



## 一橋大学イノベーション研究センター

東京都国立市中2-1  
<http://www.iir.hit-u.ac.jp>

本ケースの著作権は、筆者もしくは一橋大学イノベーション研究センターに帰属しています。本ケースに含まれる情報を、個人利用の範囲を超えて転載、もしくはコピーを行う場合には、一橋大学イノベーション研究センターによる事前の承諾が必要となりますので、以下までご連絡ください。

【連絡先】一橋大学イノベーション研究センター研究支援室  
TEL: 042-580-8423 e-mail: chosa@iir.hit-u.ac.jp

経営資源の補完を目指した日蘭合弁事業  
超高強力ポリエチレン繊維「ダイニーマ®(Dyneema)」の開発<sup>1</sup>

武蔵野大学 政治経済学部 講師

星野 雄介

一橋大学イノベーション研究センター准教授

清水 洋

はじめに

「ダイニーマ® (Dyneema)」<sup>2</sup>とは軽量できわめて強靱な繊維であり、「スーパー繊維」に分類されている。このダイニーマはオランダの化学会社である Royal DSM N.V (以下、DSM)によって開発され、日本の東洋紡績株式会社 (以下、東洋紡) の生産技術によって工業化された超高分子量ポリエチレン繊維<sup>3</sup>である。ダイニーマは中間素材として、日本においては東洋紡によって販売され、多様な最終製品へと利用されている。

ダイニーマは従来の繊維では要求水準を満たすことのできない、様々な分野で使われる極めて高強力な繊維である。このような従来の繊維を超えた高機能性繊維やスーパー繊維は、ダイニーマに代表される超高分子量ポリエチレン繊維だけでなく、炭素繊維やアラミド繊維、ポリアリレート繊維などがあり、日本の繊維メーカーが高い技術力で強みを発揮している領域でもある。

繊維産業は、明治期から戦後にかけて日本経済を支えた基幹産業の 1 つであった。しかし、1970 年代以降韓国や中国などのキャッチアップや国内の産業構造の変化などを背景に、繊維メーカー各社は高付加価値製品の開発の必要性にこれまで以上に迫られている。これは、繊維産業についてのみ当てはまるストーリーではない。電機産業や自動車産業などにおいても生産拠点のグローバル展開が進展している。国際的な競争力を考える際には、産業の高付加価値化は日本企業が直面する最も重要な経営課題であろう。

また、技術が複雑化し、研究開発コストが上昇しているなかで、1 社で研究開発から、生産、販売までを行う自前主義の合理性は低下してきている。外部の経営資源の戦略的な活用の重要性が高まってきている。本稿がとりあげるダイニーマは、日本企業が直面する高付加価値製品の開発と外部の経営資源の戦略的な活用という 2 点を考える上で多くのイン

---

<sup>1</sup>本稿は企業経営の巧拙を示すことを目的としたものではなく、分析並びに討議上の視点と資料を提供することを目的としている。本ケースは講演やインタビュー調査、後掲の資料などを参考にしている。ただし、本稿の記述はあくまでも筆者の理解に基づくものであり、その責任はあくまでも筆者にある。本稿は科学研究費（基盤研究 (A) 23243054）と DSM JAPAN の支援を受けている。

<sup>2</sup>「ダイニーマ®」は東洋紡績株式会社の日本における商標である。

<sup>3</sup>ポリエチレンとはナフサを熱分解することによって得られるエチレンを結合させた高分子である。

アプリケーションがあるものであろう。

本稿ではダイニーマがいかなるプロセスで製品化されたのかを記述していく。どのようにしてダイニーマが開発されたのか。工業生産される際のボトルネックはどこにあり、どのように解決されたのか。どのような組織で事業化されたのか。そして、背景には何があったのだろうか。

本稿は大きく 5 節に分かれている。第 1 節ではダイニーマという繊維の特徴を記述し、高付加価値の技術的な源泉を明らかにする。第 2 節は東洋紡と DSM の紹介である。日本の繊維企業とオランダの化学企業がどのように高い付加価値を創造したのかを考える上で、それぞれの企業のコラボレーションへと向かう背景や、そのプロセスを説明していく。第 3 節ではダイニーマがどのように生み出されたのかのプロセスを記述し、第 4 節で東洋紡と DSM の合弁会社である日本ダイニーマの事業について説明している。第 5 節では用途開発について述べる。

## 第 1 節 ダイニーマの特徴

### 1. スーパー繊維<sup>4</sup>

ダイニーマはスーパー繊維と呼ばれるカテゴリに属している。スーパー繊維には厳密な定義が存在しないが、一般には高強度・高弾性率・耐熱性、難燃性などにおいて優れた性能を有する繊維のことを指す<sup>5</sup>。

特性によって定義づけされていることから明らかなように、スーパー繊維には様々な製品があり、それぞれ商品化され、見えないところで我々の日常生活に役立てられている。表 1 は代表的なスーパー繊維を整理したものである。

---

<sup>4</sup>スーパー繊維については日本化学繊維協会 web サイト

<http://www.jcfa.gr.jp/fiber/super/index.html> を参考にしている (2012 年 6 月 10 日閲覧)。

<sup>5</sup>強度で約 2GPa 以上、弾性率で約 50GPa 以上が一つの基準である (大田 (2008) 及び日本化学繊維協会 web サイト <http://www.jcfa.gr.jp/fiber/super/index.html> (2012 年 6 月 10 日閲覧))。

表 1：スーパー繊維の種類

繊維名	国内会社（商標等）	特徴	用途
パラ系アラミド繊維	帝人テクノプロダクツ 「テクノーラ ®(Technora)」「トワロン ®(Twaron)」、東レ・デュ ポン「ケブラー®(Kevlar)」	高強度・高弾力性、耐熱 性、耐薬品性、耐摩耗性	タイヤコード、ベルト、 防弾服、航空機部材等
超高分子量ポリエチレン 繊維	東洋紡「ダイニーマ ®(Dyneema)」	高強度・高弾力性、低比 重、耐薬品性、耐摩耗性、 耐衝撃性、耐候性	ロープ、防護服、スポー ツ・レジャー用品、釣糸、 漁網
ポリアリレート繊維	クラレ「ベクトラン ®(Vectran)」	高強度・高弾性率、耐熱 性、耐摩耗性、耐酸性、 低伸度、低クリープ性、 非吸湿性、振動減衰性	ロープ、漁網、スポーツ・ レジャー用品、電気資材、 防護服、成型品
PBO 繊維	東洋紡績「ザイロン ®(Zylon)」	高強度・高弾性率、高耐 熱性、高難燃性、耐摩耗 性、耐衝撃性、耐クリー プ性、低吸湿性	防護材、ベルト、ロープ、 セイルクロス、各種補強 材、耐熱クッション材
炭素繊維	東レ「トレカ®(Torayca)」、 東邦テナックス「テナッ クス®(Tenax)」、三菱レ イヨン「パイロフィル ®(Pyrofil)」	高強度・高弾性率、耐熱 性、難燃性、耐衝撃性	スポーツ、レジャー用品、 航空・宇宙部材、自動車 材、風力発電ブレード

注：「ケブラー®」は東レ・デュポン株式会社登録商標である。

「トワロン®」「テクノーラ®」は帝人テクノプロダクツ株式会社の登録商標である。

「ベクトラン®」は株式会社クラレの登録商標である。

「トレカ®」は東レ株式会社の登録商標である。

「テナックス®」は東邦テナックス株式会社の登録商標である。

「パイロフィル®」は三菱レイヨン株式会社の登録商標である。

「ザイロン®」は東洋紡績株式会社の登録商標である。

出所：化学繊維協会 web サイト <http://www.jcfa.gr.jp/fiber/super/summary.html> より筆者作成（2012年6月10日閲覧）。

スーパー繊維の歴史の始まりは、それほど昔ではない。1930年代から40年代にかけてナイロン、アクリル、ポリエステルといった三大合繊が開発された後も、さらなる高性能な

繊維の研究開発が継続していた。デュポンの「ノーマックス® (Nomex)」<sup>6</sup>はナイロン繊維に耐熱性を加えることを目的に、1950年代後半より研究されてきた。1963年にはデュポンはノーマックスの商標登録と同時に、パイロット・プラントを稼働させた<sup>7</sup>。ノーマックスはメタ系アラミド繊維であり、強度はナイロンと同等ながら、耐熱性に極めて優れているという特質を持つ。

そして、後にスーパー繊維と呼ばれることが定着した繊維は1971年に販売されたデュポンの「ケブラー®(Kevlar)」であった。ノーマックスとは異なるパラ系アラミド繊維であるケブラーは高耐熱性に加え、強度が極めて高いという特徴を持っている。日本においては東レ・デュポン株式会社を取り扱っている。現在では防弾チョッキ、防護服など多様な用途に展開されている。1987年以降、帝人もパラ系アラミド繊維「テクノラ®(Technora)」を生産しており、オランダ企業から買収した「トワロン®(Twaron)」と合わせて、現在、デュポンと市場シェアを二分している。

同1971年、東レは炭素繊維「トレカ®(Torayca)」を販売した。PAN系<sup>8</sup>炭素繊維としては、当時世界最大の生産量であった。技術的には1961年に大阪工業技術試験所の進藤昭男博士により特許が取得されている<sup>9</sup>。

1989年に生産が開始されたダイニーマは超高分子量ポリエチレン繊維の先駆けであった。ダイニーマとほぼ同時期の1990年に、株式会社クラレによってポリアリレート繊維が「ベクトラン®(Vectran®)」という商標で工業化された。ポリアリレート繊維は1980年代から検討されてきたが、工業生産しているのは2011年現在、クラレのみである<sup>10</sup>。ケブラーを第一世代のスーパー繊維とすると、これらの超高分子ポリエチレン繊維とポリアリレート繊維は第二世代と言える。

1998年には、PBO繊維<sup>11</sup>である「ザイロン®(Zylon)」が東洋紡から商業化された。ナイロン(Nylon)に始まった合成繊維の歴史が究極のレベルに到達した、という意味で、ナイロンの「N」を「Z」に替え、Zylon®と命名された。PBO繊維は、1980年代から、まずはアメリカ空軍研究所にて開発され、スタンフォード・リサーチ・インスティテュートを経て、米国ダウケミカルが工業化可能な重合方法を発見、実用化の目処が立った。1990年代に繊維量産化技をダウケミカルと東洋紡が共同開発し<sup>12</sup>、現在では東洋紡が単独で事業を運営し

---

<sup>6</sup>「ノーマックス®」はデュポン社の商標である。

<sup>7</sup>デュポン社ウェブサイト

[http://www2.dupont.com/Public\\_Sector\\_ER/en\\_GB/Nomex\\_the\\_fibre/Nomex\\_History.html](http://www2.dupont.com/Public_Sector_ER/en_GB/Nomex_the_fibre/Nomex_History.html) (2012年6月10日閲覧)。

<sup>8</sup> PANとは「ポリアクリロニトリル(Polyacrylonitrile)」の略である。

<sup>9</sup>東レ株式会社ウェブサイト [http://www.torayca.com/aboutus/abo\\_002.html](http://www.torayca.com/aboutus/abo_002.html) (2012年6月10日閲覧)。

<sup>10</sup>頼光(2010)。

<sup>11</sup> PBOとは「ポリパラフェニレンベンゾビスオキサゾール(Poly-p-phenylenebenzobisoxazole)」の略である。

<sup>12</sup>村瀬(2010)。

ている。このようにスーパー繊維の分野では日本企業の活躍が顕著であり、ダイニーマも例に漏れない。

## 2. ダイニーマの特徴と用途

本稿で採り上げるダイニーマは、スーパー繊維の中でどのような特徴があり、どのような用途に用いられているのか。この点を見ていこう。

繊維の用途は性能に依存する。繊維の性能は一律に規定できるものではなく、強度、伸度、弾性率、比重、融点または熱分解温度、耐熱性（長時間安定性）、耐薬品性、燃焼性、電気的性質など非常に多くの尺度によって評価される<sup>13</sup>。繊維は中間素材であり、これらのうち相対的に優位な指標を生かすような用途に利用されることになる。ここではダイニーマの「強度」「比重」「フィラメント」という性能に着目し、その特徴を生かした用途について説明しよう。まず強度について確認していこう。

表 2：代表的なスーパー繊維の強度

ポリマーの種類	名称	強度 (cN/dtex)
パラアラミド繊維	ケブラー®29	20
パラアラミド繊維	トワロン®	21
ポリアリレート繊維	ベクトラン®	22
パラアラミド繊維	テクノーラ®	25
UHMW-PE 繊維	スペクトラ®900	26
UHMW-PE 繊維	スペクトラ®1000	30
UHMW-PE 繊維	ダイニーマ®SK60	32
UHMW-PE 繊維	ダイニーマ®SK71	35
PBO 繊維	ザイロン®AS	37

注：「スペクトラ®」は Honeywell International Inc の登録商標である。

ただし、ダイニーマ®SK71 は最低の強度を掲示している。

数字が大きければ大きいほど、強度が高いことを示している。

出所：太田（2008）、p.587 より筆者作成。

表 2 は、代表的なスーパー繊維の強度を表している。ダイニーマには SK60 と SK71 という 2 種類があり、強度に多少の違いはあるものの、ともに非常に強度が高いことが分かる。同じ高分子量ポリエチレン繊維であるスペクトラよりも高強度で、他のスーパー繊維と比較しても、PBO 繊維であるザイロンに次ぐ強度となっている。

<sup>13</sup>日本化学繊維協会ウェブサイト <http://www.jcfa.gr.jp/fiber/high/method.html> 参照（2012年6月10日閲覧）。

強度が高いことによるメリットは次のように考えられる。すなわち強度が高いということは、同じ太さで支えられる重量が大きいことを意味する。逆にいうならば、同じ重量を支えるのに、より細い糸で済むということでもある。ここに、従来品を代替する可能性が発生する。

第 2 の特徴は、ダイニーマの比重が小さいことである。比重とは体積 1 立方センチメートルあたりの重さであり、固体や液体の場合は、比重 1 の水を基準とする。

表 3：繊維の比重

スーパー繊維	ダイニーマ®	0.97
	トレカ®	1.44-1.45
	ケブラー®	1.75-1.93
化学繊維	ポリプロピレン	0.91
	ナイロン	1.14
	アクリル	1.15
	ポリエステル	1.38
	レーヨン	1.51
天然繊維	羊毛	1.32
	絹	1.33
	綿	1.54

出所：日本化学繊維協会ウェブサイト <http://www.jcfa.gr.jp/fiber/high/summary.html>

『トレカ技術資料』東レ株式会社ウェブサイト <http://www.torayca.com/download/pdf/torayca.pdf>

東レ・デュポン株式会社ウェブサイト <http://www.td-net.co.jp/kevlar/chara.html>

より筆者作成（いずれも 2012 年 6 月 10 日閲覧）。

表 3 は代表的な繊維の比重を示したものである。スーパー繊維のカテゴリ内では、ケブラー、トレカとも比重が 1 を超えており、水に沈む。他方でダイニーマの比重は 0.97 であり、水に浮くという特徴を持っている。さらに、吸水による膨潤、劣化がないことから、水まわりでの使用に向く。

この観点からの代表的な用途の一つは、大型船舶の係留索である。軽量で操作性に優れ、水に浮き、ほとんど吸水しない、という特徴から、従来のワイヤーロープの代替製品となっている<sup>14</sup>。次に代表的な用途としては、釣糸があげられる。従来のナイロンなどでは水を吸い膨潤して伸びてしまう。水中にあってもほとんど伸びないということも重要な訴求点となる。なぜなら、魚がかかった瞬間の感触がかなり深海でもダイレクトに釣人に伝わる

<sup>14</sup>2004 年ではダイニーマを使ったロープはタグロープ市場の 30%に達している（『日経産業新聞』2004 年 1 月 26 日）。

ためである。

ダイニーマの第 3 の特徴はフィラメントであることである。製法については後に詳述するが、ダイニーマでは分子量が数百万個を超える超高密度なポリエチレンを、引っ張ることによりフィラメントにしている。フィラメントとは絹のように連続した長さを持つ糸のことで、長繊維とも呼ばれる<sup>15</sup>。通常、製品にするときは、複数のフィラメントをより合わせて一本の糸すなわちマルチフィラメントとする。

ダイニーマはフィラメントであることから、防塵性があり、薄くても耐切創性に優れる。そのため、クリーンルームや微妙なハンドリングが求められる各種検査工程などで用いられる作業用高機能手袋などの用途に急拡大している。

その他には表 4 に見られるように、コンクリート補強、高級グレードのヘルメット用コンポジット素材、高い熱伝導性を生かした接触冷感素材、振動減衰性を生かしたスピーカーコーンやテニスラケット素材など、素材の特徴を生かした様々な用途が開発されている<sup>16</sup>。

表 4：ダイニーマの性能と用途例

性能		用途
1次性能	2次性能	
高強度 高弾性率 軽量	衝撃吸収性・ 耐刃性などのプロテクト性	スポーツヘルメット・作業ヘルメット・防護衣料・防護板・ 防護手袋・自動車衝撃吸収部材・防爆シート・レドーム他
	耐屈曲疲労性 耐摩耗性	水産ロープ・ネット・船舶用ロープ・ヨットロープ・各種漁 網・ゴルフネット・洋弓弦・ブラインドコード他
	耐侯性 耐薬品性	セールクロス・フィルタークロス・電池用セパレーター・テ ントなどの幕素材他
	低伸度	釣糸・スポーツロープ
	振動減衰性	スピーカー振動板・テニスラケット・スキー板他
高配向 (繊維軸方向)	電氣的に中性 負の線膨張係数	極低温分野材料・各種絶縁材料
	熱伝導性がスチールを超える	極低温分野材料（熱を放散する）・各種熱交換器・冷却ユニ ット・冷感素材

出所：大田（1999）p.416、および前田（2011）より筆者作成。

しかし、他方では融点が 150℃で耐熱性には劣っているため、消防服や断熱材といった耐火耐熱用途には不向きである。

<sup>15</sup>他方で綿状の短い繊維のことは、ステープルあるいは短繊維と呼ばれる。木綿や羊毛などはステープルであり、紡績によって一本の糸とする。

<sup>16</sup>大田（2010）。



### 3. ダイニーマの製造方法：ゲル紡糸法

ダイニーマはどのような工程で生産されるのか。ここではオランダのグローニンゲン大学でと DSM の協力で発明された「ゲル紡糸」について概説するが、その前に共通部分が多い化学繊維製法の基本について説明する。

表 5：汎用化学繊維とスーパー繊維の製法

区分	紡糸法	概要	製造される繊維
汎用化学繊維	熔融紡糸	原料を熱で溶かした状態で、口金から押し出して繊維状にした後、冷やして固める方法。	ポリエステル、ナイロン、ポリプロピレンなど
	乾式紡糸	原料を熱で気化する溶剤に溶かした状態で、熱雰囲気中で口金から押し出して溶剤を蒸発させて繊維状にする方法	アセテート、アクリル、ビニロンなど
	湿式紡糸	原料を溶剤に溶かした状態で、凝固浴と呼ばれる溶液中で口金から押し出して化学反応させたのち、溶剤を除去して繊維状にする方法。	レーヨン、アクリル、ビニロンなど
スーパー繊維	ゲル紡糸	柔軟な高分子を、分子を出来るだけ引き伸ばしやすい中間段階を経て、それを非常に高倍率に延伸して製造する方法	超高分子量ポリエチレン、高機能 PVA
	液晶紡糸	高分子材料の液晶状態（液体のような流動性を持ちながら分子がある規則性を持って配列している状態）を利用して高度に分子鎖を配合させながら紡糸する方法	アラミド繊維、PBO 繊維、ポリアリレート繊維 (注；熔融液晶紡糸)

出所：日本化学繊維協会ウェブサイト

<http://www.jcfa.gr.jp/fiber/word/category.html#word04> より筆者作成（2012年6月10日閲覧）。

表 5 は現在、化学繊維とスーパー繊維に用いられる 5 つの紡糸法を整理したものである。それぞれに特徴があるが基本的な工程は次のように整理できよう。

- ① 分子量の大きい素材＝高分子化合物＝ポリマーを用意する
- ② 熱や溶剤によって溶かす
- ③ 繊維状に押し出す
- ④ 溶剤（使った場合）を取り除く
- ⑤ 延伸する

ポリマーとは低分子化合物であるモノマーを多数結合させた高分子化合物である。化学繊維の多くは原料として石油化学製品が用いられることが多い。セルロースやたんぱく質などの天然高分子化合物から得られるものもある。このポリマーの品質が最終的な化学繊維の品質に影響を与える。繊維に加工する場合は樹脂やフィルムに比べて、純度・分子量・性質が安定していることなどの点で、より純度の高いポリマーが必要とされる。

これらの化学繊維を事業化するためには、第一に均質性も含めてどのような原料を用いるか、第二にいかに精度の高い紡糸水準を達成するか、第三に採算性といった3点が重要と考えられる。5つの生産プロセス、3つの重点があることは、ダイニーマでも同様である。

ダイニーマの素材でもあるポリエチレンは「①分子鎖の直線性が高いこと②分子の断面積が小さいこと③伸び切り鎖状態となった時の自由となる変形量が小さいことから、理論的に高強度・高弾性率化されやすい」<sup>17</sup>と予想されていた。すでに、1930年代には理論的な強度が明らかにされ、その後、学会・企業等で製法が研究されていた。

通常のポリエチレンでは引っ張ると簡単に切れてしまうが、繊維の方向に分子の方向を揃え、結晶化させて引き延ばし、伸び切り鎖構造にすることで、強い繊維を得ることができる。研究の結果、分子鎖が折り畳まれたり、絡み合った状態から、伸び切り鎖構造を得る種々の手法が続々と開発された。

表6：過去に検討されてきた手法

年	手法	報告者
1970年	固相押し出し法	Porterら
1973年	クエット表面成長法	Penningsら
1974年	ゾーン延伸法	木方ら
1979年	ダイ延伸法	Wardら
1979年	表面成長法	Kellerら
1979年	ゲル紡糸法	Smithら
1983年	ゲルプレス法	太田ら
1983年	単結晶マット共押し出し法	金元ら
1984年	ゲルフィルム熱延伸法	松生ら
1987年	バージンポリマー法	Smithら
1987年	リアクターパウダー2段延伸法	金元ら

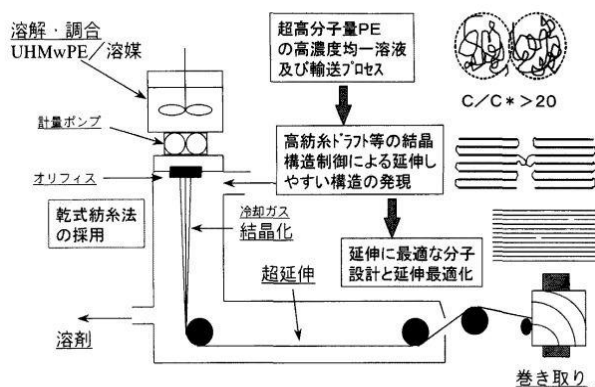
出所：大田（2010） p.91 より筆者作成。

表6は、高分子量ポリエチレン繊維について開発された紡糸法をリスト化したものである。1973年のクエット成長法（本稿では表面成長法と呼ぶ）と1979年のゲル紡糸法が本稿

<sup>17</sup>大田(2008)、p.58。

の中心であるが、それ以外にも様々な製法が研究されていたことが分かる。最終的に工業生産で利用されることとなったゲル紡糸法について整理しておこう。

図 1：ゲル紡糸法



出所：大田（1999）、p.415 より転載。

図 1 は、本稿でとりあげている DSM が開発し、東洋紡が大幅に改良したゲル紡糸法の略図である。大田（2008）によれば、ポイントは以下の 3 つの点に大きくまとめられる。

- ① 分子量が 100 万を超えるような超高分子量ポリエチレン（Ultra High Molecule Weight Polyethylene: UHMW-PE）を用意する。分子量が多いということは、非常に長い分子の鎖を持つことを意味しており、これによって分子鎖末端欠陥を低減させることが可能である。ダイニーマでは分子量数百万超のポリマーを用いており、繊維となったときに高い強度を得られる。
- ② 分子鎖がお互いに絡み合うような準希薄溶液濃度に均一に溶解した後、オリフィスから押し出して冷却・結晶化する。これによって絡み合い欠陥を低減させる。
- ③ 得られたゲル状の半延伸糸を、溶剤を除去しながら、超延伸プロセスによって高倍率に延伸する。これによって絡み合い欠陥、非晶部、折り畳み鎖等の欠陥を低減させる。

ここでは、「欠陥」という単語が何度も繰り返されているのが特徴的である。合成繊維やスーパー繊維の強度は、主鎖である炭素原子間の結合力を分子鎖断面積で除すことによって理論的に明らかとなっている。そのため「完成糸の強度を上げると言うことは簡単に言えば、完成糸に含まれるマイクロ・マクロな欠陥を排除していかに…中略…理論的構造に近づけるかにあると考えられる」<sup>18</sup>のである。

<sup>18</sup> 安田・伴・大田（1991）、p.595。

## 第2節 東洋紡・DSM・日本ダイニーマ

ダイニーマは日本の繊維企業の東洋紡とオランダの化学企業のDSMとのコラボレーションによって生み出された。本節ではダイニーマを製品化するにあたり合弁を組んだ両社について、そして、実際にダイニーマを生産している日本ダイニーマ株式会社（以下、日本ダイニーマ）について確認していく。

### 1. 東洋紡績株式会社

明治維新後、1880年代後半から始まる日本の産業革命を支えた産業の1つが綿業と絹業を中心とした繊維産業であった。1882年に洪沢栄一の紡績事業計画によって誕生した大阪紡績（東洋紡績株式会社の前身）は本邦初の近代紡績会社であり、この日本のリーディング産業を牽引した企業の1つであった。

日本の綿紡績企業の数には大幅に増加していたが、規模の点でも1910年代には、大紡績企業が形成された。1914年に、三重紡績と大阪紡績が合併し、東洋紡績が成立した。1918年には尼崎紡績が摂津紡績と合併し大日本紡績が成立し、東洋紡績、鐘淵紡績を含む3大紡績が確立した。さらに1931年には、東洋紡は大阪合同紡績を吸収合併し、国内綿糸生産のおよそ20%を占める大企業となった。

当時の紡績企業は企業規模のみならず、そのマネジメント手法においても日本を先導していたといえる。東洋紡は、電動機の導入など新技術によって生産性の向上を進めた。鐘淵紡績は原価計算制度を厳密化させるなど当時のマネジメントの先端であった「科学的管理法」をリードしていた。繊維産業は、まさに日本のリーディング産業であった。

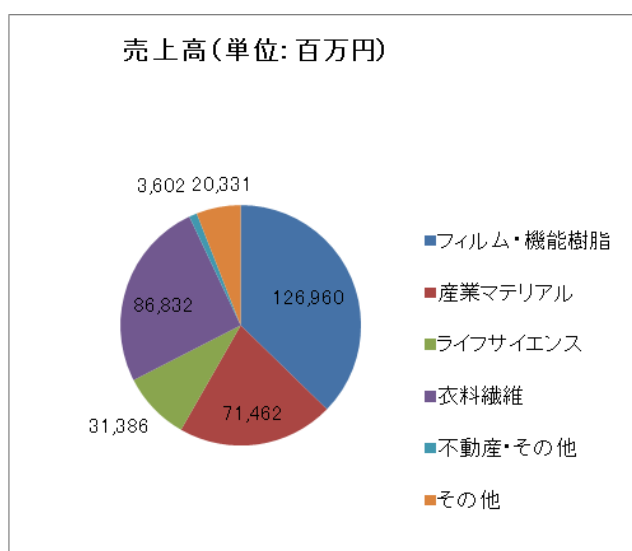
天然繊維からその事業をスタートさせた東洋紡であったが、合成繊維へも進出していた。1920年代に入ると、日本の繊維企業がレーヨンへと進出したように、東洋紡も合成繊維事業を開始した。東洋紡は、ドイツのレーヨン・コンサルタントのオスカーコーホン社と提携して、レーヨン生産の設備と技術導入を進めていたのである。

戦争により生産設備の多くが失われたが、戦後の復興期を終えると、日本の繊維産業は合成繊維事業を急速に拡大させていった。安価な労働力に依存していた日本の綿紡績産業は、日本の進学率の上昇などによる人件費の上昇や、その労働集約的産業の強みを失っていき、高付加価値製品の生産へとシフトする必要があった。ビニロンやナイロン、アクリルや、ポリエステルなどの合成繊維の生産が拡大し、1967年には合成繊維の輸出が綿製品を上回った。オイルショック以降は、日本の繊維産業の非繊維分野への進出も加速していった。さらなる高付加価値製品の開発、生産が、繊維各社に求められるようになっていった。

グローバルに展開する国際競争の中で、日本企業が現在直面している製品の高付加価値化という課題に、日本の繊維産業はいち早く当たっていたのである。本稿でとりあげるスーパー繊維のダイニーマの開発とその事業化もこの高付加価値化という事業戦略上のものである。天然繊維から事業を開始した東洋紡も、戦後、合成繊維事業の比重を高めるとと

もに、さらに非繊維分野への多角化を進めた。その結果、2002年には非繊維事業が繊維事業の連結売り上げを超えるようになった。2010年度の東洋紡の事業部門別売上高は図2の通りである。

図2：事業部門別売上高



出所：東洋紡績株式会社『有価証券報告書』第153期より筆者作成。

ダイニーマは東洋紡の事業部では産業マテリアル事業部門に属している。この事業部門の売上は全売上高3400億円超のうち21%を占めている。産業マテリアル事業部門ではエアバッグ用基布やポリエステルタイヤコードなどの自動車用繊維資材、ダイニーマやザイロンといったスーパー繊維、空気清浄に用いられる機能フィルターなどを取り扱っている。東洋紡の非繊維事業分野としては、他にも表7のようにフィルム・機能樹脂、ライフサイエンスなどである。

表 7：東洋紡の非繊維事業分野

事業分野	代表的製品
フィルム・機能樹脂	包装用フィルム、工業用フィルム、工業用接着剤、エンジニアリングプラスチック、光機能材料など
産業マテリアル	自動車用繊維資材、スーパー繊維、機能フィルター、不織布など
ライフサイエンス	診断薬用酵素等のバイオ製品、医薬品、医用膜、医療用具、アクア膜など

出所：東洋紡 web サイト <http://www.toyobo.co.jp/company/profile/> より筆者作成（2012年6月10日閲覧）。

## 2. DSM

ダイニーマの基本的な製法である「ゲル紡糸法」を開発したのはオランダ企業の DSM である。DSM は石炭事業から石炭化学、石油化学から現在は素材及び生活産業 (Material & Life Science Company) へとコア事業を転換させており、現在は産業用素材・食品化学・医薬等の事業を展開している。22,000 人の従業員（うちおよそ 10%が研究員）を抱え、全世界の売上は約 90 億ユーロであり、NYSE ユーロネクストに上場している。

DSM は、1902 年にオランダの国営企業として設立された。DSM とはダッチ・ステート・マイニング (De Nederlandse Staatsmijnen：英語では Dutch State Mining) の略称であり、石炭事業から事業活動を開始した事に由来している。1989 年の一部民営化までは王国立の公的企業であった。民営化移行後は、採算性が厳しく要求された事もあり、DSM は、石炭化学、石油化学から新規事業へと様々な多角化を進めていった。具体的には、石炭から石油へと大きく化学工業が変化している中で、1960 年代から DSM も、肥料や化学製品の一貫生産へと事業の拡大を進めた。1973 年には、最後の DSM の炭鉱が閉鎖され、DSM は完全に石炭企業から化学メーカーへと転換を遂げた。1989 年には DSM は民営化に着手し 1990 年代半ばに 100%民営化企業となった。

表 8 : DSM の新規進出事業

1902 年	石炭事業 (1973 年まで)
1930 年代	化学肥料事業
1950 年代	石油化学事業 (2002 年まで)
1970 年代	高機能素材事業
1990 年代	ライフサイエンス製品
2010 年代	バイオリニューアブル・バイオメディカル・栄養事業

注：この表は新規に進出した年を説明しているにとどまる。

出所：DSM(2011) *DSM factbook 2011*

[http://www.dsm.com/en\\_US/cworld/public/investors/downloads/publications/factbook\\_2011.pdf](http://www.dsm.com/en_US/cworld/public/investors/downloads/publications/factbook_2011.pdf)

より筆者作成 (2012 年 6 月 10 日閲覧)。

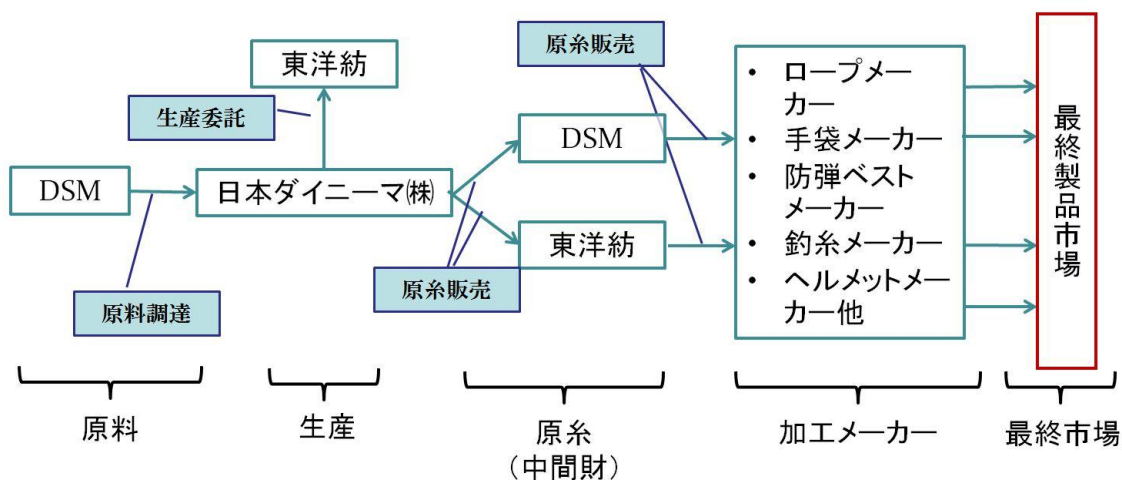
表 8 は DSM の事業転換の歴史を大きく整理したものである。石炭事業から、大きくその事業を転換してきていることが分かる。創業時の事業であった石炭事業は 1973 年まで、また、2002 年にサウジ基礎産業公社(通称サビック、SABIC : Saudi Basic Industries Corporation) に売却するまで石油化学が事業の中核であった。本稿で取り上げるダイニーマは、DSM が 1950 年代から事業をスタートさせていた石油化学事業のなかのポリエチレン事業部門の成果の 1 つであった。

### 3. 日本ダイニーマ

ダイニーマを日本において生産しているのは 1991 年に東洋紡と DSM との合弁会社として設立された日本ダイニーマ株式会社である。東洋紡と DSM の出資比率は 50%対 50%で、日本ダイニーマの事業内容は「高強度・高機能 PE 繊維「Dyneema」の開発、製造、販売業」である<sup>19</sup>。

<sup>19</sup>日本ダイニーマ株式会社社内資料。

図 3：日本ダイニーマの事業システム



出所：筆者作成。

図 3 はダイニーマのサプライ・チェーンを図示している。日本ダイニーマはダイニーマを製造するために、①まず DSM から原料となるポリマーを購入する。そして、②その原料をもとに、東洋紡に生産委託し、③生産された原系を東洋紡と DSM に販売するという仕組みである。

その後、出来上がった原系を DSM、東洋紡は顧客（商社、中間製品及び最終製品メーカー。図 3 では「加工メーカー」のこと）に供給し、顧客が加工し最終製品に仕上げ市場に販売するのである。

### 第 3 節 ダイニーマの開発

本節では、DSM においてダイニーマが開発され、東洋紡との合弁事業によって事業化されるまでのプロセスを整理していく。

#### 1. DSM 側：ダイニーマの開発と提携の選択<sup>20</sup>

##### 生産技術の開発

DSM の中央研究所（1939 年設立）は 1956 年、ポリマーの基礎研究に着手した。最初はポリマーの材料となる均質なポリエチレンを供給することを目的とし、ポリエチレンの研究開発からスタートし、同年プラントを建設した。市場からは、DSM の要求する品質水準を達成したポリエチレンを購入することができなかったためであった。不均質なポリエチレンは最終製品の品質に強く影響を及ぼすのである。この時期の研究開発の結果、1959 年

<sup>20</sup>この項の記述に関しては特に断りがない限り、van Rooij.(2007)を参考にしている。



には高品質のポリエチレンをある程度の規模で獲得できるようになった。

1963 年、DSM でポリマーの基礎研究をしていたアルバート・J・ペニングス (Albert J. Pennings : 以下ペニングス) と彼の同僚がポリエチレンの常温結晶化技術を発見した。ペニングスはダイニーマの研究開発において、最も重要な人物の一人である。この時に発見された結晶化技術では商業化できるほどの生産量を得られなかったものの、一定量の非常に均質なポリエチレンを分離できるようになった。翌 1964 年、彼らは、結果を論文として公表した<sup>21</sup>。

さらに彼らは、同 1964 年、同僚とともに、ポリエチレンの繊維状の結晶化に成功した。この発見によって、ポリエチレン繊維への道が開いたといえる。

1966 年、ペニングスは、ポリエチレンをシート状に結晶化させる方法を発見し、特許を申請した。当時の DSM の中央研究所トップで R&D マネジャーが、この新素材を活用して他のプラスチックを強化するというアイデアを思いついたものの、そのためには新たな設備投資が必要であり、プラスチック製造部門は難色を示した。

1960 年代半ば、DSM の中央研究所では、ポリエチレン繊維をどの分野で製品化するかは明らかではなかっただけでなく、また、大規模な製造プロセスも有していなかった。研究は基礎研究を志向しており、結晶の構造や性質を理解することを目的としていた。このような基礎研究志向は 1950 年代、60 年代には欧米企業としては一般的だったのである。そのため、ペニングスが結晶化方法を発見した繊維に、DSM の製品事業部門が注意を払うことはほとんどなかった。つまり、基礎研究と新規製品開発とその事業化を担当する事業部門の間の連携はそれほど密接ではなかったのである。

このような基礎研究のあり方は 1970 年代に転機を迎える。経済環境の悪化によって、DSM の中央研究所の特に基礎研究の予算が削減された。その結果、ポリマー基礎研究部門の人員は 25 人から 15 人へと大幅に削減された。基礎研究の経費と人員の削減によって、ペニングスはグローニンゲン大学に移ることになったが、DSM はペニングスの研究基金に一部資金拠出を行い、同氏と DSM との関係が維持される事となった。

グローニンゲン大学に移る前年の 1969 年、ペニングスはポリエチレン繊維の製造プロセスに取り組んでいた。この時は余り成果を挙げるができなかったが、彼と彼のグループはグローニンゲン大学での研究開始から程なく表面成長法 (Surface Growth Method) の開発に成功した (図 4)。

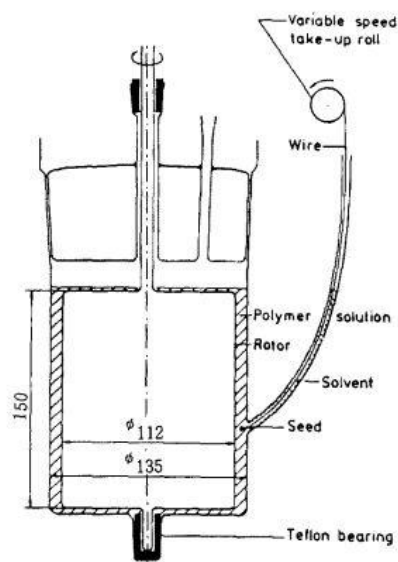
この手法は、分子量 100 万以上という超高分子量ポリエチレンのパラキシレン準希薄溶液を二重円筒状の容器に配し、内側の円筒を回転させることで、その表面に繊維状の結晶ができることに目をつけている。その表面の結晶に、種結晶を先端に付けた糸で引き出すことで連続的に糸を生産するのである。この手法はポリエチレンで高強度繊維を得る、実

---

<sup>21</sup> Koningsveld and Pennings. (1964).

質的には初めての方法であり、ゲル紡糸法に技術的につながるとい<sup>22</sup>点で極めて重要であった。

図 4：表面成長法



出所：太田（1984）、p.410 より転載。

DSM はペニングスへの研究基金出資契約に基づき、この方法の特許を取得した。しかし、表面成長法による生産速度は、毎分数センチと非常にゆっくりで、しかもできあがった繊維が均等な厚みを持っておらず、また生産規模を大きくすることも難しかった。そこで DSM の研究開発長はこれらの問題を解決するために、高強度・高分子繊維を研究している企業にアクセスを開始した。研究開発の全てのプロセスを自社内で一貫して行うのではなく、外部の経営資源の戦略的な利用を考えたのである。

インペリアル・ケミカル・インダストリーズ (ICI: Imperial Chemical Industries) は DSM のこの方法に興味を持ったが、ICI の繊維事業が不振であったため、両社間では積極的な交流は進まなかった。DSM は更に同じオランダの化学企業であるアクゾ (AKZO) に接近を試みるが、同社は他の繊維での事業展開を構想していたことから、DSM の方法に興味を持たなかった。

DSM としてはこの時点で他社との協働は成立しなかった為に、同社は既に特許も取得したこのユニークなポリエチレン繊維の研究を独自に継続することになった。1978 年終わり、ペニングスの指導の下で研究を進めていた博士課程の学生であるポール・スミス (Paul Smith。以下、スミス) が DSM に入社し、同社の研究所で研究を始めることになった。彼は研究所

---

<sup>22</sup>大田（2010）。

の同僚であるピエト・レムストラ (Piet Lemstra。以下、レムストラ) とともに、ゲル紡糸法を開発した。この方法は、ポリエチレンを溶解させた溶液を、専用の器具から押し出し、押し出された繊維を冷却・延伸させるというものであった。これによってポリエチレン分子は効率よく一列に並び、望ましい強度を達成することが可能となった。溶液として超高分子量ポリエチレンの準希薄溶液を用いるというアイディアは、ペニングスが長年研究していた表面成長法からもたらされたものであった<sup>23</sup>。

1979年、DSMはスミスとレムストラが開発したゲル紡糸法の特許を申請し、1980年に認可された<sup>24</sup>。しかしながらDSMとペニングスとの間では、この特許の所有権についての係争が発生した事により、ペニングスとDSMとの協働関係は終決し、ゲル紡糸法の特許についてはDSMが保有することとなった。

#### 事業化の困難と提携の選択

ゲル紡糸法は研究開発としては大きな進歩であったが、事業化を進めるためには、さらに多くの資金が必要であった。研究開発のフェーズは、基礎的な要素技術開発から開発・応用研究段階へと移っていたため、その中心は中央研究所から事業部へと移されようとしていた。しかしながら、DSMのプラスチック部門や化学製品部門はともに事業化に関して大きな興味を示さなかった。繊維製品や当該市場はDSMにとっては全くの新しい分野であったことも事業部門が取上げる事を躊躇させた。基礎的な技術は整いつつあったものの、事業化のための技術の精緻化と生産技術の確立が必要であり、その投資について、事業部門は余り積極的ではなかったのである。

1980年代に入り、DSMの経営陣は、経営戦略を修正していた。オイルショックとその後の経済環境の悪化に対応するためであった。エチレン、ベンゼンやその誘導体など汎用ポリマーや石油化学製品といった大量生産可能な汎用化学製品(バルク・ケミカル)から、高付加価値であるスペシャルティ化学製品に事業ポートフォリオを転換し、知識集約型で高付加価値の製品を重視する新たな事業領域への製品ポートフォリオの移行を図ったのである。この様な状況の下で社内での新規事業領域に関する研究は再び重視されるとともに、新規事業分野に参入するための外部パートナーとの協働に関しても新たな試みが模索される様になった。

1981年、DSMのトップマネジメントは、この新しいポリエチレン繊維をDSM自身が事業化し、生産を開始するか、ライセンス・アウトするかのいずれかが適当かの決断をするために、事業部門からではなく全社勘定から、研究投資資金の追加投入を決定した。投下資金の規模も限られていた事もあり、研究開発長はオランダのアイントホーフェン工科大学と、ドイツのアーヘン・ポリテクニク(Aachen Polytechnic)との共同実験も実施した。同時にDSM社内においても当該手法の繊維技術をポリエチレンやナイロン分野で採用する

<sup>23</sup>太田(1984)。

<sup>24</sup>オランダ特許7900990。

事が可能か否かの実証をする為の装置が設置され、化学製品部門としても一部資金を拠出して、製造面での実用化に対する研究の協働と資金提供がようやく進み始めた。

1982年、業績悪化に伴い、DSMは更なるコストカットを実施したが、この新しいポリエチレン繊維の研究プロジェクトは継続した。研究の成果に伴い、ゲル紡糸法の生産効率は表面結晶成長法よりも徐々に高くなっていった。しかし、生産された繊維の均質性とポリエチレン溶液の粘性が安定しないという問題も抱えていた。この問題を解決するために2軸の押出機を開発したが、それでも予想された強度の繊維を得ることはできなかった。そもそもの超高分子量ポリエチレンの純度が問題であったためである。この段階における外部パートナーも上記の問題を解決できなかったため、DSMでは必要な品質を持つ超高分子量ポリエチレン自体の製造プロセスを向上させることによって、純度の問題の解決を図った。出来上がった高品質な超高分子量ポリエチレンは繊維の原料として社内で活用されるのみならず、工業用プラスチックとしても販売することが可能となった。

1983年9月、DSMに当該ライセンスが認可された。DSMの経営陣はライセンスを外部に提供するビジネスモデルは、自社で生産・販売する事に較べて魅力的ではないと判断した。しかし一方で、必要な技術を内製化するためには、事業化を進めるために必要となる紡糸・用途開発・高強度繊維領域での市場参入を図る為のノウハウ等をDSMは保有していないこと、更にこれらのノウハウを構築する時間も足りないことが明確になった。この段階でICI、アクゾ、アライド・シグナル（Allied Signal Inc.）などの化学会社が同様の研究を進めており、事業化も間近であろうという情報がDSMには入っていたのである<sup>25</sup>。この様な状況の下で当該市場へ早期に参入するには、自社の経営資源に欠けている部分を補完する新たなパートナーを見つける必要があるとDSMは判断した。

DSMは再度アクゾに打診をしてみたが、今回も断られた。アメリカのアライド・シグナルはこの新しいポリエチレン繊維に興味を示したが、アライド・シグナルはすでにDSMと同じゲル紡糸法を利用していた。同社の技術は、DSMの保有する特許に抵触していたため、その後係争に発展し、結果として、ライセンス契約を締結した上で、同社からDSMに対して多額のライセンス料を支払うことになった。

1984年終わり、DSMの高強度繊維プロジェクトは、全社的に推進するプロジェクトとしてトップマネジメントに認められ、さらなる資金を全社勘定から活用することが可能となった。スミスとレムストラによってゲル紡糸法が開発されてから5年以上経過した1984年になっても事業化には至っていなかった。

「繊維技術」が当該プロジェクトの実用化の鍵になる事が徐々に明らかになっていった。DSMは自社に蓄積されたノウハウのみでは、紡糸技術と繊維の製造技術による実用化に対する限界がある事と、繊維についての市場知識を欠いていることを認識していた。DSMの化学製品部門とプラスチック部門は事業化に対しては引き続き非協力的であったため、外

---

<sup>25</sup> 2011年9月29日講演。

部のパートナー企業をさらに探索する事が喫緊の課題となった<sup>26</sup>。

最終的に多くの候補企業の中から、DSM はゲル紡糸法を用いた新しいポリエチレン繊維事業に進出するためのパートナーとして東洋紡を選択したのである。東洋紡は合成繊維の紡糸に関して世界で最も技術的に優れた事が最大の要因であった。技術の高さに加えて、DSM が不得意とするアジア・オセアニア市場に対しても精通しており、互いに不足する分野を補完する事も、東洋紡をパートナーとして選定した大きな要因であった。

## 2. 東洋紡側：生産技術上のブレイクスルー

### オイルショックの影響<sup>27</sup>

ここまでダイニーマを開発したDSMの視点に立って東洋紡というパートナーを選択した時期まで見てきた。東洋紡は、いかなる動機を持って合弁事業に参加したのであろうか。

東洋紡は1966年に呉羽紡績と合併した。綿紡績生産規模としては、この時期が最大であった。1970年代に入り日本全体がオイルショックの影響をうける中、繊維産業は繊維製品価格の下落と原料となる合繊原料価格の上昇という大きなダメージを受けた。1974年度下期から1977年度にかけて、繊維企業で配当を継続できたのは、綿紡績9社のうちの2社、合繊7社のうちの3社という状況であった。

この第一次オイルショックに対しては、業界全体での減量経営や不況カルテルによる生産調整が一定の効果を上げたものの、1974年の第二次オイルショックは繊維不況を引き起こした。

このような厳しい経済環境の中、東洋紡では1974年6月に就任した大谷一二社長、そして1978年7月に就任した宇野収社長によって、多岐に渡る経営改革が実施された。テキスタイル部門の分離独立や事業本部制の採用、非繊維事業の拡大、海外進出の拡大、減量経営に加え、研究開発活動を促進し、新規事業を創出するための仕組みを整備したことが特筆すべきである。

### 研究所体制

オイルショック後の事業方針によって、日本の繊維企業は、非繊維部門への進出が期待されるようになった。東洋紡でも、「化合繊領域の研究はほぼ一段落し、加工技術の研究も所期の成果を上げたので、繊維の研究は曲がり角に立っていた。しかも繊維以外への事業展開の要望が社内に高まっていた」<sup>28</sup>という状況であった。

こうして研究開発活動を促進させるために、1976年、堅田、高槻の両研究所が堅田研究所に統合され総合研究所となった。当時の総合研究所は、繊維・プラスチック・開発・エンジニアリングの4研究体制であった。1980年、総合研究所は研究総括部と改称され、11

<sup>26</sup> 同上。

<sup>27</sup>本項は主に東洋紡績株式会社(1986b)に依っている。

<sup>28</sup>同上、p.493。

月には生化学研究所が増設され、5 研究所体制となった。このような体制の中でダイニーマの研究はなされた。また、研究開発組織の組織変更在先立ち、新規事業開発を行うために、研究総括部内に事業開発部が設置され、新規事業が推進されることとなった（表 9）。大きな価値を生み出す知識集約的な新素材の開発が急がれていたのである。

表 9：東洋紡の事業開発プロジェクトの一例

1974 年	SB（スパンボンド）事業開発部。1976 年には事業化の見通しが立ち東洋紡スパンボンド(株)が発足
1975 年	WT（ウォータートリートメント）事業開発部発足。1981 年廃止
1975 年	AC（エアークリーニング）事業開発部発足。80 年に新規事業本部 AC 事業部へと成長
1977 年	PRT（感光性樹脂版）事業開発部が発足。やがてプラスチック事業本部特殊製品部となった
1978 年	RO（中空繊維型逆浸透モジュール）事業開発部
1980 年	SI（科学機器）事業開発部発足。

出所：東洋紡株式会社（1986b）より筆者作成。

このように高付加価値の新事業開発を急ぐ中で、東洋紡も DSM やアクゾ、ICI といった企業の高機能繊維開発の動きには注目していた。自社の紡糸技術を生かすことができる新素材としてダイニーマにも当然、関心を寄せていた。佐野茂樹氏は当時のことを振り返って次のように述べる

その方（繊維輸出畑のエース：筆者）が、突然（社長に：筆者）呼ばれて、今度このダイニーマをやれ、と言われたゆうのは、ちょうどその繊維事業が、もう今までの延長線上ではどれも持たん。…中略…スーパー繊維、さらに、もう中国とか韓国の追随を許さないものをやらないかとそういう背景で、またコーポレート研究部隊は、世界でどんな新技術、特許があるのか、というのを探索していたんですね。<sup>29</sup>

上の回想は当時の東洋紡内での危機意識を如実に表している。新興国が簡単には追いついてこれられないような事業分野を立ち上げる必要性を強く認識していたのである。このような新事業開発の必要性を背景として東洋紡でダイニーマの研究開発がスタートした<sup>30</sup>。

まず、1981 年 6 月に東洋紡は超高分子量ポリエチレンの希薄溶液を用いた表面成長法とゲル紡糸法によって超高強度繊維が製造できるという情報を獲得した。すぐさまトレース

<sup>29</sup> 2011 年 7 月 1 日インタビュー。

<sup>30</sup>以下、特に断りが無い限り、東洋紡株式会社社内資料を参照している。

実験を開始し、ゲル紡糸法ならば事業化が可能で高強力が得られることを確認した。この時期のスタッフ数は数名であり、ほとんどが特許探索に携わっていた。1982年10月には、分析センター・S研（繊維研究所）・EK研（エンジニアリング研究所）の共同研究体制が発足し、本格的な開発テーマ化のための動きが本格化した。それに伴い、ゲル紡糸法の基本特許を有しているDSMの関連会社であるスタミカーボン社（Stamicarbon b.v）<sup>31</sup>に特許のライセンス供与の意向を打診した。

#### 生産技術の開発

東洋紡は自社内で生産技術の研究開発を行っていた。その理由は、ゲル紡糸法の基本特許通りの紡糸では、生産性が低かったことにあった。原料の溶液濃度は0.5-1w%で、延伸速度は毎分約1メートルと、低濃度・低延伸速度であった。この延伸速度は事業化のために採算性を確保できず、生産技術を開発する必要があったのである。

表10：初期のゲル紡糸法と工業化されたゲル紡糸法の改良点

プロセスまたは条件	初期のゲル紡糸法	コンセプト	工業化されたゲル紡糸法	コンセプト
ポリマー	直鎖状HDPE Mv80万以上	高いほど分子鎖末端欠陥低下で高強度化を達成できる	一次構造最適化高分子量物	高いほど分子鎖末端欠陥低下で高強度化を達成できる
溶液濃度	C/C*~2程度	絡み合いを最低限に排除できる	C/C*>20	低コストであるが、性能面ではマイナス
溶解方式	パッチ式攪拌溶解	粘度が低く、比較的簡易に均一な溶液を得ることができる	球晶ゲル溶解法	高濃度でも均一な溶液を得る
紡糸方式	湿式法（水冷却）	急冷ゲル化によって絡み合いを固定化させる	乾式紡糸法	水分離不要なため低コストで高張力紡糸が可能
延伸方法	低速度高倍率延伸	高強度化、ベストの性能を引き出す	高速度高倍率延伸法	低コスト。強度を維持し糸切れ頻度を極限まで低下させる

出所：大田（2010）、p.93より筆者作成。

表10は初期のゲル紡糸法と工業生産で利用された改良点を整理したものである。大きく

<sup>31</sup>スタミカーボン社は、1947年に石炭関係の技術を調査するために設立された。後にライセンスの管理を事業とした（van Rooij,(2007)）。

分けて左のブロックが初期のゲル紡糸法、右のブロックが改良された内容である。縦は、生産工程を区分したものである。原料・溶解（表では溶液濃度と溶解方法が対応）・紡糸・延伸のすべての段階で技術開発が必要であり、そのうち、東洋紡は溶解・紡糸・延伸で技術開発を行った。

1983年には東洋紡の研究グループは、「球晶ゲル溶解法」という球晶ゲル分散液を一軸の直接押出機に常温で供給する新しい方法を開発した。球晶ゲル溶解法は2段階の溶解プロセスからなる。第一に、溶解時に問題の少ない希釈な溶液を作成し、それを除冷する過程で球晶を析出させ、第二に、溶剤を多量に含浸した球晶から溶剤を搾り取って高濃度な分散液を再調整するというプロセスである。これは社内ではNK法と呼ばれた。超高分子ポリマーから、いかに均一かつ濃厚な溶液を得るか、という課題にこたえるために開発された手法であった。1984年、東洋紡は、DSMからのオファーに応え、DSMとの間に共同開発契約を締結した。契約内容は、製造技術の開発・用途開発も含め、両者が合意すれば2年後にパイロット・プラントを設置してプレマーケティングを行い、さらに2年後には本生産に移行するというものであった。

また、球晶ゲル分散液を用いたNK法では生産性に限界があったため、この1984年から新しい連続製造技術の開発に着手した。そして同年10月に「パウダー直接溶解法」を開発した。この方法は2軸押出機に高分子量ポリエチレンパウダー分散液を直接供給し均一溶解する方法であり、これによってNK法ではクリアできなかった工業化可能な溶液濃度を得ることができた。

高濃度でも、非常に高い延伸速度でかつ優れた繊維物性が得られるという、「球晶ゲル溶解法」「パウダー直接溶解法」に成功したことは、ダイニーマの事業化において大きな重要性を持つポイントであった<sup>32</sup>。

また、延伸においては熱風式ロングオープンを採用した。このアイディアも、ダイニーマの工業生産に至るまでのブレイクスルーのひとつであった。基本特許においては湿式紡糸が採用されていたが、乾式紡糸を採用したことにより、冷却水などの凝固溶媒と、溶剤との分離が不要となりコスト削減につながった。そして、湿式では困難であったノズル直下での延伸を高倍率で行うことが可能となり、低濃度の場合と同様以上の延伸倍率を達成することができた。生産コストが大幅に削減されたのである。

このブレイクスルーの結果、①毎分100メートルという高速度で、②ほとんど切れることのない数千本の、③強度にして35.4cN/dtex（あるいは40g/d）を超えるフィラメントを得ることができるようになった<sup>33</sup>。

これらのブレイクスルーは1985年10月までに集中してなされている<sup>34</sup>。

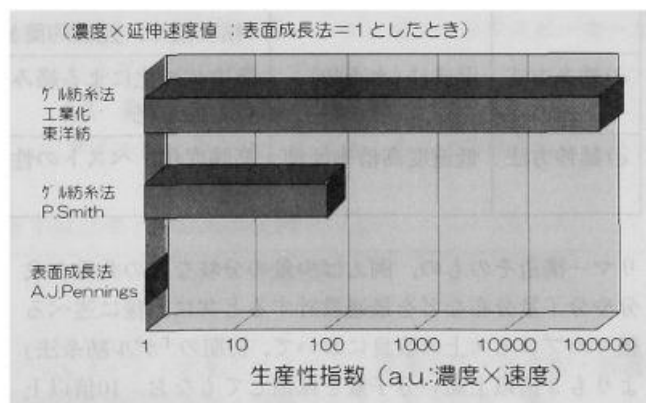
<sup>32</sup>「球晶ゲル溶解法」「パウダー直接溶解法」の技術的内容については大田（1999）を参考にしている。

<sup>33</sup>「熱風式ロングオープン」の技術的内容については大田（1999）を参考にしている。

<sup>34</sup>なお、こののちも技術開発は継続している。1992年には、ダイニーマの10デニールの極細化



図 5：ダイニーマ生産技術の生産性



出所：大田（1999）、p.414 より転載。

時間を少々先取りして、ダイニーマの生産技術ごとの生産性の違いを見てみよう（図 5）。ここでは生産性は濃度×延伸速度で示される。ペニングスが発見した表面成長法を 1 とすると、スミスとレムストラが開発したゲル紡糸法の実績は 100 倍程度、そして東洋紡が工業化したゲル紡糸法では 10 万倍と、技術開発の結果、生産効率が極めて高くなったことが分かる。

#### 事業化プロセス

1984 年の共同開発契約締結の翌 1985 年から、東洋紡と DSM は大きく事業化に向けて動き出した。東洋紡は高強度ポリエチレン繊維の開発を目的とした P-13 グループ発足させた。また、同年、エンジニアグループ専任・開発メンバー増強によって東洋紡-DSM 共同検討委員会を発足させた。ここでは開発効率上昇と次段階への移行の是非を検討された。技術問題以外の政治的諸問題についても討議され、パイロット・プラント建設とプレマーケティング段階へ進むことが基本的に決定された。1985 年 12 月 1 日、東洋紡は DSM との間にプレマーケティングのジョイントベンチャー契約を締結し、準備会社として Dyneema VOF がオランダに設立された。1986 年 5 月 14 日には、合弁事業会社としてダイニーマ・ジャパンが発足した。同年、東洋紡の繊維第 1 部門に KKS プロジェクトが設置された。KKS とは、「高強度繊維」の東洋紡内での略称であった。

KKS プロジェクト発足時に本社スタッフとして働いていたメンバーは、輸出中心の営業

---

に成功した。従来のもっとも細番手は 25 デニールであった。10 デニールの太さはナイロン、ポリエステル並みである（『日経産業新聞』1992 年 7 月 18 日）。また、2006 年には、さらに強度を高めた「ウルトラダイニーマ」の実用化にも目処をつけつつある（『日本経済新聞』2006 年 5 月 16 日地方経済面北陸）。2008 年には、強度を落として価格を抑えたポリエチレン繊維「ツヌーガ」を開発した。ツヌーガはダイニーマでは困難であった染色も可能である（『日経産業新聞』2008 年 4 月 9 日）。

のエースと技術者が1名の計2名であったが、1988年には新入社員が配属されるなど<sup>35</sup>、この段階から事業化は意識されていた。また、本社スタッフとは別に繊維を研究していた部門も存在していた。

このように事業化に向けて動き出したのであるが、開発はそれほどスムーズに進んだわけではなかった。**KKS**とは「高強力繊維」の略であったが、社内では「困った困った繊維」と呼ばれていた。「困った」と社内でも思われた理由の第一は、ポリエチレン素材のため、ケブラーに代表されるスーパー繊維に比べて耐熱性に劣ることであり、第二は、ポリエチレンでは染色性が劣ることであった。東洋紡は衣料用繊維を長く扱っていたため、繊維は染めて売るもの、というのが常識であった。

これらの耐熱性や染色性に問題はあったものの、1986年12月、堅田に年産4トンのパイロット・プラント完成後、開発メンバーを増強した。化合織工場からも協力を得て、1987年8月にはパイロット・プラントを増設した。1988年3月末の本生産をめざし、サンプル試作による用途開発と生産技術レベル向上に努めることとなった。

1987年12月、繊維専用グレードのポリマーが必要なことが明らかになり、開発目標達成が困難な見通しが立った。繊維に使われるポリマーではフィルムや樹脂を作る場合に比較して、不純物が少ないことなど、高い品質が求められるのである。一旦、技術的な妥協をしかけたが、納期を6ヶ月遅らせ、1988年9月に初期目標を達成した。ポリマーが安定化し、また重要な製糸技術を開発できたためであった。こうしてサンプル試作を経て、生産技術が向上し、本生産移行が決定された。

この時期、東洋紡は**DSM**のオランダ工場建設のための技術支援を行っている。オランダ工場は1988年から建設が両社共同で検討され、最終的には**DSM**の単独投資事業となったが、東洋紡は建設協力のために技術者を半年から1年オランダへ派遣した<sup>36</sup>。1990年にダイニーマの工業生産工場がヘーレンで稼働を開始した。

1989年4月、ダイニーマを本生産するため、東洋紡と**DSM**は諸契約の細部を検討し、正式にダイニーマ事業を繊維第1本部に移管した。同年、東洋紡はダイニーマ事業開発部発足し、その事業開発部は、さらに2年後の1991年にはダイニーマ事業部となった<sup>37</sup>。新規事業部を設立する場合には、東洋紡では事業開発部を経ることが標準的であり、事業開発部発足から2年での事業部化は、標準的なものであった<sup>38</sup>。

1993年には早くも第二世代の生産技術とも呼べる**NKS**技術が導入された。**NKS**とは「ニュー高強力繊維」の略であったが、当初は東洋紡内で、今度は「煮ても食えない繊維」と揶揄されるほど、その開発は難渋を極めた。しかし最終的に第一世代「**KKS**」技術に比し生産性を更に二倍に向上させることに成功した。この技術は**DSM**では採用されなかったが、

<sup>35</sup> 2011年7月1日インタビュー。

<sup>36</sup> 同上。

<sup>37</sup> 2008年にはザイロンと合わせ、「スーパー繊維事業部」へ改組された。

<sup>38</sup> 2011年7月1日インタビュー。

1998年の堅田第2系列(2K)に採用され、以後日本ダイニーマで増設されるすべてのプラントにおける基本技術となっている。

#### 第4節 日本ダイニーマ

本節では、日本においてダイニーマの生産を行っている日本ダイニーマの設立過程、現況、ダイニーマ事業全体の中での位置づけを見ていく。

##### 1. 日本ダイニーマの設立

日本ダイニーマ設立に至るには、まず1985年12月に設立されたDyneema VOFに遡ることが必要である。これはDSMと東洋紡がダイニーマ事業を本格的に進めていくに当たりオランダで設立した準備会社である。設立の背後には、DSMと東洋紡の両社が共存する場を作ろうという意図があった。資本金は150万ギルダー(当時のレートで約1億円)で、DSMが51%、東洋紡が49%を出資した。社長にはDSMのJ・フェルス・テーヘンが就任した<sup>39</sup>。

翌1986年、合弁事業契約が両社で締結され、5月14日にダイニーマ・ジャパン株式会社が設立された。資本金は2,000万円で全額Dyneema VOFが出資しており、オランダDyneema VOFの日本支社という位置づけであった。ダイニーマ・ジャパンへの出資比率はDyneema VOFへの出資比率がそのまま引き継がれ、DSM51%・東洋紡49%であった。日本での登記は1987年1月23日であった。

技術開発と契約の細部を詰め、1991年1月17日、ダイニーマの事業化とあわせ、日本ダイニーマ株式会社が設立された。設立当初の資本金は2,000万円、初年度12-13億円の売り上げ目標を設定していた<sup>40</sup>。1992年に資本金は8,000万円に引き上げられ、同時に出資比率を50%対50%へと変更された。役員は東洋紡から2名、DSMから2名となっており、東洋紡側の役員が代表取締役を務めている<sup>41</sup>。日本ダイニーマの設立に伴い、ダイニーマ・ジャパンは解散した。本社は東洋紡本社内、工場は東洋紡敦賀事業所と堅田研究所内にある。建物、土地は東洋紡からの賃借であり、資産としては製造機械を所有、操業は東洋紡への委託である。

ダイニーマのサプライ・チェーンは、前掲の図3に示されているが、ここでもう一度確認しよう。①まず、日本ダイニーマがDSMから原料を購入する。そして、②その原料をもとに、日本ダイニーマは、東洋紡に生産委託をする。③生産されたダイニーマを東洋紡とDSMに販売するというものであった。その後、出来上がったダイニーマ原糸をDSM、東洋紡が中間製品メーカーなどの顧客、世界のマーケットに販売する。佐野茂樹氏は、日本ダイニーマと東洋紡の関係について次のように述べている。

<sup>39</sup>資本金額、社長名については『日本経済新聞』1986年5月27日朝刊を参考にしている。

<sup>40</sup>『日経産業新聞』1991年1月18日。

<sup>41</sup>2011年9月29日講演。

つくっている人間は東洋紡の人間なのです。つくっているのは東洋紡の工場のポリエステルとかが並んだところに建屋があって、東洋紡の従業員がそこで日本ダイニーマの製品をつくっていると。ですから、ここには DSM の技術者は1人もいない<sup>42</sup>。

この発言からも明らかなように、日本ダイニーマはダイニーマの生産と、東洋紡と DSM に対しての卸を管理している会社であるといえよう。

## 2. 製品と生産規模

日本ダイニーマが生産する製品は原糸のみであるが、原糸を様々な中間製品、最終製品を生産しているメーカーに販売していることから、様々な太さを揃えている。たとえば、細番の代表である釣糸では号数が非常に多岐に渡るため、用いられる原糸にもさまざまな太さが要求される。他方で、船舶のタグロープでは太番が対応する。

表 41：日本ダイニーマの扱うラインナップ

デシテックス	フィラメント本数
55	48
85	70
110	96
140	96
165	140
220	192
275	192
330	280
440	390
1320	1170
1760	1560

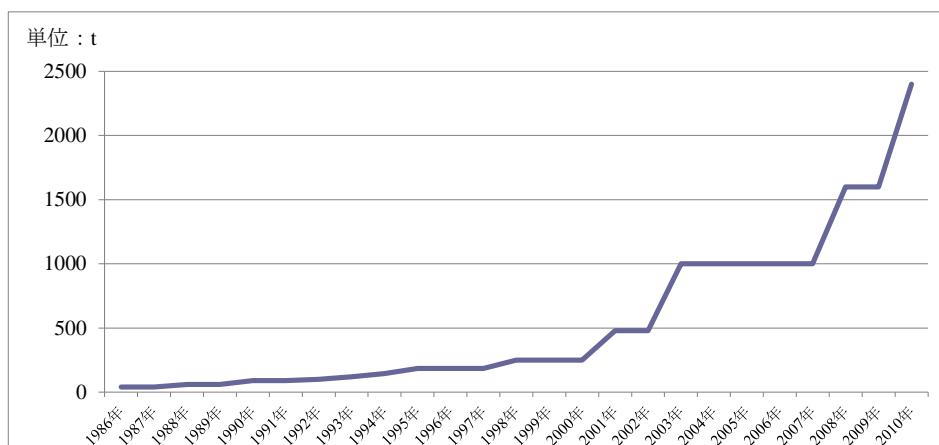
出所：東洋紡績株式会社「ダイニーマ」紹介パンフレットより筆者作成。

表 11 は、日本ダイニーマが生産し東洋紡が販売しているダイニーマの銘柄のリストである。フィラメントを束にして、様々な太さの原糸を生産している。太さが異なっても共通の設備で対応している。この表の 440 デシテックス以下が釣糸や手袋に対応している。DSM も現在は細番手を生産しているが、東洋紡の 9 種類に対し、55、110、165、220、440

<sup>42</sup> 2011 年 7 月 1 日インタビュー

デシテックスの5種類<sup>43</sup>にとどまっている。なお、漁網やロープは1760デシテックスと最も太い糸を用いる。技術的には太い方を作る方が容易である。

図7：ダイニーマ年間生産能力



出所：日本ダイニーマ株式会社社内資料より筆者作成。

図7はダイニーマの生産量の推移を示している。合併事業の開始は1991年であったが、生産規模が急増するのは2000年代に入ってからである。

表52：東洋紡におけるダイニーマ生産設備の展開

年	生産量(t)	生産設備
1986年10月	40	パイロット (堅田 1K) 稼動開始
1994年7月	145	堅田 2K 生産開始
2003年4月	1,000	敦賀 (DM1) 生産開始
2008年1月	1,600	敦賀 (DM2) 生産開始
2010年6月	2,400	敦賀 (DM3) 生産開始

出所：日本ダイニーマ株式会社社内資料より筆者作成。

表12は、ダイニーマの生産設備の増強の推移を示している。堅田とは総合研究所に併設された生産設備であり、敦賀はバイオやプラスチック、フィルム、ポリエステルタイヤコードなどの生産拠点である。2003年に生産の本拠地を堅田から敦賀に移動したのは、第一に釣糸や耐切創手袋の急増により研究所主体の堅田の敷地では今後の拡張余地がないためであった。現在でも堅田では年産480トン規模までダイニーマの生産を継続しているが、

<sup>43</sup>DSM 社内資料による。

それ以上はすべて敦賀工場に生産設備が増設される。第二に東洋紡はその頃から敦賀工場の中の他の化学繊維設備を縮小する方向にあり、そのインフラ面でそれを補完するような事業を欲したためであった。

2000年以降は、生産設備の増強が続くなど非常に好調な経営を続けているが、事業開始初期は多くの困難な問題に直面していた。1991年の事業化から10年程度は、生産規模も小さく、確たる需要もまだなかったため、非常に厳しい事業経営を強いられていた。堅田総合研究所時代は仮設倉庫をテントで作り、販売しきれなかったダイニーマを保管していたこともあった。90年代後半以降、それらの在庫はロープ分野での大きなヒットによって解消された。2000年以降は、ロープに加え作業用手袋や釣糸の好調が利益を支えた。稼働率は太番手が、利益は細番手が稼ぐといったプロダクト・ミックスを採用しているのである。次に用途開発の観点から、ダイニーマ事業の90年代と2000年代を振り返っていこう。

## 第5節 ダイニーマの用途開発

ダイニーマには様々な特性を持つ中間素材であり、特性に見合った用途開発の成功が事業の成否を大きく左右する。表13はダイニーマの具体的な開発用途を整理したものである。スピーカー振動版は振動減衰性、超電導コイルホビンは負の線膨張係数、羽毛布団のメッシュは熱を放散する性質を生かしており、様々な性能をもとに用途が開発されている。

表13：用途開発の例

リリース時点	用途	開発主体	出所
1988年9月	スピーカー振動版	ケンウッド	1
1991年8月	男子短距離用陸上シューズの靴ひも（カール・ルイス選手が使用、当時世界新記録を達成）	ミズノ	2
1992年7月	海中防護ネット（トライアスロン大会で使用）	N/A	3
1993年5月	ゴルフ練習場のネット	ブリジストン	4
1996年8月	超伝導用素材（研究段階）	東洋紡	5
1999年11月	コンクリート補強シート	アイサワ工業	6
2003年9月	末続選手モデルのシューズの靴ひも	ミズノ	7
2003年10月	MRI用超伝導コイルホビン	東洋紡	8
2011年5月	羽毛掛け布団のメッシュ生地	高橋ふとん店・西川産業	9

注：リリース時点とはその用途が発表・発売・使用された時点を指す。

出所：1『日経産業新聞』1988年8月4日、2『日経産業新聞』1991年8月16日、3『日本経済新聞』1992年6月29日朝刊、4『日経産業新聞』1993年5月7日、5『日経産業新聞』1996年8月29日、6『日本経済新聞』1999年11月2日地方経済面中国B、7『日本経済新聞』2003年9

月5日朝刊、8『日経産業新聞』2003年10月6日、『日本経済新聞』2011年5月12日地方経済面四国より筆者作成。

本節では中でも、ダイニーマ事業に大きな影響を与えたロープ分野、作業用手袋・釣糸分野、冷感素材分野について、その背景も含め用途展開のプロセスを説明していく。

#### 1. ロープ分野：稼働率の向上させた太番手

1990年代前半、ダイニーマの生産能力は年産90トンから185トンへと拡大していた。しかしながら、当時の販売能力は生産能力を上回り、結果として在庫を抱えていたことを前節最後に指摘した。

まず、原価と在庫の関係からダイニーマのビジネスモデルを簡単に説明しよう。ダイニーマの原料はポリエチレンであり、変動費は比較的安価で安定していた。そのため、操業率を高めることができれば、固定費を引き下げることが可能となり、販売価格は大幅に低減するのである。さらに、量が出れば、原価が高い古い在庫を原価の安い在庫に一新することが可能となる。このビジネスモデルの観点から、在庫を解消できるほど稼働率を高めるには、大量にダイニーマを用いるロープ分野での用途開発に注目が集まった。

当時のロープ市場、特に高強度・低比重というダイニーマの特性が生かされるタグロープ市場について見ていこう。タグロープに関連する事業領域はタグ会社とロープメーカーに分けることができる。前者のタグ会社とは、港内での大型船の離着岸をロープでの牽引・船先で押すことでサポートすることを事業としている。当時、貨物量の減少とその後の阪神大震災の影響で、特に神戸港と大阪港ではタグ会社は苦戦していた。

後者のロープメーカーとはタグロープ自体を製造している企業のことである。東洋紡は社内の汎用化学繊維部門からのロープメーカーを紹介してもらい<sup>44</sup>、ロープメーカーの協力を得て、ダイニーマでタグロープを生産し軽量化を実現させた。従来、タグロープの素材としてはポリプロピレン、ナイロン等の汎用化学繊維が主流であった。これらの素材は安価ではあるが、強度がそれほど高くなかったことから、タグロープとして必要な強度を達成するためにはロープを太くする必要があった。太くしたことによって、タグロープの重量は上がり、取り扱いも困難となる。

表14にあるようにダイニーマ・タグロープを用いるなら、購入価格は従来よりも高くなったが、耐用期間が延び、軽量であることから作業員の人数を減らすことも可能となり、タグ会社に経済的なメリットが発生する。

こうしてヒットしたロープに用いられる1760デシテックスのダイニーマ原糸は、その時期の生産量の7割を占め<sup>45</sup>、生産設備の稼働率を高めるという効果を持った。一方、東洋紡は汎用化学繊維を取り扱っていたため、ダイニーマのタグロープは既存事業と、さらには

<sup>44</sup>2011年7月1日インタビュー。

<sup>45</sup>2011年9月29日講演。

紹介してくれた自身の事業部門と競合してしまった。しかし、佐野茂樹氏は当時を振り返って次のように述べている。「東洋紡としましたら、他者に新しい素材で奪われるよりずっとましだと、こういう選択だったんです」<sup>46</sup>。

**表 14：従来タグロープとダイニーマ製タグロープとの比較**

	従来タグロープ	ダイニーマ製 タグロープ
直径	100-120mm	60-80mm
重量	6kg/m	2.5kg/m
価格	300-500 千円 /200m	1500 千円 /200m
耐用期間	3-6 か月	2 年以上
タグボートに必要な作業員数	5 名	4 名
その他	破断時衝撃が大きく、死亡事故あり	破断時衝撃は比較的小さい

注：耐用期間が5年を超えたケースもある。

出所：東洋紡績株式会社社内資料より筆者作成。

2000年代に入り、神戸・大阪で採用されたタグロープは全国的に認知されるようになった。さらにダイニーマは、船舶を接岸するために使用される係留索へとその用途を拡大させていった。従来、ロープ強度の必要な大型船舶や高額船の係留索には、スチール製のワイヤーロープが使用されていた。しかし、ワイヤーロープでは①重量、②取扱い、③環境負荷という点で問題があった（表 15）。

**表 15：ワイヤーロープによる問題点**

要因	概要
重量	<ul style="list-style-type: none"> <li>・係留作業員の負担大</li> <li>・燃費へ悪影響</li> </ul>
取扱い	<ul style="list-style-type: none"> <li>・グリスによるメンテナンスが必要</li> <li>・バリ等による作業中の怪我が多発</li> </ul>
環境負荷	グリスによる港湾への悪影響

出所：東洋紡績株式会社社内資料より筆者作成。

しかし、ダイニーマ・ロープを使用することによって、これらの問題点はすべて解決す

<sup>46</sup>2011年7月1日インタビュー。



るため、需要が増加した。特に重量はワイヤーロープの 5.7kg/m に対し、ダイニーマ・ロープでは 0.778kg/m と約 8 分の 1 となり、効果は顕著であった。また、 그리스による港湾汚染がないため、世界中の港湾を利用することが可能となる。そのため、ダイニーマ・ロープに対する需要は増加し、スチール製ワイヤーロープを代替することができた。

タグロープと異なり、東洋紡はもともとワイヤーロープを扱っていなかったため、係留索にダイニーマを使用したとしても、既存の事業との重複を避けることができた。

## 2. 作業用手袋・釣糸：利益を稼いだ細番手

図 7 に見た 2000 年以降の生産拡大の要因のもう一つは、作業用手袋と釣糸の需要が急増したことであった。そして、その急増は多分に競合他社からの紹介という偶然によって引き起こされていた。三井石油化学工業株式会社（以下、三井石油化学工業）は 1985 年からダイニーマと競合するテクミロンと呼ばれるポリエチレン繊維を工業化しており、用途開発で先行していた<sup>47</sup>。テクミロンは超高分子量ポリエチレンをゲル紡糸法で紡糸するスーパー繊維であり、ダイニーマとは技術的には極めて類似性が高いものであった。三井石油化学工業は独自技術と主張していたため、この製法自体が特許に抵触すると DSM が異議を申し立てた。特許訴訟となり、結果として三井石油化学工業が協定和解し、1993 年に事業から撤退した。DSM のこの訴訟によって、国内の超高分子量ポリエチレン繊維はダイニーマのみとなり、東洋紡の独占的な地位が確立された。

三井石油化学工業の撤退が東洋紡に与えた影響は、単に競合製品が市場から消えたことにとどまらなかった。三井石油化学工業は、東洋紡や DSM があまり手掛けてこなかったセグメントの顧客に対してテクミロンを供給していた。それが釣糸や耐切創手袋であり、その市場をある意味で譲り受けるような形となった。長尾貴庸氏はこの経緯について、次のように述べている。

（三井石油化学工業の撤退によって）お客さんがお困りになられて、そのときに、テクミロンさんがやはり、「東洋紡がダイニーマをちょっとやっているから、そっちにあたってみなはったらどうや」ということを言っていたようなのです<sup>48</sup>。

手袋には明確にパイオニアに位置づけられるメーカーが存在していた。それは姫路にあるショーワグローブ株式会社であった。ショーワグローブは、ファッション用以外の手袋での世界有数のメーカーであり、三井石油化学と共同してテクミロンを使用した作業用手袋を生産していた。既存の手袋はどうしても繊維からほこりが出てしまい、クリーンルームなどでは使うことが出来なかった。しかし、この手袋は薄くて手にフィットしてほこり

<sup>47</sup>『日本経済新聞』1987年11月16日朝刊。すでに、テクミロンは1986年10月にはソニーのスピーカーの振動版に用いられていた。

<sup>48</sup>2011年7月1日インタビュー。

が出ないという特性を持っており、クリーンルームに最適であった。ただ、耐切削性作業用手袋が利益に貢献するようになるのは2000年に入ってからのものであった。原糸がそのまま最終製品となるわけではなく、用途対応の開発およびマーケティングに時間を要したためである。

もう一つ、三井石油化学工業からの引き継いだ分野が、現在の主力の一つである釣糸である。もともと三井石油化学工業は釣糸大手2社へ原糸を供給していた。東洋紡はその他の釣糸メーカーへ少量のダイニーマ原糸を卸していたが、テクミロンの撤退後、三井石油化学工業の顧客に対しても原糸を販売するようになったのである。

2000年代に入り、作業用手袋用途と釣糸用途はダイニーマ事業に対して大きな影響を持った。第一が、作業用手袋用途だけでダイニーマ生産量全体の約4割を占めるようになった。釣糸用途も含めると、細番手だけで1990年代後半に7割を占めていたロープ用途を逆転するほどだった<sup>49</sup>。第二が、細番手は利益率が高く、太番手で稼働率を高め、細番手で利益を稼ぐというプロダクト・ミックスを実現することができたのである。第三に、作業用手袋や釣糸のために、表11のような細い銘柄のラインナップを揃えるということは、東洋紡のこれまでの歴史とマッチしており、東洋紡の得意分野であったことである。長尾貴庸氏は次のように語っている。

こちら東洋紡はもともと糸屋ですから、銘柄を細かく切り替えながら、細い銘柄をつくるというのは得意だったので、そこの住み分けにちょうどテクミロンの撤退がはまったのかなという気がします<sup>50</sup>。

### 3. 冷感生地：産業用資材以外への展開<sup>51</sup>

ダイニーマは、釣糸といった例外はあるものの、最近になるまで産業用資材用途を中心に展開されてきた。しかし、2010年以降、寝具という従来とは全く方向性の異なる用途へ適用されることとなった。

この用途開発は、節電という世の中の状況にマッチして誕生した。日本の電力消費量は一貫して伸びている一方、体温調節機能が低下しエアコンの制限により熱中症のリスクが高まる高齢者も増加している。電気の消費量を増やすことなく、快適に夏を過ごせるようにするために着目されたのが、冷感生地を用いた寝装用パッドであった。従来の冷感ジェルを封入した寝装用パッドでは、一度温まるとなかなか温度が下がらなかった。しかし、ダイニーマを用いた冷感パッドは熱伝導率と熱拡散率に優れているため、冷感ジェル封入型よりも冷たく感じられるのである。

熱伝導率や熱発散率に着目した用途は、従来は超電導に用いられる部材が主であり、東

---

<sup>49</sup>2011年9月29日講演。

<sup>50</sup>2011年7月1日インタビュー。

<sup>51</sup>冷感生地については前田（2011）を参考にしている。

洋紡社内でもダイニーマは産業用資材以外では無理だと考えられていた<sup>52</sup>。しかし、2010 春夏には 2-3 トン程度の生産量であったが、2011 春夏向けは 15 トンに生産が拡大した<sup>53</sup>。冷感生地のような成功は、東洋紡内部での既存の考え方を大きく変化させるきっかけとなったのである。

## おわりに

ここまで、ダイニーマの開発と事業化について説明してきた。冒頭に掲げた問題設定に従って、この事例を整理してみよう。

ダイニーマの開発プロセスは、DSM からスタートした。ただし、1950-60 年代は商業化を強く求められなかったため、DSM の中央研究所を中心に基礎研究を進めていた。しかし、1970 年代以降、DSM の業績が悪化するとともに、採算性が強く求められるようになった。DSM はダイニーマの先端技術を用いてスーパー繊維市場に参入しようとしたものの、内部ではダイニーマを大量生産する技術も、繊維市場に関する知識もなかった。そのため、繊維生産において高い技術力を有していた東洋紡との提携を進めることとなった。このコラボレーションへの背景には、DSM・東洋紡ともにオイルショックによる当時の主力事業部門の採算悪化と、汎用製品から付加価値の高いスペシャルティ化学領域への転換という、経営資源の選択と集中を伴う戦略的な製品ポートフォリオの変革を策定するとの意思決定があった。DSM にとっては脱バルク・ケミカルであり東洋紡は脱衣料用繊維と高付加価値製品の開発が重要な目的なのであった。

生産技術のボトルネックは、生産性の低さであった。生産性を確保するために、東洋紡は研究開発を進め、「球晶ゲル溶解法」「パウダー直接溶解法」「乾式紡糸の採用」といった原材料を糸にする上での技術的ブレイクスルーを達成した。ここに基礎技術は DSM、工業化技術は東洋紡という、経営資源の補完関係をベースとした研究開発上の分業関係が見られた。

事業化する際の組織には、最終的には持ち分を折半した合弁会社形態が採用された。ライセンスやどちらかの社内での垂直統合、あるいはどちらかの持ち分を過半のままにする形態もありえたものの、50%-50%の合弁会社形態を採用している。そして、実際に事業を行う際は、原料の供給を DSM が、生産を東洋紡がという分業関係を見ることができる。

ダイニーマは、海外の原材料メーカーと日本の高い技術力を持つ繊維企業との間のコラボレーションによって、高い付加価値を生み出したイノベーションである。このコラボレーションのきっかけは、DSM の基礎研究への投資の削減にあった。これは、IBM がルー・ガースナーによって垂直統合の程度を弱め、研究開発部門の大きな削減を行なって以降、外部の経営資源の戦略的な利用を積極化させたのと同様である。また、日本の繊維産業の

<sup>52</sup>2012 年 2 月 23 日メール・インタビューによる。

<sup>53</sup> 『繊維ニュース』2011 年 7 月 8 日。

競争力の低下とともに、東洋紡も高い付加価値の製品の開発が重要な課題となっていた背景も、外部で生み出された技術の導入に対する抵抗を少なくしていたと考えられる。

もちろん、ダイニーマを生み出したDSMと東洋紡の合併事業に課題がないわけではない。第一が、東洋紡が販売するダイニーマ製品とDSMのダイニーマ製品が世界のマーケットで競合する、という現象が見られていることである。第二が、中国をはじめとするアジア市場は急速成長市場である一方、模倣品、侵害品があとを絶たないことである。そして第三が、1980年代に集中して取得された特許の期限が切れ、新規参入企業が増加していることである。帝人株式会社だけでなく<sup>54</sup>、中国・韓国のメーカーも開発に成功している。その結果、東洋紡の技術に準拠しなくても達成できる品質の製品が市場に投入されている。DSMと東洋紡にとっては、市場に認知されて確立されたダイニーマというブランドの維持管理、更なるイノベーション、生産性向上によるコストダウン、新たな用途開発、などによる市場の拡大などが重要になっている。

#### 参考資料

- DSM. (2011). *DSM factbook 2011*. DSM website  
[http://www.dsm.com/en\\_US/cworld/public/investors/downloads/publications/factbook\\_2011.pdf](http://www.dsm.com/en_US/cworld/public/investors/downloads/publications/factbook_2011.pdf)  
(2012年6月10日閲覧)。
- Jacobs, Martinus J.N. (1999). *Creep of gel-spun polyethylene fibres : Improvements by impregnation and crosslinking*, Eindhoven : Technische Universiteit
- Koningsveld, R., Pennings, A. J. (1964). "Crystallization Fraction of Polymers." *Journal of the Royal Netherlands Chemical Society*83, 552-556.
- 前田徳一 (2011)「強いだけじゃない！スーパーポリエチレン繊維」『繊維製品消費科学』 Vol.52, No.11, pp.687-690。
- 村瀬浩貴(2010)「PBO 繊維の構造と特性」『SEN'I GAKKAISHI(繊維と工業)』 Vol.66, No.6, pp.176-180。
- 日本ダイニーマ株式会社社内資料。
- 日本経済新聞社(1979)『今日から役立つ日経の産業知識・会社紹介 繊維』日本経済新聞社。
- 太田利彦(1984)「超高強度繊維に関する最近の進歩」『SEN'I GAKKAISHI(繊維と工業)』Vol.40, No.6 pp.407 (1)-418(12)。
- 大田康雄(1998)「超高強度ポリエチレン繊維の機能と用途展開」『SEN'I GAKKAISHI(繊維と工業)』 Vol.54, No.1 pp.8 (8)-11(11)。
- 大田康雄(1999)「超高強度ポリエチレン繊維「ダイニーマ®」の開発」『SEN'I GAKKAISHI(繊維と工業)』 Vol.55, No.12 pp.413(12)-417(16)。

---

<sup>54</sup>帝人株式会社ウェブサイト <http://www.teijin.co.jp/news/2010/jbd101110.html> 参照 (2011年12月20日閲覧)。

- 大田康雄(2004a)「高強度・高弾性繊維」『SEN'I GAKKAISHI(繊維と工業)』 Vol.60, No.6 pp.270(138)-274(142)。
- 大田康雄(2004b)「高強度ポリエチレン繊維の紡糸・遠心過程における微細構造発現について」『SEN'I GAKKAISHI(繊維と工業)』 Vol.60, No.9 pp.451(19)-455(23)。
- 大田康雄(2007)「新しいファイバーにデキルコト」『SEN'I GAKKAISHI(繊維と工業)』 Vol.63, No.3 p.135(1)。
- 大田康雄(2008)「スーパー繊維とその用途展開」『繊維機械学会誌』 Vol.61, No.8.pp.53-62。
- 大田康雄(2010)「高強度ポリエチレン繊維「ダイニーマ®」」『SEN'I GAKKAISHI(繊維と工業)』 Vol.66, No.3 pp.91(11)-97(17)。
- 田附重夫(1985)『ファインポリマーの世界』岩波書店。
- 東洋紡績株式会社『有価証券報告書』各期版、東洋紡績株式会社 WEB サイト (2012年6月10日閲覧)。
- 東洋紡績株式会社 (1986a)『百年史 東洋紡(上)』東洋紡績株式会社社史編纂室。
- 東洋紡績株式会社 (1986b)『百年史 東洋紡(下)』東洋紡績株式会社社史編纂室。
- 東洋紡績株式会社 (2011)『ファクトブック 2010』東洋紡績株式会社 WEB サイト (2012年6月10日閲覧)。
- 東洋紡績株式会社「ダイニーマ」パンフレット。
- 東洋紡績経済研究所(1980)『繊維産業』東洋経済新報社。
- 東レ株式会社『トレカ技術資料』東レ株式会社ウェブサイト  
<http://www.torayca.com/download/pdf/torayca.pdf> (2012年6月10日閲覧)。
- van Rooij, A. (2007). *The company that Change Itself R&D and the Transformations of DSM* Amsterdam University Press.
- 安田浩・伴薫・大田康雄(1991)「最新のゲル紡糸」『SEN'I GAKKAISHI(繊維と工業)』 Vol.47, No.10 pp.595 (49)-601(55)。
- 頼光周平(2010)「ポリアリレート繊維(その特性と用途)」『SEN'I GAKKAISHI(繊維と工業)』 Vol. 66, No. 3, pp.86-90。

## 新聞

- 『日本経済新聞』1986年5月27日朝刊、1987年11月16日朝刊、1992年6月29日朝刊、1999年11月2日地方経済面中国B、2003年9月5日朝刊、2006年5月16日地方経済面北陸、2011年5月12日地方経済面四国。
- 『日経産業新聞』1988年8月4日、1991年1月18日、1991年8月16日、1992年7月18日、1993年5月7日、1996年8月29日、2003年10月6日、2004年1月16日、2008年4月9日。
- 『繊維ニュース』2011年7月8日。

WEB サイト (2012 年 6 月 10 日閲覧)

DuPont [http://www2.dupont.com/DuPont\\_Home/en\\_US/index.html](http://www2.dupont.com/DuPont_Home/en_US/index.html)

DSM [http://www.dsm.com/en\\_US/cworld/public/home/pages/home.jsp](http://www.dsm.com/en_US/cworld/public/home/pages/home.jsp)

日本化学繊維協会 <http://www.jcfa.gr.jp/>

帝人株式会社 <http://www.teijin.co.jp/>

東レ株式会社 <http://www.toray.co.jp/>

東レ・デュポン株式会社 <http://www.td-net.co.jp/>

東洋紡績株式会社 <http://www.toyobo.co.jp/>

インタビュー等 (所属はインタビュー時点のものを記している)

2011 年 7 月 1 日 筆者によるインタビュー、於東洋紡績株式会社本社ビル

安田純夫氏 (日本ダイニーマ株式会社社長)、佐野茂樹氏 (東洋紡績株式会社機能マテリアル事業総括部長兼スーパー繊維事業部長・執行役員)、長尾貴庸氏 (東洋紡績株式会社ダイニーマグループ マネジャー)、渡邊正和氏 (DSM 顧問・FRJ Consulting Ltd.)

2011 年 9 月 29 日 講演 オープン・イノベーション・コンソーシアム第 2 回、於六本木アカデミーヒルズ 49

佐野茂樹氏 (東洋紡績株式会社機能マテリアル事業総括部長兼スーパー繊維事業部長・執行役員)、渡邊正和氏 (DSM 顧問・FRJ Consulting Ltd.)

2012 年 2 月 23 日 筆者によるメール・インタビュー

佐野茂樹氏 (東洋紡績株式会社機能マテリアル事業総括部長兼スーパー繊維事業部長・執行役員)

了