイ

メージしながら作成した。図1に科学から製品に至る概要図を示す。ナノファイバーは直径が数百ナノメートル以下の繊維状物質であり比表面積が非常に大きくかつファイバー内の分子が高く配向しているということから様々な優れた特性を有している。これらの特性を利用してセンサー、フィルター、エレクトロニクス製品、ロボット等に利用でき、これらの製品を総合してスーパー安全服をイメージするものである。

3. プロジェクトの概要

図1は漠然としていて具体的な事業として企業は大変参加しづらい。そこで、より具体性を持たすためにナノファイバーの応用に関して

様々な文献を参考に何ができるかを検討した。フィルター用の高分子ナノファイバーと電極用のカーボンナノファイバーが最も実用化に近いと考えこれらを利用した製品をプロジェクトのアウトプットとして企業が担当することにした。一方これらの実用化に必要な高分子やカーボンナノファイバーの大量生産装置やシステムの構築が必要であり大学を中心に担当することとした。図2にナノファイバープロジェクトの概要を示す。「先端機能発現型新構造繊維部材基盤技術の開発」が正式名である。まず、出口を「電池、情報家電」、「環境・エネルギー」、「医療・福祉／安全・安心」の3分野にわけ、それぞれにおいて燃料電池や小型蓄電池及び薄

図1 ナノファイバーの将来と市場

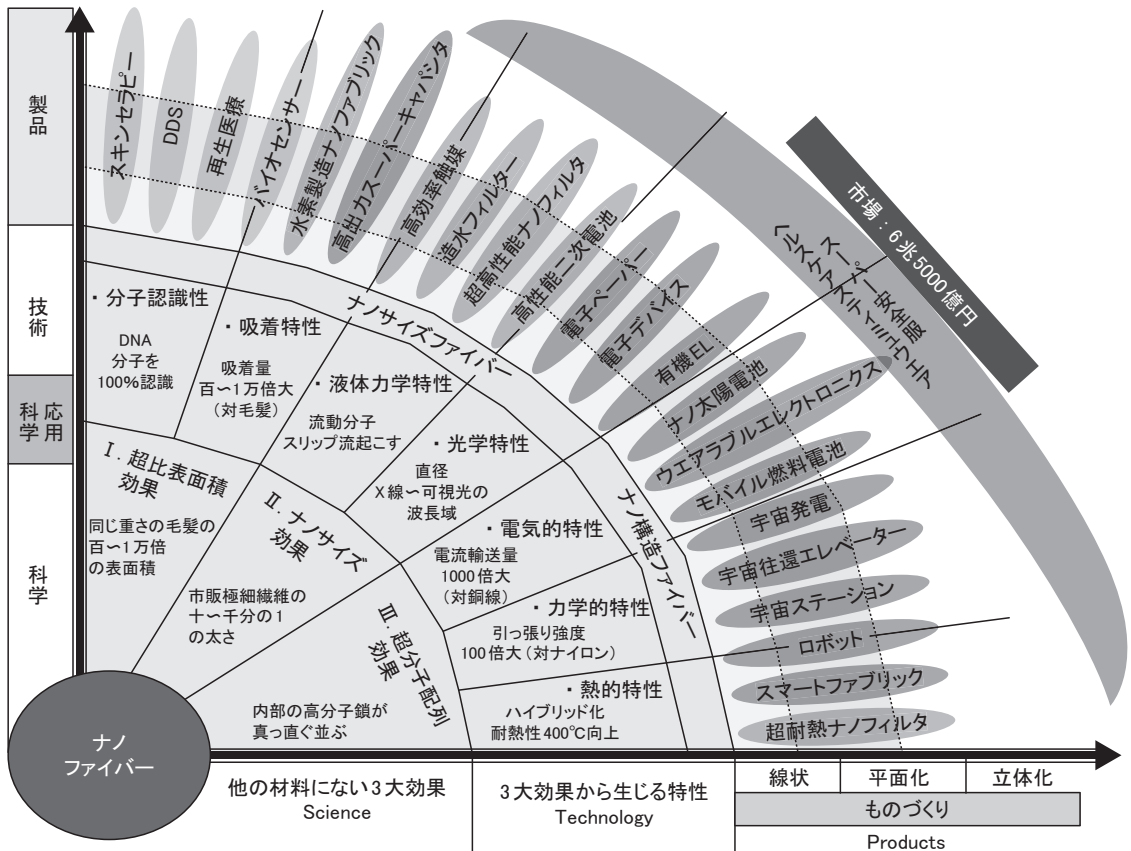
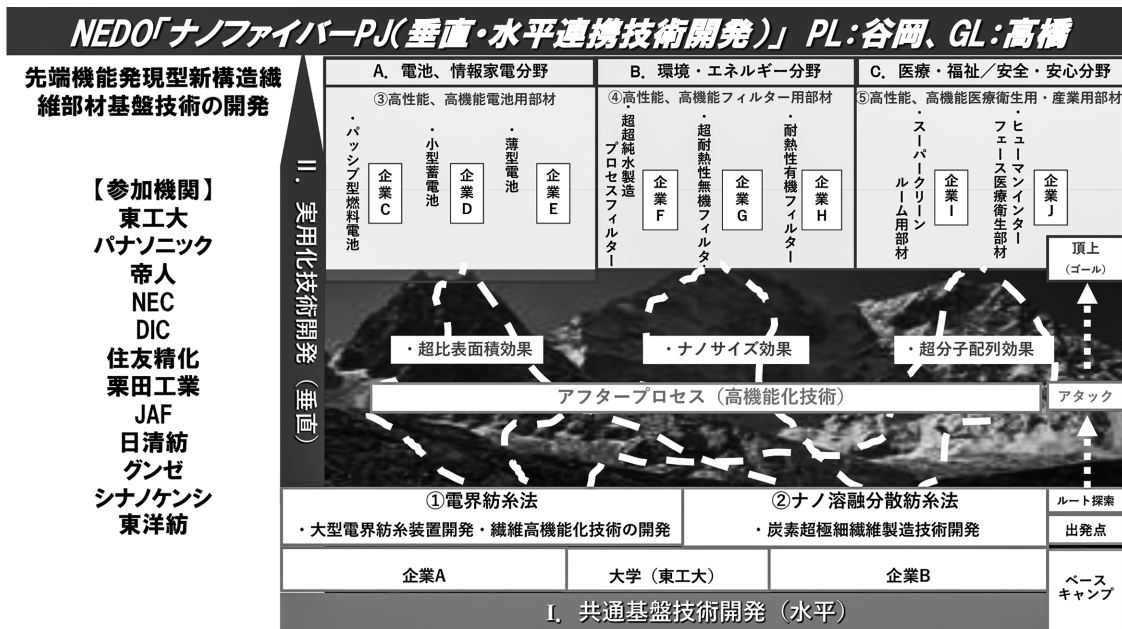


図2 ナノファイバープロジェクトの概要図



型電池, 水処理やエアフィルター, クリーンルーム用部材や医療衛生部材等の実用化技術を開発するもので主に企業が担当し「垂直連携」と呼ぶ。一方これらの3分野に高分子やカーボンのナノファイバーを提供する必要があり, 「電界紡糸法」及び「ナノ溶融分散紡糸法」として大型電界紡糸装置開発・繊維高機能化技術の開発及び炭素超極細繊維製造技術開発を大学と企業が共同で担当した。これらは共通基盤技術開発として「水平連携」と呼ぶ。ナノファイバープロジェクトの特徴は実用化技術開発と共通基盤技術開発を組み合わせて「垂直・水平連携技術開発」として研究開発のスピード化を図るものである。参加機関は東工大, パナソニック, 帝人, NEC, DIC, 住友精化, 栗田工業, JAF, 日清紡, グンゼ, シナノケンシで繊維の利用はファッションだけにとどまらないことを示している。本プロジェクトのプロジェクトリーダーは谷岡明彦が, 基盤技術開発のグルー

プリーダーは高橋光弘であった。

プロジェクトは5年間行われ2011年3月に終了した。終了記念会を3月10日に行ったが, 翌日の11日に東日本大震災が発生した。これらのプロジェクトの成果が震災復興に少しでも有用であることを願うばかりであった。

II ベンチャー立ち上げと死の谷

1. ベンチャーの立ち上げ

2011年11月11日高橋光弘はナノファイバーベンチャー(株)ゼタを立ち上げた。ゼタの意味はZetta即ち10の21乗を指し, ナノ(Nano:10のマイナス8乗)から大きく成長したいという意図である。2012年3月に谷岡明彦が東工大を定年退職したのを期にCTOとして加わった。7月には東工大発ベンチャー65号に認定され, 横浜市の東工大キャパスに設置されている東工大ベンチャープラザにて本格

的にナノファイバーの大量生産と利用技術の開発を進めた。当初は大型電界紡糸装置のさらなる進捗を目指した。

2. 死の谷か？ 大きな壁に突き当たる

電界紡糸には次の大きな課題が横たわっている。

- (1) 生産性が極めて低い（ノズル一本あたりの溶液吐出量が毎分 2 μ L 程度）
- (2) 多量の溶媒を使用（紡糸溶液の濃度は 5～10% 程度）
- (3) 高電圧を使用（2～100 kV を印加）

まず生産性が低い課題を解決するためにはノズルの数を増加させる必要がある。しかし多数のノズルを配置すると高電圧を使用することから、ノズル間で電界干渉が発生し均一紡糸ができなくなる。次に多量の溶媒を使用するが、有機溶媒の場合空気中の酸素と反応し爆発を起こす可能性がある。特に高電圧を使用することからこの危険性を排除することは非常に難しい。ナノファイバーの大量生産はこのような困難さを伴うことから、少量のナノファイバーで用途開発を行うことが試みられてきた。例えばフィルターでは通常の不織布フィルターの表面にナノファイバーの薄層をコーティングすることで圧力損失を損なうことなく捕集効率を大きく向上させることができる。この時ナノファイバー層と不織布間の接合が重要な技術要素となる。最初米軍の戦車に採用され大きな成果を上げ一躍注目された。

3. 死の谷は我々だけではなかった

ナノファイバーの用途展開に関しては世界中の大学、研究機関、企業から様々な提案がなされている。我々は以前ポリ乳酸ナノファイバー

を用いて止血材を開発した。動物実験でも良好な結果が得られ事業化計画が浮上した。10 cm×10 cm のシート 1 枚 1 万円で販売するとして国内では年間 1000 枚程度の需要があるとのことであった。しかし公的機関の認可を得て販売可能となるには多くの資金と期間が必要となる。発足したばかりのベンチャー企業には応じ切れる課題ではない。また、以前ハンガリーの世界的な医科大学の外科の教授からポリビニールアルコール（PVA）のナノファイバーシートがヘルニアの治療に有効であるので供給を依頼されたことがある。世界的規模で臨床試験を行いたいとのことであった。1 時間あたり 25 Kg 程度製造してほしいということであった。PVA の溶媒が水であり、安全性には大きな問題はなかったが、電界紡糸法では不可能であり断念せざるを得なかった。

ハンガリーでの話は象徴的である、要するに「ナノファイバーには多くの用途があるにもかかわらず生産性が極めて低いことから実用化が進まない」と言うことである。当時我々は電界紡糸の抱える問題の解決に四苦八苦し、死の谷でもがいていたが、今になって冷静に考えると、電界紡糸法は世界的に見ても死の谷に沈んでいたかも知れない。このような場合「死の谷」からの脱出は容易ではなく特効薬もない。必要なのは偶然の「ひらめき」のみである。ひらめきは、働き続けて出て来るものではないが、暇でゴロゴロしているから思い付くものでもない。

我々は、低生産性、有機溶媒処理、高電圧の使用という電界紡糸法の欠点をどうしても解決できないと考え、この方式を断念し Zetta 方式の開発に集中した。我々の姿勢を後押ししたのはポリプロピレン（PP）やポリエチレンテレ

フタラート（PET）のナノファイバーが欲しいというユーザーからの声であった。これらは熱可塑性高分子であり、加熱によって液体化すればナノファイバー製造の可能性があった。さらに高電圧の印加に代わる安全なドライビングフォース（駆動力）を考え出す必要があった。

Ⅲ Zetta 方式と死の谷からの脱出

1. 大型電界紡糸装置開発の中断と Zetta 方式の確立

2014年に我々は電界紡糸法の開発を中断し Zetta 方式の開発に集中した。高分子は溶媒と混合することにより溶液として利用できる。一方、熱可塑性の高分子は加熱により溶液を得ることが可能である。高電圧をノズルに印加して溶液をノズルから吐出させる（電着塗装等）ことが可能であるが、エアブローによりノズルから吐出（アトマイジングまたは霧吹）させることもできる。我々はそこで熱溶解した高分子をエアブローによりナノファイバー化することを図った。本技術は電界紡糸の生産性を上げるために試みた方法でもある。予備実験により Zetta 方式の可能性を確認したあと本格的な開発を行った。当時もっとも要望の高かった PP を試したところ非常にスムーズにナノファイバーが製造でき、2015年秋の米国化学会（ACS）で発表しベストプレゼンテーションアワードを受賞した。本賞の受賞はナノファイバーの生成原理が科学的にお墨付きを得たものとして更なる開発に弾みがついた^{1,2)}。

2016年には Zetta 方式によるナノファイバー量産機の開発に成功した。単にナノファイバーが多量に生成するだけでなく、少なくとも

シートとして成型可能である必要がある。幅 1.5m 長さ数百 m のシートが連続的に均一に製造されなければならない。この成功は Zetta のナノファイバー事業が死の谷から脱出する手がかりであるだけでなく、世界中のナノファイバーの研究開発と実用化が死の谷から抜け出させるキーテクノロジーである。

2. ダーウィンの海で昼寝はできない：新たな問題発生と解決法

このことから将来的に国際化が必定となると考え、社名を（株）ゼタから（株）Zetta に改めた。死の谷から抜け出せる期待は持てたが次の2つの問題が残されていた。

- (1) ナノファイバー化可能なポリマーは非常に流動性の高い PP のみであり、用途の大きな展開が望めない。
- (2) 技術者集団で技術的に優れたものを作れば十分であると思込んでいる。

様々な素材への展開はまだ時間が必要であり、取り敢えず流動性の高い PP で事業展開を進めて行くことにした。また、技術者集団からの脱却には営業力に極めて優れ、海外経験も豊富な川原俊介を代表取締役社長に迎えることになった。営業によって得られた情報を技術開発にフィードバックする体制は整ったと言える。先ず最も要望が高かったのはエアフィルターへの利用である。ナノファイバーはエアフィルターとして非常に優れた性質を示すことを前述したが、PP ナノファイバーを使用することは世界的に見ても未経験のことであるから、我々は性能試験を行った。先ずはフィルターとしての捕集効率と圧力損失の計測である。ベンチャー企業としては高価な測定機器を持ちあわせていないことから、信頼のおける企業にお願

いし、最低限必要なデータをそろえることとした。捕集効率 99.9% 以上、圧力損失 50 Pa~200 Pa というエレクトレットを与えることなく ULPA や HEPA の代替となるような優れたデータを得ることができた。しかしながらフィルター製造メーカーやエアコン製造企業に持ち込んでも、各社の様々な仕様に合わせて必要があり、ベンチャー企業としての壁に突き当たることになる。このような状況下でマスクとしての利用が提案された。圧力損失や捕集効率はマスクとしての性能は十分満たしている。さらにオートクレーブによる熱水処理や 100 回程度の洗濯でも性能低下が全くないという画期的性能を有しており、商品化の可能性が大きく近づいた。しかしながら日本のマスク市場は当時 300 億円程度で 70 社程度参入しており、大手数社が大きなシェアを有しており、高性能を標榜して新たなベンチャー企業が参入してもほとんど勝機はなかった。

3. パンデミックの襲来

2020 年 1 月頃から COVID-19 のパンデミックが突然始まった。特にウイルスを含んだ 300 nm 程度のエアゾルをエレクトレットを加えなくても捕集できることから最適のマスクになることが明らかであった。我々はマスクのホームページを立ち上げ販売を始めた。Zetta マスクは布マスクを販売している企業に注目された。布マスクはデザイン性に優れており、Zetta のマスクシートを挟むことにより不足している性能を補うことができる。代表的な 3 社 (A, B, C) を例にすると、まず A 社はシルクニットマスク、B 社はシルク帯マスク、C 社はコットンタオルマスクを販売していた。Zetta のフィルターシートを挿入することで性能が飛躍的に向

上することとなった。性能的には 3 社ともほとんど変わらない。また価格は一枚 3 千円~6 千円と高価であった。この時非常に貴重なことを経験する。

- (1) A 社はクラウドファンディングと大手パートでの販売を行った。
- (2) B 社はクラウドファンディングとテレビ、新聞等のメディアを利用し宣伝・販売した。
- (3) C 社はクラウドファンディングとブロックチェーン技術を利用して「分子マスク」として宣伝・販売した。

売り上げは A 社が少なく、B 社がそこそこ、C 社は 4 か月で 1 億 8 千万以上と驚異的であった。C 社に関しては Google や Yahoo のホームページを開くと必ず「分子マスク」の広告が現れた経験の方も多かったと思われる。我々としては、実体験として時代が変わったという印象を持つと同時に、タオルや帯などの数百年来の技術とナノファイバーやブロックチェーンなどの最先端技術が融合すると新しいビジネスが生まれることを経験することになった。「分子マスク」の広告は Zetta にとって次の飛躍に繋がることになった。

4. ベテランの知恵が直ぐに生かせるベンチャー

「死の谷」からの脱出をはかりかけたころ、花田恒雄が開発本部長として Zetta に加わった。花田は大手企業を退職していたがナノファイバーの研究開発に並々ならぬ関心を有している。Zetta では最年長者であるが、若い後進の指導にも励んでいる。高橋と花田はそれぞれ電気機械及び化学を専門とし、大企業の技術部門出身者であるが、思わぬシナジー効果が表れ開発を加速している。ベンチャー企業であること

からセクショナリズムが皆無で朝思いついたことをその日のうちに試みてみるというスピード感も備えている。花田の参加により Zetta 方式に利用できる原料が流動性の高い PP から全てのタイプの熱可塑性ポリマーに広がった。

IV ベンチャーから一般企業に飛躍したい!!

1. 飛躍の芽

これまでの流れを見ていると、新しい技術的展開が飛躍の端緒となっている。一見突然のようであるが、それまでの伏線が必ず存在することは間違いない。

これまでは、熱溶解後流動性の高い高分子が Zetta スピニングの対象であった。しかしここ数年間の様々な検討の結果熱可塑性高分子であればほとんどがナノファイバー化可能となった。このことから次の結論が得られる。

- (1) 通常の PP のナノファイバー化可能である。
- (2) これまで困難であったポリエチレンも可能となった。
- (3) PET が可能となった。
- (4) リサイクル PET も可能である。
- (5) PLA も可能である。
- (6) フェノール樹脂が可能である。
- (7) ナイロンも可能である。
- (8) PES 等のエンジニアリングプラスチック
- (9) カーボンナノファイバー前駆体

さらに、これまで繊維径の分布の中心が 400 nm~600 nm であったものが 100 nm~200 nm のより細い繊維径にシフトしていることが明らかになった。また 50 nm 程度の細いナノファイバーからなるシートの作製も可能となった。

2. 用途展開の組み合わせで飛躍を

以上の結果は、事業化に関しては極めて重要である。効果としては、大きなコストダウンが図れる、用途開発が大きく広がる等が上げられる。我々は今後用途ごとに様々な企業と組み、大きく展開する予定である。

用途に関する Zetta の提案として次のものを上げたい。

- (1) マスク、フィルター
- (2) 海水淡水化や汚水処理等の水処理
- (3) 浸透圧発電
- (4) 湖水のアオコ対策
- (5) 砂漠の緑化
- (6) 農業用害虫駆除
- (7) 水中からの油の回収
- (8) 防寒具
- (9) 防音材
- (10) コンクリート補強材
- (11) 電池電極やセパレータ

などであるがこれらを組み合わせるとさらに大きく発展させることができる。例えば、海水淡水化と浸透圧発電と砂漠の緑化を組み合わせるとサウジアラビア等の国に水と電気と食料を同時に供給可能なシステムを構築することができる。

おわりに

ナノファイバーの用途展開の成否が今後の Zetta の発展にかかわってくる。ナノファイバープロジェクトを立ち上げるに際し図 3 に示すような用途を考えた。ウェアラブル・インテグレイテッド・システムと称し図 1 のスーパー安全服に対応する。セキュリティスーツ、パワードスーツ、ウェアラブルエレクトロニク

図3 ウェアラブル・インテグレイテッド・システムの概要



ス、ウェアラブルライフラインとしてプロジェクトのアウトプットを明確にした。セキュリティスーツにはフィルター及び防寒や防炎服、パワードスーツにはアクチュエーター、ウェアラブルエレクトロニクスにはセンサー機能つきアンダーウェアや小型情報機器装着機能、ウェアラブルライフラインには小型電力供給システムや浄水器機能が付与された総合的な防護服である。

第Ⅲ節の最後に示した用途に関する Zetta の提案と比較すると、プロジェクト提案は小型で高機能を目指しているのに対して Zetta の提案は大型で高機能を目指している点で大きな違いがある。やはり 16 年前にイメージしたナノファイバーの生産量に比べて現在の Zetta 方式によりナノファイバーの生産量が飛躍的に増加したからに他ならない。

今後のナノファイバーは生分解性高分子、生物由来の高分子、リサイクル高分子の利用、カーボン化が大きな課題となって来るであろう。我々は新しことに果敢に挑戦する予定である。

最後に Zetta が死の谷を抜けたのは確かである。今後どのように発展し、一流企業として評価されるようになるように、皆様の温かいご支援をお願いいたします。

【参考文献】

- 1) Akihiko Tanioka, Mitsuhiro Takahashi: Ind. Eng. Chem. Res., 55, pp. 3759-3764, 2016
- 2) Tanioka, A. Takahashi M. Nanofibers (Chapter 16), in High-Performance and Specialty Fibers — Concepts, Technology and Modern Applications of Man-Made Fibers for the Future, The Society of Fiber Science and Technology, Japan Ed.; Springer Japan: Tokyo, 2016; pp 273-283.