平成 27 年度 地域における低炭素なセルロースナノファイバー 用途開発 FS 委託業務 報告書

平成 28 年 3 月

実施機関:公益財団法人三重県産業支援センター

共同実施機関:三重県工業研究所

平成27年度地域における低炭素なセルロースナノファイバー用途開発FS委託業務報告書

要旨

本事業では、植物由来でカーボンニュートラルなエコ素材であるセルロースナノファイバー (CNF) を三重地域で利活用するために、三重県内資源の調査、発掘、三重県内企業の連携ネットワークの構築、低炭素社会に向けた用途開発調査等を実施した。

三重県は、南北に長い地形で、比較的に温暖な気候であるので、農業、林業と水産業のいずれも盛んな地域である。また、工業製造品の出荷額では全国上位に位置し、北部臨海部の石油化学コンビナートを中心とする各種の素材・部材産業、内陸部の自動車や電子機械器具等の最終製品を製造する大企業の量産拠点、そして、それらを支える各種の中小企業群が集積した産業集積地である。

そこで、これらの豊富な農林水産資源を、CNF原料として活用するための方策について 検討を行うとともに、CNFの用途開発として、大企業の研究開発力と中小企業のものづく り技術が活かせるような高度部材としての利用可能な用途分野を探索した。

地域資源調査,地域モデルの検討や地域内ネットワークの構築については、樹脂への利用が見込まれる機械的な処理方法による CNF,高度部材としての利用が見込まれる TEMPO 酸化セルロースナノファイバー(TOCN)を問わず、幅広く CNF の地域での利用について検討した.

用途開発調査は、東京大学磯貝グループが開発した TOCN を対象としてその用途を調査した. TOCN は、常温常圧水系媒体での木材セルロースの TEMPO 触媒酸化により、高結晶性で約 4nm の均一幅、高アスペクト比のセルロースシングルナノファイバーが高収率で得られるため、高機能フィルム、電子材料等の高度部材への応用が期待されている材料であることから、本事業での対象とした.

CNF の原料として、針葉樹等のパルプが多く用いられているが、三重県内には豊富な農林水産資源があるため、林地残材、間伐材、タケ等の木質系バイオマス、稲わら、籾殻等の農業残渣系バイオマス、ササ、ススキ等の草本系バイオマス、緑藻、褐藻等の海藻バイオマス等を対象に、三重県における CNF サプライチェーン構築のための原料としての可能性を調査した.

調査は、NEDOによる「バイオマス賦存量・有効利用可能量の推計」等の調査に基づいて行い、その結果をもとに、CNF原料としての可能性について、評価を行った。

評価の項目としては、賦存量、利用可能量、分布、コスト、安定性、総合評価とした. CNF の生産量規模イメージとして、現在が 50t, 2020 年では 600t~900t と、予測されているため、賦存量、有効利用可能量は、各バイオマス種の CNF 最大年産量(t)の 1%が 1,000t を越えれば、CNF 原料として期待できるものとして、評価した. バイオマス資源の分布は、県内の市町村別の分布状態から評価し、コストについては、 原材料の集材や加工、その他の周辺コストなどを検討した結果から、評価した. 安定性は、CNF メーカーが工業原料として扱うものとして、天然資源としての季節、産地による品質のバラツキ、収量の増減などのバラツキを評価した.

その結果,三重県内の資源で、バイオマスの賦存量では、タケ、稲わら、ススキ等が良好であった。有効利用可能量では、ススキが良好であった。しかしながら、これらの資源は、集材の仕組み、加工の技術開発が必要となり、コスト的には紙パルプに対して優位とは言い難い。

一方で、バイオエタノール等、既に未利用バイオマスとして利用が進んでいる林地残材、 切捨間伐材では、賦存量は一定量見込めるが、利用可能率は 6%と低く、製材廃材も 5%程度と非常に低い. 量的な期待はできないが、集材から加工を経て、利用までの仕組みと技術があり、コスト的には非常に有利で、短期的な CNF 利用には、適していることがわかった.

海藻資源については、三重県は海洋環境に恵まれているため、広い範囲で藻場の分布があることが分かった。海藻類の養殖も盛んに行われており、藻類の中でも緑藻類は収穫も容易なものが多いため資源として期待でき、地域の特徴的な資源として期待したい。海藻由来のセルロースは結晶幅が大きいという特徴があるが、それを生かしたアプリケーションの開発と、工業的な生産技術の開発が進めば、より高付加価値な資源として期待できる。

用途開発調査では、TEMPO 酸化 CNF (TOCN) を用いた高度部材用途をターゲット に調査を行った. 具体的には、断熱材分野、燃料電池分野、エアーフィルター分野、機能性フィルム分野の調査を行った.

断熱材分野では、多孔性材料が高断熱材として利用されているが、TOCN を用いたエアロゲルでその代替を検討した。その結果、TOCN エアロゲルは、現行のウレタンフォームや発泡スチレンと比較して、高い断熱性を有することが検証できた。しかしながら、住宅建材等の断熱材分野は、市場は大きいが他の材料とのコスト競争も厳しいため、工業的な利用に向けては、エアロゲル化において工程の簡略化によるコスト低減が課題となる。

燃料電池分野では、低炭素社会に向けた水素の高効率製造システムでの水素透過膜への応用を検討した。その結果、従来の貴金属膜と比較して、水素透過膜としては、性能的に優位ではなかった。しかしながら、ガスの透過性でTOCNの特徴が明らかとなったので、新たな用途開発に向けた資料は得られた。

エアーフィルター分野では、不織布、糸等の繊維集合体での高機能フィルターへの利用を検討した。その結果、TOCNを含むエレクトロスピニング不織布、フィラメント糸が形成できることが確認でき、HEPAフィルターなどの基材との組み合わせによる高機能化の可能性が見出された。

機能性フィルム分野では、CNFで透明膜を形成し、ナノ粒子(金属酸化物など)や希土 類元素を担持させた高機能フィルムへの利用を検討した。金属酸化物等を担持させること で、植物工場等での利用が期待できる透明でフレキシブルな波長変換フィルムの可能性が 見出された。

三重県内企業の連携ネットワーク構築として、「みえセルロースナノファイバー協議会」を設立した。その結果、三重県内外から 71 機関の参画があり、広域なネットワークが構築できた。大学との連携も進め、11 機関からの参加があり、産学官のプロジェクトに向けた基盤が構築できた。

今後、三重地域における CNF の実用化、事業化に向けて、継続的に取り組みを進めていく予定である.

Report on 2015 Commissioned Feasibility Study of Low-Carbon Cellulose Nanofiber Application Development in Regional Japan

Summary

As part of this project, aimed at promoting the utilization of cellulose nanofiber (CNF), which is a plant-derived carbon-neutral eco material, we carried out resource mining in Mie Prefecture and conducted a survey on the development of applications to help shape a low-carbon society.

Mie Prefecture extends over a large distance from north to south, enjoys a relatively warm climate, and has thriving agriculture, forestry, and fisheries industries. The prefecture is also a major industrial center. In terms of the shipment value of industrial products, it ranks as one of Japan's leading prefectures. Along its northern coast, centered around a petrochemical complex, there are industries producing many kinds of parts and materials, while inland areas feature major centers of mass production of finished products such as automobiles and electronic equipment by large companies. There is also a wide variety of small and medium-sized enterprises (SMEs) supporting the bigger industries.

Thus, in addition to examining policies to promote the utilization of this wealth of agricultural, forestry, and fisheries resources as raw materials for CNF, we explored the potential for the development of CNF applications, by investigating fields in which the R&D capabilities of large companies and the manufacturing prowess of SMEs can make use of CNF for technologically advanced parts and materials.

Through the regional resource survey, the study of regional models, and the establishment of a region-wide network, we examined the potential for widespread use of CNF in the Mie region, in the form of mechanically processed CNF, which is suitable for producing resins, or TEMPO-oxidized cellulose nanofiber (TOCN), which is suitable for the manufacture of advanced parts and materials.

The survey on application development focused on applications for the TOCN developed by the Isogai Group at The University of Tokyo. TOCN can be produced by TEMPO-catalyzed oxidization of wood-based cellulose in a high-temperature, high-pressure aqueous medium, which results in a high yield of highly crystalline, high-aspect-ratio nanofibers with a uniform width of approximately 4 nm. It can potentially be used for high-performance films and high-technology parts and materials, e.g., for electronic devices. In light of this, the project focused largely on TOCN.

Pulp from conifers is widely used as a raw material for CNF, but since Mie Prefecture is blessed with a wealth of agriculture, forestry, and fisheries resources, we conducted a survey of the potential of woody biomass such as forestry offcuts, timber from forest thinning, and bamboo; biomass from agricultural residues such as rice straw and rice husks; grassy biomass such as bamboo grass and Japanese pampas grass; and seaweed biomass such as brown algae, as raw materials for CNF and for the establishment of a CNF supply chain in Mie Prefecture.

We conducted the survey based on guidelines such as "Estimating Reserves and Quantities of Effectively Usable Biomass" by the New Energy and Industrial Technology Development Organization (NEDO), and on the basis of the results we estimated the potential of these resources as raw materials for CNF.

Specifically, for different resources we evaluated reserves, usable quantity, distribution, cost, and stability, and also made an overall assessment. To get an idea of the scale of CNF production, the current level of production is 50 tons, but this is expected to grow to between 600 and 900 tons by 2020. For reserves and usable quantity, each type of biomass was judged to be a potential CNF raw material if 1% of the maximum annual production of CNF from the biomass exceeded 1,000 tons. The distribution of biomass resources was evaluated from the distribution conditions for each municipality within Mie Prefecture, while the cost was evaluated from the results of a study on the costs of yarding and processing the raw material, as well as other associated costs. Stability was assessed from the viewpoint of industrial raw material use by manufacturers, in terms of variation in quality due to season (as a natural resource) and area of production, and variation in yield.

The survey results showed that bamboo, rice straw, and Japanese pampas grass, all of which are readily available as natural resources in Mie Prefecture, offer good biomass reserves. In terms of usable quantity, Japanese pampas grass is particularly good. However, since these resources require the development of a means of yarding and processing technology, they cannot be considered superior to paper pulp in terms of cost.

On the other hand, for timber offcuts and timber from forest thinning, which are being used increasingly for producing bioethanol, reserves are expected to remain steady, but the effectively usable quantity is low, at just 6% of reserves. The rate for lumber waste, approximately 5%, is similarly low. Although the potential is small in terms of quantity, the systems and technology for yarding, processing, and use are already in place, and this represents an important cost advantage. So in the short term these biomass resources are well suited for use in CNF production.

For seaweed resources, Mie is blessed with a long marine coastline, and seaweed is distributed over a wide area. There is also a flourishing seaweed cultivation industry. Green algae, which is easy to harvest, is particularly abundant, so it could be used as a resource. As a characteristic resource of the region, it would be a desirable option. Seaweed-derived cellulose tends to have a large crystal width, but if applications that can make use of it are developed, along with suitable industrial production technology, seaweed has the potential to become a high value-added resource.

The survey of application development focused on high-technology parts and materials made of TOCN. More specifically, the survey targeted the fields of thermal-insulation materials, fuel cells, air filters, and high-performance films.

In the field of thermal insulation materials, aerogels made from TOCN were studied as a possible substitute for the porous materials that are currently used as highly insulating materials. The results

verified that TOCN aerogels are better insulators than current urethane foam and styrofoam products. However, while the market for insulating materials for housing and other uses is very large, cost competition with other materials is severe. Thus, before aerogels can be used for this kind of industrial application, it will be necessary to reduce their cost, by simplifying the aerogel production process.

In the field of fuel cells, we examined the application of TOCN to hydrogen permeable membranes for high-efficiency hydrogen production systems to promote a low-carbon society. The results showed that hydrogen permeable films do not offer a performance superior to conventional noble metal films. However, since gas permeability has been identified as one of TOCN's key features, TOCN can potentially be used as a material for the development of various new applications.

In the field of air filters, we examined the use of TOCN in high-performance filters made of fiber assemblies such as nonwoven fabrics and yarns. The results confirmed that TOCN can be used to produce electrospun nonwoven fabrics and filament yarns. We also discovered that it can be combined with a substrate to make high-performance products such as high-efficiency particulate air (HEPA) filters.

In the field of high-performance films, we examined the use of CNF for transparent films and films for catalyst support of nanoparticles (metal oxides) and rare earth elements. We found that CNF can potentially be used for transparent, flexible wavelength-conversion films, to serve as catalyst supports for metal oxides in promising applications such as in vegetable factories.

As a network for collaboration between industries in Mie Prefecture, we established the Mie Cellulose Nanofiber Council. A total of 71 organizations, both inside and outside of Mie Prefecture, have joined the group, thereby forming a wide-area network. The group will also pursue collaborations with universities, and with the participation of 11 institutions, a platform has been established for industry-academia-government joint projects.

This ongoing effort to promote the implementation and commercialization of CNF in the Mie region is set to continue.

要旨

	重県の産業と高度部材開発への取り組み	
	重県の地域資源に関する調査	
2.1	<u> </u>	
2.2	三重県のバイオマス資源とその賦存量について	
2.3	木質系のバイオマス資源(林地残材、切捨間伐材、製材廃材)について	
2.4	木質系の未利用バイオマス資源(タケ、果樹剪定枝)について	13
2.5	農業残渣系のバイオマス資源(稲わら、もみ殻、麦わら、農業残渣)について	15
2.6	草本系のバイオマス	20
2.7	廃棄物系のバイオマス	22
2.8	海藻資源について	23
2.9	三重県内地域資源の CNF 原料としての可能性	30
3. 短	期的に実現可能と考えられる CNF 用途開発分野の選定と $\mathrm{CO2}$ 削減ポテンシャル o)推計 33
3.1	断熱材分野に関する調査	33
3.2	水素透過膜分野に関する調査	39
3.3	不織布・繊維集合体分野に関する調査	46
3.4	透明フィルム分野に関する調査	53
4. モ	デル事業の設定と FS 調査の実施	62
4.1	地域資源の利用とサプライチェーン構築に関する FS 調査	62
4.2	断熱材分野に関する FS 調査	79
4.3	水素透過膜分野に関する FS 調査	83
4.4	不織布・繊維集合体分野に関する FS 調査	87
4.5	透明フィルム分野に関する FS 調査	91
5. C	NF 地域モデル事業構築に向けた協議会の設置・運営等	96
5.1	みえ CNF 協議会	96
5.2	FS 委託業務に伴う技術推進委員会等の設置・運営等	99
6. C	NF の普及啓発	104
6.1	「みえリーディング産業展 2015」への出展	104
6.2	セミナー開催	106
6.3	「みえセルロースナノファイバー協議会」の AMIC ロビー展示による普及啓発	110
6.4	「みえセルロースナノファイバー協議会」のホームページによる普及啓発	113
7 . Ξ	重県におけるセルロースナノファイバー事業化の可能性と今後の方策	114
7.1	三重県における今後の取り組みの方向性	114
7.2		
73	三重具における田冷開窓の可能性	116

1. 三重県の産業と高度部材開発への取り組み

三重県における平成 25 年の製造品出荷額は、10 兆 4100 億円で全国 9 位であり、生産年齢人口 1 人あたりの出荷額は、939 万円で全国 1 位となっている(経済産業省工業統計調査より)。三重県の主な産業は、戦前(昭和初期)は繊維工業であったが、戦後は化学工業、昭和 40 年代以降では輸送用機械器具製造業、同 60 年代以降では電子部品・デバイス・電子回路製造業と変遷している。この変遷の中での大きな出来事として、2001 年の三菱化学株式会社のエチレンセンター停止がある。これは、汎用品生産の海外移転に伴うものであったが、四日市コンビナートの中心的役割を担ってきた三菱化学株式会社のプラント停止ということで、産業の空洞化が一気に強まるのではとの懸念が高まったものであった。

そこで、 三重県と四日市市が連携して、有識者、民間企業などからなる検討会・研究会を設置し、議論を重ね、四日市コンビナートが高付加化価値型素材産業へと転換を図るべく取り組みが始まっている。

この取組の中で、産学官連携による研究開発の促進、中小企業の課題解決支援、人材育成を一ヶ所で行なう「場」として、2008年に「高度部材イノベーションセンター(AMIC: Advanced Materials Innovation Center)」が四日市市に設置された。

AMIC が設置された四日市市は、三重県の北部 (北勢地域) に位置するが、この地域は、 臨海部の石油化学コンビナートを中心とする各種の素材・部材産業、そこから半径 30km 内外に立地する自動車や電子機械器具等の最終製品を製造する大企業の量産拠点、そして、 それらを支える各種の中小企業群が集積するという特徴がある (図 1-1)。



図 1-1 三重県北勢地域の産業ポテンシャル

すなわち、大企業の高度部材産業群と地域の中小企業が連携できる立地であるので、そのきっかけ作り、研究開発拠点の集積を目指し、AMIC が設置されている。

図 1-2 に三重県内の市町村別事業所数の分布を、図 1-3 に市町村別の製造品出荷額を示す。また、表 1-1 には、それらの実数と地域ごとの構成比を示す。事業所数の分布と製造品出荷額の分布は大きく異なる。事業所は北勢地域が半数を占めるが、中南勢地域やその他の地域にも分布している。製造品出荷額は、北勢地域が 70%以上を占め、大企業を中心に産業が集積していることが分かる。

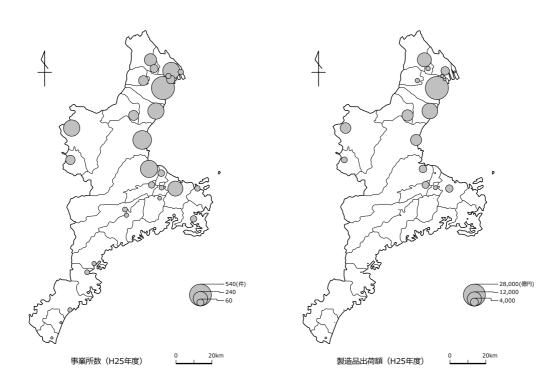


図 1-2 県内の市町村別事業所分布

図 1-3 県内の市町村別製造品出荷額

表 1-1 三重県内の事業所数、製造品出荷額等の地域ごとの集計とその構成比

	事業所	数	製造品出荷額	頂等
	実数	構成比(%)	実数	構成比(%)
北勢	1,887	50.6	741,852,730	71.2
中南勢	878	23.6	146,487,888	14.1
伊勢志摩	444	11.9	52,672,548	5.1
伊賀	413	11.1	92,946,486	8.9
東紀州	104	2.8	6,965,229	0.7
合計	3,726	100.0	1,040,924,881	100.0

事業実施概要

本事業では、植物由来でカーボンニュートラルなエコ素材であるセルロースナノファイバー (CNF) を三重地域で利活用するために、三重県内資源の調査、発掘、三重県内企業

の連携ネットワークの構築、低炭素社会に向けた用途開発調査等を実施した。

セルロースナノファイバーを製造する方法として、東京大学磯貝グループの TEMPO 酸 化触媒で化学的処理する方法や京都大学矢野グループの機械的な処理方法などが、確立されている。

三重県は、伊勢湾、熊野灘といった海に面しながら、鈴鹿山脈、紀伊山地といった山々も有し、また、比較的、温暖な気候であるので、農業、林業と水産業のいずれも盛んな地域である。 これらの豊富な農林水産資源を、セルロースナノファイバー原料として活用するための方策について検討を行った。

これらの地域資源調査、地域モデルの検討や地域内ネットワークの構築については、樹脂への利用が見込まれる機械的な処理方法による CNF、高度部材としての利用が見込まれる TEMPO 酸化セルロースナノファイバー (TOCN) を問わず、幅広く CNF の地域での利用について検討した。

一方で、化学的処理により製造された CNF と機械的な処理により製造された CNF では、用途が異なると考えられ、本事業における用途開発調査は、東京大学磯貝グループが開発したTOCN を対象としてその用途を調査した。TOCN は、高度部材イノベーションセンターに入居している第一工業製薬株式会社が、2013 年からパイロット生産を開始して「レオクリスタ」という製品名で実用化しており、高度部材としての活用、高度部材への応用が期待されている材料である(図 1-4)。

新規増粘剤レオクリスタ

「特長

「天然由来

「高い・ラクソ性

「高い・ラクソ性

「乳化・分散安定性

「カザン・カルボウリスタ

「カリスタは、左の写真のように非常に知い無象の過差形成しています。これに知い無象の過差形成しています。これにより、他の増配剤に対ないユニータな特徴を表現しています。

「100,000 カルボマーカルボキシメチルセルロース ナトリウム

「カルボマーカルボキシメチルセルロース オウソスタ ナトリウム

「ロの000 カルボマーカルボキシメチルセルロース カルボキシメチルセルロース カルボキシメチルセルロース カルボキシメチルセルロース カルボキシメチルセルロース カルボキシメチルセルロース カルボキシメチルセルロース カルボキシメチルセルロース カルボキシスタンガム メチルセルロース 1000 個別分別達度(物)

図 1-4 TOCN 製品、レオ クリスタの概要

三重県が行った「平成 27 年度地域における低炭素なセルロ ースナノファイバー用途開発 FS 委託業務」の概要を図 1-5 に示す。

三重県では、「平成 27 年度地域におけ る低炭素なセルロー スナノファイバー用 途開発 FS 委託業務」 を、公益財団法人三 重県産業支援センタ で受託し、三重県工 業研究所が共同として 業研究所が共同して、 事業を実施した。

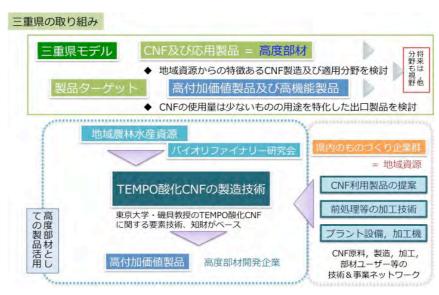


図 1-5 FS 委託業務における三重県の実施概要

2. 三重県の地域資源に関する調査

2.1 三重県における地域資源調査の概要

セルロースナノファイバーの原料として、針葉樹等のパルプが多く用いられているが、 そのパルプの主な原料となる森林資源は、持続可能な国産資源であり、CNFの普及拡大、 地域サプライチェーンの構築のためには重要である。

パルプとは、木材や草などから抽出した繊維のことであるが、木材パルプ、非木材パルプ、古紙パルプ、合成繊維パルプなど、原料別に大別される。木材パルプの原料は、針葉樹、広葉樹等であり、非木材パルプの原料は、コットンリンター、ケナフ、タケ、サトウキビなどである。

このうち、CNFの普及に最も貢献が期待できるのは、木材パルプであることは明らかであり、その原料である森林資源、樹木類は、国内にも豊富に存在している。また、野菜を含む草本類もセルロースで構成されている。草本類は樹木に比べ、生育期間も短く、栽培可能地、生育地も広範であり、資源量は豊富である。さらには、海洋資源である藻類もセルロースを含み、生育も早く、未利用海藻も多いため、資源量は豊富である。

そこで、三重県における CNF サプライチェーンの構築の可能性を検討するために、森 林資源、農林資源、海藻資源を三重の地域資源と捉え、その分布や利用状況、賦存量を調 査した。

セルロースの基本構造(文献 2-1、2-2)は、生物種によってミクロフィブリルの大きさ、 形が異なることが知られている。セルロースの合成は、セルロースの末端に存在する「セルロース合成酵素複合体」または「末端複合体(terminal complex, TC)」と呼ばれるたんぱく質顆粒の集合体によって行われることが明らかにされている。また、生物種によりこの TC の配列の仕方、大きさが異なることも同時に明らかにされており、すなわち、生物中に存在するセルロースミクロフィブリルの形態が異なることが説明されている。

TCの顆粒配列の仕方には、いくつかの類型が知られ、進化的に近縁にある生物種では同じ類型に属する。例えば、シャジク藻綱の緑藻は、陸上植物と進化的に近縁であり、ほとんどすべての陸上植物と同様のTCの顆粒配列である。

シャジク藻綱以上の高等植物細胞壁から単離できるセルロースミクロフィブリルは、横断面が約 4nm 角の正方形で、セルロース分子が当該ミクロフィブリルの横および縦方向にそれぞれ6~7列配列し、約 40 本のセルロース分子が東になって構成されている。紅藻、褐藻や黄緑藻は、セルロース分子が縦よりも横方向に多数配列するため、扁平なリボン状のセルロースミクロフィブリルを合成する。緑藻綱やアオサ藻綱に属する数種の緑藻(アオサ藻綱のシオグサ属やバロニア属)は、厚さと幅が 10nm~30nm の太いセルロースミクロフィブリルを合成する。さらに、より原始的な酢酸菌や、唯一のセルロース産生動物である腔腸動物のホヤなどでも、1000 本以上のセルロース分子鎖が結晶化して、幅 10nm~50nm 程度の太いミクロフィブリルを形成する。

Occurrence of cellulose synthesizing terminal complexes in biological kingdoms

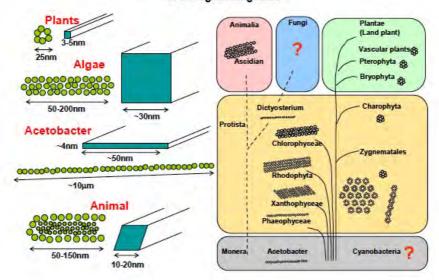


図 2-1 既知の生物の進化系統と彼らの形作るセルロースフィブリルの形態 との相関関係(文献 2-1, p2 より引用)

このように、生物種によってセルロースミクロフィブリルの形態が異なるため、機械的解繊や化学処理によって得られるセルロースナノファイバーも、生物種によって異なり、特に、東京大学・磯貝教授らのTEMPO酸化セルロースナノファイバーではシングルナノファイバーが得られるため、生物種の違いによる特徴の発現が期待できる。すなわち、使用する原料によって異なった太さ、性質のものが得られる可能性があり、セルロースナノファイバーの用途によって使用する原料を選択するなどの可能性を秘めている。セルロースナノファイバーの応用範囲を広げるための資料となることも期待しながら、三重県の地域資源の調査を実施した。

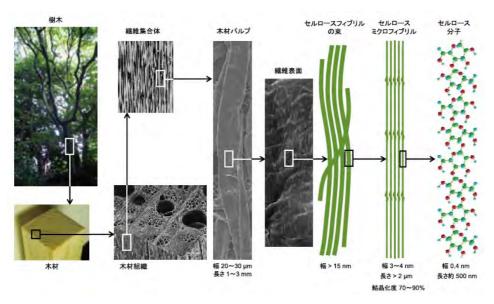


図 2-2 木材セルロースの樹木中での階層構造(文献 2-2, p2 より引用)

三重県の地理的な特徴として、三重県は日本のほぼ中央に位置しており、紀伊半島の東部、伊勢湾の西部に位置している。南北の長さは約180kmであり、東西の幅は10~80kmと、非常に縦長の地形であり、また、伊勢平野の平野部、伊賀地域の盆地部、鈴鹿山脈、紀伊山地などの山地部、伊勢湾、熊野灘に面した沿岸部と、地形も複雑である。そして、その複雑さから、気候特性も複雑で、気候に影響を受ける農林水産業は多様であり、すなわち、地域の農林水産資源が多種多様である。

そこで、セルロースに関わる資源として森林資源、農林資源、海藻資源について、その 分布や利用状況、賦存量、利用の可能性等を調査した。

2.2 三重県のバイオマス資源とその賦存量について

三重県内の森林資源の調査にあたって、バイオマス賦存量、および有効利用可能量は、 国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)による「バイオマス賦存 量・有効利用可能量の推計」(http://app1.infoc.nedo.go.jp/biomass/index.html)の統計 データを元に、分析を行った。

NEDO の調査は、「バイオマスエネルギー利活用を促進することを目的に」取りまとめられたものである。本調査では、セルロースナノファイバー原料(CNF 原料)としてのバイオマス資源の調査であるので、まず、NEDO の調査結果から、CNF 原料となりうるバイオマス種について抽出した。すなわち、廃棄物系資源のうち、「家畜ふん尿・汚泥」である乳用牛、肉用牛、豚、ブロイラーのふん尿、下水汚泥(濃縮汚泥)、し尿・浄化槽余剰汚泥、集落排水汚泥、「食品系バイオマス」である食品加工廃棄物、家庭系厨芥類、事業系厨芥類を除き、未利用系資源の10種、廃棄物系資源の5種、合計15種を抽出して調査を行った。

林業系のバイオマス種としては、林地残材、切捨間伐材、製材廃材が該当し、農業系では、稲作残渣の稲わらともみ殻、麦わら、その他の農業残渣(園芸農業由来の茎、葉など)、果樹剪定枝が該当する。他に未利用系として、タケ、ササ、ススキ、廃棄物系として、建築廃材、新・増築廃材、公園剪定枝である。なお、県内のバイオマス資源の一つである海藻資源については、別途、調査を行った。 これらの調査にあたっては、みえバイオリファイナリー研究会の協力を得て、進めた。

これらの抽出されたバイオマス種について、賦存量、有効利用可能量、三重県内の分布 状況を分析した。ここで、NEDOによる「バイオマス賦存量・有効利用可能量の推計」に 従い、用語並びに推計単位は以下の通り、定義した。

<u>賦存量</u>: 賦存量は、バイオマスの利用の可否に関わらず理論上1年間に発生、排出される量とした。

<u>有効利用可能量</u>:有効利用可能量とは、賦存量よりエネルギー利用、堆肥、農地還元利用等、既に利用されている量を除き、さらに収集等に関する経済性を考慮した量を利用可能量とした。

<u>バイオマス推計単位</u>:賦存量、有効利用可能量の推計値は、原則として乾燥重量 (DW-t/年)とした。

三重県内のCNF原料の可能性がある上記の15種のバイオマス種について、その賦存量、 有効利用可能量、および利用可能率を表2-1、図2-3に示した。

表 2-1 三重県内のバイオマス賦存量と有効利用可能量

バイオマス種	賦存量(DW-t/年)	有効利用可能量 (DW-t//年)
森林バイオマス 林地残材	20,667	1,242
森林バイオマス 切捨間伐材	101,594	6,267
果樹剪定枝	6,776	5,177
タケ	13,099	12,376
稲作残渣・稲わら	143,849	21,577
稲作残渣・もみ殻	19,300	2,895
麦わら	14,624	2,194
その他の農業残渣	8,598	3,341
ササ	435	435
ススキ	33,701	33,701
国産材製材廃材	62,832	3,287
外材製材廃材	18,845	800
建築廃材	40,167	16,187
新・増築廃材	11,674	1,418
公園剪定枝	1,776	1,266

賦存量については、稲作残渣の稲わら(14.4万 DW-t/年)、切捨間伐材(10.2万 DW-t/年)、製材廃材(国産、外材を合わせて 8.1 万 DW-t/年)、ススキ(3.4 万 DW-t/年)、林地残材(2.1 万 DW-t/年)、もみ殻(1.9 万 DW-t/年)となっている。一方で、有効可能利用量では、未利用資源系では、ススキ(3.4 万 DW-t/年)、稲わら(2.2 万 DW-t/年)、 タケ(1.2 万 DW-t/年)、廃棄物系では建築廃材(1.6 万 DW-t/年)となっている。利用可能率を算出したところ、草本系バイオマスのササ、ススキは 100%と未利用であり、木質系バイオマスでは、タケが 94%、果樹剪定枝が 76%、公園剪定枝が 71%と高くなっているが、ササ、公園剪定枝は賦存量が少ない。

これらのバイオマス種を CNF 原料としての利用を考えた場合、有効利用可能量が十分であるものが有望であり、ススキ($3.4 \, \mathrm{T} \, \mathrm{DW}$ - t/F)、稲わら($2.2 \, \mathrm{T} \, \mathrm{DW}$ - t/F)、タケ($1.2 \, \mathrm{T} \, \mathrm{DW}$ - t/F)、林地残材、切捨間伐材を合わせた森林バイオマス($0.8 \, \mathrm{T} \, \mathrm{DW}$ - t/F)が候補となる。建築廃材は、他の建材と分別された状態での収集は困難であると思われ、工業用原料としての利用は見込まれないので除外した。

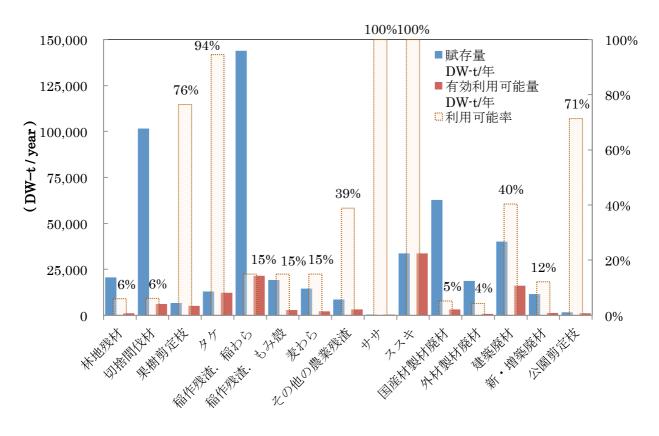


図 2-3 三重県内のバイオマス賦存量と有効利用可能量、利用可能率

ここで、製材廃材(国産、外材)は利用可能率が5%程度と非常に低く、すなわち、すでに利用されている材料である。森林バイオマス(林地残材、切捨間伐材)の利用可能率も6%と非常に低いが、既利用量が多いのか、または収集等に関する経済性から有効利用可能量に計上されていないのかという点は注意が必要である。従来より、森林バイオマスは賦存する地域、地形による理由で、未利用となっていると言われており、三重県内の地域的な分布を含めて、ススキ、タケ、稲わら、森林バイオマス(林地残材、切捨間伐材)について、CNF 原料としての利用の可能性を検討する必要がある。

次に、バイオマス種を、木質系、農業系、草本系に分け、三重県内の年間賦存量とその地域ごとの賦存密度、利用の可能性、コスト等について、調査、分析した。

また、各バイオマス種について、有効利用可能量と組成(セルロース成分)から、樹脂への強化剤として添加が見込まれる 10%セルロースナノファイバーの生産可能量を算出した。

2.3 木質系のバイオマス資源(林地残材、切捨間伐材、製材廃材)について

2.3.1 林地残材

林地残材は、丸太を切り出した残りの根元部分および枝葉部分であり、伐採した木全体に対して、根元部分は約5%、枝葉部分は約15%を占める。林地残材の県内の賦存量は、2.1万DW-tであるが、有効利用可能量は0.1万DW-t(利用可能率6%)と非常に少ない。

三重県内の市町村別の賦存量(DW-t/年)、およびその密度(DW-t/km²)を図 2-4 に示す。賦存量の多い市町村は、中南勢地域の津市、松阪市、大紀町で、伊賀市、熊野市がこれに続く。これを密度で見ると、熊野市や紀宝町も密度では津市や松阪市と遜色のないことがわかる。林地残材に関しては、利用可能量こそ少ないが、集材、搬出の方法は確立されており、木材チップへの加工設備もあるため、コスト面では有利である。

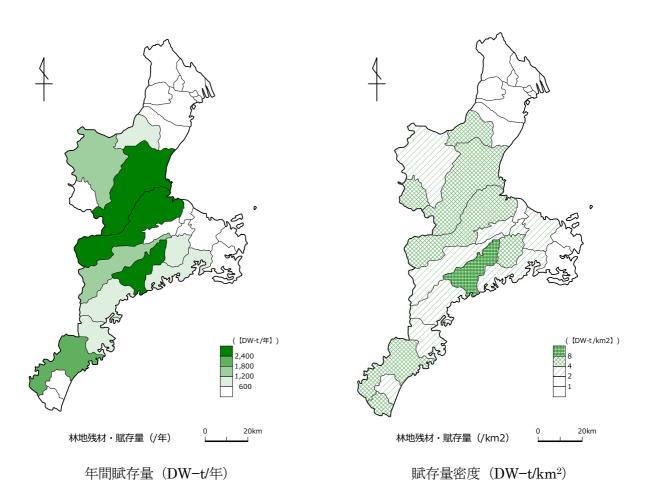


図 2-4 三重県内の市町村別林地残材の賦存量

2.3.2 切捨間伐材

森林バイオマスとしては、切捨間伐材が数量的に最も多いとされており、三重県内でも切捨間伐材は、 $10.2 \, \mathrm{F} \, \mathrm{DW-t} \, \mathrm{O}$ 賦存量があり、林地残材の $5 \, \mathrm{G}$ 程度の賦存量である。

しかしながら、林地残材と同様に利用可能率は 6%程度で、0.6 万 DW-t である。森林バイオマス 2 種を合わせても、12 万 DW-t の賦存量に対して、0.8 万 DW-t の有効利用可能量と非常に少ない。これらの森林バイオマスは、山地の奥深くであったり、急峻な地形にあったりと、集材等に関する経済性も悪く、利用不可能となっている。また、収集が容易な地域にある資源は、エネルギー利用などにすでに利用されていると思われ、集材、搬出、木材チップへの加工までの過程が確立されているため、コスト面では有利である。エネルギー利用との競合を避け、新たに利用するには、伐採集材法の改良、林道の整備が必要であると思われる。

三重県内の市町村別の賦存量 (DW-t/年)、およびその密度 (DW-t/km²) を図 2-5 に示す。中南勢地域の松阪市、津市、大台町の賦存量が多く、密度では、大台町に次いで、大紀町、尾鷲市、紀北町も高い。これらの地域は、林業が盛んであるので、需要が高まれば、課題の解決に臨み、CNF 原料としての供給も検討されると思われる。

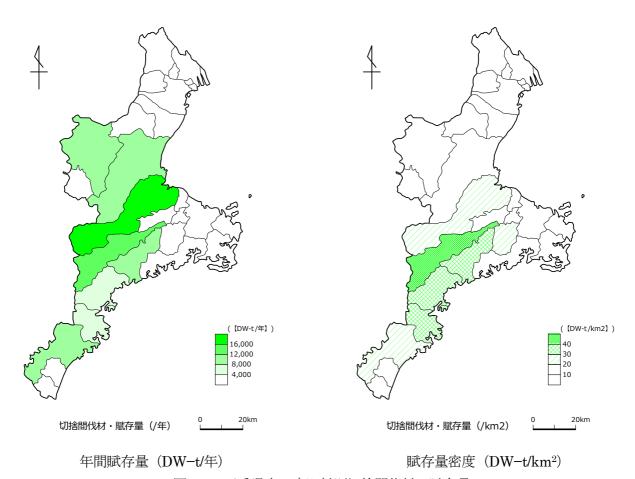


図 2-5 三重県内の市町村別切捨間伐材の賦存量

2.3.3 製材廃材

製材廃材は、製材原料として既に流通、利用されているものであり、収集等に関する経済性では優位である。また、建築廃材のように他の資源との混在もなく、使用目的が合えば、有用な資源である。製材廃材の発生率(表 2-6、文献 2-3)は、鋸屑、背板、樹皮が多く発生するが、CNF原料として考えた場合、樹皮は材部に比べセルロース成分が少なく、またリグニン含有量がやや高く、灰分も多いため適しておらず、材部の残廃材である鋸屑、背板、端材など約 50%が利用可能と考えられる。

表 2-2 木質残廃材の発生率(文献 2-3 より引用)

樹種	素材消費量			発生比率	Generation ratio (%)			
与性 Species	Log consumption (×1,000m³/year)	樹皮 Bark Slab		端材 Listing	べら板 Thin board	鋸屑 Sawdust	プレーナー層 Planer shaving	
スギ, ヒノキ Sugi, Hinoki	9,462	18.0	19.2	4.8	1.0	21.2	5.3	1.0
カラマツ Karamatsu	883	17.2	21.1	4.1	0.7	19.2	3.6	1.3
エゾマツ、トドマツ Ezomatsu, Todomatsu	766	13.2	29.2	4.7	0.3	20.7	2.5	0.2
アカマツ, クロマツ, その他国産針葉樹 Akamatsu, Kuromatsu and Other Domestic Soft wood		15.8	20.2	4.7	1.2	20.8	2.0	1.0
国産広葉樹 Domestic Hard wood	458	21.3	28.0	5.1	1.2	21.4	3.8	1.2
南洋材 Southeast Asian Timber	472	-	_	-	_	-	-	_
北米材 North American Timber	8,052	11.2	20.2	4.3	1.1	20.4	4.6	0.9
北洋材 Russian Timber	3,593	11.2	23,0	3.7	0.3	20.8	2.4	0.2
ニュージーランド材, その他外国産材 New Zealand's Timber and Other Foreign Timber	1,611	11.0	21.2	5.0	0,8	20.5	4.0	0.8

製材廃材は、国産製材と外国産製材に分けられているが、三重県内の市町村別の賦存量分布はよく似ているため、両者を合算した賦存量で分析を行った。三重県内の賦存量は、8.2万 DW-tであるが、有効利用可能量は 0.4万 DW-t (利用可能率 5%) と非常に少ない。これは、収集等が難しく利用できないということではなく、既に利用されているため、有効利用可能量が少なくなっている。図 2-6 (文献 2-4) に示したように、木材チップ以外にも農業、畜産など、多方面で利用されている。原料のコスト的には、現在の利用分野から考えて、問題はないと思われる。

三重県内の市町村別の賦存量 (DW-t/年)、およびその密度 (DW-t/km²) を図 2-7 に示す。賦存量の多い市町村は、中勢地域の津市、松阪市であり、密度でも同様であるが、紀宝町が高い値となっている。



図 2-6 製材廃材の利用用途(文献 2-4, p.43 より引用)

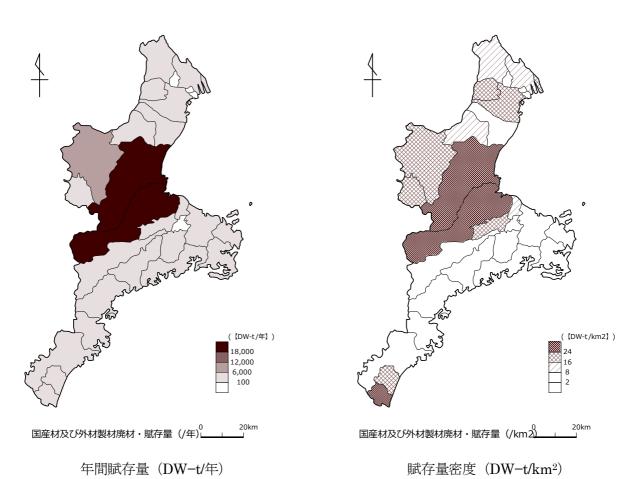


図 2-7 三重県内の市町村別製材廃材の賦存量

2.4 木質系の未利用バイオマス資源(タケ、果樹剪定枝)について

2.4.1 タケ

三重県内のタケの賦存量は1.3万 DW-tで、その有効利用可能量は1.2万 DW-t (94%) と資源量は豊富である。タケの生育地は、標高の低い山地、丘陵地などが多いため、収集等に関する経済性は良好であり、現状ではエネルギー利用等もされていないため、他の木質系バイオマス種に比べ、有効利用可能率が高い。生育も早いことから、CNF 原料としては有望と考えられ、すでに鹿児島県薩摩川内市で利用が始まっている。鹿児島県内のタケの賦存量は約9万 DW-tで、有効利用可能量は4.7万 DW-t (52%)である。タケ利用で先行している鹿児島県に比べ、賦存量は劣るが、有効利用可能率は高く、高度部材利用など比較的少ない需要量であれば、三重県においては CNF 原料として有望な材料と考えられる。薩摩川内市には、中越パルプ工業株式会社の川内工場が立地しており、利用技術も有している。中越パルプ工業では、九州大学・近藤教授らの技術である水中カウンターコリジョン(ACC)法により CNF を製造しているが、この方法によるタケ由来 CNF は樹脂との混練などで利用され、市場性もあると思われる。

環境省の「平成27年度セルロースナノファイバー活用製品の性能評価事業委託業務」においても、九州大学大学院農学研究院が、九州産のタケを利用したACC法によるタケ由来CNFを用いた樹脂の性能評価に取り組んでいる。

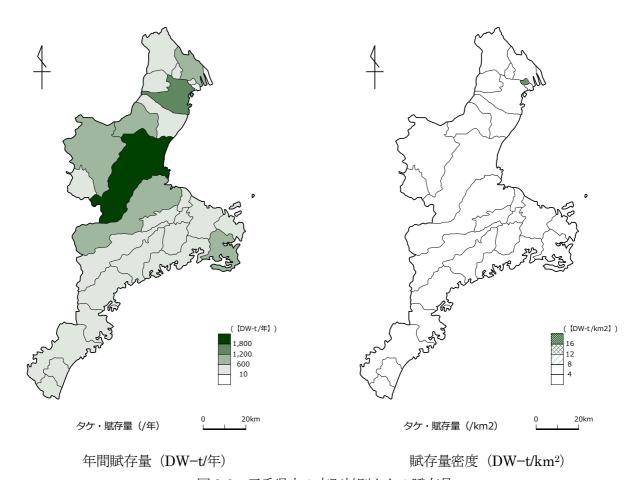


図 2-8 三重県内の市町村別タケの賦存量

三重県内の市町村別の賦存量 (DW-t/年)、およびその密度 (DW-t/km²) を図 2-8 に示す。賦存量の多い市町村は、津市、四日市市、松阪市などで、賦存密度が高い市町村は、朝日町、四日市市、桑名市など、人口が多い市街地であり、多くの製造業関係も立地している地域である。近隣に工場もあることから、流通の課題は少なく、CNF 原料として供給するインフラは有している。

また、多気郡では、タケに関する環境団体等も設立されていることから、その活用への 関心も高く、市町村行政との連携によるCNF原料としての活用の検討なども期待できる。

タケの生育地は市街地にあることから、森林のように架線集材による高コスト化にはつながらず、機材的にも森林機材の流用か簡易化が見込まれ、集材コストは低くなると思われるが、現状では確立された技術ではないため、今後の開発が必要である。タケからの CNF 製造は、全国でも薩摩川内市でしか、実用化されておらず、そのノウハウが得られ無い場合は、加工方法などの開発が必要となり、コスト高となるとともに、実用化までの期間が長くなる。

2.4.2 果樹剪定枝

三重県内の果樹剪定枝の賦存量は 0.7 万 DW-t と多くはないが、その有効利用可能量は 0.5 万 DW-t (76%) で、切捨間伐材の 0.6 万 DW-t と同じ程度の資源量がある。

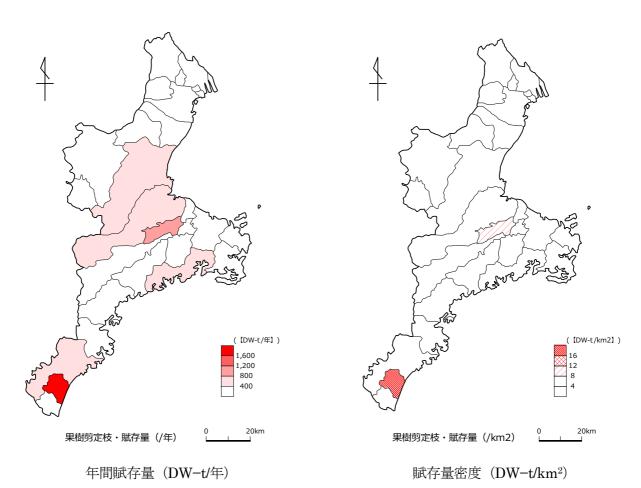


図 2-9 三重県内の市町村別果樹剪定枝の賦存量

しかし、果樹剪定枝は、枝部分であるので、多くの樹皮、葉を含むと考えられ、CNF 原料としての利用可能量は少ないと思われる。

三重県内の市町村別の賦存量(DW-t/年)、およびその密度(DW-t/km²)を図 2-9 に示す。賦存量及び賦存密度ともに柑橘栽培が盛んな御浜町が県内トップである。すでに、柑橘類の栽培、出荷が行われていることから資源の集積があり、収集、流通に関する経済性では有利である。間伐材からのチップ化の工程が流用できると仮定すれば、収集コストで有利であるので、コスト的には問題はないと思われる。

2.5 農業残済系のバイオマス資源(稲わら、もみ殻、麦わら、農業残済)について

農業残渣系のバイオマス資源である稲わら、もみ殻、麦わら、農業残渣などは、ソフトバイオマスと呼ばれ、農作物の非食用部であるため、食料と競合しない未利用バイオマス資源として注目されている。日本各地で、稲わらからのバイオエタノール製造が検討されており、農林水産省のソフトセルロース利活用技術確立事業(ソフトセルロース利活用モデル事業)も実施されており、CNF原料として検討する場合、必ず、競合するものである。

これらのソフトバイオマスの成分分析値が、東京大学生産技術研究所によって調べられている(文献 2-5)。表 2-7 より、セルロース成分では、稲わらが 33%、もみ殻が 38%であり、木材の約 50%と比較して少ない。また、灰分は稲わらで 16%、もみ殻で 19%含まれており、木材の木部では 0.5%、樹皮、枝、葉でも数%であり、他の材料と比べ、多くなっている。エネルギー利用でも、灰分が多いとその処理に費用が必要となり、CNF 原料としての利用でも処理は必要となるので、稲作残渣系資源の利用上の課題となっている。

表 2-3 バイオマス試料の成分分析値(文献 2-5, p.294 より引用)

wt. %	イナワラ	モミガラ	リンゴ (枝)	ススキ (茎)	竹 (葉)
ヘミセルロース	31	19	23	32	35
セルロース	33	38	46	48	37
リグニン	6	17	14	10	13
灰分	16	19	2	7	4
計	86	93	85	97	89

2.5.1 稲作残渣・稲わら

三重県内の稲わら賦存量は14.4万 DW士で、有効利用可能量が2.2万 DW士(15%)である。日本各地で、稲わらからのバイオエタノール製造が検討されており、将来的に資源の確保が難しくなると思われる。しかし、バイオエタノール原料等の資源として提供する場合、稲わらは収穫時の含水率が60%程度と高いため、これを腐敗させずに保管する必要があるため、乾燥方法や刈り取り技術で課題が残っており、急速に資源確保が難しくなるとは考えにくい。CNF 原料として利用する場合でも同様の課題となり、乾燥や保管のコスト、技術開発が必要である。現在は、汎用コンバインで細断され、圃場に排出されているが、バイオマス資源として利用するために、コンバインに乾燥工程を導入するなどの技術開発が行われており、活用に向けての取り組みが進んでいる。

三重県内の市町村別の賦存量 (DW-t/年)、およびその密度 (DW-t/km²) を図 2-10 に示す。賦存量では、津市、松阪市ついで伊賀市が多くなっているが、密度では、明和町と玉城町が大きくなっている。

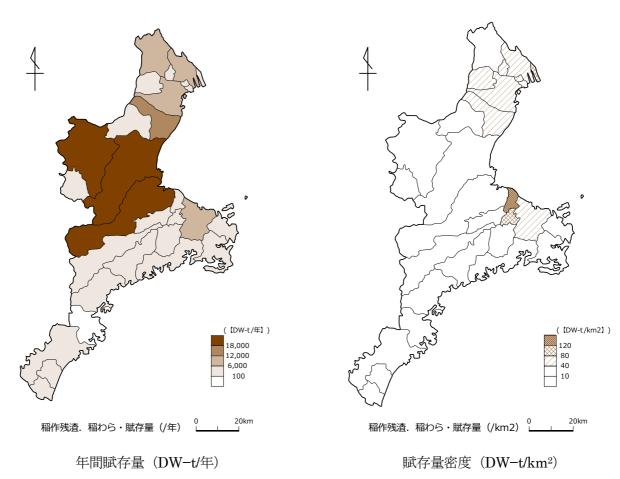


図 2-10 三重県内の市町村別稲作残渣・稲わらの賦存量

2.5.2 稲作残渣・もみ殻

三重県内のもみ殻賦存量は 1.9 万 DW + で、有効利用可能量が 0.3 万 DW + (15%) である。もみ殻もソフトセルロースに位置づけられるので、稲わらと同様の利用が図られている。しかし、稲わらが圃場での保管であるのに対し、もみ殻は収穫時にカントリーエレベーターなどの穀物の貯蔵施設に集積され、保管される。そして、米の出荷時にもみ殻が残渣となって出るので、年間を通じて、安定した品質と量が供給されることになる。全国米麦改良協会の農業機械化公報によると、三重県内には、カントリーエレベーターが 15か所、ライスセンターが 63か所設置されており、県内全域でもみ殻の供給が可能と思われる。すなわち、工業用原料としては、安定した供給が得られるため、有望と考えられる。しかしながら、CNF原料としては、もみ殻の組成に灰分が約 19%と多く含まれるため、セルロースを精製する前処理でのコストで不利となろう。

三重県内の市町村別の賦存量 (DW-t/年)、およびその密度 (DW-t/km²) を図 2-11 に示す。図 2-10 の稲わらの賦存量分布と同様の分布となっている。

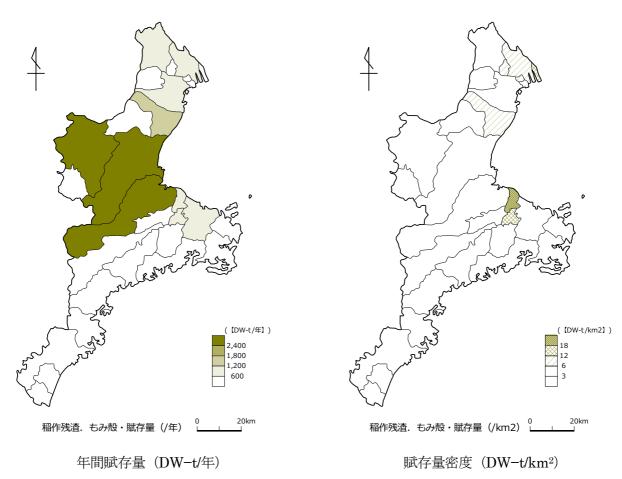


図 2-11 三重県内の市町村別稲作残渣・もみ殻の賦存量

2.5.3 麦わら

三重県内の麦わら賦存量は 1.5 万 DW-t で、有効利用可能量が 0.2 万 DW-t (15%) で、稲わらに比べると約 1/10 である。麦わらもソフトセルロースに位置づけられるので、稲わらと同様の利用が図られている。機械装置も稲麦用であるので、賦存量が多い稲で乾燥方法や刈り取り技術が開発できれば、麦でも利用できるため、麦わらの利用が進むこととなる。

三重県内の市町村別の賦存量 (DW-t/年)、およびその密度 (DW-t/km²) を図 2-12 に示す。賦存量では、松阪市、津市が多いが、密度では、明和町と東員町が大きくなっている。

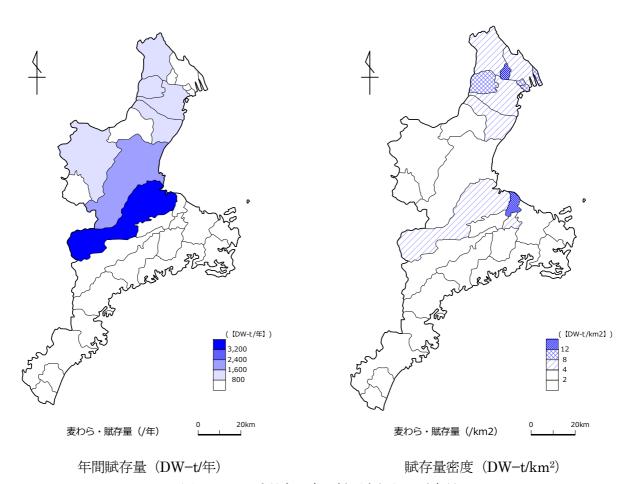


図 2-12 三重県内の市町村別麦わらの賦存量

2.5.4 その他の農業残渣

三重県の農業生産量は、みかん、キャベツ、なばな、茶などが多いが、三重県に限らず、 農業生産物は多様である。みかんの残渣は、果樹剪定枝に含まれると思われるが、生産物 が多様であるため、残渣の種類も多様であり、また、季節性もあるため、まとまった量の 供給、通年の安定した供給は期待できないと思われる。トマトのハウス栽培など、通年の 安定した供給が可能な生産物もあるが、稲わらと同様に収穫時の水分含有量が多いため、 その保存方法を検討する必要がある。これらのことから、県内の農業残渣の CNF 原料と しての利用は期待できない。しかし、近年、開発が進む植物工場との連携ができれば、品 種の選択により、残渣利用の可能性はあると思われる。

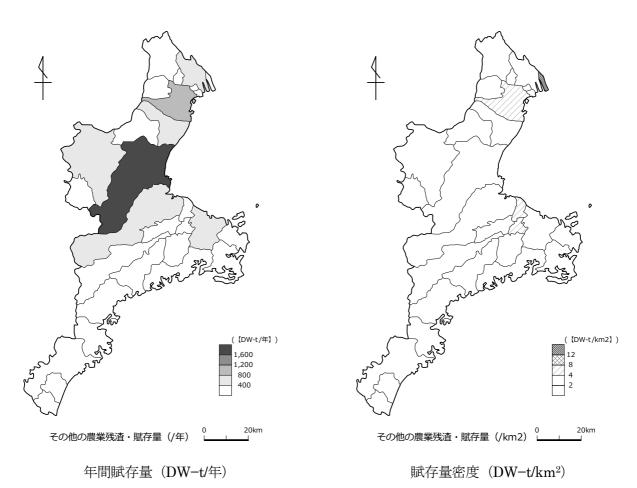


図 2-13 三重県内の市町村別その他の農業残渣の賦存量

2.6 草本系のバイオマス

2.6.1 ササ

三重県内のササ賦存量は 0.04 万 DW-t で、有効利用可能率は 100%であるが、同じ草本系のススキの賦存量に比べ 1%程度であり、資源としては期待できない。賦存密度は県内全域で一様ではあるが、量的に少ないため、面積当たりに換算すると、このような結果となる。工業規模とならないため、コスト面でも不利である。

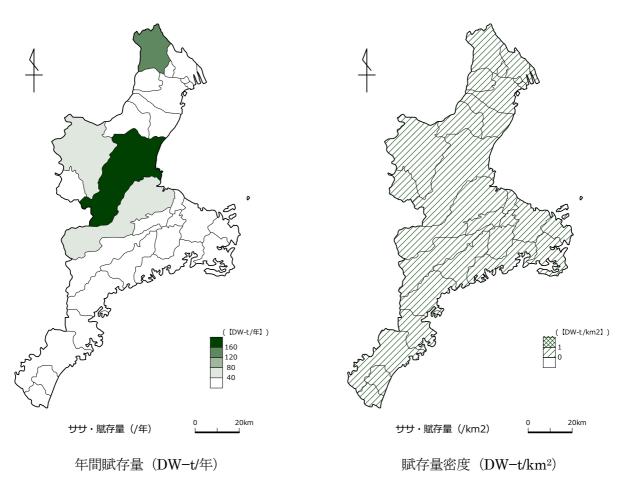


図 2-14 三重県内の市町村別ササの賦存量

2.6.2 ススキ

三重県内のススキ賦存量は3.4万DW-tで、タケの2.6倍の賦存量がある。有効利用可能量は3.4万DW-tで賦存量と同じ、つまり、有効利用可能率は100%であり、エネルギー利用、堆肥利用も無く、収集等に関する経済性からの利用不可能分も無い。

三重県内の市町村別の賦存量 (DW-t//年)、およびその密度 (DW-t/km²) を図 2-15 に示す。賦存量では、桑名市、伊賀市、いなべ市、津市が多いが、密度では、木曽岬町が 168DW-t/km² と飛び抜けており、次いで、川越町、東員町など、北勢地域に集中している。鈴鹿市を除く、北勢、中勢地域では、タケの有効利用可能量を上回っており、明和町と東員町が大きくなっている。隣接する桑名市と木曽岬町だけでも、有効利用可能量は1

万 DW-t で県内の 30%の量を占め、北勢地域に範囲を広げると 40%となる。ススキの茎のセルロース分は約 48%であり、稲わら、もみ殻よりも高く、また、灰分も稲わら、もみ殻より低い点でも、CNF 原料として期待できるものである。しかし、CNF 化の技術だけでなく、未利用資源であるため、刈り取りや収集など原料集材のための技術開発も必要であり、現時点では、周辺コストが未知であり、コスト的には、有利とは言えない。生育については、1950 年から 60 年代にはススキを飼料作物として利用する目的で育種学的研究が三重大学や岐阜大学などで実施されたが、ススキは頻繁な刈取りに耐えられないなどの理由で、飼料作物としての研究は途絶えている、との報告(文献 2-6)もあり、検討が必要となる。

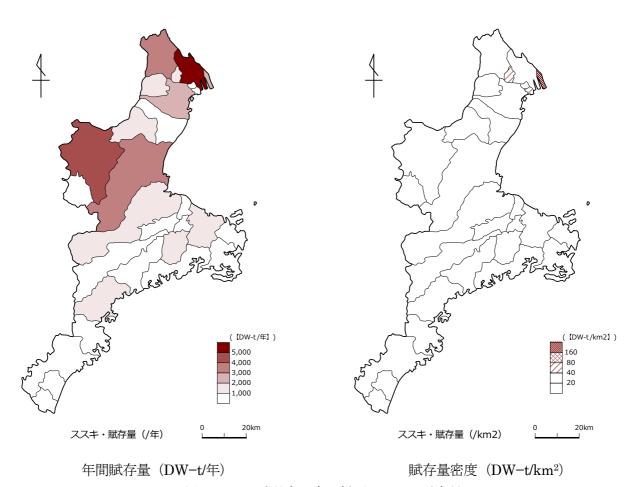


図 2-15 三重県内の市町村別ススキの賦存量

2.7 廃棄物系のバイオマス

2.7.1 建築廃材、新・増築廃材、公園剪定枝

三重県内の建築系廃材として、建築廃材、新・増築廃材の市町村別の賦存量 (DW-t/年)を図 2-16 に示す。建築物に由来するものであるため、県内の人口の分布と似た結果である。建築系廃材の賦存量は、建築廃材が 4万 DW-t、新・増築廃材が 1.2DW-t、合わせて5.2万 DW-t で、有効利用可能量は合わせて1.8万 DW-t (34%) となっている。木材系という点で、製材廃材と比べると、賦存量では63%であるが、有効利用可能量は4倍以上である。しかし、製材廃材よりも他の資源の混在があると思われ、工業原料としては期待できない。

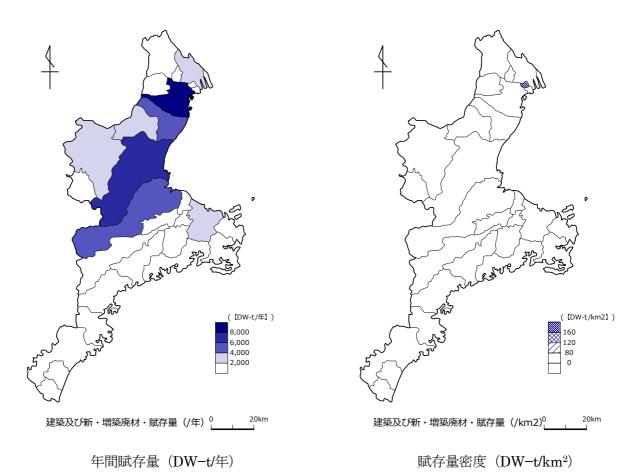


図 2-16 三重県内の市町村別建築系廃材の賦存量

2.8 海藻資源について

天然資源のうち、セルロースナノファイバー原料として期待される資源の一つに、海藻類がある。海藻は、褐藻、紅藻、緑藻に分類され、コンブなどの褐藻、アオサ等の緑藻など、一部食料として利用されるものはあるが、ほとんどは食料としての利用はなく、手つかずの未利用バイオマスといえ、エタノール利用などの研究も盛んに行われている。緑藻、褐藻、紅藻の大型海藻全体の資源量をみると、コンブやワカメ、ホンダワラなどが属する褐藻が圧倒的に多いが、褐藻は炭水化物としてセルロース系多糖も含むが、マンニトール、ラミナラン、アルギン酸など、複雑な成分を含んでいるためエタノール発酵が困難である。一方、アオサなどの緑藻は含まれる多糖が陸上植物に似たセルロースやデンプンであり、比較的容易にエタノールの製造が可能と言われている。セルロースナノファイバーの製造に関しても、やはり陸上植物に似ている点は注目すべきであり、海藻由来のセルロースに関する研究も緑藻類を対象としたものが見られる。

海藻由来のセルロースについては、以下の文献でその特徴が調べられている。

Nanodomains of I_{α} and I_{θ} Cellulose in Algal Microfibrils, Tomoya Imai and Junji Sugiyama, *Macromolecules*, 31 (18), pp 6275–6279, 1998 (文献 2-7)

《概要》天然の結晶性セルロースは、2 つのファミリーに分類され、すなわち、 $I\alpha$ 量に富んでいる藻類とバクテリア由来のグループと、 $I\beta$ が多いコットン、ラミーなどの高等植物由来のグループであると報告されており、藻類由来のセルロースが高等植物由来のセルロースとは異なる特徴があることが示されている。

Entire Surface Oxidation of Various Cellulose Microfibrils by TEMPO-Mediated Oxidation, Yusuke Okita, Tsuguyuki Saito and Akira Isogai,

Biomacromolecules, 11(6), pp 1696–1700, 2011 (文献 2-8)

《概要》針葉樹由来の漂白パルプ、広葉樹由来の漂白パルプ、綿、バクテリア、ホヤ、シオグサ属の海草を試料として、TEMPO 触媒酸化により、セルロースナノファイバーを調整した。天然セルロースサンプルの結晶構造、結晶サイズ、ミクロフィブリルの形態は、それぞれ異なる特性を有しており、木材や綿などに比べ、シオグサ属セルロースは、結晶幅が大きいことが示され、比表面積が小さくなるため、表面に露出している単位重量あたりの 1 級水酸基量が少なく、結晶幅の小さな木材セルロースは、逆に多くなると報告されている。

Table 1.	Profiles of the	TEMPO-Oxidized	Native Celluloses

origin ofcystal si	cystal size (nm) ^a		cystal size (nm) ^a oxidation end carboxylate		aldehyde	total content of functional groups ^c		
cellulose sample	C ₁	C ₂	CA	point (h)b	content (mmol/g)		(mmol/g)	(mol/mol of monomer unit)
softwood	3.5	4.1	3.8	4.0	1.65	0.07	1.72	0.30
hardwood	3.5	4.1	3.8	4.3	1.69	0.00	1.69	0.29
cotton	4.5	6.2	5.4	3.7	1.36	0.00	1.36	0.23
bacteria	5.4	6.2	5.8	2.7	1.05	0.10	1.15	0.19
Halocynthia	7.6	10.6	9.1	2.5	0.59	0.06	0.65	0.11
Cladophora	11.9	14.4	13.1	3.0	0.52	0.00	0.52	0.09

^a The C₁ and C₂ are crystal sizes of the planes corresponding to d-spacings of 0.60-0.61 and 0.53-0.54 nm, respectively. The C₄ is the average value of C₁ and C₂. ^b The time when almost no consumption of NaOH, monitored with a pH stat, was observed during the reaction for 5 h. ^c Total content of carboxylate and aldehyde groups, expressed as mmol/g and mol/mol of monomer unit in the oxidized sample.

これらの文献は、一部の海藻に関する結果ではあるが、木材由来のパルプ等とは異なるセルロースナノファイバーとしての特徴を報告したものであり、海藻への期待が窺えるものである。

そこで、水産資源が豊富な三重県の状況を調査して、CNFの原料としての可能性を調査した。

2.8.1 三重県の海藻資源について

三重県沿岸は、南北に約1,000kmに及ぶ長い海岸線が連なり、外洋およびリアス式の内湾を有するため、地理的、海況的な環境に恵まれている。海藻の種類は非常に豊富であり、おおむね200種類ほどの海藻があると言われている。

海岸線は、伊勢湾海域と熊野灘海域に区分され、伊勢湾内の砂泥の浅い海底には海草(アマモ、コアマモ)が、伊勢湾南部から熊野灘沿岸の波あたりの穏やかな岩や石の海底ではホンダワラ類(ガラモ場)、岩場の波あたりの激

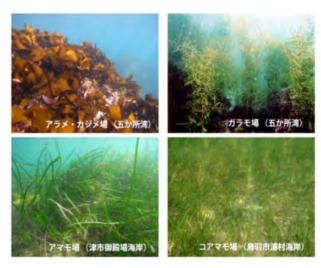


図 2-17 三重県で生育する海藻例

しいところでは、アラメやカジメが多くなっている。

海藻の分布は藻場の分布として調査されており、日本における代表的な藻場は、アマモ場、アラメ・カジメ場、ガラモ場、コンブ場であり、他に、テングサ場、アオサ場、ワカメ場などがある。藻場における海藻の鉛直分布は、図 2-18 のように分布している。

三重県では、これまでにアマモ場の再生に取り組んでおり、海藻や海草の生育環境、藻場の管理、利用について知見を有している。三重県の藻場については、三重県農林水産部水産基盤整備課が調査しており、その分布については、「藻場・干潟等分布状況マップ作成委託業務報告書(平成22年度)」にまとめられている。それを元に、三重県の藻場の分布

について表 2-5 (次頁)、図 2-19 (次々頁) のとおりまとめた。三重県においては、コンブ 場を除いて、藻場が広範に分布しているが、特に、松阪地区 (表 2-5 及び図 2-19 中の(8)) 以南から五カ所湾 (表 2-5 及び図 2-19 中の(24)) の面積が大きいことがわかる。

三重県の松阪地区 (表 2-5 及び図 2-19 中の(8)) 以南では、ヒトエグサ (Monostroma、アオノリ (地方名:あおさ)) の養殖が盛んで、その生産量は日本一で約 500 トン、シェアは 6 割程度である。ここで、この養殖のアオサはヒトエグサの「あおさのり」を言い、海藻の分類上のアオサとは異なる。分類上のアオサ (アナアオサ、リボンアオサ、ナガアオサなど) は、食用に供されることはなく、富栄養化した湾内では大量発生し、漁業等に被害を及ぼすことがある。

三重県の主な海藻の生産量と生産額を表 2-6 のとおり、まとめた。(表に記載以外の海藻類は、生産量、生産額共に少ないため、ここには記載していない。)

数量0 二重水砂-	上・よ 母 未・ッ 上 / 土 / 主 圭			
	黒ノリ	青ノリ	ヒジキ	ワカメ
生産量(トン)	714	461.9	280.7	700
生産額 (億円)	23.6	16.1	3.7	5.6

表 2-6 三重県の主な海藻の生産量と生産額

- ※ ヒジキは天然の収穫量、他は養殖による生産量
- ※ 三重漁連資料、漁業・養殖業生産統計などからまとめた



図 2-18 藻場の鉛直分布

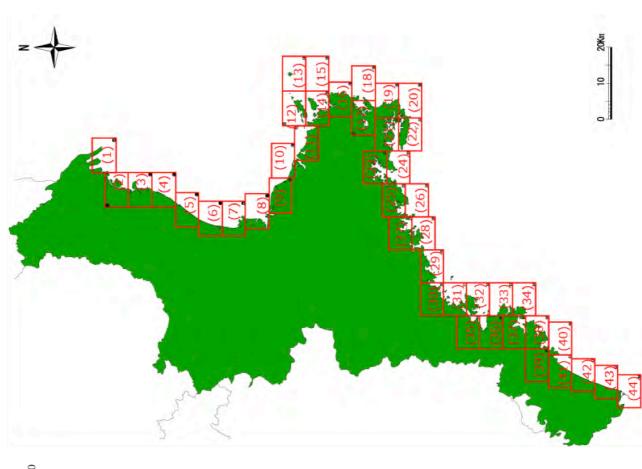
(http://www.jfa.maff.go.jp/j/kikaku/tamenteki/kaisetu/moba/moba genjou/より引用)

表 2-5 三重県の海域区分ごとの藻場分布

http://www.pref.mie.lg.jp/SUIKIBAN/HP/moba/Map/H22_Map/Map.html

		IKIBAN/HP/moba/Map/F	122_Map/Map.ntmi
海域区分藻場面積	(ha)	主な藻場	
(1)長島地区		その他	
(2)四日市地区		アオサ場	
(3)楠地区		その他	アオサ場
(4)鈴鹿地区		その他	アオサ場
(5)白子地区	0		
(6)津地区		アオサ場	
(7)雲出地区		アオサ場	アマモ場
(8)松阪地区		アマモ場	アオサ場
(9)明和地区		アマモ場	その他
(10)伊勢地区		アマモ場	アオサ場
(11)二見地区		アマモ場	アオサ場
(12)答志島地区		アラメ・カジメ場	ガラモ場
(13)神島地区		アラメ・カジメ場	ガラモ場
(14)鳥羽北地区		アラメ・カジメ場	ガラモ場
(15)鯛島礁地区		アラメ・カジメ場	
(16)鳥羽南地区	258.3	アラメ・カジメ場	ガラモ場
(17)的矢地区		アラメ・カジメ場	ガラモ場
(18)的矢東地区	151.7	アラメ・カジメ場	
(19)阿児地区	475	アラメ・カジメ場	アマモ場
(20)大王地区	607	アラメ・カジメ場	アマモ場
(21)英虞湾地区	242.7	アマモ場	アラメ・カジメ場
(22)志摩外海地区	1,379.90	アラメ・カジメ場	ガラモ場
(23)五ヶ所湾北地区	31.2	アラメ・カジメ場	その他
(24)五ヶ所湾南地区	249.4	アラメ・カジメ場	ガラモ場
(25)贄湾北地区	20	アラメ・カジメ場	ワカメ場
(26)贄湾南地区	17.4	アラメ・カジメ場	
(27)奈屋浦、神前浦地区	13	ワカメ場	ガラモ場
(28)方座浦、古和浦地区	37.9	ガラモ場	
(29)古和浦、錦地区	86.5	アラメ・カジメ場	ガラモ場
(30)紀伊長島北地区	34.8	アラメ・カジメ場	ガラモ場
(31)紀伊長島南地区	124	アラメ・カジメ場	ガラモ場
(32)島勝地区	1.3	アラメ・カジメ場	
(33)九鬼地区	16.1	ガラモ場	アラメ・カジメ場
(34)早田地区	30.9	ガラモ場	その他
(35)海山地区	19.6	ガラモ場	
(36)尾鷲湾地区	2.2	その他	
(37)賀田湾地区	41.6	テングサ場	その他
(38)二木島地区	53.6	ガラモ場	テングサ場
(39)新鹿湾地区	32.6	ガラモ場	テングサ場
(40)磯崎地区	27.9	テングサ場	
(41)木本地区	6.2	テングサ場	
(42)御浜地区	6	アラメ・カジメ場	
(43)紀宝地区	30.5	アラメ・カジメ場	
(44)鵜殿地区	3.1	アラメ・カジメ場	
<u></u>	5 5// 20		

合計 5,544.20



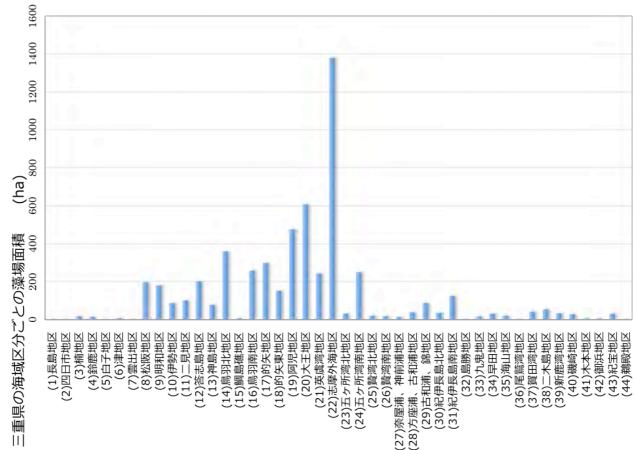


図 2-19 三重県内の海域区分ごとの藻場面積

2.8.2 海藻を利用するための必要資源量の算出

これらの海藻を原料として、年産 50 トン(CNF: 2wt%)を製造するプラントを想定して、資源の必要量を試算する。

不溶性植物繊維が乾燥物あたりで約 40%であるが、この不溶性食物繊維をすべてセルロースと仮定して、50,000 kg * 0.02 / 0.40 = 2,500 kg の乾燥物が必要となる。海藻類の水分は 88% ((文献 2-9) より、三重工研調査 14 種類の平均値)として、海藻の水分を含む収穫量は、20,800 kg が必要となる。

資源名	年産量(t)	CNF wt%	Cellulose 分	資源量(dry)(kg)	水分量	必要資源量(kg)
海藻	50	2%	40%	2,500	88%	20,833

黒ノリ、青ノリの生産量に近い値となっているが、これらは既に利用されている資源であり、海藻をセルロースナノファイバー化する場合、これらと同等の規模での養殖生産が必要であることがわかる。

Okita (文献 2-8) らは、Cladophora sp. (シオグサ目)を試料として、ナノファイバー化を行っている。Cladophorales シオグサ目とは、緑藻植物門のアオサ藻綱の下位分類に含まれる科目で、マリモ、ジュズモ、バロニア、アオモグサ、マガタマモなどである。この科目は、アオサ場に生息しており、三重県内にも分布している。シオグサ目は太平洋沿岸域の潮間帯に生息し、その分布は広範に渡るが、潮間帯に生息するため線状の分布となるため面積としては大きいとは言えず、また、その形態が微細な糸状であるため、資源量としては、少ないものと思われる。

しかしながら、Okita らの文献で対象となっている試料が含まれる緑藻類として考えた場合、緑藻類は、干潮時に干上がるような場所や海面近くで生育することが知られており、干満の差が大きい太平洋側での生育に向いていると言われ、全体の資源量は豊富であり、三重県での生育にも適した資源である。緑藻類は、褐藻類、紅藻類よりも、陸上植物に近い組織で構成されていることから、セルロースナノファイバー化に適していると思われ、期待ができる資源である。

2.8.3 海藻を利用するための課題整理

三重県での生産量は多くない(全国の 3%程度)が、海苔(黒ノリ)は色落ちなどの問題から市場に出荷できないものもあり、生産者(ノリ養殖業者)が廃棄している場合もある。未利用資源として考えた場合、養殖品であるので他品種の混入や夾雑物が比較的少ないと思われるが、その供給量が気候や海況によって大きく左右されるため、安定した入手が困難となり、セルロースナノファイバー原料としての利用は難しいと思われる。

褐藻におけるセルロース成分以外の成分は、有用成分ではあるもののセルロースナノファイバーの製造においても、エタノール製造と同様に残渣として扱われるため、緑藻が有利である。しかしながら、加工技術の開発により、褐藻から、化粧品分野などで海藻エキスと言われているような成分を抽出できれば、資源としての海藻の価値が上がり、海藻エキスの残渣としてセルロースが扱われれば、価格的には有利となるであろう。

例えば、三重県では、未利用の海藻資源を高付加価値化する取り組みの中で、褐藻類のアカモク(図 2-20、ホンダワラの仲間、海のじゃまものなどと言われる)から、有用成分の抽出を研究開発している。成分抽出後の殻は廃棄物となるが、有用成分の抽出時に前処理がされているため、夾雑物の混入は少なく、セルロースナノファイバー化のための前処理加工が少なくなるため、資源としては有利である。



図 2-20 アカモク

緑藻類は、高機能な海藻として注目され、養殖も研究されている。褐藻と同様に、有用成分の抽出が目的であるが、その残渣はセルロースである。緑藻は、褐藻よりも収穫は容易であり、また、陸上植物に似ているという点からも、セルロース資源としては有利であると考えられる。

緑藻類は、海面近くの分布となり、主に潮間帯に分布する。すなわち、三重県内での分布可能域は広く、地理的にも有利である。

三好らの海藻類の調査(文献 2-10)では、発酵原料としての利用を前提に、その収集特性も調査しており、アオサ類の収集適性は、「A」(1 人 10 分の作業で藻体 1kg(湿重量)以上の収集が可能であったもの)に分類されており、資源として集材しやすいものである。

三重県の海藻資源について、非食用の海藻資源での可能性があることは、注目すべきである。

CNF 化のための技術開発が必要であることは言うまでもない。加えて、海面からの集材については、機械化などについても調査しながら、三重県における集材特性について、調査する必要がある。また、先行利用が検討されている海藻については、資源利用において共存できるかも検討する必要がある。

海洋資源のことであり、現在の工業系のグループのみでは解決できない課題が多く、三 重県水産研究所などと協力しながら、さらなる課題の抽出と整理を行い、三重の地域資源 としての可能性を探りたい。

2.9 三重県内地域資源の CNF 原料としての可能性

三重県内のバイオマス資源を、NEDOによる「バイオマス賦存量・有効利用可能量の推計」等の調査に基づいて、調査、分析した。その結果をもとに、 CNF 原料としての可能性について、評価を行うこととした。

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 (文献 2-11)では、セルロースナノファイバーの生産量規模イメージとして、現在が50t、2020年では600t~900t、2030年では150,000tから225,000tと、予測している。全てのバイオマス資源がCNFになるものと仮定して、有効利用可能量とセルロース成分の割合から、10%CNFの年産量を試算した。2030年の150,000tを基に、次のように評価した。

 \bigcirc : >150,000t, \bigcirc : >100,000t, \triangle : >10,000t, \times : <10,000t

その結果を表 2-7 に示す。ここでは、製造コストは考えずに、有効利用賦存量から生産できる量を算出したのみであるが、2020 年の生産規模イメージでは、全てのバイオマス種でCNF 原料として十分な量が供給されると評価された。

± 0-7	二番旧内のバ	ノナマフ次酒かこの	10wt%CNFの年産量試算結果
衣 Z-1	二、里 県内ルノバイ	オマム貨/訳/かりの	' IUWT%UNI' 少年 年里武昇衍来

			七州利田司松县	Cellulose		
バイオマス種	分類	分類	有効利用可能量 (DW-t/年)	Cellulose 成分	CNF 年産量(t)	評価
林地残材	木質系	未利用系	1,242	50%	6,210	X
切捨間伐材	木質系	未利用系	6,267	50%	31,335	\triangle
製材廃材	木質系	廃棄物系	4,086	50%	20,430	\triangle
タケ	木質系	未利用系	12,376	50%	61,880	\triangle
果樹剪定枝	木質系	未利用系	5,177	45%	23,297	\triangle
稲わら	農業残渣	未利用系	21,577	35%	75,520	Δ
もみ殻	農業残渣	未利用系	2,895	40%	11,580	\triangle
麦わら	農業残渣	未利用系	2,194	35%	7,679	×
農業残渣	農業残渣	未利用系	3,341	40%	13,364	\triangle
ササ	草本系	未利用系	435	40%	1,740	×
ススキ	草本系	未利用系	33,701	45%	151,665	\bigcirc
建築系廃材	木質系	廃棄物系	17,606	50%	88,030	Δ
公園剪定枝	木質系	廃棄物系	1,776	45%	7,992	×

次に、バイオマス資源の可能性調査のまとめとして、賦存量、有効利用可能量に加えて、 各バイオマス種を様々な項目から評価を行った。各項目の説明は以下のとおりである。

集材コストは、既存の集材の仕組みがあることなどは集材に有利であるとして、また、 分布が極端に偏っているもの不利であるなどとして、評価を行った。

加工コストは、原材料の加工方法が確立されているか、パルプ化、CNF化の仕組みがあ

るか、その他の周辺コストなどを検討した結果から、評価を行った。

安定性は、CNFメーカーが工業原料として扱う場合、天然資源の材料としての安定性が 課題となる。合成品に対して、天然資源由来の材料は、気象状況や季節、産地による品質 のバラツキ、収量の増減は避けられず、このバラツキを検討した結果を記載した。

そして、これらに有効利用可能量や集材コスト、加工コストなどに重み付けをして、総合評価を算出した。その結果を表 2-8 に示す。

三重県内の資源で、CNF原料として可能性が高いものは、切捨間伐材、製材廃材という結果となった。他に、林地残材、タケ、稲わら、もみ殻、ススキも、加工方法や集材方法などの課題が残るが期待される資源であるとの結果を得た。特に、ススキに関しては、未利用であり、かつ、利用可能賦存量も多いため、大いに期待できるものと思われ、引き続き、可能性を検討したい。

海藻資源については、未利用資源であり、賦存量など不明な点が多いが、地域の特徴的な資源として、期待したい資源である。

表 2-8 三重県内のバイオマス資源調査結果のまとめ

バイオマス種	分類	分類	賦存量	利用可能量	集材 コスト	加工 コスト	安定性	総合評価
林地残材	木質系	未利用系	\triangle	×	\bigcirc	0	\bigcirc	\bigcirc
切捨間伐材	木質系	未利用系	\bigcirc	\triangle	\bigcirc	\bigcirc	\bigcirc	\bigcirc
製材廃材	木質系	廃棄物系	\bigcirc	\triangle	0	\bigcirc	\bigcirc	\bigcirc
タケ	木質系	未利用系	\bigcirc	\triangle	\triangle	\bigcirc	\bigcirc	\bigcirc
果樹剪定枝	木質系	未利用系	\bigcirc	\triangle	×	\bigcirc	\bigcirc	\triangle
稲わら	農業残渣	未利用系	0	Δ	\bigcirc	Δ	Δ	\bigcirc
もみ殻	農業残渣	未利用系	\triangle	\triangle	\bigcirc	\triangle	\triangle	\bigcirc
麦わら	農業残渣	未利用系	\triangle	×	\triangle	\triangle	\triangle	×
農業残渣	農業残渣	未利用系	\triangle	Δ	\bigcirc	×	×	×
ササ	草本系	未利用系	×	×	×	×	\triangle	×
ススキ	草本系	未利用系	0	0	\triangle	\triangle	\triangle	\bigcirc
建築系廃材	木質系	廃棄物系	0	Δ	Δ	Δ	\triangle	Δ
公園剪定枝	木質系	廃棄物系	\triangle	×	\bigcirc	\bigcirc	\triangle	\triangle
海藻資源	海藻系	未利用系	_		0	×	Δ	Δ

参考文献

- 2-1 新村博, 植物柔組織セルロースの存在形態に関する研究, 東京大学博士論文(2012)
- 2-2 磯貝明, TEMPO 酸化セルロースナノファイバーの調整と特製解析, 東京大学農学部 演習林報告, 126, 1-43 (2011)
- 2-3 伊神裕司,村田光司,製材工場における木質残廃材の発生と利用,Bulletin of FFPRI, Vol.2, 111-114 (2003)
- 2-4 農業工学研究所, バイオマス利活用システムの設計と評価, (2006)
- 2-5 藤井隆夫, 他, 熱重量解析による迅速簡便なリグノセルロースの成分分析, 廃棄物資源循環学会論文誌, Vol. 22, (2011)
- 2-6 山田敏彦, エネルギー作物としてのススキ属植物への期待, Journal of Japanese Society of Grassland Science, 55, 263-269(2009)
- 2-7 Tomoya Imai and Junji Sugiyama, Nanodomains of I_α and I_θ Cellulose in Algal Microfibrils, *Macromolecules*, 31, pp 6275–6279 (1998)
- 2-8 Yusuke Okita, Tsuguyuki Saito and Akira Isogai, Entire Surface Oxidation of Various Cellulose Microfibrils by TEMPO-Mediated Oxidation, *Biomacromolecules*, 11, pp 1696–1700 (2011)
- 2-9 藤原孝之,栗田修,苔庵泰志,地域天然資源の有効成分データベース (第3報),平成 20 年度三重県工業研究所研究報告,No.33,120-133 (2009)
- 2-10三好達夫, 内田基晴, 金庭正樹, 吉田吾郎, 発酵原料としての利用を視野とした海藻草類の収集と成分調査, 水産技術, 6,109-124 (2013)
- 2-11株式会社三菱化学テクノリサーチ, 平成25年度製造基盤技術実態等調査(製紙産業

3. 短期的に実現可能と考えられる CNF 用途開発分野の選定と CO2 削減ポテンシャル の推計

3.1 断熱材分野に関する調査

セルロースナノファイバーの用途開発として、強固なナノ多孔体を有する CNF に着目し、加工性に優れた高分子材料とのコンポジット化を想定した、断熱材への応用の可能性について調査した。また、それらの用途の CO2 削減ポテンシャルについても調査した。

3.1.1 断熱材分野での用途開発に向けた市場調査

断熱材分野での用途開発にあたり、国土交通省により発表された、断熱材の種類ならびに要求される熱伝導率を下記に示す。

折熱材区分	熱伝導率 [W/(m・K)]	断熱材の種類の例
A-1	0.052~0.051	・吹込み用グラスウール (施工密度 13K、18K) ・タタミボード (15mm) ・A 級インシェレーションボード (9mm) ・シージングボード (9mm)
A-2	0.050~0.046	・住宅用グラスウール断熱材 10K 相当・吹込み用ロックウール断熱材 25K
В	0.045~0.041	・住宅用グラスウール断熱材 16K 相当 ・住宅用グラスウール断熱材 20K 相当 ・A 種ピーズ法ポリスチレンフォーム保温板 4 号 ・A 種ポリスチレンフォーム保温板 1 種 1 号 ・A 種ポリスチレンフォーム保温板 1 種 2 号
С	0.040~0.035	・住宅用グラスウール断熱材 24K 相当 ・住宅用グラスウール断熱材 32K 相当 ・高性能グラスウール断熱材 16K 相当 ・高性能グラスウール断熱材 24K 相当 ・高性能グラスウール断熱材 24K 相当 ・高性能グラスウール断熱材 32K 相当 ・吹込用グラスウール断熱材 (マット) ・ロックウール断熱材 (マット) ・ロックウール断熱材 (マット) ・ロックウール断熱材 (マット) ・ロックウール断熱材 (オード) ・A種ピーズ法ポリスチレンフォーム保温板 2号 ・A種ピーズ法ポリスチレンフォーム保温板 3号 ・A種押納断エチレンフォーム保温板 3号 ・A種フェノールフォーム保温板 2種 ・A種フェノールフォーム保温板 2種 ・A種フェノールフォーム保温板 3種 1号 ・A種フェノールフォーム保温板 3種 1号 ・A種フェノールフィーパー 45K、55K ・吹込用セルローズファイバー 25K ・吹込用セルローズファイバー 45K、55K
D	0.034~0.029	・高性能グラスウール断熱材 40K 相当 ・高性能グラスウール断熱材 48K 相当 ・A 種ピーズ法ポリスチレンフォーム保温板 2 種 ・A 種硬質ウレタンフォーム保温板 2 種 ・建築物断熱用吹付け硬質ウレタンフォーム A 種 1 ・建築物断熱用吹付け硬質ウレタンフォーム A 種 2 ・A 種ポリエチレンフォーム保温板 3 種 ・A 種フェノールフォーム保温板 2 種 2 号
E	0.028~0.023	・ A 種押出法ポリスチレンフォーム保温板 3 種 ・ A 種硬質ウレタンフォーム保温板 2 種 1 号 ・ A 種硬質ウレタンフォーム保温板 2 種 2 号 ・ A 種硬質ウレタンフォーム保温板 2 種 3 号 ・ A 種硬質ウレタンフォーム保温板 2 種 4 号 ・ A 種フェノールフォーム保温板 2 種 3 号
F	0.022 以下	A種フェノールフォーム保温板1種1号A種フェノールフォーム保温板1種2号

表 3-1-1 断熱材の種類とその要求性能 (国土交通省資料より)

東京大学磯貝教授、齋藤准教授らによると、TEMPO 酸化セルロースナノファイバー (TOCN) により形成されたエアロゲルの熱伝導率は0.018 W/mK とされており、上記の 断熱材と比較すると非常に低いことがわかる。そこで、断熱材の薄膜化、植物由来資源の 適用による CO2 削減の観点から、断熱材市場、および同分野への TOCN の適用について 調査を実施した。

矢野経済研究所による断熱材の市場調査を図 3-1-1、3-1-2 に示す。住宅用断熱材の出荷推移は総じて変化はないが、新築住宅数は減る傍ら、1 棟当たりに使用される断熱材は増加している。この調査より、消費者による断熱材への期待の高さ、並びに住宅・建設会社による断熱材の積極適用が見込められる。

また、断熱材の有力メーカーに ヒヤリングしたところ、住宅用断 熱材のうち約8~9割近くが新築住 宅向けと言われており、新築での 需要確保が断熱材メーカーにとっ て大きな課題となっている。新築 住宅向けの断熱材については、長 期優良住宅への動きや 2020 年新 建築物の省エネ基準に向けて、市 場環境が追い風となっているよう である。特に、住宅の ZEH (ネッ ト・ゼロ・エネルギー・ハウス) 化や建材トップランナー制度など により、住宅用断熱材の高性能化 が進み、住宅の更なる高気密・高 断熱化により住宅用断熱材の使用 量の増加が期待できる。高齢化社 会においても、冬場でのヒートシ ョック対策としての関心が高まり つつあり、安全・安心の観点から も断熱材の見直しが始まっている ようである。

中長期視点では人口減少による 新設住宅着工戸数は減少傾向が予 測されている。日本の住宅の断熱 基準は先進国の中でも最低レベル



図 3-1-1 住宅用断熱材の出荷量の推移

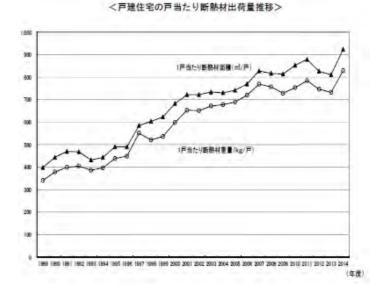


図 3-1-2 戸建住宅の断熱材出荷量の推移

であり、また住宅の断熱化率の最低レベルである。先進国並みの高いレベルの基準や断熱 化率が求められており、ビルなど、企業の CSR 活動を取り入れながら、住宅の高断熱化 を狙う取り組みが必要であるだろう。行政と産業が一体化したエコシステムの構築が重要 になると思われる。 断熱材の有力メーカーにヒヤリングした内容を下記にまとめる。特に、リフォームを活用した「断熱リフォーム」を活用した施策がひとつのきっかけになりそうである。

調査日	調査先	調査者	概要
H27.10.29	旭ファイバー	JSR(株)	・2014年より住宅営業部内にリフォームグループを新
	グラス	濱田	設し、リフォーム時の断熱材の適用の加速に着手。
	(電話調査)		・「アクリアブロー」「アクリア U ボード」等の有力商
			品のほか、断熱リフォームに的を絞った「リフォエコ」
			シリーズを発売。既存の壁の上から短期間で施工可能
			なうえ、手頃な価格で断熱リフォームを可能とする。
			・壁の断熱改修では、浴室などの水周りや窓のリフォ
			ームに合わせて行い、費用を抑えた効果的な断熱リフ
			オーム工事を提案中。
			・天然物からの断熱材は、外部へのアピールの上でも
			非常に興味はあるが、性能低下や大幅なコストアップ
			は避けたいとのこと。一方で、断熱性の向上には興味
			があるとのこと。
H27.11.25	ダウ加工	JSR(株)	・断熱リフォーム需要は今のところ非常に少ないが、
	(電話調査)	濱田	今後拡大する余地があり、施工が容易でコストを抑え
			る断熱リフォーム用商品と工法の開発を行っている。
			・スタイロフォーム芯畳の「かるい匠」と簡単施工の
			床断熱「Z工法」の組み合わせで、夏場の侵入熱や室内
			の火照りを防止し、快適性の改善に繋がり、エコリフ
			ォームでの採用促進を図っている。
			・天然素材による高断熱材は興味があるようだが、コ
			ストとのバランスが重要とのこと。
H27.11.27	積水化成品工	JSR(株)	・リフォーム分野については、RC造の外断熱需要など
	業	濱田	ではみられるが、本格的な住宅リフォーム需要には顕
			在しておらず、具体的な取り組みはまだ出来ていない。
			・リフォーム分野への商品開発や販売強化を検討して
			おり、グループ企業内で競合する技術も検討中である
			様子(詳細開示はなし)。
			・天然素材による断熱材を用いた CO2 削減は興味があ
			るものの、国規制等のドライバーが欲しいところ。企
			業からのアプローチは難しいとのコメントあり。
H27.12.8	JFE ロックフ	JSR(株)	・6,000 万戸に達した既存住宅の断熱性能は、H11 年
	アイバー	濱田	基準に相当する住宅が 5%しかなく、無断熱も 39%あ
			り、市場は有望と認識。
			・現在、充填断熱が中心のロックウールは、既存の壁

		Г	
H27.12.10	旭化成建材	JSR(株)	を開けないと工事が難しく、なかなか顕在化してこないという認識もある。しかし、「中古住宅・リフォームトータルプラン」の必須項目が「耐震性」と「劣化対策」であり、耐震工事には壁を解放することが多く、充填断熱の可能性が増えるとも見ている。・環境の意識は強いため、行政を巻き込んだキャンペーンで CO2 削減素材は興味あり。ただ、懸念はコストアップ。
		濱田	(9.5mm)複合で準不燃材料認定の「ネオマ断熱ボード」を発売。 ・「ネオマ断熱ボード」は既存壁・天井に取り付けるだけの簡単な施工で、住みながらの断熱リフォームが可能であり、日常生活におけるゾーン断熱ができる。 ・今後は新耐震制度以前の住宅リフォームや建て直しもターゲットとして捉えている。 ・ナノセルロースを用いた技術は天然素材と言う観点から興味がある。断熱ボードの薄膜化で可能かどうかであるが、高価格は NG。
H27.12.14	積水化学工業	JSR(株) 濱田	・現状は地域ビルダー向けの営業を主とし、リフォーム専門の営業は行っていない。また断熱リフォームは一般的に壁面積等の大掛かりな工事になるという認識が強く、あまりリフォームの動きは出てきていない。・一方、リフォームニーズに対応した商品開発も行っており、耐震と断熱を組み合わせたリフォームも目指している。・ウッドワンと共同開発した「あったかべ」を展開中。「フェノバボード」の高断熱性能を活かし、薄くても断熱性能を発揮することができるため、必要な部屋だけ内側から増し貼りすることで断熱性能を向上させるとともに、空間を広く確保でき、施主が居住したまま短期間で施工が可能となっている。・現行はフェノールフォームであり、価格微増でも、天然素材であれば CO2 削減の点から興味深い。
H27.12.25	LIXIL	JSR(株) 濱田、藤岡	・断熱性と透明性を両立した材料であれば、窓ガラスの断熱(サッシ)に有望性あり。・過去にシリカの真空バルーンを使ったことがあり、
			厚みを 1/2 にすることが出来たが、コストが高いところ が懸念である。

			・コスト意識が高く、TOCN の低価格化が必要となる。
			高付加価値としては難しそう。
H28.1.11	フクビ化学	JSR(株)	・同社の商材をトータル的に提供するリフォームサー
		濱田	ビス「リステム」を展開しているが、断熱工事は付加
			的な位置づけであり、断熱のみを求めるリフォームは
			少ない。
			・ビーズ法ポリスチレンフォーム断熱材のリフォーム
			用途は約 10%と推定されるが、リフォーム分野の営
			業・開発を強化していく方向にある。
			・仮説通りの断熱性が出せるのであれば非常に興味深
			く、FS として検討したいとのこと。

このように、断熱材メーカーのうち、数社はリフォームやリノベーションに向けた取り 組みを実施しているが、他の有力企業においては、期待はあるものの本格的な取り組みが 行われていないことが多く、多くは市場変化の様子を伺っている状況にある。

一方、TOCNを用いた断熱材の最大の課題はコストであり、高断熱性化がそのまま高付加価値として受け入れられるわけではないと思われ、断熱性に加え、別な機能性を付与することも必要であろう。例えば、住宅向けの断熱材であれば、ひとつは CO2 規制が挙げられる。有機材料を用いている現状からみると、CNF の利用は断熱材の製造に対する大きなメリットとなりそうである。もう一つは、軽量化である。高断熱・高軽量化として期待できるアプリケーションは断熱窓と思われ、樹脂窓は、樹脂加工や調光材料の観点から、光量、熱量を制御する動きもある。断熱性に加え、透明性確保も可能であれば、これらの用途への展開は期待できる。

3.2.2 断熱材分野の用途開発に関する CO2 削減量の算出

断熱材分野の材料開発では、従来、高断熱用途多孔材料としては、シリカ粒子等ゾルゲル反応を利用したエアロゲルが報告されているが、多孔性の規則性が乏しいため材料として脆く実用化に課題が残る。これに対して、TOCNを用いたエアロゲルは、自己組織化されたナノ空隙構造を有し、十分な多孔性を持ちながらも高強度という特徴を有するため、新たな高断熱用途多孔材料として期待できるものである。最終製品としては、住宅、自動車用途の断熱材、断熱フィルム、樹脂窓等が想定され、それらの用途の CO2 削減ポテンシャルについても、調査、検討した。

石油製品の代替として、ミクロフィブリル単位まで分散された TOCN を用い、自己組織化されたナノ空隙構造を有するエアロゲル(以下、TOCN エアロゾル)を検討した。空隙率のターゲットは、シリカ粒子を用いたエアロゲル(以下、シリカエアロゲル)相当の99%を目標としており、現行品であるウレタンフォームや発泡ポリスチレンと比較すると約3~5倍の断熱性が期待される。これら断熱性の向上による CO2 削減効果を下記に示す。

(a).断熱材の製造に関する CO2 削減量の算出

【建材】外壁、屋根、天井、床を合わせた 1 棟あたりの断熱材は平均 $50 {\rm Kg}$ であり、平成 25 年の年間住宅着工数(980,025 万戸)に適用されたと仮定して換算すると、 $49,001 {\rm t/F}$ の使用量に相当する。

硬質ウレタンフォームの製造にあたり使用される石油使用量を 1.2 mL/gと仮定すると、年間石油使用量は 58,801 KL/年と算出される。

CNFは植物由来のカーボンニュートラルの材料であり、本材料の製造に必要な石油使用量を 70%カットできると仮定すると、 $\underline{CO2}$ 排出量: 57,549t/年の削減効果が見込まれる。

【樹脂窓】住宅 1 棟あたりに適用可能な断熱シートは平均 10Kgであり、断熱シートの製造にあたり使用される石油使用量を 1.9mL/g、TEMPO酸化CNFエアロゲルシートの製造に必要な石油使用量を 70%カットできると仮定し、上記同様に計算すると、排出量: 18,224t/年の削減効果が見込まれる。

(b).断熱材としての製品活用時(CNF出口製品)に関する CO2 削減量の算出

【建材】建築環境・省エネルギー機構(IBEC)の「自立循環型住宅への設計ガイドライン」(文献 3-1-1)に準じて計算する。

シリカエアロゲルの熱伝導率(< 0.02 W/mK)(文献 3-1-2)から計算された冷暖房エネルギー削減量を 55%と仮定すると、住宅 1 棟あたりの省エネルギー基準相当の断熱水準による年間CO2 排出量 583Kg-CO2 から計算されるCO2 削減量は 320Kg-CO2 となり、平成 25 年の年間住宅着工総数(980,025 万戸)(文献 3-1-3)に適用されたと仮定して換算すると、CO2 排出量:313,608t/年の削減効果が見込まれる。

【樹脂窓】上記同様、期待される熱伝導率から計算された冷暖房エネルギー削減量を 35% と仮定すると、住宅 1 棟あたりの省エネルギー基準相当の断熱水準による年間CO2 排出量 577Kg-CO2 (文献 3-1-1) から計算されるCO2 削減量は 202Kg-CO2 となり、年間住宅着工層数に適用されたと仮定して計算すると、CO2 排出量: 197,916t/年の削減効果が見込まれる。更に、断熱性以外に透明性等課題はあるものの、本樹脂窓が自動車に適用された場合、フロントガラスを除き、1 台あたり 20Kgの軽量化に繋がる。この場合、1Km走行あたり 5g-CO2 の削減が可能であり、1 台あたりの年間走行距離 5,400Km、年間販売台数を 499 万台(2014 年度集計)(文献 3-1-4)すべてに適用されたと仮定すると、CO2 排出量: 134,730t/年の削減効果が期待できる。

参考文献

- 3-1-1 http://www.jjj-design.org/elements/06.html, 一般財団法人建築環境・省エネルギー機構
- 3-1-2 http://www.jfcc.or.jp/23_develop/13t20.html, 一般財団法人 ファインセラミックスセンター
- 3-1-3 http://www.mlit.go.jp/report/press/joho04_hh_000506.html, 国土交通省
- 3-1-4 http://www.mlit.go.jp/statistics/details/jidosha_list.html,国土交通省

3.2 水素透過膜分野に関する調査

3.2.1 水素透過膜分野の用途開発に関する調査

セルロースナノファイバーの用途開発として、バイオエタノールを利用した水素製造システムでの利用可能性を調査した。最終的には、燃料電池自動車(FCV)や定置型燃料電池への水素供給システムとしての成立可能性を調査、検討した。

主な調査の概要は、以下のとおりである。

調査日	調査先	調査者	概要
H27.10.15	京都大学	工業研究所	固体水素源から発生した水素ガスの透過特性について
	平尾研究室	庄山	検討した。京都大学では、化石燃料に頼らない水素製
	(京都市)		造技術を研究開発している(下記化学反応式)。
			$CaH2 + H2O \rightarrow 2H2 + Ca(OH)2$
			特徴としては、水素発生時に残差として Ca(OH)2 (水
			酸化カルシウム)が生成するのみであり、有害物質は
			一切排出しないことである。この水素発生装置におい
			て、装置起動初期に発生水素中に空気が混入すること
			があり、その除外を検討しているとのことであった。
			CNF 膜が省エネルギーで水素ガス分離ができるので
			あれば、検討したいとのことであった。
H27.10.26	第100回SOFC	工業研究所	SOFC のターゲットも家庭用から大規模なコジェネレ
	研究会	橋本	ーションシステムまでと様々であり、SOFC の特徴と
	(東京)		して燃料の多様性が挙げられる。都市ガスなどを改質
			して水素を製造する際に発生する CO2 を除去するこ
			とは、水素濃度を上げ、性能向上につなげるために重
			要。CNF利用はその手法の1つとして可能性があると
			思われる。
H27.11.18	山梨大学クリー	工業研究所	CNF の利用先について、調査を行った。CNF の用途
	ンエネルギー研	庄山、橋本	としては、燃料電池や水素製造に用いる電解質膜への
	究センター		応用について、可能性のあると思われるとのこと。フ
	(山梨県)		ィルターではないが、炭化水素系電解質への CNF の添
			加によって、高強度化なども期待でき、更に低コスト
			化も期待できるではないかとのこと。
H27.12.3~	第 35 回水素工	工業研究所	水素透過膜にはポリマーや金属 Pd などが検討されて
H27.12.4	ネルギー協会	庄山、丸林	いるが、ここでは CVD 法にて作製されたシリカ膜にて
	(東京)		報告された。様々なシリカ源6種類を用いて成膜し、
			水素、窒素、SF6 ガスでの気体透過性能を評価した。
			その結果、有機官能基サイズが大きくなるほど膜の中
			の細孔径が大きくなり、有機官能基のサイズから水素

	1		
			透過性の予測が可能となった。
			機械的強度、化学的安定性に優れるゼオライト
			(0.55nm_MFI)をシリカ基材上に成膜し高いガス透過
			性を持つ膜を開発。さらに、結晶化促進効果のある NaF
			を添加する際の量や合成時間の検討を実施。その結果、
			水素透過率 9.8×10-6molm-2s-1Pa-1、窒素透過率 3.7
			×10-6molm-2s-1Pa-1、H2/SF6 透過率比 186、N2/SF6
			透過比 93.9 と高い性能の MFI 膜を得ている。
H28.1.6	セラミックス基	工業研究所	高温の熱を用いて水を分解し水素を製造するISプロセ
~	礎科学討論会	庄山、橋本	スの技術開発を進めている。IS プロセスによる水分解
H28.1.7	(佐賀市)		の反応式を示す。
			1) $I2 + SO2 + 2H2O \rightarrow 2HI + H2SO4$
			2) 2HI → H2+I2
			3) $H2SO4 \rightarrow H2O + SO2 + 0.5O2$
			IS プロセスは、原料水をヨウ素や硫黄の化合物と反応
			させ、その生成物であるヨウ化水素及び硫酸の熱分解
			反応によって、水素と酸素を製造する。この方法では、
			原料として水を用いるため、二酸化炭素は一切排出さ
			れないが、硫酸の熱分解反応には、900℃程度の温度が
			必要である。
			IS プロセスによる水素製造のためのプロセス上の課題
			は、反応生成物の分離とのこと。すなわち、上記式 2)
			における水素発生時にヨウ素を分離する必要がある。
			このような状況に CNF による水素透過特性が応用可
			能ではないかと思われる。
H28.2.8	東京大学	工業研究所	東京大学作製の CNF 薄膜については、第一工業製薬製
	齋藤研究室	庄山、橋本	とは異なり、分散剤や防腐剤が含まれておらず、その
	(東京)		含有量は 0.1%。この溶液をペトリ皿に分取し、1cm 程
	(技術アドバイ		度の厚みから 40℃程度でゆっくりと薄膜化を行ってい
	ザー打合せ)		る。 水素透過の評価方法については、100kPa 以下の比
			較的低圧で試験をしている。水素ガスの分析には
			FT-IR(TCD 検出器)により実施している。
			CNF 膜によるガス透過特性に関する研究は、ここ1年
			ほどで急激に盛んになってきている。
			東京大学と第一工業製薬製の CNF 膜による水素透過
			特性の違いは、添加剤等の影響の可能性がある。
H28.2.8	東芝	工業研究所	現在の CNF 由来水素透過膜の状況について、耐窒素比
	中島様	庄山、橋本	で 2000 倍以上の水素透過特性があること、ただしこれ
	(川崎市)		は、完全ドライ条件が必要であり、湿度を含むと水素
-	•		

	(技術推進委員		ガスの選択性が低下することなどを説明した。
	打合せ)		東芝から CNF 系水素透過膜について、下記のコメント
			をいただいた。
			・水電解における酸素発生側に微量の水素が混じる場
			合がある。これは危険なので、そこから水素を選択的
			に取り除けるのであれば、用途の一つに考えられるの
			ではないか。
			・コンビナートにおける副生水素などにおいても、そ
			の高純度化を低コスト(加熱等の追加エネルギーなし)
			で達成できるのであれば、用途が広がるのではないか。
			・コスト的には Pdがコストターゲットとなるので、
			水素透過特性等の性能が同等まで向上すれば、可能性
			があるのではないか、とのこと。
H28.3.2	FC-EXPO2016	工業研究所	水素用高圧水素容器について調査を行った。現在は、
~	(東京)	庄山、橋本	Type3 (金属ライナー) とタイプ 4 (樹脂ライナー) が
H28.3.4			あり、軽量化のため樹脂ライナーが使用されつつある
			とのことであった。
H28.1.22	三重大学	工業研究所	バイオリファイナリー研究会における水素製造につい
	田丸研究室	庄山	て検討した。現在はバイオマスから糖化反応を用いて
	(津市)		約80%の収率が達成されており、価格については、ま
			だ高コストであるものの、原料や酵素、さらにはプロ
			セス効率化により 100 円/L が見えつつあるとのこと。
			現在のバイオエタノールの用途としては、エコガソリ
			ン(E3・E10)のほかに、燃料電池利用に対する大き
			な期待があるとのこと。
H28.1.28	鈴鹿高専	工業研究所	水素透過試験の実施、金属系水素透過膜との比較検討
他(随時)	南部研究室	庄山、橋本	調査及び可能性試験を実施した。
	(鈴鹿市)		

※ 調査日を記載。調査内容により、移動日が含まれるため、出張期間とは異なる。

水素透過膜としての可能性調査

従来、水素透過膜には高価なパラジウム (Pd) 膜が使用されているが、Pd は白金と同族の希少金属であり、代替技術が求められている。Pd (約5,000 円/g) を CNF 膜 (約5,000 円/kg) に代替することで、希少金属の使用抑制と同時に、従来の 1/1000 以下のコストが予想され、コスト面でも期待できる。また、2030 年の水素の予想需要は約 200 億 Nm3 とされており、莫大な水素需要が見込まれていることから、それに伴い CNF 透過膜の需要も大幅に増加するものと思われ、市場性も期待できる。

そこで、TEMPO 酸化処理 CNF 膜(TOCN)の水素透過特性について、現在の開発水準や将来的な用途の可能性について調査を実施した。

CNF 膜の水素透過性については、東京大学の福住らが TOCN の水素ガス選択透過性について報告している(文献 3-2-1)。その概要は以下のとおりである。

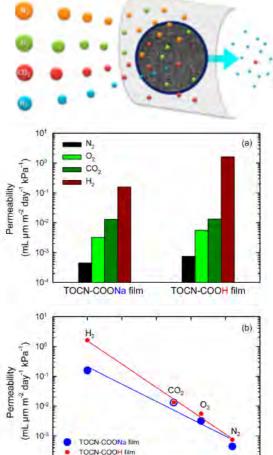
Selective Permeation of Hydrogen Gas Using Cellulose Nanofibril Film, H.Fukuzumi et.al., Biomacromolecules, 14, p.1705-1709(2013)

TOCN 末端のカルボキシルキ基は、酸処理により-COONa 型から-COOH 型へ容易に変化する。この際、窒素に対する水素の透過率の比が飛躍的に向上することが報告されている。具体的には、-COONa 型では、 H_2/N_2 のガス透過比率が 350 であるのに対し、-COOH 型では 2200 倍に達することが報告されており(表 3-2-1)、これらのガス選択性は従来のセルロースや PET 樹脂などに比べて格段に高いことが明らかとされている。

また、水素ガスの透過率としては、TOCNを-COONa型から-COOH型とすることにより、約 10 倍向上することが示されており、その値は $1.0(ml \cdot um)/(m2 \cdot day \cdot kPa)$ と報告されている(図 3-2-1)。

また、図 3-2-2 においては TOCN-COONa のカチオン部を Li,K,Ca などに置換した場合、水素透過率が Na と同様、TOCN-COOH 型 に比べて一桁低い $0.1(\text{ml}\cdot\text{um})/(\text{m2}\cdot\text{day}\cdot\text{kPa})$ 以下になることが示されている。

この報告より、TOCNにおいてより多くの水素を透過させるためには、末端基を-COOHとすることが望ましいことがわかる。



TOCN-COOH films

図 3-2-1 TOCN 膜のガス透過率

Kinetic diameter (Å)

3.0

しかしながら、これらのガス選択性は CNF 膜が乾燥状態では発揮されるものの、過湿状態ではその選択性が大幅に低下することが欠点とされてきた。

表 3-2-1 TOCN 膜のガス透過率比較

able 1. Relative commercial Film		rmeability	Ratios o	of TOCN	V and
	H_2/N_2	H ₂ /CO ₂	H ₂ /O ₂	O ₂ /N ₂	CO ₂ /N
TOCN-COONa	350	12	49	7.2	29
TOCN-COOH	2200	24	290	7.4	92
cellophane	220	14	39	5.6	16
PET	190	5.3	30	6.2	35
PE	8.5	0.58	3.0	2.8	15

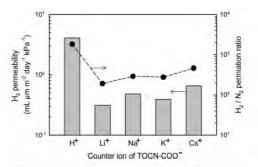
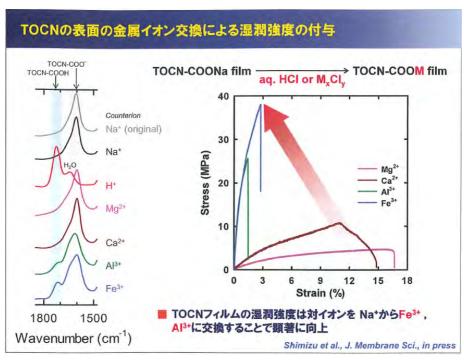


図3-2-2 **TOCN**膜のガス透過率の対イオ ンによる変化

これに対して、最近、東京大学の清水らは、CNF膜の酸素バリア特性について、耐湿度特性の改善を報告している。清水らによると、-COOMの金属イオンを Fe^{3+} もしくは Al^{3+} に置換することで、湿潤強度が大幅に向上することに加え、 Ca^{2+} もしくは Al^{3+} に置換することにより相対湿度 80%の高湿度環境下でも高い酸素バリア特性を示すことが示されており、高湿度環境下でのCNF膜による酸素ガス分離への可能性が示唆されている(図 3-2-3)。



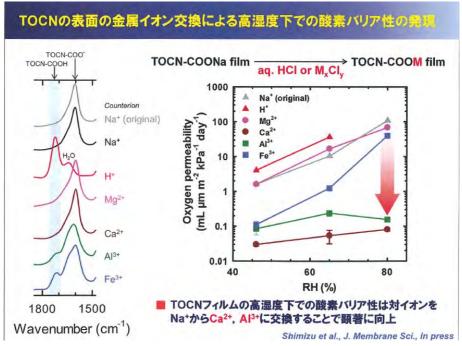


図 3-2-3 TOCN 膜の酸素バリア特性における耐湿度特性向上に関する報告(文献 3-3-2 より、引用)

さらに、九州大学の松本らにより、CNF 膜の CO_2/CH_4 ガスの分離に関する報告がなされている (文献 3-2-2)。

Ultraselective Gas Separation by Nanoporous Metal-Organic Framewaorks Embedded in Gas Barrier Nanocellulose Films, M.Matsumoto and T.Kitaoka, Department of Agro-Environmental Sciences, Graduate School of Bioresource and Bioenvironmental Sciences, Kyushu University, Adv.Mater.2015

本報告において松本らは、MOF (Metal-Organic-Frameworks)と呼ばれる有機金属基と TOCN を複合化し、ガス選択性を出現させることを報告している(図 3-2-4)。MOF にはZIF-90 (Zeolitic imidazole frameworks -90)という多孔体が用いられており、近年ガス選択分離に材料として注目を集めている。

このMOFをTOCNと複合化することにより (MOF-TOCN)、CO₂ガスを

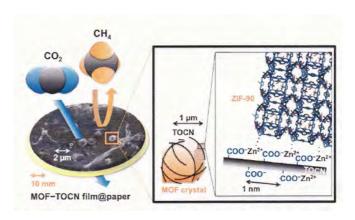


図 3-2-4 MOF-TOCN 膜のガス透過イメージ

選択的に透過させ、CH4ガスを遮へいする選択透過性膜の合成を報告している。

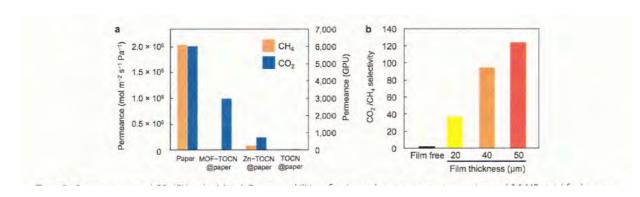


図 3-2-5 MOF-TOCN 膜の CH₄/CO₂ガス選択性と膜厚依存性

また、松本らは、図 3-2-5 に示すように MOF-TOCN 膜は通常の紙に比べて非常に優れた CO_2 ガス選択透過性を示すことを報告しており、この特性は膜厚が厚くなる従い、 CO_2 選択透過性が向上することを示した。

本事業の技術推進アドバイザーである東京大学齋藤准教授によると、TEMPO酸化 CNF においては、ガス分離やガスバリアなどがこの一年ほどのトレンドの一つとなっている、 とのことであった。したがって、今回の調査結果から、CNF 膜のフィルター分野への応用 として、水素、酸素やメタン、 CO_2 ガスなどのガス分離などが有望と考えられる。

3.2.2 水素透過膜分野の用途開発に関する CO2 削減量の算出

セルロースナノファイバーの用途開発として、バイオエタノールを利用した水素製造システムでの利用可能性を調査したが、それらの用途のCO2削減ポテンシャルについても、調査、検討した。

- (a).代替材料、製品: Pd 等の貴金属材料の代替
- (b).製品等活用時(CNF 材料)による CO2 削減量:

水素透過膜を $15\mu m$ 厚× $220cm^2$ とすると、1kW あたり Pd が 4.0g 必要となる(文献 3-2-4)。1kw タイプのエネファームの販売台数は約 3 万台であり、発電量は 3 万 kW /年 として、4.0g × 30000kW = 120kg-Pd/ 年となる(文献 3-2-5)。Pd 生成に起因する CO2 発生量は、15t-CO2/kg-Pd であり、Pd を CNF 系膜で代替することで、15t × 120kg/年 = 1,800t-CO2/年の削減効果と算出できる(文献 3-2-6)。

(c).製品等活用時(CNF 出口製品)による CO2 削減量:

従来のナフサ系圧縮水素では、その製造時に $1.13 \,\mathrm{k}\,\mathrm{g}$ -CO2 /Nm³-H2 の CO2 排出を伴う。 $2030 \,\mathrm{fm}$ 年の水素の予想需要は約 $200 \,\mathrm{fm}$ として、バイオエタノールを用いた CNF 透過膜による H2 製造技術が実現できれば、 $1.13 \,\mathrm{kg} \times 200 \,\mathrm{fm}$ $\mathrm{kg} \times 200 \,\mathrm{fm}$

参考文献

- 3-2-1 H.Fukuzumi et.al., Selective Permeation of Hydrogen Gas Using Cellulose Nanofibril Film, Biomacromolecules, 14, p.1705-1709(2013)
- 3-2-2 磯貝明, バイオ系ナノファイバーの新展開, ナノファイバー研究会第 21 回研究 例会, 日本繊維機械学会, (2016)
- 3-2-3 M.Matsumoto and T.Kitaoka, Ultraselective Gas Separation by Nanoporous Metal-Organic Framewaorks Embedded in Gas Barrier Nanocellulose Films, Department of Agro-Environmental Sciences, Graduate School of Bioresource and Bioenvironmental Sciences, Kyushu University, Adv.Mater. (2015)
- 3-2-4 田中貴金属資料, FC-EXPO2010 (東ホール 3-3)
- 3-2-5 コージェネ財団, http://www.ace.or.jp/web/works/works_0090.html
- 3-2-6 独立行政法人物質・材料研究機構,金属元素の製錬・精製段階における環境負荷 算定に関する調査報告書(平成 15 年 3 月)
- 3-2-7 経済産業省 m「水素の製造、輸送・貯蔵について」H26.4.14, http://www.meti.go.jp/committee/kenkyukai/energy/suiso_nenryodenchi/suiso_nenryodenchi_wg/pdf/005_02_00.pdf

3.3 不織布・繊維集合体分野に関する調査

3.3.1 不織布・繊維集合体分野の用途開発に関する調査

セルロースナノファイバーの用途開発として、 CNF を繊維集合体 (不織布、糸など) として形成することを想定し、フィルター等への応用の可能性について調査した。

主な調査の概要は、以下のとおりである。

調査日	調査先	調査者	概要
H27.07.09	セルロース学会	工業研究所	○アルカリ膨潤セルロースナノファイバーの紡糸(京都
~	(札幌市、北大)	松岡	大): CNF 懸濁液を NaOH 水溶液で中和して得られた
H27.07.10			ゲルを紡糸。性能としては、強度の増加が見込まれると
			のこと。
			○PM2.5吸着可能なACCナノセルロース被覆不織布マ
			スクの創製(九州大): 市販のマスクに ACC 法 CNF を
			スプレー。親水、疎水の両親媒性を有するため、スプレ
			ーのみで化繊マスク表面を被覆できた。
H27.07.22	第一工業製薬	工業研究所	TEMPO 酸化 CNF での紡糸、電界紡糸によるマスクへ
	(株)(京都市)	松岡	の応用について、滋賀県立大・山下先生、第一工業製薬
			と検討。
H27.08.26	第一工業製薬	工業研究所	紡糸、電界紡糸について、文献調査結果を第一工業製薬
	(株)(京都市)	松岡	に報告。繊維集合体としての用途を検討。
H27.08.31	ナノファイバー	工業研究所	炭素繊維とカーボンナノファイバーの最新動向に関す
	研究会	松岡	る講演を聴講。炭素の安全性については様々な報告があ
	(名古屋市、名		り、ナノファイバーの安全性は細胞よりファイバーが小
	工大)		さいかどうかがポイントとなると思われ、サイズが小さ
			いとリスクは増える。
H27.10.06	不織布 WG(四	工業研究所	アセトン浴中でのTEMPO酸化CNFの湿式紡糸につい
	日市市、AMIC)	松岡、滋賀県	て文献を検討。CNF 製不織布はコストが課題となるの
		立大 山下	で、複合化を検討。
H27.10.08	関西フィルム展	工業研究所	ナノファイバーに関する情報を収集。ナノファイバーと
	(大阪市、イン	舟木	CNF の複合化が期待でき、強度を担保するため、樹脂
	テックス大阪)		系繊維を基材とした用途も検討できる。
H27.10.16	Nanofiber2015	工業研究所	○Electrospinning and Traditional Fiber Spinning : 電
	(東京都、東工	松岡	界紡糸でナノファイバーを製造するためには、fiber の
	大)	滋賀県立大	径、表面特性、空隙率、fiber 間の接着性などの制御が
		山下	必要。繊維間の接着に加え、フィルターとしての利用で
			は基材との接着大きなファクター。
			○ Electrospinning of nanofiber yarns and their
			mechanical properties:複数のノズルから ES 紡糸し

			て、円筒に集めて撚りをかけ巻き取り糸を試作。材料は、
			PVA、PVDF、PAN などで成功。
H27.10.22	繊維学会(京都	工業研究所	○硫化銅を用いた導電性再生セルロース繊維の形成:紡
~	市、京工繊大)	舟木、松岡	※時に硫化銅をフィラーとして練りこむことで導電性
H27.10.23		信州大木村	繊維が得られる。電磁波シールド素材、面発熱体へ応用。
1127.10.20			○竹を原料とするセルロースナノファイバーの作製と
			その炭素化:
			竹 CNF を t-ブチルアルコールに懸濁し、凍結乾燥する
			ことで形態を保持して炭化が可能。Ar 雰囲気中 1000℃
			で3hr.
H27.11.02	不織布 WG(上	工業研究所	TEMPO 酸化 CNF の紡糸について、試料調整について
	田市、信州大)	松岡	文献値(1wt%)を参考に検討。
H27.12.03	室内環境学会	工業研究所	○室内環境中のバイオエアロゾルの実態と対策:バイオ
~	(宜野湾市、沖	松岡	エアロゾル(浮遊細菌、浮遊真菌、それらの複合体)へ
H27.12.04	縄コンベンショ	信州大 木村	の対策として、HEPA フィルタ等に抗菌、殺菌などの
	ンセンター)		機能を付加することが必要になる。
			○オフィス機器からの超微粒子 (UFP) 生成機構とその
			対策:レーザープリンタから生じる超微粒子(UFP)が問
			題となっている。コピー機は日本企業のシェアが大き
			く、フィルタの新たな市場と考えられる。
H27.12.05	沖縄県立芸術大	工業研究所	沖縄の特徴的な素材として芭蕉、苧麻。芭蕉の葉は廃棄
	学 (那覇市)	松岡	されるが茎(鞘)部分を繊維化。両素材ともアルカリ処
		信州大 木村	理によりへミセルロースの除去が必要。他、WG を開催。
		滋賀県立大	
		山下	
H27.12.06	沖縄県工芸振興	工業研究所	未利用資源であった月桃の茎から紡績糸を作っている。
	センター(南風	松岡	前処理方法が確立、品質も安定で、CNF 利用の可能性
	原町)	信州大 木村	はあり。
		滋賀県立大	
		山下	
H27.12.07	沖縄科学技術大	滋賀県立大	ホヤ類からのセルロース分子を粉砕し、さらにそのフィ
	学院大学(国頭	山下	ブリルを分散させて 10nm の CNF を取り出し。幅が太
	郡恩納村)		いく、強度が期待でいるのでは。
H27.12.18	ナノファイバー	工業研究所	〇ナノファイバーによる EDLC とセパレーターへの適
	研究会(上田市、	松岡	用:ES 不織布の蓄電池セパレータの利点は、空隙率の
	信州大)		高さ、均一なポア、薄膜化である。欠点は強度に劣る点。
			ポア率、薄膜化で有利なナノファイバー不織布、機械的
			強度で有利なポリマー薄膜(耐熱性能から PET)を組
			み合わせたセパレータが有望。

			○不織布のリチウムイオン電池セパレーターへの展
			開:三菱製紙の NanoBas は合成繊維ナノファイバーと
			CNF を組み合わせた不織布セパレータ。 CNF は耐熱性
			の向上に寄与している。
H27.12.19	不織布 WG(上	工業研究所	不織布・繊維集合体 WG 打ち合わせ: CNF1wt%で
	田市、信州大)	松岡	Wet-Spun を検討。攪拌と脱泡に課題。再検討。
H27.12.24	不織布 WG(彦	工業研究所	ES 不織布の電池セパレータ利用について情報交換。他
	根市、滋賀県大)	松岡	の素材との複合化により強度を持たせることを検討し
			ていく。
H28.01.21	鳥取県産業技術	工業研究所	生体適合材料として活用されているキチン・キトサンか
	センター(鳥取	松岡	らのナノファイバーが鳥大(有機系)シーズとしてある。
	市)		用途は明確にはなっていないが、バイオベースマテリア
			ルの切り口と思われる。 (透明フィルム WG と同行)
H28.01.28	nano tech 2016	工業研究所	エレクトロスピニング装置のメーカーと情報交換。
	(東京都、東京	松岡	CNF については、シルク、酢酸セルロースとの混合等
	ビッグサイト)		で可能性があると思われるが、装置メーカーであり具体
			的には検討していない。
H28.01.29	ナノファイバー	工業研究所	TOCN は繊維径が 3-4nm に制御可能であるため、先端
	研究会	松岡	材料向き。ゴムに TOCN を混ぜたところ、CNT よりも
	(東京都、東工		高強度の結果。海藻資源からの CNF は繊維幅が 10nm
	大)		と太く、針葉樹由来 CNF とは異なる機能の発現の可能
			性はある。
H28.02.11	不織布 WG(上	工業研究所	レオクリスタ (CNF2wt%) 原液、1wt%の 2 種類を 18G
~	田市、信州大)	松岡	のニードルで、アセトン浴中で湿式紡糸。
H28.02.12			

※ 調査日を記載。調査内容により、移動日が含まれるため、出張期間とは異なる。

不織布・繊維集合体分野で期待できる用途として、蓄電池セパレータ、及びエアフィルターがあり、それらの用途や市場、先行研究等について調査を行った。

セルロースナノファイバーの用途として、従来よりナノ構造を利用したフィルターが挙 げられている。フィルトレーションの対象は、空気、水、原発の放射性物質等である。

エレクトロスピニング不織布の用途としては、エアフィルター、水フィルター、電池のセパレータ、メディカル用途(米国では 50%がメディカル)、高機能アウトドアウエアなどである。セルロースナノファイバーを利用した不織布として、今後、市場が大きく伸びると期待されている蓄電池のセパレータ用途、及びエアフィルター用途の可能性について調査を実施した。

蓄電池セパレータ用途:

エレクトロスピニングによる不織布を、蓄電池セパレータとして利用した場合の利点としては、空隙率が高く、均一なポアができること、薄膜化が可能なことが挙げられる。また、材料にもよるが、濡れ性、電解液の保持でも性能は高い。一方で、欠点としては空隙率が高いため、強度が得られない点である。

ポアの割合では、蓄電池セパレータとして、世界シェアトップの旭化成のハイポア®が40-60%であるのに対して、ナノファイバー不織布は85%のポア率が可能である。

ポア率、薄膜化で有利なナノファイバー不織布と、機械的強度で有利なポリマー薄膜を 組み合わせたセパレータの開発が進んでいるが、ポリマーは耐熱性能から PET が候補と なっている。

ここで、ナノファイバー不織布では、強度、耐熱性が課題となっているが、セルロースナノファイバーの特性の一つである強度が付加できれば、ポリマー薄膜の付加機能の一部を代替でき、強度と薄膜化を備えた強靭なセパレータが実現できる。さらに薄膜化という点で、占有体積の減少により活物質の使用量を増やすことができ、すなわち、電池の高容量化に寄与できる。

市場としては、電気自動車の市場の伸びと同じで、非常に期待できることは明らかである。トヨタ・プリウス 1 台分で 500m^2 の不織布セパレータが使われると試算され、これは携帯電話 4 万台分に相当する。また、中国で自動車の市場は、1100 万台/年の増加であるが、このうち、20%(220 万台)を電気自動車とする国策があり、不織布セパレータが 5% のシェアで使われると仮定すると、11 万台分(約 55km^2)となり、非常に大きな市場である。(日本繊維機械学会ナノファイバー研究会第 20 回研究例会より)

現在は、ポリオレフィン系 (PP 等) の微多孔質高分子膜 (フィルム)セパレータや PE と PP の複層構造セパレータ (融点の低い PE でシャットダウン機能、融点の高い PP で 閉孔したセパレータ構造を維持) が用いられている。これを不織布セパレータで代替する場合、例えば、廣瀬製紙株式会社の技術によるとポリオレフィン不織布を基材として PVA ポリマー等を噴霧して 2 層ナノファイバー複合不織布とすることで、セパレータへ展開している。

セルロースナノファイバーを用いる場合でも、CNF100%のエレクトロスピニング不織 布とした場合でも、突き刺し強度は期待できるが、他の合成繊維の ES 不織布と同様に布 の曲げ剛性(布のコシ、ハリ)は期待できないため、基材と組み合わせた複層構造の不織 布とする必要があろう。

または、中越パルプ株式会社、出光ライオンコンポジット株式会社、株式会社三幸商会が開発した「ナノセルロースを高分散したポリオレフィン樹脂」で ES が可能ならば、不織布セパレータへの展開が期待できる。

※ ハイポア:旭化成製のポリオレフィン製の平膜で、膜厚は約25~数百 μ m、ポアサイズは0.05~0.5 μ m。リチウムイオン電池のセパレータ等のハイテク分野を中心に、様々な領域で使用されている。 http://www.asahi-kasei.co.jp/hipore/

エアフィルター用途:

エレクトロスピニングによる不織布を、エアフィルターとして利用した場合の利点としては、空隙率及び空隙径(孔径)が制御しやすく、薄膜化が可能なことが挙げられる。近

年、花粉対策、PM2.5(大気中に浮遊している $2.5\,\mu$ m 以下の微粒子)対策等で、エアフィルターの高機能化へのニーズは高まっている。(文献 3-3-1)

室内環境においては、病院の外来待合室、社会福祉施設などで濃度が高いバイオエアロゾル(浮遊細菌、浮遊真菌、それらの複合体)への対策が必要であり、ここでもエアフィルターの高機能化へのニーズは高まっている。対策としては、侵入の防止、増殖の抑制、除去、無害化が必要であり、侵入の防止にはエアフィルターによるろ過が有効である。しかし、バイオエアロゾルはろ過による捕集に加え、それらの殺菌が必要となる。すなわち、バイオエアロゾルについては、HEPAフィルター等に抗菌、殺菌などの機能を付加することが必要になる。従来のフィルターにエレクトロスピニングにより、光触媒素材、抗菌素材などを分散させた加工は有効と思われる。これらの素材を効果的に分散させるには、ナノファイバー表面全体に高分散させることが可能なセルロースナノファイバーの特性が活かせると考えられる。

室内環境の中でも、オフィス機器からの超微粒子(UFP)への対策も課題となっている。 レーザープリンタ、コピー機の普及に伴い、それから生じる UFP は増加しており、それ らが健康に及ぼす影響も懸念され、各所で調査が進められている。特に普及が進むカラー レーザープリンタは、熱量が大きいので UFP が発生しやすく、対策が急務である。

現在の UFP 発生に対する規制は、健康被害などの検証によるものでなく、例えば、市販品の 1/3 がクリアできる値で設定されているというような状況であると聞いている。今後、JIS による規格化が検討されており、明確な基準が設定されれば、より厳しい方向になることは明らかである。すなわち、レーザープリンタ、コピー機への UFP 対策部品の搭載が必要となり、エアフィルターによるろ過が注目されるであろう。コピー機大手7社のうち、5 社が日本企業(RICOH、CANON、ゼロックス、コニカミノルタ、SHARP)であり、UFP の除去は、日本から ISO への提案も含め大きなニーズがあると思われ、エアフィルターの新たな市場と考えられる。(平成 27 年室内環境学会学術大会、微粒子分科会セミナーより)

エアフィルターの高機能化技術として、フィルター材料に光触媒素材、抗菌素材などを分散させた加工がある。TEMPO 酸化 CNF は、その表面のみに金属合成の足場となるカルボキシル基を有することから、この特性を活かして、Azetsu A.らは、金属ナノ粒子をその場合成することに成功している(文献 3-3-2)。これは、常温・常圧下で速やかに行うことができること、既存の触媒材料と比べて最大で約 840 倍の反応効率を達成できることから、すなわち、反応時間の短縮化と金属触媒使用量の大幅削減効果が見込まれる技術であり、金属触媒等が分散された CNF 懸濁液が得られれば、高機能不織布、高機能糸の開発につながるものと思われる。

昨年、Nemoto J.らにより論文発表された TOCN を含むフィルター部材に関する研究(文献 3-3-3)では、TOCN 中の水分を tert-butyl alcohol (TBA)で置換して、それを HEPA ガラスフィルターにスプレーして、凍結乾燥させることで、エアロゲルを含む高機能フィルター部材を開発している。ナノファイバー不織布のようなネットワーク上のウェブを、HEPA フィルター上に構成し、さらにウェブを構成する繊維は比表面積が大きいエアロゲルであるので、非常に優れた濾過特性を示すものである(図 3-3-1)。

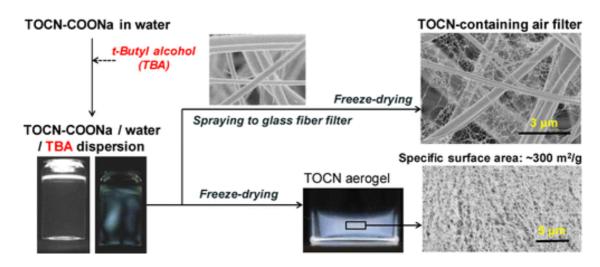


図 3-3-1 Nemoto J.らの研究概要 (文献 3-3-3 より、引用)

セパレータ、エアフィルター共に、ナノファイバー不織布としての利用を調査しているが、ナノファイバーの量産化製造技術についても、調査を行った。

エレクトロスピニング不織布の量産機は、チェコ共和国の Elmarco Ltd.の Nanospider があり、 $1\sim500\,\mu$ m の厚み、幅は 1.6m で、60m/min.の速度で製造できる。

信州大学繊維学部・金研究室ではエレクトロスピニング不織布の応用分野として、メディカル用途、電池セパレータ用途の研究開発を行っているが、韓国企業と共に、量産機の開発も行なった(図 3-3-2)。

NANO FIBER SYSTEM



ナノファイバー糸の製造では、Deakin University

図 3-3-2 信州大学繊維学部 Fii 施設のエレクトロスピニング装置

(Australia) の Prof. Tong Lin は、複数のノズルからエレクトロスピニングで紡糸して、 円筒 (funnel) に集めて、撚りをかけて巻き取って糸とすることに成功している。材料は、 PVA、PVDF、PAN などで成功している。

ナノファイバーの量産化が始まっているので、CNF と複合化した材料での不織布開発も 期待できるものである。

これらの調査結果から、不織布・繊維集合体分野では、フィルター用途の可能性を調査するために、エレクトロスピニングによるナノファイバーフィルターの検討、フィルター等の基材のための湿式紡糸による機能性糸の検討を行うこととした。

3.3.2 不織布・繊維集合体分野の CO2 削減量の算出

セルロースナノファイバーの用途開発として、 CNF を繊維集合体 (不織布、糸など) として形成することを想定し、フィルター等への応用の可能性について調査したが、それらの用途の CO2 削減ポテンシャルについても、調査、検討した。

2014年の合繊長繊維不織布生産量(文献 3-3-4)は、91,334t($3,575,163m^2$)であるが、このうちポリプロピレン(PP)は、53,016t($2,767,000m^2$)で約 60%である。不織布の総生産量 337.606t の約 16%である。

石油化学基礎製品の製造量のうち、プロピレンの製造量は565万tで、石油化学製品全体の20%の割合である。不織布用PPの生産量は約5万tであるので、プロピレンの製造量のうち、約1%となる。

石油化学製品全体でのナフサ使用量は 4,541 万 kl であり、プロピレンは 20%の生産量であるので、ナフサ使用量は 907 万 kl となる。すなわち、不織布用ポリプロピレンに使用されるナフサは、その 1%であるので 90,700kl と算出される。

PP 不織布製造に必要な石油使用量は 90,700kl として、既存の PP 製不織布を全て CNF 製不織布に代替すると仮定すると、CO2 の排出量は 67,027t /年の削減効果と見込まれる。 エアフィルター用途、セパレータ用途は、不織布のうち、5%程度と見積もると、CO2 削減量は 3.351t-CO2 /年と試算される。

蓄電池セパレータ用途について別の試算を行うと、中国で自動車の市場は 1100 万台/年の増加であり、このうち 20%(220 万台)を電気自動車とする国策があるので、不織布セパレータが 5%のシェアで使われると仮定すると、11 万台分/年の不織布セパレータが必要となる。トヨタ・プリウス 1 台分で 500m^2 の不織布セパレータが使われるとして、中国での年間に使用されるセパレータは約 55km^2 となり、これは約 100 万 t である。上記の不織布用 PP の生産量の 20 倍であり、これらを全て CNF 製不織布に代替すると仮定すると、CO2 の排出量は 134 万 t /年の削減効果と見込まれる。

参考文献

- 3-3-1 鍵直樹、室内空気環境における新たな汚染物質、J. Natl. Inst. Public Health, 63, p.350-358 (2014)
- 3-3-2 Azetsu A., Koga H., Isogai A., Kitaoka T. Synthesis and catalytic features of hybrid metal nanoparticles supported on cellulose nanofibers. Catalysts 2011, 1, 83-96 (2011)
- 3-3-3 Junji Nemoto, Tsuguyuki Saito, and Akira Isogai, Simple Freeze-Drying Procedure for Producing Nanocellulose Aerogel-Containing, High-Performance Air Filters, ACS Appl. Mater. Interfaces, 7, pp 19809–19815 (2015)
- 3-3-4 日本化学繊維協会,繊維ハンドブック 2016, (2016)

3.4 透明フィルム分野に関する調査

3.4.1 透明フィルム分野の用途開発に関する調査

セルロースナノファイバー (CNF) の用途開発を目的として、 CNF のナノサイズ効果 を活かして透明なシートの応用展開に関する可能性を調査した。

主な調査の概要は、以下のとおりである。

調査日	調査先	調査者	概要
H27.9.10	CNF 研究会第	工業研究所	CNF の基礎的な技術情報について、先行的に研究を行
	1回(CNFに係	井上	っている京都市・北川氏より紹介があった。京都市産
	る公設試研究者		業技術研究所の施設見学を行い、研究現場(有機材料
	向けの勉強会)		実験室)を視察した。CNFの実践的な研究を行うため
	(神戸市、兵庫		に、情報交換を行った。
	工技セ)		
H27.9.30	「Nプラスコー	工業研究所	CNF を用いた透明フレキシブル機能性フィルムに関
~	ティング・表面	藤原	する表面処理、コーティング技術の調査のために技術
H27.10.1	処理技術展」、		展及びセミナーに参加した。CNF フィルムを実用化す
	「クルマに新た		るためには欠点を補うための加工および機能を付与す
	な価値をプスす		るための加工が必要であり、撥水、高耐熱、透過率制
	る機能性フィル		御、加飾、遮熱等の加工が有効と思われる。
	ム」(東京都、ビ		
	ッグサイト)		
H27.10.15	「インターオプ	工業研究所	セルロース部材の光利用アプリケーションへの展開可
	ト 2015」、「農業	谷澤	能性を調査するため、光技術動向セミナー、および農
	ワールド」(横浜		業資材・植物工場等に関する展示会に参加した。農業
	市、パシフィコ		用資材として、波長変換機能を付与させた CNF 透明フ
	横浜、千葉市、		ィルムの可能性は国内の農業レベル向上に貢献できる
	幕張メッセ)		可能性があると思われる。
H27.10.27	CNF 研究会第	工業研究所	H27.9.10 の第 1 回に引き続き、第 2 回が開催された。
	2回(神戸市、	井上	CNF の応用展開に関して、研究会参加の公設試研究者
	兵庫工技セ)		と、基礎的な物性や透明シートをはじめとした応用に
			ついて、意見交換を行った。
H27.10.30	熊本大学	工業研究所	伊原氏は、これまでにセルロースファイバーを使った
	伊原博隆 教授	藤原・谷澤・	研究開発を行い、実用化まで実施経験があることから、
	(熊本市)	井上	CNF を実用する上での課題をヒアリングした。
H27.11.2	プラスチック成	工業研究所	CNF への加工や CNF を用いた複合材料化により機能
~	型加工学会第2	藤原	を付与する方法(耐熱性、軽量・高剛性化、ドレープ性、
H27.11.3	3回秋季大会		バインダーレス成形、ガス透過、耐熱加工性)、他の材
	(福岡市、福岡		料に CNF 添加することにより機能を付与する方法(耐

	大学)		スクラッチ性、弾性率向上)について調査した.
H27.11.12	新潟大学	工業研究所	戸田氏は、樹脂等への蛍光体微粒子の分散技術に関し
	戸田健司准教授	谷澤・井上	て知見を豊富に有していることからその注意点やノウ
	(新潟市)		ハウなどをヒアリングした。蛍光体は水分に弱い傾向
			にあるため、その改善策について議論した。CNF用途
			展開では、環境および生体親和性に優れる点を活かし
			てバイオ利用(ガンマーカーなど)が高付加価値で可
			能性があると助言を受けた。
H27.12.9	CNF 研究会第	工業研究所	H27.10.27 の第2回に引き続き、第3回が開催された。
1127.12.0	3回(四国中央	井上	前回と同様、今回は、「TEMPO 酸化セルロースナノフ
	市、愛媛県紙産	71	アイバーを複合化したナノファイバーの作製」と題し
	業技セ)		て、愛媛県産業技術研究所紙産業技術センターの主任
	(研究員 大塚 和弘 氏の講演を聴講して TEMPO 酸化
			処理の概要を理解した。
H27.12.14	京都大学大	工業研究所	高野氏はCNFの構造などを長年、研究しており、実用
1127.12.14	高野 俊幸 教授	藤原・井上	化の観点から重要な知見を有していることからヒアリ
	(京都市)		ングした。その結果、CNF構造は複雑であるが、異分
	(2)(4)(1)		野異業界の技術が融合することで突破できる可能性を
			感じた。ただし、用途展開の点で紙の特性そのものと
			言えるが水や紫外線に対する『耐久性』の解決が残さ
			れているとのこと。
H28,1.15	ライテックEX	工業研究所	セルロース部材の光利用アプリケーションへの展開可
1120.1.10	PO(東京都、	谷澤	能性を調査するため、光利用について調査した。照明
	東京ビッグサイ	1 1 1 1 +	デバイスは光源の基板やレンズに多種の樹脂が用いら
	ト)		れており、これらへの CNF の適用可能性があるものと
			思われる。
H28.1.21	鳥取県産業技術	工業研究所	蟹の水揚げで有名な鳥取県特有の背景からキチンキト
1120.1.21	センター(鳥取	藤原・松岡・	サン抽出技術などをヒアリングして CNF の抽出の要
	市)	井上	素技術として参考とした。
H28.1.22	鳥取大学	工業研究所	CNF 等ナノファイバーや CNF 応用研究に携わる研究
1120.1.22	大観光徳教授	藤原・松岡・	者および環境省 FS 事業のアドバイザーを訪問するこ
	(鳥取市)	井上	とで、最新の研究状況を聞き取り CNF 用途開発の参考
	CWAY 114)		とした
H28.1.28	コンバーティン	工業研究所	コンバーティングテクノロジーとはプラスチックフィ
~	グテクノロジー	藤原	ルム・シートなどの比較的薄い基材に、コーティング
H28.1.29	総合展(東京都、		などの新たなプロセスを経て、新たな価値を生み出す
	東京ビッグサイ		行為の総称。CNF を用いた透明フレキシブル機能性フ
	h)		イルムに関する表面処理、コーティング技術の調査に
			関する技術展及びセミナーに参加した。偏光、蓄光、

				蛍光、可視光を遮断し IR 透過等の展示があり、CNF
				透明フィルムにも適用できる可能性が考えられる。
F	H28.2.10	CNF 研究会第	工業研究所	H27.12.9 の第3回に引き続き、第4回が開催された。
		4回(神戸市、	井上	今回は、長谷氏より CNF をゴムに混錬させて強度特性
		兵庫工技セ)		の向上を図る技術について紹介を受けた。

[※] 調査日を記載。調査内容により、移動日が含まれるため、出張期間とは異なる。

透明フィルム分野:シート用途に関する調査

[調査先]:プラスチック成型加工学会第23回秋季大会

[概要]

CNF への加工や CNF を用いた複合材料化により機能を付与する方法(耐熱性、軽量・高剛性化、ドレープ性、バインダーレス成形、ガス透過、耐熱加工性)、他の材料に CNF 添加することにより機能を付与する方法(耐スクラッチ性、弾性率向上)について調査をした.セルロースを用いた光学フィルムに関する発表が 1 件あった。

〇F-105「低分子添加剤を利用した機能性光学フィルムの設計」(北陸先端大学)

(内容) 先端ディスプレイ用光学フィルムの開発において、適切な位相差(複屈折と厚みの積)を幅広い波長領域で与える位相差フィルムが求められている。例えば 1/4 波長板では、波長とともに複屈折の絶対値が増加する逆波長分散性が必須となる。しかし、位相差フィルムに用いられる一般的な配向高分子は、波長の増加に伴い複屈折の絶対値が低下する正波長分散性を示すために、その設計は容易ではない。現状では、複屈折の符号及びその波長分散性が異なる二枚の延伸フィルムを積層することで設計されているものの、その製造コストは極めて高く、先端ディスプレイ開発の障害となっている。

そこで本研究では、低分子添加剤を用いて積層フィルムと同様の関係を得、波長依存性 を制御する方法について調査した。

セルローストリアセテート(CTA)と低分子添加剤を利用して、複屈折の波長依存性を制御した。添加剤リン酸トリクレシル(TCP)を用いた系では、フィルム延伸時にTCP分子が高分子鎖とともに配向し、複屈折を変化させることが分かった。一方、相溶性の低い添加剤を用いた系では、フィルムを加熱延伸することで添加剤が相分離し、可塑剤除去後に多孔構造が形成された。この構造によって形態複屈折が発現し、全体の複屈折の波長依存性が大きく変化した。いずれのフィルムも複屈折が長波長側で増加する逆波長分散性を示しており、先端ディスプレイ用光学フィルムとしての応用が期待される。

[調査先]: 熊本大学 国際化推進センター長・自然科学研究科 伊原 博隆 教授 [概要]

セルロースを使った実用事例を調査するために熊本大学の伊原教授を訪問した。伊原教授はセルロースを使って馬油化粧品の実用化に成功しており、その開発経験とともに CNF 利用拡大についてヒアリングした。

○CNF に関する研究について

セルロース部材の研究を30年くらい実施している。これまでの経験からナノ化できた

ことによるメリットが明確になっていない。世間では注目されているが、セルロース全てがナノ化されているのか?という疑問が残っている。現在のセルロースナノファイバーに携わる研究者に対して、実用化研究自体は素晴らしいものの、ナノ化によるメリット(およびデメリット)をよく整理した方がいいと思う。

- ○CNF の特長については、
 - ① 結晶性: CNF 粒子自体は結晶度が高いので、アモルファスに比べて固いという印象がある。
 - ② 透明性: やはり直径 3nm のスケールなので透明になる。
 - ③ 針状形状:カーボンナノチューブほどではないが、ウィスカ性(=アスペクト比が高い)が強い。
- の3点だと認識している。これらの特徴を踏まえ、CNFの実用化案については、
 - ① フィラー:結晶性が高いこととウィスカ性を活かすことができる。ただし、近年、フィラーには耐熱性が求められるので、セラミックスの方が有利だと思う。CNFの耐熱性の向上が担保となる(通常は200℃強)。
 - ② ガラス中間膜:自動車用フロントガラスにはガラス板の間に樹脂層が存在している。 その部材に赤外線カット機能などを付与させると、インパクトは大きいはずである。 CNF は紫外線に弱いが、ガラスに UV カット機能があるので中間膜として CNF シートを適用させた場合に CNF の UV 劣化は問題とならない。この利用であれば、ボリュームが大きいので、二酸化炭素抑制効果も期待できる。

が考えられる。

カーボンメーカーとセルロースのカーボン化について共同研究した経験がある。2500℃で蒸し焼きすると炭化できた。骨格は壊れることなく収縮するため、形状をキープできる。結晶化度は大きく、おそらく導電性があったと思う。同様に、CNFでも黒鉛化できるのではないかと思われる。ただし、黒鉛化による特長を活かした用途開発が必要である。

伊原研究室のセルロース部材関連の実験装置、研究成果は図 3-4-1 のとおり。



UV-IR 分光光度計(左)



紫外線発光評価装置



疑似太陽光電池発電評価装置



屈折率評価装置



微粒子(セルロース)を使っ た馬油化粧品

図 3-4-1 伊原研究室の実験装置等

[調査先]:愛媛県産業技術研究所紙産業技術センター 主任研究員 大塚 和弘 氏[概要]

愛媛県産業技術研究所紙産業技術センターは大型の紙の試作機(製造装置並み)を保有しており、本格的な紙専門の研究機関と言える。この試験機は企業へ一般開放しており、年間50件程度(1週間/件)の利用がある。県内外の比率は、ほぼ50:50である。

愛媛県のパルプ・紙・紙加工品製造業は製造額が約5,000億円、214社、約10,000人の規模。紙産業は四国4県で盛んで、戦前は高知県で盛んだったが、戦後に愛媛が全国1位の規模になった。理由は、戦後に愛媛県が水利権を得られたことに起因するとのこと。紙産業は、一見すると衰退しているように思われているが、電子部品、クラッチ板などの自動車部品に使用されており、ペーパーとしての利用以外で幅広く活用されており、CNF用途展開についてもセンター独自で研究開発している。

センター外観およびセルロース部材等の研究室および実験装置は図3-4-2のとおり。







センター外観

多目的テスト抄紙機

多目的不織布製造装置

図 3-4-2 愛媛県紙産業技術センターの外観および主要な実験設備

[調査先]: 新潟大学 工学部 化学システム工学科 戸田 健司 准教授 [概要]

現在、ナノ蛍光体の均一分散合成で界面活性としてセルロースを使っている。均一分散合成で焼成した場合、錯体系だと C(カーボン)が残ってしまうが、セルロースは比較的低温で焼失するので便利とのこと。CNF を分散剤として使う場合、分散性だけでは既存品との差別化は難しい。CNF 自身がナノサイズであることからナノ蛍光体の合成ができる可能性を期待したい。新規のナノ蛍光体の合成が可能となれば、既存のセルロース分散剤に比べても優位性があると考えられる。用途等に関するヒアリング結果は以下のとおり。

- ○植物工場用途:セルロースが植物由来であることから、植物用途が最適ではないか。完全閉鎖型ハウスは下火なので、半閉鎖型ハウスの農業資材として利用提案できると最良だと考えられる。
- ○太陽電池向け波長変換蛍光体に関する技術:大学のみならず、日立化成等の企業でも研究開発が盛り上がっている。もちろん、新潟大学でも研究開発している。この蛍光体もナノ化が必要なので、均一分散剤や界面活性剤などでCNFは有効な材料だと思われる。
- ○ライフサイエンス分野における蛍光体バイオ利用: 癌検出手法として、ナノ蛍光体が注目されている。その分散性で CNF を適用できる可能性がある。
- ○熱キャリア媒体: 蓄熱素材、断熱材料として CNF は有望でないか。もともと紙なので、

断熱性に優れるので、最終製品ではないが幅広い用途が提案できる可能性がある。 施設外観、研究室および実験装置は図3-4-3のとおりである。高圧焼成炉は10気圧で2,000 度までの焼成が可能である。均一焼成炉は、ヒーターが6枚のSiCで構成されており、そ れが棚になっているので、その上にセッター+サンプルを置いて使用する。誘導加熱炉は、 イメージ炉であるが炉内を均一に照射できることが特徴である。



新潟大学工学部 B 棟



高圧焼成炉



均一焼成炉



誘導加熱炉

図 3-4-3 新潟大学の外観および戸田研究室の主要な実験設備

[調査先]:京都大学大学院農学研究科 高野研究室 教授 高野 俊幸 氏[概要]

高野教授はシングルセルロース (S-cell) を長年研究しており、さまざまな知見を有していることから、ヒアリングした結果、以下のとおり知見を得た。

- · S-cell に官能基として色素増感基を置換させることで発光材料を開発している。
- ・開発した発光体は太陽電池の発電変換効率向上を出口としている(モジュールは未確立)。
- ・シングルセルロースが36本以上で構成されるのがセルロースミクロフィブリルとなる。
- ・TEMPO 触媒酸化 CNF はカルボキシル基を含むため耐熱性が劣る。
- ・CNFの用途として、「添加剤」や「触媒」が有望だと考えている。
- ・疎水化するスタンスは良くない。親水基を活かした利用がベター。
- ・疎水化に拘るなら、森林から抽出する前のリグニンを活かすといい。 リグニンは、一部が疎水化しているので、それを活かすといい。
- ・TEMPO 触媒酸化 CNF(磯貝G)と解砕 CNF(矢野G)は、ほぼ同時期に発表された(1996 年頃)

- ・TEMPO 触媒酸化は、そもそもデンプン精製技術であり、技術自体は目新しくない。
- ・磯貝先生は『滲(にじ)み防止』技術としてアルミニウム(Al)をセルロースに入れて滲みを改善した技術を発展させて、TEMPO酸化処理技術を確立した模様である。
- ・CNF は環境にやさしくナノサイズなので、透明性と捨てられる利点を活かさないとドラマティックな展開は難しいと考えている。

施設概観、研究室および実験装置は図3-4-4のとおりである。



スプレイドライヤー



分光光度計(JASCO 製) 図 3-4-4 高野研究室の主要な実験設備



NMR (400MHz)

[調査先]:鳥取県産業技術センター 電子・有機素材研究所 科長補佐 寺田 直文 氏 [概要]

寺田氏にヒアリングしたコメントは、以下のとおりである。

- ・CNFの開発に関して、鳥取県は森林が豊富であるため、力を入れていきたい。鳥取産技セは昔、紙専門の課があったが、現時点では廃止した。ただし、センターとしてセルロースナノファイバー研究会には加入している。
- ・製紙会社は、米子市に王子製紙が稼働している。鳥取産技セはエレクトロデバイスに 強い面があるので、CNFの出口は高付加価値のデバイスに焦点を絞っている。自動車 用途も魅力的だが、県内産業に占める自動車産業割合や他の都道府県の進捗を鑑みると、 ハードルが高いと考えている。
- ・東部には、SANYOを中心に電子デバイスの企業が集中している。SANYOはセイコーエプソン、シャープ、ソニーを経て現在はジャパンディスプレイとなっている。
- ・鳥取では、蟹殻が年間 300~400t 排出されている。この水揚げ量が多い蟹(殻)から 抽出したキチンキトサンのメーカーが国内では3社しかなく、鳥取に2社(ニッスイ、 甲陽ケミカル)ある。もう1社は北海道。ただし、キチンでは商売にならないので、分 解してできるグルコサミンを健康食品として販売しているが好調である。
- ・鳥取大の有機系 G がキチンキトサンのナノファイバー化技術等を地域へ普及させるべく、精力的に頑張っている。

- ・鳥取産技セでは CNF に関して(キチンキトサンで関係を構築した)鳥大の有機系ファイバーの研究者およびセルロースナノファイバー研究会と連携を開始したところで、研究テーマとして立ち上げる準備中である。
- ・CNF サンプルは矢野先生@京大ルートでスギノマシンから入手している。

[調査先]:鳥取大学 工学部 電気電子工学科 教授 大観 光徳 氏[概要]

本事業のアドバイザーでもある大観氏に CNF の利用方法についてヒアリングを行った。

- ・水酸基と結合する蛍光体材料を CNF 分散液に混錬し、発光シートを試作することは可能である。
- ・CNF 発光シートの応用展開先として化学メーカーを想定しており、その企業と連携することで実証していきたいと考えている。
- ・ただし、蛍光体に水酸基を有する材料は希少なので、優位性を活かした研究開発を行いたい。
- ・発光のみならず、断熱材としての利用も追加して利用拡大できれば最良だと思う。
- ・水酸基を有していることから耐久(水)性に問題が有るので、耐水効果をいかに付与させるかがポイントとなる。

3.4.2 透明フィルム分野の CNF 利用による CO2 削減量の算出

セルロースナノファイバーの用途開発として、CNFのナノサイズ効果を活かした透明シートへの応用展開の可能性について調査したが、それらの用途の CO2 削減ポテンシャルについても、調査、検討した。

(1). 光学用 CNF フィルムによる CO2 削減効果

光学用ポリエチレンテレフタラート(PET)フィルムの年間総生産量は 309,410t(文献 3-4-1)であり、PET を 1 グラムあたり製造するために必要な石油量を 1.14mL として、PET 年間そう生産量に要する石油使用量を算出すると、年間石油使用量は 18,513KL である。

現状の光学用 PET フィルムと同様の特性を有する CNF 製フィルムが実現でき、かつ全てを置き換えたと仮定すれば、CO2 排出量は 261,348t /年の削減効果と見込まれる。

(2).CNF ガラス代替部材による CO2 削減効果

板ガラスを始めとするガラス部材は軽量化等の観点から、ポリプロピレン (PP) などの透明樹脂への置き換えの動きが見られる。ここでは、さらに進化させて CNF 透明部材での置き換えを仮定して、CO2 削減量を算出する。

現在、世界でガラス製品と板ガラスあわせて 4,390,000t 程度が消費(文献 3-4-1)されている。CFP (Carbon Footprint of Products) プログラムのデータによると、ガラスびん製造における CO2 排出原単位は、1.0kg-CO2 /kg と報告されている。ガラス部材と同等の特性を有する CNF 由来の部材が実現かつ全てを置き換えたと仮定すれば、CO2 排出量は 4,390,000t /年の削減効果と見込まれる。ただし、CNF 製品の製造にもエネルギー消費を伴うので、ガラス原料の溶融に必要な約 1,000°Cの熱エネルギーの削減のみが対象となることから、実質的にその半分と設定すると CO2 排出量: 219,500t /年の削減効果と見込まれる。

(3).太陽電池用 CNF 波長変換部材による CO2 削減効果

波長変換技術を活用した太陽電池の普及が実現すれば、太陽電池の実質的変換効率が1-2%程度向上できる。蛍光体等を CNF フィルムに分散させて、新たな波長変換フィルムが実現できれば、太陽光を利用した再生可能エネルギーのさらなる普及とともに、化石エネルギー使用量削減による CO2 削減が見込める。

参考文献

- 3-4-1 「光学用 PET フィルム市場に関する調査結果 2014」(株) 矢野経済研究所 2014 年 09 月 22 日版 (https://www.yano.co.jp/press/press.php/001298)
- 3-4-2 「容器包装リサイクルに係る情報の収集・整理 」経済産業省 2015 年 3 月, (www.meti.go.jp/policy/recycle/.../h2503-yourimri-01.pdf)

4. モデル事業の設定と FS 調査の実施

4.1 地域資源の利用とサプライチェーン構築に関する FS 調査

三重県は、日本のほぼ中央に位置しており、紀伊半島の東部、伊勢湾の西部に位置している。南北の長さは約180kmであり、東西の幅は10~80kmと、非常に縦長の地形であり、また、伊勢平野の平野部、伊賀地域の盆地部、鈴鹿山脈、紀伊山地などの山地部、伊勢湾、熊野灘に面した沿岸部と、地形も複雑である。そして、その複雑さから、気候特性も複雑で、気候に影響を受ける農林水産業は多様であり、すなわち、地域の農林水産資源が多種多様である。

そこで、この豊富な農林水産資源について、セルロースナノファイバーの資源となりうるか、サプライチェーンの起点になりうるか、という視点で、調査を行った。

三重県で特徴ある地域資源を考えた場合、ススキ等の非木材系の資源が有力候補となった。そこで、まず、非木材系資源をナノセルロース化、ナノファイバー化するための調査を行い、その課題を整理した。

三重県の農業は、温暖な気候に恵まれていることから、全国的に中位の農業生産県であり、地域の特色に応じた様々な農産物の産地が形成されている。しかし、すでに産業として形成されている農産物は、新たな資源としての利用は見込めないため、地域で新たに特産品として利用を検討している産品について、セルロース資源としての利用可能性を調査した。

また、地域の特産品として利用されている産品については、未利用部、残渣の利用を先行的に行っている企業に対して、サプライチェーンの構築における留意点等について調査を行った。

2 章の地域資源調査から、有効利用賦存量や製造コストなどから有力な資源として抽出された木質系バイオマスについて、三重県の製材業の特徴を加味して、地域での利用可能性を調査した。

同じく2章の調査から、特徴ある地域資源として抽出した海藻資源について、セルロースナノファイバー原料として利用するためのモデルを検討した。

4.1.1 非木材資源の利用について

世界のパルプ生産量 (2014 年, FAO: Food and Agriculture Organization of the United Nations 資料より) は、17,300 万トンで、そのうち、非木材パルプの生産量は1,300 万トンで約8%である。代表的な非木材パルプは、イネ科植物、木綿、麻、ケナフなどである。

非木材パルプは、開発途上国での利用が盛んであるが、その成長の早さから、パルプ以外への利用も検討されており、資源として有用なものである。そこで、非木材資源を対象に、セルロースナノファイバー原料としての利用可能性について、調査を行った。(文献4-1-1、4-1-2)

イネ科植物は、イネ、ムギ、トウモロコシなど食用の穀類として利用されているが、そのため、それらの生産技術は確立されており、安定的な供給が可能な植物である。

また、イネ科植物は、非木材パルプの主要な原料であり、①農産物残滓(ざんし)(バガ

ス、ムギワラ、イナワラ)、②天然 草本類(アシ、ヨシ、エスパルト草、 パピルス、サバイ)、③タケ類がその 原料として利用されている(文献 4-1-3)。表 4-1-1 (セルロース学会、 セルロースの事典, 朝倉書店(2008), p25 より引用) に、世界の製紙用非 木材パルプ生産量を示したが、ワラ が最大の原料で、続いてバガス、タ ケの順であり、これらで非木材パル プの 2/3 の生産量を占めている。す なわち、セルロースナノファイバー の非木材原料としての利用を考えた 場合、この3種はすでにパルプとし ての加工方法が確立されているもの と考えられ、また、残滓としての供 給が確立されていることから、有力 な原料である。

材料としての供給量は、表 4-1-2 (文献 4-1-1, p25 より引用)に原料別非木材繊維の供給可能量を示した。25 億トン近くの非木材繊維が供給可能であり、非常に豊富である。しかし、非木材パルプは開発途上国で主要なパルプ原料となっており、紙需要の増大があり、また、中国が世界の非木材パルプ生産量の 72% (1998年)を占め、1国のシェアが大きく、日本も輸入に頼っているた

表 4-1-1 世界の製紙用非木材パルプ生産量

	1993	1995	1998	
ワラ	9,566	9,861	10,187	
バガス	2,884	3,121	3,582	
タ ケ	1,316	1,483	1,850	
その他	6,870	7,285	7,752	
合 計	20,636	21,750	23,371	
木材パルプ合計	176,435	180,398	185,136	
製紙用パルプ合計	197,071	202,148	208,507	
(非木材パルプ割合)	(10.5%)	(10.8%)	(11.2%)	

表 4-1-2 原料別非木材繊維の供給可能量

	全世界	米 国
バガス	83,000	4,260
ワラ	1,175,000	928,000
コムギ	545,000	72,000
オオムギ	175,000	6,000
エンパク	60,000	10,000
ライムギ	40,000	800
コメ	350,000	2,500
その他	5,000	500
ジュート,ケナフ,アサ等を含む茎繊維	13,700	1,000
うち靭皮繊維	3,000	
サイザルアサ, ヘネッケン, マゲイを含む		
葉繊維	500	
アバカ、マニラアサ	81	
アシ (推定)	30,000	
タケ(推定)	30,000	
パピルス (推定)	5,000	
エスパルト草 (推定)	500	
サバイ草 (推定)	200	
メン合計	18,300	3,100
カットライナー合計	2,724	460
メン茎	68,000	4,600
トウモロコシ茎	690,000	129,000
モロコシ茎	242,000	28,000
アサおよびトウ	218	-5,4-557

BDT: bo dry ton (乾重量)

め、今後も安定した供給が可能かという点に疑問が残る。

成分的には、イナワラはシリカの含有量が多いため、CNF利用のための前処理が必要となり、コスト的に不利になる。バガスでは、外皮と芯部分(30%)では、大きく性質が異なり、芯には繊維質が含まれていないため、パルプ化には芯抜きが必要であり、CNF利用でも同様の処理が必要となる。

非木材パルプからの CNF 製造に関しては、文献 4-1-4、4-1-5 がある。

Comparison of the characteristics of cellulose microfibril aggregates of wood, rice straw and potato tuber, Kentaro Abe, Hiroyuki Yano, Cellulose, 16:1017, 2009, DOI 10.1007/s10570-009-9334-9 (文献 4-1-4)

木材、稲わら、ジャガイモ茎をグラインダー処理して、それらから精製されたセルロ

ースミクロフィブリルの形態学的および機械的特性を比較しており、木材からのミクロフィブリルは直径 12-20nm であったが、稲わらは 12-35 nm、ジャガイモ茎は 12-55 nm であり、形態学的には、木材に比べて直径範囲が大きい範囲で凝集することが示されている。 X 線分析によるセルロース結晶化度、およびヤング率には有意差はなく、機械的特性では、その性質は類似していることが示されている。

Production and Characterisation of Cellulose and Nano-Crystalline Cellulose from Kenaf Core Wood, Hoong Chi Chan, Chin Hua Chia, Sarani Zakaria, Ishak Ahmad, Alain Dufresne, BioResources, Vol 8, No 1, 785-794 (2013) (文献 4-1-5) ケナフからナノ結晶セルロース (NCC) の製造を試みた。ケナフを 4wt%の水酸化ナトリウムで前処理して、次亜塩素酸ナトリウムで漂白した。さらに、濃硫酸で処理して NCC を得た。得られた NCC は、直径 8.5-25.5nm の範囲で 平均アスペクト比は 27.8 であった。この論文では、ケナフの芯部(core wood)を用いて NCC を製造している。

ケナフは、成長が非常に早く、半年程度で3~4mの高さになり、根元の直径は3~5cmとなる。そのため、木材パルプの代替資源として注目されている。また、繊維集合体として糸にも利用されており、吸水性などに優れているため、シャツ等に利用されている。

形態学的には、表皮、靭皮部と木質部(芯部)があり、成分は、セルロース含量が高く、ヘミセルロース含量は、木質部が26%、靭皮部が18%であり、ヘミセルロースが少ない靭皮部は糸にも利用され、パルプ原料としては靭皮と芯部を利用される。15-20%程度のリグニンも含まれるため、糸として利用するには前処理としてリグニンを除去するために漂白される。TEMPO酸化CNFの製造のためにも、リグニン除去(漂白)が必要となるが、クラボウでは、ケナフ綿混素材の紡績糸(ケナフ10

%以上)も製造しており、この製造工程が応用できるものと考えられる。しかし、東京大学の実験では、セルロースがリッチなため、CNF化は難しかったとのコメントもあった。

非木材系資源をセルロースナノファイバー原料として用いる場合、パルプ原料として利用されているワラ、バガス、タケが有力な候補である。

ワラについては、三重県内の賦存量は 14.4 万 DW-t で、有効利用可能量が 2.2 万 DW-t (15%)、それらから得られる CNF 生産量は 7.5 万 t と試算された。生育地も平地であり、賦存量、分布、収穫コストも十分であるが、CNF 原料として利用する場合の課題をあげると、

- (1)原料供給として、バイオエタノール原料への利用との棲み分け、共存
- (2)集材として、腐敗を防ぐ乾燥、刈り取り技術の導入
- (3)CNF 加工として、シリカ成分の除去

が挙げられる。(2)については、コンバインに乾燥工程を導入するなどの技術開発が行われており、(3)については、基礎技術はあり、工業化の技術開発である。資源利用の政策として、(1)が整理されれば、利用が始まる可能性はあると思われる。

タケについては、三重県内の賦存量は 1.3 万 DW-t で、その有効利用可能量は 1.2 万 DW

-t(94%)、それらから得られる CNF 生産量は $6.1~\mathrm{T}$ t と試算されと資源量は豊富である。 生育地も平地であり、賦存量、分布、収穫コストも十分であるが、CNF 原料として利用する場合の課題をあげると、

- (1)原料供給として、継続的な供給のための資源管理
- (2)集材として、伐採、集材方法の開発
- (3)先行地域との競合

が挙げられる。(2)については、林業技術の応用により、解決されると思われる。(3)については、薩摩川内市が先行しているが、三重県でも加工企業の立地やユーザー企業の発掘などにより、需要の基盤を整備する必要があり、行政からの動きが必要である。(1)については、未利用資源が資源利用される場合、一時的な資源の奪い合い、枯渇などの問題が含まれる。行政主導による資源管理が有効であると思われ、(3)と合わせて、行政の取り組みが進めば、三重県でも利用が始まるであろう。

これまで、樹木に関しては、セルロース含有率の高い樹木の開発、生育期間が短い樹木の開発など、遺伝子工学を応用した育種技術の検討などが提案されている。草本類については、生育期間は短いため、生育期間の短縮化は大きな課題とならないが、セルロース含有率を高める、または、ヘミセルロースとの割合などで、遺伝子工学の応用による品種改良技術も検討されたい。

4.1.2 地域特産品に関するヒアリング

テーマ: 菰野町の特産品マコモについて

日時: 2015年11月13日(金)

場所: 菰野町役場(三重郡菰野町大字潤 田 1250)

面談者: 菰野町観光産業課 農林振興係 係長 秦 崇氏、 主査 伊藤 智彦氏

菰野町では、「菰野(こもの)町」という町名にも関わりがあることから、マコモを地域の特産品として栽培する農家があり、レストランや温泉旅館等で提供している。全国的には、2位の生産量があり、行政も支援して、地域特産品として売り出している。

※ マコモ (Zizania latifolia, 真菰): イネ科 マコモ属の多年草。肥大した新芽はマコモ ダケと称して食用にされる。別名ハナガツ ミ。(wikipedia より)



(画像: https://ja.wikipedia.org/wiki/マコモ#/media/File:Wild rice stems.jpg)

マコモの栽培は、常に水が必要であるため、水辺で栽培され、圃場は稲作地とほぼ同様である。株分けにより栽培され、1株から、12株程度に分かれるが、株分けは、収穫後に株を掘り起こして、株分けして、翌年に田植えをする。成長すると1株は、直径50cm程度となり、その根元の新芽が、マコモタケとして食用に供される。収穫は、1回/年である

が、連作障害はなく、毎年、栽培できる。台湾など温暖な地域では、二期作、三期作が行われている。 主なヒアリング内容は、以下のとおり。

菰野町内の圃場は点在しているが、新規にマコモ栽培のために耕作した圃場はなく、稲作地の転用である。また、栽培事業者は、稲作からマコモ栽培に転換したわけではなく、ほとんどが稲作とマコモの両方を栽培しており、マコモの専業栽培事業者は、1 事業者のみである。

栽培時の株間は、約 1m 程度が必要で、1 反(=約 $1,000m^2$)あたり 500 株程度の栽培が可能となり、マコモタケは、1 本あたり 120g 程度であるので、500 株×12 本/株×120g/本 = 約 500-600kg の収量となる(水稲とほぼ同程度)。

菰野町では、約 $2\text{ha}(2\ \text{町})$ の栽培地があり、その収穫量は 10t で、全国で $2\ \text{位の規模である}$ 。 $1\ \text{位は、山形県酒田市であるが、}2.5\text{ha}$ の栽培量に止まっており、農作物としての栽培量は非常に少ない。

生産品は、収量が少ないこともあり、他の農産物のような流通には乗っておらず、地域特産品かつ地産地消ということで、主に町内向け、町内旅館向けの食材として、出荷されている。食材用としては、500円/kgで出荷し、土産等の物品としては、道の駅で2本入り(250g程度)で、300円で販売している。設定価格の500円/kgは、先行して生産していた四日市農芸高校の価格に準じているが、高校の価格の根拠はないと思われ、価格の設定は全国でバラバラなようである。

栽培については、菰野町から補助金は出していないが、一部、国から地域特産品の栽培 ということで補助があり、その利用者もいる。

担当者によると、産業としては、機械化が難しいため、収益性が上がらないので、水稲のような産業にはなり得ないとのことであるが、マコモ栽培で収益性を上げたいという農家もあまりないようであるとのことであった。

栽培事業者は、収益性への関心は高くないが、各種メディアでも取り上げられていることもあり、地域の特産品を作っているという満足度は高いとのことであった。地産地消であるため、生産から消費までのチェーンが生産者から見えていることも満足度が高い要因とのことであった。

菰野町で栽培されているマコモについて、その写真を図 4-1-1 に示した。

マコモを原料として、年産 50 トンを製造するプラントを想定する。同じ草本系バイオマスである稲わらを例にとると、その成分は、セルロースが約 35%で、ヘミセルロースが約 15%、他、リグニンなどとなっている。セルロース含有量が全て、セルロースナノファイバーとして得られると仮定すると、 $50,000 \, \mathrm{kg} * 0.02/0.35 = 約 3,000 \, \mathrm{kg}$ の乾燥稲わらが必要となる。乾燥稲わらの収量は、米(籾殻込み)の収量とほぼ同量であるので、 $3,000 \, \mathrm{kg}$ の米の収穫が必要となり、すなわち、 $500 \, \mathrm{kg}/10 \, \mathrm{a}$ で算出すると、 $60 \, \mathrm{a}$ ($0.6 \, \mathrm{ha}$ 、 $6,000 \, \mathrm{m}^2$) の作付面積が必要となる。

これを参考に、菰野町のマコモ栽培に換算すると、現在の 2ha の生産規模でセルロース 製造原料が供給できることとなる。

資源名	年産量(t)	CNF wt%	Cellulose 分	資源量(kg)
マコモ	50	2%	35%	2,857

参考:稲の収穫時の含水率は、60%程度、籾は玄米15-25%

稲わらは、バイオエタノール原料として、各地で検討されており、資源の確保が難しく、 また、米の流通が確立されているため、その廃棄物を回収することは難しい。

これに対して、流通が確立されていないマコモは、新たな仕組み作りにより、可食部のマコモタケ部分以外も、工業原料として回収することで、土壌の混入や腐敗などによる加工のための前処理も軽減できる。

セルロースナノファイバーを高度部材として利用する場合、その必要量は汎用部材での利用に比べ少量であるので、地域の特産品に対して、新たな流通の仕組み、セルロース資源の回収の仕組みを組み上げれば、その利用の可能性はあると考えられる。

一方で、木材に比べて、草本系のセルロース含有量は低く、また、マコモはパルプ利用が行われていないため、不純物の除去、精製技術の確立が必要であり、木材パルプの CNF 加工前処理技術が利用できない場合、技術開発から必要となるため、コスト的には、不利であることは明らかである。





マコモ圃場

マコモ圃場

マコモダケ収穫後の廃棄物







マコモダケ

未利用部分 (葉、茎の根元部分、 茎)

図 4-1-1 マコモダケの圃場等の写真

4.1.3 未利用バイオマスの産業利用に関するヒアリング

テーマ:地域でのバイオマスサプライチェーンの構築のついて

日時: 2015年11月11日(水)

場所: 三重大学大学院生物資源工学科(津市栗真町屋町 1577)

面談者:エコバイオフル株式会社 田丸 浩氏(三重大学大学院生物資源工学科教授)

高度部材イノベーションセンター(AMIC)に入居しているエコバイオフル株式会社では、御浜町の特産品であるみかんの残渣から、バイオ燃料を製造して、その実用化を図っている。未利用のバイオマス資源の調達を先行的に行っているエコバイオフル株式会社を対象に、セルロースナノファイバーの資源を検討する場合の課題について、ヒアリングを行った。



※ エコバイオフル株式会社 「年中みかんのとれるまち」三重県御浜町のみかんの残渣(滴下果実、不適合品、ジュースの 搾汁残渣)を原料に微生物による糖化・発酵により、バイオ燃料を製造。100%バイオ燃料のみで RCエンジンカーの走行実験を行うなど、バイオマス由来のバイオ燃料の実装に取り組んでいる。 (http://www.ecobioful.com/ より、引用。図も引用)

地域の生産者は、特産品を生産している、生産者から消費者までのバリューチェーンが見えるものを生産している、という満足感が大きい。その点で、食用品はバリューチェーンが見えやすく、サプライチェーンも成り立ちやすいので、地域産品は食用品が有利である。しかし、同じ農産物でも、これをバイオマスとすると、生産の規模、利益による部分もあるが、全般的にサプライチェーンは成り立たないと思われる。なぜなら、バイオマスでは、生産者の生産物が、食品とは異なり、最終製品の形が見えにくく、すなわち、バリューチェーンが見えないため、生産者の満足度が得られない仕組みとなってしまうからである。最終製品が CNF、さらには、CNF 利用製品となると、生産者から非常に遠い製造

物である。

バイオマスは、地産地消でバリューチェーンも身近に存在させる方が良いのではないか。 この点で、将来的に CNF のサプライチェーンを構築する場合、一次的な加工は地域で行 うことが持続的なサプライチェーンにつながりやすいと思われ、最終の製品も地域で製品 化されているということが望ましいと思われる。

生産者が何を作っているのか?と聞かれた際に、CNFの原料を作っていると言えるようなバリューチェーン、サプライチェーンが必要である。木材からのCNF製造においても、木材を建材としての利用でなく、高度部材として利用する場合、原材料の生産者に、その用途、使われ方を理解していただき、付加価値のある原料を生産していることを意識してもらえるような仕組みづくりも必要である。

すなわち、「植物資源の生産」という価値が必要である。専用植物を、Farm to CNF というチェーンで結ぶ構造が必要である。この視点から、セルロースナノファイバー用の農産資源としては、様々なものから加工するのではなく、また、既存の農産品の流用でなく、専用の1種類でいいと思われる。

一方で、バイオマス利用では、バリューチェーン、サプライチェーンを計画的に、全体を俯瞰して構築しないと、一時的に、地域の生産品の高付加価値化、廃材、未利用品の有価物化され、資源の奪い合いの可能性があり、官主導でバイオマスの導入を実施する場合は、資源の管理、運用が必要である。

バイオマス利用という点では、自治体はバイオマスに対して、バイオマス利用プラント等の設置など、導入は積極的であり、バイオマス資源もその導入時は、調査等により探索している。しかし、導入後、本格運用となった場合に、自治体が生産者のバイオマス資源を、導入時の見込み通り購入するかといったら、疑問があり、詳細な調査は行っていないが、実態としては購入していないのではないか、との意見もある。

すなわち、現在、官主導とも言えるセルロースナノファイバーについても、地域資源の利用(導入)を検討する場合、調査により可能性は見出すことは可能と思われるが、一時的な資源の流通、一方向の流れではなく、サプライチェーンの構築まで、しっかりとフォローが必要であり、生産者にとって、見えやすいバリューチェーンの構築が必要である。

4.1.4 木質系バイオマスをモデルとした FS

2章の地域資源に関する調査で、CNF原料として可能性が高い資源として抽出された木質系バイオマスを対象に、地域でのCNF原料への加工の可能性について、調査を行うこととした。

三重県の製材工場数は、全国1位で、従業員数でも上位にあり、製材業の集積地域である(表 4-1-3)。しかし、出荷量では13位(平成23年)であり、小規模な事業所が多い。製材工場の規模は、木材需給報告書(文献4-1-6)によると、大規模(150kW以上の出力数)工場の割合が、全国平均では17%に対して、三重県では9%にとどまっており、小規

模な事業支所が多いことが特徴である。これは、表 4-1-4 に示された木材チップの工場数、 従業員数等の資料からも理解できる。

表 4-1-3 製材工場数、動力総出力数、素材消費量(農林水産省、木材需給報告書、(2011)より)

	製材工場数(工場)	製材用動力の総出力数(kW)	製材用素材消費量(千 m³)
全国	6,242	692,566	16,510
三重県	(1位) 335	25,686	351

表 4-1-4 木材チップの工場数、生産量等(農林水産省、木材需給報告書、(2011)より)

		製材・ 合	板工場との		- / /-	木材チップ生産量						
	工場数	兼営	(此来)		合計	素材(原木)	工場残材	工場残材 林地残材				
	工場	工場	工場	人	トン	トン	トン	トン	トン			
全国	1,545	1,165	380	2,837	5,633	2,376	1,722	145	1,390			
三重県	62	56	6	77	61	11	29	0	21			

木材バイオマスの利用方法として、林地残材、間伐材を木材チップ化して燃料等に利用されるが、パルプの原料でもある。三重県及び東海地域の木材チップの入手区分別生産量を表 4-1-5 に示す。三重県では、解体材・廃材からの木材チップの生産量が多く、原木からの木材チップ、自社工場からの振り向けによる木材チップを合わせた量とほぼ同量であることがわかる。隣県の岐阜県とは大きく異なる。すなわち、他地域に比べ、解体材・廃材からの木材チップの加工基盤を有すると考えられる。

表 4-1-5 木材チップの入手区分別生産量 (単位:千t)

				工場	残 材		
	計		素材(原木)	自己の工場か ら振り向け	他の工場から 購入	林地残材	解体材・廃材
全	玉	5,844	2,535	1,627	349	110	1,223
岐	阜	59	23	18	9	1	8
静	畄	186	17	13	26	28	102
愛	知	146	2	2	2	-	140
三	重	45	10	11	3	0	21

これらを木材チップ専門工場と製材又は合単板工場との兼営工場に分け、もう少し詳細に見る(表 4-1-6、4-1-7)と、三重県の木材チップ専門工場では、原木からの木材チップより、解体材・廃材からの木材チップの生産量が多いことがわかる。一方で、製材又は合単板工場との兼営工場では、原木、解体材・廃材からの木材チップの生産は少なく、自社工場からの振向による木材チップの生産が多いことがわかる。

さらに、木材チップ用素材の自県、他県別の入荷量を表 4-1-8 に示す。三重県でも他県同様に自県内からの入荷が多いが、隣県の滋賀県から 2 千 t、和歌山県から 2 千 t、愛知県、奈良県からも少量の入荷がある。

表 4-1-6 木材チップ専門工場の木材チップ入手区分別生産量 (単位:千t)

			* * * * * * * * * * * * * * * * * * * *		• • • • • • • • • • • • • • • • • • • •		
				工場	残 材		
	計		素材(原木)	自己の工場から 振り向け	他の工場から 購入	林地残材	解体材・廃材
全	玉	3,488	1,861	2	310	93	1,222
岐	阜	35	18	-	8	1	8
静	畄	167	12	-	25	28	102
愛	知	144	2	-	2	-	140
三	重	33	9	-	3	0	21

表 4-1-7 兼営工場の木材チップ入手区分別生産量 (単位:千t)

			工場残材									
		計	素材(原木)	自己の工場から	他の工場から	林地残材	解体材•廃材					
				振り向け	購入							
全	玉	2,356	674	1,625	39	17	1					
岐	阜	19	5	13	1	-	-					
静	尚	19	5	13	1	-	-					
愛	知	2	-	2	-	-	-					
\equiv	重	12	1	11	-	-	-					

表 4-1-8 木材チップ用素材の自県、他県別素材入荷量 (単位:千t)

		計 (外材含む)	国産材		
			小計	自県材	他県材
全	玉	4,516	4,511	4,141	370
岐	阜	X	X	X	X
静	畄	32	32	32	-
愛	知	2	2	X	X
三	重	21	21	17	4

三重県内で木材チップの加工が可能なことが分かったので、県内の林地残材、間伐材から木材チップの加工、すなわち、CNF原料の生産について、調査、分析を行うこととした。

三重県内には、次の11の森林事業体がある。

石榑森林組合 いなべ市大安町石榑 335 菰野生産森林組合 三重郡菰野町大字菰野 8348-5 鈴鹿森林組合 亀山市加太板屋 4622-1 中勢森林組合 津市白山町南家城 915-1 伊賀市ゆめが丘7丁目7 伊賀森林組合 松阪飯南森林組合 松阪市飯南町粥見 5725-3 番地 宮川森林組合 多気郡大台町江馬 316 いせしま森林組合 度会郡度会町大野木 2756-1 大紀森林組合 度会郡大紀町崎 239-2

森林組合おわせ 北牟婁郡紀北町海山区便ノ山 200 三重くまの森林組合 熊野市久生屋町 1368 番地 2

各市町村の林地残材、間伐材を、これらの森林事業体に集荷して、取りまとめのうえ、 県内のいずれかの森林事業体で CNF 原料化の前処理として木材チップ化を行うとして、 CO2 排出量から、どの地域での木材チップ化が有効か、検討を行った。

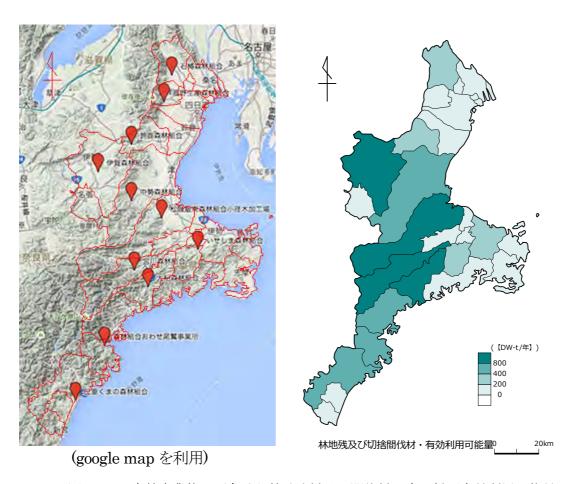


図 4-1-2 森林事業体の所在地と林地残材及び間伐材の市町村別有効利用可能量

県内の森林事業体の所在地と林地残材及び間伐材の市町村別有効利用可能量を図 4-1-2 に示す。林業が盛んな地域に森林事業体が立地しているが、林地残材及び間伐材の有効利 用可能量が賦存している地域ともよく一致しているので、新たな地域に集材して加工する よりは、加工等の基盤も整備されている森林事業体を有する地域に賦存資源を搬入するこ とは妥当である。

そこで、輸送にかかる CO2 排出負荷を考え、まず、森林事業体間の相互の距離を求め た。その結果を表 4-1-9 に示す。県内の一ヶ所を加工所とすると仮定して、各事業体に他 のすべての事業体から林地残材及び間伐材を持ち込むとした場合、距離では、松阪飯南森 林組合、中勢森林組合、大紀森林組合が、他地域からの搬入に有利であることが分かった。

表 4-1-9 三重県内の森林事業体間の距離 (km)

	石榑	菰野生産	鈴鹿	中勢	伊賀	松阪飯南	宮川	いせしま	大紀	おわせ	くまの
石榑森林 組合	-										
菰野生産 森林組合	13.4	-									
鈴鹿森林 組合	47.6	35.1	-								
中勢森林 組合	81.3	68.8	52.0	-							
伊賀森林 組合	71.5	59.0	24.1	35.7	-						
松阪飯南 森林組合	102.0	89.4	72.9	39.1	64.3	-					
宮川森林 組合	109.0	96.1	79.6	59.6	103.0	39.0	-				
いせしま 森林組合	101.0	88.2	71.6	51.7	95.5	31.8	39.1	-			
大紀森林 組合	113.0	99.6	83.1	63.2	107.0	42.4	22.6	42.7	-		
森林組合 おわせ	143.0	126.0	110.0	90.0	134.0	69.2	50.6	69.5	33.0	-	
三重くまの 森林組合	173.0	161.0	144.0	124.0	168.0	105.0	84.9	103.0	67.2	38.1	-
各所からの 合計	955	837	720	665	862	655	684	694	674	863	1,168

次に、各地域の林地残材及び間伐材の賦存量も考慮に入れ、これらのバイオマス資源を 県内で加工するための輸送にかかる CO2 排出量及びその原油換算量を算出した。ここで、 CO2 排出量の算出には、改良トンキロ法を用いて、輸送は林道利用を想定して 10t トラックでの輸送とした。すなわち、燃料使用原単位は 10t トラック(10,000~11,999kg)の中 央値の 11,000kg を最大積載量として、積載率は 100%、単位発熱量及び排出係数は、軽油 で算出した。すなわち、次のとおりである。

CO2 排出量 (t-CO2)=輸送重量(t)×輸送距離(km) ×燃料使用原单位(l/t・km) ×1/1000(kl/l)× 単位発熱量(GJ/kl) ×排出係数(t-C/GJ) ×44/12(t-CO2/t-C)

燃料使用原单位:0.0342、単位発熱量:38.2、排出係数:0.0187

林地残材及び間伐材を排出する林業者は、森林事業体に加入していない場合もあるが、ここでは、考慮に入れず、市町村別の有効利用可能量を最寄りの森林事業体に持ち込むと仮定して積算した。その結果を表 4-1-10 に示す。これらから CO2 排出量及びその原油換算量を算出した結果を、表 4-1-11、4-1-12 に示す。

表 4-1-10 森林事業体ごとに積算した林地残材及び間伐材の有効利用可能量 (DW-t/年)

	石 榑 森林組合	菰 野 生 産 森 林 組合	鈴 鹿 森 林組合	中勢森 林組合	伊賀森林組合	松 阪 飯 南 森 林 組合	宮川森林組合	い せ 森 組合	大 紀 森林組合	森林組合おわせ	三重く まの森 林組合
有効利用 可能量	215	54	236	717	853	1,063	1,111	653	1,582	517	508

表 4-1-11 改良トンキロ法による CO2 排出量の算出結果 (単位:t-CO2)

	石榑	菰野生産	鈴鹿	中勢	伊賀	松阪飯南	宮川	いせしま	大紀	おわせ	くまの
石榑森林組 合	-	0.06	1.01	5.22	5.46	9.71	10.85	5.91	16.01	6.62	7.87
菰野生産森 林組合	0.26	-	0.74	4.42	4.51	8.51	9.57	5.16	14.12	5.83	7.32
鈴鹿森林組 合	0.92	0.17	-	3.34	1.84	6.94	7.92	4.19	11.78	5.09	6.55
中勢森林組 合	1.56	0.33	1.10	-	2.73	3.72	5.93	3.02	8.96	4.17	5.64
伊賀森林組 合	1.38	0.28	0.51	2.29	-	6.12	10.25	5.59	15.16	6.20	7.64
松阪飯南森 林組合	1.96	0.43	1.54	2.51	4.91	-	3.88	1.86	6.01	3.20	4.78
宮川森林組 合	2.10	0.46	1.68	3.83	7.87	3.71	-	2.29	3.20	2.34	3.86
いせしま森 林組合	1.94	0.42	1.52	3.32	7.30	3.03	3.89	-	6.05	3.22	4.69
大紀森林組 合	2.17	0.48	1.76	4.06	8.18	4.04	2.25	2.50	-	1.53	3.06
森林組合お わせ	2.75	0.61	2.33	5.78	10.24	6.59	5.04	4.07	4.68	-	1.73
三重くまの森 林組合	3.33	0.77	3.05	7.96	12.84	9.99	8.45	6.03	9.52	1.76	-
各所に集積し た場合の合計	68.73	60.43	48.74	37.17	55.43	31.09	31.35	35.37	30.01	43.80	63.71

表 4-1-12 改良トンキロ法による CO2 排出量の原油換算量の算出結果 (単位:リットル)

	石榑	菰野生産	鈴鹿	中勢	伊賀	松阪飯南	宮川	いせしま	大紀	おわせ	くまの
石榑森林組合	-	25	385	1,993	2,086	3,707	4,143	2,256	6,114	2,528	3,004
菰野生産森林 組合	98	-	284	1,686	1,722	3,249	3,653	1,970	5,389	2,227	2,796
鈴鹿森林組合	349	64	-	1,274	703	2,649	3,026	1,599	4,496	1,944	2,501
中勢森林組合	597	126	420	-	1,042	1,421	2,265	1,155	3,420	1,591	2,153
伊賀森林組合	525	108	195	875	-	2,337	3,915	2,133	5,789	2,368	2,918
松阪飯南森林 組合	749	164	589	958	1,876	-	1,482	710	2,294	1,223	1,824
宮川森林組合	800	176	643	1,461	3,006	1,417	-	873	1,223	894	1,474
いせしま森林 組合	742	162	579	1,267	2,787	1,156	1,486	-	2,310	1,228	1,789
大紀森林組合	830	183	671	1,549	3,122	1,541	859	954	-	583	1,167
森林組合おわ せ	1,050	231	889	2,206	3,910	2,515	1,923	1,552	1,786	-	662
三重くまの森 林組合	1,270	296	1,164	3,039	4,902	3,816	3,227	2,300	3,636	673	-
各所に集積 した場合の 合計	26,240	23,073	18,607	14,190	21,163	11,870	11,968	13,505	11,459	16,723	24,323

CO2 排出量及びその原油換算量を算出した結果から、三重県内では大紀町の大紀森林組合、松阪市飯南町の松阪飯南森林組合、大台町の宮川森林組合に、林地残材及び間伐材を集材して木質チップに加工することが、低炭素社会に向けた CNF 原料の加工に適していることが明らかになった。

他の木質系資源であるタケ、果樹剪定枝についても検討すると、その有効利用賦存量から、果樹剪定枝では、林地残材及び間伐材と同様の木質チップ加工場所に集材することが CO2 排出という側面から有効であると思われるが、タケについては、別の地域または新たな加工地を検討することも視野に入れるべきかと思われる。

タケについては、県内ではチップ化を含めた工業化が始まっておらず、中長期的な取り

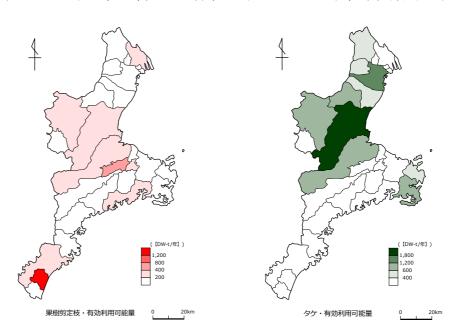


図 4-1-3 果樹剪定枝、タケの市町村別有効利用賦存量

4.1.5 海藻をモデルとした FS: 海藻資源の養殖について

海藻資源をセルロースナノファイバーの原料として検討する場合、その必要資源量は、 現在の生産量では不足していることから、伊勢湾内をモデルとして、セルロースナノファ イバー原料となりうる海藻類の養殖栽培について、検討した。

三重県の海面養殖業は、主に沿岸の内湾域で営まれ、平成25年の生産量は24,713トンで、海面漁業生産量の15.5%、生産額は14,357百万円で、海面漁業生産額の31.1%を占める重要な産業である。すなわち、養殖業の基盤は整備され、充実している。

養殖業の内容としては、(1) 藻類養殖業、(2)真珠養殖業、(3)魚類養殖業が営まれている。 セルロースナノファイバーの原料としての可能性がある(1) 藻類養殖業については、伊勢 湾・鳥羽地域で黒ノリ養殖、的矢湾・英虞湾・五ヶ所湾等で青ノリ養殖、鳥羽地域でワカ メ養殖が営まれているが、全て食用利用のためである。

近年の三重県地域での養殖業の課題としては、全国的な課題とも共通するが、漁場環境の悪化、魚病や赤潮の発生に伴う生産量の減少、需要構造の変化による価格の低迷、飼料価格の上昇による生産コストの増大等があり、既存の養殖業からの方向転換も一つの選択肢となると思われる。養殖栽培品の食用利用の場合、消費者の「食の安全」に対する意識の高まりもあり、漁場環境、生産地については、より配慮が必要となっていくであろう。

このような背景の中、三重県の伊勢湾内をモデルとして、資源作物としての藻類の養殖の可能性について、調査を行った。

三重県沿岸地域では、北から南までのほぼ全域に藻場が形成されており、藻類の養殖は伊勢湾全域が対象地域となる。しかしながら、現在の藻類の養殖は、食用利用を前提として営まれているため、水質の問題等から、鳥羽地域、的矢湾、五ヶ所湾域に限定されている。例えば、高度部材イノベーションセンターが立地する四日市市塩浜地区の沿岸部の磯津地域での養殖は、水質の問題から、食用藻類の養殖という点では、困難である。

しかし、資源作物、工業原料を前提に養殖する場合には、推定ではあるが、沿岸漁業が営まれており、藻場が分布している地域では、生育には水質的に問題はないと思われ、養殖も可能と考えられる。すなわち、伊勢湾全域が養殖業の対象地域となる。

そこで、資源作物、工業原料を前提とした藻類養殖について、栽培から出荷処理に至るまでのプロセスを、伊勢湾地域の既存産業のユーティリティを考慮に入れ、その実現の可能性について、三重県水産研究所へのヒアリング等による調査を行った。

栽培については、まず、どのような藻類でも、他地域の種に対して、三重県地域での栽培に適合させる必要がある。そのため、藻類の種類については、ここでは議論しないこととした。

昆布を例にとると、昆布の養殖では、コンブ種糸が付いた養殖ロープを購入して養殖するが、収穫を船で行い、収穫後の処理として、「水洗い」、「乾燥」処理の後、出荷をすることとなる。養殖のフィールドは、海面であるため、利用可能なフィールドは容易に得られると思われるが、水揚げ後の作業フィールド(出荷処理ができるフィールド)の確保が課題となる。

沿岸地域の既存の漁業ユーティリティを利用する場合、例えば、四日市市では、海苔の時期が10月~4月であるので、その時期の利用は困難である。繁忙期には、昼夜問わずに、洗浄設備などは稼働しているため、作業スペースの確保は難しい。

海藻類の扱いは、海水による塩洗い、真水による水洗いの2種類があるが、漁港の近くでは、汚れや付着物、夾雑物を取るための塩洗いが一般的であり、設備も塩洗い用である。 工業材料として用いる場合は、水洗いが必要であるため、水洗い設備の導入が必要である。

一方、四日市市のコンビナートの立地地域は沿岸部であり、養殖漁業の作業スペースと して検討した場合、作業スペースは、コンビナート企業の集約化などに伴い、比較的、確 保しやすい状況である。

コンビナート地区の用地利用については、三菱化学株式会社四日市事業所が事業用地の

誘致を行っている。同社のホームページ(図 4-1-4)によると、加工工場への利用や洗浄工場への利用なども紹介されており、海藻類の洗浄、加工工場という利用も可能性がある。

また、コンビナート企業 が利用する工業用水があり、 加工前の前処理としての水 洗いであれば、工業用水や 他用途の排水の二次利用の 可能性もあり、水利用とい う点でも有利である。

さらに、乾燥工程では、 コンビナート企業からの排 熱もあるため、設備、シス テムの開発は伴うが排熱利 用も期待でき、作業ユーテ ィリティ面では、非常に有 利である。

洗浄や乾燥といった基本 的な前処理を終え、その後 の原料処理については、具 体的には検討できないが、 前処理済み、または、一次 加工を行った場合のいずれ においても、原料の加工事 業者への輸送が必要となる。 この場合でも、コンビナー トは、既存の大規模な輸送



図 4-1-4 コンビナート内の事業用地誘致に関する資料 (http://www.m-kagaku.co.jp/yokkaichi/youchi/area.html より)

手段、輸送ルートの基盤が整備されているため、陸路、海路、いずれにおいても、非常に 有利であることは間違いない。

すなわち、工業原料を前提に養殖する場合には、作業スペースの確保、洗浄水の確保、 排熱利用の可能性、加工品の輸送、といずれの状況においても、漁港ではなく、コンビナ ートやその周辺での陸揚げに、大きなメリットがあるということがわかった。

一般に、藻類養殖は、光合成や窒素、リンの吸着があるので、水質が改善されると言われている点でも、コンビナートや沿岸地域には付加価値がある。

海藻資源を養殖し、セルロース原料として用いる場合、その養殖技術、収穫、加工方法などの技術開発は必要となるが、三重県地域で検討する場合、コンビナート地区の事業用地の利用が可能であり、製造業としての基盤が整っているため、優位であることがわかった。その概要を図 4-1-5 にまとめた。

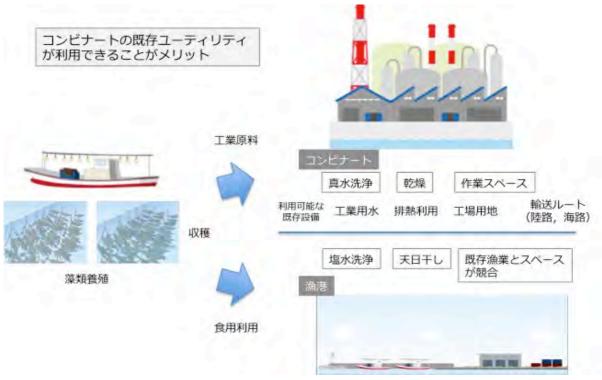


図 4-1-5 コンビナートを利用した場合のメリット

参考文献

- 4-1-1 R.D.S.G. Campilho, Natural Fiber Composites, CRC Press(2015)
- 4-1-2 Vijay Kumar Thakur, Green Composites from Natural Resources, CRC Press(2013)
- 4-1-3 セルロース学会編, セルロースの事典, 朝倉書店(2008)
- 4-1-4 Kentaro Abe, Hiroyuki Yano, Comparison of the characteristics of cellulose microfibril aggregates of wood, rice straw and potato tuber, Cellulose, 16:1017, (2009)
- 4-1-5 Hoong Chi Chan, Chin Hua Chia, Sarani Zakaria, Ishak Ahmad, Alain Dufresne, Production and Characterisation of Cellulose and Nano-Crystalline Cellulose from Kenaf Core Wood, BioResources, Vol 8, 785-794 (2013)
- 4-1-6 農林水産省,木材需給報告書,(2011)

4.2 断熱材分野に関する FS 調査

4.2.1 TOCN エアロゲルに関する FS 調査

東京大学・磯貝グループにて研究されている TOCN は酸や金属塩を用いることで容易にハイドロゲルを形成することができ、さらに、得られたヒドロゲルを凍結乾燥や超臨界乾燥することで、超低密度で大きな表面積を有するエアロゲル(ナノ多孔材)を得ることができることが知られている。得られたエアロゲルは極めて低い熱伝導性を示しており、特に低密度のエアロゲルはシリカエアロゲルの最低伝導率に匹敵する 0.018±0,02W/mKを達成している(図 4-2-1)。

そこで、上記 TOCN エアロゲルをプロセス面、断熱性、強度などの観点から、断熱材としてのポテンシャルを確認するための FS 調査を実施した。

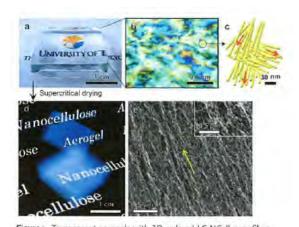


Figure 1. Transparent aerogels with 3D ordered LC-NCell nanofiber skeletons. a) LC-NCell hydrogel (1 % w/v). b) Birefringence image of the hydrogel. c) A simplified model of the liquid-crystalline arrangement of the nanofibers or the nematic multi-domain structure. d) LC-NCell aerogels obtained by supercritical drying of the hydrogels. e) SEM images of a cross-section of the aerogel, showing a domain of the oriented nanofibers.

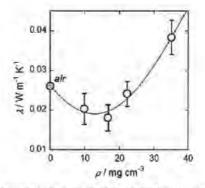


Figure 5. Thermal conductivity (λ) of the LC-NCell aerogel as a function of density.

図 4-2-1 TOCN に関する資料 (Angew. Chem. Int. Ed 2014, 53, 10394-10397)

4.2.2 TOCN エアロゲルの作製

検討は第一工業製薬(株)製 TOCN(レオクリスタ)を用いて行った。まず、TOCN

(CNF=2wt%) に対して、所定量の 蒸 留 水 を 加 え 、 0.5wt% の TOCN 分散液を作製した。得られた TOCN 分散液に 1M の塩酸を 加えることで、TOCN ハイドロゲルが速やかに得られた(図4-2-2)。





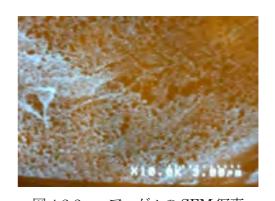
図 4-2-2 TOCN (左) と TOCN ハイドロゲル

続いて、得られたハイドロゲル

を tert-ブチルアルコール (以下 t-BA) に浸漬し、ゲルを水から t-BA に置換した。得られたゲルを凍結乾燥することで多孔質化されたエアロゲルを作製した。エアロゲルの

Scanning Electron Microscope で測定した写真を図 4-2-3 に示す。

多孔質化の条件を変更することで、BET 比表面積が $100\sim250$ m²/g の多孔質体を作製することができることが判明した。



4.2.3 TOCN エアロゲルの断熱性評価

前項で作製した TOCN エアロゲルの断熱性評 図 4-2-3 エアロゲルの SEM 写真 価を熱伝導率の測定にて判断したところ、一般的なシリコーン樹脂対比で熱伝導率が高くなる結果が得られた(表 4-2-1)。これは TOCN エアロゲルの強度不足に起因しており、熱伝導率測定の際にエアロゲルが変形、熱伝導率に影響する空気層(空隙部分)が減少していることが原因と推察している。TOCN エアロゲルの強度向上、熱伝導率の測定方法については今後の課題である。

表 4-2-1 熱伝導率測定結果

4.2.4 TOCN エアロゲルの微粒子 化

前項にて TOCN エアロゲルの強度不足があることが判明したため、強度向上を目的として TOCN エアロゲルの微粒子化にトライした。微

測定サンプル	熱伝導率(W/m·k)
TOCN多孔質体 (250m2/g)	0.30
シリコーン樹脂	0.25

樹脂材料熱抵抗測定装置(日立製)

粒子することで、成形加工性の向上や樹脂とのコンポジット化による強度向上により、適用用途の拡大が期待できる。JSR(株)では創業時よりエマルションやラテックスなどの粒子合成技術を保有している。今回、この技術をTOCNエアロゲルの作製に応用した。

まずは中間体である TOCN ハイドロゲル微粒子を作製した。図 4-2-4 に今回作製した微粒子の写真を示す。サイズは約 100μm 以下、水分含有率が 99%以上の TOCN ハイドロゲル微粒子を得ることができた。合成条件を変更することで、さらなる微粒子サイズの変量が可能である。

4.2.5 TOCN ハイドロゲル微粒子の樹脂との複合検 討

続いて、前項で得られたハイドロゲル微粒子の樹脂 との複合化検討を実施した。検討のイメージを図4-2-5 に示す。TOCN ヒドロゲル微粒子は非常に親水性が高 いため、混合する樹脂との相溶性に課題が出てくると

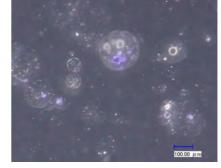


図 4-2-4 ハイドロゲル微粒子の写真

予想される。そこで、予め TOCN を表面修飾によって機能化させた後、各種樹脂との混合性を確認し、その後凍結乾燥等によってエアロゲル化することとした。

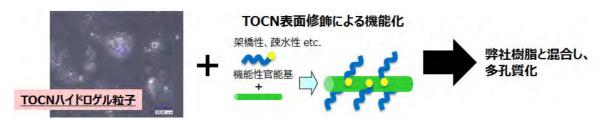


図 4-2-5 TOCN ハイドロゲル粒子の樹脂との複合化イメージ

樹脂との混合結果を表 4-2-2 に示す。その結果、予め表面修飾した TOCN を用いることで、樹脂との混合性能が向上することが明らかとなった。また、混合する樹脂に関しては、親水性が高いものほど良好な結果が得られた。複合化については、表面修飾を行い、混合する樹脂を親水性の高いものを選定することで凝集のないものを得ることができた。しかしながら、多孔質化に関しては、今回作製したハイドロゲル微粒子の強度が不十分であり、微粒子の変性により実施することができなかったため、今後の課題である。

衣 4 2 2 倒加とり化百箱未	表 4-2-2	樹脂との混合結果
------------------	---------	----------

ナノセルロース種	表面修飾	樹脂	混合結果
	無し	樹脂A	×(凝集多い)
TOCN	有り	(疎水性)	△ (やや凝集)
ヒドロゲル粒子	無し	樹脂B	△(やや凝集)
	有り	(親水性)	○ (凝集無し)

4.2.6 断熱材分野に関する FS 調査のまとめ

今回の FS 調査により、下記のことが判明した。

- ① TOCN は簡便な操作で多孔質化することができ、新しい断熱材料としてのポテンシャルがあることを確認できた。但し、溶剤置換/凍結乾燥工程のさらなる簡略工程化が課題である。
- ② 成形加工性の向上・樹脂とのコンポジットを目的に、TOCN ヒドロゲルの微粒子化に成功。但し、コンポジット化した材料の多孔質化については、ヒドロゲルの強度が不十分であり、今後の課題である。

TOCN エアロゲルの断熱材に対する FS を実施した。その結果、断熱充填剤としてのアプローチは、消費者や住宅メーカーの断熱性能向上に期待するトレンドはあるものの、現行品の価格が低いため、断熱材メーカーが独自に積極採用する可能性は低い。代替するには、高機能化以外の外部環境変化(CO2削減等)によるドライバーが必要であり、日本以外の動向も調査しながら、行政、産業間でエコシステムを整理し、適切なアプローチを行う必要がある。

一方で、住宅や自動車用途の樹脂窓にも断熱ニーズは高い。ビニールハウスを用いた農業や、今後普及するであろう太陽光型の植物工場でも、精緻な熱マネージメントを行う必要が出てくる。この場合、高断熱・高透明性の材料が必要であり、規則性の揃ったナノ空孔を有する TOCN エアロゲルを作る必要がある。

今回のFSでは、凍結乾燥を用いた安価な製造を検討していたが、光透過性は低い。高透明の機能を発現するには、東京大学の磯貝教授、齋藤准教授らの論文にもある超臨界 CO2 乾燥が今のところ必須であり、材料だけでなく、プロセス面からのアプローチも必要であると考える。フィルム加工メーカーによる技術イノベーションも期待しながら、最適なアプローチによる適用可能性を見ていく必要がある。

4.3 水素透過膜分野に関する FS 調査

水素透過膜分野では、低炭素社会に向けた水素の高効率製造システムでの水素透過膜への応用の可能性が見出されたので、CNF膜を作製し、水素製造システムでの水素透過性能の検討を行うこととした。

4.3.1 CNF 膜の作製

市販の TEMPO 酸化 CNF(第一工業製薬(株) 製、レオクリスタ)を用いて、TOCN 膜の作製を試 みた。レオクリスタ(CNF2wt%)に対して、2 倍量の 蒸留水を加え、撹拌脱泡処理により均質な TOCN ゲルを得た(図 4-3-1)。

得られたゲルをドクターブレード法により製膜を 行った。設定膜厚は 1 mm とし、シート送り速度 60 cm/min とした。この際、シートには撥水処理加 工済みのものを用いた(図 $4 \cdot 3 \cdot 2$)。

その後、室温での乾燥により透明な **TOCN** 薄膜を得た (図 4-3-3)。

我々の作製膜と比較するため、平成 28 年 2 月 8 日に東京大学・磯貝/齋藤研究室を訪問し、TOCN-COOH 膜試料を頂いた。同研究室の CNF 薄膜の作製方法は、0.1wt%の TOCN 溶液を親水性ペトリ皿に分取し、1cm 程度の厚みから 40^{\circ} \circ </sup> C程度でゆっくりと乾燥し、薄膜化を行っているとのことであった。

両者を比較したところ、膜厚では、三重県工業研究所(工研)製のドクターブレード法による作製膜は約 $15\,\mu$ m、東京大学・磯貝/齋藤研究室(東大)製の TOCN 膜は約 $30\,\mu$ m であった。

また、東大の TOCN 膜は、透明性が高いことが 特徴として観察された。このことは、ゲル濃度や乾燥時間などの製造方法の違いに加え、我々の試料に は防腐剤等のセルロース以外の成分が含まれている ことが原因の一つと予想される。



図 4-3-1 TOCN ゲルの調整



図 4-3-2 製膜工程



図 4-3-3 TOCN キャスト膜

先行研究に習い、原子間力顕微鏡(AFM)によるナノレベルの観察を試みたが、観察出来なかった。さらに、FT-IR 及び分光スペクトルにより、両者の比較を行うこととした。

4.3.2 FT-IR による CNF 膜の比較

工研製 TOCN 薄膜(以下、DKS)と東大製 TOCN 膜の特性を比較するため、FT-IR 測

定を試みた。FT-IR はATR モードでの測定とした。測定結果を図4-3-4に示す。

図 4-3-4 より、工研製 DKS および東大製 TOCN 膜ともに、その構造は通常のセルロースと同様であり、特別な構造を示す吸収等は観察されなかった。また、DKS については、標準状態では TOCN-COONa 型であり、塩酸処理により東大製 TOCN-COOH 型へと変化することが確認された。すなわち、前出の参考文献 3-2-1 (Selective Permeation of Hydrogen Gas Using Cellulose Nanofibril Film, H.Fukuzumi et.al., Biomacromolecules, 14, p.1705-1709(2013)) で報告されている、塩酸処理による-OH 変角振動に由来するピーク(1597cm-1 (-COONa) が 1719cm-1(-COOH)) ヘシフトしていることが確認された。それ以外については、東京大学製の TOCN 膜と工研製の TOCN は、IR から観察される構造上の差異は観察されなかった。

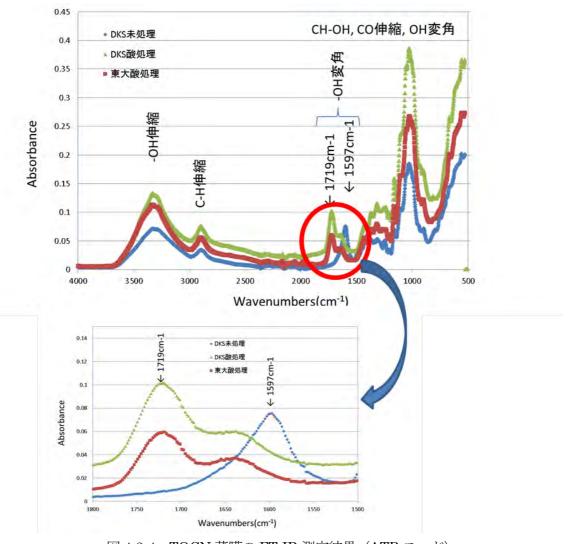


図 4-3-4 TOCN 薄膜の FT-IR 測定結果 (ATR モード)

4.3.3 分光スペクトル測定による CNF 膜の比較

工研製 TOCN 薄膜と東大製 TOCN 膜について、紫外~可視~近赤外領域の透過スペクトルについて比較を行った。測定装置は、島津製作所製 UV-VIS-3100PC を用い、測定モードは透過、測定波長は 190nm~2600nm とした。

その結果、第一工業製薬製 TEMPO 酸化 CNF (レオクリスタ) 薄膜および東京大学製

TOCN 膜ともに、可視光〜近赤外領域で高い透明性を有し、90%前後の透過率を示すことが確認された。(図 4-3-5)

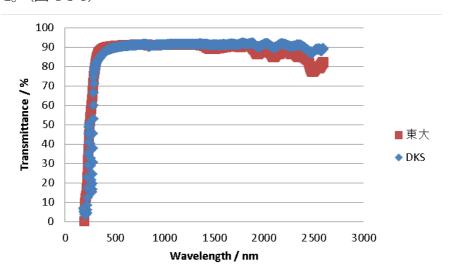


図 4-3-5 TOCN 薄膜の分光スペクトル測定結果

4.3.4 テラヘルツ測定結果

近年、赤外線よりさらに長波長領域のテラヘルツ波領域の活用が盛んになっている。三重県工業研究所でも Advantest 社製テラヘルツ分光分析装置(TAS-7400TS)を導入して種々の材料の分析を行なっている。そこで、CNF 膜の超遠赤外領域の透過特性についても評価を行った。測定波長は $60\,\mu$ m ~ $5000\,\mu$ m とし、測定モードは透過モードとした。

その結果、工研製および東大製 TOCN 膜ともに、可視光領域同様、テラヘルツ波領域でも高い透明性を有し、90%前後の高い透過率を示すことが確認された。(図 4-3-6)

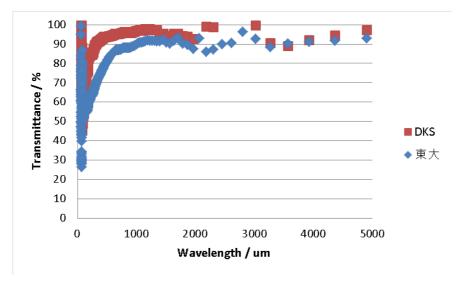


図 4-3-6 TOCN 薄膜の分光スペクトル測定結果

4.3.5 CNF 膜の水素透過試験

CNF 膜の水素透過性能を評価するために使用した試験装置の外観を図 4-3-7 示す。 膜試料は、工研製 TOCN 薄膜および東大製 TOCN 膜の 2 種類について評価を行った。 CNF

膜の試料形状は直径 12mm の円形とし、一次側(膜の前段)ガスとして水素と窒素の混合ガス(水素:窒素=6cc:2cc)を 0.2 MPa の圧力で注入し、2 次側(膜の後段)は 0.1 MPa の He をフロー無しの状態で注入した。その後、時間ごとに 2 次側の水素ガス濃度について、ガスクロマトグラフィーを用いて測定することで、水素の透過性能を評価した。

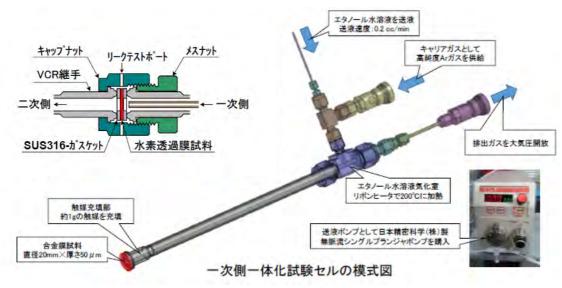


図 4-3-7 試験装置の外観

図 4-3-8 に東京大学製 TOCN-COOH 膜に関する水素透過試験における 1 次側および 2 次側の水素ガスの分析結果を示す。一次側においては、H2 ガスは高い濃度を示しており、 仕込み組成通りのガスが注入されていることが確認されている。

一方、2 次側においては、19 時間まで水素ガスがまったく検知されず、53 時間後にわずかに 0.16mol%の水素の透過が確認された。

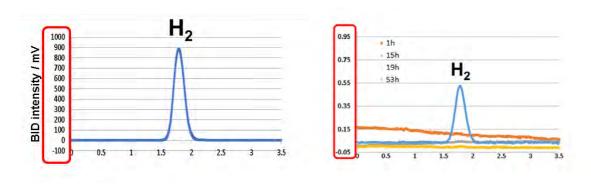


図 4-3-8 水素透過試験結果(左図:一次側水素ガス濃度、右図:二次側水素ガス濃度)

一般的に金属系水素透過膜は数十 cc/min 程度の水素透過量があることが報告されている。この値と、今回の CNF 膜の水素透過特性とを比較すると、CNF 膜の水素透過量が非常に少ないことが明らかとなった。

なお、工研製 TOCN 薄膜の水素透過特性についても実験を行ったが、結果はほぼ同様であり、ほとんど水素を透過しない特性を有することが明らかとなった。

4.4 不織布・繊維集合体分野に関する FS 調査

不織布・繊維集合体分野では、エアフィルター用途、蓄電池セパレータ用途の可能性が 見出されたので、エレクトロスピニング(ES)法によるナノファイバーフィルターの検討、 フィルター等の基材のための湿式紡糸による機能性糸の検討を行うこととした。

4.4.1 不織布としての用途の検討

ES 法によるナノファイバーの用途として、従来より、高機能フィルターが検討されている。セルロースナノファイバーでも、そのナノサイズ効果による超低圧損、高効率なフィルトレーション(濾過)によるエネルギーの低減への寄与が期待できるとともに、CNFのナノネットワーク構造に各種天然高分子や金属ナノ粒子等を複合化し、高機能化が期待できる。そこで、本事業の技術アドバイザーである滋賀県立大学工学部・山下先生の協力のもと、CNFを用いた ES 法によるフィルターの試作について検討した。

ナノファイバー作製における最大の課題は、ナノファイバー作製の条件調整である。ナ

ノファイバーの繊維径は溶液粘度に依存するため、繊維径を細くするためには溶液粘度を下げるのが一般的である。しかし、溶液粘度が下がれば溶液濃度も低下し。ファイバーが形成されず、ナノ粒子が作製される。そこで、第一工業製薬株式会社製のセルロースナノファイバー「レオクリスタ」を溶液の粘度調整剤として利用して、溶液粘度の低下を抑えながら、溶液濃度を下げた紡糸原液の作成し、ES法によるナノファイバーフィルターの作製を検討した。

エレクトロスピニングは、NEU(カトーテック(株) 製、図 4-4-1)を用い、電圧 13kV、ノズルーターゲット 間距離 15cm、ノズルトラバース速度 10cm/min、ター ゲットドラム回転速度 600rpm の条件で実施した。

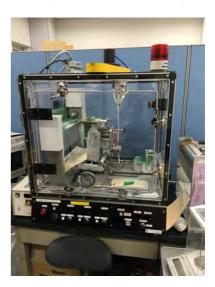


図 4-4-1 装置外観

(1).CNF 溶液のエレクトロスピニング

CNF のみで、エレクトロスピニングによるナノファイバー作製を検討した。用いた CNF 溶液は、表 4-3-1 のとおり。

エレクトロスピニングにより作製した薄膜の SEM 観察結果を図 4-4-2 に示した。ナノファイバーは得られず、粒子状の物質が形成された。すな

表 4-4-1 CNF 溶液の組成

	組成重量 (g)
CNF (レオクリスタ)	1.0
純水	1.0
イソプロパノール(IPA)	1.0

わち、レオクリスタ単独でのエレクトロスピニングでは、連続したナノファイバーは得られなかった。

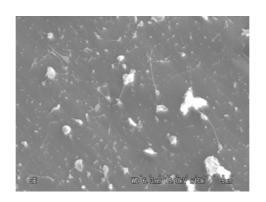


図 4-4-2 CNF の ES 結果

(2).ポリマー水溶液のエレクトロスピニング

ポリオレフィン系水溶性ポリマーに CNF を添加した水溶液で、エレクトロスピニングによるナノファイバー作製を検討した、用いた水溶液は、表 4·3·2 のとおり。

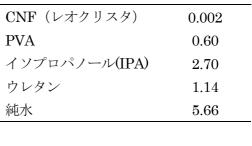
エレクトロスピニングにより作製した薄膜の観察結果を図 4-4-3 に示した。ポリオレフィン系水溶性ポリマーのみでは、溶液粘度が低く、エレクトロスピニングが不安定になり、ナノファイバー

の厚みにムラが生 じた (図 4-4-3(a))。 一方、CNF で粘度 調整を行った溶液 では、均一なナノ ファイバーでコー ティングされた不 織布が得られた (図 4-4-3(b))。

ム 4 4 60%。 この不織布の



(a). ポリマー水溶液のみ



組成重量 (g)

表 4-4-2 CNF 溶液の組成



(b). CNF 含有ポリマー水溶液

図 4-4-3 ポリマー水溶液の ES 結果

SEM 観察結果を

図 4-4-4 に示した。基布の上に、CNF を含む薄膜が形成されていることがわかる。

溶液の吐出量を 2ml/hr.で、20 分間エレクトロスピニングを行ったところ、目付けは 2g/m²であった。この目付けのフィルターの PM2.5 粒子の除去率は 99%以上であり、フィルターとしての機能を十分に有するものと考えられる。

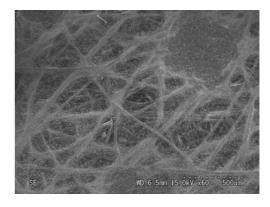


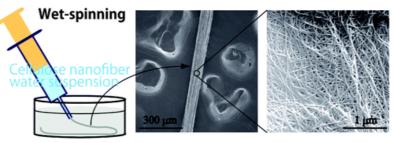
図 4-4-4 CNF 含有ポリマー水溶液の ES 結果

4.4.2 糸としての用途の検討

セルロースナノファイバーを湿式紡糸することで、高強度な糸が得られるとの報告がある。CNF を紡糸することで、ハンドリング性が付与でき、織物、編物、組物といった二次元、または三次元構造の集合体が構成されるため、他の繊維材料との組み合わせを含め、用途は大きく広がる。そこで、先行研究を参考に、本事業の技術アドバイザーである信州大学繊維学部・木村先生の協力のもと、CNF の湿式紡糸を試みた(Handbook of textile fibre structure Volume 2, CRC Press)。先行研究は、東京大学・磯貝グループの研究で、以下である。

Shinichiro Iwamoto, Akira Isogai, and Tadahisa Iwata, Structure and Mechanical Properties of Wet-Spun Fibers Made from Natural Cellulose Nanofibers, Biomacromolecules, 12, pp 831–836 (2011)

概要:木材パルプとホヤを 原料に、前処理としてホモジ ナイザー、超音波で攪拌して、 遠心分離により、フィブリル 化していないものを除去して、 TEMPO 触媒酸化によって、



CNF を得た。35mm、 ϕ 6mm のシリンダーに、CNF を充填して、 ϕ 0.95mm の針で、アセトン凝固浴中に紡糸を行った。紡糸液は、CNF(1wt%)懸濁液として、紡糸後、浴から取り出し、105°Cで 1 時間乾燥させた。紡糸条件は、紡糸速度を 0.1m-100m/min とした。得られた糸の側面は紡糸速度によらず滑らかであるが、木材 CNF からの糸は、10m/min.以上の紡糸速度では、中空構造を持っていた。ホヤ CNF からの糸は、多孔質であった。広角 X 線回折分析より、紡糸速度を速くすると、繊維は繊維方向に配向する。100m/min.で紡糸した木材 CNF は、ヤング率 23.6 GPa、伸び率 2.2%、引張強度 321 MPaであった。紡糸速度が増すと、ヤング率が高くなるが、ナノサイズ効果である。

本事業では、TEMPO 触媒酸化セルロースはレオクリスタ(第一工業製薬(株))を用いて、CNF 懸濁液は、2wt%、1wt%、0.5wt%の3種類を検討した。紡糸速度は、約1-10m/min. として、ノズル径は18G(内径0.94mm)として、アセトン凝固浴中に紡糸した。紡糸結果を図4-4-5に示す。

2wt%では、非常に粘度が高いため、押し出し速度にばらつきがあり、紡糸が困難であった。また、十分に脱泡ができず、気泡が含まれたことが原因と思われる繊維径のばらつきが見られた。1wt%、0.5wt%では、均一に押し出されており、糸の太さはほぼ一定で、約 $100~\mu$ m であった。

得られた糸の引張強度を測定したが、 1wt%糸で 0.015(cN/dtex)程度であり、セルロース由来の再生繊維であるレーヨンの引張

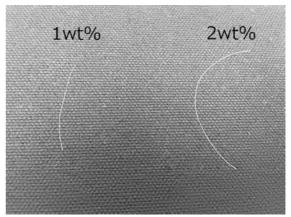
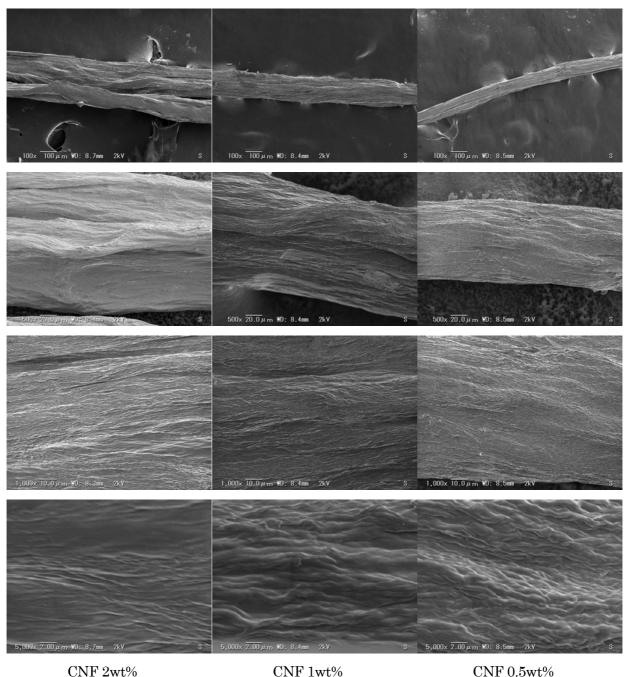


図4-4-5 CNFの湿式紡糸による試作糸の外観

強度 1.5~2.0(cN/dtex)、キュプラの 1.6~2.4(cN/dtex) (繊維ハンドブック 2016 より) に比べて大きく劣っており、先行研究のような結果は得られなかった。紡糸速度が十分でないことが一因であると思われるが、高速での紡糸実験を実施していないため、今後、検討していきたい。

糸の側面の SEM による観察結果を図 4-4-6 に示した。先行研究と同様に、得られた糸の側面は滑らかであったが、2wt%では、太さにばらつきがあったが、気泡部分と思われる箇所においても、その表面は滑らかであった。



CNF 2wt% CNF 0.5wt% CNF 1wt% CNF 0.5wt% 図 4-4-6 紡糸された CNF の SEM 写真 (上から、100 倍、500 倍、1,000 倍、2,000 倍)

4.5 透明フィルム分野に関する FS 調査

透明フィルム分野では、2章の用途開発に関する調査、ヒアリングに基づき、透明シートとしての用途を検討することとした。

4.5.1 透明シートとしての用途の検討

アドバイバー等有識者からのヒアリング結果をまとめると、以下のとおりである。

- 大阪大学能木先生:透明シートは太陽電池など電子デバイスから透明封止剤まで幅広いニーズはあるが、従来品(PET等)に対する優位性(特性やコスト)を見出す必要がある。実際、家電メーカーをはじめ、さまざまな企業と共同研究を実施しているとのこと。二酸化炭素削減は従来品と置き換えるスタンスで算出できる。
- 鳥取大学大観先生:透明シートに蛍光体を分散させて CNF の発光技術を確立することはハードルが高いものの、その応用分野が広いので魅力的な技術とのこと。ただし、CNFでないといけない理由を明確にする必要があるなど開発する上で大義が必要となる。二酸化炭素削減に関しては、能木先生と同様の見解であった。
- 熊本大学伊原先生:セルロースファイバーやミクロフィブリルなどは古くから研究開発されており、ナノ化技術は発展したとしてもナノファイバーでなくてはいけないビジネスモデルを構築する必要がある。尖がった分野(医療分野)で活路を見出してはどうか。二酸化炭素削減は、ナノファイバーに固執しなければセルロース部材への置き換えの観点でいいのではないか。
- ガラスメーカー:独自に CNF 部材を研究対象として触っている。ただし、ビジネスになっていないので研究段階である。内容は非公開となるが、かなりニッチな使い方をしている模様。二酸化炭素削減効果については、バックデータが乏しいため特にコメントできない。
- 住宅建材メーカー:建材部材として CNF の利用の可能性は未知だが、①機能性壁面材:強度維持で薄板化 ②サイディング:界面効果、の2点について、ともに強度向上が課題であるので、その解決策として CNF が役立つと社会貢献の観点からも有効である。二酸化炭素削減効果は住宅用途であれば、ボリュームゾーンが大きいため、効果絶大だと思われる。

調査の結果、現在、CNF で構成された透明シートがサンプル出荷も含めて市場に流通されていないため、各メーカーで独自に試作して検討されている模様である。

そこで、今回は CNF 原料メーカーから提供されている CNF サンプル (液体状) を入手して、透明シートを試作した。

なお、本試作は、経済産業省新分野進出支援事業(地域イノベーション創出促進事業) 部素材産業を核としたCNF実用化支援事業部素材産業・CNF研究会「CNFに係る公設 試研究者向けの勉強会」にて調査および実施した内容の一部を含む。

CNF 原料は、計 4 社から入手した。シート作製条件として、結晶セルロースの濃度が全て 0.2wt.%となるよう、ビーカーに取り分けて蒸留水で希釈してミキサーで粉砕・均一分散させてシート用 CNF 溶液を調製した(図 4-5-1 参照)。

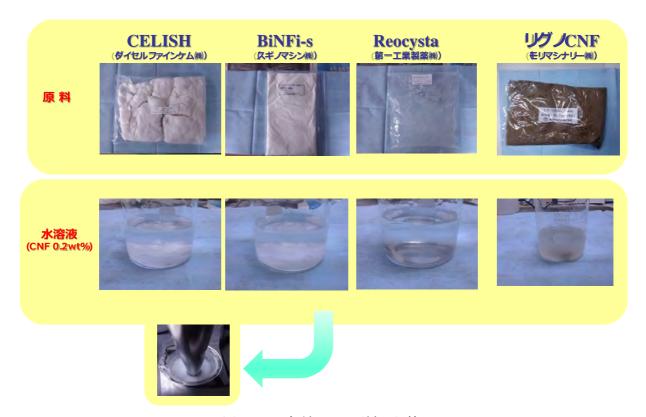


図 4-5-1 各種 CNF 原料の調整

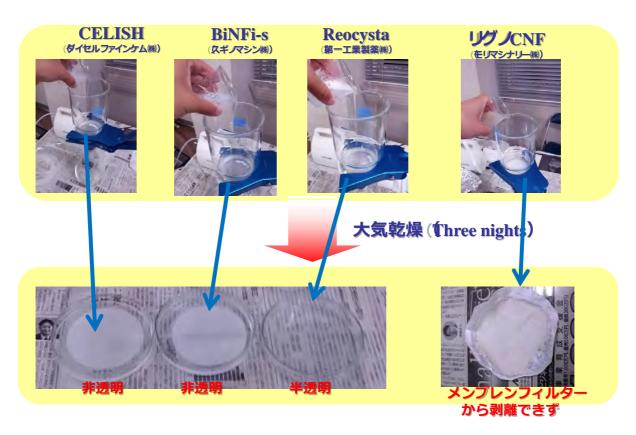


図 4-5-2 各種 CNF のシート化

図 4-5-1 で得られた CNF 溶液を図 4-5-2 に示した吸引濾過法により脱水濾過することで CNF シートを作製した。濾過後は完全に脱水しきれていないため、約 70° Cのオーブンで蒸発乾固させることで CNF シートを作製した。

図 4-5-2 で示すとおり、4 種類の CNF シートの中でほぼ透明なシートはレオクリスタ (第一工業製薬(株) 製) のみであった。

次に、作製したシートの緻密具合を確認するために、シート化できた3種類について SEM(走査型電子顕微鏡)写真を撮影した(図 4-5-3)。

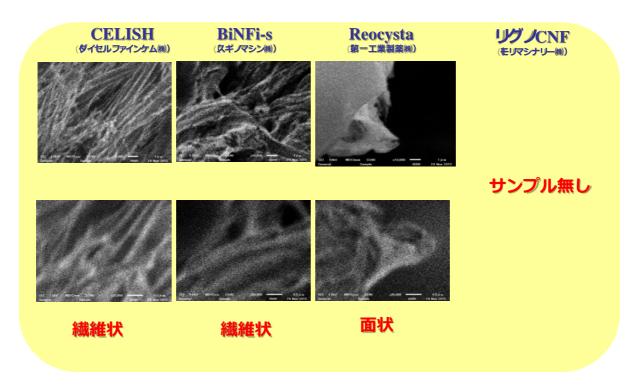


図 4-5-3 各 CNF シートサンプルの SEM 写真

図 4-5-3 の微構造観察の結果から、セリッシュおよびビンフィスは繊維状構造が観察されたが、レオクリスタでは面状構造が観察された。レオクリスタ由来シートが緻密な構造であるかのように認識できるが、レオクリタでは CNF 原料に防腐剤としてフェノキシエタノールを含有しているため、その緻密な面が観察された可能性がある。今後、SEM 観察のための導電被膜処理や高分解能の SEM を使って、より高倍率の微構造観察を行う必要がある。

次に、調査先で得られた高付加価値化のための機能付与として、『波長変換機能』について検討した。紫外線など光が当たると長波長(たとえば可視光)に変換できる透明で発光するシートが実現できれば、太陽電池用発電効率向上部材への応用など、新規の用途展開が期待できる。今回は、図 4-5-1 に示す実験プロセスにおいてレオクリスタとともに蛍光体粉末(酸化亜鉛系青色蛍光体 平均粒径:3μm)を混練して青色発光 CNF シートを試作した(図 4-5-4)。紫外線(254nm および 365nm)を照射すると、蛍光粉末と同様に青色で発光できることを確認できた。

なお、本蛍光体は一般的な蛍光体で使用される希土類元素を含まない環境にやさしい材

料として酸化亜鉛を用いており、結晶極表面に水酸化物が形成されている構造であることから水酸基を持つ CNF と相性が良好だと考えられる。

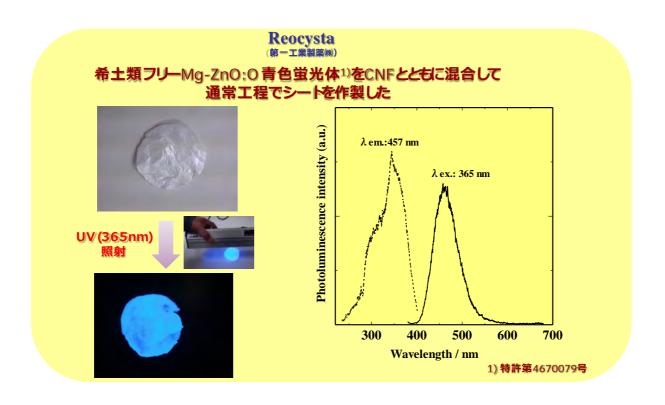


図 4-5-4 青色蛍光体を混合させた CNF シートの発光特性及びサンプルの外観写真

以上の結果から、CNF透明シートを容易に作製できることを確認した。今回の試作では透明性に課題があるものの、先行研究などを参考とすることで改善できるものと考えられる。

しかし、透明性だけでは、PET や PP などの既存製品があり、CNF 透明シートの用途 展開は容易には進まないものと考えられる。また、新規用途開拓の観点からも、CNF 透明 シートへ新規機能を付与することが望まれる。波長変換機能や断熱性など機能付与による 既存製品との差別化を図っていきたい。

4.5.2 透明シートとしての用途検討結果のまとめ

透明シートの利用に関するヒアリング、及び CNF からの透明シートの試作を行なった 結果、機能性付与による差別化が必要なことが明らかとなった。高機能化、差別化による 用途開拓として、以下のとおり、まとめた。

CNF を使用した透明シートだけでは競合品も多く、優位性も見出せないため、従来品では不可能であった透明断熱材としての用途を提案する。

そして、断熱材としての用途先として、①自動車用途(フロントガラスの二重ガラス層間への適用)と ②住宅建材 に可能性がある。

上記2つの観点から、透明で断熱性の優れる CNF シートをキーワードとして、次に示す業界に焦点を絞って用途開拓を目指したいが、波長変換機能の付与等で優位性を見出し、新規のアイデアを積極的に提案していきたい。透明シートでの用途開発に向けた課題と方策をまとめた。

- 自動車用途:自動車用ガラスメーカーを想定
 - 自動車用途のフロントガラスは、図 4-5-5 に示したような合わせガラスの構造を取っており、この中間膜には透明フィルムが用いられる。この中間膜で求められる機能を調査して、CNF 透明シートへの機能性付与を検討していきたい。
 - 通常、フロントガラスの中間膜には PVB(ポリビニルブチラール)が使用されているが、その代替として透明かつ断熱性に優れる CNF 透明シートを提案する。ただし、 CNF の特性を十分に把握して試作する必要がある。
 - 道路運送車両保安基準第 195 条 (窓ガラス) によりフロントガラスは可視光線透過率:70%以上と記述しているが、実製品は75%前後が多い。透明フィルムでも75%以上の可視光線透過率が目標となる。
- 住宅建材用途:大手住宅建材メーカーを想定
 - 試作するには、原料メーカーおよび部材メーカーが積極的にサンプル提供する必要がある。
 - 住宅建材のコストは数十円/kg なので CNF メーカーが一段と低コスト化に努力する必要がある。



自動車フロントの合わせガラス

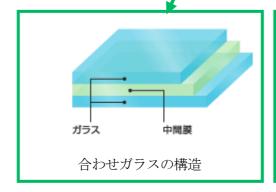




図 4-5-5 自動車フロントの合わせガラスの構造

(引用:トヨタ自動車(株)H.P.: http:lexus.jp/models/gs/f/index.html)

5. CNF 地域モデル事業構築に向けた協議会の設置・運営等

本事業において、三重県産業支援センター、三重県、共同実施企業や県内企業、大学等 の研究者、行政機関などの産学官からなる「みえ CNF 協議会」を設置した。そして、地 域モデル構築に向けた普及啓発として、協議会セミナーを2回開催し、協議会メンバー向 けに技術情報の提供を行った。セミナー開催の詳細は、「6.CNFの普及検討」に記載した。

5.1 みえ CNF 協議会

みえ CNF 協議会は、平成 27 年 11 月 20 日 (金) に、四日市ドームで行われた「みえ リーディング産業展」の会場内にて、設立総会を経て、設立された。事務局は(公財)三 重県産業支援センターに置かれ、会長は、(公財) 三重県産業支援センター理事長が務める こととした。

平成28年2月29日現在の会員数は、71機関である。ここで、企業、官公庁等は、機 関ごとの登録としているが、大学にあたっては、研究者ごとの登録としている。

会員の内訳を表 5-1 から表 5-3 に示す。

表 5-1 みえ CNF 協議会会員 内部 (三重退内, 外則)

	(一里州)	・フトカリ)
	会員数	割合
三重県内	52	73%
県外	19	27%
	71	

表 5-2 みえ CNF 協議会会 員内訳 (産学官別)

員内	可訳 (産学官	75川)				学官別)
	会員数	割合			会員数	割合
産	50	70%	_	産	45	87%
学	11	15%		学	4	8%
官	9	13%		官	3	6%
民	1	1%		民	0	0%
	71		_		52	

表 5-3 みえ CNF 協議会会

71機関の内訳をみてみると、表 5-1 の三重県内、県外別のまとめから、県外から 19機 関(27%)と約1/4が県外からの参加となっており、セルロースナノファイバーに関する 全国的な関心の高さが窺えるものである。

会員全体の産学官別の内訳(表 5-2)としては、企業(産)が50社(70%)であり、行 政主導の協議会として設立したが、企業から十分な参画が得られている。

三重県内の産学官別の内訳(表5-3)をみると、企業が45社(87%)であり、全体の割 合よりも多くなっている。これは、大学関係では、本事業の技術推進委員、及び技術アド バイザーの参画が得られているため、すなわち、県外の大学との連携が図られているため である。また、全国各地で、セルロースナノファイバーに関する取り組みが始まっており、 他県の公設試験研究機関、産業支援機関からみえCNF協議会への参加もあるためであり、 すなわち、行政機関同士の連携が図られていること、CNF 関係に全国的に関心が高いこと を示している。

しかしながら、三重県が実施した三重県戦略産業雇用創造プロジェクトにおける三重県

戦略産業雇用創造プロジェクト推進協議会の会員数 384 団体と比較すると、1/5 程度の会員数にとどまっており、引き続き、みえ CNF 協議会の普及啓発を進める必要がある。

三重県内会員企業の市町村別の分布を図5-1に示す。図中の●記号の数が会員数である。

四日市市が 16 社で最も多く、次いで津市 の6 社、桑名市、鈴鹿市、松阪市の4 社と なっている。まだまだ会員数が少ないため、分析できないとも思われるが、事業所数の分布に似ており、県下の全域に、みえ CNF 協議会の広報は行われているように思われる。

次に、会員を産業分類別に分析した結果を図に示す。分類は、日本標準産業分類に従って分類したが、例えば、大学は教育機関として位置付け、教育、学習支援業として分類し、公設試験研究機関は学術研究、専門・技術サービス業とした。また、企業の分類については、会員の登録情報から、みえ CNF 協議会事務局が分類したものである。

産業分類において、製造業と分類した企業については、日本標準産業分類・中分類に従って分類した(図5-2)。これらも上記

みえCNF協議会会員(県内) 0 _____20km

図 5-1 県内の市町村別会員数(企業のみ)

と同様に、会員の登録情報から、みえ CNF 協議会事務局が分類したものである。

会員のうち、半数以上の 41 機関 (56%) が製造業である。製造業の 内訳は、製造業の中分類の項目で触れることとするが、50 社の企業会員 のうち、80%以上が製造業であるが、 残りの 20%は非製造業で、卸売業、建設業、学術研究、専門・技術サービス業となっている。建設業では、 CNF の建材分野への利用などといった話題から、そのユーザーとなる立場からの情報収集かと思われる。 卸売業については、CNF 製品の取り扱いという立場で、様々な商材分野からの参加がある。

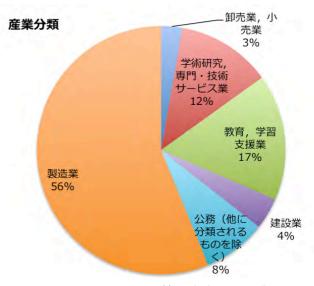


図 5-2 みえ CNF 協議会会員の産業分類

製造業の内訳(図 5-3) としては、非常に多岐にわたっており、12 分野からの参加がある。最も多いのが化学工業分野であるが、他にプラスチック製品、石油製品、ゴム製品なども含めて有機化学系と分類すると、全体の 45%となる。

CNF が有機材料であり、 その応用先も、まず、有機 系があげられることから、 みえ CNF 協議会の会員も この分野が多く、三重県で の CNF 利活用を考えた場 合、有機化学系企業のニー ズに応える必要がある。

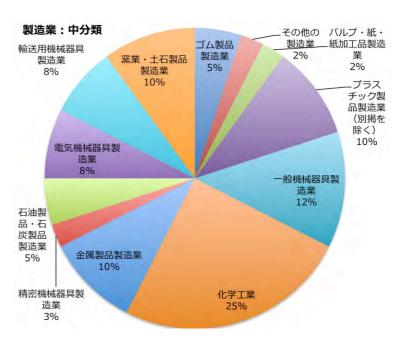


図 5-3 みえ CNF 協議会会員のうち、製造業企業の産業中分類

一方で、無機系材料や機械器具、電気機械器具分野からの参加も多く、これらの分野に対しては、直接、CNF 材料を扱うのではなく、CNF 加工製品の組み込み、既存部品の CNF への置き換えなど、CNF の最終ユーザーとなる企業と思われる。これらの企業のニーズに応えるには、有機化学系企業の開発材料とのマッチングや、他都道府県の開発材料、開発製品の紹介、マッチングが必要であると思われる。

みえ CNF 協議会には、川上の CNF 製造企業からの参加もあり、川中の材料開発系の企業からも参加が多い。そして、川下のユーザーとなる組み立て系の企業からも参加がある。 さらには、全国の大学、公設試験研究機関とのネットワークもできつつあるので、CNF 利活用及びその実装のための企業ネットワーク構築の素材は揃っていると考えられる。

5.2 FS 委託業務に伴う技術推進委員会等の設置・運営等

FS 委託業務を実施するにあたり、外部有識者、地域企業、CNF ユーザー企業などからなる「アドバイザリーボード(技術推進委員会)」を組織して、地域資源の発掘、CNF の用途開発、地域モデル構築等に関する意見交換を行うこととした。

座長には、ナノファイバーの産業応用に造詣の深い京都大学・平尾一之教授(ナノファイバー学会副会長)を迎え、川下企業として八千代工業(株)、(株) 東芝に参画していただいて、委員会を組織した。(表 5-4)

表 5-4 平成 27 年度地域における低炭素なセルロースナノファイバー用途開発 FS 委託業務に伴う 「技術推進委員会」名簿

名前	所属	備考
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	委 員 長 代理者
清水 隆行	八千代工業株式会社 完成車事業本部管理室 室長	
杉田 雄二	元 中部電力 顧問	
平尾 一之	京都大学工学研究科材料化学専攻 教授 京都大学ナノテクノロジーハブ拠点長 京都市イノベーションセンター長(兼任)	委員長
中島良	東芝株式会社 次世代エネルギー事業開発プロジェクトチーム 部長	

(敬称略、50 音順)

技術推進委員会は、3回開催したが、その概要は、技術推進委員会の開催の項目に記載した。なお、会議には、関係自治体等の関係機関からオブザーバーを迎え、意見交換も行った。オブザーバーは、三重県雇用経済部・エネルギー政策・ICT活用課、ものづくり推進課、並びに、四日市市商工農水部工業振興課から、参加した。

また、技術推進委員会の下部に、図 5-4 のとおり、高付加価値用途の探索を行う調査ワーキンググループ (WG) を組織して、調査を行った。その概要を表 5-5 に示した。ワーキンググループの運営は、事業実施にかかる機関が担当し、その調査事業の実施について、表 5-6 に示した有識者をアドバイザーとして迎え、事業を実施した。各ワーキンググループの調査内容については、3章、4章に記載した。

表 5-5 FS 事業で設置したワーキンググループの概要

ワーキングループ名	担当機関	概要
地域資源 WG	第一工業製薬(株)、 AMIC、工業研究所	三重県の地域資源を対象に、CNF 利用の 可能性を調査する。
断熱材 WG	JSR(株)	TEMPO 酸化 CNF を、樹脂、フィルム化 等により、断熱材として利用する可能性を 調査する。
水素透過膜 WG	三重県工業研究所	TEMPO 酸化 CNF を、水素の高効率製造 システムで用いる水素透過膜へ応用する 可能性を調査する。
不織布 WG	三重県工業研究所	TEMPO 酸化 CNF を、繊維集合体(不織布、糸など)として形成し、フィルター等へ応用する可能性を調査する。
透明フィルム WG	三重県工業研究所	TEMPO 酸化 CNF を、波長変換効率の向 上などが期待される透明フィルムへ応用 する可能性を調査する。

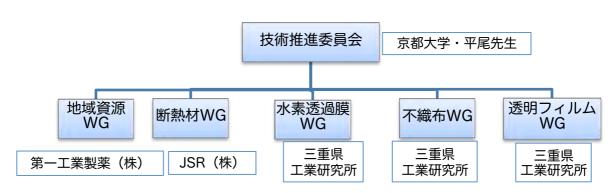


図 5-4 FS 事業における技術推進委員会及び調査ワーキングループの実施体制

表 5-6 ワーキンググループの技術アドバイザー

名前	所属	備考
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	全体
大観 光徳	鳥取大学大学院 工学研究科 情報エレクトロニクス専攻 教授	透明フィルム WG
木村 裕和	信州大学繊維学部 先進繊維工学課程 教授	不織布 WG
齋藤 継之	東京大学大学院 農学生命科学研究科 生物材料科学専攻 准教授	全体
田丸 浩	三重大学大学院 生物資源学研究科 教授	水 素 透 過 膜 WG
南部 智憲	鈴鹿工業高等専門学校 材料工学科 准教授	水 素 透 過 膜 WG
能木 雅也	大阪大学産業科学研究所 特別プロジェクト研究部門 セルロースナノファイバー材料研究分野 准教授	透明フィルム WG
山下 義裕	滋賀県立大学 工学部材料科学科 講師	不織布 WG

(敬称略、50音順)

第一回技術推進委員会

■ 日時: 平成27年10月14日(水)15:00~17:15

■ 場所:四日市商工会議所 3階 中会議室 (四日市市諏訪町2番5号)

■ 出席者:35名(技術推進委員6名、アドバイザー4名、事業実施者17名、オブザーバー8名(三重県雇用経済部・エネルギー政策・ICT活用課、ものづくり推進課、四日市市商工農水部工業振興課))

■ 概要:以下のとおり

(1)「地域における低炭素な CNF 用途開発 FS 委託業務」全体について

東京大学磯貝教授のシーズを元に第一工業製薬殿が製造している CNF の用途開発を目的に、三重県では調査研究を進めてきた。三重県は、他地域と比べ若干後発であることもあり、CNF の開発研究的な取り組みでなく、環境省の地球温暖化対策に資する分野での具体的な展開、用途開発を探索するという事業に取り組むこととした。

(2) 地域モデル提案等について

本事業では、高付加価値の高度部材での用途開発を目指している。まず、FS 事業では、地域モデルの提案として、CNFの製造プロセスと高度部材としての製品活用が、本地域での事業として成り立つかを調査して進めていきたい。一方で、協議会では、ここに参加していない他の企業を含めて、県内のモノづくり企業群を地域資源ととらえて、その地域資源に対して CNF の普及啓発活動を行い、CNF のサプライチェーンで話す場や機会といった出会いの場を提供できればと考えている。具体的な地域資源の調査では、みえバイオリファイナリー研究会と協力しながら、それらの CNF への応用、加工法、輸送も含めたコスト面を含めて調査したい。





第二回技術推進委員会

■ 日時: 平成27年11月21日(土)10:00~12:00

■ 場所:高度部材イノベーションセンター 中会議室 (四日市市塩浜町 1-30)

■ 出席者: 23名(技術推進委員2名、アドバイザー5名、事業実施者13名、オブザーバー3名(四日市市商工農水部工業振興課))

■ 概要:以下のとおり

(1)「地域における低炭素な CNF 用途開発 FS 委託業務」全体について

地域資源のWGは、第一工業製薬様に一部委託をさせて頂きながら、AMIC、工業研究所が県内の地域資源からの CNF 製造、地域の中でサプライチェーンを調査している。断熱材 WG は、JSR 様に委託させていただいて調査を進めている。水素透過膜 WG、不織布 WG、透明フィルム WG は工業研究所が共同実施者として調査を進めている。

(2) 「みえ CNF 協議会」についての報告

昨日、「みえセルロースナノファイバー協議会」の総会を開催して、100名超の参加があり、協議会が発足した。「みえ CNF 協議会」は本 FS 事業をきっかけにするものであるが、事業期間内に限るものではなく、三重の地域で、CNF が社会に進展していくように継続していきたい。会員としては、企業、大学、研究機関、行政を想定しているが、企業は企業会員、研究者は個人会員として進めている。平成 27 年度は、昨日の総会とセミナーの併催があり、3 月にセミナーと総会を併催したいと考えている。技術推進委員会と協議会の関係は、組織的に上下の関係とかの発想ではなく、協議会は三重の地域に於いて CNF の取組全体を盛り上げるためのもの、当委員会は FS 事業に対する技術的な委員会というふうに位置付けている。

現在、50 社弱のメンバーに参加いただいているが、その内訳は、どちらかというと大企業と中小企業の中でも比較的大きいところが多い、小規模事業所は少ない。参加いただいている中小企業の主な業種は、樹脂、プラスチック、ゴムであり、これらは具体的に CNF

に取り組みたい企業と思われる。 金属製品、炭素製品の企業は、 全く新しい分野を探すといった 勉強会的な意味合いでの参加と 捉えている。企業からは、まだ まだ大学での研究テーマという イメージであり、学との橋渡し を希望するといった意見や、 CNF メーカーにはサンプルを 出すだけではなく、最終製品を 見渡した材料等のアレンジに関 する相談を希望するといった意 見があった。





第三回技術推進委員会

■ 日時:平成28年3月5日(土) 15:00~17:00

■ 場所:高度部材イノベーションセンター 中会議室 (四日市市塩浜町 1-30)

■ 出席者: 26名(技術推進委員6名、アドバイザー4名、事業実施者13名、オブザーバー3名(三重県雇用経済部・エネルギー政策・ICT活用課、ものづくり推進課、四日市市商工農水部工業振興課))

■ 概要:以下のとおり

(1)「地域における低炭素な CNF 用途開発 FS 委託業務」報告書について

報告書案を元に説明を行った。構成は、地域資源の調査、短期的に実現可能と考えられる CNF 用途開発分野の選定と CO2 削減ポテンシャルの推計(断熱材 WG、水素透過膜 WG、不織布 WG、透明フィルム WG)、FS 調査(地域資源WG、断熱材 WG、水素透過膜 WG、不織布 WG、透明フィルム WG)、三重地域での協議会等の活動報告、今後の可能性等、とした。三重地域のバイオマス調査の結果、草本系バイオマスの有効利用可能賦存量が多く、タケ、林地残材、間伐材も期待できる資源であり、一方で、技術開発が必要であるが海藻資源が特徴的な資源であるとの報告を行った。これに対して、技術推進委員より、木質系のバイオマスが期待できることは明らかで、既利用である点も踏まえ、エネルギーや CO2 排出を考えても、地域の林業系バイオマスは有利であると思われるので、その方向をもう少し検討してほしい、との意見があった。最終報告に向け、修正することとした。

(2) 各ワーキンググループからのまとめ

断熱材 WG、水素透過膜 WG、不織布 WG、透明フィルム WG からの報告と各 WG アドバイザーからのコメントがあった。FS 調査は短期間で行われたが、今後の可能性が見出されるものもあった。アドバイザーからは、引き続き、調査、検討は進めてほしいとのコメントがあった。

(3)意見交換

短い期間であったが、この事業をきっかけに産学官のネットワークが構築できた。他に、 協議会も設立され、産業界の期待も大きいと思われる。実用化、実装に向けて、このメン バーで支援しながら、企業が主役になって進めてほしい。





6. CNF の普及啓発

地域における低炭素なセルロースナノファイバーの用途開発, 普及のために, 産業展への出展, セミナーの開催, 高度部材イノベーションセンターでの展示, ホームページの開設などの事業を行った.

6.1 「みえリーディング産業展 2015」への出展

三重県が開催する企業展示会である「みえリーディング産業展 2015」に出展し、本業務での取組紹介、「みえ CNF 協議会」の活動紹介等の普及啓発に取り組んだ。また、本展示会中に、みえ CNF 協議会の設立総会、キックオフセミナーも開催した。(セミナー等は、別に報告)

● 展示会名: 「みえリーディング産業展 2015」

● 日時: 平成 27 年 11 月 20 日(金), 11 月 21 日(土)の二日間

● 場所: 四日市ドーム(三重県四日市市羽津甲5169)

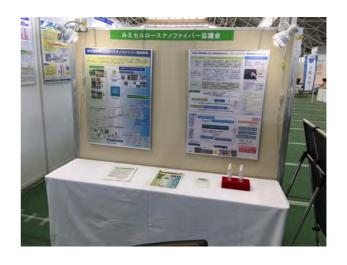
● 来場者数: 11月20日(金) 2,617人

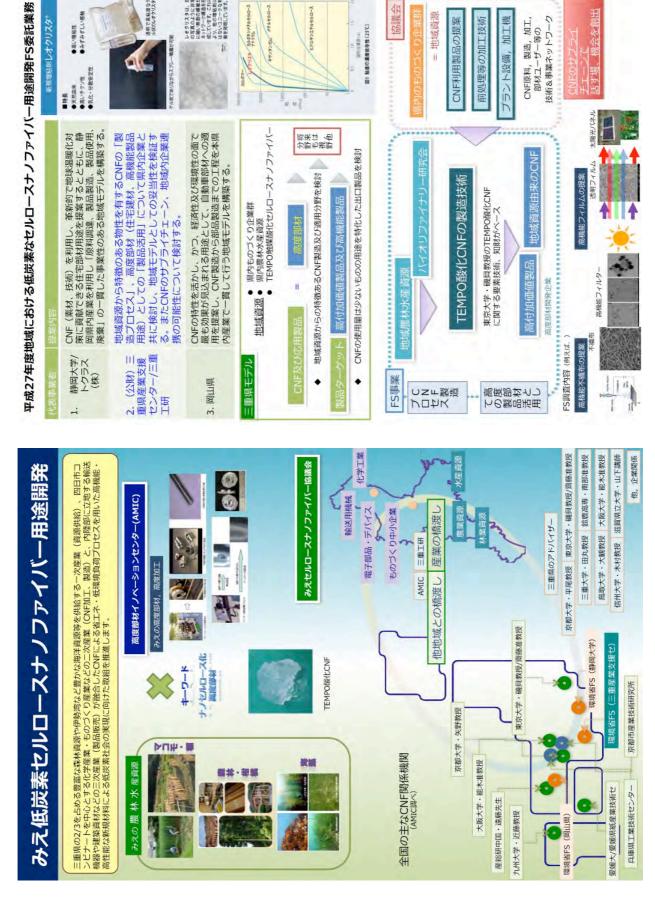
11月21日(土) 2,198人 合計: 4,815人











協議会

副1 粘度の濃度依存性 (25℃)

10日本日本

地域資源

CNF利用製品の提案

前処理等の加工技術

技術&事業ネットワーク

大幅光/ストノ

CNF原料,製造,加工,

部材ユーザー等の

世域 海源 高源 田来の CN

プラント設備、加工機

通用で素粘度なケル状のフォケリスタ

1

みがみずしい影響

●乳化·分散安定性 ■特長 ●天然由未

6.2 セミナー開催

「みえセルロースナノファイバー協議会キックオフセミナー」の開催

三重県が開催した「みえリーディング産業展 2015」において、「セルロースナノファイバーが拓く未来 · 木材活用による高度部材イノベーション· 」をテーマに、セミナーを開催した。

■日時: 平成27年11月20日(金)16:10~17:00

■場所: 四日市ドーム 第一セミナー室(三重県四日市市羽津甲 5169)

■参加者: 72機関, 123名

■テーマ: セルロースナノファイバーが拓く未来

- 木材活用による高度部材イノベーション-

■講師: 東京大学 大学院農学生命科学研究科 齋藤 継之 先生

■概要: 本セミナーでは、セルロースナノファイバーに関する環境省の取組と、最先端のセルロースナノファイバーの研究開発動向について紹介した.

● 講演:セルロースナノファイバー (CNF) に関する環境省の取組について 環境省地球環境局地球温暖化対策課 課長補佐 峯岸 律子 様

環境政策におけるセルロースナノファイバーの位置付けとして、自動車部材への利用、リサイクル、循環型社会のへの寄与などについてご説明いただきました。 さらには、実用化、社会実装に向けた環境省が実施している事業、三重県への委託業務などについてもご説明いただきました.



■ 講演:セルロースナノファイバーが拓く未来 -木材 活用による高度部材イノベーション-

東京大学大学院農学生命科学研究科 准教授 齋藤 継之 先生

TEMPO触媒酸化によるセルロースナノファイバーの特徴をご説明いただき、その特性を活かした透明で高弾性なフィルム材料、光透過性を有し、かつ高断熱、折り曲げ可能なエアロゲルなど、豊富な事例を紹介していただきました。







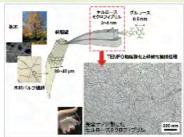
みえセルロースナノファイバー協議会 キックオフセミナー

セルロースナノファイバーが拓く未来 - 木材活用による高度部材イノベーション -

東京大学 齋藤 継之 氏

セルロースナノファイバーは、木材由来の新素材で、鋼鉄の5分の1の軽さで、5 倍強いとも言われています。最近注目の夢の素材と言われ、経済産業省主導のナノ セルロースフォーラムも立ち上がり、国内におけるセルロースナノファイバー研究 がより一層の加速を見せているなか、セルロースナノファイバーの製造技術の開発 により、「森林産業のノーベル賞」と言われるスウェーデンの「マルクス・ヴァーレ ンペリ賞」を受賞された齋藤先生より、セルロースナノファイバーの基本と応用、 様々な研究事例などをご講演いただきます。





Isogai, A.; Saito, T.; Fukuzumi H. Nanoscale 2011, 3, 71-85.



Saito, T.; Uematsu, T.; Kimura, S.; Enomae, T.; Isogai, A. Soft Matter 2011, 7, 8804-8809.



2003年、東京大学卒。2008年、東京大学博士号(農学)取得。2009年、東京大学大学院農学生命科学研究科、 助教. 2013年より同准教授. 博士課程在籍中、フランスの植物高分子研究所 (CERMAV) に留学。2012 年~2013年、スウェーデン王立工科大学、客員研究員。

2015年、東京大学の磯貝明教授、フランス・CERMAV の西山義春・博士とともに、森林産業のノーベル賞 と言われる「マルクス・ヴァーレンベリ賞」を受賞、他、東京大学総長賞、日本木材学会奨励賞など、受賞多数、

平成 27年 11月 20日 金 16:15~17:00

四日市ドーム 第一セミナー室 (四日市市羽津甲 5169) アクセスは、裏面をご覧ください。

参加費: 無料 定 員:100名

申 間 三重県産業支援センター北勢支所 (四日市市塩浜町 1-30)

しい(高度部材イノベーションセンター)

担当:田中,松岡 電話:059-349-2205 E-mail: amic-moushikomi@miesc.or.jp (申込書は、このチラシの裏面にあります)

みえ リーディング産業展 2015







「みえセルロースナノファイバー協議会第2回セミナー」の開催

セルロースナノファイバー(CNF) に関する情報提供,普及啓発を目的に, CNF 技術セミナーを開催した.

■日時: 平成28年3月7日(月)13:30~18:00

■場所: 高度部材イノベーションセンター PR ホール

(三重県四日市市塩浜町1-30)

■参加者: 39機関,65名

■講師: 大阪大学産業科学研究所 能木 雅也 先生

三重大学 大学院生物資源学研究科 野中 寛 先生

■概要:本セミナーでは、セルロースナノファイバーに関する基調講演と、三重県内の 技術シーズについて紹介した.

■ 講演:阪大産研におけるナノセルロース材料開発について

大阪大学産業科学研究所 能木 雅也 先生

ナノセルロース材料は、日本発の技術であり、 全国津々浦々の産学官において、多種多様な研究 開発が進められています。そのなかで阪大産研グ ループは、プラスチックと複合化しないナノセル ロース材料を用いて、次世代エレクトロニクス技 術の開発を進めています。本講演では、その一例 として有機太陽電池、トランジスタ、不揮発性メ モリなどの応用事例を紹介していただきました。



● 講演: リグノ CNF の特性とリグニン複合ファイバーの開発 三重大学 大学院生物資源学研究科 野中 寛 先生

リグノ CNF は、画一的なものでなく、原料樹種、前処理、ナノ化手法等の選択によって組成や性質を変えうることを、リグニン量 40%弱のリグノ CNF の特性等を例に、

概説していただきました。また、セルロース繊維に任意の リグニンを任意割合複合する というコンセプトで、求める 機能性や混練性を発現するファイバーを創製する技術開発 についても紹介していただき ました。



みえセルロースナノファイバー協議会 「総会」および「第2回技術セミナー」のご案内

昨年11月に発足いたしました「みえ CNF 協議会」(事務局:三重県産業支援センター 北勢支所)では、セルロースナノファイバー (CNF) に関する情報提供、普及啓発を目的 に、CNF 技術セミナーを開催いたします。

今回のセミナーでは、「透明な紙」でエレクトロデバイスへの展開に取り組む阪大産研・能木先生、三重大学でリグノ CNF やその複合化に取り組む三重大・野中先生のお二方を迎えて技術セミナーを開催します。また、会議終了後には、講師も交えて、交流会も開催いたします。皆様のご参加をお待ちしております。



■日時:平成28年3月7日(月) 13:30-18:00

■場所: 高度部材イノベーションセンター (AMIC) アクセスは、東面を ご覧ください。 (三重県産業支援センター 北勢支所) (四日市市塩浜町 1–30)

■プログラム:

- 1. 挨拶 (13:30-13:45)
- 2. 基調講演 (13:45-15:00)

「阪大産研におけるナノセルロース材料開発について」 大阪大学産業科学研究所 能木 雅也 氏



昨今、ナノセルロース材料は、NHK など各種マスメディアに取り上げられるなど多くの注目を集めています。この材料は日本発の技術であり、現在は全国津々浦々の産学官において、多種多様な研究開発が進められています。これらの活動は、世界の開発動向を遙かに凌ぐレベル・スピードです。そのなかで阪大産研グループは、プラスチックと複合化しないナノセルロース材料を用いて、次世代エレクトロニクス技術の開発を進めています。本講演では、その一例として有機太陽電池、トランジスタ、不揮発性メモリなどの応用事例を紹介していただきます。

(休憩 10分)

3. 技術講演 (15:00-15:40)

「リグノ CNF の特性とリグニン複合ファイバーの開発」 三重大学 大学院生物資源学研究科 野中 寛氏



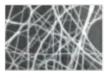
疎水性樹脂の補強材料として「リグノ CNF」が注目されています。リグノ CNF は決して画一的なものでなく、原料樹種、前処理、ナノ化手法等の選択によって組成や性質を変えうることを概説していただき、例として、木材チップを物理的に解繊して得られるリグニン量 40% 弱のリグノ CNF の特性について紹介していただきます。他方、セルロース繊維に任意のリグニンを任意割合複合するというコンセプトで、求める機能性や混練性を発現するファイバーを創製する技術開発にも取り組んでおられますので、その複合原理や開発状況も紹介していただきます。

(休憩 10分)

4. みえ CNF 協議会総会 (15:50-16:30)

- (1). H27 年度活動報告
- (2). H28 年度事業計画
- 5. AMIC 施設見学 (希望者のみ) (16:30-17:15)
- 6. 交流会 (17:15-18:00)





参加費: 無料

(交流会参加費:500円)

定 員:90名

※定員になり次第、締め切らせていただきます。

世代込合

申 問 三重県産業支援センター北勢支所 (四日市市塩浜町 1-30)

しい(高度部材イノベーションセンター)

担当: 村井, 松岡 電話: 059-349-2205

E-mail: mie-cnf@miesc.or.jp (申込書は、このチラシの裏面にあります)

6.3 「みえセルロースナノファイバー協議会」の AMIC ロビー展示による普及啓発

「みえセルロースナノファイバー協議会」に関して、高度部材イノベーションセンター (AMIC) のロビーに、パネル、チラシ等を展示して、一般、及び、会員向けに情報提供を行った.

また、AMIC 入居企業である第一工業製薬株式会社に関して、レオクリスタ(セルロースナノファイバー製品)の展示も行った。





AMIC ロビー展示(セミナー開催時の様子)

第一工業製薬(株)のロビー展示



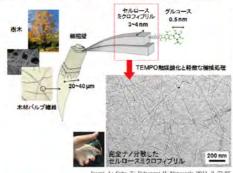
みえセルロースナノファイバー協議会のロビー展示

セルロースナノファイバーが拓く未来



- Cellulose Nano Fibers (CNF) -

セルロースナノファイバーは、植物繊維をナノオーダー(1mmの百万分の一)まで解きほぐした新素材。鋼鉄の 1/5 の軽さで、5 倍強いとも言われる魅力の新素材です。政策的にも、「日本再興戦略」改訂 2015 にセルロースナノファイバーが明記され、農林水産省、経済産業省、環境省などによる「ナノセルロース推進関係省庁連絡会議」が設置されるなど、国を挙げての取組となっています。また、(国立研究開発法人) 産業技術総合研究所による「ナノセルロースフォーラム」など、全国的なネットワークが立ち上がり、国内でのセルロースナノファイバー研究は、ますますの加速を見せているところです。



*分率 99.9% で自立する整弾なセルロースゲル
・L TVER型TY CY (C)
1 と 1 と 1 + 1 **



200 nm ナノファイバーが表示状に自己配列した秩序構造 A; Suto, T; Fukuzumi H. Nanoscale 2011, 3, 71-85. Sato, T; Uematas, T; Kimura, S; Enomae, T; Isogai, A Soft Mater 2011, 7, 880-48509.



平成 27 年度 地域における低炭素なセルロースナノファイバー用途開発 FS 委託業務 (環境省地球環境局地球温暖化対策課)

★代表事業者

(公財) 三重県産業 支援センター

★ 共同事業者

三重県工業研究所

★ 提案内容

特徴のある物性を有する CNF の「製造プロセス」、高度部材(住宅建材、高機能製品用途)としての「製品活用」について県内企業と共に検討し、地域モデルとしての妥当性を検証する。また、CNF のサプライチェーン、地域内企業連携の可能性について検討する。





みえ CNF 協議会に関するロビー展示パネル



みえ CNF 協議会に関するロビー展示パネル

6.4 「みえセルロースナノファイバー協議会」のホームページによる普及啓発

「みえセルロースナノファイバー協議会」のホームページを作成し、一般、及び、会員 向けに情報提供を行った.

ホームページには、「新着情報」、「入会案内」、「参加団体の名簿」、「総会、セミナー等の資料」等を掲載している。

■URL: http://www.miesc.or.jp/amic/mie-cnf/

みえセルロースナノファイバー協議会

当協議会はセルロースナノファイバーの高度利用から様々な分野での利用まで広く対象とし、セルロースナノファイバーに関心をお持ちの企業や事業者、大学・研究機関、行政機関、関係機関等の地域及び垣根を越えた幅広い交流・連携を推進し、製品開発や新たなビジネス化を支援していきます。

包装材(酸化防止膜)、増粘剤(化粧品、食品)、その他に補強材(自動車・航空機の軽量化)等、多岐の分野で 可能性が期待できる、今注目のセルロースナノファイバーについて関心をお持ちの皆様方に、是非ともご参 加いただきますようご案内いたします。

なお、三重県では、三重県産業支援センターが中心となり、環境省の「平成27年度地域における低炭素なセルロースナノファイバー用途開発FS委託業務」を受託し、セルロースナノファイバーに関する地域資源調査、用途開発等に取り組んでいます。

新着情報

■2016/02/18(木)

【3/7(月)開催】みえセルロースナノファイバー協議会「総会」および「第2回技術セミナー」開催のお知らせを掲載しました。

■2015/12/10(木)

会員向け資料のページに、「設立総会次第」、「要網」、「みえセルロースナノファイバー協議会キックオフセミナー(平成27年度 第5回AMICセミナー)関催報告」を掲載しました。また、参加団体のご紹介ページに、「会員名簿」を掲載しました。

■2015/10/21(7K)

「みえセルロースナノファイハー協画会」のHPを新しく公開しました。当協議会では、参加者を募集 しております。詳細につきましては、「入会のご案内」をご覧ください。

入会のご案内

1. 参加対象者

目的に賛同する企業、事業者、団体、大学・研究機関、行政機関等

2. 活動内容

CNFに関する情報収集およびその提供 CNF製造企業とユーザー企業のマッチング 会員による共同研究実施の支援

3. 参加費用

無料

4. 参加申し込み方法

別添参加申込書に必要事項をご記入のうえ、電子メールまたはFAXによりご送付をお願いします。申込書を受付後、事務局から連絡させていただきます。

- 5. 添付ファイル
 - <u> 募集案内チラシ</u>
 - 参加申込書

7. 三重県におけるセルロースナノファイバー事業化の可能性と今後の方策

7.1 三重県における今後の取り組みの方向性

のように整理した。

本事業を通じて、三重県における低炭素なセルロースナノファイバーの社会実装に向けた短期的に有効と思われる用途の調査、それを実現する地域のネットワーク作りを行った。 CNFの社会実装による低炭素社会の実現のための課題と、我々が取るべき方策を図7-1

それぞれのフェーズで先導的にコーディネートすべき機関をリーダーとして示し、コーディネートされた中での中心的に活動する機関をプレーヤーとして示した。

すなわち、本事業で行ってきた普及啓発、情報提供などの入り口のフェーズでは、幅広いネットワークを持つ産業支援機関がリードしていき、官官ネットワークを持つ行政機関、公設試がプレーヤーとなり、またプレーヤーを集めていくという構図である。そして、可能性探索では、技術的な知見を持つ公設試がリードして、産学官のネットワークを構築して、テーマを探索していくこととなる。現在の三重県は、AMICが主導して、みえ CNF協議会を設立し、三重県工業研究所が可能性を探っていくという段階である。

次のステップである実装、実用化に向けた取り組みでは、可能性を見出せたテーマに対して、検証を進めていくが、広く実用化されているとは言えないセルロースナノファイバーという新素材に対しては、官主導で取り組まざるを得ないと思われる。主たるプレーヤーは産(企業)に移ってはいくが、公設試および行政が、川上から川下のネットワークを構築して、性能評価、検証のスタート地点からエンドユーザーを巻き込んだ取り組みとする必要がある。



図 7-1 低炭素な CNF 用途開発とその実装に向けての課題整理

三重県において、新たな素材であるセルロースナノファイバーの実装、実用化による新たな産業創生を行うには、セルロースナノファイバーに関する技術の種について、三重県が事業環境(ネットワーク化、コーディネイト)を整備し、企業が中心となって事業化を進

めて行くための基盤づくりが必要である。すなわち、三重県発の研究開発プロジェクトを 立ち上げ、セルロースナノファイバー関連技術のイノベーションを起こし、行っていく必 要があると考えられる。

大企業の高度部材産業群と地域の中小企業が連携できる立地にある AMIC もハブ機関となり、そのきっかけ作りを目指す必要がある。

7.2 三重県における地域資源の利活用から用途開発までのモデル

本事業における三重県内の地域資源の調査結果から、CNF原料として可能性が高いものは、タケ、ススキが抽出され、次いで、切捨間伐材、製材廃材、稲わらが抽出された。三重県雇用経済部の調査(文献 7-1)でも、三重県の有望なバイオマス種である「林産資源」および「農産資源」から、「エタノール」、「「セルロースナノファイバー」、「医薬品等の高付加価値品」等を製造することの有効性が報告されているが、それと合致する結果となった。

三重県においては、バイオマス資源を CNF 原料として利用するための賦存量は確認されたが、それを利用している企業は見当たらない。バイオエタノール原料としての利用も試行されているが、三重大学大学発の技術シーズによるところであり、バイオマス資源の産業利用は、中小企業が扱える技術には至っていない。すなわち、地域資源の利活用に向けた技術開発が必要である。また、技術開発によりバイオマス資源の利用が進めば、資源管理も必要となり、工業系とは別の農林水産系の技術ノウハウも必要となる。製造も資源管理も、最終的には事業者が行うものであるが、その実用化に向けた支援は、公設試験研究機関が担うものである。

すなわち、上記の用途開発、実装に向けた取り組みに加え、三重県で地域資源の活用からスタートする低炭素なセルロースナノファイバーの社会実装に向けては、図 7-2 のようなネットワーク作りも必要である。

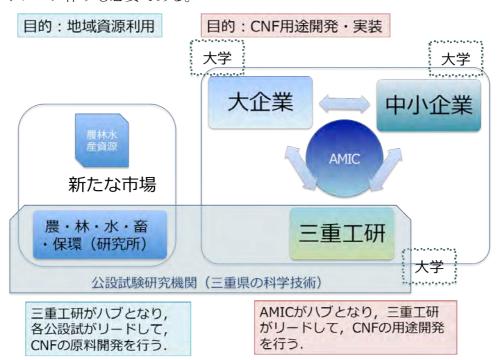


図 7-2 地域資源を利用した低炭素な CNF 用途開発に向けた体制

7.3 三重県における用途開発の可能性

本事業では、用途開発の探索として、断熱材、水素用途膜、不織布、透明フィルムをテーマとして調査、可能性試験を行った。現状の CNF 材料の価格から、高価格帯かつ成長分野の製品が、企業の関心も高く、短期的に実装が期待されると思われるため、探索テーマについて、市場の成長性と最終製品の価格帯から図 7-3 のように調査結果をまとめた。また、同じく社会的な意義が深い CO2 削減量と市場規模についても図 7-4 のように調査結果をまとめた。

本調査でのテーマとしては、水素用途膜が、成長分野の製品で、かつ、高価格帯での販売が期待できることから、短期的に実現が期待できるテーマとの結果を得た。



図 7-3 CNF 用途開発の調査結果



図 7-4 CNF 用途の CO2 削減の調査結果

しかしながら、まだまだ可能性調査の段階であり、実装に向けた用途探索の域を出ない

と思われる。このような領域は、開発力がある 大企業が中心となると思われ、産学官による研 究開発プロジェクトの立ち上げにおいても、大 企業を核としたフォーメーションとなるであろ う。そして、用途を広げ、ニッチな市場を得意 とする中小企業への波及を進めることとなろう (図 7-5)。

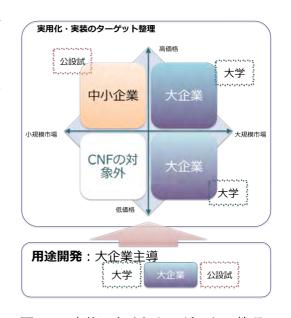
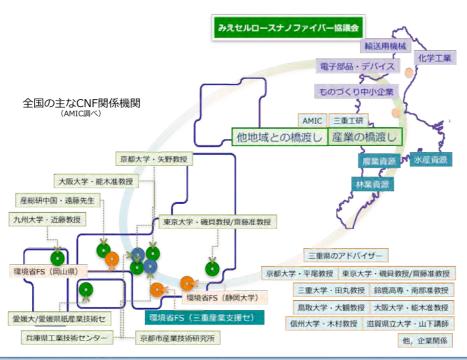


図 7-5 実装に向けたターゲットの整理

上記のような大企業主導の用途開発から、幅広い実用化に向けては、みえセルロースナノファイバー協議会のネットワークを活用して、県内企業同士の連携だけでなく、他地域との企業、公設試などとの広域連携を含めた産学官による研究開発プロジェクトの立ち上げが必要となるであろう。

以上のことから、三重県における今後の取り組みをまとめると図 7-6 のとおりである。 本事業で培った地域間ネットワーク、産学官ネットワークを活用して、県内企業をはじめ とした企業での CNF の実用化、実装に向けて、引き続き、産業支援機関、公設試験研究 機関が支援していく必要がある。



みえCNF協議会による開発支援

用途A:県内企業,三重工研,大学等 用途B:県内企業,県内企業,大学等

用途C: 県内企業,大学等,他県公設試,三重工研 用途D: 県内企業,県外企業,三重工研 など... 資源調達など周辺課題:県内の公設試,大学等

行政・公設試での農林水資源利用のモデル作り

- 新分野での資源供給の探索
- 安定した供給と買取の仕組みづくり

図 7-6 今後の取り組みのイメージ

参考文献

7-1 三重県雇用経済部,「バイオリファイナリー調査業務委託」成果報告書, (2014)