

平成24年度中小企業支援調査  
(セルロースナノファイバーに関する国内外の研究開発、  
用途開発、事業化、特許出願の動向等に関する調査)

報告書

平成25年3月

株式会社三菱化学テクノリサーチ



## 目次

第1章	はじめに	1
第2章	ナノセルロースの海外技術動向調査	2
第1節	海外現地ヒアリング調査機関	2
第2節	北欧・北米におけるナノセルロース開発推進体制	3
1.	フィンランドのナノセルロース開発推進体制	3
2.	スウェーデンのナノセルロース開発推進体制	6
3.	ノルウェーのナノセルロース開発推進体制	7
4.	米国のナノセルロース開発推進体制	8
5.	カナダのナノセルロース開発推進体制	9
第3節	北欧・北米のナノセルロース技術開発及び事業化の状況	13
1.	フィンランドにおけるナノセルロース技術開発及び事業化の状況	13
2.	スウェーデンにおけるナノセルロース技術開発及び事業化の状況	18
3.	ノルウェーにおけるナノセルロース技術開発及び事業化の状況	20
4.	米国におけるナノセルロース技術開発及び事業化の状況	22
5.	カナダにおけるナノセルロース技術開発及び事業化の状況	26
第4節	ナノセルロース研究開発機関の開発ポジション	31
第5節	ナノセルロースの安全性評価	32
第6節	ナノセルロースの標準化	34
第7節	共同開発などにおける特許の取り扱い	36
第3章	国内外の特許出願動向調査	38
第1節	特許出願動向の解析方法	38
第2節	セルロースナノファイバー（CNF）の特許出願動向	40
1.	CNF 特許出願の全体動向	40
2.	CNF 特許出願の技術区分動向	42
第3節	セルロースナノクリスタル（CNC）の特許出願動向	51
1.	CNC 特許出願の全体動向	51
2.	CNC 特許出願の技術区分動向	52
第4章	おわりに	60
第1節	海外現地ヒアリング及び特許動向調査結果のまとめ	60
1.	欧米諸国のナノセルロース技術開発の現状、我が国との比較	60
2.	特許動向の現状	61
第2節	ナノセルロース技術の事業化への道筋	61
1.	サンプル供給体制の確立	61
2.	CNF の高機能化と用途開発の継続	62
3.	標準化及び安全性の評価	62
4.	新たな前処理技術の最適化	63
5.	新たな基盤技術開発に向けた取組	63
6.	本格的な事業化に向けた今後の体制	63



## 第1章 はじめに

製紙業は、紙の国内需要量の構造的な減少が進行する中で、紙以外の分野における、木質バイオマス資源利用による新規事業の開拓が喫緊の課題となっている。その1つとして、セルロースナノファイバー<sup>1</sup>などのナノセルロース<sup>2</sup>素材が有望視されており、我が国を始め、海外においても官民が一体となって、研究開発、事業化を進めているところである。

そこで、我が国におけるナノセルロースに係る研究開発の円滑な推進や事業化に資することを目的に、セルロースナノファイバー（以下、「CNF」とする）とセルロースナノクリスタル<sup>3</sup>（以下、「CNC」とする）のナノセルロースに係る国内外の研究開発、用途開発、事業化、特許出願の動向などの調査を行った。

---

<sup>1</sup>本報告書において、セルロースナノファイバーとは、木質パルプなどを原料とし、リファイナーや高圧ホモジナイザなどによる機械処理、あるいはTEMPO酸化などの薬品処理によって得られ、平均幅が数～20nm程度、平均長さが0.5～数 $\mu\text{m}$ 程度のサイズの繊維状物質とする。

<sup>2</sup>本報告書において、ナノセルロースとは、セルロースナノファイバー及びセルロースナノクリスタルの総称とする。

<sup>3</sup>本報告書において、セルロースナノクリスタルとは、木質パルプなどを原料とし、酸加水分解処理と機械的解繊処理の組み合わせによって得られ、平均幅が数～10nm程度、平均長さが200nm程度の紡錘形（状）物質とする。

## 第2章 ナノセルロースの海外技術動向調査

ナノセルロースは、その軽さと強靱な性質が注目されている天然素材であり、日本を含め世界的に開発競争が激化している。そうした状況の中で、日本におけるナノセルロースに係わる研究開発の円滑な推進や事業化に資することを目的に、2012年12月10日～12月20日に亘ってパイロットプラントでの検討が進んでいる北米及び北欧の研究機関を訪問し、研究開発の動向、事業化や用途開発の取組みについて調査を行った。

### 第1節 海外現地ヒアリング調査機関

現地ヒアリング調査を行った13の研究機関の一覧を表2-1に示した。

表2-1 現地ヒアリング研究機関の一覧

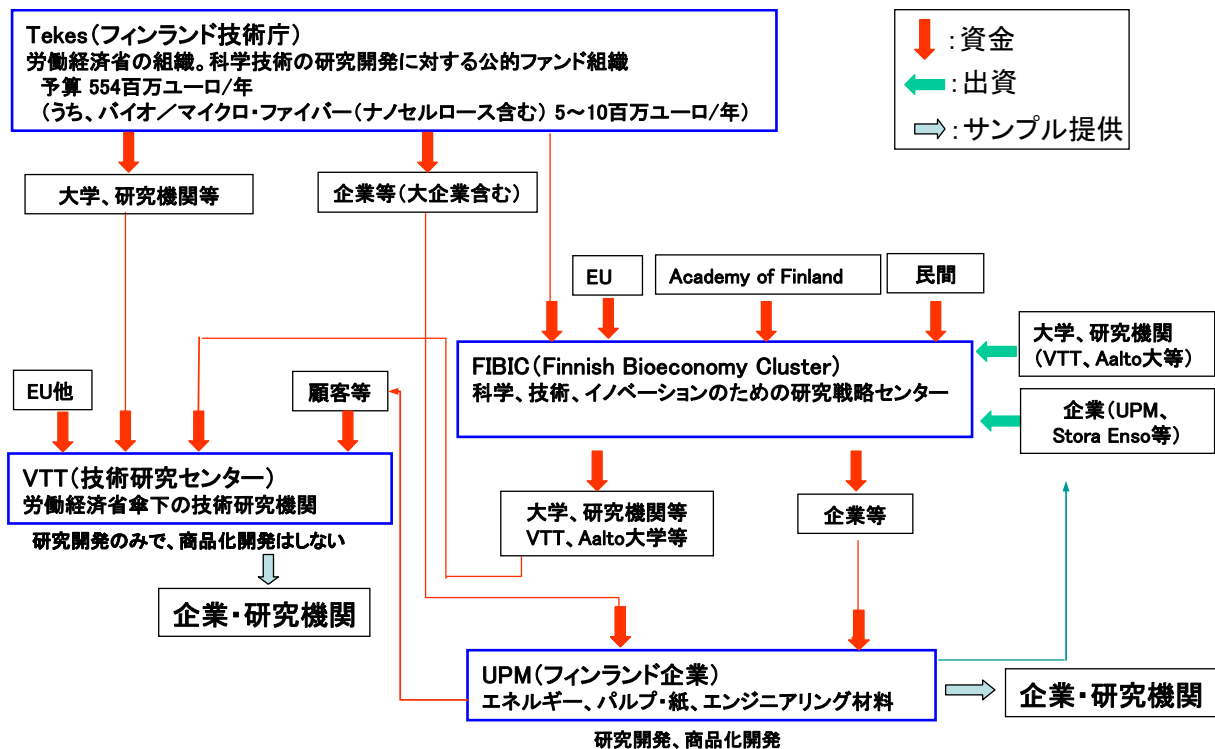
地域	国	訪問日程	研究機関	研究機関の種類
北欧	ノルウェー	12月10日	PFI(Paper and Fibre Research Institute)	研究開発企業
	フィンランド	12月11日	TeKes(フィンランド技術庁)	公的ファンド組織
		12月11日	VTT Technical Research Centre of Finland	公的研究機関
		12月11日	Aalto 大学	大学
		12月12日	FIBIC(Finnish Bioeconomy Cluster)	研究支援機関
		12月13日	UPM-Kymmene(以下「UPM」と記載)	製紙企業
	スウェーデン	12月14日	Innventia	研究開発企業
北米	米国	12月17日	メイン州立大学	大学
		12月18日	FPL(Forest Products Laboratory)	公的研究機関
	カナダ	12月19日	FPIInnovations	研究機関
		12月19日	ArboraNano	研究支援機関
		12月19日	CelluForce	ベンチャー企業
		12月20日	トロント大学	大学

## 第2節 北欧・北米におけるナノセルロース開発推進体制

### 1. フィンランドのナノセルロース開発推進体制

フィンランドにおけるナノセルロースに関する研究開発及び事業化推進体制を図 2-1 に示した。

図 2-1 フィンランドにおけるナノセルロース研究開発及び事業化推進体制



フィンランド労働経済産業省の一組織である Tekes（フィンランド技術庁）は、科学技術分野の研究開発やイノベーションに対して金融的側面から支援を行っており、ナノセルロースに対する支援は 2006 年から開始されている。

Tekes の人員は国内外合わせて 370 人であり、Tekes 全体の 2012 年の事業費は 554 百万ユーロである。その内、ナノセルロースを含むバイオファイバー、マイクロファイバー関係の予算は 5~10 百万ユーロとなっている。大学や研究機関が共同で取り組んでいる研究開発プロジェクトに対して、研究開発や実用化初期段階のリスク低減を図るため、資金面から支援を行っており、特に、一研究機関で取り組むにはリスクが大きいものに対して支援が行われている。科学技術の振興やイノベーション技術の実用化を支援の対象としている。フィンランドの企業のみならず、多国籍企業のフィンランド子会社も支援の対象となっている。

Tekes の支援先は、1/3 が大学や研究機関など、2/3 が企業である。企業の内訳は、35%が起業 6 年未満のベンチャー企業、35%が従業員 500 人未満の中小企業、30%が従業員 500 人以上の大企業である。

Tekes は、ナノ材料、バイオ材料や機能性材料開発プログラム（2008 年~2012 年の 5 年間、総額 24.7 億ユーロ予算のうち Tekes から 14.1 億ユーロを助成）として、研究機関向けプログラム（名称：NASEVA）と企業向けプログラム（名称：NASU）の二つのプログラムを実施している。

実用化に向けてナノセルロースの構造設計を行うプログラムである NASEVA は、ナノ関連事業に補助金を拠出している（補助率 60%）。NASEVA の事業主体は VTT と Aalto 大学を中心としたコンソーシアムであり、NASEVA のプロジェクト毎に UPM などの企業が参加し、必要に応じて守秘義務契約を締結している。

NASU では、企業の開発プログラムに補助金を拠出している（補助率 50%）。補助金は自社設備などの開発には使用することができない。

フィンランドでは、Tekes による直接の支援だけでなく、フィンランドの科学、技術、イノベーションのための研究戦略センターである FIBIC (Finnish Bioeconomy Cluster) を通じた開発支援も行われている。

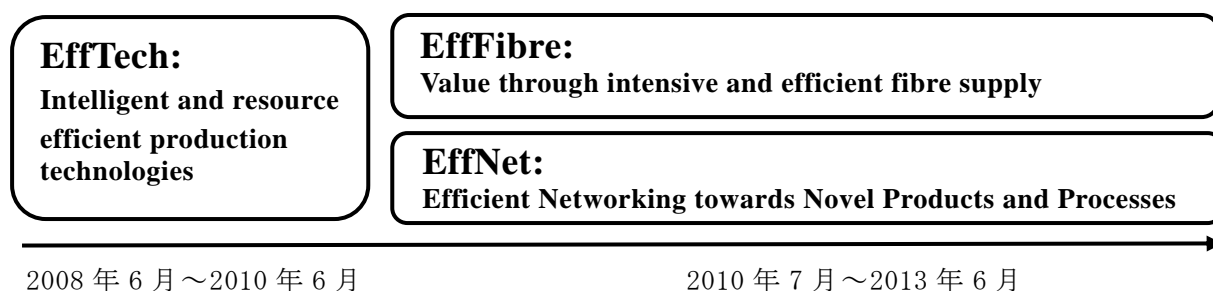
FIBIC は、フィンランドにおける企業、大学や公的研究機関に対する民間資金・公的資金の調達及び管理を行う六つの科学技術革新戦略センター (SHOK) の一つであり、バイオ分野を担当している。FIBIC の前身は、企業と主要研究機関や大学によって 2007 年に設立された Forestcluster であり、2012 年 8 月に名称を変更している。FIBIC には主に民間企業が出資しており、主な出資者とその出資比率は、UPM (15%)、Stora Enso (15%)、VTT (10%)、Metsa グループ (Metsa、Metsa Fibre、Metsa Board、15%) である。また、Andritz (10%) や Kemira (10%) などの装置・薬品メーカーや Aalto 大学なども出資している。

FIBIC には今後予定されているプログラムを含め下記の六つの戦略研究プログラムがある。

- ① Intelligent and resource efficient production technologies
- ② Future Biorefinery
- ③ Bioenergy (今後実施予定)
- ④ Packaging (今後実施予定)
- ⑤ Customer solutions for the future (今後実施予定)
- ⑥ Wood valley (今後実施予定)

その研究プログラムの一つである「Intelligent and resource efficient production technologies」プログラムの中に、ナノセルロースをベースにした新しい製品やプロセスの開発、商品設計が盛り込まれている EffNet (Efficient Networking towards Novel Products and Processes) がある。EffNet は、図 2-2 に示すように 2010 年 6 月で終了した Efftech が二つに分かれた方の一つの研究プログラムであり、1,500 万ユーロの予算で 2010 年 7 月から 2013 年 6 月までの期間に亘って行われるプログラムである。

図 2-2 FIBIC の「Intelligent and resource efficient production technologies」研究プログラム





EffNet の目標は、新しいエネルギーと資源の効率的な生産技術を開発することにより、森林クラスター全体の効率、柔軟性、持続可能性を向上させることである。EffNet の研究プログラムは 10 のワークパッケージ (WP) で構成されており、ナノセルロースをベースにした新しい製品やプロセスの開発が WP1 から WP4 において行われる。次世代の紙と板紙のデザインと製造法の開発は、WP5 から WP9 までのワークパッケージプログラムで行われる。WP1 から WP9 までの中で市場価値及び実用化の可能性の高いものについて、WP10 でのパイロットまたは生産プラントによる実証が行われることになっている。

EffNet においては、ナノセルロースの開発に関して、材料、プロセス、製品の 3 つを軸としてそれぞれのテーマが並行して実施されている。

FIBIC は、ナノセルロースの紙用途では、各種の CNF 及び CNC による開発を行っているが、下記テーマについて関心を持っている

- ①50%フィラー含有のスーパーカレンダー紙
- ②フレキシブル、平滑性、寸歩安定性、耐熱性などの特性向上
- ③プリンテッドエレクトロニクス

CNF の市場は色々な分野で拡大しつつあり、用途分野が大きく広がっており、製紙メーカー以外にも水処理用化学製品メーカーの Kemira や関連する装置メーカーなどが FIBIC の研究プログラムに関心を示している。

フィンランドの国家戦略的な研究を、川上から川下まで重複することなく効率的に実施するうえで、FIBIC は有効な組織であり、情報が一元化され、研究のスピードアップが図られている。一企業では資金の提供を受けにくいのが、FIBIC を通して、企業がまとまって申請すると資金の提供を受けやすいシステムになっている。

## 2. スウェーデンのナノセルロース開発推進体制

スウェーデンにおけるナノセルロースに関する研究開発及び事業化推進体制を図 2-3 に示した。

図 2-3 スウェーデンにおけるナノセルロースの研究開発及び事業化推進体制

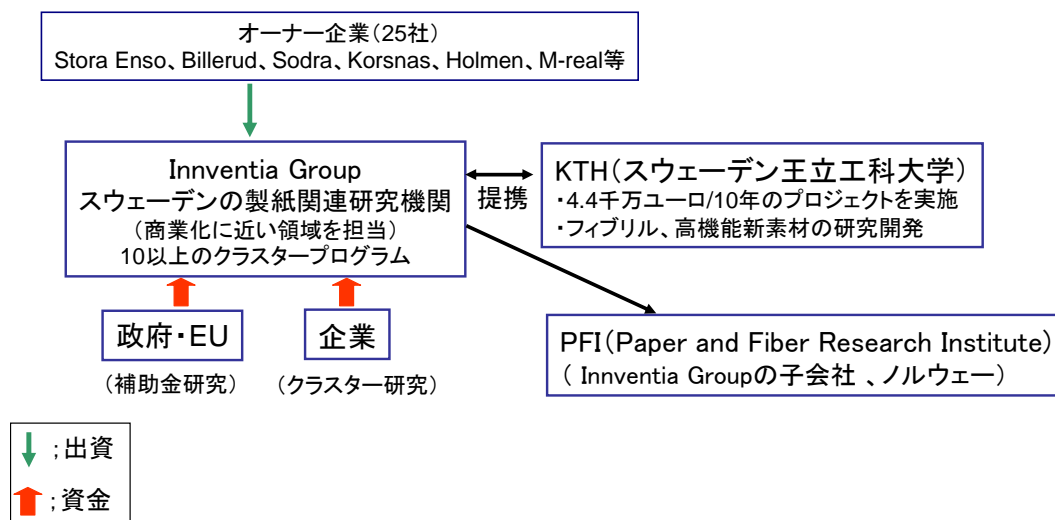
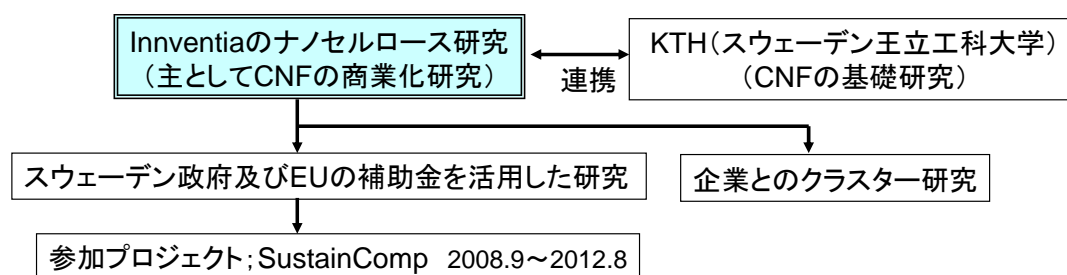


図 2-4 Innventia のナノセルロース開発推進の取組み



スウェーデンの製紙関連の研究機関である Innventia は、パルプ、紙、包装材料、グラフィックメディア、物流に関する研究開発を行っており、年間売上高は 3,700 万ユーロ、全従業員数は 250 名である。業務内容としては、スウェーデン政府や EU の補助金を利用した研究が 1/3、企業と進めるクラスタープログラムが 1/3、コンサルタント業などが 1/3 である。Innventia は、企業との連携による研究が多く、商業化に近い領域の研究が中心となっている。Innventia へ出資している企業は現在 25 社であり、Stora Enso、UPM、Billerud、Sodra、Korsnas、Holmen、M-real などが名前を連ねており、製紙、製紙薬品、製紙機械など幅広い企業が出資している。

Innventia の研究成果を利用するには、研究対象に応じて参加企業を募集し研究を推進するクラスタープログラムに参画する必要がある。現在、10 以上のクラスタープログラムがあり、主な研究対象としては基本的なパルプ、紙製造工程に関するものの他、ナノセルロース、バイオリファイナリなどが挙げられる。Innventia は、SustainComp (Development of Sustainable Composite Materials: 持続可能な複合材料の開発) などの公的資金で実施されるプログラムや企業を募って行うクラスタープログラムを通して研究を行っている。ナノセルロースのクラスタープログラムとして、「Nanocellulose Process Cluster 2012-2014」が

ある。

Innventia と連携している KTH(スウェーデン王立工科大学)ウッドサイエンスセンターは、2009年2月に発足したスウェーデンにおけるナノセルロースの材料開発の新拠点であり、10年間で44百万ユーロのプロジェクトを立ち上げている。

### 3. ノルウェーのナノセルロース開発推進体制

ノルウェーにおけるナノセルロースの開発は、Innventia グループの子会社である PFI (Paper and Fiber Research Institute) を中心に進められている。

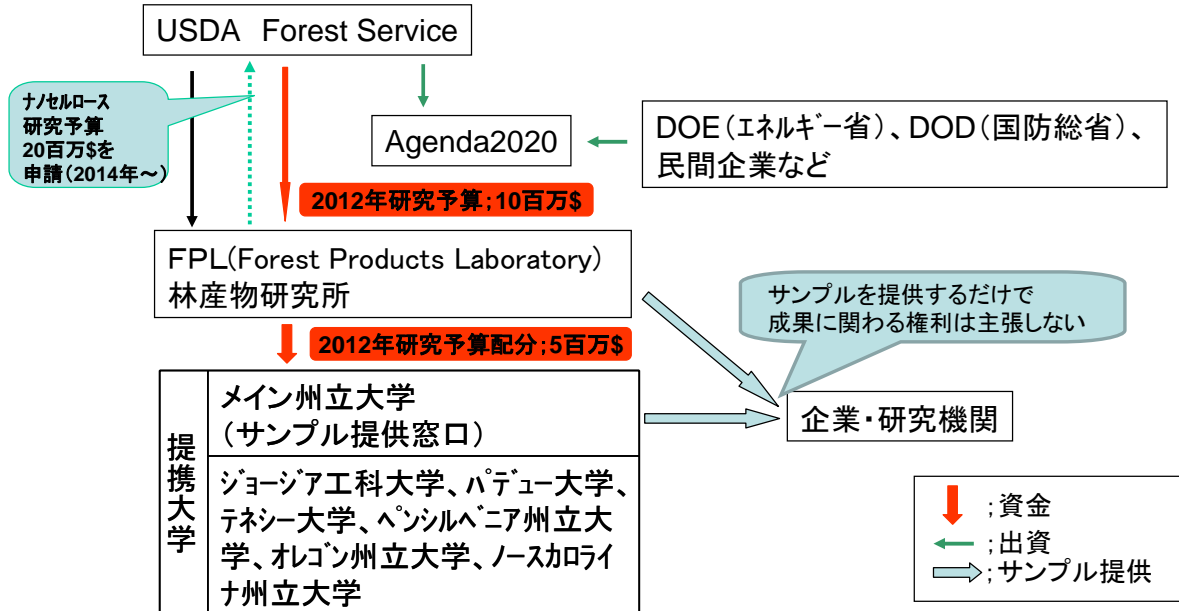
PFI は 1923 年に設立された木質系材料 (木質繊維、パルプ、紙)、新規のバイオベース材料及びバイオ燃料を研究する独立した研究機関であり、2004 年に Innventia の子会社となっている。現在の出資比率は Innventia が 95%、残り 5% が製紙メーカーとなっている。2011 年の売上高は 42 百万 NOK (約 6 億 3 千万円) である。

PFI 全体の研究者は 24 人 (約 10 人が博士号を持つ。加えて博士、ポスドクを約 10 人雇用) で、大小含め 30 のプロジェクトに関与している。全研究者の 1/4 がナノセルロースに従事している。オープンリサーチが基本であるが、企業との提携で行われる研究は非公開で実施されている。PFI で行われる研究は基礎研究が中心で、パイロット検討、実用化研究は企業が中心になって実施されている。また、NTNU(ノルウェー科学技術大)や SINTEF(ノルウェーの公的研究機関)と密接に連携して研究開発を進めている。

#### 4. 米国のナノセルロース開発推進体制

米国におけるナノセルロースに関する研究開発及び事業化推進体制を図 2-5 に示した。

図 2-5 米国におけるナノセルロースの研究開発及び事業化推進体制



1910年に設立された米国農務省森林局（USDA Forest Service）は、保有する7,800万ヘクタールの森林の保全・再生と有効活用を図っており、年間予算は51億ドル（2011年）、うち、研究開発予算は約3億ドルである。米国では2005年以降、1,009の製材所、15のパルプ工場が閉鎖されるなど林産物の利用低下とそれに伴う雇用の喪失（29万人の常勤雇用が消失）が進んでおり、林産物の新たな高付加価値製品を生み出すことが重要課題となっている。その一環として、CNF、CNCの研究開発が開始された。ナノセルロースの開発支援は、米国農務省森林局のR&D部門を担っているFPL（Forest Products Laboratory）を通して行われている。FPLには164人の常勤職員（研究者50人）が在籍している。

2012年の研究予算1,000万ドル（競争的資金が400～500万ドル、バイオマス関連補助金が500万ドル）の内、半分の500万ドルはFPLの研究に使用され、残り半分の予算は提携する7大学（メイン州立大学、ジョージア工科大学、パデュー大学、テネシー大学、ペンシルバニア州立大学、オレゴン州立大学、ノースキャロライナ大学）に分配されており、各大学で各々の特徴をいかした研究が行われている。支援先及び支援金額はFPLが決定している。

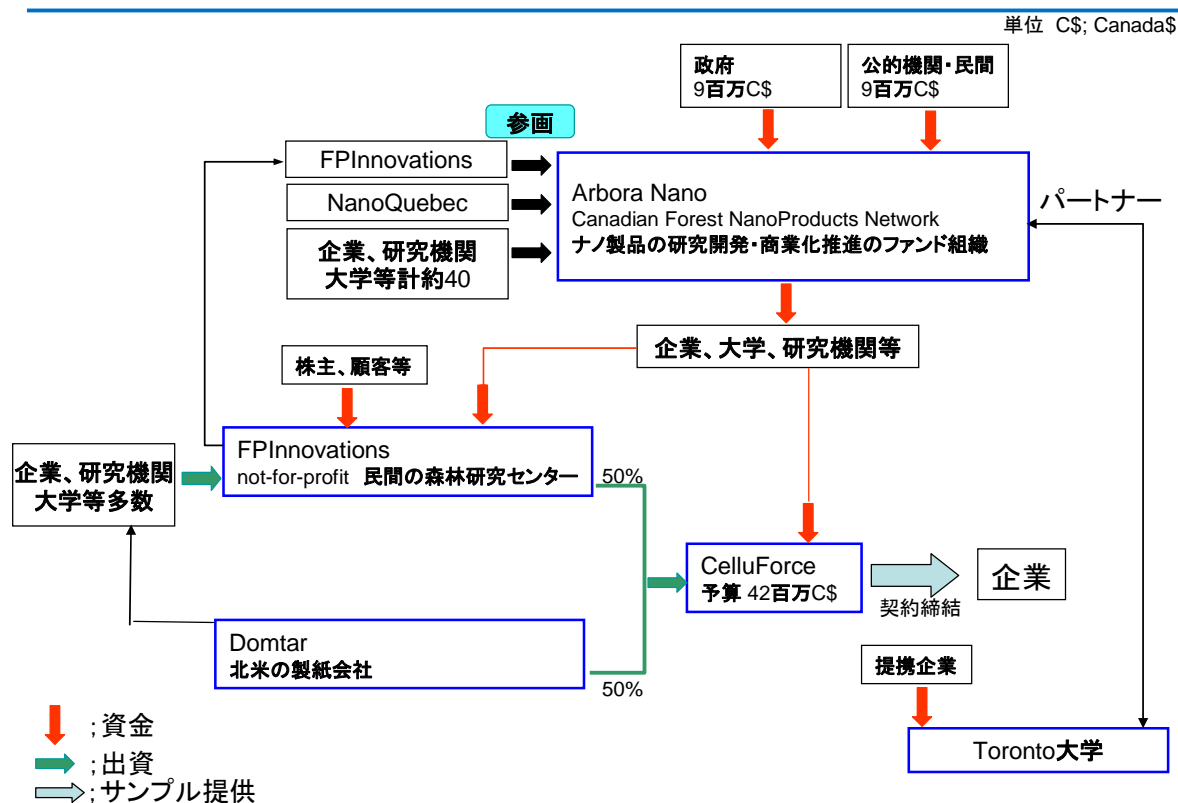
2011年には、180万ドルの予算で9つのプロジェクトが実施されているが、その内の1つにメイン州立大学の「ナノセルロースの表面改質と乾燥方法」が採択されている。

FPLは、民間企業、米国農務省森林局、DOE（米国エネルギー省）、DOD（米国国防総省）が出資しているAgenda2020（紙業・林産物産業の新技术開発を目指す産学官連携協定）を通じ、2014年より2,000万ドルをナノセルロース研究に使用出来るように米国農務省森林局に申請している。

## 5. カナダのナノセルロース開発推進体制

カナダにおけるナノセルロースに関する研究開発及び事業化推進体制を図 2-6 に示した。カナダ林産業の国際競争力を強化することを目的に設立された林業関係の研究機関としては世界最大の民間非営利研究機関である FPInnovations が中心となり、カナダにおけるナノセルロースの開発を推進している。

図 2-6 カナダにおけるナノセルロースの研究開発及び事業化推進体制



FPInnovations は、世界最大の民間の非営利森林研究センターの一つである。カナダの林業は持続可能な開発と業界の実質的な科学、技術及び商業資本を最大限に活用することに焦点を当てた、カナダの森林資源のユニークな属性に基づいた革新的なソリューションを開発することを目指している。

FPInnovations では、11 の研究プログラムが稼働しており、その中の 1 つ「Biomaterials」プログラムにおいて CNC の研究が行われている。CNC の包装、複合材料、木材製品、バイオプラスチック、塗料、インキ、ワニス、繊維、化粧品用途への展開が検討されている。さらに、FPInnovations は、カナダの製紙会社である Domtar との合弁で CelluForce を設立し、CelluForce と一体となって、CNC の工業化生産に取り組んでいる（第 2 章第 3 節で後述）。

FPInnovations は、2009 年に NanoQuebec<sup>1</sup> などとともに、ナノ製品の研究開発・商業化を推進する研究支援ファンド組織である Arbornano を立ち上げている。Arbornano は、産官学の連携強化を目的としており、企業、研究機関、大学の計 40 機関が参画している。

<sup>1</sup> ケベック州の地域コンソーシアムであり、ナノテクノロジーにおけるイノベーションを強化することを目標としており、実用化のための産学連携に取り組んでいる。

ArboraNano から資金提供を受けて、現在 25 の研究プロジェクトが進行中である。ArboraNano における取組みを図 2-7 に、ArboraNano で実施されている 25 の研究プロジェクト一覧を表 2-2 に示した。

図 2-7 ArboraNano における取組み

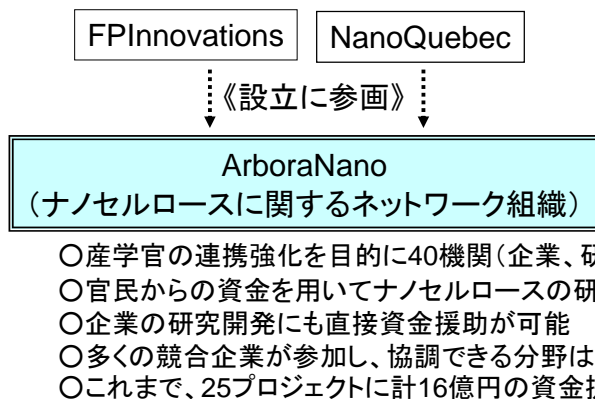


表 2-2 ArboraNano における研究プロジェクト一覧

No.	実施リーダー	名称	実施機関	実施期間
1	Mark Andrews (McGill 大学)	色彩及び暗号化の機能を高める CNC 使用インク	•Fonds de recherche du Québec – Nature et technologies (FQRNT) •NanoQuébec •Ahunatic 大学 •ICGQ	2010 – 2013
2	Carmel Jolocoœur (Sherbrooke 大学)	ナノ粒子分散のモニタリング及び制御	•Fonds de recherche du Québec – Nature et technologies (FQRNT) •Handy Chemicals	2010 – 2013
3	Bernard Riedl (Laval 大学)	多層木材用塗料	•Fonds de recherche du Québec – Nature et technologies (FQRNT) •NanoQuébec •FPIInnovations	2010 – 2013
4	Bernard Riedl (Laval 大学)	木材塗料用不透明水系ナノ複合材	•Fonds de recherche du Québec – Nature et technologies (FQRNT) •NanoQuébec •FPIInnovations	2010 – 2013
5	Sylvain Robert (Québec à Trois-Rivières 大学)	CNC の分子モデリング	•Fonds de recherche du Québec –Nature et technologies (FQRNT) •NanoQuébec •FPIInnovations •National Research Council (NRC) – National Institute for Nanotechnology (NINT)	2010 – 2013
6	Pierre Blanchet (FPIInnovations)	CNC を添加剤として使用した透明塗料	•FPIInnovations •Laval 大学 •Akzo Nobel	2010 – 2013
7	Gilles Dorris (FPIInnovations)	セルロースナノフィラメント補強紙製 包装品	•FPIInnovations •Natural Resources Canada (NRCan) •Ministère des Ressources naturelles et de la Faune (MRNF) •BASF	2011 – 2013
8	Jean Bouchard (FPIInnovations)	ポリマーとの親和性を向上させる CNC の相溶剤	•FPIInnovations •Natural Resources Canada (NRCan) •Ministère des Ressources naturelles et de la Faune (MRNF) •Waterloo 大学	2011 – 2013
9	Balazs Tolnai	軽量コート(LWC)紙用化石燃料由	•Kruger	2011 – 2012

No.	実施リーダー	名称	実施機関	実施期間
	(Kruger)	来ラテックスの CNC への置き換え	•Bio Vision Technology	
10	Mark MacLachlan (British Columbia 大学)	CNC による新規ナノ多孔膜	•British Columbia 大学 •Noram Engineering & Constructors •FPInnovations	2010 - 2013
11	Denis Rodrigue (Laval 大学)	CNC と熱可塑性樹脂から成るナノ補強発泡体	•Laval 大学 •Woodbridge Foam	2010 - 2013
12	Yaman Boluk (Alberta 大学)	掘削流体の損失循環材料としての CNC の調査	•Alberta 大学 •Marquis Alliance •C-Fer Technologies •Alberta Innovates - Technology Futures	2010 - 2013
13	Andriy Kovalenko (Alberta 大学)	CNC 系ナノコンポジット、ゲル、および発泡体の合理的な設計のための化学修飾 CNC の構造と熱力学のマルチスケールモデリング	•Alberta 大学 •National Institute for Nanotechnology •Woodbridge Foam •McGill 大学	2010 - 2013
14	Ahmed Koubaa (Québec en Abitibi-Témiscamingue 大学)	ナノ粒子添加による仕上げオイルの機能向上	•Québec en Abitibi-Témiscamingue 大学 •FPInnovations •Tembec	2010 - 2013
15	Patrice Mangin (Québec à Trois-Rivières 大学)	CNC/CNF/ナノ顔料の構造化を用いた機能性メカニカル紙・板紙	•Québec à Trois-Rivières 大学 •GL&V Canada •École Polytechnique •FPInnovations	2011 - 2013
16	Hamdy Khalil (Woodbridge Foam)	自動車・建材製品製造用ポリマー系におけるユニークな機能増強剤として、潜在可能性のある CNC の調査	•Woodbridge Foam •McGill 大学	2011 - 2013
17	Hamdy Khalil (Woodbridge Foam)	グラフト修飾 CNC/ポリウレタン相互貫通網目構造	•Woodbridge Foam •McGill 大学	2011 - 2013
18	Vincent D' Arienzo (Bell Helicopter Textron)	木製ナノ強化の航空宇宙用製品	•Bell Helicopter Textron •Nanoledge •Bio Vision Technology McGill 大学	2011 - 2013
19	Xiang-Ming Wang (FPInnovations)	CNC 使用の接着剤	•FPInnovations •CelluForce •NRCan •MRNF	2011 - 2013
20	Jean Bouchard (FPInnovations)	CNC の高機能織物への応用	•FPInnovations •CelluForce •NRCan •MRNF	2011 - 2013
21	Leonardo Simon (Waterloo 大学)	CNC 補強ポリカーボネートの自動車用途展開	•Waterloo 大学 •CelluForce	2011 - 2013
22	Monique Lacroix (INRS - Institut Armand Frappier)	ポリ乳酸/CNC 複合材の食品保存フィルムに封入する天然抗菌剤のカプセル化	•INRS •CelluForce	2011 - 2013
23	Michael Tam (Waterloo 大学)	CNC の個人用ホームケア、コーティング及び生医学システムへの改良、機能化及び応用	•Waterloo 大学 •CelluForce	2011 - 2013
24	Helen Burt (British Columbia 大学)	CNC の医薬用途	•British Columbia 大学 •CelluForce	2011 - 2013
25	Mark MacLachlan (British Columbia 大学)	キラルネマティック構造のための新しい加工方法	•British Columbia 大学 •CelluForce	2011 - 2013

ArboraNano は企業・大学などの研究開発、商業化を行う企業を集め、官民からの資金を用いてナノセルロースの研究開発・商業化を一気に加速させることを目的にしている。ArboraNano は、森林分野の製造業と航空宇宙、自動車、医療、化学、複合材料、及びコーティング産業間の提携関係を構築している。

ArboraNano で実施するプロジェクトは、各分野の専門家で組織される専門委員会による審

査後、ボードメンバーの承認を得て決定される。選定されたプロジェクトは、ArboraNano と参加企業がそれぞれ 50%の資金を出し合い、研究費とする。そのうち 13%は ArboraNano の運営費として利用される。知的財産の取り扱いについてはプロジェクトごとに取り決める。

ArboraNano 設立の背景には、2000 年に入ってから米国への輸出が減少し始め、カナダの森林産業の急激な落ち込みがあり、既存の用途（パルプ、木材製品）に代わる新たな林産物を開発する機運が高まったことがあり、CNC 研究の促進を目指している。

ArboraNano のユニークな点は、企業の研究開発にも直接資金援助を行えることができることである。これまでに 25 のプロジェクトに 1,600 万カナダドルの資金提供を行っている。ArboraNano 参加企業や大学は資金面での援助を受けられる他に、研究開発投資のリスク低減が図られ、他業種とのネットワーク形成、大学・企業との共同研究開発を行えるなどのメリットを得ることができる。

ArboraNano への参加形態には、メンバーとパートナーの 2 種類がある。メンバーは、ArboraNano 内のプロジェクトに参加して資金援助を受け、知的財産を保有することができるが、資金や物品の提供を行う必要がある。パートナーは、契約が存在せず、資金援助を受けたり、知的財産を保有することは出来ないが、研究で得られた知的財産の実施許諾を受けることはできる。メンバーは大学を中心に 23 団体であり、パートナーは企業・大学など 18 団体である。

ArboraNano には多くの競合企業が参加している。例えば、CNC 供給では CelluForce、Alberta Innovates、FPInnovations、Bio Vision が参加しており、協調できる分野（安全性など）は協力するというスタンスである。

ArboraNano は、国から 900 万カナダドル、企業及び州政府から 900 万カナダドルの計 1,800 万カナダドルの資金を得ている。ArboraNano に出資している FPInnovations、Bell Helicopter Textron Canada、NanoLedge、Kruger、the Ontario Bioaute Council、Nano-Quebec は民間組織で、合計 530 万カナダドルを出資している。Le Fonds Quebecois de la recherche sur la nature et les technologies (FQRNT) と Alberta Innovated-Bio Solutions の 2 つはそれぞれの州での資金提供を行う公的機関で、250 万カナダドル、連邦政府のファンドが 120 万カナダドルを出資している。



### 第3節 北欧・北米のナノセルロース技術開発及び事業化の状況

#### 1. フィンランドにおけるナノセルロース技術開発及び事業化の状況

##### (1) VTT

VTT は、バイオ及び化学プロセス、応用物質、エネルギー、産業システム・マネージメント、情報通信技術、マイクロテクノロジー及び電子工学分野を中心とした研究を行っている北欧最大の研究機関で、売上高は約 300 億円、従業員数は 3200 名である。

VTT は、①顧客と契約を結ぶ守秘義務の下での研究、②EU プロジェクトなどの公的資金による企業・研究機関との共同研究、③VTT 予算で独自に行う研究の三つのパターンがにより研究を進めている。

VTT が直接、研究成果を商品化することはなく、製品化に関心のある企業と共同開発することにより資金を獲得したり、特許の使用許諾を与えるという形をとっている。また、ブラジル、米国、韓国にも研究拠点を設けている。

VTT は、ナノセルロースに係わる SUNPAP(Scaling Up Nanoparticles in Modern Paper Making, EU Project) プロジェクトに参加していた。SUNPAP は EU 第 7 次フレームワークプログラム内での大規模共同プロジェクトで、2009 年 7 月 1 日～2012 年 6 月 30 日の 3 年間、総予算 980 万ユーロ(内、70%が欧州委員会により拠出)で実施され、22 の機関が参加した。このプロジェクトは、ラボレベルからパイロットレベルへスケールアップするための新規プロセス開発やナノセルロース製品の性能向上を図ることで、欧州の製紙業界の競争力強化を図ることを目的としていた。SUNPAP は 2012 年に終了し、現在新プロジェクトを EU に申請中である。これまでに提案した用途についてより製品化に近い研究のプロジェクトとすることが検討されている。

また、VTT は、UPM 及び Aalto 大学とともに 2008 年～2012 年に亘って行われたナノセルロース技術センター (FCNT) において、主に基礎研究面からナノセルロースの開発を支援した。

VTT では、CNF の製造方法及び用途開発として、下記の研究を行っている。

##### ①CNF の製造方法に関する研究

前処理：カルボキシメチル化、TEMPO 酸化、カチオン化、酵素処理

機械処理：マスコロイダーとマイクロフルイタイザー

化学修飾：シリル化、エポキシ化、エステル化(酸クロライド)、二重結合導入、エポキシ基導入、グラフト化

また、樹脂中でリグニンを大量に含む CNF をラッカーゼによるラジカル反応で疎水化する手法を開発しており、化学修飾を含めて樹脂との混合を想定した疎水化処理にも取り組んでいる。

##### ②CNF の用途開発

###### ・CNF フィルム

パイロットマシンを用いて、巻き取りによる CNF の半透明シートの作製を行っている。プラスチック基板上に CNF スラリーを塗布し、蒸発によって乾燥させている。シートには可塑剤を少量添加し、しわの発生を抑えている。化学処理により透明度を高めたシートも作製可能である。特殊なパイロットコーティングマシンを用いて作製しており、マシンスピードは非常に遅い(数 m/分)。用途として、包装材料やプリンテッドエレクトロニクス基板などを

想定している。

図 2-8 に可塑剤有りの場合と無しの場合の CNF フィルムを示した。いずれもパイロットマシンで製造されたフィルムであるが、可塑剤が無いと乾燥時の収縮により切れてしまうため、連続フィルム（ロール）が製造出来ない。

図 2-8 可塑剤有無の場合の CNF フィルム



CNF フィルム（可塑剤有り）



CNF フィルム（可塑剤無し）

- ・レオロジー改質剤

食品、化粧品、エマルジョン安定剤、塗料、掘削助剤などの粘度コントロールに利用される。CNF は親水性が高く、低濃度でも粘度が非常に高い性質を利用した用途である。

- ・コンポジット

CNF 表面に直接カプロラク톤をグラフト重合させることで、CNF1%未満の添加で引張強度を向上でき、延性の高いコンポジットが得られる。

- ・製紙用添加剤

CNF2~4%の添加量で、フィラー量を大幅に増やすことができ、乾燥コスト低減などが期待できる。また CNF を泡塗工することで、紙の表面平滑性を上げ、印刷適正を向上させることができる。本研究はパイロットマシンによる実証実験を行っており、製品化を見据えたステージに移行していると考えられる。紙用途はマーケットが大きく、VTT 自身が紙に関するノウハウを持ち、自社でパイロットスケールの評価を行えるなど CNF の用途開発が行いやすい分野であり、最初の出口と位置付けている。

VTT の強みは、VTT 内に多様な分野の研究基盤が存在することである。例えば、CNF フィルムのプリンテッドエレクトロニクスへの展開が効率的にできる。

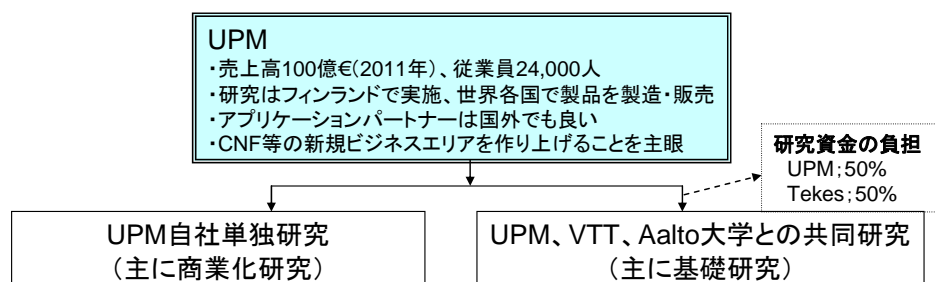
VTT は、安全性評価や国際標準化についてももしっかり取り組んでおり、世界的に CNF 研究をリードしている機関の一つである。CNF において最も積極的に安全性評価（第 2 章第 5 節で後述）を行っている。

## （2）UPM

UPM はフィンランドに本社を置く、製紙・製材メーカーで、世界 16 カ国に生産拠点を持つ多国籍企業である。研究は主にフィンランドで実施し、製造は世界各国で行うとビジネスモデルを持っている。新規ビジネスとして、バイオ燃料、バイオコンポジット、CNF、バイオケ

ミカルを検討している。UPM は、粘着紙、出版印刷用紙の売上は世界でトップシェアを誇る。エネルギー・パルプ、紙、エンジニアリング材料の 3 つの事業グループから成っており、バイオと森林産業の統合を目指している。世界全体で従業員が 24,000 人、2011 年の売上は 100 億ユーロを超えている。フィンランドは人口が少ないので売上げの 90% がフィンランド国外である。

図 2-9 UPM の概要



UPM は、商業化を見据えた UPM 単独の研究と、基礎研究を中心とした VTT 及び Aalto 大学との共同研究の 2 通りの方法で、ナノセルロース研究開発を進めている。UPM は、CNF 技術に関し、強力な特許ポートフォリオを確立しており、60 の特許及び特許ファミリーを保有している。

#### ① ナノセルロース製造パイロットプラント

UPM は 2008 年から製品開発プロセスの検討を開始し、2011 年 11 月に Otaniemi 工場に様々なグレードの Biofibrils の製造が可能なパイロットプラントを建設し、用途開発に伴う大量のサンプル供給が可能となっている。最初の CNF プラントはフィンランドで建設予定である。

Tekes からの資金は研究開発にしか使用できないので、CNF 製造パイロット設備は UPM の自社資金で設置している。

#### ② 用途開発

用途としては、製紙用（パッケージ）、レオロジー制御剤、コンクリート添加剤が有望と考えている。特に製紙用については、添加率が少なくても使用量が膨大であることに加え、製紙メーカーの知見を活かし、UPM のみで実用化ができると考えており、また、製紙用として使用出来るレベルまでコスト低減出来る見込であり、特に注力している。2011 年 10 月に、CNF で補強した特殊紙の最初の商業スケールでの生産を行っている。

コンポジットは、4 年前より検討したが、現在は開発を中断している。

#### ③ VTT 及び Aalto 大学との共同研究

2008 年に VTT、UPM 及び Aalto 大学で構成するナノセルロース開発に関わる研究組織であるナノセルロース技術センター (FCNT: The Finnish Center for Nanocellulosic Technologies) を立ち上げ、年間 500 万ユーロで 5 年間、合計 2,500 万ユーロの予算規模で、UPM、VTT、Aalto 大学から成る 50 名の研究体制（20 名は Aalto 大学より参加）で開発が行わ

れた。UPM が主導し、UPM と Tekes が資金を半分ずつ VTT と Aalto 大学に提供し、VTT、Aalto 大学で研究を実施している。UPM の役割は、研究に必要な資金とサンプルを供給することで、実際の研究は公的機関で実施されている。

機械処理のみ、化学前処理（カチオン、アニオン）を含め 5 グレードの Biofibrils（UPM の CNF）の製造プロセスを確立している。共同研究で得られた特許は UPM が使用できることになっている。

用途開発の対象としては、特殊紙、紙コーティング、パッケージ、建築資材などである。これまでに 70 報の論文と 40 件以上の特許を出願（うち 25 件は UPM）している。

図 2-10 UPM Biofibrils サンプル（左から No.1 ⇒ No.4）



No.	外観	濃度	化学処理	備考
1	白濁・粘状液体	1.5%	無し	未解繊の繊維があり白濁
2	透明・粘性液体	0.5%	有り	
3	白濁・ペースト	2.5%	有り	2 を濃縮。「UPM Biofibrils AS100」
4	白濁・そぼろ状	25%	有り	2 を濃縮。

### （3）Aalto 大学

Aalto 大学は、2010 年 1 月 1 日に、ヘルシンキ工科大学(TKK)、ヘルシンキ経済大学、ヘルシンキ芸術デザイン大学が合併して創設された。大学名は、フィンランド出身の建築家、アルヴァ・アールトに由来している。

Aalto 大学では、林産物の表面化学、木材化学、材料物理学、ポリマーテクノロジーや紙テクノロジーなどの研究グループが、新規用途開発を目的に 2008 年に Aalto 大学、VTT 及び UPM とで設立されたナノセルロース技術センターに参与している。

ナノセルロース技術センター設立に見られるように、VTT と緊密な連携をしている Aalto 大学では、以下の研究が行われている。

#### ①製造方法

- ・塩化水素ガス処理による CNC の製造  
高濃度の硫酸溶液を使うより、簡便かつ低コストで製造できる。

#### ②用途開発

- ・透明 CNF フィルム  
食品包装用に適しており、ロール・ツー・ロールで製造が可能である。水とゲルを使用す

るため、工業規模の製造にはボトルネックがある。加圧フィルタリングの工程があり、表面平坦性に難がある。VTT と Aalto 大学が開発した方法は、プラスチックフィルム上に均一にコーティングして製造する。主要な追加投資を必要とせずに既存の装置を用いて製造可能で工業生産プロセスに移行できる利点がある。VTT と Aalto 大学は CNF フィルムの製造技術の特許を申請している。なお、この開発は Tekes の Tailoring of nanocellulose structures for industrial applications プロジェクトによるものである。また、使用した材料は UPM から供給されている。

- ・医学検査用 CNF フィルム

医学的検査をサポートするための耐久性と手頃な価格の CNF フィルム製造の開発に成功している。新しい環境に配慮した、信頼性の高い CNF フィルムは、プラスチックフィルムよりも多様であり、例えば、疎水性、親水性、電荷を変更することができる。

- ・リグニンファイバーへの CNC 添加

ノースカロライナ州立大学と共同で研究開発を行っており、PVA、リグニン、CNC のエレクトロスピニングファイバーへの利用研究を行っている。

- ・ナノセルロースの表面改質

目的に応じた糖鎖を合成し、ナノセルロース表面に吸着させて、ナノセルロースの表面物性を簡便に変える手法を開発している。

## 2. スウェーデンにおけるナノセルロース技術開発及び事業化の状況

### (1) Innventia

Innventia のナノセルロース研究グループは 20 名程度で構成されており、CNF を精力的に研究する KTH(スウェーデン王立工科大学)やその内部組織である Biofibre Materials Centre (BiMaC)、Wallenberg Wood Science Center (WWSC) と隣接した立地で協力体制を取っている。その中で Innventia が商業化、大学・研究機関は基礎研究を中心に行っている。ナノセルロースを生産するパイロットプラントを完成させ、効率的な製造プロセスの工業化に向けた重要なステップとなり、また、多くの用途開発が可能になっている。

#### ①パイロットプラント

世界初の CNF パイロットプラントを 2011 年 2 月に稼働させており、建設期間を含めると 2009 年には建設計画を立てていたことが想定され、建設の決断が非常に早いと考えられる。Innventia は独立した研究機関であり、企業でもあるので、出資をすれば Innventia の技術を活用することができる。

今までの繊維の解離前処理プロセスはエネルギー消費が大きかったが、大幅なエネルギー消費削減を達成している。紙や複合材料などの用途開発するためには、ラボでの生産原料では十分でなかったが、パイロットプラントは一日あたり 100kg の生産が可能な設計になっている。投資金額は百万ユーロで、1 日当たり 8 時間稼働させ、1 回に 40~50kg の CNF を製造している。酵素品、アニオン品、カチオン品は製造可能であるが、溶剤対応はしていないのでカルボキシメチル化はできない。とりわけ製造量が多いのが酵素品である。酵素品は、リファイナーで叩解したパルプの酵素反応を 2 時間行い、酵素反応後 90℃で酵素を失活させ（反応釜は 150~160℃の圧力まで耐えられる設計）、リファイナー処理した後にホモジナイザーの最終処理を行っている。酵素反応時のパルプ濃度は、通常 2~3%だが、最大で 4%まで高めることができる。食品用途も検討しており、設備もそれに対応している。

#### ②製造方法

Innventia でのラボレベルのナノセルロース製造法を下記に示す。前処理として主に酵素処理法が行われている。

- ・酵素処理（リファイナー→酵素処理→リファイナー→ホモジナイザー）
- ・カルボキシメチル化（カルボキシメチル化（有機溶剤中で反応）→ホモジナイザー）
- ・カチオン化

#### ③用途開発

##### ・紙用添加剤用途の開発

Innventia には FEX マシンと呼ばれる試験用抄紙機があり、大量に製造した CNF を FEX マシンでの抄紙に利用し、CNF の紙用途への検討を行っている。

Innventia は、以下の理由により紙用途に注力している。

- マーケットが大きい
- 紙の原料であるパルプから作られる CNF が水分散体であるなどパルプと似た性質を持つことから、抄紙工程で使いやすい状態である
- 製紙メーカーの知見が活用できる

CNF 添加によるフィラー量(軽質炭酸カルシウム)増及びパルプ量減によるコストダウン、表面平滑性向上、バリア性付与などを図ることにしている。バリア性付与に関しては、高湿度下におけるバリア性能の低下が課題である。板紙に対してバリア性を付与することにより、アルミ代替を狙っている。また、CNF 層のラミネートを考えている。外部機関のパイロットコーターを使用して評価を行う予定である。

- ・コンポジット用途

SustainComp では、二軸押出機と射出成型機が新たに導入され、ポリ乳酸とのコンポジットによる緩衝材や強化プラスチックの用途展開が検討された。

### 3. ノルウェーにおけるナノセルロース技術開発及び事業化の状況

#### (1) PFI(Paper and Fiber Research Institute)

PFI は、印刷用紙、パッケージ、新規のバイオベースマテリアル、バイオ燃料の 4 分野に関する研究を行っているが、新規のバイオベースマテリアル開発の一環として、CNF の研究が行われている。

PFI は基礎研究に特化し、パイロット製造、工業化検討は企業がリードして、バランス良く研究が行われている。CNF の研究内容では他の研究機関と類似しているが、安全性評価については多くのデータを保有している。

ナノセルロース分野では、製紙、パッケージ、ペイント、メディカル関係の企業が興味を示しており、製紙、パッケージ関係の研究が主体となっている。

#### ①パイロットプラント

PFI、Sorda Cell(パルプ・木材資源企業)、Norske Skog(製紙メーカー)、SPX Flow Technology(デンマーク、装置メーカー)との共同で、1.5 トン/日の生産能力のパイロットプラントを SPX 社内に設置している。

#### ②製造方法

CNF の製造では、機械処理(ホモジナイザ、マスコロイダー)だけで行う方法と、前処理(TEMPO、カルボキシメチル化、酵素処理)を行った後に機械処理を行う方法の二通りの方法で行っている。CNF 製造に関する課題は、コスト(解繊エネルギー低減、安価な前処理)、生産性、用途に応じた最適な品質である。

カルボキシメチル化 CNF では、押出機を 3 回しか通していないにもかかわらず、濃度が 0.5% で非常に高粘度のゲル状で、透明度が非常に高く、高圧ホモジナイザの解繊効率が非常に高い特徴がある。

PFI は小型のホモジナイザー(SPX 製)を所持している。処理量は濃度 1% で 200g(固形分)/h で、各種研究を行うのに十分な量が得られている。

図 2-11 高圧ホモジナイザーによる CNF サンプル



高圧ホモジナイザSPX製(デンマーク)  
処理量: 200g/hで濃度1%



カルボキシメチル化CNF(ホモジナイザ)  
左: 未漂白、右: 漂白パルプを使用  
濃度0.46%、3パス、1000Bar、透明/ゼリー状

#### ③用途開発

ガスバリアフィルム、コーティング、製紙用薬品(紙力向上)、乳化安定剤、塗料、メデ



ィカル（ゲルシート、傷口パット）、フィルターなどでの応用を目指した用途開発を行っている。また、CNFを食品に添加しソーセージの触感を変えたり、CNFを例えばマヨネーズの粘度調節に使用することが検討されている。更に、将来的には耐水性紙容器の開発にCNFを配合することも計画されている。

#### 4. 米国におけるナノセルロース技術開発及び事業化の状況

##### (1) FPL(Forest Products Laboratory)

FPLには、製造プロセス開発、用途開発、分析・キャラクタリゼーションの3つの研究グループがある。ナノセルロースの研究開発の促進を目的に、FPL内にCNF及びCNCのパイロットプラントを建設し、メイン州立大を窓口として、CNFやCNCに興味を持つ大学、企業に有償でサンプル提供を行っている。

FPLはサンプル提供先の特許出願に関与せず、FPLからサンプル提供を受けた機関は、自由に特許出願することが可能となっている。

##### ①ナノセルロース製造パイロットプラント

2012年7月に170万ドルの資金でFPL内にCNF(TEMPO酸化パルプ製造)及びCNC製造用のパイロットプラントを設置した。プラントは4つの反応釜(容積100ガロン、100ガロン、1,000ガロン、1,500ガロン)と1つの加圧ろ過装置(容積200ガロン)、膜ろ過装置からなり、CNC製造対応のため全て耐酸仕様となっている。

また、ディスクリファイナー(TEMPO酸化パルプの解繊用)を数台、高解繊CNFの製造用にマスコロイダー(増幸産業製、実験室用の小型機)を1台保有している。

表 2-3 ナノセルロースの生産能力

CNF (TEMPO酸化パルプ)	100ガロン釜(容積:約400L)で2kgのCNF製造に7日間かかる。(1%濃度パルプで4kgまで仕込み可) 1,000ガロン釜を使って40kgまでスケールアップを計画中。
CNC	100ガロン釜(容積:約400L)で最大50kgの仕込みが可能。 濃硫酸による加水分解時間に1-2時間。精製、濃縮に3日かかる。

スプレードライ:2kg/日の処理量。凍結乾燥5リットル/日の脱水量

サンプル価格は、CNF(リファイナー処理)が30ドル/kg、CNF(TEMPO酸化)が1,200ドル/kg、CNCが200ドル/kgである。CNC、CNFの凍結乾燥品は、それぞれその倍の価格で提供している。実用化時のCNFの目標価格は2ドル/kg(低解繊品)、CNCは6~8ドル/kg程度と想定している。

これまでに、25~30機関(製紙メーカー3社、塗料、タイヤ、プラスチック、スケートボード、メディカル、サーフィンボード、食品容器メーカーなど)にサンプルを提供している。

FPLは、企業の行う実用化研究をアシストするという立場で、非公式で企業との共同研究を行っているが、サンプル提供先の川下企業との戦略的な連携までは行っていない。ただし、多くの機関がCNF、CNCサンプルを扱うことで、今後急速に研究が発展する可能性がある。

図 2-12 FPL の CNC パイロットプラントの外観



耐酸仕様(グラスライニング)パイロットプラント



解繊装置(マスコロイダー)



装置全景

## (2) メイン州立大学

メイン州立大学は、米国農務省森林局からの 150 万ドルの助成金をもとに、CNF パイロットプラントを建設し、サンプル供給を開始している。メイン州立大学は、ジョージア工科大学、ノースカロライナ州立大学、オレゴン州立大学、ペンシルバニア州立大学、パデュー大学とテネシー大学の 6 大学と共に FPL とのコンソーシアムを形成し、ナノセルロースに関する共同研究を開始している。

メイン州立大学にはナノセルロースの研究を行う組織として、Process Development Center (PDC) と Advanced Structure and Composites Center (ASCC) の二つがある。PDC には米国農務省森林局からの補助金を基に 1 トン/日の CNF パイロットプラントが建設されており、CNF の製造プロセスの確立や、紙用途への応用を検討している。ASCC は元来、木材コンポジットや建築材料の開発・評価を行う研究機関であり、その流れからナノセルロースのコンポジット研究を行っている。

### ① ナノセルロース製造パイロットプラント

2011 年に、米国農務省森林局からの 1 億 3 千万円 (1.5 百万ドル) の助成金を受け、米国初の CNF パイロットプラントを建設。費用はマスコロイダー (ディスクは 50cm 程度)、パーラー、ポンプの購入と、ディスクリファイナーの改良に用いられた。

製造する CNF は、リファイナー処理のみの解繊程度の弱いものと、マスコロイダーを用いて解繊程度を高めたものの 2 種類であり、化学前処理などは行っていない。リファイナー品の生産能力は 1 トン/日で、エネルギー消費量 1000kWh/トン、固形分濃度 3%にて処理を行っている。マスコロイダー品は 200~300kg/日の生産能力でエネルギー消費量は 1500kWh/トンである。スケールアップにあたっては、生産性の面からリファイナーが本命であると考えて

いる。

米国におけるサンプル提供の総合窓口であり、メイン州立大学で製造する CNF と、FPL で製造する TEMPO 酸化 CNF 及び CNC を提供している。提供価格は CNF が 30 ドル/kg、CNC が 250 ドル/kg である。リファイナー品は、現在合計 3 トンの依頼が入っており、多くの企業・研究機関から引き合いがある。

## ②用途開発

CNF の用途としては、製紙用添加剤やコンポジットを想定しており、高付加価値品についてはまだ研究を開始していない。

PDC には CNF のパイロットプラントと共に、抄紙機、コーターなどのマシンが存在し、パイロットプラントで製造した CNF を利用し、紙の強度向上、吸液コントロールやインク密度の向上を目的に、製紙用添加剤としての用途開発の実証実験を行っている。現在、12 名の専門スタッフが CNF 研究に従事している。

コンポジット研究を行っている ASCC には、300kg/時の処理量の工業規模の二軸混練機や、物性評価を行うための分析機器も充実している。CNF/PP コンポジットの開発においては、樹脂との親和性を高める手段として、マレイン化 PP を利用している。また、コンポジットを想定した場合、水分散体で製造される CNF を樹脂と混合するため、スプレードライ法の研究を進めている。スケールアップを検討して 2013 年 3 月までに 3~4kg/日の処理量のスプレードライヤーを稼働させる予定である。

製紙用途やコンポジットでは、解繊程度の低い CNF で十分という認識であり、CNF の低コスト・大量生産に主眼をおいている (2 ドル/kg が目標価格)。

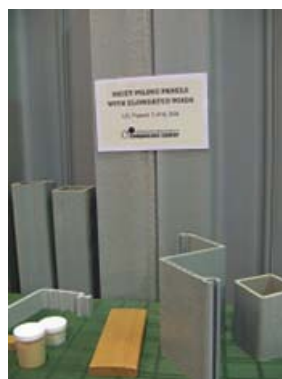
図 2-13 メイン州立大学の製造設備及び成型品



塗工機(紙、又はフィルム表面(片面)へCNF、又はCNCの塗工可能)



2軸混練機(木質材料の作成に使用)



ウッドプラスチック成型品(WPC)

既存の設備を利用できることから、製紙メーカーが CNF 製造に関心を示しており、製紙企業 3 社が 2013 年末までに 10,000 トン/年の CNF 製造プラント建設計画があるとのコメントがあった。

## 5. カナダにおけるナノセルロース技術開発及び事業化の状況

### (1) FPIinnovations 及び CelluForce

FPIinnovations と、CelluForce は、CNC の工業スケール生産、用途開発に一体となって取り組んでいる。

#### ①ナノセルロース製造パイロットプラント

FPIinnovations 及び CelluForce のパイロットプラントの建設状況を以下に示す。

2006年：FPIinnovations 内に最初のパイロットプラント建設 (0.5kg/日)

2011年5月：FPIinnovations 内に商業生産スケールのための研究成果を取り入れたパイロットプラントを建設 (3kg/日)

2012年1月：CelluForce が CNC 製造のデモンストレーションプラントを建設 (1 トン/日)

デモンストレーションプラントは、CNC 製造のさらなるスケールアップ、プロセスの最適化 (硫酸の再利用) などを目的に、建設決定から2年間で完成した。

今後、ArboraNano での研究プロジェクトや CelluForce のサンプル提供先の顧客の用途開発研究が進み、実用化が見えてきた段階で、商業プラントの規模 (25~100 トン/日のプラントを想定) を決定する予定である。商業プラント建設を決定した場合、商業生産までは3年かかるため、実用化は早くとも2016年以降となる見込みである。用途開発の状況次第で商業化の見通しが立たない場合は、商業用プラントの建設を行わない可能性もある。

#### ②CNC 製造方法

針葉樹の漂白クラフトパルプをグラインダー処理後、高濃度の硫酸中で加水分解し、硫酸処理したパルプをホモジナイザー処理することにより、CNC をひとつひとつ分離する。スプレードライの直前で硫酸基の対イオンを Na<sup>+</sup>に変換することで、CNC の乾燥後の再分散を容易にしている。

CNC の商業生産においては製造コストの面から、使用した硫酸を回収する必要がある、CelluForce のデモンストレーションプラントでは硫酸の回収・再使用が行われている。FPIinnovations のパイロットプラントでは、硫酸の使用量が少ないこともあり、硫酸の回収は行っていない。

製造される CNC の物性は、繊維長 110 nm、繊維幅 5 nm、硫酸基の量は 230 mmol/kg、デモンストレーションプラントの稼働状況は、ヒアリング調査時点で 500kg/日である。

デモンストレーションプラント稼働の初期には CNC が茶色に変色してしまう問題があったが、既に解決済みである。現在、硫酸とパルプの硫酸処理により CNC とともに生産される糖とを完全に分離できず、糖が系内に蓄積し、反応に悪影響が生じるという課題があり、対策を検討中である。

#### ③用途開発

FPIinnovations は、用途開発についても活発に行っており、下記の開発例がある。

- ・キラルネマティック液晶構造を利用した虹色フィルム

CNC スラリーを低温で乾燥させることで、キラルネマティック液晶構造を持ったフィルムを作製できる。塩濃度などの調整により、特定の波長のみを反射するフィルムも作製可能で

ある。偽造防止用の紙や木材用ニス、化粧品などへの利用を検討している。CNF にはない物性であり、CNC 独自の用途として期待している。

- ・ CNC 耐熱性の向上

樹脂材料と複合化するには CNC の耐熱性が重要だが、これまでの研究例では CNC は 125°C で分解が始まっていた。CNC に残留する微量の硫酸が、熱分解に関与していたと考えられ、FPInnovations では、CNC の精製を高めることで、CNC の耐熱性を 220°C まで高めることができている。

- ・ CNC の疎水性樹脂との親和性向上検討

ArboraNano 内のプロジェクトにて検討を行っている。

CelluForce は企業にサンプル提供するにあたって企業毎に契約を結び、サンプル提供する企業と共同して用途開発を行っている。ヒアリング調査時点で、企業からの問い合わせが 140 件、NDA（秘密保持契約）が 40 件、TCA（技術協力契約）が 33 件、JDA（共同開発契約）が 3 件となっている。このうち、実用化一歩手前のテーマは 3~4 件である。

北欧や米国の CNF がローエンド（紙、レオロジー改質剤）から攻め、ハイボリュームのマーケットを制し、その間に開発に進むと思われるハイエンドに移行しようとする戦略とは対照的に、カナダは、ハイエンド製品あるいは CNC 独自の性質を生かした用途に狙いを定めていると考えられる。

## （2） ArboraNano

ArboraNano では、現在 25 の研究プロジェクトが進行中であるが、その研究開発の状況を以下に示す。

- ・ CNC の樹脂との親和性向上の検討

コンジット作製のため、CNC の樹脂との親和性を高める手法を開発しており、以下の 3 つのアプローチが試みられている。

- 末端にアミノ基を有する基質のグラフト重合
- 有機性のカチオンによるイオン交換
- 界面活性剤の利用

グラフト重合及び界面活性剤の利用では、非極性溶媒に分散させることができている。ポリエステル、ポリプロピレン、ポリエステル、ナイロンとのコンジットを検討している。また、スケールアップが容易な疎水性 CNC 製造法も開発している。

- ・ 偽造防止に向けた CNC 含有インクの開発

CNC を乾燥させると、虹色のフィルムが形成されることを利用している。

- ・ 木材製品のコーティング剤への利用

UV 硬化ニスに CNC を添加することで、虹色のコーティングができる。インテリア用途を想定している。FPInnovations と Akzo Nobel の共同研究である。

- ・掘削用ボーリング泥水への利用

ボーリング泥水用の増粘剤としての利用を考えている。掘削時の循環水であるボーリング泥水を使って掘った後の屑の回収を行うが、浸透性の高い地層や割れ目があった場合、ボーリング泥水が戻って来ない場合がある。泥水の粘度を高めることで、泥水の回収率を高めることができる。

- ・メカニカルパルプ利用法の多様化

新聞用紙の需要減を背景に、ナノセルロースとメカニカルパルプを組み合わせることで新たな用途探索を行っている。塗工紙やインクジェット紙への利用や板紙へ添加することで、メカニカルパルプや添加剤の使用量削減を図ることにしている。

- ・コンピュータ解析

CNC の化学変性時の物性予測や、CNC フィルムの安定性、コンポジット作製時の親和性評価などを行っている。

- ・ナノセルロースを利用した包装材の開発

ナノセルロースを添加することで軽量かつバリア性を持たせた包装材の開発を行っている。

- ・CNC 含有の接着剤の開発

木材の接着に利用されるフェノールホルムアルデヒド樹脂、ジフェニルメタンジイソシアネート樹脂の強度の向上を検討している。

- ・CNC 含有レーヨン繊維の開発

レーヨンの弱点である強度（とりわけ湿潤時の強度）を改善している。既にパイロットスケールにて実証試験を行っており、大手レーヨンメーカーとの共同研究を開始している。

### （3）トロント大学

トロント大学は 1827 年に設立された、学生数 80,000 以上、教員数 6,000 以上の大きな大学である。教育・研究レベルも非常に高く、大学ランキングではカナダで 1 位の座に輝いている。Faculty of Forestry では、機械工学、化学工学、化学、経営学などと共同で林産物の利用を模索している。更に、企業を巻き込むことで研究成果の実用化を促進する取組みを行っており、ベンチャーの立ち上げも積極的に行っている。トロント大学の Pulp and Paper Centre では、産官学が連携し研究を行っている。トロント大学からは Pulp and Paper Centre に 120 名が参加している（教員 30 名、スタッフ 20 名、大学院生 55 名、学部生 15 名）。

トロント大学の Sain 教授は、CNF の研究開発以外に、バイオポリマーの開発、バイオポリマー複合材の自動車部材への適用研究や炭素繊維強化バイオポリマー複合材の軽量化研究などの研究開発を行っている。また、Sain 教授は、研究開発で得られた技術をベースとした製品を製造・販売するベンチャーを 3 社設立するなど、商業化を強く意識し研究活動を行っており、ナノセルロース研究を促進させるためには、製紙産業以外の企業・研究組織の参加が必要と認識している。



## ①製造方法

パルプ（固形分濃度 5%）を、木材腐朽菌の培地中で 1 昼夜攪拌処理した後、マスコロイダーを一度通している。マスコロイダー処理のみではパルプ表面しかフィブリル化しないが、菌と培養することで、菌の分泌するセルラーゼにより繊維内部も解繊しやすい状態となり、効率よくフィブリル化され、機械処理コストを抑えることができる。製造コストは 100 カナダドル/kg であり、将来的にはスケールアップを行い 20 カナダドル/kg を想定している。

## ②用途・製品開発状況

Sain 教授は、研究開発で得られた技術をベースに製品化を行い、ベンチャーを 3 社設立している。トロント大学は研究成果の企業化を奨励しており、企業化を行いやすい環境にある。Sain 教授によるナノセルロース製品化例として下記のものがある。

- ・コーティング剤 (Poly Bio Inc.、商品名「NatPro」)

CNF を 3% 添加した尿素樹脂、澱粉系のコーティング剤で、価格はポリウレタン系のコーティング剤と同程度である。

- ・メンブレンフィルター (Poly Bio Inc.、商品名「CEF MEMBRANES」)

タンパク質分離用の膜で、直径 90mm、細孔サイズは 100 nm、Water Flow Rate (70kPa) は 5 mL/min/cm<sup>2</sup>、Air Flow Rate (70kPa) は 2.8 L/min/cm<sup>2</sup> である。CNF は繊維幅 40 nm のものを用いている。製造方法はろ過に近い方法でキャストイングではない。既存のタンパク質用のフィルターの半分のコストで製造できる。2006 年に研究を終了し、2008 年から商品化を行っており、早くから着目しており、事業化へのフットワークの軽さが伺える。

- ・フィルム (Poly Bio Inc.)

半透明のフィルム（商品名「NanoCFILM」）と金属ナノ粒子でコーティングした透明フィルム（商品名「NanoCFOIL」）を製造販売している。半透明フィルムは引張強度 201 MPa、ヤング率 10 GPa であり、コンポジットやガスバリアを想定している。

金属コート透明フィルムは引張強度 150 MPa、ヤング率 6 GPa、透明度 89% であり、フレキシブルディスプレイを想定している。製造方法は改良した抄紙機を用いている。

以上の製品化例以外に、今後の製品化を睨んだ下記の研究開発が行われている。

- ・ナノセルロースの疎水化

ナノセルロースをキシランなどのバイオポリマーで疎水化する技術を開発している。

- ・CNF 配合ポリウレタン発泡体

ポリウレタン発泡体に CNF (1%) とリグニン (3~5%) を添加することで 50% の強度の向上が図られている。分散性、均一性が鍵となっている。自動車車体のバンパーを想定している。

- ・コンポジット

バイオポリマーと CNF のコンポジットで 50% の添加率で引張強度は 65 MPa 程度。ポリマーとのコンポジットでは引張強度が 64 MPa から 81 MPa に向上している。電気自動車のバッテリーの筐体を想定している。

2006 年にパルプ（添加率 50%）とマレイン化 PP 及び PP を混練することで、パルプをフィブリル化させたコンポジットを開発している。自動車の部品を想定している。

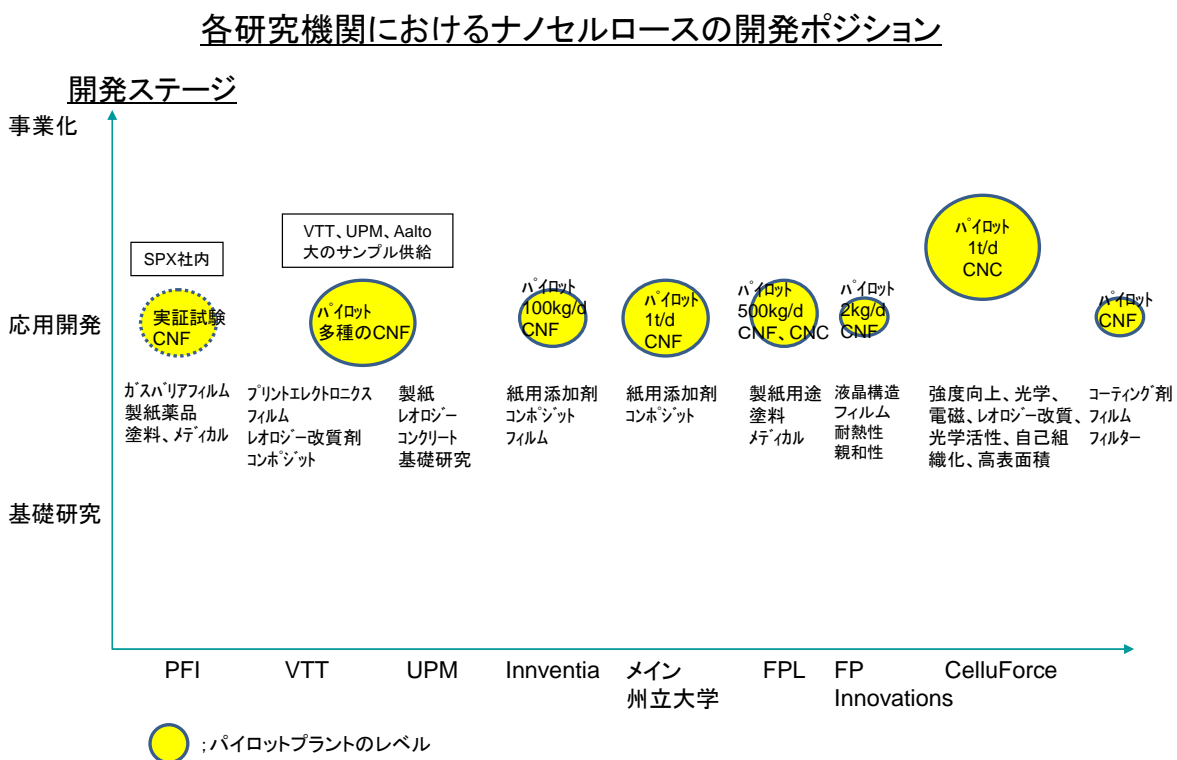
#### 第4節 ナノセルロース研究開発機関の開発ポジション

訪問調査して入手した情報、及びWebなどで公表されている情報に基づき、今回ヒアリング調査を行ったナノセルロース研究開発機関について、研究開発の内容及びパイロットプラントの概略を図2-14に示した。

各研究開発機関のパイロットプラントは、いずれもナノセルロースの大規模生産プロセスの実証及びナノセルロースの用途開発研究のためのサンプル製造を目的としたものである。これらのパイロットプラントの中で、CelluForceのパイロットプラントは、より商業生産プラントに近いものであり、大規模生産プロセスの実証及び用途開発用サンプルの製造と同時に、商業用プラントの建設のためのスケールアップデータ取得及び商業プラントで採用するプロセスの最適化も目的としている。

訪問調査を行った北欧・北米のナノセルロース研究機関ではいずれもナノセルロースの実証プラントを自機関ないしは連携で保有してサンプル調製を行い、用途開発に向けた検討を行っている。

図2-14 各研究機関におけるナノセルロースの開発ポジション



## 第5節 ナノセルロースの安全性評価

今回ヒアリング調査を行ったナノセルロース研究開発機関の、ナノセルロースの安全性評価に関する取組みを表 2-4 にまとめた。

表 2-4 ナノセルロースの安全性評価の状況

機関	安全性評価の状況
PFI	多種類の CNF の細胞毒性を評価し、CTAB 吸着 CNF 以外、毒性なしとの結果を得ている。
VTT	未修飾 CNF について細胞毒性・遺伝性試験を行い、毒性なしの結果を得ている。
UPM	UPM-Biofibrils の安全性を確認している。フィンランド労働健康研究所、Stora Enso と協力し、労働者の安全について評価を行っている。
Innventia	他の機関と連携して評価中である。
FPL	NIOSH(米国労働安全衛生研究所)で CNC の安全性を確認中であり、近くレポート提出予定である。
メイン州立大学	外部機関に評価依頼し、無毒との評価を得ている。
FPIInnovations	硫酸基を持つ CNC についてはカナダの安全性評価をクリアしている。
トロント大学	環境への影響、遺伝毒性、細胞毒性について試験し、安全との評価を得ている。

以下に、各研究機関のナノセルロースの安全性評価に関する取組み状況及び各研究機関のコメントを記載した。

### PFI

様々な食品、医薬品にセルロースが使用されており、セルロースそれ自身には毒性は無いと考えている。ナノセルロースが毒性を示すとすれば、ナノの形態、残存薬品、添加剤の影響が考えられる。

前処理法や乾燥方法、表面修飾法が異なる様々なタイプの CNF 材料の細胞毒性を ISO 10993-5 (Biological Evaluation of Medical Devices - Part 5: Tests for In Vitro Cytotoxicity) で評価した結果、界面活性剤の一種である CTAB (Cetyl trimethyl ammonium bromide) を吸着させた CNF 以外の CNF には細胞毒性は認められなかった (イタリアのモテナ大学と共同で実施)。

### VTT

これまでに、未修飾の CNF について細胞毒性、遺伝毒性試験などを行い、問題はなかった。現在の EU の規定ではナノ化したセルロースも通常のセルロースと同じ扱いとなるが、EU 内でナノ物質に関する議論が高まっており、CNF についても同枠組みで評価を行う必要があるという認識である。

化学変性した CNF (TEMPO やカチオン化) は通常のセルロースとしては扱えないため、これらについては安全性評価を別途行う必要がある。

### UPM

Occupational Safety(労働者の安全)については、UPM と Stora Enso の両社がフィンランド労働健康研究所 (Finnish Institute of Occupational Health) にサンプルを提出し、評価を受けている。製造物の安全関連については、EU 委員会や、ユーザーと協力している。UPM が製造した各種 CNF (Biofibrils) に関しては、UPM 独自に試験を行い、細胞毒性、炎症性、

遺伝毒性などが無いことを確認している。環境、安全、健康問題や標準化の課題については他国のパートナーと協力出来る分野である。

#### **Innventia**

安全性評価について Innventia 単独ではデータを収集しておらず、KTH など他の機関と連携して評価を行っている。

#### **FPL**

NIOSH（米国労働安全衛生研究所）で CNC の安全性を確認し、2 か月後にレポートが提出される予定である。

#### **メイン州立大学**

自らのサンプルについては外部機関に評価を依頼し、無毒との結果を得ている。FPL が安全性評価に関する費用を出しており、米国では FPL が主導していると推測される。この分野ではカナダ、北欧が先行しているという認識であり、彼らの動向をフォローしていく方針である。

#### **FPInnovations**

硫酸基を持った CNC についてはカナダの安全性評価をクリアし、食品、医薬品に利用できるまでの許可を得ている。現在、同様の申請を米国、EU にて実施中である。

#### **トロント大学**

環境への影響、遺伝毒性及び細胞毒性について安全性の試験をしている。細胞毒性の評価は食品、医療用途では必須となる。いずれの評価においても安全との評価であった。既に製品化を行っているためか、北欧の各機関や CelluForce とほぼ同等の評価を行っている。

## 第6節 ナノセルロースの標準化

今回ヒアリング調査を行ったナノセルロース研究開発機関の、ナノセルロースの標準化に関する取組み状況を表 2-5 にまとめた。

表 2-5 ナノセルロース標準化対応

研究機関	ナノセルロース標準化への対応
VTT	VTT 在籍で SUNPAP の元リーダーが TAPPI の重要なポジションに就いており、積極的な姿勢を示している。
UPM	UPM、StoraEnso、Metsa が標準化と安全性について意見交換するグループを設置している。
Innventia	積極的には取り組んでいない。
FPL	ISO TC229、ANSI TAG229、TAPPI で議論を開始している。
メイン州立大学	カナダ・北欧が先行しており、その動向をフォローしている。
FPIinnovations	積極的に取り組んでおり、ISO TC6 の総会で、ナノセルロースの計測・評価についてのフレームワークを提案している。
トロント大学	積極的には取り組んでいない。

以下に、各研究機関のナノセルロースの標準化に関する取組状況及び各研究機関のコメントを記載した。

### VTT

ナノセルロースの標準化については、特にカナダ、米国が興味を持っており（特に CNC について）、フィンランドはカナダ・米国の動向をフォローし、TAPPI の動向に沿って動いている。しかし製品化の段階ではナノセルロースの標準化は重要と認識している。VTT に在籍する SUNPAP プロジェクトの元リーダーが TAPPI の重要なポジションに就任しており、このことはナノセルロース標準化に関してフィンランドの積極的な取組み姿勢を示している。UPM、Stora Enso も協力的である。この分野では協力関係が重要と認識しており、日本とも協力できるのではないかと考えている。

### UPM

標準化に関しては、TAPPI が用語定義について先導しているものの、これには UPM 社としては懐疑的な見解を持っている。ISO TC229 (ナノテクノロジーの技術委員会) 内でも命名法、計測、安全性、商品規格について検討されている。一方、UPM、StoraEnso 及び Metsa は、標準化と安全性について意見交換するグループを形成している。UPM としては、ナノセルロースがアスベストと同じカテゴリーに入らないように注意することが必要であると考えている。また、ナノ化の程度の低い MFC (マイクロフィブリル化セルロース) を製造しても、その製品中の一部はナノ化の程度の高い CNF も含まれることがあるなど、各種のナノセルロースを明確に定義し、区別するのは簡単ではないと考えている。

### Innventia

現地ヒアリングではナノセルロースの標準化に関して明確なコメントは得られなかった。フィンランドの VTT が TAPPI の標準化委員会にメンバーを参加させ、国際標準化を主導する立場にあるのに比べると、現時点では、Innventia のナノセルロースの標準化に関する取組みは弱いと考えられる。

## **FPL**

標準化に関しては ISO TC229、ANSI TAG229、TAPPI で議論を開始しているが、紙パルプを規制する ISO TC6 で規制したほうがよいとの議論もあるとのことである。

## **メイン州立大学**

安全性評価と同様にカナダ、北欧が先行しているという認識であり、彼らの動向をフォローしていく方針である。

## **FPInnovations**

ナノセルロースの標準化には積極的に取り組んでおり、ISO TC6 の総会で、ナノセルロースの計測・評価についてのフレームワークを提案している。

## **トロント大学**

TAPPI によるナノセルロース国際標準化にはあまり興味を示していない様子であった。

## 第7節 共同開発などにおける特許の取り扱い

共同開発などのプロジェクトにおける対応を中心に、現地ヒアリング研究機関の特許の取り扱いについて表 2-6 にまとめた。

表 2-6 各機関における特許の取り扱い

機関	特許所有権	活用(ライセンスなど)
VTT	プログラム毎に所有権は異なる	VTT の特許は希望者に実施許諾
FIBIC	発明したものが所有者 (FIBIC は特許所有者とはならない)	
UPM (VTT、Aalto 大学との共同研究)	・UPM だけの出資は UPM に帰属 ・公的資金を含む場合は、UPM 及び発明した機関に帰属	・UPM は全ての特許の使用可能 ・希望者には実施許諾
Innventia	Innventia のクラスター参加企業に帰属	プログラム参加(出資)する全企業に実施許諾
メイン州立大学	サンプル提供を受けた機関の発明はその機関に帰属	メイン大学の特許 (GNF 製造特許) は希望者にライセンス
FPL	サンプル提供を受けた機関の発明はその機関に帰属	FPL の特許は希望者にライセンス
ArboraNano	ArboraNano に帰属	メンバー; 特許所有者になれる パートナー; 実施許諾が得られる
CelluForce	サンプル提供機関との契約に基づく	
トロント大学	企業の出資 (100%) があっても特許権は大学に帰属	出資の程度で実施権が異なる

以下に、各研究機関の特許の取り扱いについて記載した。

### VTT

特許の所有権はプログラムごとに異なる。UPM の出資や UPM を通じて獲得した補助金により得られた特許は、UPM に帰属する。VTT や Aalto 大学が獲得した補助金により得られた特許は VTT、Aalto 大学に帰属する。

VTT、UPM 及び Aalto 大学でのヒアリング結果をまとめると、ナノセルロース技術センター内の取り決めでは、UPM はプロジェクトで取得された全ての特許を使える権利を有していると考えられる。ただし、VTT や Aalto 大学が獲得した補助金での発明に基づく特許は、VTT や Aalto 大学に帰属し、他の企業がこの特許を使用したい場合には UPM はこれを拒否することはできないと考えられる。

### FIBIC

発明したものが特許所有者となる。FIBIC や Tekes はファンドとして資金を提供しているが、特許所有者とはならない。

### UPM

UPM が VTT、Aalto 大学と実施した共同研究では、その研究成果としての発明に基づく特許権は発明した機関がに帰属することになるが、特許実施権の保有者は UPM 及びその発明を行った機関である VTT あるいは Aalto 大学になる。

### FPL



特許は技術を開発した機関に帰属するのが原則である。FPL と大学の共願の知財もある。FPL の保有する特許は、ライセンス料を支払えば誰でも実施許諾される

### メイン州立大学

ナノセルロースに関する製造プロセス特許を取得しており、本製造プロセスを用いて CNF 製造を行いたい企業がいる場合にはライセンス供与する。

メイン州立大学が提供したサンプルを用いて技術開発を行った場合でも、メイン州立大学はその特許について権利を主張しない。

### CelluForce

CelluForce からサンプルの提供を受けるには契約を結ぶ必要がある。

CelluForce は企業ごとに相談し、契約を締結するため、各々で契約内容が異なる。CTO によると、CelluForce が全ての権利を囲い込むような強引な契約は結んでいないとのことである。

### トロント大学

原則として特許権は研究を行う大学に帰属し、企業の得られる権利は研究資金の出資の程度により異なる。

企業の出資が 25% の場合（残り 75% は大学が負担）、特許は大学に帰属し、企業は交渉権を得る。

企業が研究資金の 100% を出資した場合、特許は大学に帰属し、企業には下記の権利が得られる。

- ①通常実施権を得る。
- ②専用実施権を得ることができる。
- ③第三者が実施許諾を求めた場合に大学の第三者への実施許諾を拒否することが出来る。(代わりに専用実施権を設定する)

また、教授個人で保有している特許については研究室（教授）と独自に契約を結ぶことも可能である。

企業が研究資金の 100% を出資した場合、特許は大学に帰属し、企業は通常実施権を得る。企業が通常実施権を行使しない場合も、第三者が大学に実施許諾を求めた際の拒否権を持つ。企業が専用実施権を得るには、追加出資が必要である。

### 第3章 国内外の特許出願動向調査

前章で述べたとおり、北欧・北米ではナノセルロースの実証プラントが稼働し、サンプル供給を加速させ、用途開発を進めており、今後、多数の用途特許が出願されてくることが予想される。今回、国内外のナノセルロースの技術開発動向を調べるため、CNF 及び CNC に関する特許出願動向について調査を行った。

#### 第1節 特許出願動向の解析方法

特許情報の検索は THOMSON INNOVATION のデータベースを用い、1980 年から 2012 年 10 月までの期間に公開されているナノセルロースに関する特許を抽出した。検索抽出された特許について、特許 1 件ごとにナノセルロースに係わる特許かどうかを判断し、ノイズ除去を行った。ノイズでない調査対象の特許について、主として要約、請求項及び実施例から判断し、表 3-1 の技術区分表に従って技術分類の付与を行った。なお、「ファイバー」と記載のものは CNF とし、それ以外は CNC とした。用途の分類付与については、原則請求項に記載のものを抽出したが、単なる混合物の成分として CNC が錠剤などに添加されている場合は対象外とした。

今回、技術区分として、大きく、「原料」、「解繊前工程」、「解繊工程」、「樹脂複合化」、「用途」に分類し、必要に応じて細分化の情報が取得できるように中分類、小分類を設けた。

表 3-1 技術区分表

大分類	中分類	小分類	
原料	木材系原料	木粉	
		碎木パルプ(機械パルプ)	
		化学パルプ	
		その他	
	生物系原料	バクテリア類、キチン・キトサン類など	
	その他		
解繊前工程	機械処理	粉体化処理	
		リファイナー処理	
		爆砕処理	
		その他	
	薬品処理	酸処理(硫酸、リン酸など)	
		アルカリ処理	
		酸化(TEMPO など)	
		カルボキシル化、スルホン化など	
		その他	
	その他		
解繊工程	溶媒系	水系	
		有機溶剤系	
		その他	
	機械処理	高圧ホモジナイザ	
		石臼グラインダ	
		高速剪断装置(CLM)	
		超音波破碎装置	
		その他	
		その他	
	樹脂複合化	樹脂の種類	ポリオレフィン(PP、PE)
ゴム			
樹脂硬化			
その他			
疎水化前処理		エステル化 他	
		その他	
	その他		

大分類	中分類	小分類
用途	紙系	紙
		板紙
		特殊紙
		その他
	光学部材	透明ディスプレイ
		透明カラーフィルター
		透明有機EL基板
		その他
	包装部材	バリアフィルム
		バリアシート
		その他
	セパレータ	電池用セパレータ
		フィルター
		その他
	自動車部材	タイヤ強化材
		自動車 外装部材
		自動車 内装部材
		その他
	塗料	
	増粘剤・粘度調整剤	
	食品	
	医薬品・医療品	ドラッグデリバリーシステム (DDS)
		細胞培養基材、創傷被覆材など
その他		
化粧品		
建材		
織物		
発泡体		
その他		

今回の特許出願調査におけるノイズ除去後の解析に使用した特許出願件数を表 3-2 に示した。

表 3-2 ノイズ除去後の全抽出特許件数

出願先国	CNF	CNC	合計
日本	466	7	473
米国	156	79	235
欧州	100	73	173
中国	66	173	239
韓国	47	4	51
カナダ	8	2	10
その他	26	7	33
PCT 出願	292	46	338
合計	1,161	391	1,552

## 第2節 セルロースナノファイバー（CNF）の特許出願動向

### 1. CNF 特許出願の全体動向

図 3-1 に 1985 年～2011 年の期間における CNF の出願先国別出願件数の推移及びシェアを示した。CNF の出願件数は、2000 年以前は出願件数が少なく、また、大きな変動がなく、2000 年に入ってから出願件数が増大傾向で推移しているため、今後、出願件数の推移は 2001 年～2011 年の期間について表示した。

なお、2010 年及び 2011 年に出願件数の大きな低下が見られるが、データベース収録に時間がかかることや、PCT 出願については国際出願公開に 18 か月、各国への国内移行には最大 30 か月かかるので、2010 年以降は全データを反映していない可能性があり、2010 年及び 2011 年の 2 年間については点線表示とした。実際の出願件数は今回の調査結果よりも多い可能性がある。

図 3-1 CNF の出願先国別出願件数の推移及びシェア（出願年：1985 年～2011 年）

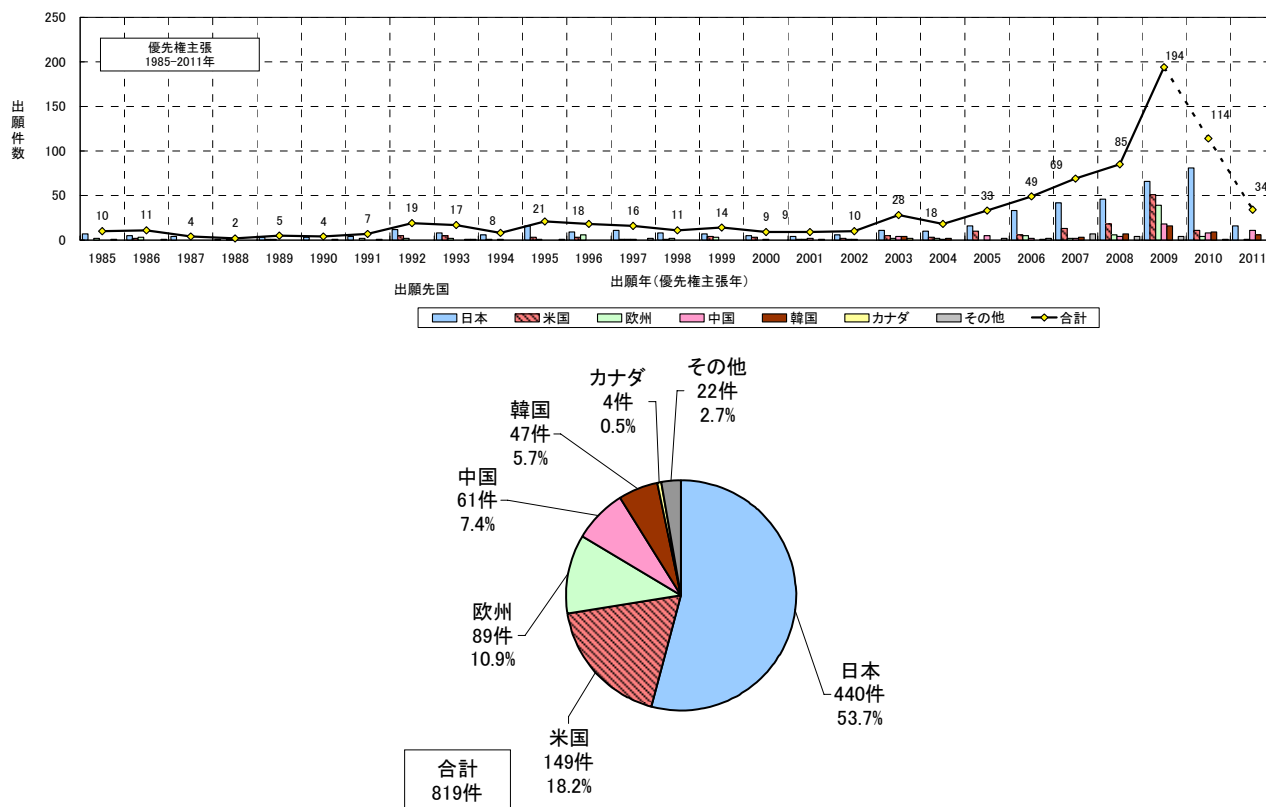
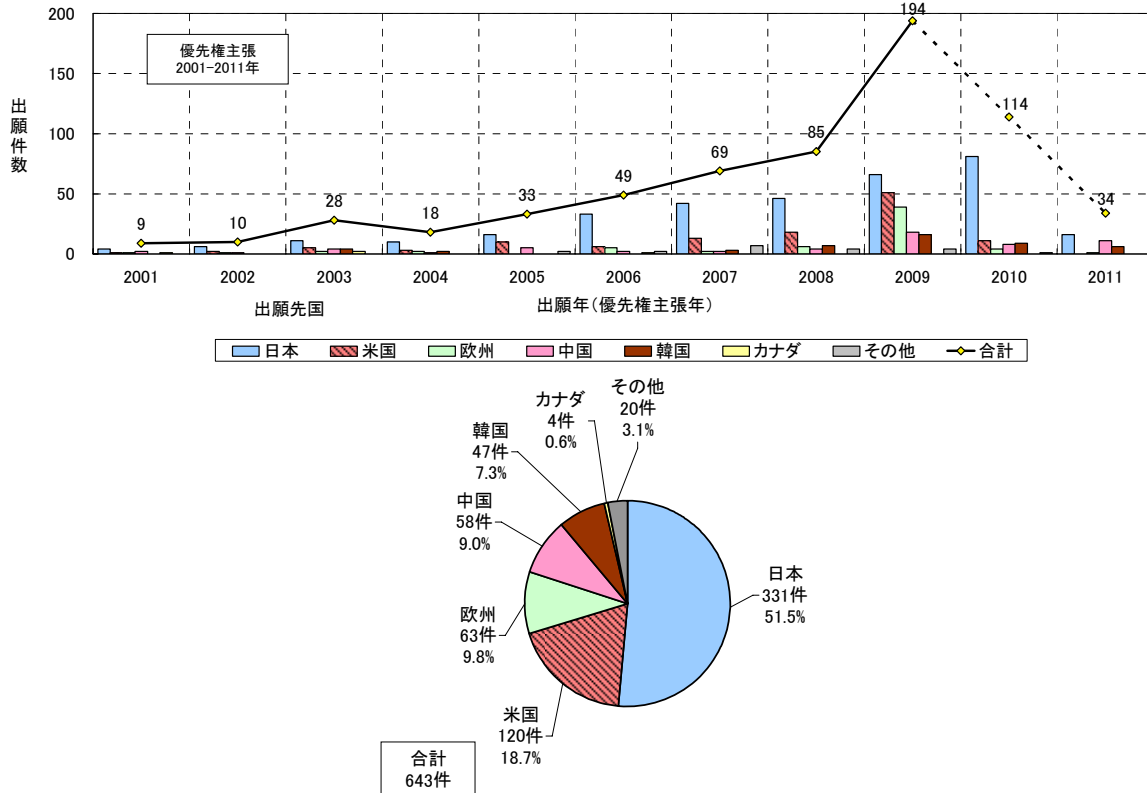


図 3-2 に 2001 年～2011 年の期間における CNF の出願先国別の出願件数の推移及びシェアを示した。2005 年頃から出願件数が増加し始め、2009 年から出願件数が大幅に増加している。

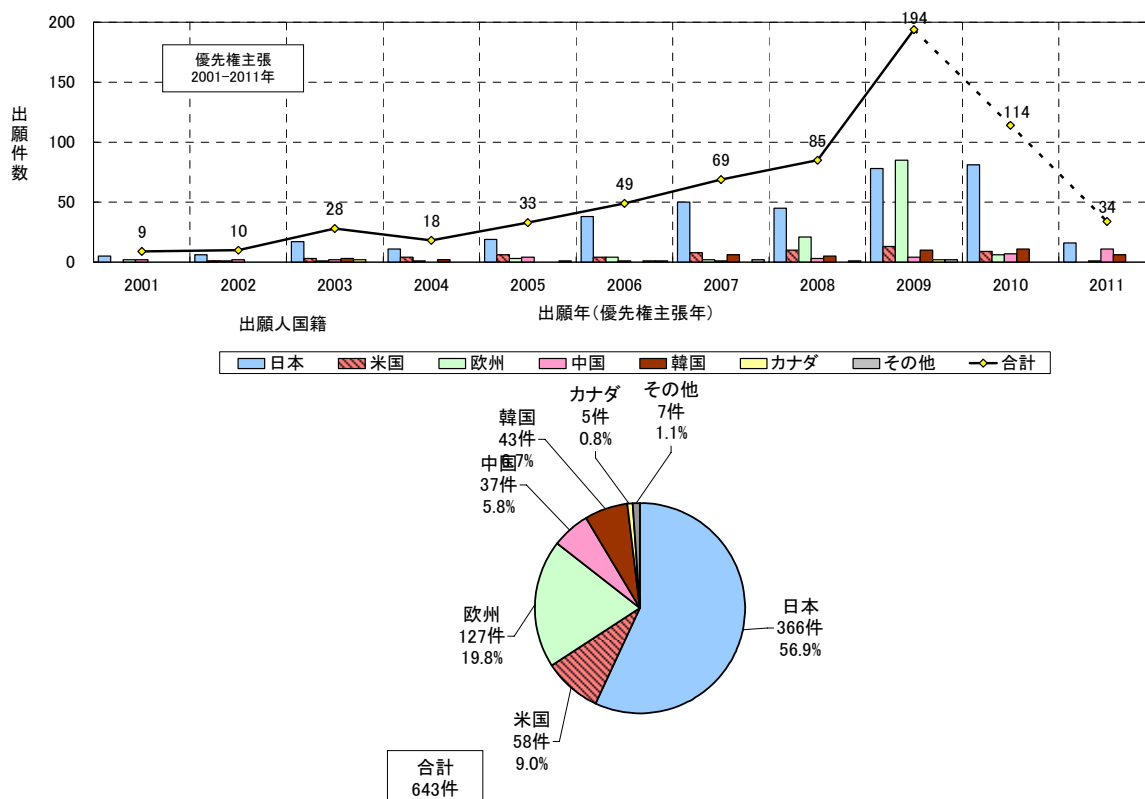
日本への出願件数が全体の過半数を超えており、米国への出願件数が、日本に次いで多い。

図 3-2 CNF の出願先国別出願件数の推移及びシェア（出願年：2001 年～2011 年）



2001 年～2011 年の期間における、出願人国籍別の出願件数の推移を図 3-3 に示した。日本国籍出願人による出願が全体の過半数を超えている。2009 年には欧州からの出願が多い。米国籍出願人による出願件数は、米国への出願件数の半分程度であり、米国以外から米国への出願が多いと考えられる。

図 3-3 CNF の出願人国籍別出願件数の推移（2001～2011 年）



## 2. CNF 特許出願の技術区分動向

図 3-4 に、技術区分における大分類（原料、解繊前工程、解繊工程、樹脂複合化）毎の出願人国籍別の出願件数を示した。日本以外は樹脂複合化に関する出願割合が低いのに対し、日本はほぼまんべんなく出願している。欧州は解繊工程に関する出願が多く、米国、中国、韓国は原料に関する出願割合が高い。

図 3-4 CNF 大分類の出願人国籍別出願件数

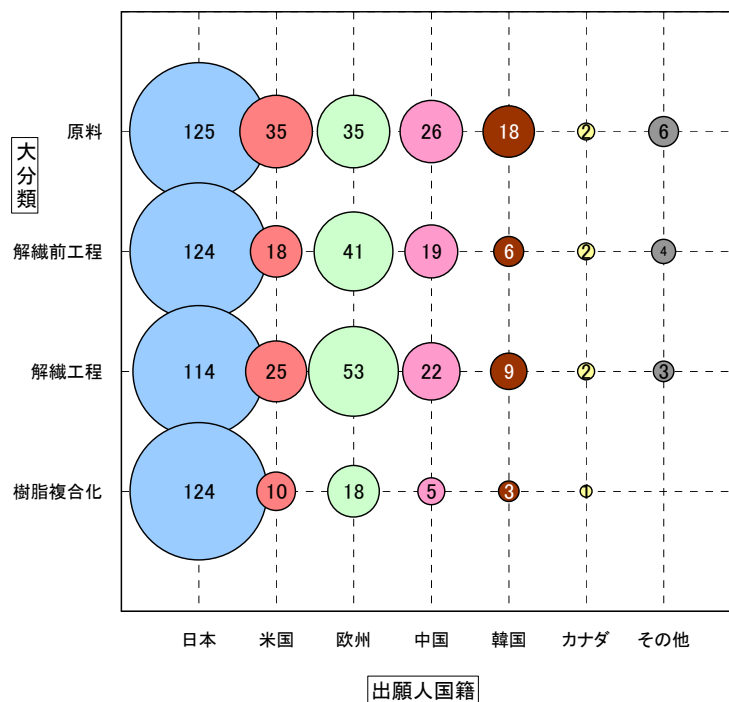


図 3-5 に、技術区分における大分類（原料）の中分類毎の出願人国籍別の出願件数を示した。「木材系原料」に関する出願が多く、「生物系原料」についても多く出願されている。

図 3-5 CNF 「原料」の中分類毎の出願人国籍別出願件数

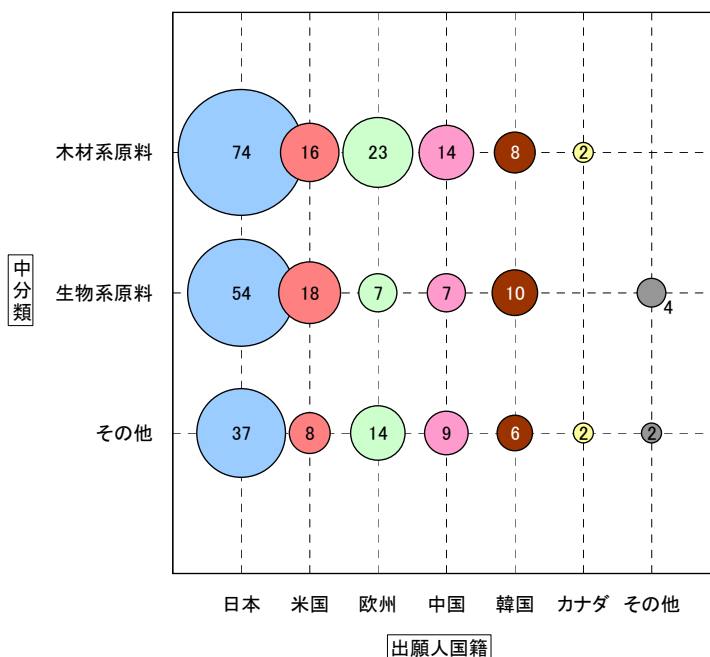


図 3-6 に、技術区分における大分類（原料）の中分類（木材系原料）の小分類毎の出願人国籍別の出願件数を示した。「その他」以外では、日本と欧州では、「碎木パルプ」や「化学パルプ」に関する出願が多い。

図 3-6 CNF「木材系原料」の小分類毎の出願人国籍別出願件数

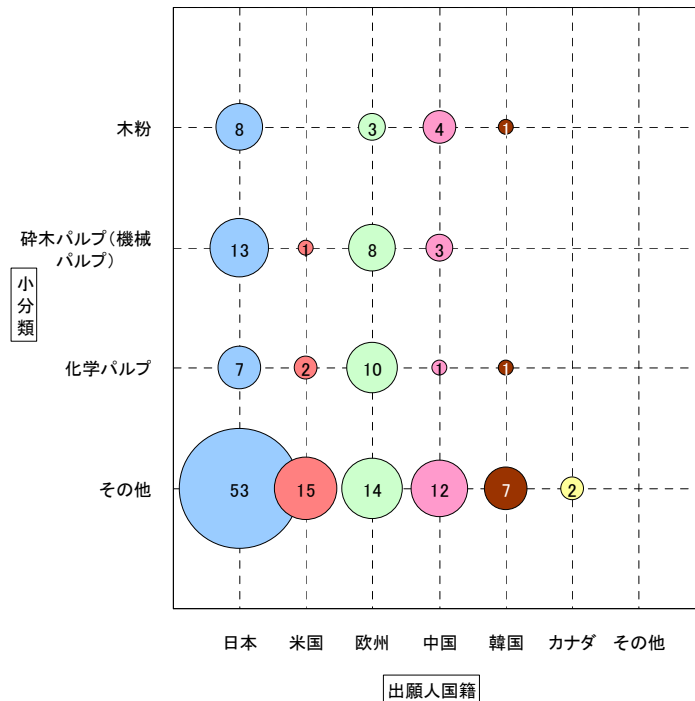


図 3-7 に、技術区分における大分類（解繊前工程）の中分類毎の出願人国籍別の出願件数を示した。また、図 3-8 に、大分類（解繊前工程）の中分類（薬品処理）の小分類毎の出願人国籍別の出願件数を示した。どの出願人も「解繊前工程」では「薬品処理」に関する出願が多く、特に日本では、内訳として、「TEMPO などの酸化処理」に関する出願が多い。

図 3-7 CNF「解繊前工程」の中分類毎の出願人国籍別出願件数

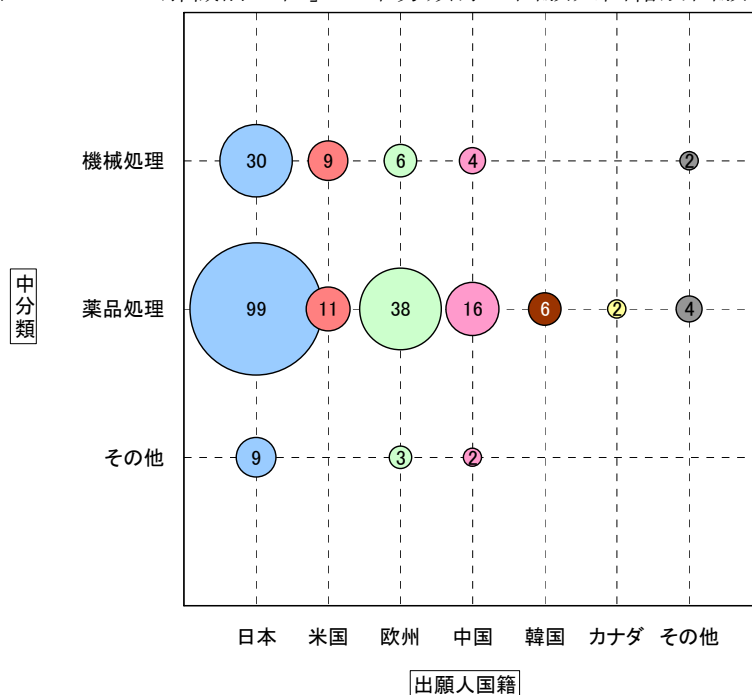


図 3-8 CNF「薬品処理」の小分類毎の出願人国籍別出願件数

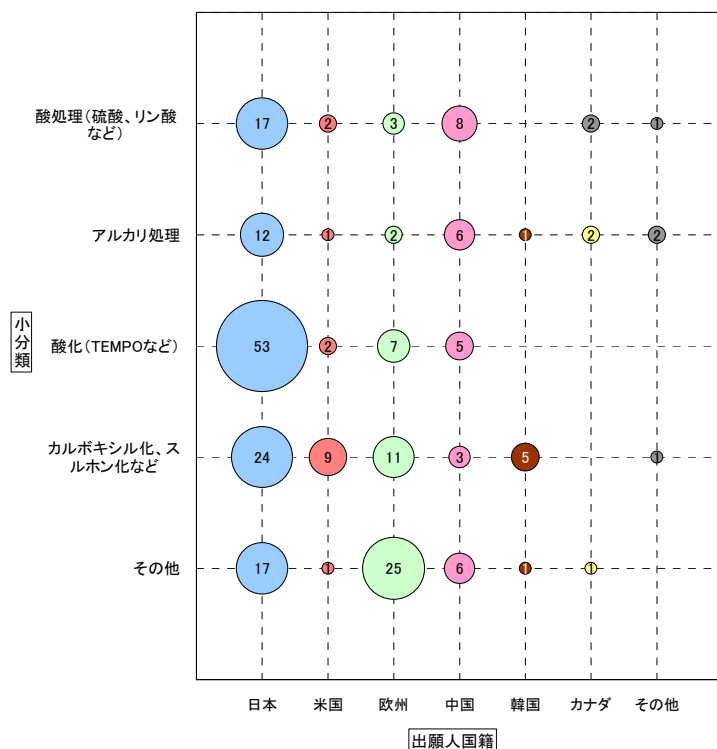


図 3-9 に、技術区分における大分類（解繊工程）の中分類毎の出願人国籍別の出願件数を示した。また、図 3-10 に、大分類（解繊工程）の中分類（溶媒系及び機械処理）の小分類毎の出願人国籍別の出願件数を示した。「解繊工程」では「機械処理」に関する出願が多く、「機械処理」では「高圧ホモジナイザ」に関する出願が多い。

図 3-9 CNF「解繊工程」の中分類毎の出願人国籍別出願件数

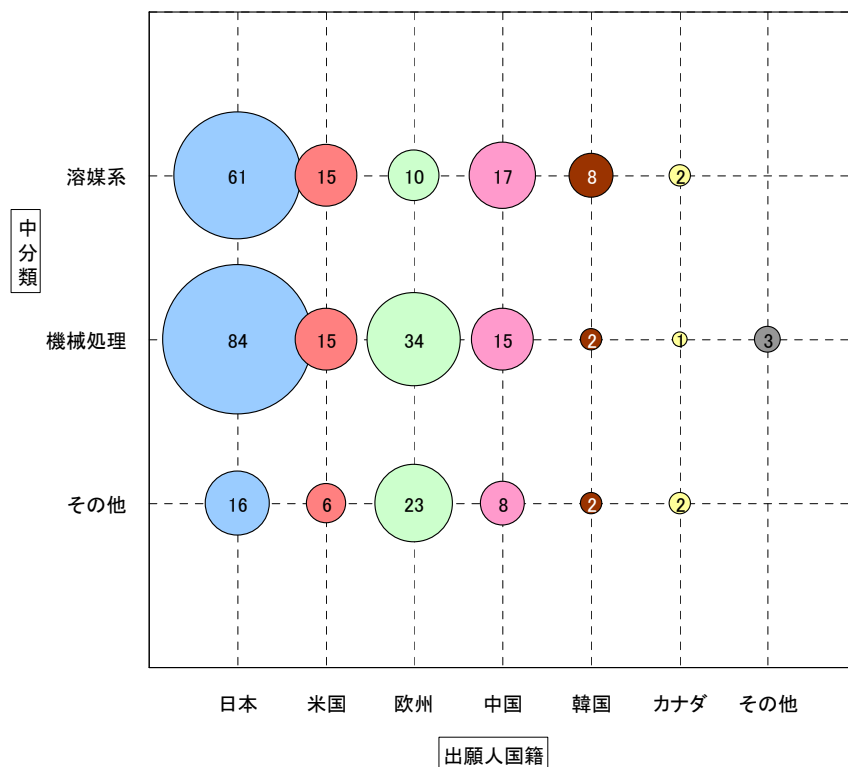




図 3-10 CNF「溶媒系及び機械処理」の小分類毎の出願人国籍別出願件数

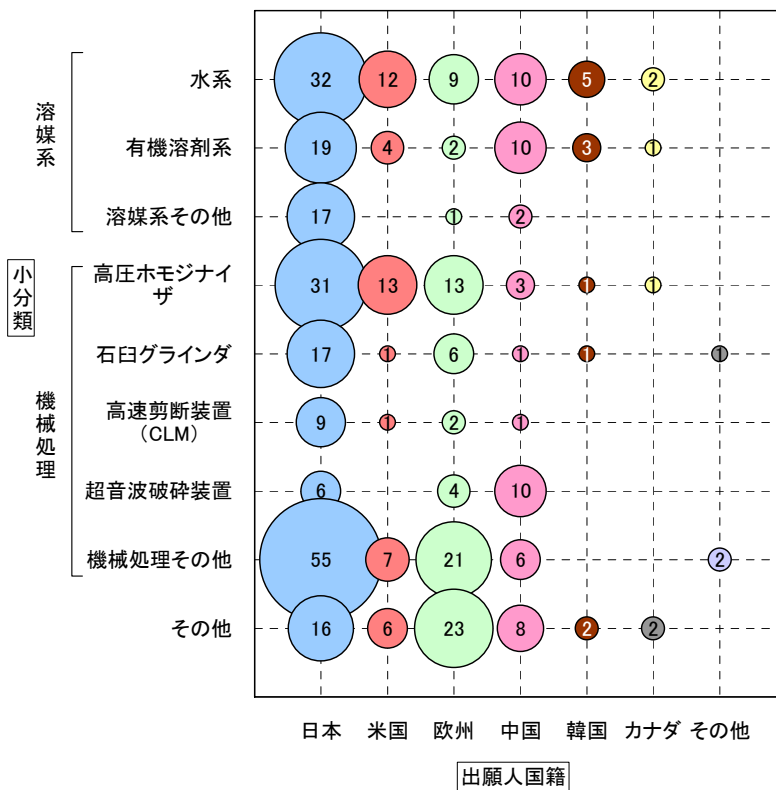


図 3-11 に、技術区分における大分類（樹脂複合化）の中分類毎の出願人国籍別の出願件数を示した。また、図 3-12 に、大分類（樹脂複合化）の中分類（樹脂の種類及び疎水化前処理）の小分類毎の出願人国籍別の出願件数を示した。「樹脂複合化」では、日本を中心に「樹脂の種類」における「樹脂硬化」に関する出願が多い。

図 3-11 CNF「樹脂複合化」の中分類毎の出願人国籍別出願件数

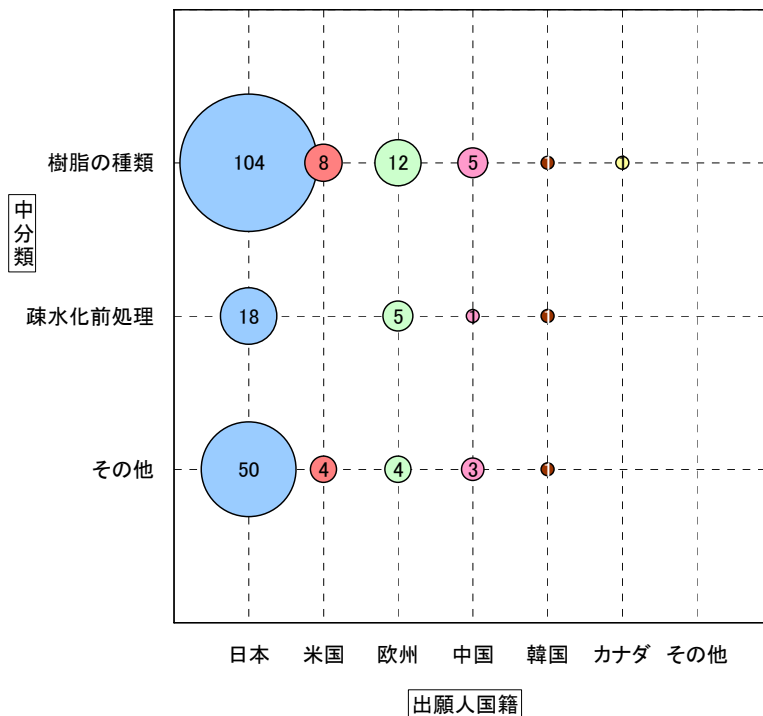


図 3-12 CNF「樹脂の種類及び疎水化前処理」の小分類毎の出願人国籍別出願件数

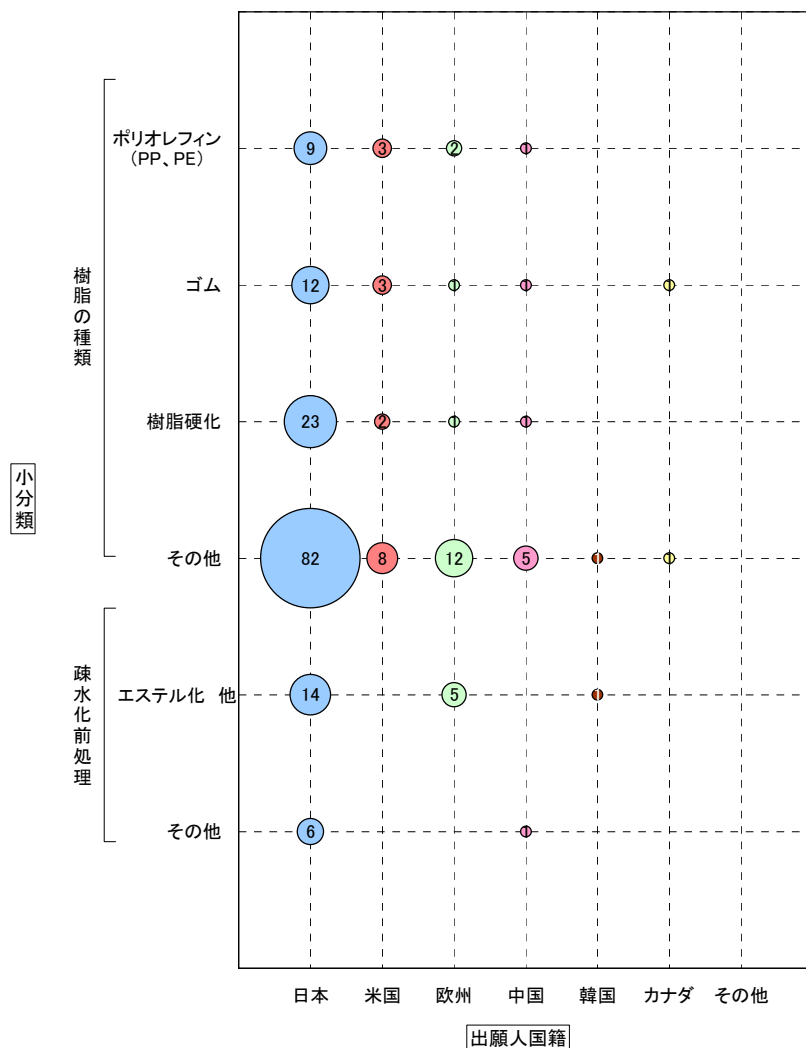


図 3-13 に、CNF の用途に関する出願人国籍別の出願件数を示した。「紙系」用途の出願が多いが、日本は、セパレータ、光学部材、包装部材に関する出願が他国よりも多く、セパレータなどの製品開発にも注力していると考えられる。欧州は、紙系の出願割合が非常に高いが、塗料、建材などの他の用途でも出願が見られる。米国は、食品、医薬品用途の出願が多い。

図 3-13 CNF 用途の出願人国籍別出願件数

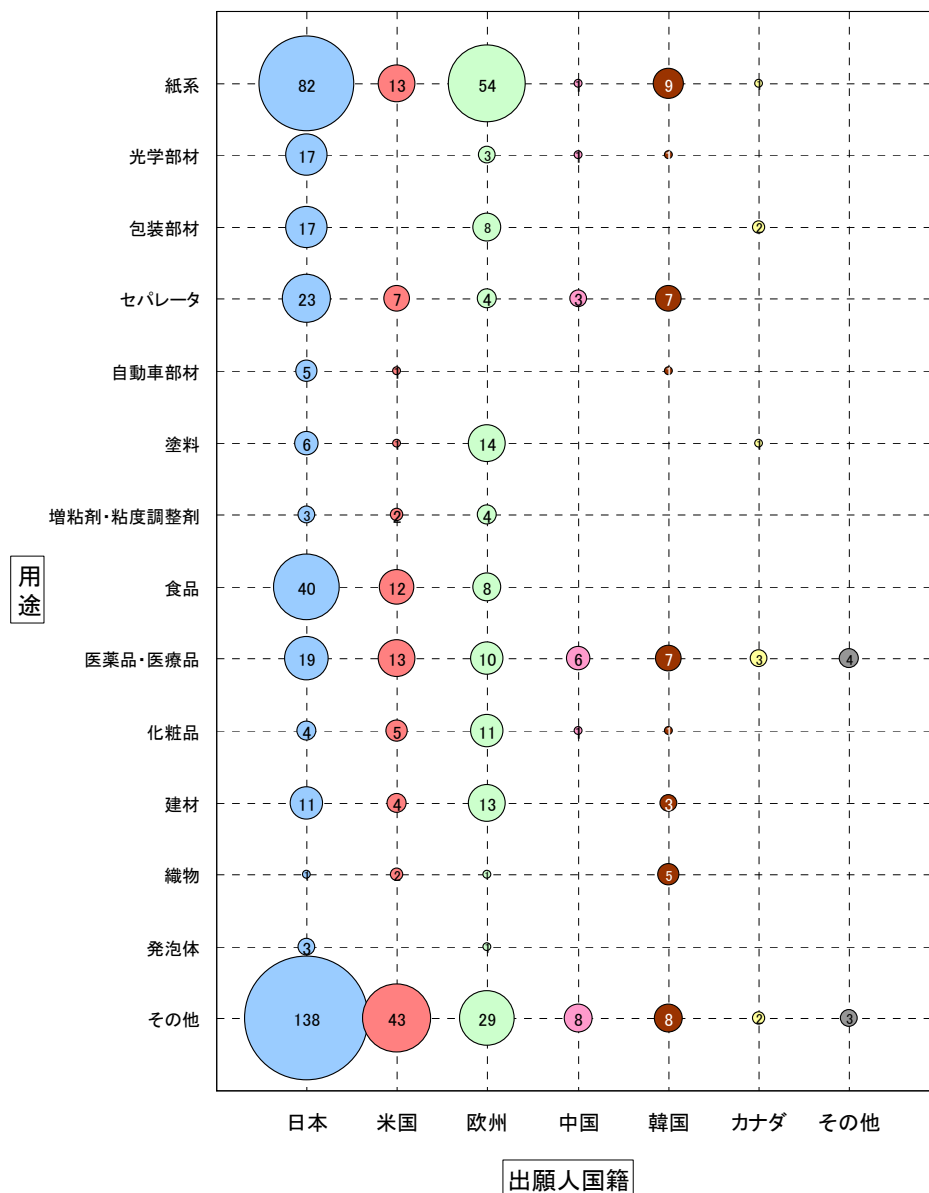


図 3-14 に、技術区分における大分類（用途）の中分類（紙系）の小分類毎の出願人国籍別の出願件数を示した。日本では「特殊紙」、欧州では「紙」や「板紙」に関する出願が多い。

図 3-14 CNF「紙系」の小分類毎の出願人国籍別出願件数

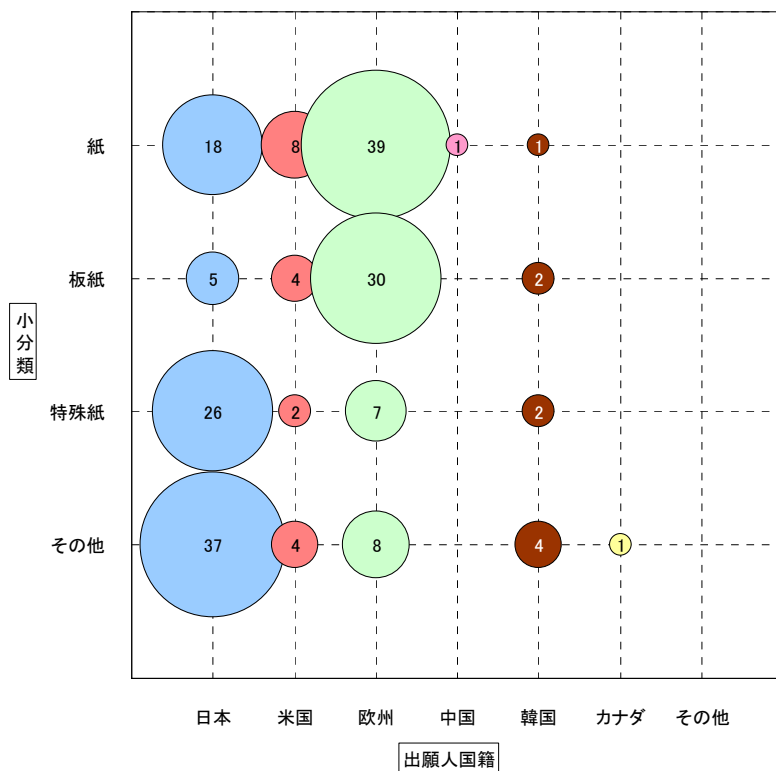


図 3-15 に、技術区分における大分類（用途）の中分類（セパレータ）の小分類毎の出願人国籍別の出願件数を示した。「セパレータ」では、「電池用セパレータ」よりも「フィルター」に関する出願が多い。

図 3-15 CNF「セパレータ」の小分類毎の出願人国籍別出願件数

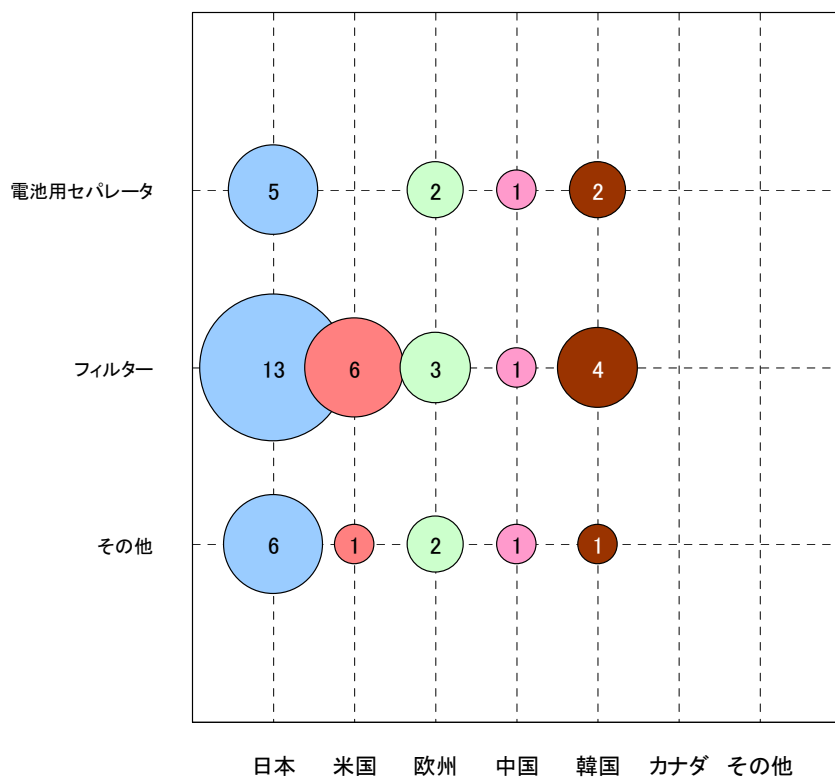


表 3-3 に CNF の特許出願件数ランキングを示した。ランキング上位に多くの日本の企業や大学機関が入っている。なお、Stora Enso や UPM の外国企業は PCT 出願が多く、今後、各国への移行により出願件数が大幅に増加する見通しである。

表 3-3 CNF の特許出願件数ランキング

順位	出願人	出願件数	(参考)PCT 出願件数
1	日本製紙	64	15
2	ダイセル	59	2
3	王子ホールディングス	56	5
3	京都大学	56	13
5	Stora Enso(フィンランド)	37	24
6	三菱化学	33	6
7	UPM(フィンランド)	29	38
8	パイオニア	26	5
9	ローム	24	6
10	日本電信電話	23	4

図 3-16 に表 3-3 の出願ランキングトップ 10 の主要出願人についての CNF 出願件数推移を示した。国内外の製紙メーカーの出願が、2009 年、2010 年に急増しており、活発な技術開発が行われていることが伺える。

図 3-16 CNF 主要出願人の出願件数推移

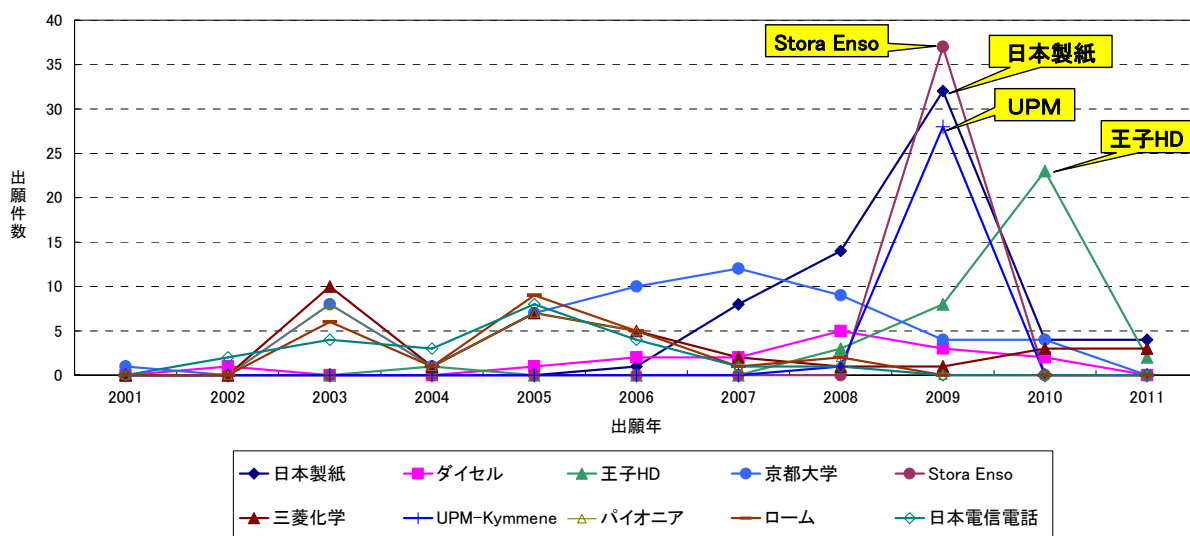


図 3-17 に CNF 技術区分の大分類に関する主要出願人別の出願件数を示した。日本製紙は解繊前工程、京都大学は樹脂複合化の出願割合が高く、王子ホールディングスはまんべんなく出願を行っている。また、Stora Enso は、解繊に関連した工程の出願が多い特徴がある。

図 3-17 CNF 大分類の主要出願人別出願件数

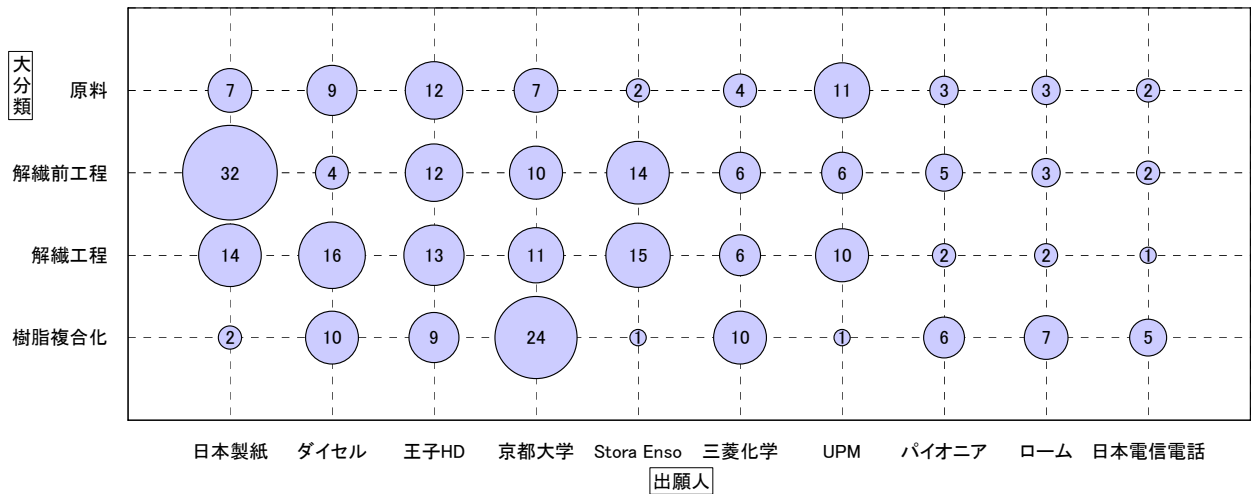
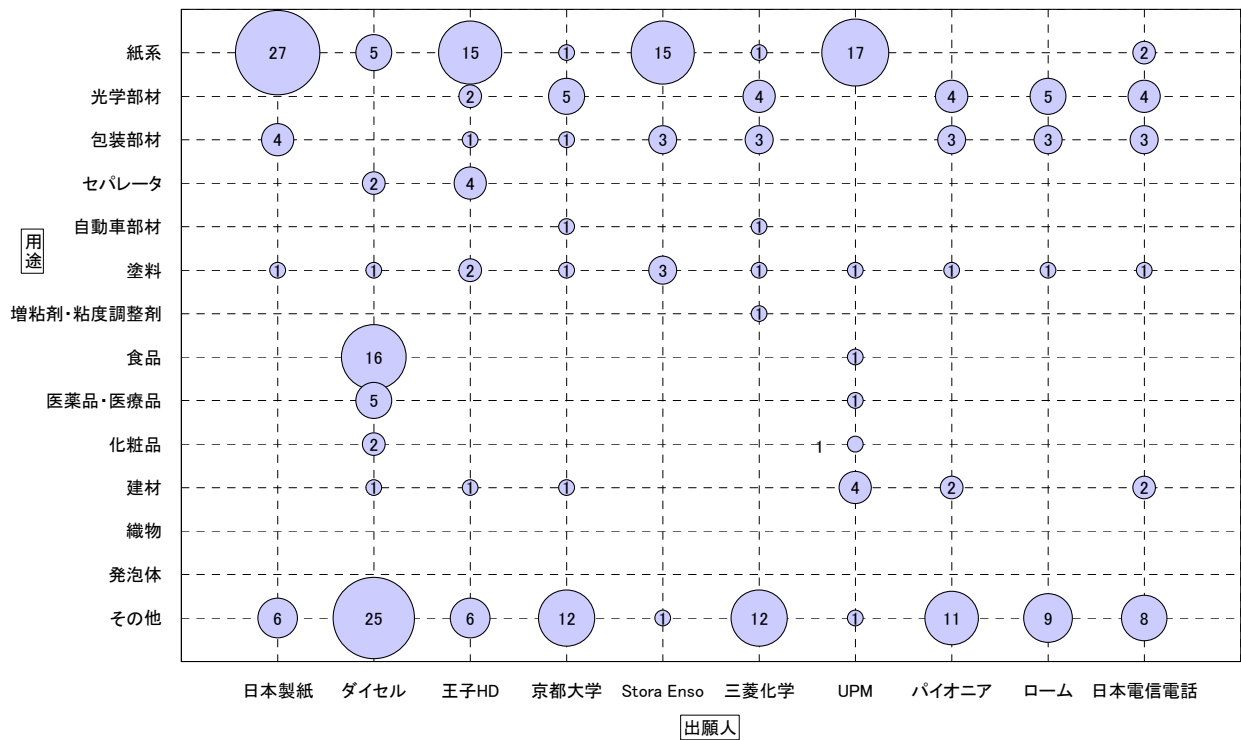


図 3-18 に CNF の主要出願人別の用途に関する出願件数を示した。ダイセル以外の日本企業は、光学・包装部材の出願も多い。Stora Enso や UPM は、「紙系」の用途が多いが、Stora Enso は包装のバリア材など、UPM はコンクリート混合材などの用途出願も見られる。

図 3-18 CNF 主要出願人用途別出願件数



### 第3節 セルロースナノクリスタル（CNC）の特許出願動向

#### 1. CNC 特許出願の全体動向

図 3-19 に 2001 年～2011 年の期間における CNC の出願先国別の出願件数の推移及びシェアを示した。出願件数は 2009 年に急増している。出願先国別の出願件数では、中国への出願がほぼ過半数に達している。次いで、米国、欧州への出願となっている。

図 3-19 CNC の出願先国別出願件数の推移及びシェア（2001～2011 年）

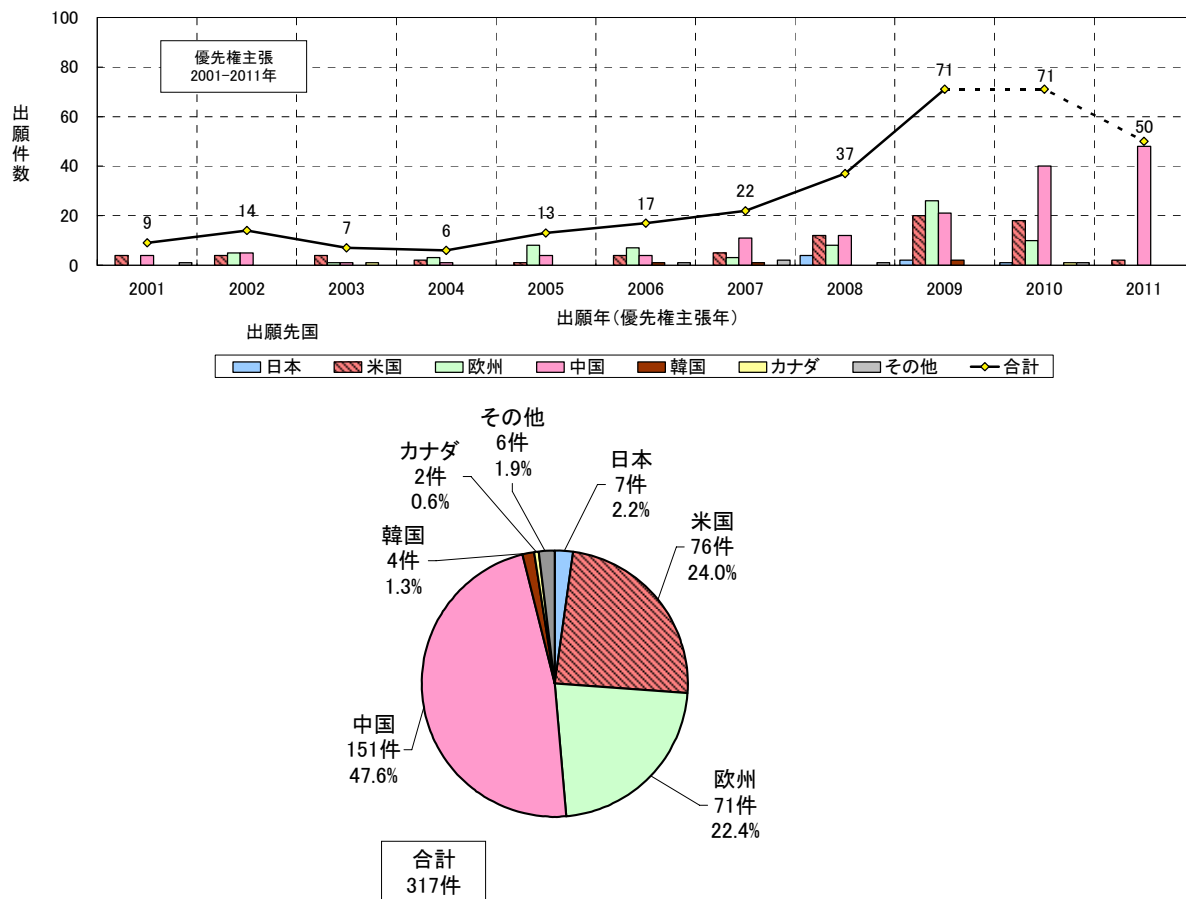
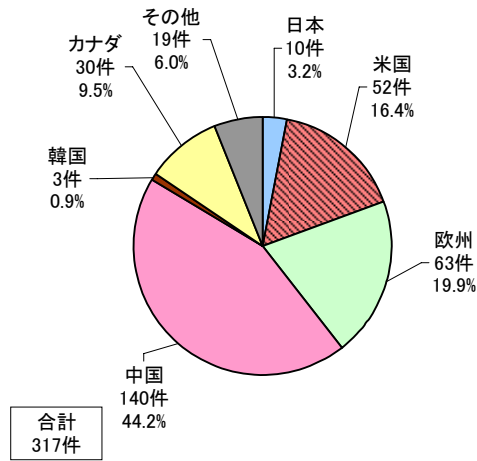
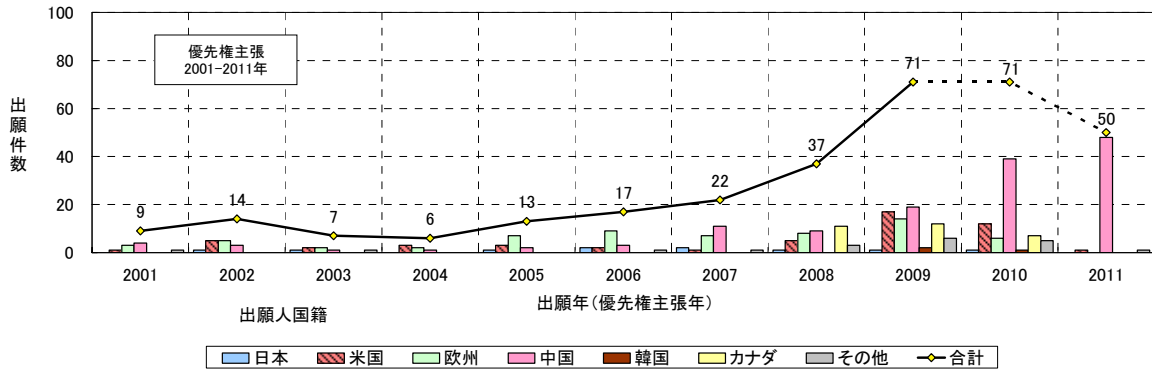


図 3-20 に 2001 年～2011 年の期間における CNC の出願人国籍別の出願件数の推移及びシェアを示した。中国籍出願人の出願がほぼ過半数に達している。また、カナダ国籍出願人による出願が 2008 年から増加傾向で推移している特徴がある。日本からの出願は非常に少ない。

図 3-20 CNC の出願人国籍別出願件数の推移及びシェア（2001～2011 年）



2. CNC 特許出願の技術区分動向

図 3-21 に、技術区分における CNC 大分類（原料、解織前工程、解織工程、樹脂複合化）毎の出願人国籍別の出願件数を示した。中国からほぼまんべんなく出願が成されている。米国、カナダは、樹脂複合化の出願割合が高い。

図 3-21 CNC 大分類の出願人国籍別出願件数

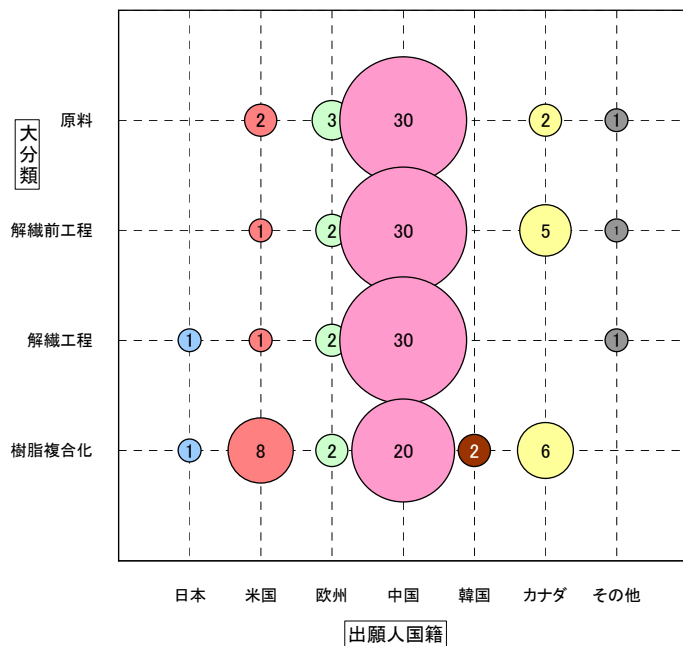




図 3-22 に、技術区分における CNC 大分類（原料）の中分類毎の出願人国籍別の出願件数を示した。中国からの「木材系原料」に関する出願が多い。

図 3-22 CNC「原料」の中分類毎の出願人国籍別出願件数

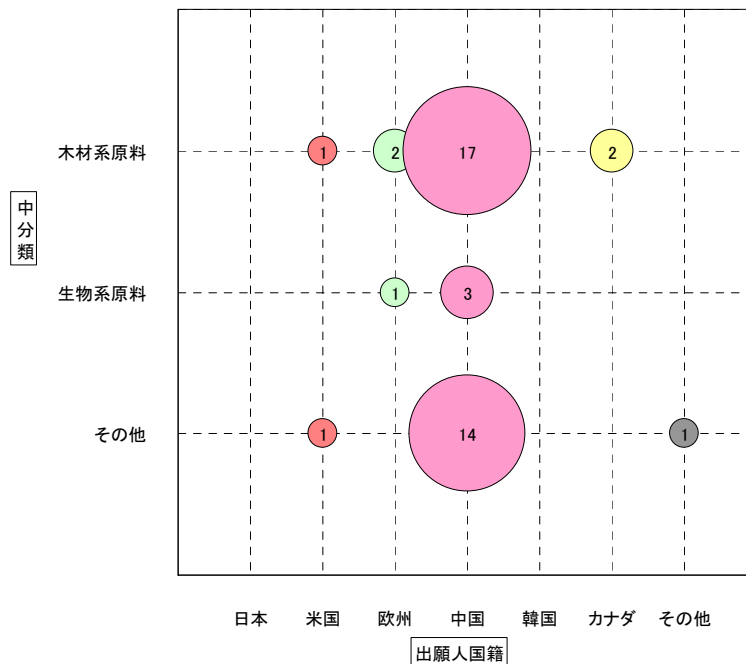


図 3-23 に、技術区分における大分類（解繊前工程）の中分類毎の出願人国籍別の出願件数を示した。また、図 3-24 に、中分類（薬品処理）の小分類毎の出願人国籍別の出願件数を示した。中国からの「薬品処理」に関する出願が多く、内訳として、CNC を加水分解処理するための硫酸などの「酸処理」に関するものが多い。

図 3-23 CNC「解繊前工程」の中分類毎の出願人国籍別出願件数

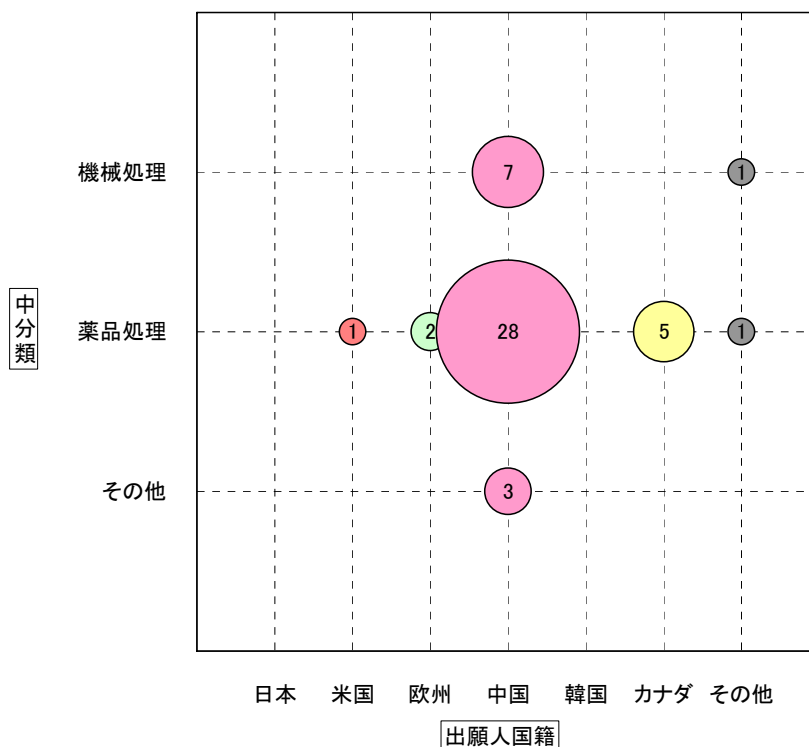


図 3-24 CNC「薬品処理」の小分類毎の出願人国籍別出願件数

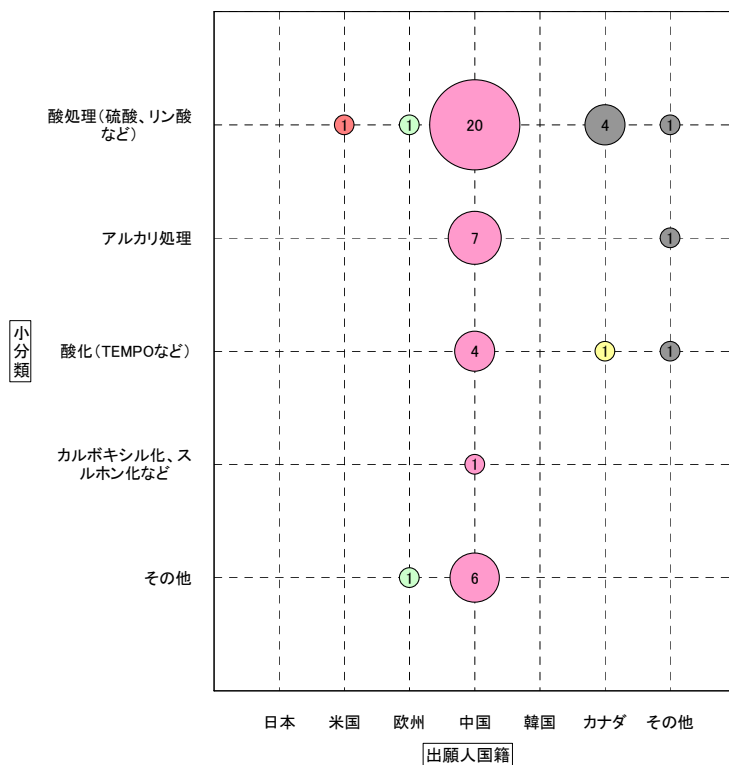


図 3-25 に、技術区分における大分類（解織工程）の中分類毎の出願人国籍別の出願件数を示した。また、図 3-26 に、中分類（溶媒系及び機械処理）の小分類毎の出願人国籍別の出願件数を示した。「解織工程」では「溶媒系」と「機械処理」に関する出願がともに多く、「機械処理」では「超音波破碎装置」に関する出願が多い。

図 3-25 CNC「解織工程」の中分類毎の出願人国籍別出願件数

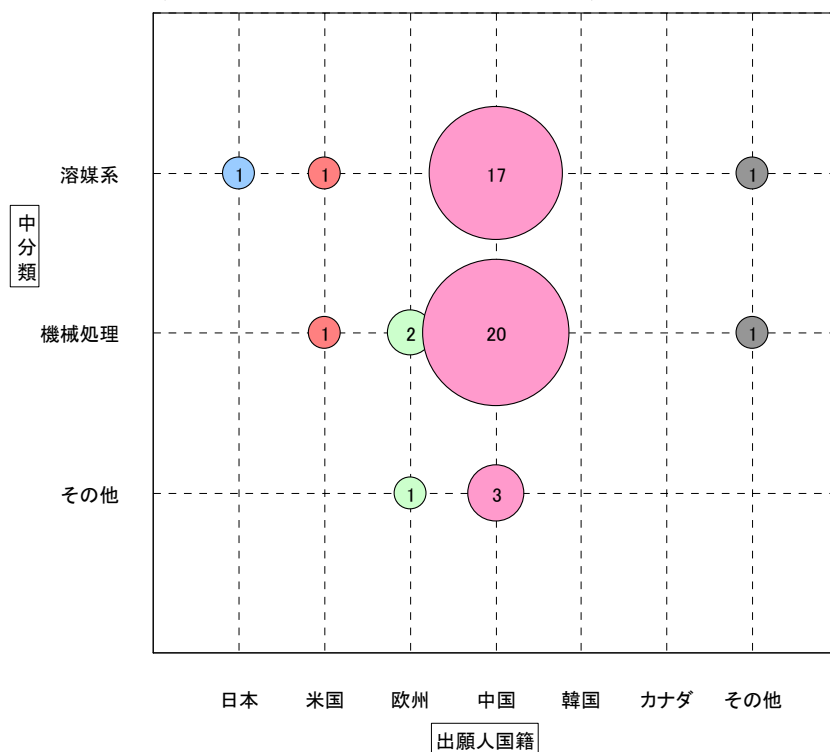


図 3-26 CNC「溶媒系及び機械処理」の小分類毎の出願人国籍別出願件数

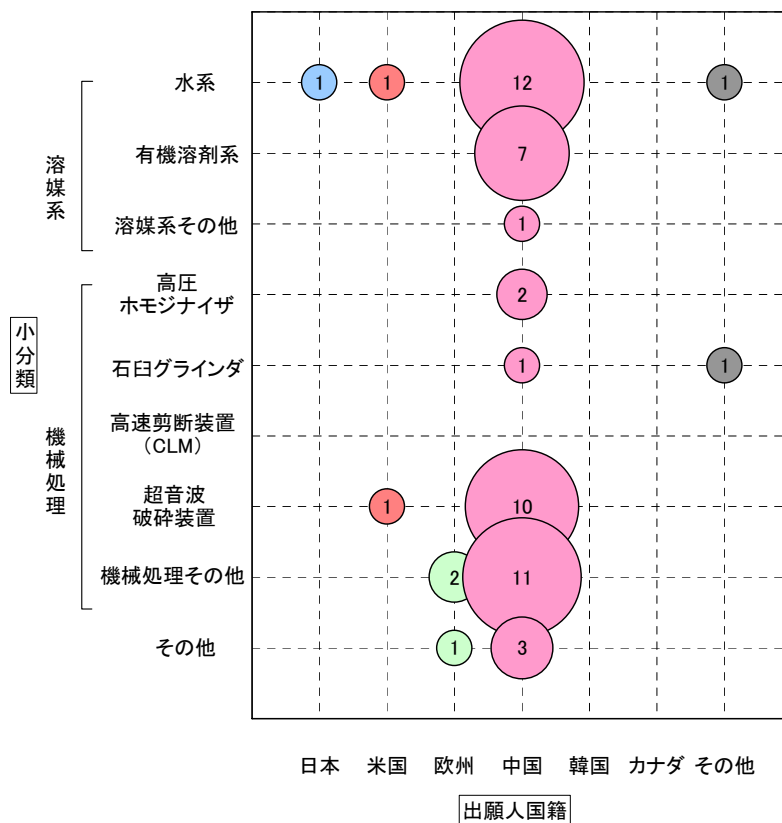


図 3-27 に、技術区分における大分類（樹脂複合化）の中分類毎の出願人国籍別の出願件数を示した。「樹脂複合化」では、「樹脂の種類」に関する出願が多い。

図 3-27 CNC 中分類（樹脂複合化）の出願人国籍別出願件数

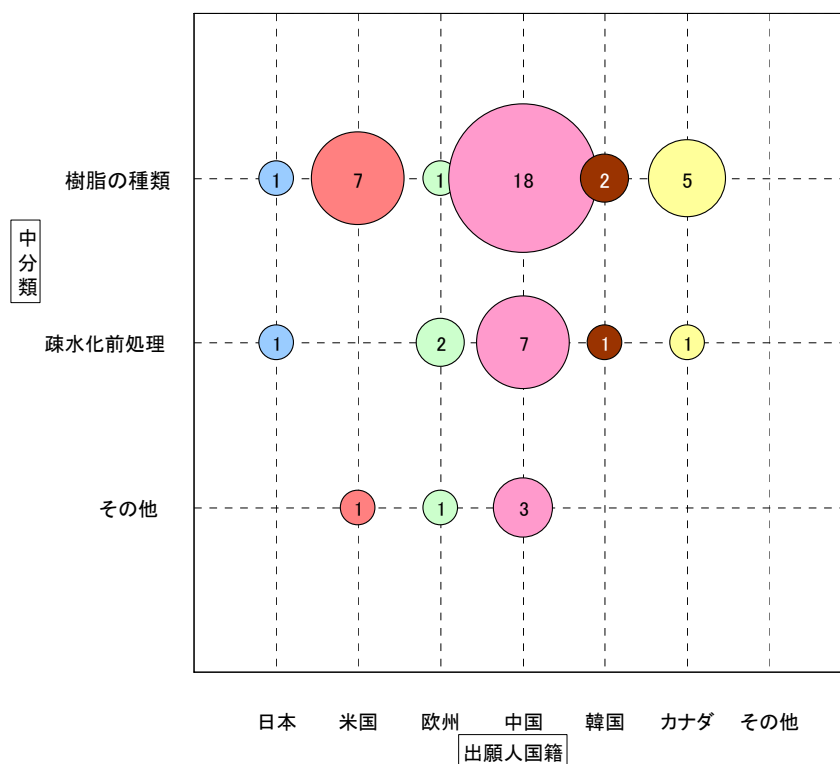


図 3-28 に、CNC の用途に関する出願人国籍別の出願件数を示した。CNC の用途では、「医薬品・医療品」に集中して出願が行われている特徴がある。

図 3-28 CNC 用途の出願人国籍別出願件数

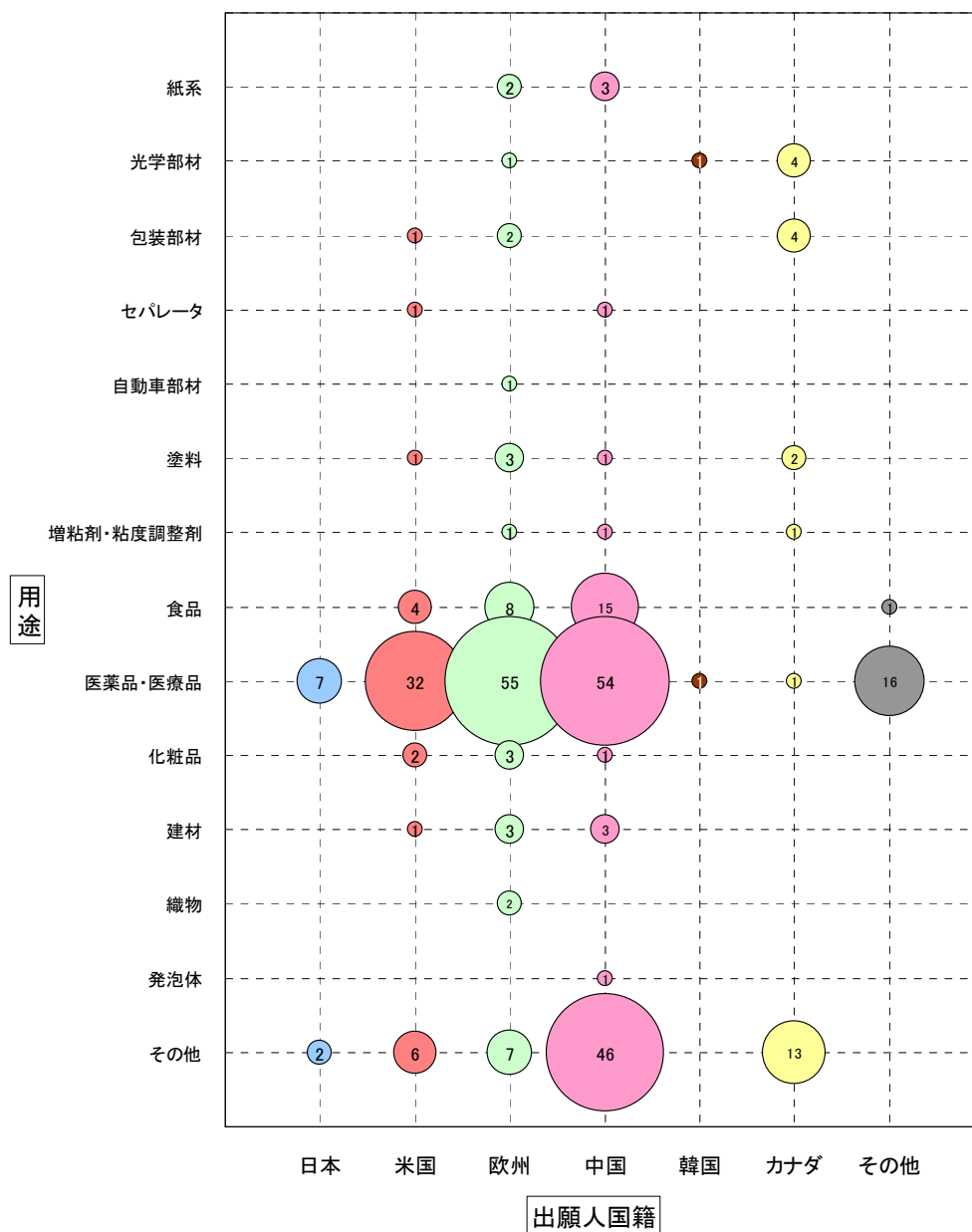


図 3-29 に、技術区分における大分類（用途）の中分類（医薬品・医療品）の小分類毎の出願人国籍別の出願件数を示した。「医薬品・医療品」では、中国からのドラッグデリバリーシステム（DDS）に関する出願が多い。

図 3-29 CNC「医薬品・医療品」の小分類毎の出願人国籍別出願件数

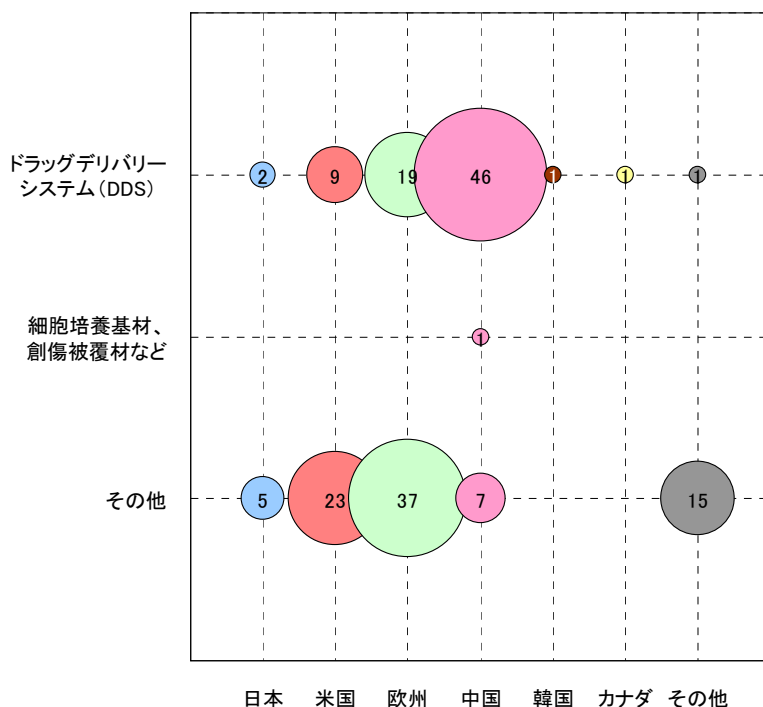


表 3-4 に CNC の特許出願ランキングを示した。カナダの FPIinnovations の出願件数が非常に多く、PCT 出願も多い特徴がある。今後、各国への移行に伴い、FPIinnovations の出願件数は更に多くなることが見込まれる。多くの中国の研究機関がランキング上位に入っており、中国で CNC の研究開発が活発に行われていることが伺える。

表 3-4 CNC の特許出願件数ランキング

順位	出願人	出願件数	PCT 出願件数
1	FPIinnovations (カナダ)	26	17
2	FMC (米国)	8	0
2	福建農林大学 (中国)	8	0
4	東華大学 (中国)	7	0
4	東北林業大学 (中国)	7	0
4	Sanovel Ilac Sanayi ve Ticaret (トルコ)	7	0
7	Du Pont (米国)	6	0
7	Liu Zhi-ming (中国)	6	0
9	安徽山河薬用輔料 (中国)	4	0
9	中国科学院広州化学研究所 (中国)	4	0
9	青島科学技術大学 (中国)	4	0
9	Novartis (スイス)	4	0

図 3-30 に表 3-4 の特許出願件数ランキング上位の主要出願人についての CNC 出願件数推移を示した。FPIinnovations の出願が、2008 年に急増している。

図 3-30 CNC の主要出願人の出願件数推移

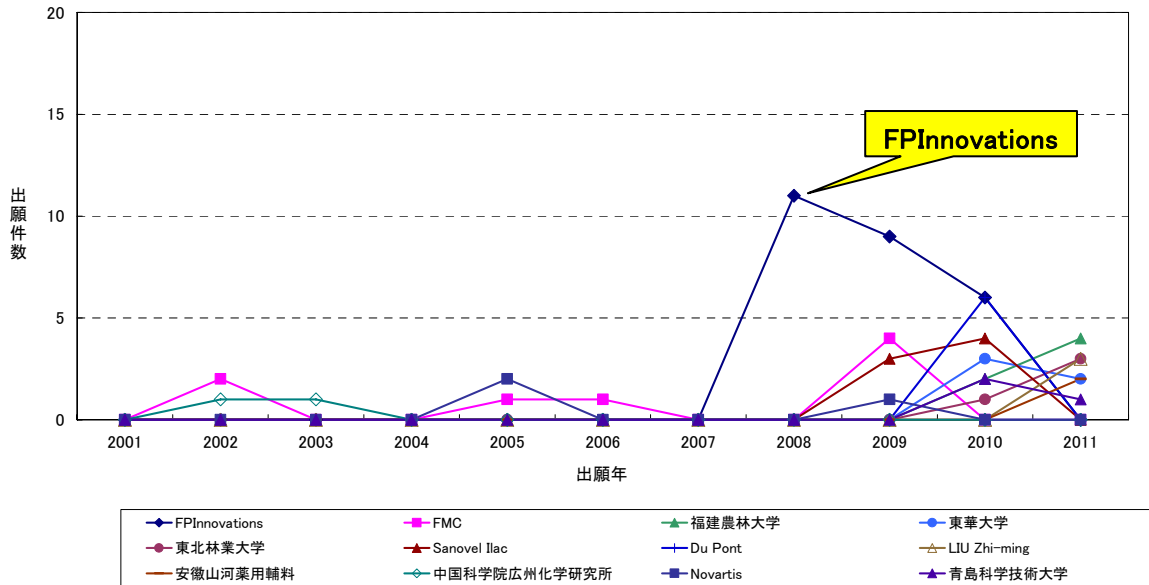


図 3-31 に CNC 技術区分の大分類毎の主要出願人別の出願件数を示した。FPIinnovations は、解繊前工程、樹脂複合化の出願割合が高い。また、中国の研究機関はまんべんなく出願している。

図 3-31 CNC 大分類の主要出願人別出願件数

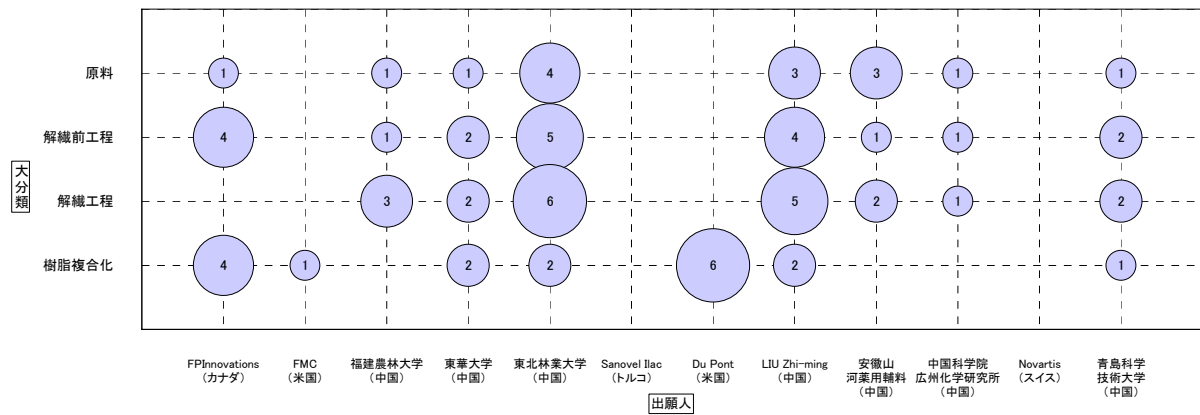
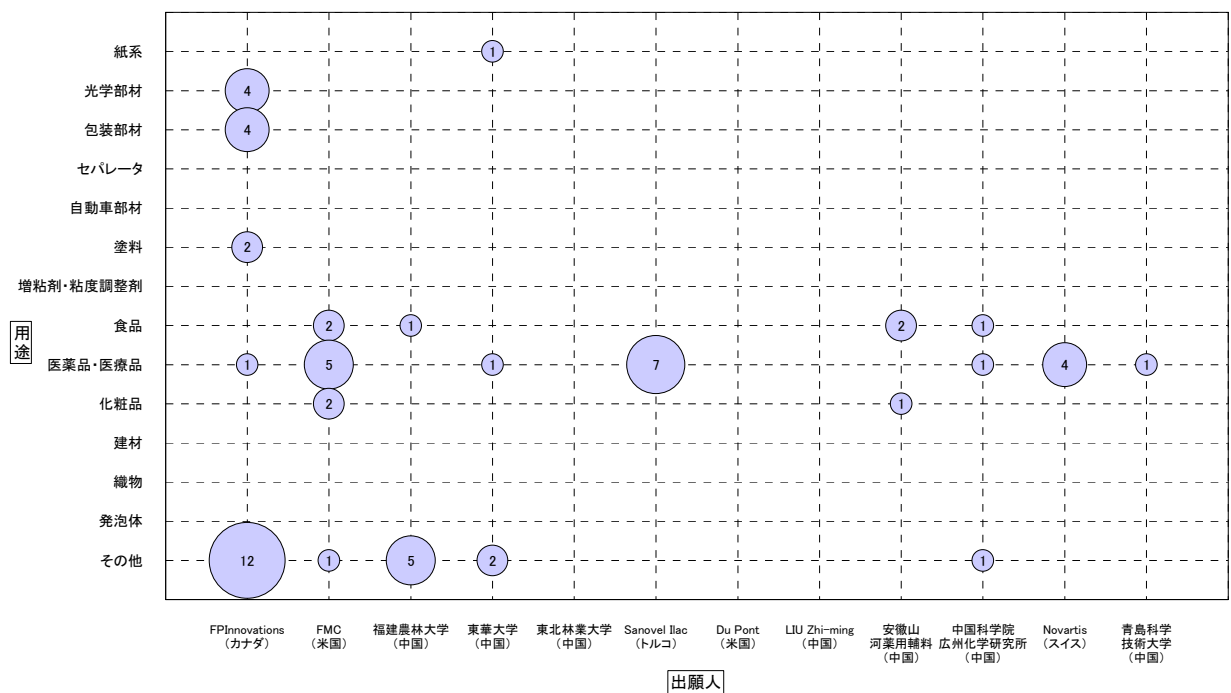


図 3-32 に CNC の主要出願人別の用途に関する出願件数を示した。FPIinnovations は、光学部材（虹色フィルム）、包装部材（バリアフィルム）に関する出願を行っている。また、FPIinnovations 以外の出願人は、食品、医薬品などに出願が集中している。

図 3-32 CNC 主要出願人の用途別出願件数



## 第4章 おわりに

### 第1節 海外現地ヒアリング及び特許動向調査結果のまとめ

#### 1. 欧米諸国のナノセルロース技術開発の現状、我が国との比較

##### (1) 実証プラントなどの開発及び研究体制

2011年11月にフィンランドのUPMは様々なグレードのCNFの製造を、2012年1月にはカナダのCelluForceがCNCの製造を、それぞれ可能とする実証プラントを建設するなど、北欧や北米では実証プラントの建設が我が国より先行している。また、実証プラントを利用した製造技術もリードしている可能性があり、生産能力として、CelluForceでは1トン/日（現在は0.5トン/日を生産）、スウェーデンのInnventiaでは100キログラム/日など、既に一定のサンプルを供給する能力を有している。

また、フィンランドが最も顕著であるが、北欧、北米とも産学官の連携が有機的に行われており、研究開発及び事業化に向けた体制が整備されている。

##### (2) 用途開発

北欧、北米とも解繊度の低いナノセルロースを製紙用途で実用化し、並行してハイエンドの用途を狙うといった戦略を模索している。北欧ではUPMをはじめ、製紙用途への開発が先行している。しかし、仮に製紙用途で活用したとしても、既存の製紙用添加剤で十分達成可能な物性であり、ナノセルロース技術の特長が活かしておらず、コスト的にも優位ではないと考えられる。

ナノセルロース技術の目指す用途開発は、樹脂コンポジットなど付加価値の高い用途であり、我が国の学術レベルはナノセルロースコンポジットの事業化に向けたポテンシャルを確実に有していると考えられるが、事業として成り立つことが可能な製造方法までは依然実用化されていない。このブレイクスルーをいち早く成し遂げることができれば、潜在的な成長マーケットを他に先駆けてつかむことができるであろう。

ナノセルロース技術の事業化に当たり、原料である木質パルプの取扱いにノウハウを持つ製紙メーカーと、化学メーカーや最終製品メーカーなど川下企業との連携が大きな役割を果たすことになるが、北欧では川下企業が充実していないと考えられ、開発競争上、北欧はやや不利な状況にあると思われる。また、米国の場合、川下企業との戦略的な連携までは考慮されていないと思われ、むしろ、サンプルを広く提供することにより、ナノセルロースの用途開発を促していると考えられる。また、カナダは川下企業と適切に連携しているようであるが、商業化が可能な技術水準まで至っていないと思われる。

一方、我が国の場合、これまでのナショナルプロジェクトを通じて、大学などの研究機関と製紙メーカー、川下企業との連携が充実していることから、事業化に向けた体制整備といった観点からは優位性を有しているのではないかと考えられる。

これらを踏まえると、我が国は、実証プラントの整備では北欧、北米に多少遅れをとっているものの、研究開発の段階に引き続き用途開発でも、世界をリードしていくポテンシャルは十分有すると思われる。しかしながら、各国も用途開発を加速させ、実用化に向けた開発を進め、コストダウンを目指しているところであり、各国に追いつかれることなく、いかに早く用途開発を進められるかが勝負の分かれ道となる。



### (3) 安全性の検討状況

セルロースは様々な食品や医薬品に使用されており、セルロース自身に安全性の問題は無いと認識されているが、ナノセルロースの安全性に関しては、その形態、処理薬品の残存、添加剤などの影響などの観点から、欧米では研究開発機関を中心に安全性評価が行われている。

ノルウェーの研究開発企業である PFI は、様々な処理を行った多種類の CNF 材料の細胞毒性を検討し、ある種の界面活性剤（臭化セチルトリメチルアンモニウム）を吸着させた CNF 以外は安全性の問題が無いとの結果を得ている。フィンランドでは、VTT による未修飾の CNF についての細胞毒性や遺伝毒性試験、FIBIC の SUNPAP プロジェクトにおける用途面での安全性評価、UPM による Biofibrils に対する細胞毒性、炎症性、遺伝毒性試験などが行われており、いずれも安全性の問題が無いとの結果を得ている。

カナダの FPInnovations は、硫酸基を持った CNC について、自国の安全性評価をクリアしており、食品、医薬品に利用できるとしている。

また、ナノセルロースの安全性評価ではカナダや北欧よりも遅れを取っていた米国でも、NIOSH（米国労働安全衛生研究所）が CNC の安全性を確認しており、評価結果のレポートが提出される予定である。また、メイン州立大学は、開発品を外部機関に評価を依頼し、安全性に問題が無いとの結果を得ている。

更に、ナノセルロース製造の従事者に対するリスク評価も行われており、フィンランドでは UPM と Stora Enso が協力して、フィンランドの研究機関において共同で評価を行っている。

以上のように、未修飾のナノセルロースについては安全性に問題が無いとの評価結果が得られつつあるが、機能性向上のための化学変性ナノセルロースについては安全性評価がほとんど行われていない。今後、日本が目指す高機能化製品を開発していく観点からも、化学変性ナノセルロースの安全性評価の検討が必要であると考えられる。

## 2. 特許動向の現状

CNF、CNC とも 2009 年から出願が急増しており、技術開発が活発になっている。

CNF では、日本からの出願が過半数を超えており、日本が技術開発をリードしていると考えられる。特に、王子ホールディングス、日本製紙グループ、UPM の製紙メーカーからの出願が 2009 年、2010 年と急増している。CNF の用途に関する出願は、紙用途だけでなく、セパレータ、医薬品などの用途も多くなっている。

CNC では、中国、米国への出願が非常に多く、日本への出願は非常に少ない。CNC の用途では、医薬品・医療品（特にドラッグデリバリーシステム）に関するものが多いという特徴がある。

## 第 2 節 ナノセルロース技術の事業化への道筋

### 1. サンプル供給体制の確立

北欧及び北米調査の結果、海外でも研究開発や実用化の体制が急速に整いつつあり、特許調査からもその動きを見て取ることができる。研究支援体制で先行するフィンランド、カナダ、スウェーデンのみならず、中国、米国の急激な追い上げも脅威となりつつある。上述の

とおり、欧米は既に実証プラントを整備し、稼働させるなど、ナノセルロースのサンプル供給体制が確立しつつあり、我が国は技術開発で先行するものの、その供給体制の整備の遅れが懸念されるところである。

こうしたことを踏まえ、我が国の CNF の供給体制の早期確立が求められるところであり、平成 24 年度イノベーション拠点立地推進事業「先端技術実証・評価設備整備等補助金」を活用し、株式会社日本製紙グループ本社及び星光 PMC 株式会社がそれぞれサンプル供給体制を整備する計画である。

#### ①株式会社日本製紙グループ本社

イノベーション拠点立地推進事業「先端技術実証・評価設備整備等補助金」を活用し、山口県のケミカル事業本部岩国事業所に、TEMPO 触媒酸化セルロースナノファイバーの実証生産設備を設置。この設備はパルプを化学的に前処理して解繊しやすくすることが特徴。生産能力年間 30 トン以上、2013 年 10 月から生産開始予定。補強材、増粘剤、ガスバリア材などの用途を想定。

#### ②星光 PMC 株式会社

イノベーション拠点立地推進事業「先端技術実証・評価設備整備等補助金」を活用し、茨城県の星光 PMC 竜ヶ崎工場に、変性セルロースナノファイバーの製造システムの開発及び製造設備を設置。2013 年 3 月より製造工程、装置の評価、2014 年 1 月に設備を設置、同年 4 月にサンプルの提供を開始する予定。変性セルロースナノファイバーの生産能力は年間 24 トン。

## 2. CNF の高機能化と用途開発の継続

これまでの研究開発により、ナノ複合化による軽量高強度材料としての用途展開、透明低熱膨張率の特性を生かしたフレキシブルディスプレイ用パネル部材としての利用、包装用又はエレクトロニクス用の高ガスバリアフィルム部材としての機能、太陽光発電パネル用部材、金属ナノ粒子のその場合成による担持体としての高活性触媒性能、血中インスリン濃度を低下する生理活性機能、エアフィルター用ナノ空隙構造形成など、既存の石油系部材に一部代替可能な、又はそれらの特性を超える高機能部材としての特性が明らかにされつつある。

CNF に関する上記の種々の機能を生かし、商品化に結び付けるための用途開発が必要である。現在、川下も含めて日本国内では相当数の企業が CNF に直接関わっており、商品化に向けた研究開発が進められ、関連する多くの特許申請が行われている。

用途開発を進めるに当たっては、平成 25 年度の予算事業である「非可食性植物由来原料による革新的化学品製造技術開発事業」、「先端省エネルギー等部素材開発事業」といった国の各種施策も有効に活用しつつ、化学メーカー等と連携した用途開発を行っていくことが必要である。

上記のとおり、今後 1 年間程度で CNF のサンプル供給体制が整うことを踏まえると、共同研究開発や商品化の継続的な検討により、今後 2~3 年間程度で、世界に先駆けて日本発の CNF の実用化、商品化を実現することが期待される。

## 3. 標準化及び安全性の評価

ナノ化の際の樹種や原料、各種前処理方法、ナノ化処理方法や装置などと、得られるナノ材料の特性などの評価分析方法の確立も重要と考えられる。素材の分析、スペック評価方法

の構築と安定した品質管理、複合化の際に発生したトラブルの原因究明と解決策の構築といった技術は、今まで日本の素材メーカーが汎用及び先端材料利用で培ってきた独自の優位点である。

現状の CNF は、分析、評価方法という最も基盤となる技術が不十分であるため、従来の素材の代替又は新規素材として展開していくに当たってのハードルが存在するという指摘がある。CNF の幅、幅分布、長さ、長さ分布、純度、収率などを明確にする分析法の構築が必要である。

また、CNF そのものだけでなく、化学修飾による変性、前処理及び解繊プロセスや排水処理まで含めた、トータルの安全性及び環境負荷評価と負荷低減技術を開発する必要がある。

#### 4. 新たな前処理技術の最適化

前処理技術開発は、解繊エネルギーの低減と用途目的に対応した高付加価値ナノセルロースの製造に不可欠である。これまで TEMPO 触媒酸化技術などを中心に研究が行われてきたところであるが、従来のセルロースの化学反応に関する知見の蓄積に基づいた新しい前処理技術も検討されている。しかしながら、この検討はまだブレイクスルーには至っておらず、引き続き東京大学磯貝教授のグループによって基礎的な研究が進められている。工学系の触媒、農学系の酵素（触媒）、理学系の材料などについて、融合領域として幅広い分野の技術を組み合わせることで、新規のブレイクスルー技術につながると期待される。

#### 5. 新たな基盤技術開発に向けた取組

自動車や家電、建材など、大規模マーケットへの展開が期待される構造用途への CNF の利用には、植物細胞壁中における CNF の均一分散状態を様々な樹脂中で実現するためのナノ分散性の向上と、多様な樹脂との複合化を CNF のポテンシャルを損なわずに実現するための耐熱性の向上が重要である。また、多様な樹脂材料との複合化を可能にする安価な化学修飾技術・プロセスの開発と木材本来の構造を最大限に活用し、省エネルギー・低コストで高機能化成品を製造する技術・プロセスの開発が急務である。

これらを実現するためには、次世代 CNF とも言うべき新たなブレイクスルー技術を確立すべく、産学官が連携したオールジャパン体制で取り組むことが期待される。

#### 6. 本格的な事業化に向けた今後の体制

##### (1) 事業化に向けた体制

ナノセルロース技術の事業化を本格的に進めることは、新たな事業領域への挑戦でもあり、民間事業者だけではリスクが大きく、対応が困難となることも想定される。このため、国からの支援も得つつ、関係者間の連携体制を整えていくことが必要である。

また、事業化に当たっては、プロジェクト参加者間の役割を明確にし、原材料供給者側である製紙メーカーと需用者側である化学メーカーとの利益相反を解消することが必要となる。このためには、事業化の初期段階では製紙メーカーと化学メーカーの共同事業としてスタートするとしても、本格的な事業化に当たっては、両者による共同出資会社の立ち上げを検討することが必要と考えられる。

我が国では、新事業のリスクマネーを供給する公的ファンドとしては、株式会社産業革新機構（INCJ）がある。ナノセルロースの事業化のための新会社設立に当たっては、INCJ、製

紙メーカー、化学メーカーの共同出資とし、一定期間後、INCJ が exit することが考えられる。いずれにせよ、事業化に当たっても、国は、何らかの公的支援を検討すべきである。

## (2) ナノセルロース・フォーラム

これまで、民間事業者は個々に京都大学や東京大学などと連携しつつ、ナノセルロース技術の事業化に向けた取組を行ってきた。我が国のナノセルロースのビジネス領域を拡大させ、厚みのあるものにするため、ナノセルロースに関わる関係者のネットワークを形成し、情報交換、情報発信の場を設けていくことは有益と考えられる。

関係者の参加を容易にするためにも大学などを中心にフォーラム形式の場などを設けることが期待される。