

平成25年度製造基盤技術実態等調査
(製紙産業の将来展望と課題に関する調査)

報告書

平成26年3月21日

株式会社三菱化学テクノロジーサーチ

〒102-0083 東京都千代田区麴町6-6

目次

第1章 調査の背景	1
1. 製紙産業の現状	1
2. 木質バイオマス利用技術の概要	3
3. バイオマス活用に関する取組について	7
第2章 調査の概要	8
1. 調査の目的	8
2. 調査の内容	8
3. ヒアリング調査	10
4. ビジョン・ロードマップの作成	11
第3章 ヒアリング調査	13
第1節 2020年、2030年に向けた製紙産業の将来展望と課題	13
1. 製紙メーカーの中長期の展望に関する有識者の意見・コメント	13
2. 製紙・パルプ製造における課題と取組	15
第2節 製紙企業におけるエネルギー分野での課題と取組	23
1. エネルギー分野での取組	23
2. バイオマス発電の課題	24
第3節 製紙企業のバイオマス利用分野での課題と取組	28
1. バイオマスリファイナリー	28
2. セルロースナノファイバー	34
第4節 ヒアリング調査のまとめ	52
第4章 製紙産業の2020年、2030年に向けたビジョンとそこに至るロードマップ	54
第1節 製紙産業の将来展望と課題	54
1. 国内製紙産業の現状	54
2. 製紙産業が持続的な成長をしていくための方策	54
3. 製紙産業が保有する技術の活用	55
4. エネルギー分野への展開	56
5. 木質バイオマスの利活用	57
6. 製紙産業を中核とした高度バイオマス産業の創造	58
第2節 セルロースナノファイバーの将来展望と課題	60
1. セルロースナノファイバーの検討経緯	60
2. セルロースナノファイバーの開発状況	62
3. 技術的な課題	64
4. 実用化への課題	66
5. 安全性・標準化への対応	67
第3節 製紙産業の将来ビジョンとロードマップ	69

1. 2020年、2030年に向けた製紙産業の将来ビジョンとロードマップ.....	69
2. セルロースナノファイバーの実用化に向けた将来ビジョンとロードマップ.....	70
3. セルロースナノファイバーの機能化のロードマップ.....	72
4. セルロースナノファイバー関連材料の潜在市場予測.....	74
5. セルロースナノファイバーによる新市場創造戦略.....	76
添付資料.....	77
1. 検討会議事録.....	77
(1) 第1回検討会議事録.....	77
(2) 第2回検討会議事録.....	84

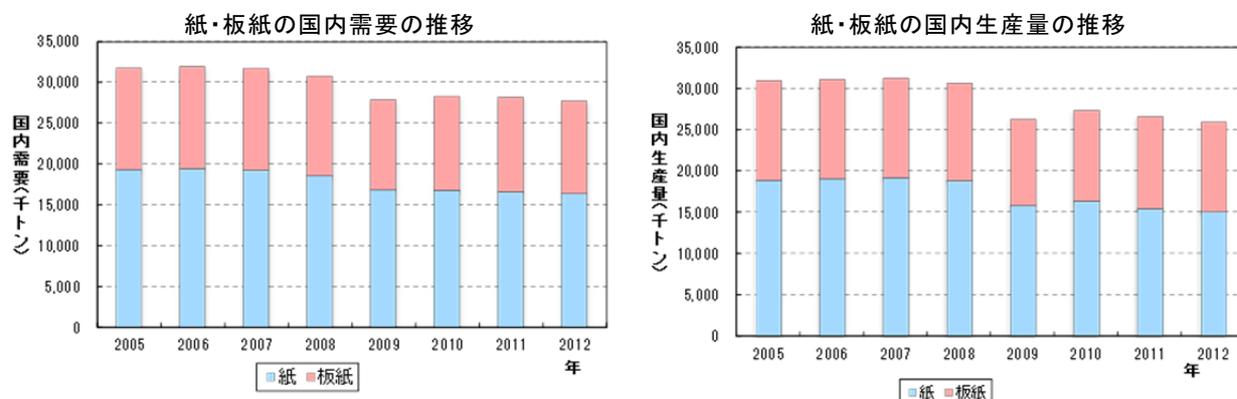
第1章 調査の背景

1. 製紙産業の現状

我が国の製紙産業は、国民生活にとって不可欠な素材である紙・板紙を供給する重要な役割を担う基盤産業であり、我が国の経済や国民生活とともに発展してきた。

しかし、近年の国内の紙・板紙需要は、少子化による人口減少や若者の活字離れ、インターネット普及によるペーパーレス化等により、リーマン・ショックを機に2009年に大きく落ち込んで以降は以前の水準に回復することなくほぼ横ばいで推移している。また、国内の紙・板紙の生産量も同様に、リーマン・ショックを機に大幅に減少し、それ以降、リーマン・ショック前の水準に回復することなく推移している。

図表 1-1 紙・板紙の国内需要と生産量の推移

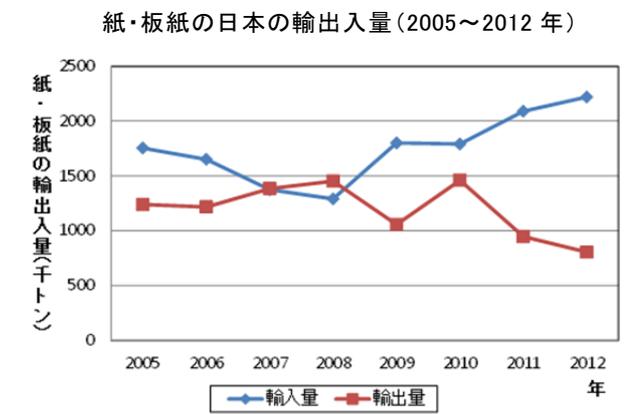


出典：日本製紙連合会 HP <http://www.jpa.gr.jp/states/paper/index.html>

我が国の紙・板紙の輸出入量を見ると、中国、インドネシア等の海外製紙メーカーによる国内市場への安価品の輸出攻勢等により、紙・板紙の輸入量は年々増加している。

一方、日本からの海外への紙・板紙の輸出货量については、国内メーカーの途上国や資源国への生産拠点の海外展開により今後とも減少する傾向にある。

図表 1-2 紙・板紙の日本の輸出入量の推移



出典：日本製紙連合会 HP <http://www.jpa.gr.jp/states/paper/index.html>

こうした国内市場の厳しい経営環境の中、国内製紙メーカーは積極的な海外事業展開によりシェア拡大を目指すとともに、長年培ってきた製紙技術やバイオマス利用技術を核として新しい事業展開による事業構造の転換を推し進めている。

国内の主要製紙メーカーの中長期事業戦略を下記に示す。各社とも環境に配慮した省エネ・省資源技術や木質バイオマスを原料とする高機能製品の開発を行っている。特に、王子ホールディングスや日本製紙グループでは、バイオマスの有効利用による新規事業の開拓を積極的に進めており、エネルギー分野及びエネルギー分野以外のバイオマス利用分野を将来の新規事業の柱として位置付けている。

図表 1-3 国内の主要製紙メーカーの中長期戦略

製紙メーカー	中長期事業戦略
王子ホールディングス	<ul style="list-style-type: none"> ■事業構造転換の重点施策 <ul style="list-style-type: none"> ・中国や東南アジア、南米を中心とした海外での事業展開を積極的に推進 ・国内の生産体制再構築と徹底したコストダウンによる国際競争力強化 ・新事業・新製品の開拓による安定した事業基盤の確立 ■新規事業の重点分野 <ul style="list-style-type: none"> ・エネルギー事業：発電事業の推進、再生可能エネルギーへの積極的投資 ・バイオマス事業：バイオリファイナリー事業（バイオエタノール、オリゴ糖、フルフラール、溶解パルプ等） ・セルロースナノファイバー事業 <ul style="list-style-type: none"> 三菱化学との共同開発によりセルロースナノファイバーの樹脂との複合化による新規構造材料やディスプレイ用フィルム等の事業化に取り組んでいる。
日本製紙グループ	<ul style="list-style-type: none"> ■「総合バイオマス企業」への事業構造の転換（木質資源と技術の高度利用により、多様な価値を持った製品・サービスを提供する企業を目指す。） ・中国、東南アジアをはじめ、世界の成長市場に目を向け、事業を展開する。 ・エネルギー事業：発電設備とその運営ノウハウを活用し、既存設備による余剰電力の供給、木質バイオマスを活用した電力供給、所有地を有効利用する太陽光発電設備の設置と新規バイオマス燃料の開発などに積極的に取り組んでいく。 ・セルロースナノファイバー事業：植物由来の新素材としてパリア性包材や樹脂補強材、増粘剤など多様な用途展開が注目されるセルロースナノファイバーの事業化に向けて、実用化・商品化を進めている。
レンゴー	<ul style="list-style-type: none"> ■「ゼネラル・パッケージング・インダストリー＝GPI レンゴー」 あらゆる産業のすべての包装ニーズに積極的に働きかける提案型の集団として、日本で、世界で、持続的な経済社会の発展と人々の豊かな暮らしを支えていく。 ・板紙、段ボール、紙器、軟包装、重包装、海外の6つのコア事業を中心に事業を展開 ・省エネ・省資源製造技術や廃棄物の利用技術の開発 ・環境に優しい製品や高機能繊維（ゼオライトとセルロース繊維の複合繊維）等の機能材商品の開発
北越紀州製紙	<ul style="list-style-type: none"> ■長期ビジョン「Vision 2020」 2020年に目標とする企業イメージ ・環境経営を推進し、あらゆる企業活動において環境を重視する企業 ・高い技術を有し、優れた品質とコスト競争力を持った魅力ある商品を提供する企業 ・着実な成長とあくなき挑戦を、情熱をもって続ける企業

こうした背景の下、本調査では、我が国製紙産業が保有する産業インフラ、人材、技術力を駆使して描ける、製紙産業の2020年、2030年の将来展望とそのための課題について、特にエネルギー分野、バイオマス利用分野の技術開発の観点から広く有識者の意見を収集、分析することにより、「製紙産業のビジョン、ロードマップ」を作成することを目的としている。

2. 木質バイオマス利用技術の概要

本調査の対象である木質バイオマス利用技術の概要について以下に記述する。

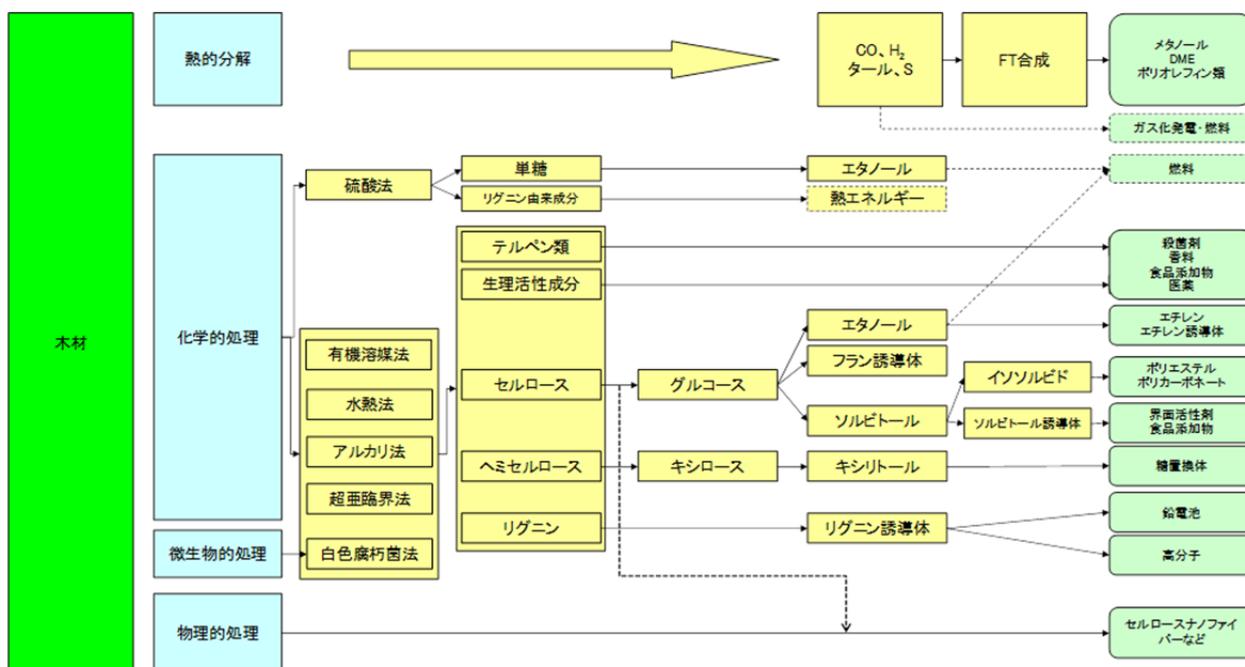
木材を出発点として、その成分を有効利用するために、「熱的分解」、「化学的処理」、「微生物的処理」、「物理的処理」などを行った際に誘導される製品群を以下の図に示した。

「熱的分解」では、木材を直接的に加熱して、分解することにより、合成ガス（CO と H₂）が発生すると同時にタールや硫黄（S）成分が発生する。タールや硫黄（S）成分を分離除去した後、メタノールやジメチルエーテル（DME）、また、FT 合成（Fisher-Tropsch 合成）により、ポリオレフィン類などに誘導することができる。このプロセスは、石油化学において用いられている方法と同様であり、石油資源の代替として位置付けられる。

一方、硫酸を用いて、単糖類を取り出して、発酵により、エタノールに変換することができる。これらの用途としては、化学素材以外に燃料としての用途がある。

また、有機溶媒法、水熱法、アルカリ法、超・亜臨界法、白色腐朽菌法などを用いて、分子レベルまでに分解するのではなく、「テルペン類」、「セルロース」、「ヘミセルロース」、「リグニン」などの木質の構成単位に分離して、マテリアルやケミカルとして利用することができる。ただし、得られる成分の組成や化学構造などは、その方法によって異なっている。

図表 1-4 木質バイオマス・リフィナリーシステムの技術俯瞰図



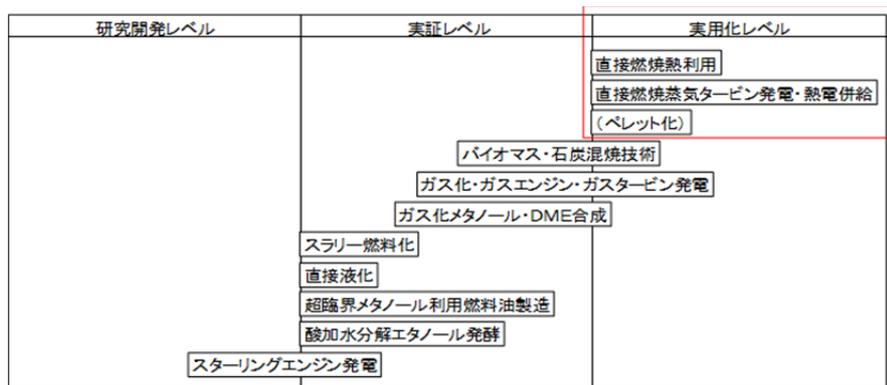
出典：各種資料を基に、三菱化学テクノロジーにて作成

木質バイオマスの利活用としては、大別して燃料や発電などのエネルギーとしての利用と、マテリアル（素材）・ケミカル（化学物質）としての利用に分けられる。以下にエネルギー及びマテリアル、ケミカルとしての利用について記述する。

(1) エネルギーとしての利用

バイオマス、特に木質系のバイオマスについては、過去から多くのエネルギー利用の検討が行われている。以下には「研究開発」、「実証」、「実用化」レベルにある技術を整理した図を示した。特に、エネルギー変換プロセスとして、「直接燃焼熱利用」、「直接燃焼蒸気タービン発電・熱電供給」、「(ペレット化)」などが実用化レベルにある。一方で、「バイオマス・石炭混焼技術」、「ガス化・ガスエンジン・ガスタービン発電」、「ガス化メタノール・DME合成」、「スラリー燃料化」、「直接液化」、「超臨界メタノール利用燃料油製造」、「酸加水分解エタノール発酵」などの実証レベルにある技術なども知られている。

図表 1-5 木質バイオマスのエネルギー変換プロセス

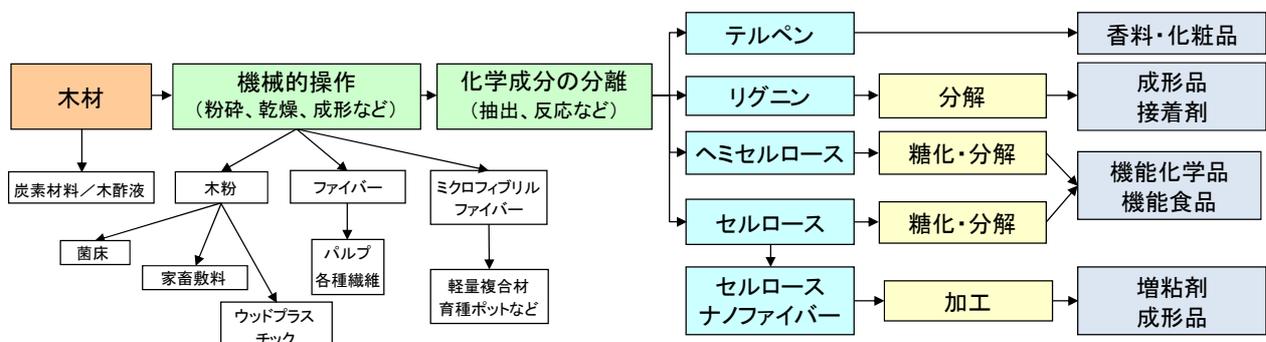


出典：「産総研におけるバイオマス研究基礎戦略」 産業技術総合研究所（2003年12月）を基に作成

(2) マテリアル（素材）・ケミカル（化学物質）としての利用

マテリアル（素材）・ケミカル（化学物質）としての利活用については、木質などの木材としての特性をいかした利活用の方法と、木質を適切な方法で化学物質まで分解して用いる方法がある。例えば、木質を粉砕した木粉は、キノコ菌床、家畜敷料、ウッドプラスチック等の分野で使用される。一方で、バイオエタノールやプロピレンなど分子レベルまで分解したものを利用することがバイオリファイナリーとして検討されている。

図表 1-6 化学物質としての利活用と木質の特徴をいかした利活用



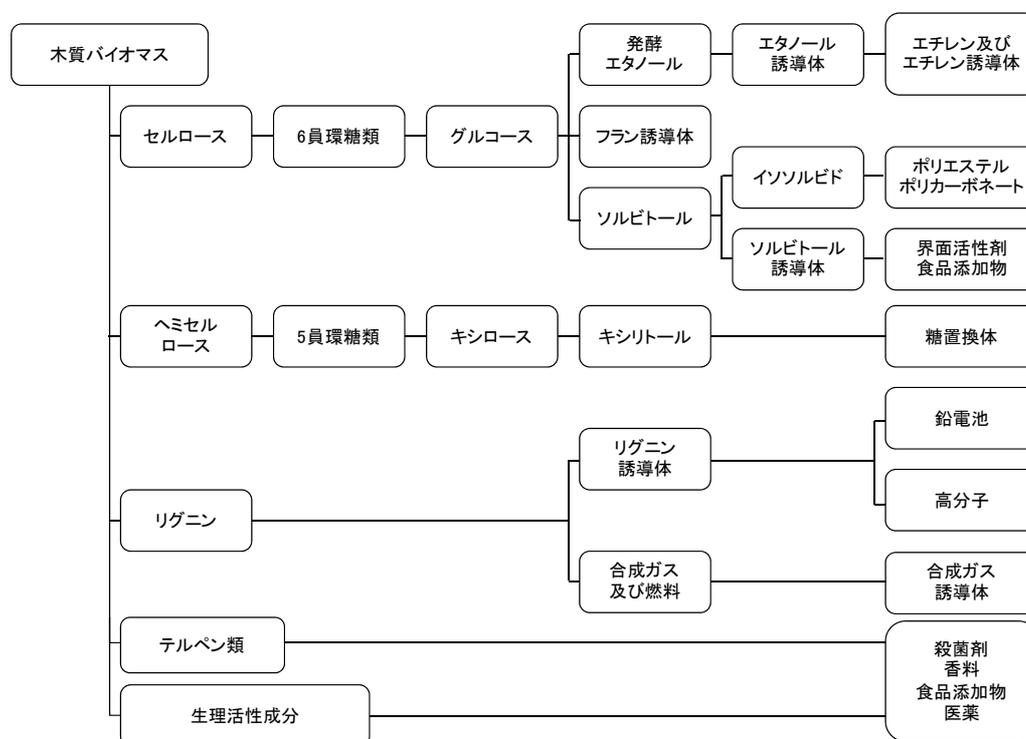
出典：各種資料を基に三菱化学テクノロジーにて作成

上図は、化学物質として分子レベルでの利用を考えた場合と、分子レベルでの利活用に至る前段階に当たる木粉などの木材としての性質を多く残した場合の利活用の方法について示したものである。前者は、化学成分の分離を抽出や反応などの化学的操作により行うものであり、後者は、粉碎、乾燥、成形などの機械的操作により製品を生産する方法である。また、大きさも分子レベルと構造物レベルといったように異なっている。

製紙産業の将来事業としては、木質の特徴をいかした用途や、有機化学製品を中心としたバイオリファイナリーとして、木質バイオマスを余すことなく使っていくことが重要である。

木質を適切な方法で化学物質まで分解して得られる主な化合物の利用方法について整理したものを以下に示した。

図表 1-7 木質バイオマスの化学製品としての利用



出典：各種資料を基に三菱化学テクノリサーチにて作成

化学製品としての利用に関しては、セルロース（6員環糖類）、ヘミセルロース（5員環糖類）、リグニンなどに大別される。これらを反応させることにより種々の化学製品の生産が期待される。また、テルペン類や生体活性成分などが高付加価値の成分として期待される。

セルロースについては、エタノールとその誘導体への展開、フラン誘導体、ソルビトールを経て、ポリエステルやポリカーボネートへの展開や界面活性剤や食品添加物としての用途が期待されている。

ヘミセルロースについては、キシリトールや糖置換体などへの展開がある。

リグニンについては、分散剤、土質改質剤・土壌改良剤、イオン交換剤、なめし剤、プラスチック、ゴム補強剤などの用途が古くから知られているが、近年では、高分子（バイオ

プラスチック) 材料や鉛電池材料などの用途が期待されている。また、合成ガス及び燃料としての利用も検討されている。

また、ファインケミカルズの代表例として、テルペン類や生理活性成分があり、殺菌剤、香料、食品添加物、医薬などへの応用が期待される。

次に、マテリアル(素材)として、木粉などの木材としての性質を最大限に利活用した方法について記述する。

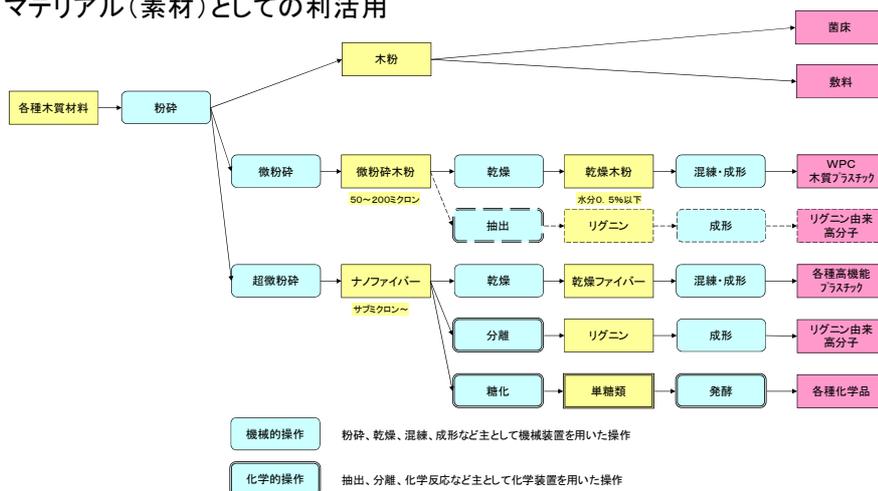
「木粉」からは、「菌床」や「敷料」を生産する。さらに、「微粉碎木粉」からは、「木質プラスチック」が生産されている。

「セルロースナノファイバー¹⁾」については、高い比表面積と空孔率を有しており、耐有機溶剤性に優れる、熱膨張係数が低い等の数々の優れた特性が認められており、軽量・高強度材料や包装材料、あるいはエレクトロニクス材料等としての実用化が期待されている。

その製造方法として大別して二つの方法が提案されている。セルロースに剪断力を働かせながらセルラーゼを作用させてマイクロフィブリル間の水素結合をほぐす方法(京都大学矢野教授の方法及び森林総合研究所の方法)とTEMPO(2,2,6,6-テトラメチル-1-ピペリジニルオキシラジカル)を作用させてセルロース分子間の水酸基をカルボン酸に酸化し、水の浸透圧により解繊する方法(東京大学磯貝教授の方法)が提案されている。解繊装置としては、高圧ホモジナイザー、グラインダー磨砕、水中カウンターコリジョン、超音波解繊などの方法が適用される。用途としては、複合材料、透明機能フィルム(電池セパレータ、パネルディスプレイ、太陽電池)、包装材料、再生医療足場/培地などの医療分野での応用展開などが検討されている。

また、「セルロースファイバー」の「糖化技術」の開発により「単糖類」を合成し、「発酵技術」を用いて、「各種有機化合物」に展開することが考えられる。また、併産される「リグニン」から「リグニン由来高分子」に展開することが検討されている。

図表 1-8 マテリアル(素材)としての利活用



出典：各種資料を基に三菱化学テクノロジーにて作成

¹⁾本調査において、セルロースナノファイバーとは、木材から得られるパルプなどを原料とし、化学的、機械的に処理してナノサイズまで細かく解きほぐした、平均幅が数~20nm程度、平均長さが0.5~数μm程度のサイズの繊維状物質とする。ナノクリスタルセルロースとは、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る、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。

3. バイオマス活用に関する取組について

バイオマスの活用の推進に関する施策を総合的かつ計画的に推進することを目的とした「バイオマス活用推進基本法」が2009年9月12日に施行され、2010年12月17日に同法20条に基づく「バイオマス活用推進基本計画」が決定された。バイオマス活用推進基本計画においては、2020年に達成すべき数値目標として、約2,600万炭素トンのバイオマスを利用し、約5,000億円規模の新産業を創出することが目標として設定されている。

この基本計画に基づき、関係7府省（内閣府、総務省、文部科学省、農林水産省、経済産業省、国土交通省、環境省）の連携の下、バイオマスの活用が推進されている。

また、関係行政機関相互の調整により、バイオマスの活用の総合的、効果的な推進を図るため、バイオマス活用推進会議が設置され、2012年9月には「バイオマスを活用した事業化のための戦略」が策定された。

この中で、木質バイオマスについては、以下の推進項目が挙げられている。

◎付加価値の高い製品の創出による事業化の推進

- ・国内バイオマスは、原料確保の面で制約があることから、出口（販路）として、化学品等の付加価値の高い製品の製造・販売や、糖等の汎用物質を基点に多様な化学品やエネルギーを効率的に併産するバイオリファイナリーの構築による事業化を推進する。
- ・これまでエネルギーに利用されてきたリグニンからの高機能性材料の開発など未利用木質バイオマスからの高付加価値製品の製造技術の開発を推進する。

さらに、「バイオマス利用技術の現状とロードマップ」も策定され、本調査に関連の深い木質バイオマスについては、バイオマテリアル分野ではセルロースナノファイバーを用いたバイオプラスチック素材の開発、バイオリファイナリー分野では化学品やエネルギーの製造について事業化を推進していくことが示されている。

こうした背景の下、本調査では、製紙産業に焦点を絞って、有識者からのヒアリングを通して、更にブレイクダウンしたビジョンとロードマップを作成し、製紙産業の今後の発展のために必要な支援策を考える上での基礎資料を提供することを目的とする。

図表 1-9 バイオマス利用技術の現状とロードマップ

技術	原料	製造物	技術レベル				技術の現状	技術的な課題
			現在	5年後	10年後	20年後		
バイオマテリアル	①糖質・澱粉質系 ②リグノセルロース系 ③セルロースナノファイバー	バイオプラスチック素材	実用化 (一部研究・実証)	研究・実証	実証 (一部実用化)	実用化	① 各種バイオマスからポリ乳酸やプラスチック・素材を製造する技術で、とうもろこし等糖質・澱粉質系は実用化(木質等リグノセルロース系は研究・実証段階)。 ② 紙パルプ製造工程や木質バイオマス変換工程で発生するリグニンを活用し、付加価値の高い樹脂・化学原料等を製造する技術で、技術的には研究・実証段階。 ③ 木質バイオマスからセルロース繊維を精製し、ポリオレフィン等の樹脂と複合化し、各種部材を製造する技術で、技術的には研究開発段階。	○ 製造コストの削減(化石資源由来プラスチックと競合) ○ 量産化技術の開発 ○ 各種バイオマス由来のリグノセルロース等を効率的に発酵性糖質に変換する技術の確立 ○ 低コストで高機能のポリ乳酸やプラスチック・素材を製造する技術の確立 ○ 新規芳香族化合物の探索(原料バイオマス中のリグニンの有効利用法に資するため)
			研究・実証	研究・実証	実証 (一部実用化)	実用化		
バイオリファイナリー	糖質・澱粉質系、木質系、草本系等	バイオマス由来物質を基点に多様な化学品・エネルギーを生産	研究・実証	実証	実用化	○ 各種バイオマス由来の発酵性糖質等を基点に多様な化学品・エネルギー物質(アルコール、有機酸、アミノ酸、ポリマー原料、輸送用燃料等)並びに熱・電気などのエネルギーを効率的に併産する総合技術システムで、個々の単位技術の現状と課題は、それぞれの技術によって異なるが、総合的利用技術の開発は研究・実証段階。 ○ バイオマス原料の前処理と糖化技術にセルロース系発酵(第2世代)と同等技術が利用可能。	○ 各種バイオマス由来のリグノセルロースを効率的に発酵性糖質に変換する技術の確立 ○ 新規芳香族化合物の探索(原料バイオマス中のリグニンの有効利用法に資するため) ○ 発酵阻害物質を含まない糖質の生産・発酵阻害を起さない発酵技術の開発 ○ バイオマス構成成分、代謝物等を総合的・効率的に既存あるいは新規の有効物質に変換する技術の開発 ○ 高付加価値な長炭素鎖を持つモノマー生産のための種物・微生物のバイオプロセス改良技術の確立	

出典：バイオマス活用推進会議「バイオマス事業化戦略」(2012年9月6日)

第2章 調査の概要

1. 調査の目的

我が国の製紙産業は、ペーパーレス化や産業の空洞化、少子高齢化などにより国内の紙需要は減少傾向にあり、さらには海外製紙メーカーによる国内市場への安価品の輸出攻勢による輸入紙の台頭、原燃料価格の上昇といった厳しい環境にある。こうした状況の中、国内製紙メーカーは、紙の製造で培った自家発電設備の運転管理のノウハウやスキル、あるいは製紙原料として木質バイオマスを使いこなしてきた技術と経験をいかし、エネルギー分野、バイオマス利用分野に新たな活路を求めようとしている。

本調査では、我が国製紙産業が保有する産業インフラ、人材、技術力を駆使することによりどのような将来図が描けるのか、また、現在検討されている製紙技術、バイオマス利用技術を核とした、例えば、木質バイオマスを使ったセルロースナノファイバー等の技術開発の成果がどのような技術革新に結び付き、どのような形で国内産業の発展に貢献できるのか等について、有識者からの意見を収集・分析し、「製紙産業の2020年、2030年に向けたビジョンとそこに至るロードマップ」を作成する。こうした調査により、製紙産業の将来展望及び課題を明らかにし、今後の支援策を検討するための基礎資料を提供することを目的とする。

2. 調査の内容

本調査は、有識者ヒアリングを通して、「製紙産業のビジョン及びロードマップ」(案)を作成し、作成案について有識者による検討会において討議を行い、最終的に「製紙産業の2020年、2030年に向けたビジョンとそこに至るロードマップ」を策定するものである。

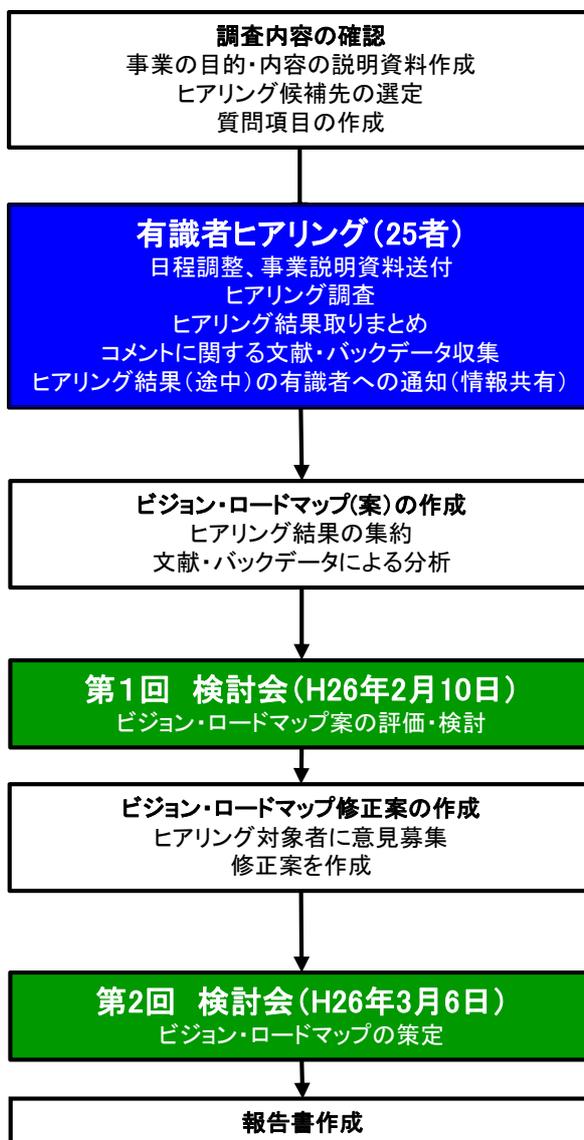
具体的な調査項目と調査内容を図表2-1に一覧表として示した。

図表 2-1 調査項目と調査内容

番号	調査の項目	調査の内容
①	有識者ヒアリング	製紙産業、バイオマス技術の将来展望及び課題に関して有識者からヒアリングを行う。 ヒアリング対象者:25者 ・ヒアリングの意見、コメントに対する文献、バックデータを収集する。 ・ヒアリング対象者にもヒアリング結果を知らせる。
②	ビジョン・ロードマップの作成	ヒアリング結果を集約し、収集した文献、バックデータを分析し、「製紙産業の2020年、2030年に向けたビジョンとそこに至るロードマップ」(案)を作成する。
③	検討会の開催	作成したビジョン・ロードマップ(案)の評価・検討を行うために検討会を設置する。 委員:5名(ヒアリングを実施した有識者から当事業の目的にふさわしい有識者を選定。) 検討会は、2回開催とし、各検討会では、下記項目についての討議を行う。 第1回 作成したビジョン・ロードマップ案の評価・検討 第2回 第1回の検討会の結果とヒアリング対象者から出た意見を反映したビジョン・ロードマップ案を検討会に諮り、検討会の意見を基にビジョン・ロードマップを最終的に策定する。
④	報告書の作成	①～③について報告書として取りまとめを行う。

本調査の実施フロー図を下記に示す。

図表 2-2 調査実施フロー図



3. ヒアリング調査

(1) 有識者ヒアリング対象者

本調査の目的から有識者ヒアリングの対象者として、製紙企業の経営企画及び技術開発の担当者や製紙技術、バイオマス技術を検討している大学及び公設研究機関等の研究者を選定した。また、セルロースナノファイバーの将来展望や課題に関するヒアリングを目的に、解繊装置メーカー及び川下企業である自動車メーカーと電機メーカーの有識者からもヒアリングを行った。

以下に、本調査に御協力いただいた有識者の方々の一覧表を示した。

図表 2-3 有識者ヒアリング対象者 敬称略

No.	分野	所属	所属・役職	氏名
1	製紙 メーカー	王子ホールディングス株式会社	常務取締役	小関 良樹
2		王子ホールディングス株式会社	監査役	福井 聡
3		日本製紙株式会社	取締役 CTO	山崎 和文
4		日本製紙クレシア株式会社	代表取締役社長	南里 泰徳
5		北越紀州製紙株式会社	取締役 技術開発本部長	鈴木 裕
6		大王製紙株式会社	工場長代理待遇部長	玉城 道彦
7		中越パルプ株式会社	取締役 開発本部長兼開発部長	高岸 伸
8	製紙装置 メーカー	株式会社 IHI フォイトペーパーテクノロジー	営業部 課長	山岸 大訓
9		バルメット株式会社	営業部 シニアマネージャー	今井 三千代
10		アンドリッツ株式会社	代表取締役社長	川上 千秋
11		相川鉄工株式会社	取締役 副社長	金沢 毅
12	解繊装置 メーカー	株式会社スギノマシン	執行役員 新規事業開発本部長	杉野 岳
13		増幸産業株式会社	代表取締役社長	増田 幸也
14	自動車 メーカー	トヨタ自動車株式会社	主幹	影山 裕史
15		日産自動車株式会社	部長	熊本 隆
16	電機・電子 メーカー	株式会社日立製作所	主任研究員	香川 博之
17		コニカミノルタ株式会社	製品開発部長	河野 誠式
18	大学	東京大学 大学院農学生命科学研究科	教授	磯貝 明
19		京都大学 生存圏研究所	教授	矢野 浩之
20		東京大学 大学院農学生命科学研究科	教授	松本 雄二
21		鳥取環境大学 環境学部	教授	横山 伸也
22		株式会社白石バイオマス（京都大学）	所長（名誉教授）	白石 信夫
23		東京大学	名誉教授	尾鍋 史彦
24		筑波大学 生命環境科学研究科	教授	大井 洋
25		筑波大学 生命環境科学研究科	教授	江前 敏晴

(2) ヒアリング調査項目

ヒアリング調査項目としては、製紙企業の担当者には、「製紙産業の将来展望及び課題」を、製紙技術、バイオマス技術の研究者には、「製紙技術、バイオマス利用技術の将来展望及び課題」を中心にヒアリングを実施した。セルロースナノファイバー関連の解繊装置メーカーや川下企業の有識者には「セルロースナノファイバーの将来展望及び課題」についてヒアリングを行った。ヒアリング項目を以下に示した。

図表 2-4 ヒアリング調査項目

製紙企業における経営企画・技術開発を統括されている方	製紙技術・バイオマス利用技術を推進されている方
<p>「製紙産業の将来展望及び課題」について</p> <p>①2020年、2030年に向けた製紙産業の将来展望と課題 (製紙技術、エネルギー分野、バイオマス利用分野等)</p> <p>②製紙・パルプ製造における課題と取組</p> <ul style="list-style-type: none"> ・製紙事業の課題と将来構想(原料、製造、販売) ・紙・パルプの製造における技術課題と開発目標 ・技術検討項目と検討スケジュール ・国内外の注目技術 <p>③製紙企業におけるエネルギー分野での課題と取組</p> <ul style="list-style-type: none"> ・森林バイオマス資源としての植林事業の現状と将来 ・バイオマス発電事業の取組状況と将来構想 ・バイオマス発電における技術課題と開発目標 ・バイオマス発電の技術検討項目と検討スケジュール ・事業化のための課題(原料調達、製造、販売) ・国内外の注目技術 <p>④製紙企業のバイオマス利用分野での課題と取組</p> <ul style="list-style-type: none"> ・木質バイオマスの利活用に関する技術開発状況と課題(セルロースナノファイバー、ポリマー原料、機能化学品等) ・開発の目標、開発課題、検討項目、開発スケジュール ・事業化のための課題(原料調達、製造、販売) ・国内外の注目技術 	<p>「製紙技術、バイオマス利用技術の将来展望及び課題」について</p> <ul style="list-style-type: none"> ・2020年、2030年の製紙技術、バイオマス利用技術の目指すべき姿 ・目指すべき姿を実現するための課題と対応 ・そのための技術開発の目標 ・技術開発内容 ・課題解決のために強化すべき技術開発 ・課題解決のための国内外の注目技術 ・事業化のための課題(原料調達、製造、販売) ・2020年、2030年に向けた技術開発のスケジュール(研究開発、実証段階、実用化段階、事業化、普及・拡大等)

4. ビジョン・ロードマップの作成

(1) ヒアリング結果の集約、ビジョン・ロードマップ案の作成

有識者からのヒアリング結果を集約し、収集した文献、バックデータを分析して、「製紙産業の2020年、2030年に向けたビジョンとそこに至るロードマップ」(案)を作成した。

(2) 検討会の開催

有識者ヒアリングにより作成した「製紙産業の2020年、2030年に向けたビジョンとそこに至るロードマップ」(案)に関して、評価、検討をするために下記委員から構成される検討会を2回開催し、ヒアリング対象者からの意見も反映して、ビジョンとロードマップを策定した。

第1回検討会（2月10日）

委員長

渡邊 政嘉 経済産業省 製造産業局 紙業服飾品課長

委員

磯貝 明 東京大学 大学院農学生命科学研究科 生物材料科学専攻 教授

矢野 浩之 京都大学 生存圏研究所 生物機能材料分野 教授

横山 勝 王子ホールディングス株式会社 研究開発本部長 兼 知的財産部長

五十嵐 陽三 日本製紙株式会社 執行役員 研究開発本部長 兼 総合研究所長

香川 博之 株式会社日立製作所 日立研究所 材料研究センタ 主任研究員

第2回検討会（3月6日）

委員長

渡邊 政嘉 経済産業省 製造産業局 紙業服飾品課長

委員

磯貝 明 東京大学 大学院農学生命科学研究科 生物材料科学専攻 教授

矢野 浩之 京都大学 生存圏研究所 生物機能材料分野 教授

田尻 正直 王子ホールディングス株式会社 研究開発本部 開発研究所長

五十嵐 陽三 日本製紙株式会社 執行役員 研究開発本部長 兼 総合研究所長

香川 博之 株式会社日立製作所 日立研究所 材料研究センタ 主任研究員

第3章 ヒアリング調査

第1節 2020年、2030年に向けた製紙産業の将来展望と課題

1. 製紙メーカーの中長期の展望に関する有識者の意見・コメント

■ A社

(1) 事業構造転換の重点施策

- ① 中国や東南アジア、南米を中心とした海外での事業展開を積極的に推進
- ② 国内の生産体制再構築と徹底したコストダウンによる国際競争力強化
- ③ 新事業・新製品の開拓による安定した事業基盤の確立

(2) 新規事業の重点分野

- ① エネルギー事業：発電事業の推進、再生可能エネルギーへの積極的投資
- ② バイオマス事業：バイオリファイナリー事業（バイオエタノール、オリゴ糖、フルフラール、溶解パルプ等）

(3) セルロースナノファイバー事業

セルロースナノファイバーの樹脂との複合化による新規構造材料やディスプレイ用フィルム等の事業化に取り組んでいる。

■ B社

「総合バイオマス企業」への事業構造の転換

木質資源と技術の高度利用により、多様な価値を持った製品・サービスを提供する企業を目指す。具体的には、包装容器や機能性シートといった産業用素材や、セルロースナノファイバーなどの新素材を含むバイオケミカル、電力事業などのエネルギー分野、さらにはアグリ・食品分野における展開を図っていく。

- ① 中国、東南アジアを始め、世界の成長市場に目を向け、事業を展開する。
- ② エネルギー事業：発電設備とその運営ノウハウを活用し、既存設備による余剰電力の供給、木質バイオマスを活用した電力供給、所有地を有効利用する太陽光発電設備の設置と新規バイオマス燃料の開発などに積極的に取り組んでいく。
- ③ セルロースナノファイバー事業：植物由来の新素材としてバリア性包材や樹脂補強材、増粘剤など多様な用途展開が注目されるセルロースナノファイバーの事業化に向けて、実用化・商品化を進めている。

■ C社

日本は少子高齢化だが、アジアや中国では人口が増え、製紙産業も設備を増強している。インドネシアや南米の安いパルプを使い、設備と管理は今や世界中差がなくなっているからどこでも同じものができるので、汎用品は海外から流入が増えるのは当然。製紙以外に家庭紙事業へいち早く注力し、成長分野での品質優位性を確立してきた。

製紙においても、従来、日本は例えば新聞用紙ロールで、印刷時に1,000本に1回紙が切れるかどうかという品質に対し、外国品は100本に1回切れる時があるというように日本の品質優位があるが、今日ではどこでも安いものを使いこなすようになってきているし、電子版が出始めて新聞用紙の需要そのものも減り始めている。したがってこれまでのように品質追求だけでは難しい。このような変化に対応して、原料では海外に植林してチップを日本に持ち込むビジネスモデルを確立、他方、余ってくるパルプの有効利用ということでナノセルロースの開発へ注力している。さらに、リグニンは従来燃やしてエネルギーとして利用していたが、今後はより高次の利用を考える。また装置産業であり発電もいろいろ検討している。

包装材や機能材などのパッキング系は残っていると思うが、10年先までには新聞等の市場は海外の事例からしても縮小すると考えられる。設備と管理は今世界どこでも同じになってきているので、汎用の紙は生き残れないかもしれない。日本の紙の生き残りは、機能と品質に特化したものだろう。

■ D社

当社は“脱紙パ”の企業戦略は採らず、海外市場、特に東南アジアへの輸出を強化することにより製紙企業としての立場を堅持していくこととしている。国内の紙生産量は5年前に比べて2割くらい減ったが、当社の紙生産量は結果として逆に1.5倍に増えた。今後もこの方向で行く。

東南アジアの市場の成長は大きく、全体で7~8%の年率伸長にあり、これからも市場拡大が見込まれている。コート紙の生産はパルプから紙、塗工までの一貫生産工場であり競争力が高い。ここを輸出基地としてフル稼働することで、生産コストを削減していく。白板紙事業に関しては、中国に板紙工場を建設し営業運転を開始する予定である。特殊紙分野では、抄紙技術をマイクロガラス繊維に応用したフィルター製品に広げ、自動車バッテリー用のセパレータを作っているフランスの会社を買収するなどを進めている。

■ E社

国内に森林資源もあり、紙パ工場は国内に残さなければいけないと考える。残れるようにするために、セルロースナノファイバーの開発や、高純度のDPの開発、ヘミセルロースやリグニンの利用などの技術の開発を進めていかなければいけないと思う。海外との競争はスケールで劣っており、このままでは再投資ができない。特に中国の場合は保護政策が大きく、さらに環境投資への要請もないので先方が有利になっている。

2. 製紙・パルプ製造における課題と取組

(1) 製紙産業の現状と課題

製紙産業の現状と課題に関する有識者の意見・コメント

- ・ 今後、国内の製紙需要が増えることは期待できない状況で、縮小する市場の中で国内市場に対して事業体質を筋肉質にするためにコストダウンを図りながら、収益の出る事業構造への再構築を行っている。
- ・ 海外にも積極的に展開し、海外で生産し、途上国などの海外にも売るという事業形態に進んでいく。印刷用紙は競争力が低く、段ボールを含めた包装用紙、産業用紙、プラスチックの紙による置き換えなどを提供していく。

《具体的な意見・コメント》

- 国内の紙・板紙は2000年をピークに減少してきており、2010年では2000年比で紙が83%、板紙が90%となっている。一方輸入紙の量は増えてきて、特に紙の分野は2007年には国内市場の5%であったものが2012年には11%になってきている。特に印刷用紙は同じく6%が18%となってきており、その中でもPPC用紙は国内需要の4割が輸入品になっている。中国はパルプを輸入して紙を製造し輸出しているが、輸出の際に輸入時の関税をキャンセルされるので輸出の意向が強く、日本に流れてくる。
- 洋紙に比べると板紙の方は地場の力が強く輸入品が入りにくい。現在 2%くらいは輸入品が入ってきているがこれは強度のある米国品の比率が高い。中国も国内での古紙回収が進んでおり、この場合は輸入税の還付がないので輸出意欲が低くなる。ただ、現在中国では段ボール原紙の工場の増設が進んでおり、国内需要の正確な量が分からないのでこの増設が中国国内の需要に見合っているかどうか分らず、いつ日本にあふれ出てくるか不安がある。2030年の予測をと言われると難しいが、今後とも日本国内の人口減に伴い国内需要が減っていくと考えている。
- 衛生用紙・ティッシュなどは一定の伸びがある。紙おむつには期待しているが、大人用は海外では日本ほどではない。子供用は東南アジアでの伸びに期待している。特殊紙といわれる、量は少ないが付加価値のある分野に力を入れている。製紙ラインは需要に応じた能力調整ができるが、パルプ蒸解の方はそのような縮小調整ができないので、パルプでの外販も考えると同時に紙以外への応用を構想している。紙産業は中国・東南アジアから世界的に量で勝負する事業になってしまっていて、国内需要が減少している状況で、技術改良により生産効率改善を図ろうという努力はなくなった。日・米・欧いずれも同じ状況にある。日本の紙生産技術の効率は既に世界のトップクラスにある。
- 今後国内の紙の需要は減少していく。2020年を想定すると印刷・情報用紙については相当減少し、パッケージ・家庭紙はある程度残ると考えられる。量的に多い印刷・情報用紙

事業は海外で生産し、途上国などの海外にも売るという事業形態に進んでいくと思われる。それでも印刷用紙は競争力が低く段ボールを含めた包装用紙、産業用紙、プラスチックの紙による置き換えを提供していくのが2020年頃の姿だと思う。

- パルプも、ブラジルにおける蒸解の計画が進めば、KP 蒸解や回収ボイラーを国内に持つ意味があるかを考えなければならない。途上国の需要が伸びてもブラジルの設備が計画どおりにできていくと、近々パルプ生産能力が過剰になると考えている。ただしこれは広葉樹のパルプに限られ、需要の伸びとの間にギャップがある。
- 今後、国内の製紙需要が増えることは期待できない状況で、縮小する市場の中で国内市場に対して事業体質を筋肉質にするためにコストダウンを図りながら、収益の出る事業構造への再構築を行っている。海外にも積極的に展開する必要がある。段ボールについて、東南アジア（ベトナム、インド等）を中心にM&Aを含めた展開をしている。また感熱紙は、海外4か所と国内で生産している。印刷用紙は市場が縮小してきており将来的にも回復の見通しはない。市場縮小の原因は少子高齢化、ICT化であり、特に新聞紙は読書離れに加え、広告の減少により紙面が少なくなっている。
- コート紙、上質紙は年率3~5%、新聞用紙は1~2%減少してきている。コート紙に関しては、中国製品の生産能力が大きく競争力があり、品質も向上しているので、国内メーカーは稼働率を下げざるを得ない。中国は国内の需要以上の設備を持っており将来的に危機感を持っている。
- 紙によるプラスチックの置き換えは今後も環境への配慮から進んでいくと思われ、複合材料の形で進んでいくと期待している。また、包装用の紙の需要も減らないと思う。ただし、軽量化が進んでいるので面積が維持できても重量は減るかもしれない。
- 産業用紙（クラフト紙、特殊紙、硬板紙加工分野）などに注力しようと考えている。板紙はカードや表紙、及び紙容器で、紙容器は脱プラスチックという考えでサステナブルなバイオマスと位置付けて優位に立てる。また印刷効果も優れたものを出せる。産業用紙は間伐材を原料として使いこなしているのが有利と考えている。原料優位に加えもともとシェアが高いこともあり今後も競争力があると思っている。地元との信頼関係ができており、公有林の間伐材を集める仕組みが出来上がっている。

(2) 製紙技術の競争力について

製紙技術の競争力に関する有識者の意見・コメント

- ・アジアや中国では人口が増え製紙産業も設備を増強している。インドネシアや南米の安いパルプを使い、設備と管理は今や世界中差がなくなっているのどこでも同じものが製造できる。
- ・今後とも新しい開発は停滞し、省エネ、メンテナンスが中心となる。
- ・競争力のある技術として、コート紙のオンマシンコーター技術がある。この技術により生産効率を向上させ作業人員と消費エネルギーを削減し、コスト競争力が高まっている。

《具体的な意見・コメント》

- パルプ及び紙を作る技術開発はストップしている。その理由は、中国のこれまでの展開の仕方が、既に出来上がっている大型マシンを安く大量に並べて紙を作っていくという展開をしたために、新規開発は止まってしまった。新しい技術を持ち込むことが難しくなる。機械メーカーであるメッツォもフォイトも力を入れていない。今後とも新しい開発は停滞するだろう。省エネ、メンテナンスに関心が行っている。
- 競争力のある技術として、コート紙のオンマシンコーター技術がある。抄紙と塗工（コーティング）を別工程としていた製造工程を連続で進めるオンマシンコーター技術を開発した。この技術により生産効率を向上させ作業人員と消費エネルギーを削減し、コスト競争力を強化した。抄紙技術の応用例とし、マイクロガラス繊維を原料としたULPA及びHEPAフィルター用のシートを25年前から製造販売している。抄紙技術そのものが製紙産業の持つ固有技術である。
- 蒸解工程のパルプ収率向上に関しては、パルプ用植林木の適性向上のための育種の研究や、設備の改良、蒸解助剤や方法の検討などが各国で行われている。抜本的な改良は難しいが、これらの技術を組み合わせて、収率向上を図ることが必要である。コスト競争力を高めるために、安い樹種、例えば東南アジア産の植林アカシアなどを使いこなす技術開発が進められている。
- 紙パルプ分野の抜本的改良技術として、かつて我が国で製紙技術組合が結成され、直接苛性化技術や高濃度抄紙技術が研究されたが、いずれも実用化までには至らなかった。
- 昔から高濃度抄紙とか水を使わない抄紙とかの考えはあり、今でも海外の大学の先生が研究しているがロードマップを描けるような話ではない。

(3) 製紙・パルプ製造における検討すべき課題

《具体的な意見・コメント》

- ① 国有林の利用技術
- ② 廃棄物バイオマスをエネルギーにする技術
- ③ 間伐材を持ち運べる形態にする（ペレット化）
- ④ 糖化技術の改良 低コストで効率の良い糖化技術の開発
- ⑤ バイオマスのガス化技術（燃料、バイオケミカルの原料）
- ⑥ 成分分離技術の改良（バイオリファイナリー用途）
- ⑦ 用途に合ったパルプの製造技術（経済性を考慮して、現行パルプ製造プロセスの改良検討）
- ⑧ バイオマス原料の分離技術としての溶解パルプの製造法の検討
例)・日本製紙：「釧路工場における溶解パルプ生産体制を確立」 既存のクラフトパルプの連続蒸解釜を使用した溶解パルプの製造（2012年10月11日ニュースリリース）
・王子製紙：「米子工場におけるフルフラーおよび溶解パルプ等製造の実証・評価の実施並びに販売」、米子工場に、「バイオリファイナリー効率的一体型連続工業プロセス」を導入し、木材に含まれるヘミセルロース、セルロースから有価物を連続的に製造する先端技術に関する、実証・評価の実施をする。（2012年5月7日ニュースリリース）
- ⑨ 前処理技術は、製紙業の強みを使った技術開発が必要である。

(4) 製紙装置メーカー有識者の意見・コメント

① 製紙・パルプ製造における課題と取組

製紙・パルプ製造における課題と取組に関する有識者の意見・コメント

- ・製紙産業は2007年頃から、需要減、海外からの輸入品増、需要に対する過大な設備能力保有などの理由から厳しい事業環境にある。各社は製品群の集中・特化、新製品の開発や発電に注力している。
- ・製紙産業は設備投資型であり、新しく展開するとしても保有している設備を有効利用する範囲でないと難しい。

《具体的な意見・コメント》

- 製紙産業は2007年頃から、需要減、海外からの輸入品増、需要に対する過大な設備能力保有などの理由から厳しい事業環境にある。今後とも人口の減少、少子高齢化の進行、GDPの減少、デジタル化の進行など環境は良くない。アジア市場のCCC(Cost Competitive Country)における製造品の受入れが進むであろう。この状況に対応するために、各社は製品群の集中・特化、新製品の開発や発電に注力している。その中でも王子製紙・日本製紙の大手2社及びレンゴの各社は海外展開を図っているが、他の各社はニッチ分野を指向

している。製紙産業は設備投資型であり、新しく展開するとしても保有している設備を有効利用する範囲でないと難しい。

- バイオ関連を除くと製紙産業での革新的な新しい技術開発は近年なされていない。数年前までは1ラインの能力をいかに大きくするか、製紙ラインもいかに幅広・高速にするかに注力していた。近年は中規模のプラントでいかに効率良く、また漂白性の良いプロセスにするかが関心事になっている。全く新しい技術ということは聞こえてこない。漂白技術も塩素を使わない方法なども確立されている。高濃度抄紙も過去に皆で検討したが、目標は達成できなかった。先進国での製紙マーケット拡大が停滞し、今は新興国の拡大の段階なので、どうしても設備投資コストをいかに下げるかの方に向かっていく。
- また、計測機器の進化による制御技術が進んできたので、投資して装置を置いて動かせる程度のある程度の品質の紙が作れるようになってきている。日本はこれまでのノウハウの蓄積を重視してきたが、海外ではスイッチオンすれば垂直立ち上げできるようになっている。中国の新しい製紙工場でも日本の製品と同等の物が作れるようになってきた。過剰品質が受け入れられる時代ではないと思う。
- 新設のパルプ工場は南米、東南アジアが多く、これは中国への供給拠点になっている。5～6年前は中国の製紙産業が急激に伸びて原料の取り合い、価格が高騰する等の心配をした時期もあったが、現在は南米、特にブラジルでの植林から作る原料で手配されており、心配はなくなったように感じる。しかし、日本の製紙会社が海外植林事業を進めることは重要と考える。将来、資源国が原材料からパルプ製品として出荷するトレンドに移行する可能性もある。チリがそのような動きをしている。
- リーマン・ショック及び震災の後、需要が急減し製紙会社は設備を止めるなど生産調整をしている。したがって装置メーカーへもメンテナンスや改造の仕事は来るが、新設はない。したがって、基本的には今後は既存設備のメンテナンス事業がほぼ全てである。国内の製紙能力は需要に対し過剰と考えられ、その仕様もオーバースペックになっている。蒸解工程でのパルプ収率アップを進めると発電による売電での売上げとのバランスが崩れるので好ましくない。
- 板紙は今後も堅調であろうが、洋紙、白もの、新聞は右肩上がりにはならないし輸入も増えると予想される。昔は、新聞ロールや塗工紙の輸入はないといわれていたが、今は塗工紙の輸入品がある。日本からの輸出が伸びるかどうかは、原燃料、輸送費、為替などの環境下でのコストダウンが鍵となる。
- 海外展開も東南アジアが少しあるくらいで、中国の設備投資ラッシュはもう終わった（特に洋紙）。今後物流の増加により板紙需要は増えるだろうが今のところは足りている。南米も決して大きくない。輸出が伸びている国内メーカーは、2007年の設備投資で設置した一貫ラインが寄与している。一貫ラインはそれを動かす技術力があれば非常に効率の良い生産ラインになる。

- 今後の見通しとして、印刷紙などの紙の需要は更に減少していくであろうが、クラフトパルプ生産は、同時に貴重なグリーン電力発電の燃料（黒液）ともなるので、このまま維持されていくであろうと考えている。
- 紙、板紙の全体としての数量は減少するであろうが、包装材料等の産業用紙の生産量の低下は洋紙ほど大きくないだろうと推測している。具体的には、板紙、段ボール原紙であり、これらの主たる原料は古紙である。古紙の回収の効率化技術（省エネルギー）や異物除去技術に関する日本の技術は優れている。製紙会社のニーズの一つとしての原料歩留りの向上（有効繊維ロス削減）と合わせて、この分野の技術の一層の研究開発が重要な課題となってきた。
- 製紙の主な課題は、省エネルギーのために製紙機械の回転エネルギーロスを削減することである。さらには原料処理（特に古紙処理）での原料パルプの濃度は1%、3%、5%と幾つかのレベルがある。これらの濃度アップはポンピング動力の低減という意味で直接省エネルギーと生産性の向上につながる。古紙回収技術はかなりレベルが高い。古紙回収のプロセスは幾つかのユニットの組合せから成り立っているので、個々のプロセス（ユニット）の改良が全体の効率化につながる。一層の効率化が期待できる分野と考えている。これは日本に限らず、欧米メーカーにとっても共通の課題である。
- 国内の製紙装置メーカーは、以前は日立造船、富岡機械、三菱重工が製造していたが既に撤退し、製紙用原料処理機などのプロセスの主たる国内サプライヤーは相川鉄工とIHIフォイト（IHIとフォイトのJV）の二社のみとなっている。海外の主なメーカーは、バルメット（フィンランド）、フォイト（ドイツ）、アンドリッツ（オーストリア）、ケイダント（米国）などがある。

② 紙・パルプ製造設備のメンテナンス事業について

紙・パルプ製造設備のメンテナンス事業に関する有識者の意見・コメント

海外ではメンテナンスも外部委託の時代になっており、製紙会社は紙を作るだけでメンテナンスは別会社がやるようになってきている。

《具体的な意見・コメント》

- コスト低減のために、これまで各社が社内に保全部隊を保有していたが、今後はメンテを外部委託に出すようになるであろう。既に海外ではその試みが進められており、その成功体験を国内に反映するようになると思う。
- 製紙装置の自動化により、オペレーターは必要なくなっており、今後はオペレーターのいわゆるノウハウは必要なくなっていくだろう。日本の製紙会社はまだ技術を持っているが、海外はどんどんそうなる方向にある。日本も今は違うがいずれその方向にな

っていくのではないか。今メンテナンスも外部委託の時代になってきて製紙会社は紙を作るだけ、メンテナンスは別会社がやるようになってきている。フォイトが抄紙機を納めたドイツ・ケルンの工場はこの方式。あるいは、国内の製紙会社が海外に持っている工場はバルメットとメンテナンス契約したと聞いている。

- （世界中どこでも誰でも同じように作れてしまうのか、日本の優位性はないのか。との問いに）操業管理という面では日本の会社にノウハウの優位性がまだあると思う。例えば、抄紙の効率が80%の時にそれを90%に持っていくようなノウハウは日本の製紙会社にはあると思う。

(5) 大学関係有識者の意見・コメント

製紙・パルプ製造における課題と取組に関する有識者の意見・コメント

森林産業の問題に対応していくために製紙産業の果たす役割は大きい。将来、エネルギー、ケミカル・マテリアルを取り出すバイオリファイナリーを目指すのが道であろう。

《具体的な意見・コメント》

- 森林産業の問題に対応していくために製紙産業の果たす役割は大きい。扱い量が多い（日・米は2,000トン/日）し、大規模な装置産業である。将来、エネルギー、ケミカル・マテリアルを取り出すバイオリファイナリーを目指すのが道であろう。
- 国内及び海外の多様な要素が技術実現の可能性（feasibility）に関係する。要素としては、人口動態（世界の人口は70億だが90億まで行くといわれている。日本で紙の需要が伸びなくても世界に売ればいい）、経済成長、国際経済（TPPの行方など）、エネルギー政策（原発稼働、再生可能エネルギーなど）、森林政策（国産材、外材）、森林バイオマス以外の材料の進展（無機、有機、金属など）などが挙げられる。
- 海外における紙パルプ産業の最近の捉え方 「世界の製紙工業の発展の趨勢」（2011年中国での国際造紙技術報告会論文集より）
北欧から見たグローバルな趨勢として森林産業に大きな変革が生まれ、その変化は地域により異なる。中国、ラテンアメリカでは製紙産業は今後も拡大を続ける。
欧州、米国、カナダでは高付加価値のバイオ森林型産業への転換を目指すだろう。メガトレンドとしては、森林産業の姿が変貌し、工場はバイオ製品を生み出すバイオリファイナリーという見方が必要となり、紙はバイオ製品の一部に過ぎないと見做される。（しかし、当面の現実的認識としては紙を安定収益源としてビジネスを行い、バイオは次世代技術として今後への投資であると考えている。紙を捨ててバイオへ移行するという事ではない）
- 製紙産業の最大の強みはバイオマス素材であるセルロースから、パルプを環境に適合した

効率的な技術で製造できることである。得られたセルロースは今までは主に紙・板紙製造に利用してきたが、紙の需要が減少するこれからは紙以外の市場形成・製品製造がポイントである。セルロースナノファイバーは国内外の状況を見ても最も有望な新素材の一つである。製紙技術の特長をいかして紙以外の高機能材料、シート状材料、フィルム形状材料を、セルロースナノファイバーを素材として製造できれば素材と技術の革新となる。

- 今後の日本の製紙会社が重点的に取り組む課題としては、セルロースの高度利用、成分分離、抄紙技術に基づいたニーズ対応の R&D、抄紙プロセスの更なる効率化ではないか。抄紙プロセスの効率化（省資源、省エネ）のような基本的で各社共通のテーマは国の支援が望ましい。

第2節 製紙企業におけるエネルギー分野での課題と取組

1. エネルギー分野での取組

エネルギー分野での取組に関する有識者の意見・コメント

製紙会社の技術は紙・パルプ製造以外では発電に技術の蓄積があるので、発電事業は適した事業分野である。エネルギー分野に関してはこれまで培ったノウハウや資産をいかし拡大していこうと考えており、太陽光発電、バイオマス発電、石炭火力発電を進めていく。また、トレファイドペレット、バイオエタノールなどのバイオマス燃料技術の開発も行っていく。

《具体的な意見・コメント》

- 製紙会社の技術は紙・パルプ製造以外では発電に技術の蓄積があるので、発電事業は適している事業分野である。
- バイオマスエネルギー事業は、燃料の発生と発生するエネルギー消費が地産地消である方が、より経済性が成り立つと考えられ、製紙工場を中心に近郊に供給するモデルは残っていくと考える。
- エネルギー分野に関してはこれまで培ったノウハウや資産をいかし拡大していこうと考えており、太陽光発電、バイオマス発電、石炭火力発電を進めている。発電設備や送電線も既に保有しているので活用できる。さらに風力もやりたいと思っているが、これは工場外の仕事となりなかなか難しい。電力の外販を主目的とし、小売も考えている。2020年頃に500億円くらいの売上げを目指したい。
- 製紙産業は、昔からバイオマス発電をやってきた。間伐材等も使って黒液ではなく材そのものを燃焼させるバイオマス発電を積極的にやっていくことにしている。日本各地に建設を始めており、日本最大級の40MWの建設も開始している。まずは現在持っているバイオマス発電の2倍の生産能力にすることを目指している。更に伸ばしていくことも考えている。日本の電力事情、国策にも合致している。
- バイオマスボイラーは間伐材を利用して進めている。2.3万kWの発電能力を持ち、買取制度を活用して進めている。全量売電である。原料の制約から現状より更に拡大する予定は現在ない。
- 水力発電も昔からやっている。日本各地に多くの水力発電設備を持っている。新たにFIT法に適合させた電力としてやっていこうとしている。太陽光発電も始めている。
- バイオマス発電に関しては、他社に先駆けて2006年から4.1万kWの木質ボイラーを稼働

し自家消費分を除いた約 2 万 kW を売電している。

- 石炭が 55%、黒液が 30%、その他が古紙の紙にならないスラッジや廃材、バイオマス等やプラスチックによる。石炭灰は 8~9 割はセメント会社が引き取り、その他は土木工事の砕石の造粒や鉄鋼業で保温材などに使用する。北欧では、森林伐採後のペーパースラッジを、自然界の窒素、燐のバランスが崩れるので、森に戻せないかという声が上がっている。
- 発電は自消以外の余剰分を売電で販売している。最近発電事業への新規参入が増える中で、製紙産業は発電の運転、メンテナンスのノウハウを利用して、発電事業をやりたい他社と共同で事業を行う可能性もある。
- トレファイドペレット、バイオエタノールなどのバイオマス燃料技術の開発も行っている。
(トレファイドペレット:低温、無酸素状態で木質ペレットを炭化して製造する木質燃料)
- 木質チップ、木質粉末のペレット化物、廃プラスチックとの混練ペレットなど固形燃料をいかに低価格で大量に製造するかが一般的取組であり、それらの発展が望まれる。別にバイオマス乾留物やバイオマス抽出物由来の液体燃料の開発及びバイオマスのメタノールなど低級アルコール液化物を液体燃料として開発することも考えられる。

2. バイオマス発電の課題

バイオマス発電の課題に関する有識者の意見・コメント

国土の 70%に森林がありながら海外の材料によっているのは恥ずべきことだと思うので、経済的に成り立つような施策が進められることが望ましい。バイオマス発電の技術的問題は、現在は特にはない。南九州では間伐材に余裕があるが、本州の林業の現状では、経済的に成り立たないと考えている。

《具体的な意見・コメント》

- バイオマス発電の課題は原料の収集、各種の木質やプラスチックなどの固体燃料を使いこなす技術が難しいことにある。炉体やボイラーに関してはトラブルが多く一層の改良が望まれる。制度上の課題としては、補助事業が一般論として有り難い。
- バイオマス発電技術は、以前は送電線接続の問題があったがこれも解決し、現在は特に問題はない。
- 国内のバイオマス燃料の原料としての需給の関係には不安もある。水分の高い原料を使っではコストが合わないと考えている。
- 廃棄物のカスケード利用は最初の選別が重要。原材料で品質管理を強化して分ける、ボイ

ラーで使用原料を使い分ける、などいろいろ検討している。

- 南九州では間伐材に余裕があるが、本州の林業の現状では、経済的に成り立たないと考えている。南九州でも間伐材の価格に影響を及ぼすような不穏な動きもあり注意している。
- 国土の 70%に森林がありながら海外の材料によっているのは恥ずべきことだと思うので、経済的に成り立つような施策が進められることが望ましい。バイオマス発電の技術的問題は、現在は特にない。

【製紙機械メーカー有識者の意見・コメント】

エネルギー分野での取組に関する有識者の意見・コメント

バイオマスの利用は、第 2 世代のバイオエタノール、バイオコール (Bio Coal) などがある。欧米ではリグニンを燃料として売却し収益源にすることも進んでいる。

バイオマスボイラーとして BFB (bubbling ベッド型)、CFB (循環流動層型) がある。バイオマスを BFB 及び CFB 装置でガス化して重油代替燃料としてガスタービンやガスエンジンに使用する装置も開発されており、合成ガスをバイオディーゼル燃料やエタノールの生産原料にもできる。

《具体的な意見・コメント》

- バイオマスの利用は、第 2 世代のバイオエタノール、バイオコールなどがある。バイオコールは従来の木質ペレットが白ペレット (white pellet) と呼ばれるのに対し、黒ペレット (black pellet) と呼ばれ、チップの水蒸気爆砕 (Steam explosion) によって得られる。耐水性が良く長時間屋外で保存できる特徴がある。蒸し焼きにする方法で得られる黒ペレット (black pellet) であるトレファクションとは異なる。白ペレット (white pellet) の石炭ボイラーへの混焼率が 5~10%に制約があるのに比べ、バイオコールは 50~100%混焼が可能で有利である (石炭粉碎装置への改造がない場合)。爆砕する設備や技術は 1 年生草本をパルプにする目的で実用化されている技術・設備及び乾燥工程ではパネルボードの技術も使える。商業プラントはまだなく、日本の顧客からも関心を示されている。
- 欧米ではリグニンを燃料として売却し収益源にすることも進んでいる。蒸解釜から抜き出された黒液を固形分 40%まで濃縮したところで、CO₂により酸性側にするとリグニンが析出してくる。これを更に酸性にした後に粉体として保存することができ、ライムキルンの混焼燃料に使う検討も進められている。日本ではまだ研究段階だが、ストックホルム近郊でデモプラントが稼働し清掃工場で使用されている。北米で商業用プラントが動き始めている。今年 12 月に欧州でも動き出す予定である。このようなリグニンの応用は重油コストを抑える効果があり、回収ボイラーの能力不足が発生した際に有効で、製紙と蒸解のバランスが取れないときに役立つ。またリグニンは将来的に化学品の原料とすることも考えられている。

パルプ設備を持っていて、抄紙機の装置を統廃合するような場合はこのような対応が役立つ。これまで KP を作っていた所が DP を始めようとするともバランスが変わってきてリグニン処理が必要になる。ヨーロッパでは日本のように一貫工場が普通ということではなくパルプ製造だけの工場もある。

- バイオマスボイラーとして BFB、CFB を持っている。BFB は bubbling ベッド型、CFB は循環流動層型のボイラーである。BFB は生木のままで、水分が 35～60%と広い範囲でそのまま燃やせ、かつ 550℃以上の蒸気を発生できるのでボイラー効率が 91%と日本のものより 3%ほど高い。日本では各社に紹介中で、まだ引き合いを受け見積り中だが好評である、各国では既に多く利用されている。BFB は炉の下層に設けられた砂のバブリングゾーンにバイオ燃料が投入され、流動化状態でガス化、高温の燃料となる構造となっている。応用技術として、既存の停止した回収ボイラーなどを改造することによってもバイオマス用の BFB ボイラー転換でき、新設より安価なコストでボイラーが導入可能なので、需要が頭打ちの先進国のメーカーに向いている。

バイオマスを BFB 及び CFB 装置でガス化して重油代替燃料としてガスタービンやガスエンジンに使用する装置も開発しており、IGCC に応用している。また、合成ガスをバイオディーゼル燃料やエタノールの生産原料にもできる。古紙の処理から出てくるスラッジを固形化して燃料にすることも行っている。バイオマスのガス化は、既に工業規模の実機も国外で稼働している。大手製紙メーカーは海外にも多くの森林資源を持っているがその活用方法としてバイオマスエネルギー源として利用しようとする、ペレット化して持ってくるか炭化して持ってくるかになる。炭化ペレットの良い点は微粉炭ボイラーにバイオマス燃料をより多く混焼でき、化石燃料を減らすのに役立つところ。FIT の対象となれば、広く採用される可能性がある。

- バイオエタノールに関しては、NEDOの補助金等で進められているが、製紙業界のトレンドにはならないと考えている。担当しているのは前処理の部分だけで全体を扱っているわけではない。バイオリファイナリーの前処理技術としては、酸加水分解に関してもいろいろと意見が分かれるところである。

【大学関係有識者の意見・コメント】

《具体的な意見・コメント》

- 森林は生育過程で二酸化炭素を吸収し光合成により形成されるので、その燃焼はカーボンニュートラルとみなされ、燃焼において温暖化ガスの発生という環境負荷の問題は生じないとされている。森林バイオマスは再生可能資源であり、バイオマス発電で生み出される電力は再生可能エネルギーといえる。特に間伐材や未利用林を利用した発電技術が重要である。

- 製紙メーカーは森林の保有と遊休の土地の保有という面で、発電事業において現時点では優位にあるが、今後他産業がどのような形で電力事業に参入してくるかが優位性維持の可否を左右する。
- 国家のエネルギー政策（エネルギー基本計画）における原発の捉え方や再生エネルギーの捉え方、固定電力買取り制度がどのような形で維持されるかがエネルギー産業としての存立に深く関係する。また、林野庁の国産材利用への優遇策（税制措置など）がどのようなものであるかも重要である。

第3節 製紙企業のバイオマス利用分野での課題と取組

1. バイオマスリファイナリー

(1) バイオマスリファイナリーの取組

バイオマスリファイナリーの取組に関する有識者の意見・コメント

セルロースとヘミセルロース、リグニンの付加価値を高める検討を行っている。溶解パルプのプラントから得られるヘミセルロースから、フルフラールを製造することを検討しており、バイオエタノールについてはテストプラントで検討している。

バイオマスリファイナリーにおいて、バイオマスのガス化は重要な技術である。ガス化時に電力も得られる。電力効率の良い反応ガス製造ができる。将来的にバイオマスのガス化技術は重要な技術となる。

《具体的な意見・コメント》

- バイオマス利用技術については注目しているし、積極的に取り組んでいる。木質原料からケミカルを作ること検討している。将来的には、間伐材を原料としたいと考えている。
- 基礎となる木材の3成分（セルロース、ヘミセルロース、リグニン）の基本的な分離技術は既にパルプ製造でやっている。紙とするためのパルプ製造にはセルロースとヘミセルロースを使用し、残ったリグニンはエネルギー利用として燃やしてきた。これらの成分の付加価値を高める検討を行っている。具体的には、溶解パルプのプラントを作って試運転を始めており、4月より営業運転に入る予定である。溶解パルプの連続製造を可能にしたプロセスである。連続DP製造法：最初に酸でヘミセルロースを溶解して抽出し、次にアルカリ蒸解してリグニンを除く工程を連続で行う製法である。純度の高いセルロースを得ることができる（レーヨンの原料となる）。この製法で副産物として得られたヘミセルロースから、フルフラールを製造することを検討しており、パイロットプラントで、主として製造コストを検討する予定である。製造コストが見合えば、スケールアップを検討していく予定である。バイオエタノールもテストプラントで検討しており、進歩性のある技術ができてきている。セルロース分解酵素は良いものが海外品しかなく価格が高いという問題がある。酵素が国内で製造されるようになればもう少し安くなる可能性はある。新しい酵母の開発も進めており、ヘミセルロースも同時にエタノール化できる技術開発を行っている。バイオエタノールは技術的にはできるが、製造コストが課題で、幾らでできるかがポイントである。設備の問題もありコンタミが課題であるが、バイオエタノール製造は、長い目で見れば必要な技術となると考えている。
- バイオエタノールに関しては、ペーパーラッジを原料に遺伝子操作を加えていない糸状菌を使った技術で、大学と共同で進めてきている。ペーパーラッジは種々の工程から出るものと考えている。ゼロ評価のペーパーラッジを原料にしており、遺伝子操作をして

いない微生物なので特殊な隔離を必要とせず価格競争力があり、エタノールを 20～30 円 /1 で製造できると考えている。更なる試験に進めたいと思っている。原料は十分にある。溶解パルプは設備投資が大きく、価格変動が大きいので現在は検討していない。

- バイオマスリファイナリーにおいて、バイオマスのガス化は重要な技術である。ガス化時に電力も得られる。電力効率の良い反応ガス製造ができる。将来的にバイオマスのガス化技術は重要な技術となる。
- リグニンに無機塩を加え、焼成したカーボンブラックの 1/10 の重さの中空粒子であるリグニンブラックを開発中である。カーボンブラックやケッチェンブラックなど代替としてのトナーや電池材料への応用を検討している。また、リグニンは固体燃料や接着剤として使われる。スウェーデンでは炭素繊維を作っている。

(2) バイオマスリファイナリーにおける課題

バイオマスリファイナリーにおける課題に関する有識者の意見・コメント

バイオマスの組成は多様で、分離、転換に非常にエネルギーが掛かる。したがってこれを解決するプロセス開発が課題である。また、石油由来の化成品に比べてコストが高い。これを解決し、価値を含めて消費者に受け入れられるようにすることが大切である。そのためにも、新規技術の積極的な開発と展開が必要であり、産官学のコラボレーションが必要である。

《具体的な意見・コメント》

- ブラジルのチップくらい原料コストが低ければ可能性無しともいえないが日本国内では付加価値の高いものを対象にしなければ考えにくい。原料を廃棄物からとすれば成り立つ可能性があるかもしれないが、その場合はパイが小さくなる。製紙産業で考えるのなら古紙より更に安いリジェクトから考えないといけないと思うぐらいのイメージでいる。
- バイオマスの組成は多様で、分離、転換に非常にエネルギーが掛かる。したがってこれを解決するプロセス開発が課題である。また、化成品に比べてコストが高い。これを解決し、価値を含めて消費者に受け入れられるようにすることが大切である。そのためにも、新規技術の積極的な開発と展開が必要であり、産官学のコラボレーションが必要である。
- バイオリファイナリーの実現には、原料確保、製造コスト、市場の成熟時期、国家政策との整合性等の配慮すべき課題がある。いつごろ、何ができるかを明確にして、事業開発を進めていくことが必要である。
- バイオリファイナリー研究全体を俯瞰すると、いまだ個別技術の開発に重点が置かれており、製造コストの実態は明らかになっていない。バイオリファイナリーを新たな産業とす

るためには、石油製品と比べても競争できる経済性の担保が必要である。そのためには、原料生産、輸送、エネルギー、マテリアルのフローを「一貫システム」として構築することが重要である。

- 発電における石炭という安いエネルギー源とともに、他社よりも古紙の活用を伸ばすことにより従来は競争力があつたが、中国が木材、パルプ、古紙を外から調達しているのので、日本国内の古紙の価格が上がり、競争力が落ちてきている。日本のパルプ原価に比べ、インドネシアやブラジルは半額以下の 20 円/kg 程度と聞いている。これは木材が安いため、理由は成長が早く 7 年で原料になる。チリで原料安定供給のために、植林事業を行っているが、輸送コストも掛かり現地生産には勝てない。また、ブラジル等では日産 6,000 トンの設備が動き出し、ますます固定費を含め競争力が厳しくなっている。
- 紙の生産が下がることを考えると、溶解パルプの製造も一つの選択肢となる。アジア市場では溶解パルプが年 400 万トン～500 万トンになる。綿が植物で気候により出来・不出来があるのでこの代替であるが中国の事情で価格が振れる。日本製紙は釧路でやっているし、王子製紙も米子でラインの転換工事をしており、もうすぐ動くと聞いている。当社では、いまだ、KP を減産するほどのパルプバランスになっていないので、直ちに転換することにはならないが、溶解パルプ及び副産物についての研究は進めている。溶解パルプの用途としてはレーヨン向けが最も販売量が多いが、市況価格や課税の問題があり、原料チップの高い日本では、副産物を含めた事業を考える必要がある。副産物の精製品は魅力的で、工業的にはキシリトールの生産は既に実施されていると聞いている。

(3) 紙パルプ工場統合バイオリファイナリーの構想

紙パルプ工場統合バイオリファイナリーの構想に関する有識者の意見・コメント

バイオリファイナリー工場を経済的に自立させるために、製紙産業が持つ強みをいかした紙パルプ工場とバイオリファイナリー工場が組み合わせられた統合バイオリファイナリー工場を目指すべきである。

《具体的な意見・コメント》

- バイオマスの利活用には、原料生産、輸送、前処理、エネルギー、製品生産までの一貫化した産業体制が必要である。製紙産業は、これまでに植林、古紙利用、バイオマスエネルギー、生産性向上を進めてきた。これらの基盤技術は、化石資源との比較においても、資源の有効利用と紙製品の経済的競争力向上に効果的であった。

紙パルプ工場は、バイオマス利用の一貫システムを有し、将来のバイオリファイナリーの拠点となる可能性がある。紙パルプ工場バイオリファイナリーは、バイオ燃料や化成品原料だけでなく、紙、プラスチック代替材料、セルロースナノファイバーなどのバイオマス製品群を提供し、これらは全て化石資源の使用量削減に貢献する。

- バイオリファイナリー工場を経済的に自立させるために、製紙産業が持つ強みをいかした紙パルプ工場とバイオリファイナリー工場が組み合わせられた統合バイオリファイナリー工場が望ましい。
- 原料やエネルギーなどの相互補完ができる設備群を構築し、紙パルプ工場の強みである立地条件（地産地消）・水・インフラなどが有効利用できる。このプロセスからは、バイオ燃料や化成品原料だけでなく、紙、プラスチック代替材料、セルロースナノファイバーなどのバイオマス製品群が提供される。さらに、他産業との補完的な関係を強化し、将来のバイオマスコンビナートにおいて紙パルプ工場が中核工場となることが期待される。
- 木材・バイオリファイナリーコンビナート
 （従来技術）紙・板紙 吸収体、包装材料、機能シート
 （将来技術）解繊：セルロースナノファイバー、変成：セルロース誘導体
 ガス化・合成：化成品原料、エネルギー、糖化・発酵：バイオケミカル、バイオプラ
 ⇒ 製紙産業の中にエネルギー、原材料の基地ができる。
 環境に優しい資源循環型産業を目指す。

【製紙機械メーカー有識者の意見・コメント】

バイオマスリファイナリーの取組と課題に関する有識者の意見・コメント

第2世代（非可食バイオマス原料）のバイオマスエタノール製造技術の開発を進めており、この前処理技術として原料の連続爆砕技術を開発し、爆砕を利用することで表面積が増し、酵素による反応の速度を上げるようにしている。後段のエタノール発酵の前段階としての酵素を用いる連続炭水化物液化装置も開発している。反応時間を大幅に短縮、装置の簡略化ができ、リグニンは分離して燃料にする。バイオエタノール製造プラントがイタリアと米国で稼働している。いずれの設備も国内はこれからで、これらの装置は実用化されていない。理由としては、「FITの対象になっていないこと」や、「プラントの価格の問題」、「バイオマスの原料価格の問題」などが考えられる。

《具体的な意見・コメント》

- 第2世代のバイオマスエタノール製造技術の開発を進めており、この前処理技術として原料の連続爆砕技術を開発した。さらにこの爆砕技術はバイオマスのペレットの製造にも利用している。バイオマスを前処理反応器で処理してセルロースとヘミセルロースとに分離し、それぞれを別途に酵素加水分解させてバイオエタノールを得るプラントの発酵工程以前の装置を持っている。C5とC6を最大限の歩留りとする条件をコントロールするために2段階で前処理する方法の特許を取っている。さらに、爆砕を利用することで表面積が増し酵素による反応の速度を上げるようにしている。後段のエタノール発酵の前段階としての酵素を用いる連続炭水化物液化装置も開発している。反応時間を大幅に短縮、装置の簡略化ができ、リグニンは分離して燃料にする。

商業レベルのプラントがイタリアの Chemtex 社と米国の Poet 社で稼働している。前者は 500t/d 規模の麦わら原料で、後者は 700t/日でトウモロコシの茎を原料にしている。その他に 15 基の実験設備やパイロット設備があり、全て海外である。回収プロセスまで含める場合は、トータルプラントとして 50 億から 100 億円くらいは掛かるのでバイオエタノール以外のものも併せて作るようにしないとペイしないのではないかと考えている。

- いずれの設備も国内はこれからで、今は各社に紹介し、パイロットプラントテスト、ラボテストサービスを提供している段階である。日本でこれらの装置が実用化されていないのは FIT の対象になっていないことと、プラントの価格が高いこと、バイオマスの原料価格の問題があると思う。

【大学関係有識者の意見・コメント】

バイオマスリファイナリーの取組と課題に関する有識者の意見・コメント

木材成分の分離・精製技術は以前からあるが、セルロースを高付加価値化する技術（特にナノファイバー化技術）には新たな開発・改良の余地がある。

バイオマス成分の低分子化技術が酵素分解法を中心に発展しつつあり、将来更に進展が見られるテーマである。これらを踏まえて、より広範にバイオマス由来化学品の製造技術を発展させ、実用化していくことが望まれる。

《具体的な意見・コメント》

- 木材の主成分であるセルロース、リグニン、ヘミセルロースなどに関する既存の木材化学（Wood Chemistry）的知見から森林バイオマスの機能と基本原理を把握し、疑問点を解明し、成分の新たな機能の発現を目指す必要がある。戦後、外貨もなく石油を買えない時期、北海道の野口研究所で木材糖化技術により森林から各種の化学物質を作ることを目指した木材化学工業を模索したが、その後石油が買えるようになるとやめてしまった。現在、日本製紙が非常に熱心にセルロースナノファイバーをやっているが、十条製紙と合併し日本製紙になる前の山陽国策パルプが木材化学の基盤研究の蓄積を持っていたからだろう。
木材成分の分離・精製技術は以前からあるが、セルロースを高付加価値化する技術（特にナノファイバー化技術）には新たな開発・改良の余地がある。技術に市場性を持たせるには特に高付加価値化のための安価な量産技術の確立が重要である。中身としては市場のニーズに合わせた高機能化改質技術となる。
- 2000 年頃からこのテーマが、世界的に関心を持たれるようになり、現在バイオ PE やバイオ PP が市場に出てきている。バイオマス成分の低分子化技術が酵素分解法を中心に発展しつつあり、将来更に進展が見られるテーマである。これらを踏まえて、より広範にバイオマス由来化学品の製造技術を発展させ、実用化していくことが望まれる。
- 日本の住宅産業は国産材を使わず安価で規格のそろった北欧からの輸入材を使う。これは

日本の林野行政がユーザーサイドに立った政策指導をしてこなかったため、日本の林業が生業として成り立っていない。かつては日本の森林には農水省と建設省合わせて1兆円が投入されてきたが、それに対する生産金額としてはキノコが首位であるのが実態である。これに対して、例えば、北欧では寸法・規格のそろった工業製品として、林業の製品を輸出産業に育てているし、バイオマスエネルギーの応用もうまくいっている。日本の森林産業が困難であるのは日本の山が急傾斜であるためとか規模が小さいとかの事情もあるが、急傾斜でもオーストリアなどはうまくやっている。

① バイオマス液化技術

- 木材などバイオマスを液状化しようとする試みは、「オキシプロピル化」、「液化」の2種類が検討されている。「オキシプロピル化」触媒としてのKOHの存在下プロピレンオキシド(P0)を加え高圧、高温でバイオマスを処理し、オリゴP0又はP0ホモポリマーをグラフトすることにより液状化する。「液化」アルコールやフェノール類の存在の下、多くの場合、酸触媒を用いてバイオマス構成成分を常圧で加溶媒分解により低分子化し全体的に液状にするものである。液化とマイルドな条件で行うこのオキシプロピル化とを組み合わせたバイオマスからのポリオール調製を試みたが、バイオマス液化物の粘度低減の役割をP0グラフト鎖が担っており、非常に良い結果となった。バイオマス液化と組み合わせることにより優れた技術になる。

② リグニンの利活用について

- リグニンの利用には高分子のままの利用と、形のそろった低分子へ導いての利用の2種類がある。古くからある高分子のままの利用法としては、日本製紙の島根県江津工場で行っているサルファイトパルプ化法で得られるサルファイトリグニンの利用がある。このリグニンは、酸性亜硫酸処理によってスルホン酸基が導入されているため界面活性を有する。このことを利用して、コンクリート減水剤や土壌分散剤として広く利用されている。また福井工大の畠山前教授、廣瀬教授らはウレタンと反応させるポリオールとしてリグニンを始めとする様々なバイオマス原料を応用する研究を長年にわたって続けており、高分子リグニンからも断熱性が良く実用段階にあるものが作られている。一方、リグニンの低分子分解物の利用開発においては、能率良く高分子リグニンから低分子化合物を得る手法の開発が、まず突破されるべき目標である。低分子芳香族化合物は、特徴ある合成ポリマーの原料として魅力的だとのことであり、分解反応の開発は重要な課題である。
- リグニンは表面にスルホン基を持ったリグノスルホン酸がセメントの分散剤として使われている。リグニンには三つの繰り返し単位があるが構造は複雑で樹種によって組成が違ふ。製紙産業を総合森林バイオマス産業として考えた場合、原料である木材中にリグニンは30%あるのだから有効な活用策を見付けないともったいない。パルピング以外のリグニンを可溶化し、分離・抽出する手法の開発が必要である。

2. セルロースナノファイバー

(1) セルロースナノファイバーの開発状況

セルロースナノファイバーの開発状況に関する有識者の意見・コメント

パイロットプラントができたので、本格的な用途展開が始まる。用途展開においては異分野との協奏が必要である。用途の絞り込みが課題で、機能は色々あるがまだ絞り切れていない。紙の添加剤、塗工薬品（強度アップ、機能性アップ）や、素材として石化製品の置き換え（自動車のボディの軽量化など）、炭素繊維とのコラボによる高価な炭素繊維の安価・軽量な利用拡大などが考えられる。

《具体的な意見・コメント》

- パイロットプラントができたので、本格的な用途展開が始まる。用途展開においては異分野との協奏が必要である。
- セルロースナノファイバーは水中カウンターコリジョン法で製造しており、1%、2%、10%品を及びPE混練品を販売している。繊維のサイズにより3種類のものを出している。技術は大学に指導を仰いでいる。現在はラボベースで製造しているが、100社以上からアプローチがある。自動車メーカー、化学メーカーなどが興味を持っている。用途開発については、ユーザーとの共同開発も進めている。
- セルロースナノファイバーは用途の絞り込みが課題で、機能はいろいろあるがまだ絞り切れていない。紙の添加剤、塗工薬品（強度アップ、機能性アップ）や、素材として石化製品の置き換え（自動車のボディの軽量化など）、炭素繊維とのコラボにより高価な炭素繊維の安価・軽量な利用拡大などが考えられる。ナノセルロースの製造は、製紙のインフラが活用できるリファイナーを活用する機械方式から着手した。コストを安くして使えるものにするために完全ナノセルロースの一步手前で止める作り方をしている。もちろん、品質に応じて化学処理をしてナノ化を進め、機能を更に高めたものも検討している。海外の機械方式では目標は数百円/kgといわれている。今サンプル提供しているセルロースナノファイバーは2%~5%であるが、水を飛ばすのが課題である。
- 日本ではナノセルロースはファイバーであるが、カナダや中国はクリスタルである。硫酸処理をしてセルロースを分断し、水を飛ばしているのもので、コストは一桁上がってしまうが乾燥パウダー化できるのが特長である。
- セルロースナノファイバーの出口として化粧品という提案もあるが、小ロット多品種で、数量を生産したいパルプ業には不向きかもしれない。原料はクラフトパルプや溶解パルプ、竹などを使用している。安く安定した品質のものを作る技術を開発し、パイロットで安定生産を実証しながら用途開発を進め、2020年頃には実機に進めたい。コストダウンのポ

イントは製造エネルギーの削減である。

(2) セルロースナノファイバーの実用化に向けた課題

① 技術的な課題

技術的な課題に関する有識者の意見・コメント

セルロースナノファイバーの重要な技術開発は、表面修飾と解繊技術である。最も重要な技術は修飾技術で、親水化、疎水化の制御が技術の肝となる。親水化しないで解繊できれば非常に革新的な技術となる。

《具体的な意見・コメント》

- セルロースナノファイバーの重要な技術開発は、①表面修飾、②解繊技術である。最も重要な技術は修飾技術で、親水化、疎水化の制御が技術の肝となる。親水化しないで解繊できれば非常に革新的な技術となる。
- マトリックス中での均一分散性（表面処理技術）が課題である。複合材料としてポリマーに混練する際には、セルロースナノファイバーが親水性なので疎水性のポリマーには分散しない。セルロースナノファイバーの表面疎水化技術が必要となる。樹脂との混練技術は難しく、化学修飾も検討しているが、助剤だけでは難しい。また、サンプル提供しているものは、2%～5%であるが水を飛ばすのが難しい。
- 品質的課題としては、広幅のシート化の際に欠陥が発生する問題がある。
- 現在の課題は、サンプル量が少ないのでユーザー評価がうまくできないことである。明確な用途が見付からないとスケールアップのための設備投資はできない。

② 用途開発の課題

用途開発の課題に関する有識者の意見・コメント

素材のポテンシャルはあるが、明確な用途がまだ見付かっていない。水系の用途が先行するのではないか。紙への展開は大事なテーマと思うがセルロースナノファイバーの価格が高い。コストパフォーマンスが重要である。早く用途を見だし世の中に出すことでスタンダードにすることを進めたい。用途が見えるようになるまで、国の補助金で支えて欲しい。

《具体的な意見・コメント》

- セルロースナノファイバーは適用用途の開発が課題で、機能はいろいろあるがまだ絞り切れていない。素材のポテンシャルはあるが、明確な用途がまだ見付かっていない。用途開発は多くのユーザーが行っている。バイオ素材であり、軽量で強度が出る特性をいかせる用途があるのではないかと考えている。最終的には、コストパフォーマンスが重要である。
- 少量使用してもらえる用途で高価でもセルロースナノファイバーでないと機能が出ない用途から始めて、技術力を上げていくことが必要である。製紙と同じように大量生産による供給との考え方では事業のスタートを切るのは難しい。キラーアプリケーションを見付けるには2~3年は掛かるのではないか。
- 用途開発には、顧客との共同作業で利用法を新規に発想してもらうことが必要である。「ポストイットの開発事例」のような作る側の発想の転換が大事だろう。
- 水系の用途が先行するのではないか。紙への展開は大事なテーマと思うがセルロースナノファイバーの価格が高い。早く用途を見だし世の中に出すことでスタンダードにすることを進めたい。増粘剤、バリア材としても検討されているが、代替材料がたくさんありセルロースナノファイバーでなくてはならないという用途ではないだろう。先行材料の置き換えは難しい。
- フィルターの細孔径の制御や、機能材（抗菌剤等）の担持等の用途は有望である。TEMPO酸化セルロースナノファイバー（TOCN）の用途開発として、TOCNによるナノ構造のネットワークの作成など、他社が余り行っていないニッチな分野を狙っている。実用化、商品化には10年以上掛かると見ている。
- 用途が見えるようになるまで、補助金で支えてほしい。

③ 基盤技術（計測・評価技術、安全性評価、標準化）

基盤技術（計測・評価技術、安全性評価、標準化）に関する有識者の意見・コメント

安全性評価は、欧米は進んでいるが日本は遅れている。国が主導してやるテーマであると思う。国際標準化も、フィンランド、カナダ等が進んでおり、国が主導することが必要である。今後は、経済産業省によってリードしてもらえることを期待している。また、セルロースナノファイバーの計測・評価技術も必要である。

《具体的な意見・コメント》

- 安全性評価については、ナノリスクを国の支援で明らかにしないと、応用展開は難しい。5年前からヨーロッパは取り組んでおり、日本よりも進んでいる。安全性評価は国が主導してやるテーマであると思う。

- 標準化は、フィンランド、カナダ等が進んでおり、日本は出遅れている。現在進められているものは、1) 命名法、2) 計測、3) 安全性（ナノリスク）、4) 商品規格の四つの項目である。今後は、経済産業省によってリードしてもらえることを期待している。
- 分散状態を評価する規格化も重要である。例えば、光の透過度を使ってセルロースナノファイバーの分散度を評価する等の検討が必要である。セルロースナノファイバーの形状は各社異なっているだろうし、評価方法も各社違っているはずで、自分たちが製造したものが良いという評価しにくいことになりがちである。規格化は各社の思いがあるので、統一規格を作るにはかなりハードルが高い部分がある。
- セルロースナノファイバーの計測・評価技術が必要である。
- セルロースナノファイバーの応用分野での日本の特許対応は遅れている。応用分野での特許対応が必要である。
- フォーラムでは、安全性、評価技術、標準化、基礎的不明部分の解析などの基盤技術を進めてもらいたい。
- コンソーシアムは、技術トレンドの調査や、情報交換、安全性、標準化等から始めるのが良い。
- セルロースナノファイバーで共通基盤領域として検討するものは余りなく、既に各社競争領域に入っている。

(3) 製紙装置メーカー有識者の意見・コメント

《具体的な意見・コメント》

- セルロースナノファイバーは日本では進められているが、スウェーデンでは実験室レベルの検討の段階であり、デモプラントなどの段階まで進んでいない。理由は用途が何になるかの将来が見えないためで予想が難しい。用途の大きさが分からない状況にある。将来、大化けするかもしれない可能性は否定できないのでスウェーデン、フィンランドの両方の研究所で研究を継続している。研究内容は用途開発でなく、製造プロセスの検討である。
- リファイナー技術のセルロースのナノ化への利用等について
リファイナー技術は表面をフィブリル化するものである。サイズはナノレベルには、はるかに及ばないオーダーである。ナノ化に携わった経験はないが、機械的方法においてはポテンシャルはあると考えている。ナノファイバーの用途が具体化していない現状では、製紙装置メーカーとしては静観せざるを得ないと考えている。リファイナーの高精度化ができれば、ナノ化のプロセスの効率化が産業ベースで可能となるかもしれない。

ナノ化ではないが、粉碎を目的とした実例はある。

- ・新聞古紙の粉碎化による断熱材の開発
- ・バイオエタノールの酵素反应用原料（草木）の粉碎化（酵素反応の効率化）

（４）解繊装置メーカー有識者の意見・コメント

解繊装置に関する有識者の意見・コメント

10年前から微細化製品の開発を始めていた。セルロースナノファイバーの本格的な検討を始めたのは約4年前からで、微細化装置をナノセルロース製造用装置に改良した。セルロースは、樹脂・ゴムへの混練が最も多く使われている。対象の樹脂は各種使われている。補強材として及び、又はセルロースの隙間に何かを担持させる等で検討されている。

今のところはこれ以上微細化しないで、20nmぐらいで進めることにしている。やろうとすればできるが生産効率が悪くなる。補強材としての用途を考えると、細ければ細いほど良いということにはならないと考えている。

20年前に段ボール会社、建築会社等の4社の合同開発で、パルプによる材木の代替を狙った検討をしていた。その時からパルプの解繊を検討している。解繊装置は22か国の研究機関や大学に納品している。ナノファイバーの用途開発上の技術課題は、ポリマーと相溶化することが難しいことである。

《具体的な意見・コメント》

- 10年前から微細化製品の開発を始めていた。セルロースナノファイバーの本格的な検討を始めたのは約4年前からで、微細化装置をナノセルロース製造用装置に改良した。現在サンプル提供をしており、2、5、10%の水分散液と粉末品、フィルムを出している。粉体にするにも技術が必要で、単純に乾燥すると固まってしまう。原料セルロースも種々の目的に応じて選定するが、ライン自体は同じものを使う。セルロースは、樹脂・ゴムへの混練が最も多く使われている。対象の樹脂は各種使われている。補強材として及び、又はセルロースの隙間に何かを担持させ特性を出すという使い方もある。樹脂との混練性を改善するための処方は各社のノウハウになっている。顧客の素材で微細化を受託するケースもある。
- TEMPO法のナノセルロース（TOCN）と当社のもとは別のものと考えている。TOCNは希薄液で粘度が高い。粘度が高いと樹脂と混練が難しく、かつ性能も出にくい。生産性も圧倒的に悪くなる。繊維の径も異なり、TOCNは数nmであるが、当社は約20nmである。当社品の粒子径は約20nmで太いが、製造時に水以外の薬品は使っていないので医療医薬に使えるなどの高付加価値分野を狙える。今のところはこれ以上微細化しようとは考えていない。やればできるが生産効率が悪くなる。補強材としての用途を考えると、鉄筋を補強材として使うようにある程度の太さが必要で、細ければ細いほど良いと

ということにはならないと考えている。セルロースナノファイバーの幅は 20nm ぐらいで検討を進めていく。

- 規格、安全性については、セルロースナノファイバーの形状を正確に測ることは難しい。画像解析しても画像の視野外のことにはつかめない。自社品を使用した結果で、性状にムラがないということで、割合シャープに分布しているのだろうと考えている。フィルム化しても裂けたりすることがないのは凝集した大きなものがない証拠と思う。
- MSDS が要求され、経口毒性試験もしているが、現在のところ明確な基準はない。身体に入ったときの安全性の問題は慎重に考えている。
- 20 年前に段ボール会社、建築会社等の 4 社の合同開発で、パルプによる材木の代替を狙った検討をしていた。その時からパルプの解繊を検討している。装置はコロイドミルで、特徴は無気孔のグラインダーを使用していること。材質は通常のアルミナから SiC に変更した。砥石の形状・角度の調整で、粒径の調整を行っている。
- 1993年11月に複合パルプからの新素材の開発（EMDプロジェクト）で、スーパーグラインデルにより牛乳パックを解繊（サブミクロン単位）する検討を行った。目的とする製品の材料設計に合わせて解繊の度合いを調整している。製品例としては、生分解型育苗ポット、ハイブリッド軽量複合材料等に適用している。
- 解繊装置の提供のみで、その先の用途開発には直接携わっていない。ナノファイバーとしての最適化には関与していない。ユーザーの間合せには対応するようにしている。ナノファイバーの実用例としては、米国のたばこの巻紙のコーティングや日本の紙おむつの吸収性ポリマー（SAP）の基材への固定化（SAP 粒の移動防止）に使用されている。解繊装置は 22 か国の研究機関や大学に納品している。
- 装置開発の課題は、大型化開発をトライすべきかどうか。メインのユーザーである食品業界に大型化（サイズ：50inch、100inch）のニーズはない。大型化には、例えば、100inch の砥石の開発に 7 億円（プロセス機、電気炉、インフラ等）が掛かる。直径が 50%アップすると、生産量は約 2 倍に向上する。大型化の開発のドライビングフォースは現状ではない。大型装置に関する開発要請は、石炭の微粉碎（COM の開発）で要望があったが、実現しなかった。ナノファイバーの用途開発上の技術課題は、ポリマーと相溶化することが難しいことである。

(5) 大学関係有識者の意見・コメント

① セルロースナノファイバー開発における課題

セルロースナノファイバー開発における課題に関する有識者の意見・コメント

セルロースナノファイバーの開発は付加価値が全然違うので是非やっただらいいと思うが、シーズ研究が多い。ニーズ研究・用途開発が進むことが期待される。

セルロースナノファイバーの最大の課題は用途開発が進まないということである。セルロースナノファイバーは比表面積が大きく、軽くて強くて熱膨張が小さいという特徴を持っているが、この性能を最終製品にどう発現するかが重要である。

TEMPO法セルロースナノファイバーの製造検討では機械解繊の高効率化と水分の除去が最大の検討課題である。

《具体的な意見・コメント》

- セルロースの高付加価値化技術としては、セルロースパウダーやエステルなど各種のセルロース誘導体の生成技術が存在する。セルロースナノファイバーは新規な材料だが、その可能性は他の材料（無機、有機、金属）との相対的な特性で価値が決まるので、客観的かつ冷静な判断が重要である。必ずしも優位にあるわけではない。
- セルロースナノファイバーの最大の課題は用途開発が進まないということである。何に使うかが問題である。セルロースナノファイバーは比表面積が大きく、軽くて強くて熱膨張が小さいという特徴を持っているが、この性能を最終製品にどう発現するかが重要である。製紙用途向けには、フィンランドの製紙メーカーのストラエンソなどは紙への添加による製品開発を行っている。新規用途分野では、コストパフォーマンスの合う出口用途は何かはまだ見付かっていないし、技術的なハードルも高い。使い勝手の良いものに作り込んでいく必要がある。現在のセルロースナノファイバーはゲル状で川下側が使用するには扱い難い材料である。
- TEMPO酸化法によるセルロースナノファイバーの製造検討では、機械解繊の高効率化と水分の除去が最大の検討課題である。特に効率的な脱水方法の開発が重要で、何とか抄紙法で効率的に脱水・乾燥できる方法が確立できれば大きな成果になる。脱水・乾燥しないでそのまま増粘剤として使うような方法もある。
- セルロースナノファイバーの開発は付加価値が全然違うので是非やっただらいいと思うが、シーズ研究が多い。ニーズ研究・用途開発が進むことが期待される。

② セルロースナノファイバー開発の方向性

セルロースナノファイバー開発の方向性に関する有識者の意見・コメント

構造用途でのキーテクノロジーとしては、性能発現のためにセルロースナノファイバーの表面修飾を行い、均一に解繊し、樹脂中にいかに均一に分散するかが重要である。安価なパルプを強化繊維に適用する場合には、どれだけ手をかけないで低価格の高性能製品を作り出せるかが重要である。変性セルロースナノファイバー樹脂複合材料のアプリケーションに最適な原料パルプ及び変性技術、樹脂との複合化技術を検討していく必要がある。射出成形、押出成形、ブロー成形等の成形方法によってもセルロースナノファイバー複合材料の作り方は変わる。

《具体的な意見・コメント》

- 植物の構造単位であるセルロースの特性の理解の共有化が必要で、そこからどのように社会の仕組みの向上に寄与していくかのコンセプト創りが求められているのではないかと。個別には次のように考える。
 - ・機械的なナノファイバー化は一種の叩解であり、叩解度の制御は製紙工程で使用されるリファイナー技術で確立されている。ただし、エネルギー消費量が高い。
 - ・構造単位としての植物の特性を利用するという基本が大切と考える。ナノファイバーは最も効率的な構造体設計を行う自然(生物)の摂理に反すると考えている。新しいものはできるが、役立つかは別問題だ。
 - ・ナノファイバー単独では機能材料にすることは難しい。飽くまで、補強材としての利用を原則とすべきと考える。
 - ・合成ポリマーの機能の高度化は必要だろう。
 - ・紙産業の救世主にはならないと思っている。
 - ・ナノファイバーとパルプの中間のサイズのナノファイバーを素材とする方が、実用性があるのではないかと。試験的には、極小化の限界を把握しないと方向性がつかめないということはある。
 - ・親水性である。これを大切にして突き詰めることが必要ではないかと。
- 構造用途でのキーテクノロジーとしては、性能発現のためにセルロースナノファイバーの表面修飾を行い、均一に解繊し、樹脂中にいかに均一に分散するかが重要である。安価なパルプを強化繊維に適用する場合には、どれだけ手をかけないで低価格の高性能製品を作り出せるかが重要である。自動車外板等に使用するには化学修飾セルロースナノファイバー樹脂成型品の製造コストをいかに下げるかが課題である。
- 従来のナノ解繊した後に再度樹脂中に分散するプロセスでは、非常に高い材料となり、汎用樹脂を対象とした構造用途には現実的ではない。2軸押出機により、1段で解繊と複合化を行うことを検討した。この解繊混練技術は、今後のキーテクノロジーとなると考えている。

- 今後の技術開発のポイントは、変性セルロースナノファイバー樹脂複合材料のアプリケーションに最適な原料パルプ及び変性技術、樹脂との複合化技術を検討していく必要がある。射出成形、押出成形、ブロー成形等の成形方法によってもセルロースナノファイバー複合材料の作り方は変わる。
- セルロースナノファイバーの基本的な機能については実証されてきたので、今後は実使用に耐えるだけのコストパフォーマンスのある化学修飾や加工方法の検討が必要である。共通基盤技術として、セルロースナノファイバーを使いこなす技術を検討する必要がある。大学と企業が役割分担をして検討していく必要がある。原料から最終製品までを一貫して、日本全体でスクラムを組んで取り組んでいくことが必要である。もちろん競争部分と共通部分で検討方法は分かれる。国の支援で成功事例を積み重ねていくことが重要である。
- TEMPO酸化により繊維の表面に電荷が導入され、浸透圧効果により低いエネルギーで容易に解繊されるのが特長である。本格的な構造材料等に使用するためには、セルロースナノファイバーの表面改質技術の開発が必要である。プラスチックとの混練を可能にしていくような検討である。各社とも独自の高性能が期待される基材にテストしている。例えば、対イオンの変換により疎水基に変える「スイッチ機能」を検討することを考えている。
- 大学の研究としては応用といってもTEMPO酸化品の長さのコントロールや評価とか、表面の効率的改質、集積構造制御といった基礎的観点からの研究・開発を行い、様々なニーズに対応した更なる実用化開発研究は企業が主体で、研究室はサポートという形で進めている。
- 技術の課題は安価な量産技術の確立と用途開発である。特に用途開発が重要である。石油化学製品を代替できるのかという方向と、添加剤・複合材料としての特異機能の発見の方向が必要であると考えます。
- セルロースナノファイバーの開発には、抄紙におけるゾル・ゲル相転移や複合材料化のためのブレンド工程での均一な練りこみ、フィルム化による脱水など界面・コロイド化学の知見の活用が重要である。また、超臨界技術の応用によるブレンド化やポリマーの相溶性の向上など他分野の技術の活用も必要である。
- 注意すべき技術としては、ナノファイバー化のところでゲル化技術、結晶性が高いものの生分解性の確保、ナノファイバー（微粒子）の身体安全性、デファクトスタンダードを目指すべき計測技術と世界標準化、特に資源の森林認証によるトレーサビリティを含めた標準化、各種の高機能化セルロースの生成を可能とするための官能基導入、置換基変換など（結晶化度が高いため難しい）、セルロース含有率の高い樹木の開発や生育期間の短縮化などを目的とした育種技術への遺伝子工学の応用などである。

③ セルロースナノファイバーの用途について

セルロースナノファイバーの用途に関する有識者の意見・コメント

紙の中に抄きこむことにより、強度、平滑性、印刷性も上がり、軽量化が可能である。高性能シートや樹脂複合材料、太陽電池や有機ELの製造のための透明基板としての応用も考えられる。Li2次電池のセパレータ、触媒担体、フィルター（構造単位がnm）、紡糸して繊維化等いろいろな用途に検討が進められている。医療用途は時間が掛かるが重要なフィールドである。有機ELや有機薄膜太陽電池の基板に使えるような平滑性と耐久性を有する高機能な透明紙の開発も進めている。

《具体的な意見・コメント》

- Li2次電池のセパレータとして、セルロースナノファイバーを化学変性し、細孔制御を行うとともに強度、耐熱性を改良できる。紙の中に抄きこむことにより、強度、平滑性、印刷性も上がり、軽量化が可能である。医療用途は時間が掛かるが重要なフィールドである。触媒担体、フィルター（構造単位がnm）、紡糸して繊維化等いろいろな用途に検討が進められている。高性能シートや樹脂複合材料、太陽電池や有機ELの製造のための透明基板としての応用も考えられる。透明な紙（紙を直接透明化）として、有機ELや有機薄膜太陽電池の基板に使えるような平滑性と耐久性を有する高機能紙の開発も行っている。
- 用途開発は、表面に電荷が高密度に付与されるので、そこを接点とした新たな機能の付与による先端高機能材料開発の可能性や、自分自身が細密充填する自己組織化特性をいかした省エネ型構造制御も考えられる。
- セルロースナノファイバー製造技術については、単純化、高度化に加え、セルロースナノファイバー強化製品の高品質化と事例の一般化が必要である。
- セルロースナノファイバーの化学修飾、製造、活用法を、バイオマス／ポリマー複合材料やリチウムイオン電池用セパレータ等への適用することを検討している。セルロースナノファイバーをバイオマス／ポリマー材料に少量添加することにより材料特性の大幅な改良が可能である。高密度ポリエチレン（HDPE）を用いたセパレータにセルロースナノファイバーを0.1部添加することにより、耐熱性と強度が向上し、安全性の高いセパレータが製造できる。日本製鋼所は、この技術の実用化に向けて本格的に検討している。
- セルロースナノファイバーの一つの用途案は、フィルターとしてナノ構造を利用すると特殊な機能を持つものができる可能性があるのではと考える。（対象：空気、水、原発放射性物質等）

- ナノファイバーのための高純度で高品質なセルロースリッチにするための育種・植林技術を始めパルピング技術や漂白技術は必要で、イノベーションになり得る。紙の塗工におけるコーティングカラー（塗工液）に添加すると光学特性が向上するというレポートがある。いろいろなコーティングカラーに添加すると新規で特異な機能を発現するということがあり得るのではないか。いずれにせよ何らかの複合材料への応用が開発の一つのターゲットであろう。

④ 2030年に市場が立ち上がるための必要条件

《具体的な意見・コメント》

- パルプの優れた価格競争力を維持した状態での製品開発と、化学修飾の自由度が高いナノ繊維の使いこなしが必要である。2030年に向けて、日本の熱可塑性樹脂1,200万トンの20%をセルロースナノファイバーで置き換えられれば大きなマーケットが狙える。汎用性樹脂のPO、PS、ABS等に使用できるかどうかは、化学修飾の技術次第である。パフォーマンスを出すためには、原料系の最適プロセス開発が必要である。パルピング、化学変性、樹脂との混合等を最適化する必要がある。
- 多種多様な汎用及び先端製品の中に素材の一部として組み込まれているようになることを期待したい。単に、環境に優しいといったようなキャッチフレーズでなく、機能として既存素材にない特徴をいかすことで、市場形成と利用分野が広がる。一方、シーズからの新素材の実用化、商品化には多くの高いハードルがあるのは過去の事例を見ても明白であり、今後も、企業の研究開発担当や、産総研、他の大学研究室と協同で、役割分担を明確にして、それらのハードルを越えていく努力を積み重ねる必要がある。

⑤ 安全性評価・標準化について

《具体的な意見・コメント》

- 安全性評価については、ナノリスクを国の支援で明らかにしないと、応用展開は難しい。5年前からヨーロッパは取り組んでおり、日本よりも進んでいる。
- 化学変性したTEMPO酸化品等は、食品用途に使用する場合には安全性評価が必要である。
- セルロースナノファイバーの形状の規格化は、幅、長さが不均一で、架橋点も不均一に多量に存在しているため規定は難しい。

⑥ その他

《具体的な意見・コメント》

- 混練法WPC製品については、現在工業化されている建材製品などの高度化が必要である。1993年以降ミサワホーム（株）で混練法WPCの建材用途製品の実用化が進んでいる。続いて十数社がこの分野に参入している。現在部分的に工業化されているインフレーション成形品の高バイオマス含量化と一般化が望まれる。混練法WPCの残っていた分野であるインフレーション成形が検討されている。今後はよりバイオマス度が大きく、強度も高い混練型WPCフィルムが追求されると予想される。
- セルロースナノファイバーは意義を明確にする必要があると考える。「ナノ」の必要性と言い換えてもよい。セルロースナノファイバーに代わるものがあるかの見方も必要である。
- 製紙業界はセルロースナノファイバーに興味を持つのではないかと考える。国が産官学の連携を確立し技術の活路を見いだす合理性はあると考える。セルロースナノファイバーの用途の具体化のプロセスが重要と考える。

(6) セルロースナノファイバーに対するユーザーの意見・コメント

① 自動車分野におけるセルロースナノファイバーに対する意見・コメント

自動車分野における有識者の意見・コメント

自動車用の複合材料の開発はポリマー部隊が主体となると思う。開発のコンセプトは「カーボンニュートラル」である。炭素繊維をセルロースナノファイバーで代替することを目的とする開発になる。既にCFRPの開発プロジェクトが先行しているので、このプロジェクトを参考にして取り進めることが効率的と考えられる。

セルロースナノファイバーの透明、線膨張率が小さい、軽いという特性は、自動車部品として実現できれば魅力的である。樹脂との相溶性が課題となる。工業製品としてのスペックに合う均一分散ができるかどうか。熱可塑性樹脂との成形時の300℃程度での安定性が必要である。

「ナノにする必要があるのか。」という疑問がある。ナノとマイクロで比較検討しても特性に差が出ない。むしろナノにすると分散がしにくくなるなど使いづらくなってしまう。ナノにすると均質に分散すれば衝撃性が上がると思うが、むしろ凝集が起こってそこに応力集中して衝撃性は逆に下がる傾向にある。

セルロースナノファイバーを検討した結果では、「耐熱性が悪い(220～230℃で着色)。」、「成形時の流動性が悪い。」、「得られた複合材料の耐衝撃性が悪い。」、「セルロースは親水性なので樹脂への均質な分散ができない。」等の課題がある。自動車用途に適用するためには、セルロースナノファイバーの特性の改良が必要である。

《具体的な意見・コメント》

- 自動車用の複合材料の開発はポリマー部隊が主体となると思う。開発のコンセプトは「カーボンニュートラル」である。炭素繊維をセルロースナノファイバーで代替することを目的とする開発になる。既に炭素繊維複合材料(CFRP)の開発プロジェクトが先行しているので、このプロジェクトを参考にして取り進めることが効率的と考えられる。セルロースナノファイバーの透明、線膨張率が小さい、軽いという特性は、自動車部品として実現できれば魅力的である。セルロースナノファイバーの開発のポイントと思われることは、樹脂との相溶性という課題である。工業製品としてのスペックに合う均一分散ができるかどうか。そのためには、セルロースナノファイバーの表面修飾(樹脂との相溶化)が最大の課題となると思われる。
- セルロースナノファイバーに求められる成形加工から見た重要な性能としては、熱可塑性樹脂とのコンポジットにするためには樹脂は300℃程度で溶融されるが、この温度におけるセルロースナノファイバーの性能はどのようなものか、変質してはまずい。

- 自動車部材への適用可能性については、2050年に自動車のCO₂排出量を2000年比90%削減する目標において、直近の2016年は30%削減が目標で、そのうち軽量化が5%貢献できる可能性がある。PPやPAに適用しているタルクやガラスフィラー代替による軽量化の部分で、想定される使用部品の例としてはバンパー、外板、内装トリムなどが考えられる。タルク、ガラスフィラーの代替だと自動車1台（1,500kgとして）当たり約70kgの樹脂部品が対象となり、25%軽量化の場合は18kg削減の可能性がある。樹脂フィラーの使用量は今1台当たり約10kgで年間生産台数100万台とすれば年間フィラー使用量は10,000t/年となる。セルロースは比重がタルク、ガラスファイバーより小さいので置き換え需要は数千t/年程度になる。
- セルロースナノファイバー適用に関する課題としては、以下のような項目が考えられる。
 - ・セルロースナノファイバー特性の向上
 - ・ナノセルロース物性の向上（強度、剛性、アスペクト比）
 - ・樹脂中への分散性の向上
 - ・樹脂との濡れ性の向上
 - ・コンポジット材料特性の向上（曲げ弾性率、衝撃性、流動性（成形性）など）
 - ・タルク相当のコスト競争力
- 実際にセルロースナノファイバーを検討して感じた課題
 - ・耐熱性が悪い。220～230℃で着色してPPなどの成形品が茶色くなってしまう。特にTEMPO酸化品は着色が激しい。
 - ・成形時の流動性が悪い。セルロースは樹脂と絡んでもともと流動性に難があるが、着色するために射出温度を下げる必要があり、余計に流動性が悪くなってしまう。
 - ・複合材料の衝撃性が悪い。セルロースは親水性なので樹脂への均質な分散ができないためと思われる。
 - ・現行使用しているタルクの場合は、入れても流動性も衝撃性も悪くならない。タルクも今までチューニングの長い歴史がある。とにかく今の工程に入れていくためには、疎水化とかナノセルロース自体の物性をもっと分散性の良くなる方向へ改良する必要がある。マシンは2軸成形でやるとかの手もあるかもしれないが、無水マレイン酸変性PPなどの樹脂まで変性したらコストアップして使えない。
 - ・セルロースはPPと相性が悪いが、同じ樹脂でもPEとはもう少し相性がいい。PEとセルロースの相性がいいのは、セルロースがPEの結晶化を促す核材となるからだといわれている。したがって、PPよりも樹脂の相手をPEで考えるということはある。ただ、自動車業界はPEを余り使わない。理由はPEに比べてPPの方が、耐熱性が良いからで、リーフのような電気自動車では熱源がないので用途は広がる可能性はあるが、やはり、自動車への応用を考えるなら、PPへの分散性を向上させることが必要である。
- 「ナノにする必要があるのか。」という疑問もある。ナノとマイクロで比較検討しても弾性率など差が出ない。むしろナノにすると分散がしにくくなるなど使いづらくなってしまう。ナノにすると均質に分散すれば衝撃性が上がると思うが、むしろ凝集が起こってそこに応力集中して衝撃性は逆に下がる傾向にある。レーヨン繊維をPPに分散させる

とガラス繊維並みの性状が出るということもある。ナノ化の必要はないのではないか。

- カーボンナノチューブやカーボンナノファイバーもそうだが、一般にナノ材料がまだ理論どおりの性能をなかなか発揮できていないというのは、ナノレベルでの均一分散ができない共通の課題がありそうである。あるいは、ナノをいかすには、PPの射出成形ではなく、熱硬化性樹脂の重合時に混ぜ込むとか、型の中で重合させるとか、別のアプローチを考えたら良いのではないか。
- 自動車業界ではナノセルロースによる透明性は必要ないと思う。フィルムくらいは作れるかもしれないが、3～4mmの厚さでもきれいに分散していて透明でというと相当難しい。ガラスより軽量の透明材料ならポリカがある。ポリカの弱点は耐傷付き性だが、セルロースがそれをカバーするとは思えない。ガスバリアーフィルムというのはあるかもしれない。
- ナノセルロースの検討に当たり、線膨張係数が下がることを期待した。実際に線膨張係数は下がったが、耐熱性やそれ以外のデメリットがあるというのが現実である。熱硬化樹脂を使う分野（例えば船舶業界）での検討や、PPでなくPAを相手にするとかも考えられる。また、耐熱性が不要な強度だけの用途に適用することも考えられる。
- まとめると、今のナノセルロースは自動車ではすぐには使えない。樹脂側ではインジェクション以外の検討、素材側では分散性、濡れ性の向上やマイクロサイズなどナノサイズではなくマイクロサイズの検討へとスコープを広げた方がいいのではないか。ナノセルロースのPPインジェクションというのは、いきなり一番難しいところを検討しているようである。
- ナノセルロースだけでなく木質バイオマス全体の応用、活用の可能性ということであれば、バイオエタノールの活用や、リグニンからのカーボンファイバーの検討などもある。

② 電機・電子分野におけるセルロースナノファイバーに対する意見・コメント

電機・電子分野における有識者の意見・コメント

バイオマス材料を産業化するに当たっての課題は以下三つが考えられる。「原料として何を使うか」、「用途として何に使うか」、「用途に見合った性能が得られるか」

セルロースナノファイバーも顧客にとってのメリットをどこに置くかが課題である。一つの方向性としては、世の中全体に省エネが開発のモチベーションとなっているので、軽量高強度を売りにしていくことが良いのではないかと。例えば自動車分野等の構造部材で使用するのが良いのではないかと。

回路基板等で使用する場合には、ハンダリフロー時に水が急激に膨張して基板にクラックが入る等の吸水による問題が発生する可能性がある。セルロースも用途によっては吸水性が問題になる可能性があるかもしれない。

セルロースナノファイバーは材料として魅力的であるが、性能向上のためにフィラー等を添加する場合、使命が終わった後、素材がリサイクルの視点からどこに位置付けられるかを明確にすることが重要である。セルロースナノファイバーは機能を発揮するであろうが、リサイクルの視点からの性能は明確になっていない。出口から入り口方向を見ると、入り口の在り方も変わるのではないかと。例えば、自動車に今よりも多くのセルロースナノファイバー強化樹脂が採用されるとなると、リサイクル業までを含めた産業の構造問題が大きな課題となる。

《具体的な意見・コメント》

- バイオマス材料を産業化するに当たっての課題は以下三つが考えられる。
「原料として何を使うか」、「用途として何に使うか」、「用途に見合った性能が得られるか」
- 紙はインフラが既に出来上がっているので、大量に安いバイオマス原料の供給元として期待できる。ただし、樹脂原料としては価格が高いと思う。
- 現在、バイオマス材料は消費者に近い BtoC の市場では広がってきており、化粧品関連や食品関連では、石油由来樹脂よりも価格がかなり高いバイオポリエチレン（ブラジルで生産）も使用されている。一方、BtoB の市場では、環境負荷が少ない材料ということだけでは評価されず、コストパフォーマンスの勝負となるので価格の高いバイオマス材料による既存品の置き換えは難しい。将来的には、BtoC から少しずつ広がり、コンセンサスが得られれば BtoB にも使用されるようになっていくものと思われる。BtoB と BtoC の間の産業として、今後自動車産業が使用していくのではないかと考えられる。自動車は、CO₂ の排出量削減が課題となっている。自動車メーカーはイメージ戦略のためにも車種によっては積極的にバイオマス材料を使用していこうとする動きがある。こうした動きが BtoB へと広がっていくことが期待できる。

- 重電分野は、消費者から見えない分野なので、環境に優しいという訴求点だけでは採用が難しい。家電分野は自動車分野より更に価格重視の市場で、バイオマス材料の適用は難しい。家電分野では、余り環境負荷の低い材料を売りにしていない。
- セルロースは、石化由来のプラスチック材料ができる前から TAC フィルム、レーヨン等で昔から使用されている。昔は絶縁用に紙を使用していた。現在でも絶縁紙はあり、コイルの層間に挟む等で使用している。また、大型の変圧器ではコイルとコイルの間に木そのものであるプレスボード（木そのものを高圧圧縮した素材）を使用している。
- セルロースナノファイバーのサンプルワークのルートは、素材メーカーが成形して電機メーカーに持ち込むこととなる。顧客にサンプルを持ち込む際には、何がメリットかの PR ポイントを明確にする必要がある。既存品の代替の場合、性能が同じで価格が同じでは使用してもらえない。顧客が切替えのモチベーションを持つようなメリットの PR が必要である。
- セルロースナノファイバーも顧客にとってのメリットをどこに置くかが課題である。一つの方向性としては、世の中全体に省エネが開発のモチベーションとなっているので、軽量高強度を売りにしていくことが良いのではないかと。例えば自動車分野等の構造部材で使用するのが良いのではないかと。バイオマス材料に環境以外の高付加価値が見いだされ、それで使ってもらえることが理想ではあるが、一企業の取組では難しいので、初期の市場創成・立ち上げには、何らかの政策的な誘導が必要なのではないかと。ただし、政策誘導が各社のグローバル事業展開の足かせにならないような取組が必要である。
- ディ스플레이等の透明部材は難しい。ガラスと比較して割れないという特性は必要であるが、曲げられる用途は余り現実的ではない。昔から曲がるディスプレイは検討されてきたが実用化されていない。プラスチック素材にガスバリアー性を付与すると高いものになり実用化されない。セルロースナノファイバーの透明性をいかにするのであれば、ガラスと比べたときのメリットを明確にする必要がある。
- 自動車のバックドアをガラス繊維強化樹脂で作っているが、セルロースナノファイバー複合材料でできれば軽量効果があり面白いのではないかと。アルミナ等のフィラー入り樹脂を押出成形、射出成形等すると金型等が削れて金型コストが高くなる等の問題がある。セルロースナノファイバーでは金型の摩耗が少ない等のメリットが出れば面白い。
- 回路基板等で使用する場合に、リグニン樹脂は吸水性の問題があり、ハンダリフロー時に水が急激に膨張して基板にクラックが入る問題がある。セルロースも用途によっては吸水性が問題になる場合があるかもしれない。
- セルロースナノファイバーを変性する場合には、化審法の対応等の化学品安全に注意する必要がある。

- セルロースナノファイバーは材料として魅力的であるが、性能向上のためにフィラー等を添加する場合、使命が終わった後、素材がリサイクルの観点からどこに位置付けされるかを明確にすることが重要と考えている。異物であるフィラーが存在したままりサイクル可能か、フィラーを分離した後にリサイクルか、最後はエネルギーとして利用か。また、セルロースナノファイバーが再利用可能となるのか、又は廃棄しエネルギーとして利用することになるのかを明らかにする必要があると考える。もちろんゼロサムでエネルギーとして再利用されることも価値があると考えているが、「カスケード」のどこに位置付けられるのかを明確にすることが肝要と考える。セルロースナノファイバーが選択的に抽出分離できることも重要になるだろう。
- セルロースナノファイバーは矢野先生の御研究のごとく機能を発揮するであろう。しかし、リサイクルの観点からの性能は明確になっていない。出口から入り口方向を見ると、入り口の在り方も変わるのではないか。例えば、自動車に今よりも多くのポリマーが採用されるとなると、リサイクル業までを含めた産業の構造問題が大きな課題となるであろう（産業連鎖の構造変革）。
- 「ナノ」ということで、安全性に関心を持っている。「ナノ」として、カーボンナノファイバーと一括して議論されるものか、カーボンナノファイバーとは異なるということか、きちんと議論を整理する必要があると考える。
- セルロースナノファイバーは魅力ある材なので、サンプルが入手できるならば評価したい。

第4節 ヒアリング調査のまとめ

(1) 製紙産業の将来展望と課題

紙・板紙の国内需要の減少と輸入紙の増加により、国内の生産活動は縮小傾向にある。今後、製紙産業が持続的成長をするためには事業構造を転換していく必要がある。

事業構造の転換の方向としては、紙・パルプ事業の構造転換と紙・パルプ以外の分野への収益源多様化の二つの方法が考えられる。一つ目の紙・パルプ事業の構造転換としては、既存事業の収益強化のための徹底したコストダウンによる国際競争力の強化及び、製紙工場の海外進出や輸出の拡大等による成長市場への展開、紙製品の高付加価値化による新規事業の創出等を推進していくことが考えられる。一方の紙・パルプ以外の分野への収益源多様化は、長年紙・パルプ製造で培ってきた森林バイオマスを利活用したエネルギー、ケミカル・マテリアルを取り出すバイオリファイナリーを目指すことが期待される。

製紙産業が保有する木質バイオマスの原料生産、集荷、輸送、前処理、エネルギー生産、製品生産までの一貫した技術を駆使して、製紙産業は高度バイオマス産業において中心的な役割を果たしていくべきである。

日本が世界に先駆けて低炭素社会、循環型社会を構築していくためには、製紙産業の持つ強みを最大限に発揮することによる高度バイオマス産業の創造が重要である。そのためには、国主導により、川上の林業から川下の化学産業や自動車産業、電機産業等の日本の産業界全体が連携して、育成していくことが必要である。

(2) 製紙企業におけるエネルギー分野での課題と取組

製紙産業が保有する技術は、紙・パルプ製造以外では発電技術の蓄積があり、発電事業は製紙産業にとって適した事業分野である。エネルギー分野に関してはこれまで培ったノウハウや資産をいかし、バイオマス発電や太陽光発電、風力発電、火力発電、水力発電等の発電事業や、木質ペレットやトレファイドペレット、バイオエタノールなどのバイオマス燃料製造技術の開発による燃料事業への事業拡大が期待できる。ただし、バイオマス利用のエネルギー開発の推進においては、計画的な植林等による森林資源の維持管理と既存エネルギーとの比較のためのエネルギーコストの定量化等を検討する必要がある。また、国土の70%を占める森林を有効に活用するために、国内森林資源が経済的に成り立つような施策が進められることも望まれる。

(3) 製紙企業のバイオマス利用分野での課題と取組

① バイオマスリファイナリー

バイオマスの組成は多様で、分離、転換に非常にエネルギーが掛かる。したがってこれを解決するプロセス開発が課題である。また、石油由来の化成品に比べてコストが高い。これを解決し、価値を含めて消費者に受け入れられるようにすることが大切である。そのためにも、新規技術の積極的な開発と展開が必要であり、産官学のコラボレーションが必要である。

② セルロースナノファイバー

セルロースナノファイバーの実用化は、他の材料（無機、有機、金属）との相対的な特性と価値で決まる。用途に合わせた製造法の開発が望まれる。

今後の技術開発としては、各種出口用途を明確にして、各種用途に合わせた①成分分離技術、②解繊技術、③機能化・複合化技術、④用途開発技術、⑤成分利用技術等の開発が必要である。

特に、表面修飾と解繊技術が重要である。最も重要な技術は表面修飾技術で、セルロースナノファイバーの親水化、疎水化を制御する技術である。また、セルロースナノファイバーの開発に当たっては、副生するセルロース以外の成分（リグニン、ヘミセルロース）の有効活用に関する開発も重要である。

セルロースナノファイバーの最大の課題は用途開発が進まないということである。セルロースナノファイバーは比表面積が大きく、軽くて強くて熱膨張が小さいという特徴を持っているが、この性能を最終製品にどう発現するかが重要である。例えば、構造用途でのキーテクノロジーとしては、性能発現のためにセルロースナノファイバーの表面修飾を行い、均一に解繊し、樹脂中にいかに均一に分散するかが重要であり、安価なパルプから、いかに低価格で高性能な製品を作り出せるかが重要なポイントである。

共通基盤技術としては、セルロースナノファイバーの計測・評価技術（幅分布、長さ分布、純度、機能評価など）や、安全性評価、標準化を検討する必要がある。特に、安全性評価については、ナノリスクを国の支援で明らかにすることが重要である。また、欧米で取り組まれている国際標準化についてキャッチアップするとともに、国内企業がグローバル展開のために有利となる国際競争力強化のための標準化戦略の構築が望まれる。

第4章 製紙産業の2020年、2030年に向けたビジョンとそこに至るロードマップ

第1節 製紙産業の将来展望と課題

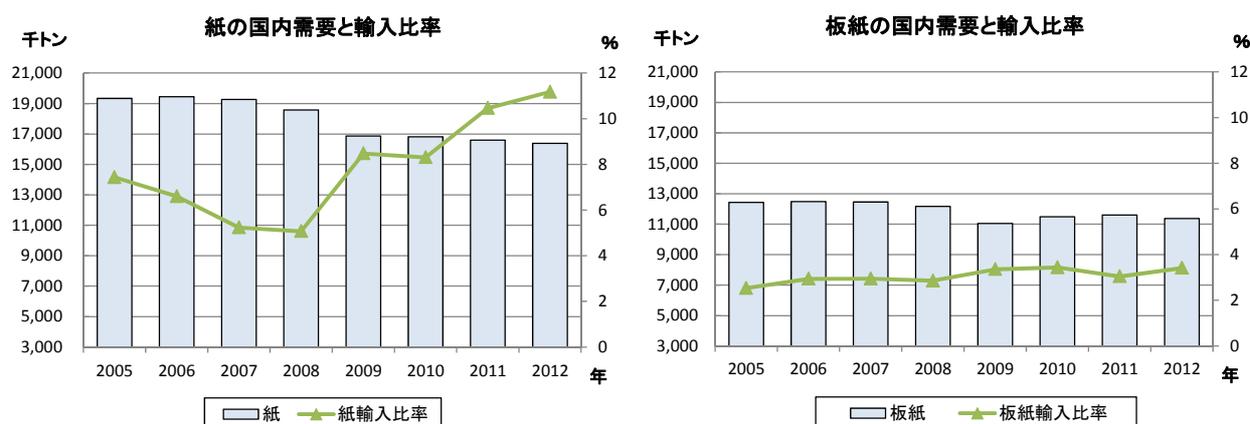
1. 国内製紙産業の現状

我が国の製紙産業は、国民生活にとって不可欠な素材である紙・板紙を供給する重要な役割を担う基盤産業であり、我が国の経済や国民生活とともに発展してきた。しかし、近年の国内の紙・板紙需要は、少子化による人口減少や若者の活字離れ、インターネット普及によるペーパーレス化等により、リーマン・ショックを機に2009年に大きく落ち込んで以降は以前の水準に回復することなくほぼ横ばいで推移している。

また、我が国の紙・板紙の輸入量を見ると、中国、インドネシア等の海外製紙メーカーによる国内市場への安価品の輸出攻勢等により、特に紙の輸入量は年々増加している。特に印刷用紙の輸入量が多く、その中でもPPC用紙は国内需要の4割が輸入品となっている。

今後とも、製紙産業は、人口の減少による国内需要の減少や海外からの輸入品の増大、需要に対する過大な設備能力保有などの理由から非常に厳しい経営環境の中にある。

図表 4-1 紙・板紙の国内需要と輸入比率



出典：日本製紙連合会 HP <http://www.jpa.gr.jp/states/paper/index.html>

2. 製紙産業が持続的な成長をしていくための方策

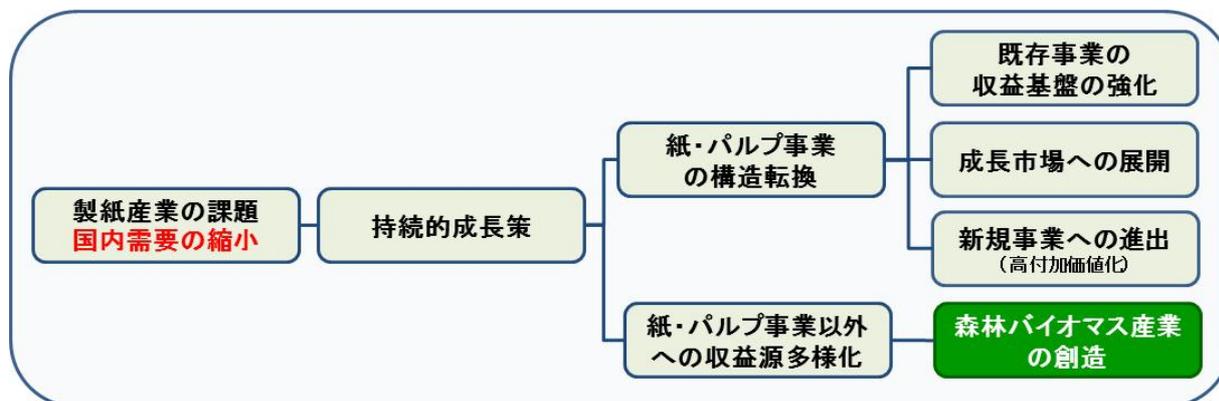
こうした国内市場の厳しい経営環境の中で、製紙産業が持続的な成長を維持していくために、国内製紙メーカーは積極的な海外事業展開によりシェア拡大を目指すとともに、長年培ってきた製紙技術やバイオマス利用技術を核として新しい事業展開による事業構造の転換を推し進めている。

事業構造の転換の方向としては、紙・パルプ事業の構造転換と紙・パルプ以外の分野への収益源多様化の二つの方法が考えられる。一つ目の紙・パルプ事業の構造転換としては、既存事業の収益強化のための徹底したコストダウンによる国際競争力の強化、及び、製紙工場の海外進出や輸出の拡大等による成長市場への展開、紙製品の高付加価値化による新規事業の創出等を推進していくことである。一方の紙・パルプ以外の分野への収益源多様化は、長

年紙・パルプ製造で培ってきた森林バイオマスを利活用したエネルギー、ケミカル・マテリアルを取り出すバイオリファイナーリーを目指すことが期待される。

特に、王子ホールディングスや日本製紙グループでは、森林バイオマスの有効利用による新規事業の開拓を積極的に進めており、エネルギー分野及びエネルギー分野以外のバイオマス利用分野を将来の新規事業の柱として位置付けている。

図表 4-2 日本の製紙産業が持続的な成長をしていくための方策



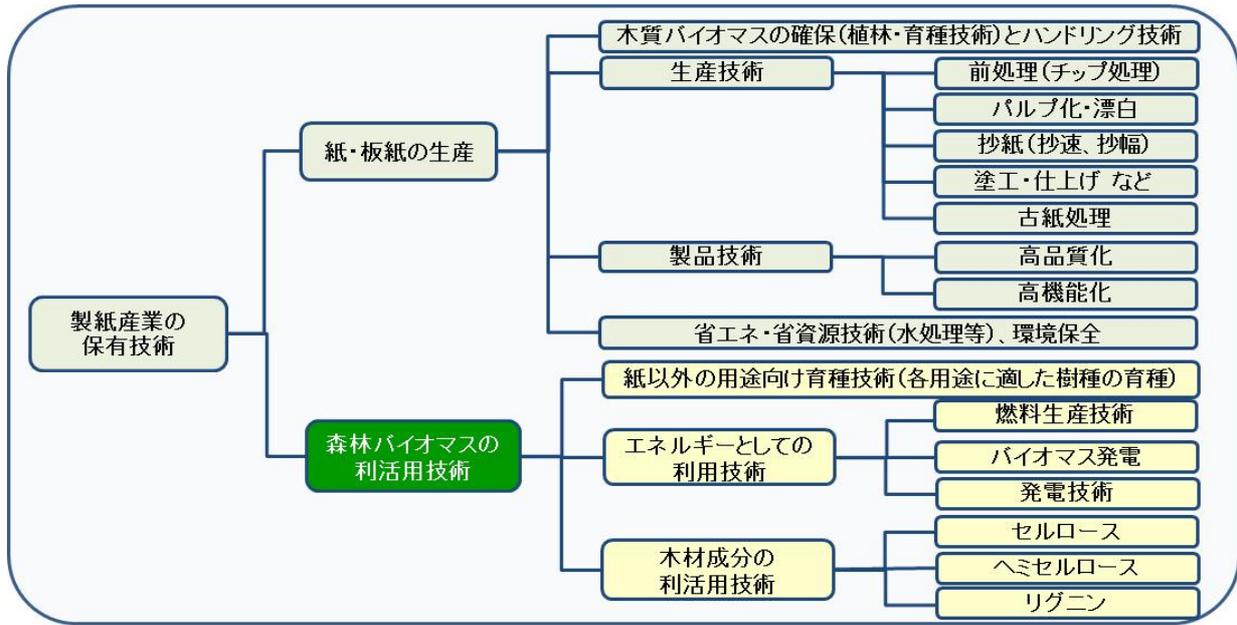
3. 製紙産業が保有する技術の活用

製紙産業が保有する製紙技術の活用において、設備投資がされない状況で開発投資は難しいという背景の下、残念ながら根底から変わるラジカルイノベーションのようなものは現状では余り期待できない状況である。こうした状況の中、製紙産業が保有する技術を最大限活用して、紙・パルプ事業の構造転換を図るためには、生産技術のマイクロチューニングによるコスト競争力の向上及び製紙加工技術をいかした高付加価値商品の開発を行い、国際競争力を高めグローバルに展開していくことが望まれる。

一方、製紙産業を森林バイオマス産業として見直すと新たな展開が可能である。製紙産業が保有する木質バイオマスの原料生産、集荷、輸送、前処理、エネルギー生産、製品生産までの一貫した技術を駆使して、森林バイオマスの利活用により、エネルギー分野や木材成分の有効利用による新たなバイオマスによる事業展開が可能となる。

また、国内の森林産業の問題に対応していくためには、製紙産業の果たす役割は大きく、これまではパルプ製造のために最適な植林や育種技術を検討してきたが、今後はエネルギー分野や木質成分を利活用するために最適な植林や育種技術の検討をしていくことが望まれる。

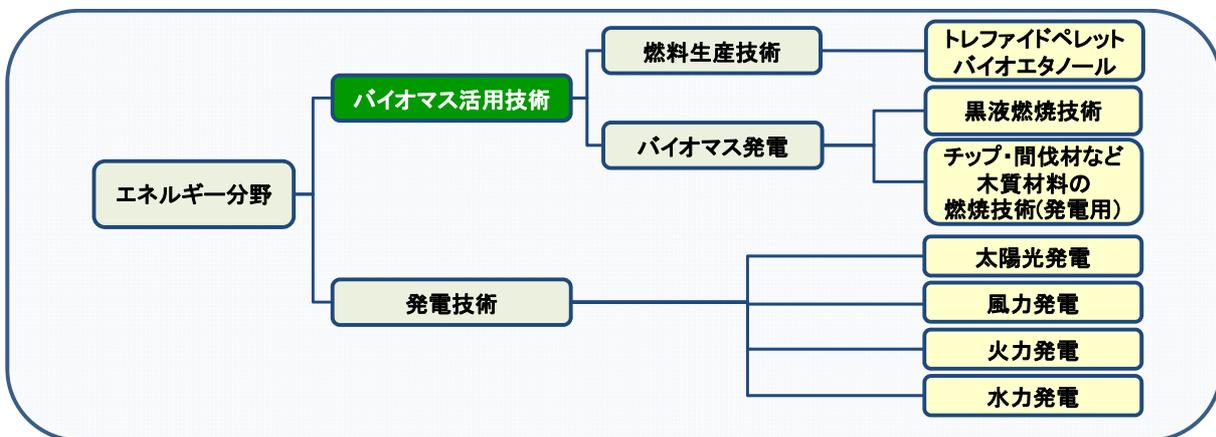
図表 4-3 製紙産業が保有する技術と展開の可能性



4. エネルギー分野への展開

製紙産業が保有する技術は、紙・パルプ製造以外では発電技術の蓄積があり、発電事業は製紙産業にとって適した事業分野である。エネルギー分野に関してはこれまで培ったノウハウや資産をいかし、バイオマス発電や太陽光発電、風力発電、火力発電、水力発電等の発電事業や木質ペレットやトレファイドペレット、バイオエタノールなどのバイオマス燃料製造技術の開発による燃料事業への事業拡大が期待できる。ただし、バイオマス利用のエネルギー開発の推進においては、計画的な植林等による森林資源の維持管理と既存エネルギーとの比較のためのエネルギーコストの定量化等を検討する必要がある。こうした環境調和性の高いエネルギーを普及していくためには、優遇税制等により国として支援していくことも重要である。また、国土の70%を占める森林を有効に活用するために、国内森林資源が経済的に成り立つような施策も望まれる。

図表 4-4 製紙産業におけるエネルギー分野への展開



5. 木質バイオマスの利活用

製紙産業が保有する製紙技術を活用して、バイオリファイナリーやセルロースナノファイバーの開発を行うことにより、機能材料や機能化学品の新たな事業創出が期待できる。

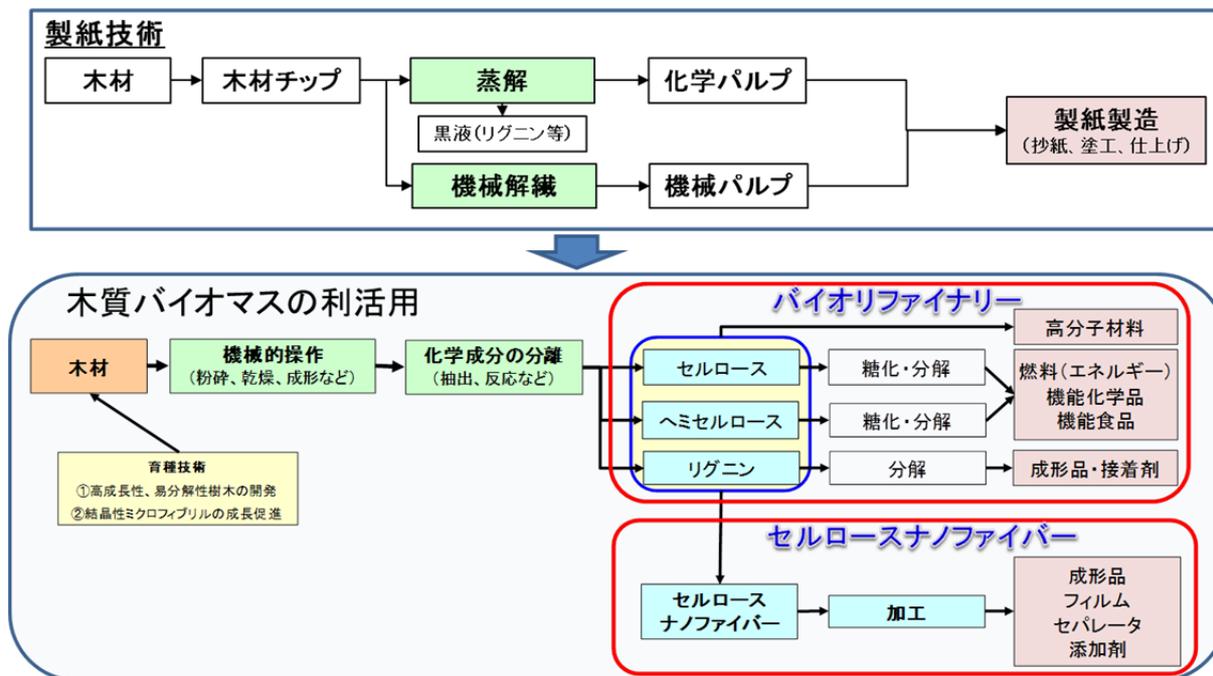
木材成分の分離・精製技術はあるが、木材成分を高付加価値化する技術には新たな開発・改良の余地がある。バイオマス成分の低分子化技術は、酵素分解法を中心に発展しつつあり、将来更に進展することが期待できる。これらを踏まえて、より広範にバイオマス由来化学品の製造技術を発展させ、実用化していくことが望まれる。

バイオマスの組成は多様で、分離、転換には非常にエネルギーが掛かり、これを解決するためのプロセスの開発が課題となる。また、石油由来の化成品に比べてコストが高い。こうした課題を解決し、価値を含めて消費者に受け入れられるようにすることが大切である。

例えば、製紙産業が保有する技術の項でも述べたが、従来のパルプ製造のための植林や育種技術だけではなく、セルロースナノファイバーの製造に適した易分解性樹木の開発や結晶性マイクロフィブリルの成長促進等の、植林や育種技術等を検討していくことも重要である。こうした技術開発のためには、新規技術の積極的な開発と展開が必要であり、産官学のコラボレーションによる技術開発の推進が望まれる。

また、バイオリファイナリーの実現には、原料確保、製造コスト、市場の成熟時期、国家政策との整合性等の配慮すべき課題がある。日本としてどこに選択と集中をするかについて検討し、いつごろ、何ができるかを明確にして、事業開発を進めていくことが必要である。

図表 4-5 製紙産業における木質バイオマスの利活用



6. 製紙産業を中核とした高度バイオマス産業の創造

バイオマスの利活用には、原料生産、輸送、前処理、エネルギー、製品生産までの一貫化した産業体制が必要である。製紙産業は、これまでに植林、古紙利用、バイオマスエネルギー、生産性向上を進めてきたが、これらの基盤技術は、森林資源を有効に活用するとともに、化石資源との比較においても経済的競争力を有している。

こうした技術を活用して、製紙産業は将来のバイオリファイナリーの中核的な役割を果たすことができる。バイオリファイナリーは、バイオ燃料や化成品原料だけでなく、紙、プラスチック代替材料、セルロースナノファイバーなどのバイオマス製品群を提供することにより、石油資源の使用量を大幅に削減することができる。

地球環境問題や資源の枯渇問題等による「脱石油」という世界的な潮流の中で、カーボンニュートラルなバイオマス資源による石油資源の代替は重要な政策課題でもある。

ここで、世界に先駆けて低炭素社会、循環型社会の構築を目指し、製紙産業の強みをいかした高度バイオマス産業を創造することを提案したい。我々が使用する資源を、太陽から得られる巨大なソーラーシステムとしての森林が培ってきた資源やエネルギーで十分に賄っていけるような社会を構築するために、製紙産業が貢献していくことが望まれる。

下記の図に高度バイオマス産業のイメージを示したが、化学産業の事業範囲と製紙産業が持つバイオマス資源をハンドリングしながら化学系の原材料を供給していくという境界領域の部分をお互いの強みをいかしながらつなげた部分を、高度バイオマス産業と名付ける。

化学産業も製紙産業も同じような課題を抱えており、製紙産業と化学産業のプロセスを組み合わせることで、将来の新しい工場プロセスができるものと考えられる。こうした新たな業態への変化、構造変革については、長期的な展望の下国主導による取組が望まれる。また、産業界では、川上の農林産業から川下の化学産業や自動車産業、電機産業、住宅産業等の日本の産業界全体によるオールジャパン体制での連携・育成が必要不可欠である。

バイオリファイナリー全体を通して樹種を考える場合には、日本の森林をどうかすか、森林産業の活性化をどうしていくかを考えることが必要となる。今までのやり方とは異なる川下から川上を考えることにより、マテリアルストリームを作ることが重要である。

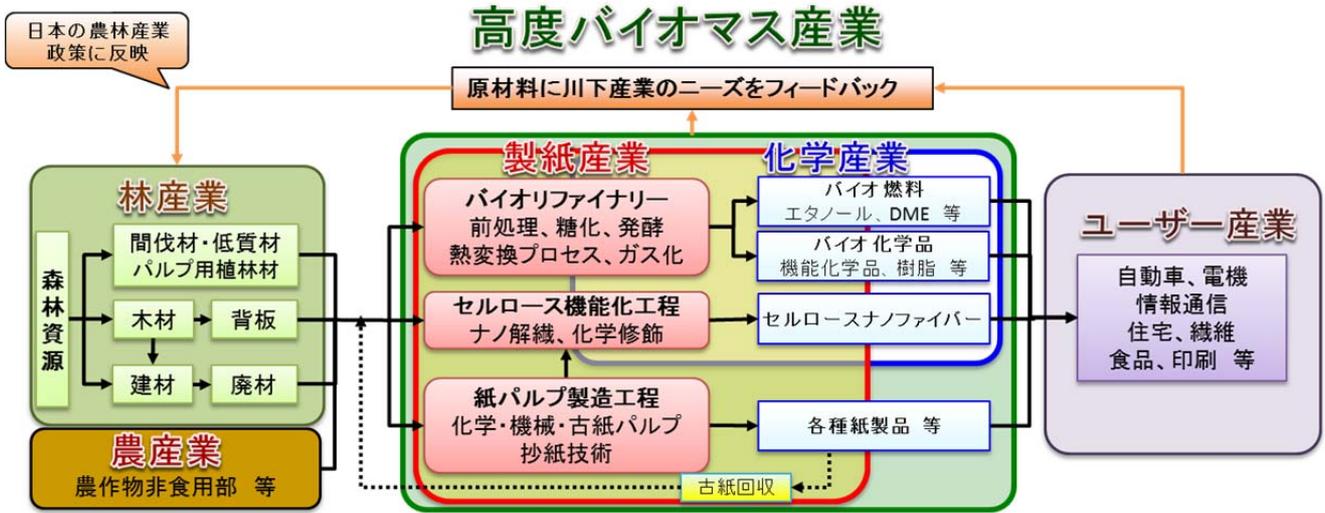
また、バイオマスリファイナリーの検討として、大規模工場に対応できるモデルと、地域で対応できる小規模な地域モデルのケーススタディーもやっていく必要があり、地域モデルにおいては、高度バイオマス産業の原料として、地域ごとの特徴をいかした「地産地消」による原料供給、例えば、農業関連の農作物非可食部分等の活用も視野に検討していくべきである。

日本の化学産業は化学品を年間 1,500 万トン生産しているが、そのうちの 10%~20%をバイオマス系で置換すると 200 万トン/年程度が使用される。現在、製紙産業が使用しているバイオマスは 3,000 万トン/年であるので、生産能力は資源的な負荷を与えるほどのものではない。

こうした高度バイオマス産業を育成していくためには、国の主導による原料供給から製品開発までの一貫した取組が必要である。また、産業界全体の LCA を明確にする必要もある。

世界に先駆けて、持続型の低炭素社会の見本を日本から発信し、「バイオマス文明」を作ること日本が示していくことが重要である。製紙産業は、その中核を担うことにより新しい文明を作り得る可能性のある産業である。そこから、自動車や家電などの川下産業が巻き込まれて新しい文明ができていくことを期待したい。

図表 4-6 製紙産業を中核とした高度バイオマス産業の創造



第2節 セルロースナノファイバーの将来展望と課題

1. セルロースナノファイバーの検討経緯

(1) セルロースナノファイバーとは

セルロースは木材などの植物細胞の繊維の主成分で、植物を構成している物質の1/3を占め、地球上で最も多く存在する炭水化物であり、紙の主原料（パルプ）となっている。

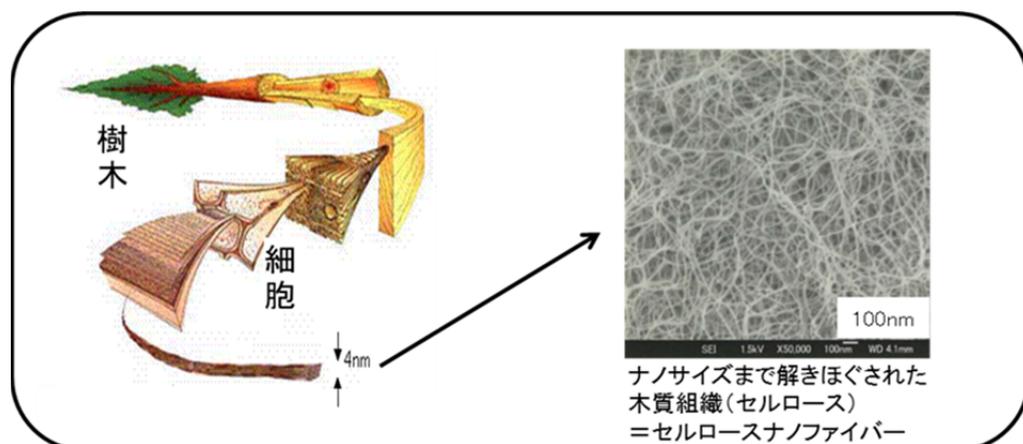
セルロースナノファイバーとは、木材から得られるパルプなどを原料とし、化学的、機械的に処理してナノサイズまで細かく解きほぐした、平均幅が数～20nm程度、平均長さが0.5～数 μm 程度のサイズの繊維状物質で、このようなナノレベルの細い繊維は従来の繊維と比べると、比表面積が大きいいため触媒や吸着剤として優れた効果を発揮する、また、分子が整って配列していることから、強度・弾性に優れるなどの性質を持ち、これまでにない新しい機能を持つ素材として期待されている。特にセルロースナノファイバーは木材から作ることができ、生産・廃棄において環境負荷が小さいことから、その製造方法の研究及び用途開発が、国内外で盛んに行われている。

■セルロースナノファイバーの特徴

- ・軽量の素材でありながら鋼鉄の5倍以上の強さ
- ・熱による変形が少ない（ガラスの1/50程度）
- ・植物由来であるため環境負荷が少なく持続可能な資源
- ・豊富な森林資源が原料であるため膨大な資源量

高強度材料（自動車部品、家電製品筐体）、高機能材料（住宅建材、内装材）、増粘剤（食品、医薬品）、特殊材料（特殊紙、フィルター等）への応用が期待される。

図表 4-7 セルロースナノファイバーとは



出典：京大大学生存圏研究所 生物機能材料分野 ホームページ、<http://vm.rish.kyoto-u.ac.jp/W/LABM/cnf>

(2) 早期事業化に向けた国の支援状況

紙需要の構造的な減少が進行する中、製紙業の新たな成長分野として、木質バイオマス資源を活用したグリーン部素材の開発が喫緊の課題となっている。こうした中、2012年10月に、経済産業省を中心にセルロースナノファイバーの早期事業化に向けて、産学官から成る「ナノセルロース事業化戦略検討委員会」が立ち上げられた。委員会では、海外現地調査や国内外特許出願動向調査等を行い、今後の用途開発に向けた取組の方向性や国内事業化の在り方について検討が行われた。

2014年6月には、産学コンソーシアム「ナノセルロースフォーラム」が設立される予定である。以下にコンソーシアムの概要を示す。

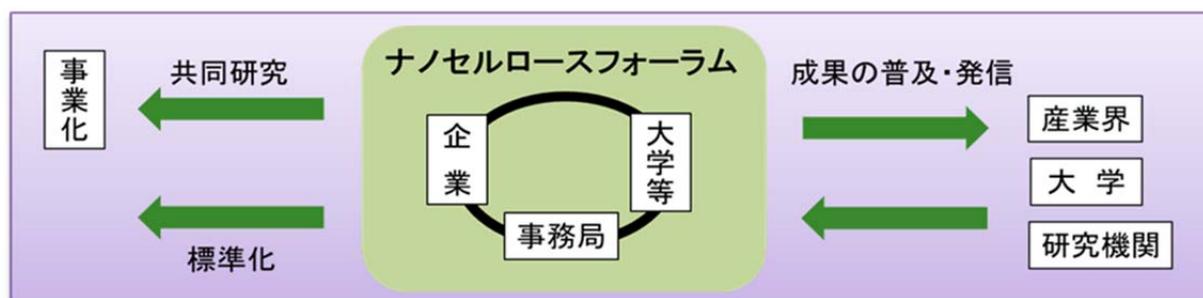
図表 4-8 ナノセルロースフォーラムについて

ナノセルロースの実用化を担う各企業、大学、研究機関の間において、また、製紙メーカー、化学メーカーなどの供給サイドと、IT・通信、自動車、建材などの需要サイドとの間において、関係者相互の情報共有、意見交換、研究開発連携を進めるオールジャパンの体制を構築することは、ナノセルロースをいち早く実用化・普及させる上で大きな意義がある。また、計測・安全性評価技術等の標準化は、欧米中心に議論が進んでおり、国内企業の国際競争力強化のための標準化戦略の構築が必要な状況であり、多額のコストを要するナノリスクについても検証が急務となっている。

このため、国内のナノセルロース関係者からの強い要望に応える形で、ナノセルロースの導入を促進することを目的としたナノセルロースフォーラムを設立することになった。

(事業内容)

1. 最新技術トレンドの共有、交換、発信
2. 共同研究の提案
3. 事業化促進
4. 国際標準化
5. 設備の共用
6. 人材育成
7. サンプル提供、評価

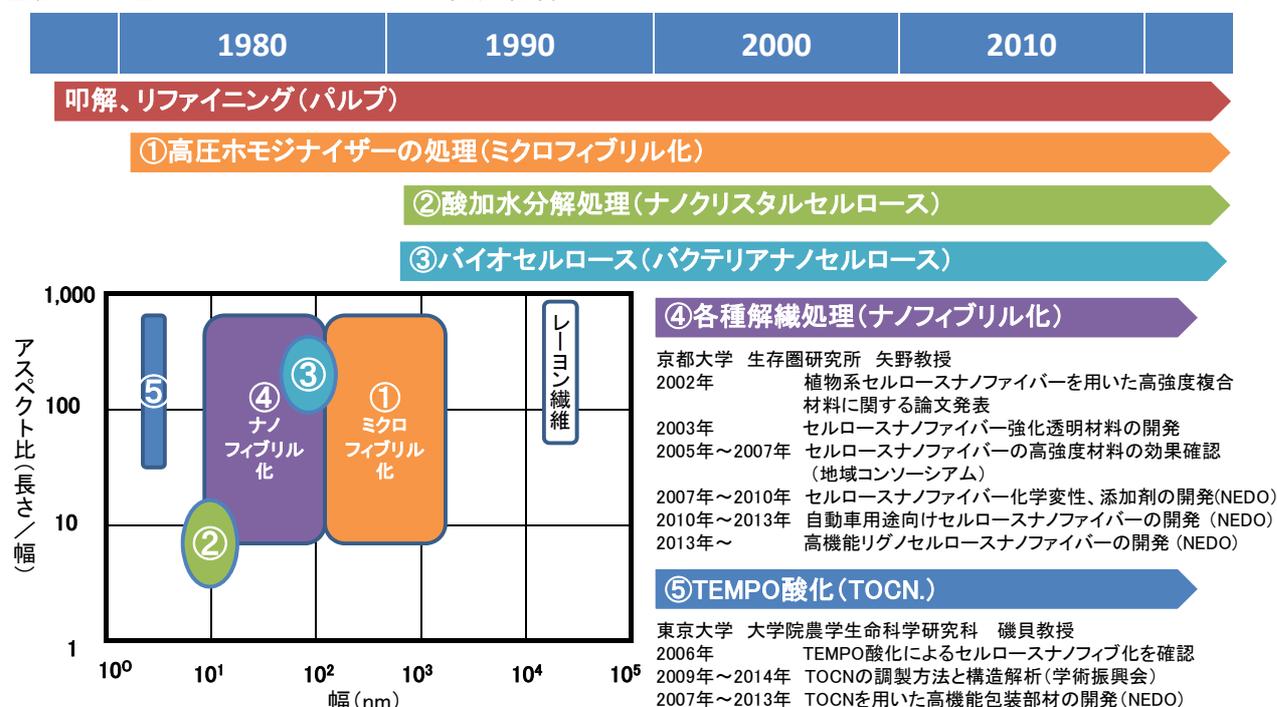


2. セルロースナノファイバーの開発状況

(1) セルロースナノファイバーの開発経緯

ナノセルロース¹の開発については、1990年代より、精製パルプやコットンの酸加水分解によるナノクリスタルセルロース及びバクテリアによって製造されるナノセルロースであるバクテリアナノセルロースが開発された。2000年代に入り、日本の大学を中心にセルロースナノファイバーの研究開発が本格的に始まり、世界的にもセルロースナノファイバーの開発競争が激しくなっている。2006年には、東京大学磯貝教授らのグループによって、TEMPO触媒を用いて酸化させるとマイクロフィブリルの表面がイオン化し、水の浸透効果により水中で容易にナノ分散することが見いだされ、均一なナノセルロースを用いた用途開発が活発に行われている。

図表 4-9 セルロースナノファイバーの開発経緯



(2) セルロースナノファイバーの国内動向

国内では、ここ1、2年で事業化に向けた動きや国の支援体制が整ってきたところである。国内のセルロースナノファイバーの製品化に向けた主な動きと、国から補助金が交付された主な案件などを下記に記述する。

① 製品化に向けた主な動向

¹ ナノセルロースとは、セルロースナノファイバー及びナノクリスタルセルロースの総称とする。

1) ダイセルファインケム

物理的処理だけで微細化したナノセルロースを開発し、製紙原料薬品や食品添加物用途として販売している。

2) 花王、日本製紙、凸版印刷、東京大学

セルロースナノファイバーをバイオマス樹脂フィルムの表面にコーティングしたガスバリアーフィルムを開発した。酸素や水蒸気といった気体を透過しにくい特性（ガスバリア性）を持っており、新たな包装材料としての活用が期待される。（NEDO 助成事業）

3) 王子ホールディングス、三菱化学

セルロースナノファイバーの連続シート化設備による透明シートの製造技術を世界で初めて開発し、サンプル提供を開始している。軽量で紙のように折り畳めるため、必要などきに開いて使用できるディスプレイや太陽電池などへの応用が期待される。

② 国から補助金が交付された主な案件

1) 日本製紙（補助金：200 百万円 補助率：2/3）

平成 24 年度イノベーション拠点立地補助金
岩国事業所にサンプル製造設備を建設。生産能力年間 30 トン
平成 25 年 10 月から生産開始予定。

2) 星光 PMC（補助金：270 百万円 補助率：2/3）

平成 24 年度イノベーション拠点立地補助金
竜ヶ崎工場にサンプル製造設備を建設。生産能力年間 24 トン
平成 26 年 4 月からサンプル提供を開始予定。

3) 第一工業製薬（補助金：58 百万円 補助率：1/2）

先端省エネルギー等部素材開発事業
犀潟事業所にサンプル製造設備を建設。
平成 26 年 4 月からサンプル提供を開始予定。

③ 海外におけるナノセルロースの開発動向

セルロースナノファイバーの開発は、日本が先行していたが、近年は世界中で研究開発が活発化している。関連特許の出願件数は、2005 年からの 5 年間で 6 倍以上に増加している。そのうち日本からの出願は 53%である。特に北欧、アメリカ、カナダ等の海外勢の追い上げが著しい。用途開発では日本が先行しているが、実証プラントの建造や実証プラントでの製造技術についてはリードを許している状況である

実証プラントについては、2011 年 11 月にフィンランドの UPM はいろいろなグレードのセルロースナノファイバーの製造を、2012 年 1 月にはカナダの CelluForce がセルロースナノクリスタルの製造を、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先行している可能性がある。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進んでいるが、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。

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している。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ていくかが、国際競争に打ち勝つための今後の重要なポイントである。

図表 4-10 海外におけるセルロースナノファイバーの開発状況



出典：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） 経済産業省

3. 技術的な課題

セルロースナノファイバーの実用化は、他の材料（無機、有機、金属）との相対的な特性と価値で決まる。用途に合わせた高性能で製造コストの安い製造方法の開発が望まれる。

今後の技術開発としては、各種出口用途を明確にして、各種用途に適した①成分分離技術、②解繊技術、③機能化・複合化技術、④用途開発技術、⑤成分利用技術等の開発が必要である。特に、表面修飾と解繊技術が重要であり、最も重要な技術は表面修飾技術で、セルロースナノファイバーの親水化、疎水化を制御する技術である。また、セルロースナノファイバーの開発に当たっては、副生するセルロース以外の成分（リグニン、ヘミセルロース）の有効活用に関する開発も重要である。

従来のパルプ製造のための植林や育種技術だけではなく、セルロースナノファイバーの製造に適した易分解性樹木の開発や結晶性マイクロフィブリルの成長促進等の、植林や育種技術を検討していくことも重要である。各要素技術について、以下に説明する。

① 成分分離技術

木質チップをバイオマス原料として使用するために、用途に合った有効成分を効率的に分離する技術の開発が必要である。成分分離技術は、これまでも物理的処理法、化学的処理法、微生物処理法が検討されている。各成分（セルロース、ヘミセルロース、リグニン）を工業原料として使用するための最適な成分分離技術の確立が望まれる。

② 解繊技術

現状のセルロースナノファイバーの製造のための解繊技術は、物理的な解繊方法として、高圧ホモジナイザーやマイクロフルイダイザー、化学的な解繊方法としては、TEMPO 酸化法が主流となっている。現在の解繊技術はエネルギー消費量が大きく、市場を拡大していくためには更なる解繊コストの低減が必要である。そのためには、革新的な低エネルギー、高効率で、ナノ繊維が損傷しない解繊技術の開発が望まれる。また、解繊前処理技術として乾式でマイクロ単位に荒粉碎する方法やリサイクルされた古紙を原料とする解繊等により、ナノレベルでの粉碎のエネルギーを低減する可能性についても検討していく必要がある。

③ 機能化・複合化技術

セルロースナノファイバーの用途として、水溶液でそのまま使用される用途「水系用途」と樹脂等のマトリックス中に分散する「複合材料用途」に分類して、各々の技術開発の課題について述べる。

1) 水系用途（増粘剤、分散剤、水系コーティング剤、フィルター材料 など）

増粘剤、分散剤等の添加剤用途では、水溶液中の粘弾性特性の制御技術の開発が必要である。例えば増粘剤・ゲル化剤としては、セルロースを原料とする半合成系増粘剤として、セルロースを化学修飾したカルボキシメチルセルロースナトリウム、ヒドロキシエチルセルロースなどのセルロース誘導体やセルロースそのものを物理的に微細に加工した粉末セルロースやマイクロフィブリル化セルロース、バクテリアセルロースなどが、食品や医薬、化粧品の増粘剤として使用されている。これらの既存の増粘剤の機能と比較して、セルロースナノファイバーが保有する特異的な粘弾性特性領域を探索する必要がある。水系用途のもう一つの例として、フィルター材料への適用も考えられる。多孔質材料にセルロースナノファイバー水溶液を含浸し乾燥することにより、ナノレベルの細孔を形成する技術が開発されており、ナノ細孔形成の制御や表面性状制御の技術開発が進められている。

2) 複合材料用途（機能性フィルム、構造材料、光学材料 など）

複合材料用途でのキーテクノロジーとしては、性能発現のためにセルロースナノファイバーの表面修飾を行い、均一に解繊し、マトリックス（樹脂等）に、いかに欠陥、凝集のない均一ナノ分散ができるかが重要である。安価なパルプを強化繊維に適用して、どれだ

け手をかけないで低価格の高性能製品を作り出せるかがポイントとなる。例えば、自動車外板等に使用する場合には、セルロースナノファイバー強化樹脂成型品の製造コストをいかに下げるかが重要である。

マトリックス（樹脂等）中にセルロースナノファイバーを均一ナノ分散するために必要と考えられる検討項目について、以下に記述する。

i) マトリックス（樹脂等）中での均一ナノ分散技術

セルロースナノファイバーの表面改質により、マトリックスとの親和性を向上する。高分子分散剤による表面改質、化学修飾による表面改質などの検討が必要である。

ii) マトリックス（樹脂等）の改質

セルロースナノファイバーと親和性の高いマトリックス（樹脂等）の選択やマトリックスの改質による親和性の向上が望まれる。例えば、パルプのマイクロフィブリル繊維をポリプロピレン中に分散するために用いられる無水マレイン酸変性ポリオレフィンの使用や、分散性を向上させるための新規なグラフトポリマーや共重合ポリマーの開発が望まれる。

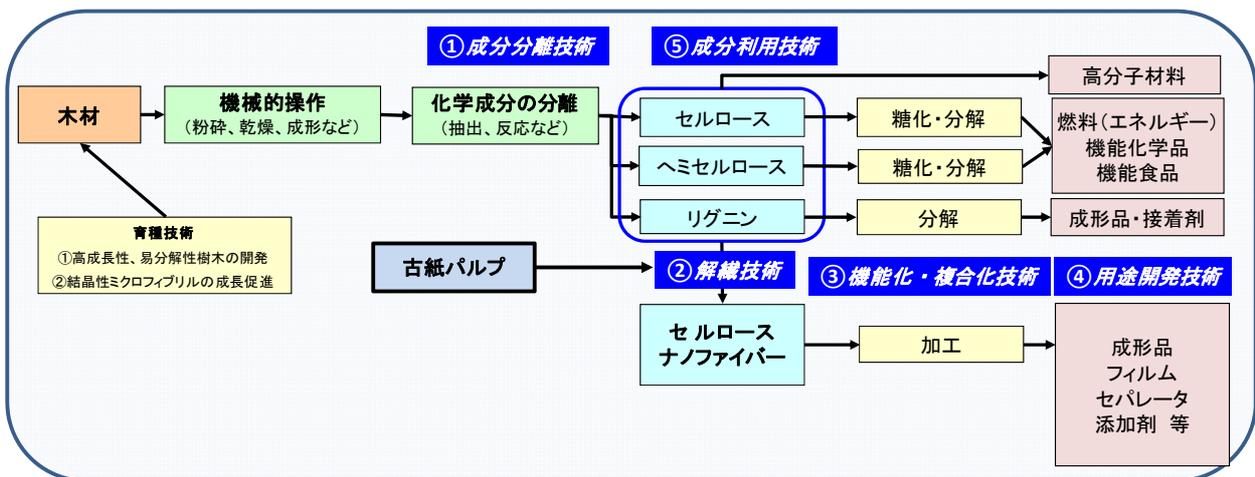
iii) 均一分散・複合化技術

樹脂合成時の複合化の技術や樹脂との機械的複合化技術の開発（二軸押出機溶融混練、固相せん断複合、ボールミル複合 など）

iv) マトリックス中でのナノ分散性の評価技術

セルロースナノファイバー強化複合材料の機能評価に当たっては、ロット間での物性の振れのない、セルロースナノファイバーがマトリックスに均一にナノ分散した材料について機能評価を行うことにより、複合材料の真のポテンシャルを把握する必要がある。

図表 4-11 セルロースナノファイバーの技術的課題



4. 実用化への課題

セルロースナノファイバーの最大の課題は用途開発が進まないということである。セルロースナノファイバーは比表面積が大きく、軽くて強くて熱膨張が小さいという特徴を持っているが、この性能を最終製品にどう発現するかが重要である。例えば、構造用途でのキータ

テクノロジーとしては、性能発現のためにセルロースナノファイバーの表面修飾を行い、均一に解繊し、樹脂中にいかに均一に分散するかが重要であり、安価なパルプから、いかに低価格で高性能な製品を作り出せるかが重要なポイントとなる。また、実用化に当たっては、セルロースナノファイバーの特徴をいかした、他の材料では代替できない用途を開発していくことが必要である。こうした用途開発のためには、川下企業（化学、自動車、電機、住宅等）との連携によるニーズ志向のコンカレントな開発を行う必要がある。

今後は、多種多様な汎用及び先端製品の中に素材の一部として組み込まれているようになることを期待したい。単に、環境に優しいといったようなキャッチフレーズでなく、機能として既存素材にない特徴をいかすことで、市場形成と利用分野が広がるものと考えられる。一方、シーズからの新素材の実用化、商品化には多くの高いハードルがあるのは過去の事例を見ても明白であり、今後も、企業の研究開発担当や、産総研、大学研究室が協同で、役割分担を明確にして、それらのハードルを越えていく努力を積み重ねていくことが望まれる。

図表 4-12 セルロースナノファイバーの用途

	機能化指標	機能材料	用途
水系用途	粘弾性制御	増粘材料 分散材料	化粧品用、医薬品用、食品用増粘剤、創傷被覆材、細胞培養基材 など
	細孔制御	分離材料 担持材料	フィルター、セパレータ、特殊紙 など
複合材料用途	ガスバリアー性	包装材料	バリアフィルム、バリアシート など
	透明性	光学材料	透明ディスプレイ、透明カラーフィルター 有機 EL 基板、太陽電池基板 など
	耐熱性 寸法安定性	電子材料	半導体封止材、フレキシブルプリント基板 絶縁材料 など
	軽量、高強度	構造材料	自動車内装材、自動車外装材、タイヤ強化材、建材、 家電の筐体、ケーシング など

5. 安全性・標準化への対応

共通基盤技術としては、セルロースナノファイバーの計測・評価技術（幅分布、長さ分布、純度、機能評価など）や、安全性評価、標準化を検討する必要がある。特に、安全性評価については、ナノリスクを国の支援で明らかにすることが重要である。また、欧米で取り組まれている国際標準化についてキャッチアップするとともに、国内企業がグローバル展開のために有利となる国際競争力強化のための標準化戦略の構築が望まれる。

図表 4-13 ナノセルロースの安全性評価と標準化対応の状況

国	機関	安全性	標準化
ノルウェー	PFI (研究開発企業)	多種類のセルロースナノファイバーの細胞毒性:CTAB 吸着品以外は毒性無し	—
フィンランド	VTT (公的研究機関)	未修飾セルロースナノファイバーについて細胞毒性・遺伝性試験を行い、毒性無しの結果	精力的に取り組んでいる。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いる
	FIBIC (研究支援機関)	—	カナダ・米国の動向をフォロー
	UPM (製紙会社)	・UPM-Biofibrils の安全性を確認 ・フィンランド労働健康研究所、StoraEnso と協力	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
スウェーデン	Innventia (研究開発企業)	他の機関と連携して評価中	積極的に取り組んでいない
米国	メイン州立大学	外部機関に評価依頼し、無毒との評価	カナダ・北欧が先行しており、その動向をフォロー
	FPL (公的研究機関)	NIOSH(米国労働安全衛生研究所)で安全性を確認、近くレポート提出予定	ISO TC229、ANSI TAG229、TAPPI で議論を開始しているが、紙パルプを規制している ISO TC6 にて、規制した方が良いとの意見もある
カナダ	FPInnovations (研究機関)	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	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
	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たが、安全との評価	余り興味無し

出典：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） 経済産業省

第3節 製紙産業の将来ビジョンとロードマップ

1. 2020年、2030年に向けた製紙産業の将来ビジョンとロードマップ

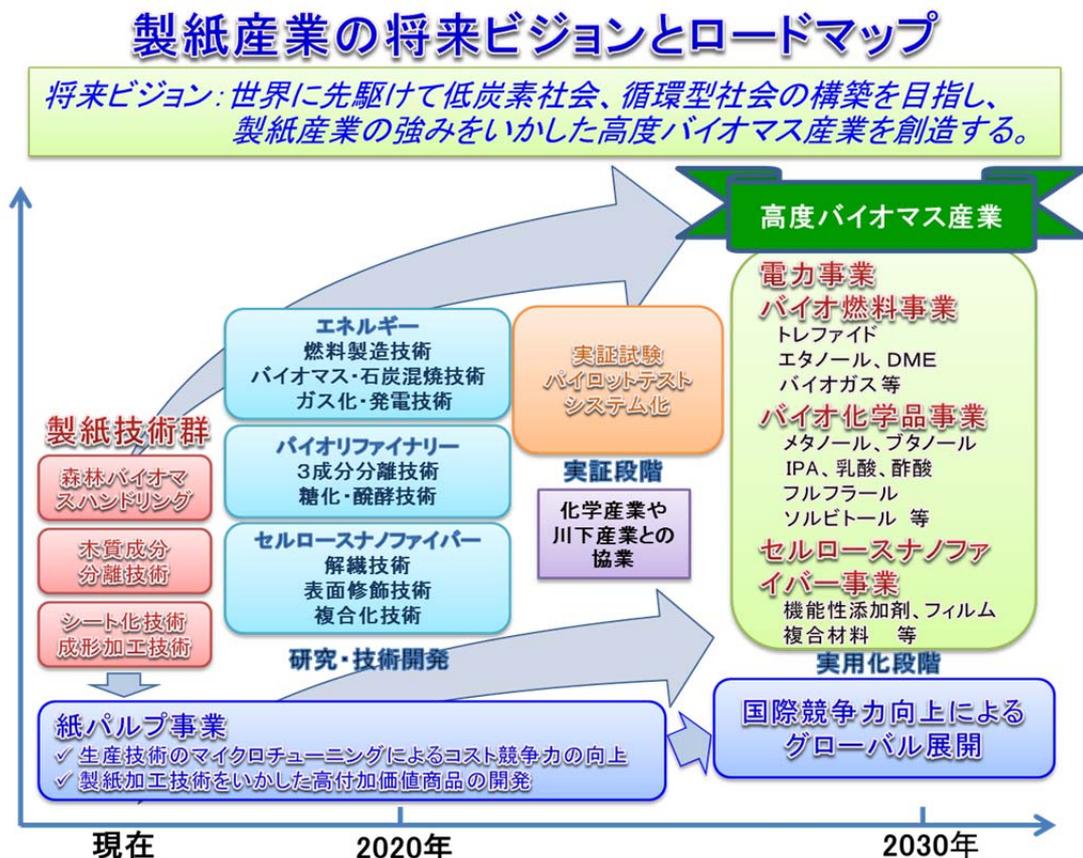
有識者からのヒアリング結果及び検討会での意見を基に「製紙産業のビジョンとロードマップ」を以下のように作成した。従来の紙・パルプ事業については、生産技術のマイクロチューニングによるコスト競争力の向上及び製紙加工技術をいかした高付加価値商品の開発により、国際競争力を向上してグローバル展開を目指していくこととした。更なる製紙産業の拡大・発展のために、製紙産業が紙・パルプ事業で長年培ってきた技術群を活用して、エネルギー、バイオリファイナリー、セルロースナノファイバー等の開発により、高度バイオマス産業を目指していくこととした。

ロードマップとしては、個別には既に実用化に近いものもあると思われるが、全体を俯瞰して、個別テーマについて研究開発を進め、2025年頃までには実証試験を終了し、2030年以降に高度バイオマス産業が普及することを目指していくこととした。

こうした新たな業態への変化、構造変革については、長期的な展望の下国主導による取組が望まれる。また、産業界では、川上の林業から川下の化学産業や自動車産業、電機産業、住宅産業等の日本の産業界全体によるオールジャパン体制での連携によるコンカレントな取り進めが必要不可欠である。製紙産業が目指すべき姿としての将来ビジョンについては、以下のように策定した。

「世界に先駆けて低炭素社会、循環型社会の構築を目指し、製紙産業の強みをいかした高度バイオマス産業を創造する。」

図表 4-14 製紙産業の将来ビジョンとロードマップ



2. セルロースナノファイバーの実用化に向けた将来ビジョンとロードマップ

「セルロースナノファイバーの実用化に向けたロードマップ」を次ページに示すが、課題としては、今まで述べてきた「木質材料からの効率的、安価な有効成分分離技術（セルロース系資源の前処理技術の確立）」、「低エネルギー、高効率なパルプの解繊技術の確立」、「機能化・複合化技術の確立、生産技術、用途開発」、「分離したリグニンとヘミセルロースの高度活用技術」を挙げた。

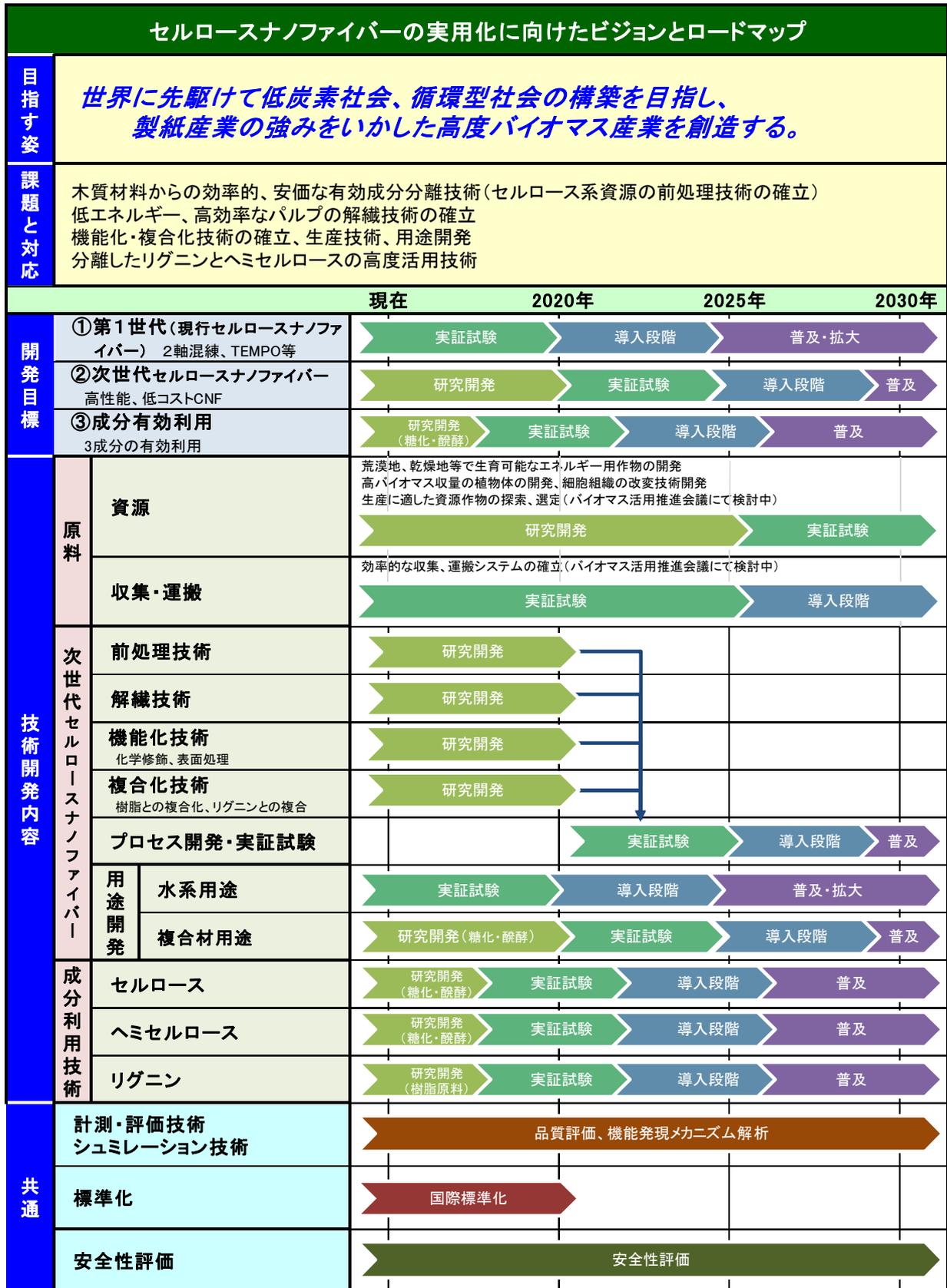
セルロースナノファイバーの開発目標としては、第1世代と次世代に分けてロードマップを作製した。第1世代とは、現在検討されている機械解繊や2軸混練技術、TEMPO酸化法等の製造法の延長線上で得られる性能やコストを有するセルロースナノファイバーを示しており、ある程度予想できる領域である。一方、次世代セルロースナノファイバーとは、現状の第1世代技術では到達できない革新的技術で製造された、高性能で安価なセルロースナノファイバーを示すこととした。

第1世代のセルロースナノファイバーについては、用途によっては実用化の早いものもあると考えられるが、全体として2020年頃までに実証試験が終了し、2025年以降に普及・拡大を目指していく。

次世代のセルロースナノファイバーについては、ロードマップ上に具体的な技術開発内容と達成時期を記載したが、2020年頃までに革新的な製造・加工技術の研究開発が行われ、2025年には実証試験が終了し、2030年頃に普及・拡大を目指すこととした。

共通基盤技術としては、セルロースナノファイバーの計測・評価技術（幅分布、長さ分布、純度、機能評価など）や、安全性評価、標準化について記載した。特に、標準化については2020年までには国際的な取りまとめを行うこととした。

図表 4-15 セルロースナノファイバーの実用化に向けたビジョンとロードマップ



次世代セルロースナノファイバー：現状の第1世代技術では到達できない革新的製造技術で製造された高性能で安価なセルロースナノファイバー

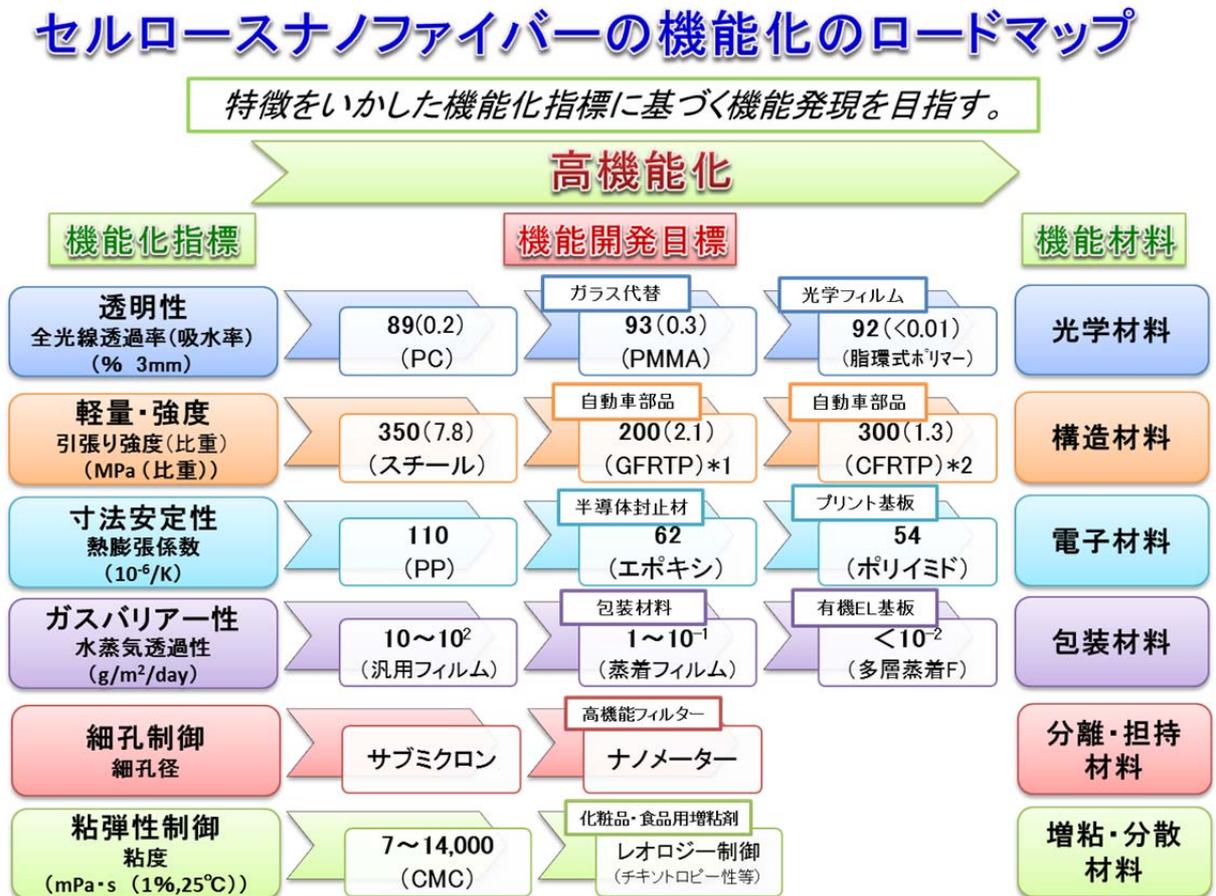
3. セルロースナノファイバーの機能化のロードマップ

セルロースナノファイバーの特徴としては、透明性、軽量・高強度、寸法安定性、ガスバリアー性、細孔の制御や粘弾性の制御が可能である等があり、こうした特徴をいかした新規用途を見いだすことが、今後の重要な開発課題である。

ユーザーの視点から見ると現行品の代替を検討するのであれば、到達しなければならない最低限の開発目標として、「機能化のロードマップ」を作製した。

このロードマップは飽くまでも現行品の代替のための指標であり、今後最も重要な開発課題は、セルロースナノファイバーにしかできない新規用途を見いだすことである。これらのセルロースナノファイバーが保有する機能をいかして、他の材料ではできない機能を目指していくにはどうしたら良いかを考えていくことが必要である。

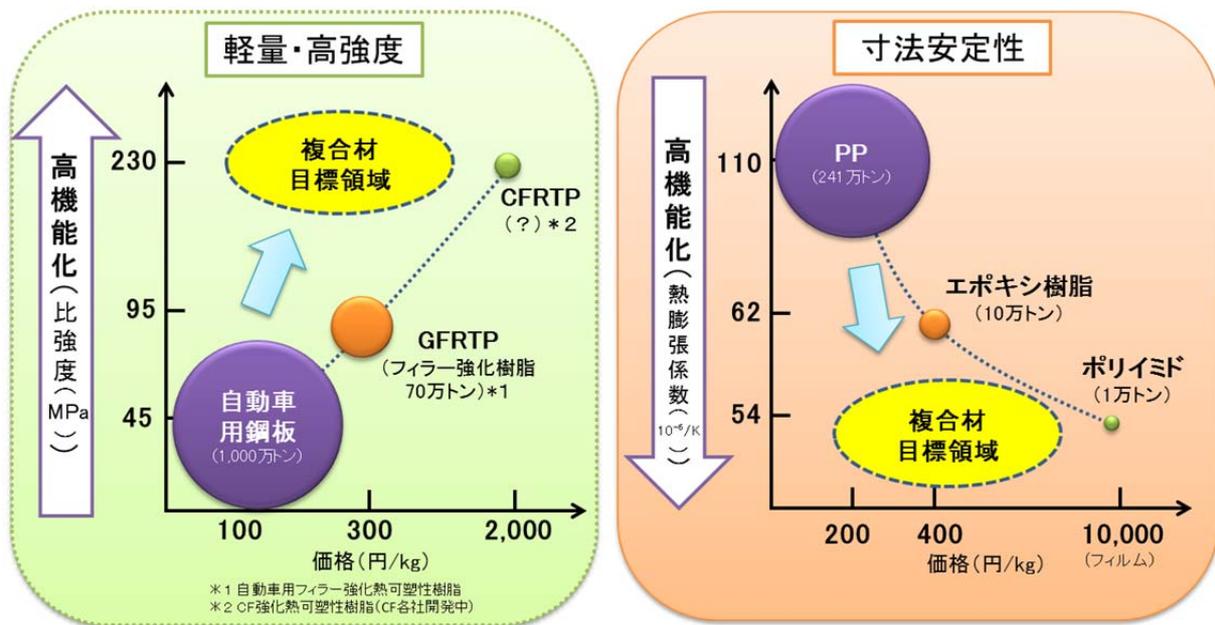
図表 4-16 セルロースナノファイバーの機能化のロードマップ



*1 長繊維射出成形品 (PA6+GF30%) *2 長繊維射出成形品 (PA6+CF30%)
 出典: プラスチックエージ, Vo158, No2, P64(2012)

セルロースナノファイバーの機能化のロードマップで示した機能化指標について、開発目標のイメージを下記に示す。現行品の代替用途では、既存品と比較して低価格で高性能な複合材料を開発する必要がある。

図表 4-17 セルロースナノファイバーによる機能化のイメージ



今後のセルロースナノファイバー複合材料の実用化に当たっては、工業製品として使用するために以下のような課題も解決する必要がある。

(1) 原料となるセルロースナノファイバーの規格

成分組成、純度、形状（幅、長さ、分布）などの用途に応じた安定した原料品質を確保する必要がある。

(2) 成形加工時の課題

- ・熱可塑性樹脂との複合化の場合には、成形加工時の耐熱性が必要である。少なくとも、250℃～300℃で着色、劣化しないものが必要である。
- ・射出成形や圧縮成形する場合には、樹脂との混練物の流動性が必要である。
- ・成形における発泡を抑制するため、セルロースナノファイバーの水分を管理する必要がある。

(3) 製品物性

- ・工業製品としての物性の均一性や製品品質の安定性が必要である。
- ・衝撃強度、剛性（弾性率）、荷重たわみ温度などの別の機能も同時に要求される。

4. セルロースナノファイバー関連材料の潜在市場予測

セルロースナノファイバーについては、まだ明確な用途が見つかっていないが、プラスチックの補強性に優れた高性能セルロースナノファイバー及びセルロースナノファイバー補強樹脂材料を安価で製造する生産技術が実用化されれば、自動車用樹脂だけでなく、家電・建築・容器等に用いられている全構造用プラスチックに適用可能である。

ここでは、自動車用途向けにセルロースナノファイバー強化複合材料が適用可能となった場合の、潜在市場規模について試算した。なお、試算の前提条件としては、日産自動車の有識者へのヒアリング調査時に御提供いただいた資料を参考とした。

図表 4-18 自動車分野への適用の可能性

自動車分野における適用の可能性

セルロースナノファイバーの適用オポチュニティ

- PPやPAに使用しているタルク、ガラスファイバー代替による軽量化 (-25%)

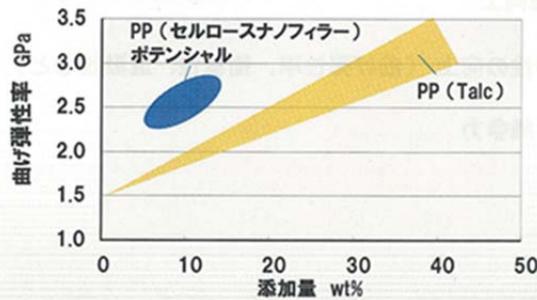
【想定使用部品(例)】



バンパー、外板

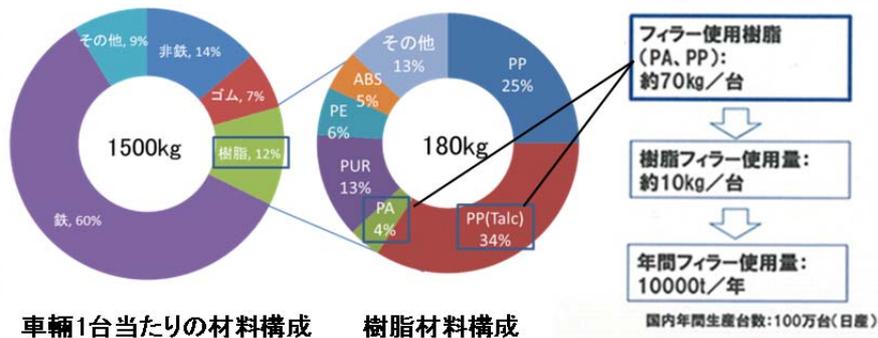


内装トリム



セルロースナノファイバー適用による軽量化

- タルク、ガラスファイバーの代替 ⇒ 約70kgの樹脂部品が対象
- ✓ 25%軽量化の場合、-18kgのオポチュニティ



出典：日産自動車株式会社 ヒアリング調査提供資料

5. セルロースナノファイバーによる新市場創造戦略

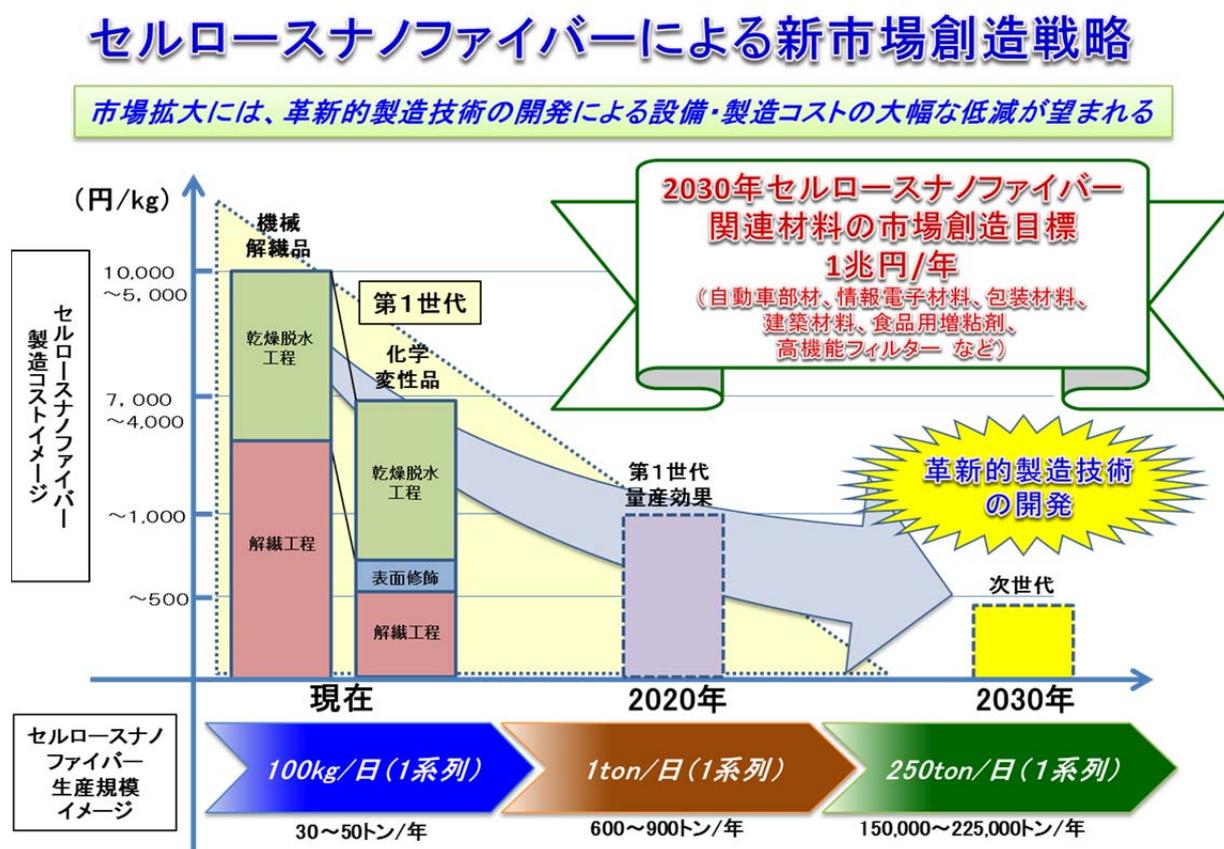
最後に、セルロースナノファイバーによる新市場の創造戦略について説明する。

現在事業化が進んでいる第1世代のセルロースナノファイバー（機械解繊品及びTEMPO酸化品など）は、2020年に向けて用途開発が進み、需要の拡大とともに生産設備のスケールアップが実施され、生産量1,000トンで価格が1,000円/kgを切れるような商品へと成長していくことを期待したい。さらに、2030年に向けての新市場創造戦略として、現状の第1世代の技術では到達できない革新的製造技術が開発され、生産量が数十万トンで、価格が数百円代となり、自動車部材や情報電子材料、包装材料、建築材料、食品用増粘剤、高機能性フィルター等の多くの用途に汎用的に採用されることにより1兆円規模の新しい市場が創造されることを、達成すべき目標として設定した。

本年6月に設立される「ナノセルロースフォーラム」の活動を通して、国の強力なリーダーシップの下に、オールジャパン体制での産官学の連携により、新しい市場の創造に向けて、更に議論が深まり、目標を達成していくことが望まれる。

こうした新しい市場の創造により、将来にわたって製紙産業が持続的な成長を遂げるとともに、日本に新たな産業として高度バイオマス産業が生まれ、低炭素社会、循環型社会の構築に貢献をしていくことが期待される。

図表 4-20 セルロースナノファイバーによる新市場創造戦略



添付資料

1. 検討会議事録

(1) 第1回検討会議事録

平成25年度製造基盤技術実態等調査
(製紙産業の将来展望と課題に関する調査)
第1回検討会 議事録

日時 平成26年2月10日(月) 9:30 ~ 11:30
場所 経済産業省 本館6階西8左(製造産業局第4会議室)
住所 東京都千代田区霞が関1-3-1 経済産業省本館

(出席者：敬称略)

委員	委員長 渡邊 政嘉 経済産業省 製造産業局 紙業服飾品課長 磯貝 明 東京大学 大学院農学生命科学研究科 生物材料科学専攻 教授 矢野 浩之 京都大学 生存圏研究所 生物機能材料分野 教授 横山 勝 王子ホールディングス株式会社 研究開発本部長 兼 知的財産部長 五十嵐 陽三 日本製紙株式会社 執行役員 研究開発本部長 兼 総合研究所長 香川 博之 株式会社日立製作所 日立研究所 材料研究センター 主任研究員
経済産業省	平林 孝之 経済産業省 製造産業局 紙業服飾品課 課長補佐 野村 秀徳 経済産業省 製造産業局 紙業服飾品課 課長補佐 西出 晶 経済産業省 製造産業局 紙業服飾品課 係長 瀧音 亮介 経済産業省 製造産業局 紙業服飾品課 係長
オブザーバー	森井 博一 日本製紙連合会 常務理事 中川 好明 日本製紙連合会 技術環境部長 池田 和雄 日本製紙連合会 技術環境部 専任調査役 前田 直史 日本製紙連合会 原材料部 調査役(林材担当) 宮西 孝則 紙パルプ技術協会 専務理事 川地 憲一 日本洋紙板紙卸商業組合 専務理事 平田 悟史 産業技術総合研究所 バイオマスリファイナリー研究センター 研究センター長 佐藤 達也 日本製紙株式会社 企画本部 経営企画部 調査役
事務局	澤田 修一 株式会社三菱化学テクノロジーサーチ 片山 博雄 株式会社三菱化学テクノロジーサーチ

【議事内容】

1. 挨拶

(1) 渡邊委員長からの挨拶

おはようございます。大変お忙しい中、本委員会に出席いただきましてありがとうございます。本調査は、「製紙産業の将来展望と課題に関する調査」というテーマで、現状を踏まえて、製紙産業の将来、10年後20年後を見据えてどう展開していくかをしっかりと調査してみようということで調査を開始しました。今回の調査では、委員長をやらせていただきますのでよろしくお願いいたします。

2. 委員紹介

各委員から、自己紹介をいただいた。

3. 調査概要の説明

資料3「調査概要説明資料」を基に、調査の概要について事務局から説明した。

4. 調査内容の報告（ビジョン・ロードマップ案の報告）及び委員討議

資料4「製紙産業の将来展望と課題に関する調査」検討会 第1回資料を基に、調査結果について事務局から説明の後、討議を行った。

(1) 「1. 製紙産業の将来展望と課題」の説明と委員討議

資料4「1. 製紙産業の将来展望と課題」を基に、調査結果について事務局から説明の後、討議を行った。

渡邊委員長）印刷情報紙等の国内需要は縮小し、設備が過剰となりラインを止めて高付加価値製品への移行ということで、通常とは違う付加価値型の紙造りに変えていくという国内対策が行われている。一方では、新たなマーケットを求めて海外へ展開するというシナリオを描きつつ、紙だけでなく紙以外へも展開していこうとしているのが、現在の国内各社の経営戦略であると思う。論点として、製紙産業に関わるイノベーションを捉えたときに伝統的な製紙技術のラジカルイノベーションはあるのかどうか。例えば、高濃度抄紙技術は長年検討されているが、今後適用の可能性があるのかどうか、抄紙製造技術において革新的技術はないのか、等について、製紙装置メーカーを中心にヒアリングをかけたが、各社とも革新的な製紙技術は見だし難いとの意見であった。設備投資がされない状況で開発投資は難しいという背景があつてのこととは思いますが、残念ながら根底から変わるラジカルイノベーションのようなものは余り想定されないとのことであった。一方で、後半で出てくるセルロースナノファイバーを含めて、製紙技術をコアにしながらか紙以外の化成品原料の製造や、エネルギー展開等については積極的にチャレンジされている。今回はこうした点に焦点を絞ってロードマップや将来展望を考えてみようというのが調査の基本的考え方である。したがって、資料P5～P7にエネルギー関連、バイオマスの利活用について説明している。P8については、日本製紙様のシンポジウムでの御提案であります。筑波にありました紙パ研究所でも同様な提案がされており、製紙産業の理想的な形であるのかなということも挙げさせていただいてお

ります。ポイントは、「調査概要資料」のp3の「2. 本調査の調査範囲」に示されているように、国内需要は減少していくと予想されるが、間違った情報を出してはいけないと思っているのは、縮小する国内市場においても新たな付加価値型商品の開発によりグローバルに展開する技術はあると考えているので、それを否定するものではないし、実際にそういう経営戦略を採っておられる会社もある。そうした戦略も尊重しつつ新たな成長戦略の可能性について考えていきたい。一方、ここに化学産業もあえて載せたのは、地球環境問題や資源の枯渇問題等を考えると「脱石油」という世界的な潮流がある中で、バイオマス資源はカーボンニュートラルな石油資源に替わるような資源を供給することができるということで、化学産業も製紙産業も同じような課題を抱えており、製紙産業と化学産業のプロセスを組み合わせることにより、将来の新しい工場プロセスができるのではないかと考えている。そうした仮説の下に調査をまとめてもらった。これまでのシナリオや考え方に対して留意する点等について、委員の皆様から意見を頂きたいと考えております。

横山委員） 今回調査いただいたものは、王子ホールディングスも同じであると考えている。P8の「紙パルプ統合バイオリファイナリー工場」についても王子としては同じ考えである。調査のP5の製紙技術については、大きなイノベーションは期待できないというのは厳しいが正しいと思っている。マイクロチューニングにより設備自身は償却年数が終わった後でもできるだけ長く使うということで生き残りを図る。こうした、できるだけ品質を保ってコストを最小限にするというマイクロチューニングの活動が現在の紙パルプの中では中心になっている。紙屋の存在意義は何かと考えるとき、バイオリファイナリーの方に動いていくだろうと考えている。一つは、セルロースナノファイバーであり、木から得られる機能化学品や中間化成品であると考えている。我々の生きている間に使用する資源は、太陽から得られる巨大なソーラーシステムとしての森林が培ってきた資源やエネルギーで十分に賄っていただけるような形で、紙パルプ産業が頑張るところに非常に大きな意義があると考えている。ただし、足元を見ると化石資源は安価に得られるが、木から化成品を得るためのプロセスにはコストが掛かり、化石資源と競合しづらいところが大きな問題である。こうしたワーキングの中で、バイオリファイナリーやウッドリファイナリー（王子HDで研究所を新設した）に対して、何かしらの国からの援助や、販売時にグリーン製品としての価格的な配慮をお願いしたい。

五十嵐委員） 革新的な製紙プロセスについては、欧州の委員会では蒸気を利用したエネルギーを使用しない抄紙法等、幾つかの技術案が発表されている。日本の紙パルプ産業は紙を作るところで勝負しても仕方がないという状況が、ここ十年くらいは続いており、マシンメーカーも魅力を感じなくなっている。製紙の技術検討課題はあるとは思いますが検討しても余り面白くない。ウッドリファイナリーについては、エネルギー利用が考えられるが、これが短期的に一番分かりやすいので、その中でいろいろな技術開発を行っている。短期的には未利用材をペレットにしてエネルギーにする等があるが、中長期的にはトレファイド（半炭化）技術によりエネルギー化することが良いのではないかと考えている。次に、化学品としての利用については、簡単にできるとは思っていないので中長期的に探っていく必要があると考えている。木材利用に対する行政によるアドバンテージを考える上で、横軸エネルギーで縦軸がコストとして動いてきているときに、木材そのもののカロリーや価値の絶対値がどの辺りにあるのかを明確にする必要がある。エネルギーとコストを明らかにすることにより、例え

ばどれくらいの成長量で木が確保できると他のエネルギーに比べてアドバンテージが出るかを明らかにすることができる。そうしたエネルギーとコストを定量的に比較できるようにすると良い。全体としては、考えられることは網羅されているが、概念的なことを横比較して優先順位をつけていくことが必要であると考え。

磯貝委員） バイオマスコンビナートには大きな夢があり、昔の化学コンビナートに対応するような夢のあるものであると思うが、もう少し大きく低炭素社会、循環型社会の構築のモデル国に日本がなれるかどうか。日本はグローバルに展開して植林しているとの話があったが、足元に未利用材がたくさんあり、それを利活用して、低炭素社会、循環型社会の構築を目指してもよいのではないか。国として、川上から川下までの全体像の中で、製紙産業がどのような役割を担うかまで広げて考えてもよいのではないか。マテリアルストリームができれば、未利用材の有効利用が進むのではないか。そのためには林野庁も連携して川下からの要望で森林活用を考えることが必要なのではないか。傾斜の急な国でどうやって木材を集めるかのシステムを考えることも必要である。

矢野委員） P5の「(3) 製紙産業が保有する技術の活用」の部分で、バイオマスを確保する技術も重要であると考えている。バイオマスは地域性がありばらつく材料なので、安定して確保して産業として使用するという技術は、化学産業にはまねのできない技術であると考えている。製紙産業が持つ素晴らしい技術である。例えばタイでは、稲わらについてヤンマー等がノウハウを持っていると思うので、バイオマスを確保することは大事なことでそういったところにも目を向けておく必要がある。ヤンマー等の農業関連のメーカーとのつながりも重要であると考え。もう一つの製紙産業の技術としては、水処理関連技術も優れており、利用量削減技術等は優れていると思う。

P6のエネルギー利用については、バイオマスが真面目にエネルギーとして使われると一気に失われてしまう可能性がある。現在リグニンを燃料として利用しているのは素晴らしいことだが、ここから更にエネルギー分野に展開していくには注意が必要である。木質材料からのバイオエタノールの製造は、もともと植物は構造用に作られたものであるなので、作り手は壊れたくないと思って作っている。一方蔗糖から作られる多糖は貯蔵用の多糖であるのでエネルギーに変換しやすい形で植物は貯蔵している。構造用多糖である木質材料をバイオエタノールに変えるのは難しい。樹木には階層構造があるが構造を壊すにはコストが掛かる。

日本の森林資源について考えると、日本の化学産業は化学品を1,500万トン/年の生産をしているが、そのうちの10%~20%をバイオマス系で置換すると200万トン/年程度の使用である。製紙産業が使用しているバイオマスは3,000万トン/年であるので、日本で生産できる能力を考えると資源的な負荷を与えるものではないと考えられる。

製紙産業だけではなく、川下の産業との連携により、現在の10兆円から50兆円程度の産業になるのではないか。そのためには、国の主導による原料供給から製品開発までの一貫した取組が必要である。産業全体でのLCAを明確にする必要もある。

持続型の低炭素社会の見本を日本から発信できれば良い。「バイオマス文明」を作るという、新しい文明の在り方を日本が示していくことは日本人の誇りであり、それを引っ張っていくのが製紙産業である。製紙産業は新しい文明を作り得る可能性のある産業である。そこから、自動車や家電などが巻き込まれてくると良いと思う。是非新しい文明を作るという考え方で

取り組んでほしい。

バイオマスリファイナリーのイメージは大規模工場に対応できるモデルと、地域で対応できる小規模な地域モデルもケーススタディーをやっていく必要がある。

香川委員） ユーザーサイドからすると、石油から作ったものと木材で作ったもので何が違うかということ、エタノールはエタノールで違いはない。相対的な価値がどこにあるか、訴求するところがどこかが重要である。調達もグローバル化していくので、このバイオマスリファイナリーで作ったものがどういった価値があるかが重要である。物質としての価値とグローバルな中での価値をどう捉えてもらえるかが重要である。個人的にはリファインして小さな分子にすることにはネガティブである。石油燃料のマスはどれだけあるのかが、低炭素社会においては重要である。訴求点とマスを定量的に捉える必要がある。

(2) 「2. セルロースナノファイバーの将来展望と課題」の説明と委員討議

資料4 「2. セルロースナノファイバーの将来展望と課題」を基に、調査結果について事務局から説明の後、討議を行った。

渡邊委員長） セルロースナノファイバーは注目されている技術でもあるので、ロードマップを描きたいと考えている。現在まだ自信がない状況であるので、委員の先生方からのアドバイスをお願いしたい。

磯貝委員） セルロースナノファイバーはかなりのポテンシャルがある。カーボンナノチューブ（CNT）については、産総研筑波や物材機構で検討されているが、CNTを検討している研究者が、CNTに比べてセルロースナノファイバーは毒性、安全性、価格で優れていると言っており、フィンランドではCNTの研究者がセルロースナノファイバーに研究テーマを変更しているとも聞いている。CNTを検討していた人がセルロースナノファイバーを検討したいとの要望も多くなってきている。こうしたことを見てもセルロースナノファイバーのポテンシャルは高い。大学関係者はセルロースナノファイバーのポテンシャルは示せるが、実用化にはたくさんのハードルがある。海外に負けないようにするためには、ギャップを埋めるような国からのアドバイスは重要である。ポテンシャルのある材料に対していかに早く出口を見いだすかである。今回の経産省の御支援は有り難いと思っているし、御支援に伝えていきたいと考えている。全体の流れとしては大変よくまとまっていると思う。

渡邊委員長） P11の技術的な課題はこれで良いか。

磯貝委員） これで良いと思う。まずは原料としてクラフトパルプを考えるが、総合バイオマスリファイナリーを考えた場合には、成分分離技術が重要である。セルロースナノファイバーの成分分離技術はまだ見えていないので、今の時期から注力しておく必要がある。ナノファイバーだけがバイオマスリファイナリーであるとは考えていないので、成分分離技術は必要である。ただし、成分分離技術は、製紙用パルプ製造の視点で昔から検討されてきたが、新しい視点で成分分離技術として見直す必要がある。このフロー図は非常によくまとまっていると思う。

矢野委員） P11はこれで良いのかとの質問に対しては、木材は5～10円/kgでクラフトパルプは50～60円/kgでできるが、ナノファイバーにするのに数千円/kg掛かり、更に機能化や構造化を行うと1万円/kgくらいになってしまう。理想的には、木材が成形品になるというのが究極の技術であろう。そのためには要素技術の開発をやらなければならない。サイエンスとしては各要素技術を明確にしていく必要があるが、最終的にはこのプロセスをいかに少なくしていくかが必要である。いかに低価格な材料としてマーケットに出ていくかが肝である。

P13の衝突法とWJ法は、低濃度処理に分類される。

P14のセルロースナノファイバーのマトリックス中での分散は、いかにお金を掛けずにやるかがポイントである。ポリマーの改質については、化学メーカーは少量のポリマーのために変質はやってくれないので、化学メーカーをその気にさせないといけない。誰かが死の谷を渡って商品化したというエビデンスが必要である。本質的にはニーズオリエントでやる必要があるが、そのためには化学メーカーをその気にさせる必要がある。最終的な用途としては、セルロースナノファイバーは軽量化の目的に合った素材であると考えられる。低炭素社会に向けた軽量化素材が有望な用途である。

横山委員） 王子では、今のセルロースナノファイバーは第4コーナーを回って直線に入ってきている段階と説明している。前回のヒアリング時では目標レンジを決めずにやっていると答えたが、ニーズがどこにあるか、ニーズオリエントでいろんな検討をしている。数千円/kgのものを数百円/kgに持っていくための検討も進めているが、今は高価なので鼻薬的に少量入れて劇的に性能が変わるものがないか探している。リグノセルロースを使った検討は、数十円/kgでリグノセルロースナノファイバーができれば革新的なブレークスルーになる。是非成功していただきたい。ナノ領域でのナノリスクについては、国としての支援を頂きたい。

渡邊委員長） リグノセルロースはこの中に表現しなくてよいのか？

矢野委員） 話が複雑になるので、ナノセルロースの中にいろいろなものが含まれているということだけでよい。

五十嵐委員） セルロースナノファイバーの技術課題については、この資料に十分網羅されている。乾燥と再解繊技術が必要である。コストの話が出たが、技術的にはある程度のものでできるので、用途さえ見付かれば世の中に出ていくのではないかと考えている。1%水溶液を輸送するとコスト的にかなり厳しいので、乾燥と再解繊の技術をどうするかが課題となる。一つの方法として、化学変性したパルプをユーザーに出して、解繊はユーザーでやってもらうという方法もあるが、電力コストの高いユーザーでの解繊は難しい。

香川委員） セルロースナノファイバーは軽量というところがポイントとなる。自動車メーカーはタルク代替を狙っているがかなりハードルは高い。ユーザー側は現状材料に比べて価値と値段のバランスを見ているというのが正直な話である。

矢野委員） タルクは難しいとの話があったが、添加量が少なくて性能が出れば軽量化につながるので、ハードルは高いがタルク相当の価格の可能性はある。

渡邊委員長) 実用化のところは、ユーザーから見た時の機能化指標を評価して、基礎情報として開示しながら、ユーザーに評価してもらうことになるのかなと考えている。

(3) 「3. 製紙産業の将来ビジョンとロードマップ」の説明と委員討議

資料4「3. 製紙産業の将来ビジョンとロードマップ」を基に、調査結果について事務局から説明の後、討議を行った。

渡邊委員長) 成分分離技術、解繊技術等が現状から将来に向かってどうなっていくかをまとめる必要がある。また、透明性はどれぐらいの透明度を目標とするか(目標値)を入れていく必要があるかと考えている。作業途中ではあるが御意見をいただきたい。

五十嵐委員) セルロースナノファイバーについては、具体的な数値化目標が出ると良い。「製紙産業の将来ビジョンとロードマップ」は、余りに新しいところに偏り過ぎている。製紙技術についても触れる必要がある。バイオマス産業は一つの軸足として捉えることが必要である。

横山委員) 2030年は我々にも分からない。セルロースナノファイバーはブレークスルーが出てくれば将来の絵は自然と描けるようになるので、今後も用途開発をやっていく。

矢野委員) 20年後は予想できない、製紙産業は紙を作っていない可能性もある。総合バイオマス産業については、化学産業と連携して明るい未来になることを表現してほしい。

磯貝委員) 紙はなくなることはない。基盤となる紙・板紙の用途開発がある中で、右肩上がりの方が良いのではないかと。バイオマス原料の調達、森林産業を育てる等も含まれたロードマップが欲しい。セルロースナノファイバーは、原料を含めた技術が、最後の技術として効いてくるので、出口の機能材料に適した成分分離技術、解繊技術等の開発が必要である。ナノファイバーの品質規格等の評価や分析方法も必要である。

香川委員) 使いこなすユーザー企業との連携が重要である。シーズ的なロードマップになっているが、ニーズ側との連携も必要である。さらには、川下の化学産業との連携も必要で、化学メーカーのポートフォリオの中にいかに組み込むかが重要である。使う側からの機能開発やコンカレントな開発が始まっていることが必要である。

渡邊委員長) 機能化に当たってのインジケーターによる定量化を行いたい。セルロースナノファイバーの目標値について、可能な範囲で先生方(磯貝委員、矢野委員)に情報提供をお願いしたい。

5. 連絡事項 次回以降の委員会スケジュール

第2回検討会の日程 3月6日(木) 14:00~16:00

以上

(2) 第2回検討会議事録

平成25年度製造基盤技術実態等調査
 (製紙産業の将来展望と課題に関する調査)
 第2回検討会 議事録

日時 平成26年3月6日(木) 14:00 ~ 16:00
 場所 経済産業省 本館6階西8左(製造産業局第4会議室)
 住所 東京都千代田区霞が関1-3-1 経済産業省本館

(出席者：敬称略)

委員	委員長 渡邊 政嘉 経済産業省 製造産業局 紙業服飾品課長 磯貝 明 東京大学 大学院農学生命科学研究科 生物材料科学専攻 教授 矢野 浩之 京都大学 生存圏研究所 生物機能材料分野 教授 田尻 正直 王子ホールディングス株式会社 研究開発本部 開発研究所長 五十嵐 陽三 日本製紙株式会社 執行役員 研究開発本部長 兼 総合研究所長 香川 博之 株式会社日立製作所 日立研究所 材料研究センタ 主任研究員
経済産業省	平林 孝之 経済産業省 製造産業局 紙業服飾品課 課長補佐 野村 秀徳 経済産業省 製造産業局 紙業服飾品課 課長補佐 西出 晶 経済産業省 製造産業局 紙業服飾品課 係長 瀧音 亮介 経済産業省 製造産業局 紙業服飾品課 係長 西村 秀隆 経済産業省 製造産業局 化学課 機能性化学品室 室長 深谷 訓久 経済産業省 製造産業局 化学課 機能性化学品室 研究開発専門職 石垣 泰夫 農林水産省 林野庁 研究指導課 技術指導班担当 課長補佐
オブザーバー	森井 博一 日本製紙連合会 常務理事 上河 潔 日本製紙連合会 常務理事 中川 好明 日本製紙連合会 技術環境部長 池田 和雄 日本製紙連合会 技術環境部 専任調査役 宮西 孝則 紙パルプ技術協会 専務理事 川地 憲一 日本洋紙板紙卸商業組合 専務理事 平田 悟史 産業技術総合研究所 バイオマスリファイナリー研究センター 研究センター長 森田 保弘 独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 電子・材料・ナノテクノロジー部 主査 後藤 謙太 独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 電子・材料・ナノテクノロジー部 佐藤 達也 日本製紙株式会社 企画本部 経営企画部 調査役 今西 丈典 日刊工業新聞社 編集委員
事務局	澤田 修一 株式会社三菱化学テクニサーチ 片山 博雄 株式会社三菱化学テクニサーチ

【議事内容】

1. 挨拶

(1) 渡邊委員長からの挨拶

皆様方の御議論と御協力により、調査報告書のコアの部分はまとまってきたと考えております。後ほど詳細な御説明はいたしますが、その中で改めて御意見等がございましたらお願いします。最終的には本日の御意見を取りまとめて報告書の形にしていきたいと考えておりますのでよろしくお願いたします。

2. 委員紹介

横山委員（王子ホールディングス株式会社）の代理で出席された田尻正直様を御紹介。

3. ビジョン・ロードマップへの意見募集結果

資料3「ビジョン・ロードマップへの意見募集結果」を基に、ビジョン・ロードマップへの意見・コメントの概要について事務局から説明した。

4. 調査内容の報告（ビジョン・ロードマップ案の報告）及び委員討議

資料4「製紙産業の将来展望と課題に関する調査」検討会 第2回資料を基に、調査結果について事務局から説明の後、討議を行った。

(1) 「1. 製紙産業の将来展望と課題」に関する委員討議

資料4「1. 製紙産業の将来展望と課題」を基に討議を行った。

渡邊委員長）それでは、本日の主な目的は、全体のストーリーや作成した数字の規模感、技術的な内容についての漏れがないか等の最終確認をすることとなります。それでは、前段の方から P3 は統計的数字なので特に問題はないと思います。P4 は、製紙産業が持続的な成長をしていくための方策として、従来の紙・パルプ事業の話と新たな軸足ということで、紙・パルプ事業以外への収益源の多様化が求められているのではないかと、各社の経営戦略にもこうした考え方は述べられているので、ここまでは特に問題ないと考えております。P5 は、製紙産業が保有する技術を細かく見ていくと既存の製紙産業が保有する紙・パルプ製造技術における非連続型のラジカルイノベーションがあれば、それはそれで一つの世界が作れるが、残念ながら今回のヒアリングの結果としては、大きな技術変化、ラジカルイノベーションはないかもしれないとの意見でありました。したがって、議論の中心は後段の森林バイオマス利用技術という領域において技術ロードマップを考えていくこととしました。中身はエネルギーとそれ以外ということで、P6 がエネルギー、P7 がバイオマスの利活用として、セルロースナノファイバーを含めたバイオマスリファイナリーの中で新たな化学系の原材料の製造技術を含めてマージしていくといったイメージを示しています。本日は化学課の西村室長も参加されておりますが、P8 にあるように化学系の守備範囲とバイオマスという資源をハンドリングしながら化学系の原材料を供給していくという境界領域の部分をお互いの強みをいかしながらつなげていく、この部分を高度バイオマス産業と名前を付けているが、こうした新たな業態への変化、構造変革を時間を掛けてやっていくことがあるのかなと考えております。

川上に林業、川下に製造業があるが、本日は林野庁から石垣課長補佐に御出席いただいておりますが、前回の委員会でも磯貝委員から、林業も含めて検討していかないとこの話はうまくいかないとの御意見もございましたので御出席いただいております。ここまでが、マクロで見た時の製紙産業の抱える課題と新たな展開をするためのシナリオ、ストーリーであります。セルロースナノファイバーに入る前に、前段のこの部分について御意見をお伺いします。

五十嵐委員）全体像としては私の言いたいことは特にありません。枝葉末節になってしまうかもしれませんが、P5の図に「木質バイオマスの確保（植林・育成技術）とハンドリング技術」が紙・板紙の生産技術の所に書いてあるが、これまではパルプを作るための植林や育種技術をやってきたが、これからは、例えばエネルギー用には、植林の方法や選定する樹種等も違ってくる、紙にしないでバイオリファイナリーでセルロースを取り出すのであれば現在の木でなくてもよいということもあると思います。この話をもっと大きな眼で製紙産業がやっていく必要がある。セルロースナノファイバーにおいても、セルロースナノファイバーに適したものを育種で開発していくべきだとの表現もあったので、森林バイオマスの利活用においても検討する必要がある。

同時に考える必要があるのは、日本では、現在木材利用において、建材が最も付加価値が発生する。ブラジルではパルプの付加価値が高く、成長率が早い樹種を幹が太くなる前に6～7年で伐採してしまうので建材にするには不適である。日本では、もう少し幹の太くなったものを伐採するので建材としての付加価値が発生する。その余った部分を紙パルプ産業が利用することによって、木材全体のカスケード利用のようなものが成り立つこととなっている。今までは紙を作るために日本の木を切ってもメリットはなかったが、具体的なアイデアはないが、新しい植林や育種によって新しいことが起こせるような気がする。

渡邊委員長）「木質バイオマスの確保（植林・育成技術）とハンドリング技術」は森林バイオマス技術にも共通することなので、紙以外の育種技術について表現として入れるようにする。

田尻委員）現在 NEDO にて、バイオエタノールの技術開発を行っているが、五十嵐委員が言われたようにエタノールを製造するにはこの木がいいとか、リグニンは糖化を阻害するので少ない方がよいなど、下段の木質バイオマスにも関連すると考えていた。

もう一つは、バイオエタノールはブラジルで早くから国策として進められ、米国に次ぐ生産量を誇っている。生産コストも安く経済的にも成り立っている。こうしたものを木から作る場合は、政策的な免税や積極的に使用するよう奨励する政策等により支援していけば開発は一層促進されると考えるので、国による支援について記述してほしい。

渡邊委員長）将来図を描いた時に、何年か掛けて変わっていくであろうことに対する何らかの政策的な支援パッケージがあったら良いのではないかということだが、環境調和の高いものを使用していくために税制優遇等により国としてもサポートしていく必要があるとの表現を入れる。

矢野委員）P8について、これまでの議論は製紙産業に軸足がある議論なので、森林バイオマ

ス産業であったが、ここで高度バイオマス産業に表現が変わっているのは、製紙産業は森林バイオマス産業ではなく高度バイオマス産業にしていきたいということなのか。

というのは、原料が木材以外にも農産廃棄物や地域で出てくるバイオマスもあるので、そうしたものも産業の中に入れてくるようになると森林バイオマスからもう少し上の冠の高度バイオマス産業になるのかなと考える。木材が中心であることは間違いないが、地域ごとの特徴を考えると木材以外の原料も対象になる。

渡邊委員長） 製紙産業が持っている高度なハンドリング技術や能力を強みとしていかしながら、次に展開していくということとするのであれば、特に森林資源だけでなく農産の廃棄物でも良い。そういうものを含めて高度バイオマス産業とする。

磯貝委員） 矢野先生が述べられたことは、製紙産業の技術を広げる上で重要である。製紙産業は大きなサイズで得意な分野をやってきたが、今後各地域で製紙産業の技術をいかせる可能性がある。もう一つは、大変よくまとめていただいているが、P7、P8に関連して、バイオリファイナリーに適した樹種となるとエネルギーも含めて考えた方が良い。例えば製紙用であればリグニンが少なく成長の速い植林ユーカリ材が最も適していることになるが、日本の山には針葉樹が多く、リグニン含有量が高いので製紙用には適さないが、エネルギーとしてはリグニンが多いので発電量が増え有利である。また、セルロースナノファイバー向けには針葉樹の方が適しているということも分かってきている。発電、バイオリファイナリー全体を通して樹種を考える場合には、日本の森林をどうかするか、森林産業の活性化をどうしていくかを考えることが重要である。今までの林野庁のやり方とは異なる川下から川上を考えることにより、マテリアルストリームを作るということも必要である。

もう一点は、セルロースナノファイバーという略号を使っているが、グローバルに見るとカーボンナノファイバーと受け取られる。グローバルには、ナノセルロースとあって、その中にナノクリスタル（NCC）とセルロースナノファイバーがある。この段階では良いと思うが、世界にアピールするときには検討する必要があると考える。

渡邊委員長） 川下から川上に対して、森林の有効利用について何らかのバイアスをかけながら、右側の流れだけでなく左側に戻ってくるものがあるという表現にする。

石垣課長補佐） 林業の生業から見ると従来建材を中心にやってきたが、現在需要も落ち込んできているので、建材以外の用途も開拓していく必要がある。川下がどういったものを望んでいるかを林業の方も把握しておく必要がある。そのニーズに応じた植林をやっていく必要がある。

渡邊委員長） 林野庁の政策においても新たな市場開拓ということで川下ニーズがフィードバックされると良いという表現を追加する。

香川委員） 農林水産省林野庁では第6次産業化として川上から川下への新しい産業を起こそうとされているが、先ほどの話で、セルロースナノファイバーではこちらの樹種が良くてエネルギーでは別のもの良い、バイオ化学品では別のものというようにばらばらになってし

もう可能性がある。コストも含めてトータルでユニバーサルな樹種があるのかが気になるところである。もう一点は、バイオ化学品のところは、どう具体化していくかが見えない。林野庁としては国内の木材が大事だと思うが、ユーザーサイドとしては、調達がグローバル化しているのでグローバルで見たときに競争力のあるものを使っていくので、コストと性能のバランスの取れたものを作っていただきたい。

渡邊委員長 製紙業から見ると紙に適したものをグローバルに植林されているが、今後別の用途向けには別のものを植林するという事は可能か。

五十嵐委員 今まではセルロース分が多い木を持ってきた方が、歩留りが高くコスト的に有利になるので、そういうものを追求してきた部分はある。一方で、パルプを作るためのチップは高い。エネルギー植林であれば、単位面積当たりのエネルギー量の高いものにすれば良いが、育種で良いものを見付けるということは長期ではあると思うが短期では難しい。製紙業の将来のためには木材をいかに育てるかを考えておかなければならない。かつては遺伝子組み換えの樹木を検討していたが、復活させることも良いのではないかと思う。

矢野委員 いろいろある技術の中で、日本としてどこに力点を置くのかを考える必要がある。日本として高付加価値のものを作るためにどういったものを作るかといった観点の戦略も必要である。

渡邊委員長 これも留意事項として、今後の検討において本気で考えるときには、日本としてどこに選択と集中をするかについて検討していくことも必要であるということを記載する。

(2) 「2. セルロースナノファイバーの将来展望と課題」に関する委員討議

資料4 「2. セルロースナノファイバーの将来展望と課題」を基に討議を行った。

渡邊委員長 セルロースナノファイバーの話に入る前に、先ほど話が出ていたセルロースナノファイバーの名前はどうか。

磯貝委員 少しアイデアを募る必要があり、この時間では決められないのではないかと考える。今後 ISO の戦略もあるので、どういう戦略で行くかを考えていく必要がある。

渡邊委員長 ナノセルロースの中にナノセルロースクリスタルとナノセルロースファイバーがあるというのが海外の戦略か。名前の打ち出しについて、フォーラムも含めて考えていく必要がある。戦略的にどう打ち出すかは今後の検討項目とする。

P10、P11 は技術開発経緯、国内の開発状況である。P12 にはセルロースナノファイバーの技術課題として、成分分離技術、解繊技術、機能化・複合化技術、用途開発技術、成分利用技術の五つを設定して、それぞれについてアンケートの内容を整理している。さらに標準化、安全性評価技術についても整理している。最後にこれらの結果をビジュアルにするために、製紙産業の将来ビジョンとロードマップ及びセルロースナノファイバーのロードマップを添

付している。P21 はユーザーの視点から見ると現行品の代替を検討するのであればいつの時点かに到達しなければならない目標が記載されている。一方で、代替ではない用途も大事なので、こうした機能をいかして、他の材料ではできない機能を目指していくにはどうしたら良いかを考える必要がある。ただし、代替できない機能については表現しにくいので記載していない。P22 については、既存の材料と比較した場合の機能化目標を図示している。ロードマップの中で、次世代との表記があるが、どういったものなのか確認したい。ファジーな言葉としてこうした言葉を使っているか確認したい。

磯貝委員） 次世代という言葉を使っても全く問題ない。用途が絞り込まれていくに従って、多くの課題が明らかになっていく。今日出ている課題に対しても解決方法をできるだけ早く見付け出すというのが「ナノセルロースフォーラム」の使命になると思う。

これからオールジャパンで検討を進めていく上で、次世代も当然出てきてそれが実用化に向けて近づいていくということで、次世代は別に悪いことではないと考える。

矢野委員） 私も同じ意見で、第1世代は今あるものの延長としてある程度考えられるが、実際にセルロースナノファイバーが世の中にもっと出ていくためには、次世代の価格と性能がないと駄目だろうという意味で必要である。それを達成するためにどんな革新的技術が開発されて、目標の価格帯と機能を同時に達成することができるかが、セルロースナノファイバーのものづくりには必須であると考えられる。第1世代はある程度予想できる領域である。

渡邊委員長） そうしたことを明確に記述する必要がある。我々が考える次世代セルロースナノファイバーはこうしたものであるということを記載する。今実現できていない機能や価格のものを次世代セルロースナノファイバーと呼ぶと記載する。企業サイドは特に困らないか。

五十嵐委員） 困るということは特にないが、イメージからすると解繊した裸のセルロースナノファイバーが第1世代で、そこに何らかの加工を加えたものが次世代というものだと考えるが、ユーザーがどんな変性をしているかは、製紙メーカーにとってはブラックボックスである。第1世代は何もないことにならないか。

矢野委員） 第1世代は、加工も含めた性能のことである。次世代は加工も含めてより高性能で、より安くできるものである。

渡邊委員長） こうした整理とする。

磯貝委員） 先ほどブラックボックスと言われたが、そこに製紙産業が入り込むことにより、次世代を作り出すことも必要である。

田尻委員） ユーザーにサンプル提供して性能改良を行っているが、価格について1桁又は2桁下げてほしいとの要望があり、それに対応できるような革新的な製造技術が次世代なのかと思う。

渡邊委員長） 皆様の意見で説明を補うこととする。P12 の解繊のスキームは問題ないか。

矢野委員） 機械解繊のみでセルロースナノファイバーの製造は難しい。何らかの成分分離技術が必要である。

渡邊委員長） P13 については、成分分離技術の現在考えられる方法はここに記載されていると思うが、むしろ書いていないことを考える必要がある。現在ない技術については記載していない。P14 も同様に解繊技術について現在考えられる技術が記載されている。

矢野委員） 成分分離技術も課題と特徴を分けて記述した方が良い。

渡邊委員長） 可能な範囲で先生方（磯貝委員、矢野委員）に教えていただいて課題を検討する。ただし、機能比較等については、ノウハウにもなるので報告書には書きにくい部分もある。

P15 の課題としては、欠陥、凝集のない均一ナノ分散と均一ナノ分散した材料について機能評価を行うこととなっている。この部分は報告書に書くときは文章とする。

P16 に代替できない用途の開発、川下企業との連携、技術的な課題が示されている。表中には、実用化するための機能化指標が示されており、P21 に具体的な数値を入れ、代替を目指すには少なくともこうした数値をクリアしないと実用化できないことを示している。ユーザーの立場で御意見ををお願いします。

香川委員） 複合材料の場合、セルロースナノファイバーは粘度が上がってしまい混合しにくい。これはナノ材料共通の課題である。ナノ粒子もナノコンポジットにする場合に粘度が上がり混合が難しい。解繊技術に遡って考えると、本当にナノファイバーまでしなければいけないのかということを考える必要がある。どこまで細かくするかということは、コストも含めて用途に全て絡んでくる。前回も話したようにコンカレントな開発が必要である。

渡邊委員長） 出口が決まるとプロセス目標も決まるので、用途に合わせたプロセス開発が必要である旨を記述する。2. について、その他御意見があればお願いします。

矢野委員） P16 の「(化学、自動車、電機 等)」に住宅も入れると市場が広がる。表の最後も家電の筐体やケーシングを加える。

(3) 「3. 製紙産業の将来ビジョンとロードマップ」に関する委員討議

資料4 「3. 製紙産業のビジョンとロードマップ」を基に討議を行った。

渡邊委員長） P19 は、製紙産業の将来ビジョンとロードマップということで書いてあるが、従来の紙・パルプ事業が将来なくなるとは誰も思っていないし、なくならないわけですから、ベースの部分でグローバル展開を目指して、将来的にも生産技術の向上や高付加価値化を行っていくことは残っていく。しかしながら、次の柱として、エネルギー、バイオリファイナリー、セルロースナノファイバーの開発により、高度バイオマス産業を目指していく。中央

に実証試験を記載し、2030年までには実施することなどを、ビジュアルにマクロに示している。P20は、セルロースナノファイバーの開発のロードマップで、2020年までに開発を終了して、2025年に普及期に入るとしているが、個別には既に実用化に近いものもあると思われるが、全体を俯瞰するとこのような感じになると考えている。また、先ほど話があった第1世代と次世代で差をつけて、次世代型のセルロースナノファイバーに関する技術開発を示している。

P22の価格とP24の将来のマーケット規模が1,000億円～2,000億円となっているが、これらの相場観、また、2030年には1.5万トン/年規模のプラントが3ラインくらいできるという仮説を作成したが、御意見を伺いたい。まずは、P21の機能化指標の数字についてお願いします。

五十嵐委員）我々が目指しているというより、セルロースナノファイバーが世の中に出ていくために最低限必要な数字であると理解している。

渡邊委員長）セルロースナノファイバーを実用化するために、クリアしないと使用できないであろう最低限必要な数字ということで良いか。

香川委員）よろしいと思います。

五十嵐委員）TEMPO酸化品を化学変性品に変えた方が良い。

磯貝委員）ダイセルから出ている「セリッシュ」は2,000円/kgであるがどの程度フィブリル化しているかで価格は違ってくる。出発原料が何かにもよる。1万円は高くないか。

矢野委員）解繊度合いによって価格は異なる。それほど解繊していないものでは、2,000～4,000円/kgくらいで、ナノ化をきっちりやれば1万円/kgくらいになる。

五十嵐委員）ダイセルはより細かくするとコストが掛かるので事業としてやらなかったのだと思う。TEMPO酸化品はシングルファイバーで数nmになる。一方で機械解繊では、いろいろなサイズのものがある。ナノファイバーといっても出口によって違う。価格については幅で書くと良い。

渡邊委員長）機械解繊品は5,000円～10,000円/kgで良いか。

磯貝委員）表面修飾を前処理で一本化すると良い。前処理無しでの解繊はほとんどない。

矢野委員）前処理は解繊工程の中に入れて、特徴的な表面修飾は残すべきである。

渡邊委員長）機械解繊品は、5,000円～10,000円/kg、化学変性品4,000～7,000円/kgにする。

矢野委員) 市場の大きさは、2,000 億円は少ない。1 兆円くらいは目指したい。

渡邊委員長) 市場規模については再度検討する。

5. 挨拶

西村室長) 化学を担当しておりますが、化学産業もいいものが出てくることを関心を持って見ていると思いますし、今後の産業化には協力してやっていくことが必要だと思っておりますので、今後ともよろしく願いいたします。

渡邊委員長) 短い期間でしたが、大変ありがとうございました。ロードマップは書いたら終わりではなく、実現に向けたアクションを皆様に御協力いただきたいと思います。

6 月にフォーラムを立ち上げますので、その中で続きの議論をしていきたいと思っておりますのでどうぞよろしく願いいたします。本日はありがとうございました。

以上