

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 $1.0(\text{ml} \cdot \mu\text{m})/(\text{m}^2 \cdot \text{day} \cdot \text{kPa})$ 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 $0.1(\text{ml} \cdot \mu\text{m})/(\text{m}^2 \cdot \text{day} \cdot \text{kPa})$ 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。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。

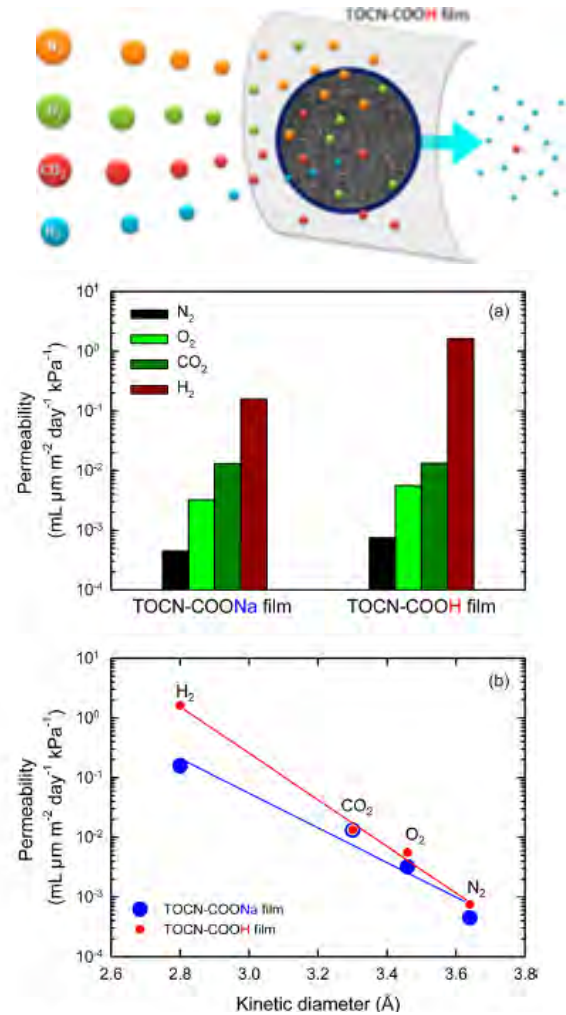


図 3-2-1 TOCN 膜のガス透過率

表 3-2-1 TOCN 膜のガス透過率比較

Table 1. Relative Gas Permeability Ratios of TOCN and Commercial Films					
	H_2/N_2	H_2/CO_2	H_2/O_2	O_2/N_2	CO_2/N_2
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

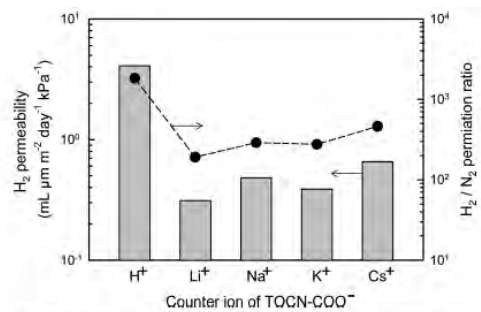


図 3-2-2 TOCN 膜のガス透過率の対イオンによる変化

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)。

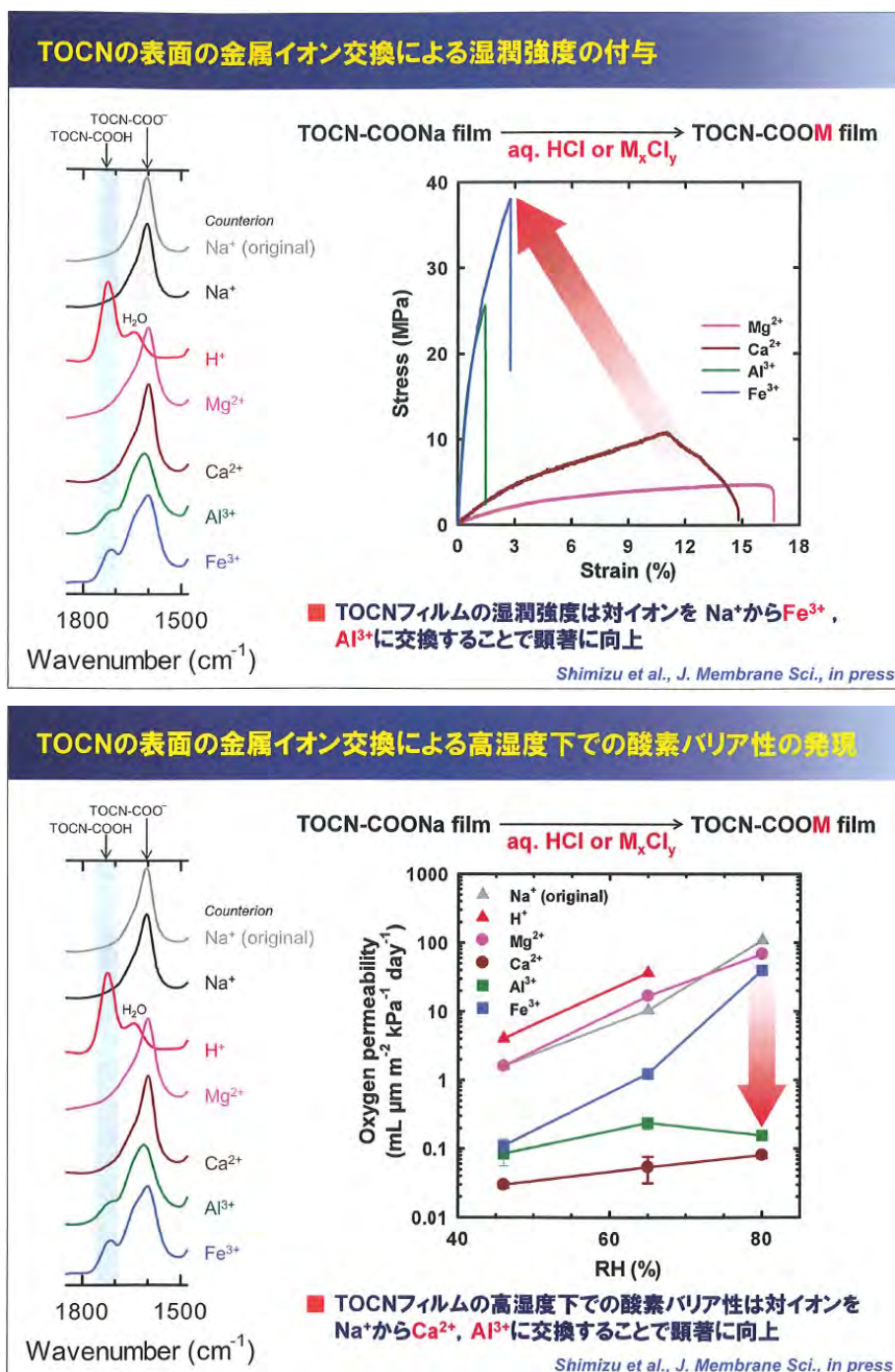


図 3-2-3 TOCN 膜の酸素バリア特性における耐湿度特性向上に関する報告 (文献 3-3-2 より、引用)

さらに、九州大学の松本らにより、CNF膜のCO₂/CH₄ガスの分離に関する報告がなされている（文献3-2-2）。

Ultrasensitive Gas Separation by Nanoporous Metal-Organic Frameworks 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。

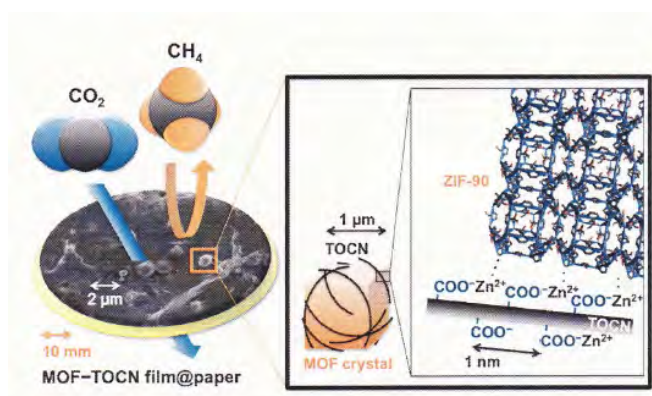


図 3-2-4 MOF-TOCN 膜のガス透過イメージ

このMOFをTOCNと複合化することにより（MOF-TOCN）、CO₂ガスを選択的に透過させ、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。

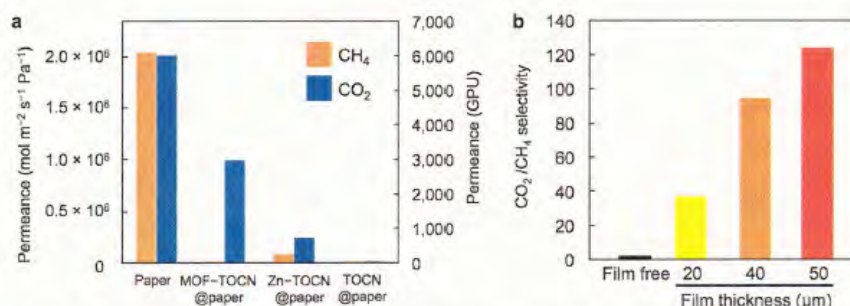


図 3-2-5 MOF-TOCN 膜の CH₄/CO₂ ガス選択性と膜厚依存性

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 CO₂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に従い、CO₂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、CO₂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 μ m 厚 \times 220cm²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 \times 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 \times 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 kg-CO2 /Nm³-H₂ の CO2 排出を伴う。2030 年の水素の予想需要は約 200 億 Nm³ 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、1.13kg \times 200 億 Nm³=2,260 万 t/年の CO2 削減が期待できる (文献 3-2-7)。

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 Frameworks 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 ～ H27.07.10	セルロース学会 (札幌市、北大)	工業研究所 松岡	○アルカリ膨潤セルロースナノファイバーの紡糸（京都大）：CNF懸濁液をNaOH水溶液で中和して得られたゲルを紡糸。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 (株) (京都市)	工業研究所 松岡	TEMPO酸化CNFでの紡糸、電界紡糸によるマスクへの応用について、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 (株) (京都市)	工業研究所 松岡	紡糸、電界紡糸について、文献調査結果を第一工業製薬に報告。繊維集合体としての用途を検討。
H27.08.31	ナノファイバー 研究会 (名古屋市、名工大)	工業研究所 松岡	炭素繊維とカーボンナノファイバーの最新動向に関する講演を聴講。炭素の安全性については様々な報告があり、ナノファイバーの安全性は細胞よりファイバーが小さいかどうか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(四日市市、AMIC)	工業研究所 松岡、滋賀県立大 山下	アセトン浴中でのTEMPO酸化CNFの湿式紡糸について文献を検討。CNF製不織布はコストが課題となるので、複合化を検討。
H27.10.08	関西フィルム展 (大阪市、インテックス大阪)	工業研究所 舟木	ナノファイバーに関する情報を収集。ナノファイバーとCNFの複合化が期待でき、強度を担保するため、樹脂系繊維を基材とした用途も検討できる。
H27.10.16	Nanofiber2015 (東京都、東工大)	工業研究所 松岡 滋賀県立大 山下	○Electrospinning and Traditional Fiber Spinning：電界紡糸でナノファイバーを製造するためには、fiberの径、表面特性、空隙率、fiber間の接着性などの制御が必要。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 ～ H27.10.23	繊維学会（京都市、京工織大）	工業研究所 舟木、松岡 信州大 木村	○硫化銅を用いた導電性再生セルロース繊維の形成：紡糸時に硫化銅をフィラーとして練りこむことで導電性繊維が得られる。電磁波シールド素材、面発熱体へ応用。 ○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（上田市、信州大）	工業研究所 松岡	TEMPO 酸化 CNF の紡糸について、試料調整について文献値（1wt%）を参考に検討。
H27.12.03 ～ H27.12.04	室内環境学会（宜野湾市、沖縄コンベンションセンター）	工業研究所 松岡 信州大 木村	○室内環境中のバイオエアロゾルの実態と対策：バイオエアロゾル（浮遊細菌、浮遊真菌、それらの複合体）への対策として、HEPA フィルタ等に抗菌、殺菌などの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	沖縄県立芸術大学（那覇市）	工業研究所 松岡 信州大 木村 滋賀県立大 山下	沖縄の特徴的な素材として芭蕉、苧麻。芭蕉の葉は廃棄されるが茎（鞘）部分を繊維化。両素材ともアルカリ処理によりヘミセルロースの除去が必要。他、WG を開催。
H27.12.06	沖縄県工芸振興センター（南風原町）	工業研究所 松岡 信州大 木村 滋賀県立大 山下	未利用資源であった月桃の茎から紡績糸を作っている。前処理方法が確立、品質も安定で、CNF 利用の可能性はあり。
H27.12.07	沖縄科学技術大学院大学（国頭郡恩納村）	滋賀県立大 山下	ホヤ類からのセルロース分子を粉碎し、さらにそのフィブリルを分散させて 10nm の CNF を取り出し。幅が太いく、強度が期待でいるのでは。
H27.12.18	ナノファイバー研究会（上田市、信州大）	工業研究所 松岡	○ナノファイバーによる EDLC とセパレーターへの適用：ES 不織布の蓄電池セパレータの利点は、空隙率の高さ、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 (上田市、信州大)	工業研究所 松岡	不織布・繊維集合体 WG 打ち合わせ：CNF1wt%で Wet-Spun を検討。攪拌と脱泡に課題。再検討。
H27.12.24	不織布 WG (彦根市、滋賀県大)	工業研究所 松岡	ES 不織布の電池セパレータ利用について情報交換。他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	鳥取県産業技術センター (鳥取市)	工業研究所 松岡	生体適合材料として活用されているキチン・キトサンからのナノファイバーが鳥大(有機系)シーズとしてある。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 (東京都、東京ビッグサイト)	工業研究所 松岡	エレクトロスピンニング装置のメーカーと情報交換。CNF については、シルク、酢酸セルロースとの混合等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	ナノファイバー研究会 (東京都、東工大)	工業研究所 松岡	TOCN は繊維径が 3-4nm に制御可能であるため、先端材料向き。ゴムに TOCN を混ぜたところ、CNT よりも高強度の結果。海藻資源からの CNF は繊維幅が 10nm 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 ~ H28.02.12	不織布 WG (上田市、信州大)	工業研究所 松岡	レオクリスタ (CNF2wt%) 原液、1wt%の 2 種類を 18G のニードルで、アセトン浴中で湿式紡糸。

※ 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。

エレクトロスピン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ェアなどである。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靱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500m²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55km²)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る。

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μm、ポアサイズは0.05~0.5μm。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 $2.5\mu\text{m}$ 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を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）。

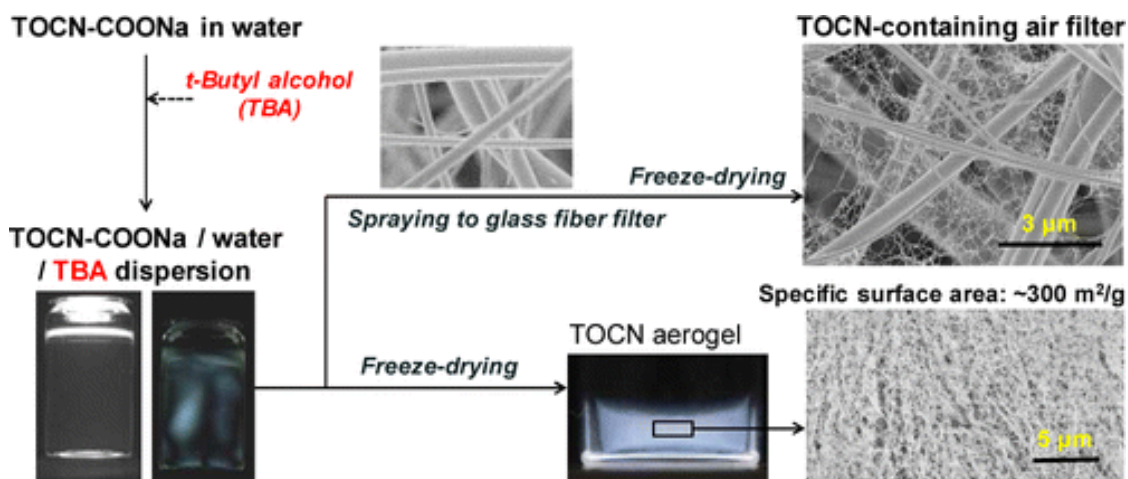


図 3-3-1 Nemoto J.らの研究概要 (文献 3-3-3 より、引用)

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。

エレクトロスピン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、1~500 μ 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ン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、量産機の開発も行った (図 3-3-2)。



図 3-3-2 信州大学繊維学部 Fii 施設のエレクトロスピンニング装置

ナノファイバー糸の製造では、Deakin University

(Australia) の Prof. Tong Lin は、複数のノズルからエレクトロスピンニングで紡糸して、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、エレクトロスピン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（3,575,163m²）であるが、このうちポリプロピレン（PP）は、53,016t（2,767,000m²）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500m²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55km²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1回(CNFに係る公設試研究者向けの勉強会) (神戸市、兵庫工技セ)	工業研究所 井上	CNFの基礎的な技術情報について、先行的に研究を行っている京都市・北川氏より紹介があった。京都市産業技術研究所の施設見学を行い、研究現場(有機材料実験室)を視察した。CNFの実践的な研究を行うために、情報交換を行った。
H27.9.30 ～ H27.10.1	「Nプラスコーティング・表面処理技術展」、 「クルマに新たな価値をプラスする機能性フィルム」(東京都、ビッグサイト)	工業研究所 藤原	CNFを用いた透明フレキシブル機能性フィルムに関する表面処理、コーティング技術の調査のために技術展及びセミナーに参加した。CNFフィルムを実用化するためには欠点を補うための加工および機能を付与するための加工が必要であり、撥水、高耐熱、透過率制御、加飾、遮熱等の加工が有効と思われる。
H27.10.15	「インターオプト2015」、「農業ワールド」(横浜市、パシフィコ横浜、千葉市、幕張メッセ)	工業研究所 谷澤	セルロース部材の光利用アプリケーションへの展開可能性を調査するため、光技術動向セミナー、および農業資材・植物工場等に関する展示会に参加した。農業用資材として、波長変換機能を付与させたCNF透明フィルムの可能性は国内の農業レベル向上に貢献できる可能性があると思われる。
H27.10.27	CNF 研究会第2回(神戸市、兵庫工技セ)	工業研究所 井上	H27.9.10の第1回に引き続き、第2回が開催された。CNFの応用展開に関して、研究会参加の公設試研究者と、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 伊原博隆 教授 (熊本市)	工業研究所 藤原・谷澤・井上	伊原氏は、これまでにセルロースファイバーを使った研究開発を行い、実用化まで実施経験があることから、CNFを実用する上での課題をヒアリングした。
H27.11.2 ～ H27.11.3	プラスチック成型加工学会第23回秋季大会 (福岡市、福岡)	工業研究所 藤原	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

	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 戸田健司准教授 (新潟市)	工業研究所 谷澤・井上	戸田氏は、樹脂等への蛍光体微粒子の分散技術に関して知見を豊富に有していることからその注意点やノウ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（ガンママーカ―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 3回（四国中央 市、愛媛県紙産 業技セ）	工業研究所 井上	H27.10.27 の第 2 回に引き続き、第 3 回が開催された。前回と同様、今回は、「TEMPO 酸化セルロースナノファイバーを複合化したナノファイバーの作製」と題して、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 高野 俊幸 教授 (京都市)	工業研究所 藤原・井上	高野氏は CNF の構造などを長年、研究しており、実用化の観点から重要な知見を有していることからヒアリングした。その結果、CNF 構造は複雑であるが、異分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 E X P O（東京都、 東京ビッグサイ ト）	工業研究所 谷澤	セルロース部材の光利用アプリケーションへの展開可能性を調査するため、光利用について調査した。照明デバイスは光源の基板やレンズに多種の樹脂が用いられており、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 センター（鳥取 市）	工業研究所 藤原・松岡・ 井上	蟹の水揚げで有名な鳥取県特有の背景からキッチンキトサン抽出技術などをヒアリングして CNF の抽出の要素技術として参考とした。
H28.1.22	鳥取大学 大観光徳 教授 (鳥取市)	工業研究所 藤原・松岡・ 井上	CNF 等ナノファイバーや CNF 応用研究に携わる研究者および環境省 FS 事業のアドバイザーを訪問することで、最新の研究状況を聞き取り CNF 用途開発の参考とした
H28.1.28 ～ H28.1.29	コンバーティン グテクノロジー 総合展（東京都、 東京ビッグサイ ト）	工業研究所 藤原	コンバーティングテクノロジーとはプラスチックフィルム・シートなどの比較的薄い基材に、コーティングなどの新たなプロセスを経て、新たな価値を生み出す行為の総称。CNF を用いた透明フレキシブル機能性フィ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。
H28.2.10	CNF 研究会第 4 回 (神戸市、兵庫工技セ)	工業研究所 井上	H27.12.9 の第 3 回に引き続き、第 4 回が開催された。今回は、長谷氏より CNF をゴムに混練させて強度特性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。

○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、ウイスカ性（＝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イ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°C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は紫外線に弱いですが、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°C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マイクロファイブリルとなる。
- ・ 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）



NMR (400MHz)

図 3-4-4 高野研究室の主要な実験設備

[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（ニッセイ、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 分散液に混練し、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ため、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レート(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、ガラス原料の熔融に必要な約 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 180 km であり、東西の幅は 10~80 km 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

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 (非木材パルプ割合)	197,071 (10.5%)	202,148 (10.8%)	208,507 (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
エンバク	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
うち靱皮繊維	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	

BDT: bo dry ton (乾重量)

ースマイクロフィブリルの形態学および機械的特性を比較しており、木材からのマイ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、韌皮部と木質部 (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%、韌皮部が 18% であり、ヘミセルロースが少ない韌皮部は糸にも利用され、パルプ原料としては韌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 万 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

※ 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)

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 1,000m²) 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（水稻とほぼ同程度）。

菰野町では、約 2ha(2 町)の栽培地があり、その収穫量は 10t で、全国で 2 位の規模である。1 位は、山形県酒田市であるが、2.5ha 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、水稻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、 $50,000 \text{ kg} * 0.02 / 0.35 = \text{約 } 3,000 \text{ kg}$ 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 kg の米の収穫が必要となり、すなわち、500kg/10a で算出すると、60a (0.6ha、6,000m²) 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、粃は玄米 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、可食部のマコモダケ部分以外にも、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。

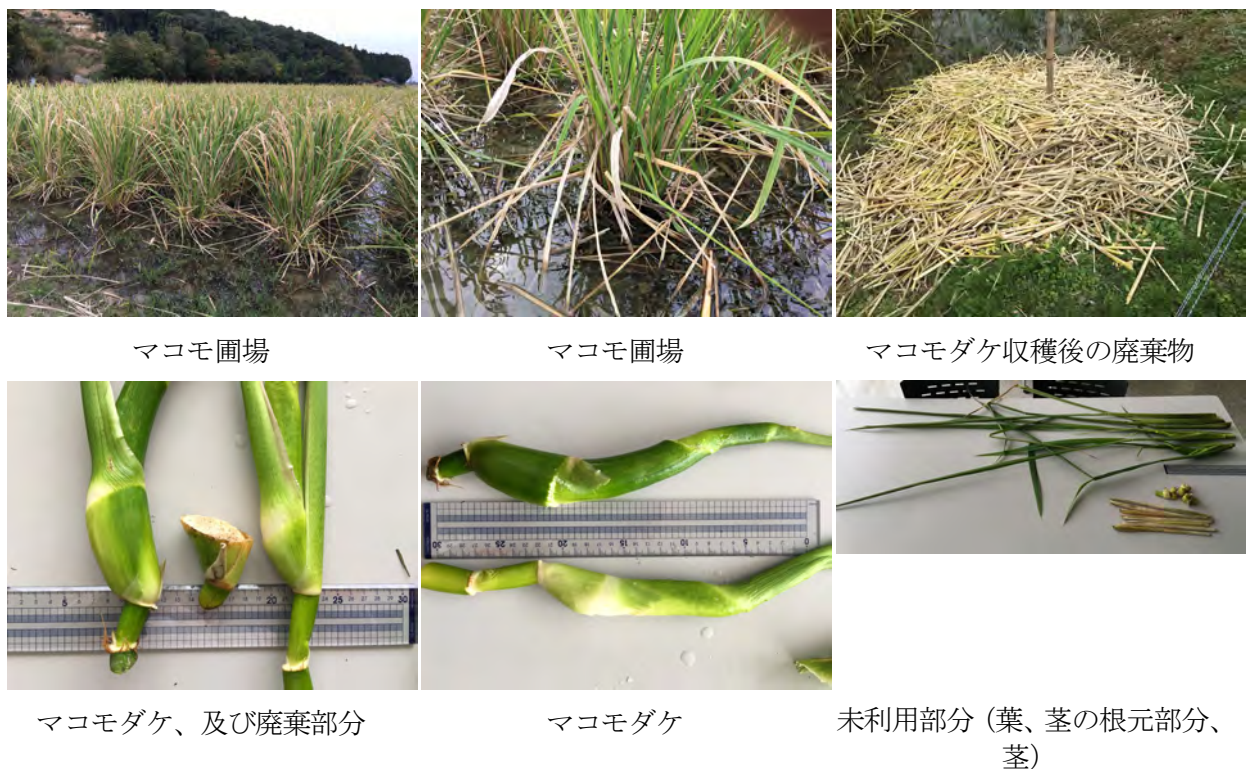


図 4-1-1 マコモダケの圃場等の写真

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

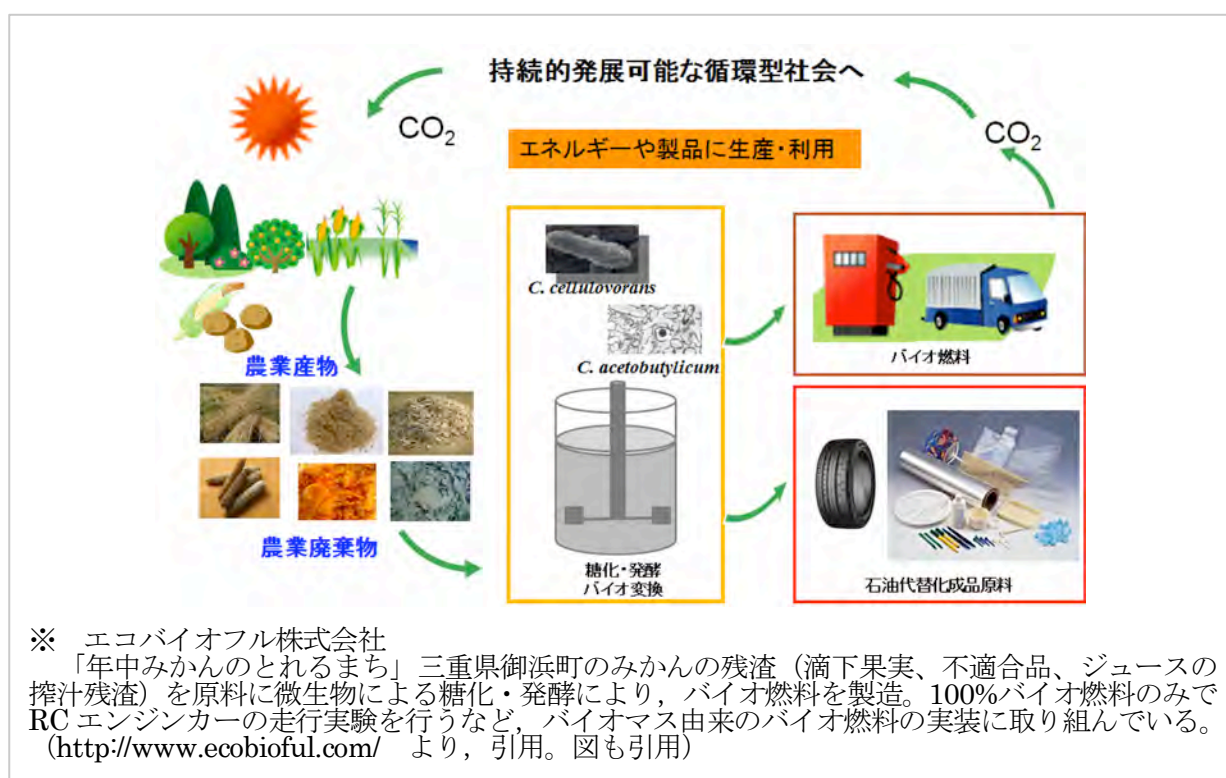
テーマ：地域でのバイオマスサプライチェーンの構築について

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。



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に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、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 m ³ ）
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）

工場数	製材・合板工場との			従業員 数 人	合計 トン	木材チップ生産量			
	兼営	兼営なし	工場			素材（原木） トン	工場残材 トン	林地残材 トン	解体材・ 廃材 トン
	工場	工場							
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）

	計	素材（原木）	工場残材		林地残材	解体材・廃材
			自己の工場か ら振り向け	他の工場から 購入		
全 国	5,844	2,535	1,627	349	110	1,223
岐 阜	59	23	18	9	1	8
静 岡	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)

	計	素材 (原木)	工場残材		林地残材	解体材・廃材
			自己の工場から振り向け	他の工場から購入		
全 国	3,488	1,861	2	310	93	1,222
岐 阜	35	18	-	8	1	8
静 岡	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)

	計	素材 (原木)	工場残材		林地残材	解体材・廃材
			自己の工場から振り向け	他の工場から購入		
全 国	2,356	674	1,625	39	17	1
岐 阜	19	5	13	1	-	-
静 岡	19	5	13	1	-	-
愛 知	2	-	2	-	-	-
三 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 国	4,516	4,511	4,141	370
岐 阜	x	x	x	x
静 岡	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
伊賀森林組合	伊賀市ゆめが丘 7 丁目 7
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
三重くまの森林組合

北牟婁郡紀北町海山区便ノ山 200
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。

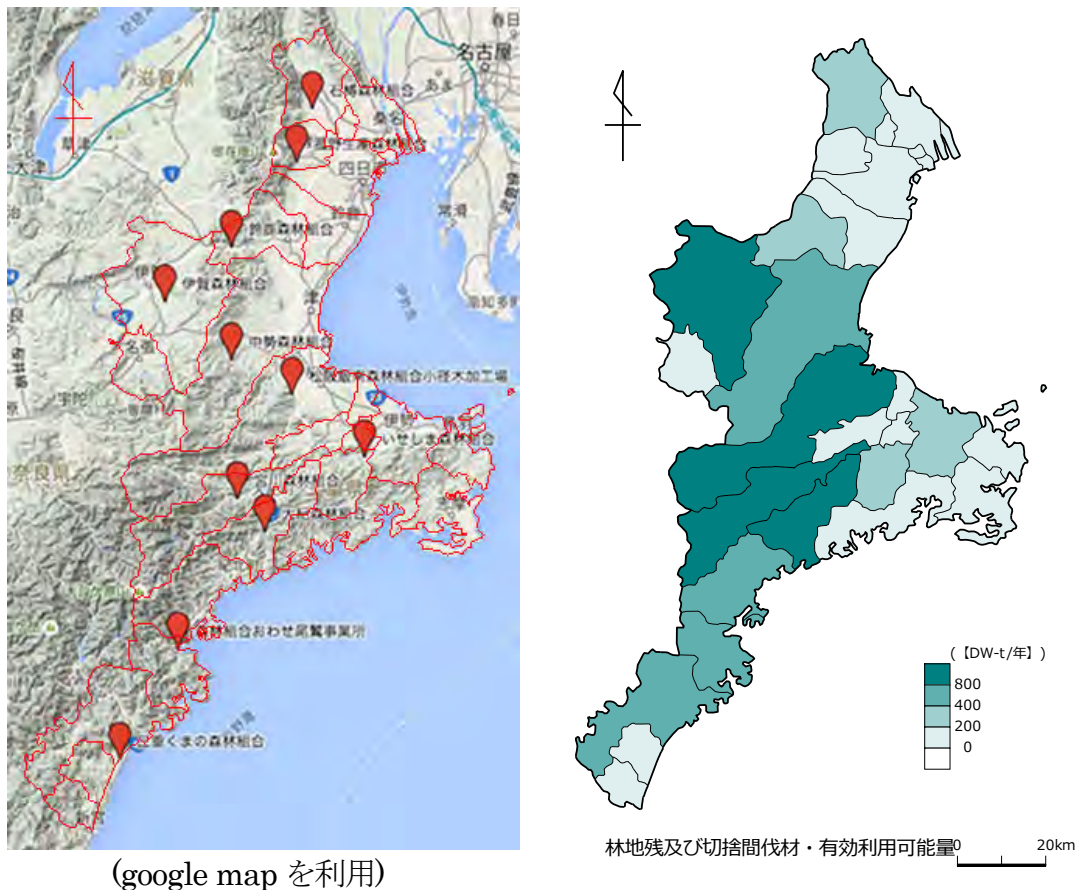


図 4-1-2 森林事業体の所在地と林地残材及び間伐材の市町村別有効利用可能量

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ため、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。

$$\text{CO2 排出量 (t-CO2)} = \text{輸送重量(t)} \times \text{輸送距離(km)} \times \text{燃料使用原単位(l/t} \cdot \text{km)} \times 1/1000(\text{kl/l}) \times \text{単位発熱量(GJ/kl)} \times \text{排出係数 (t-C/GJ)} \times 44/12(\text{t-CO2/t-C})$$

燃料使用原単位：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	いせしま森林組合	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)

	石樽	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
石樽森林組合	-	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)

	石樽	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
石樽森林組合	-	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、中長期的な取り組みとなると思われる。一方で、林地残材及び間伐材、果樹剪定枝は、木質チップ化も行われていることから、三重県において、低炭素でかつ短期的に実現可能な CNF 資源として、大いに期待できるものと結論付けられる。

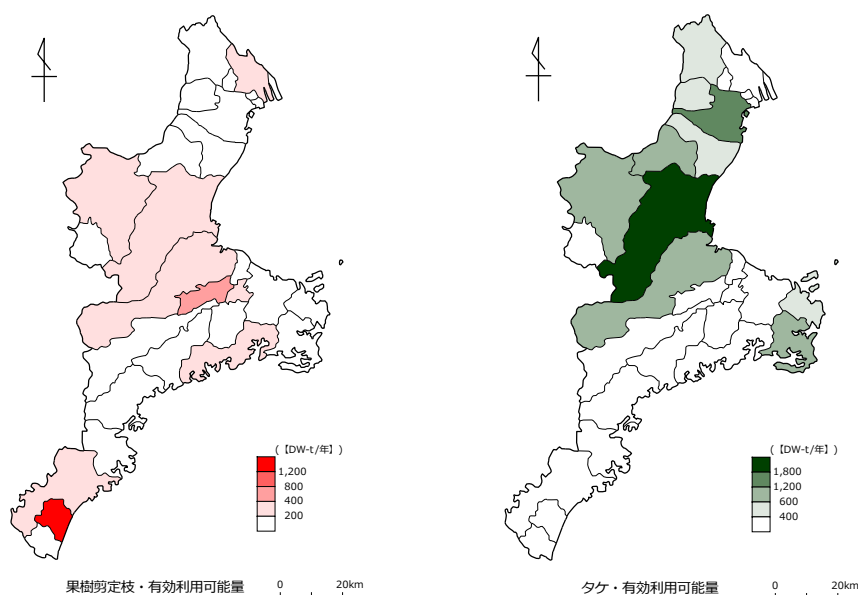


図 4-1-3 果樹剪定枝、タケの市町村別有効利用賦存量

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 4-1-4 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)

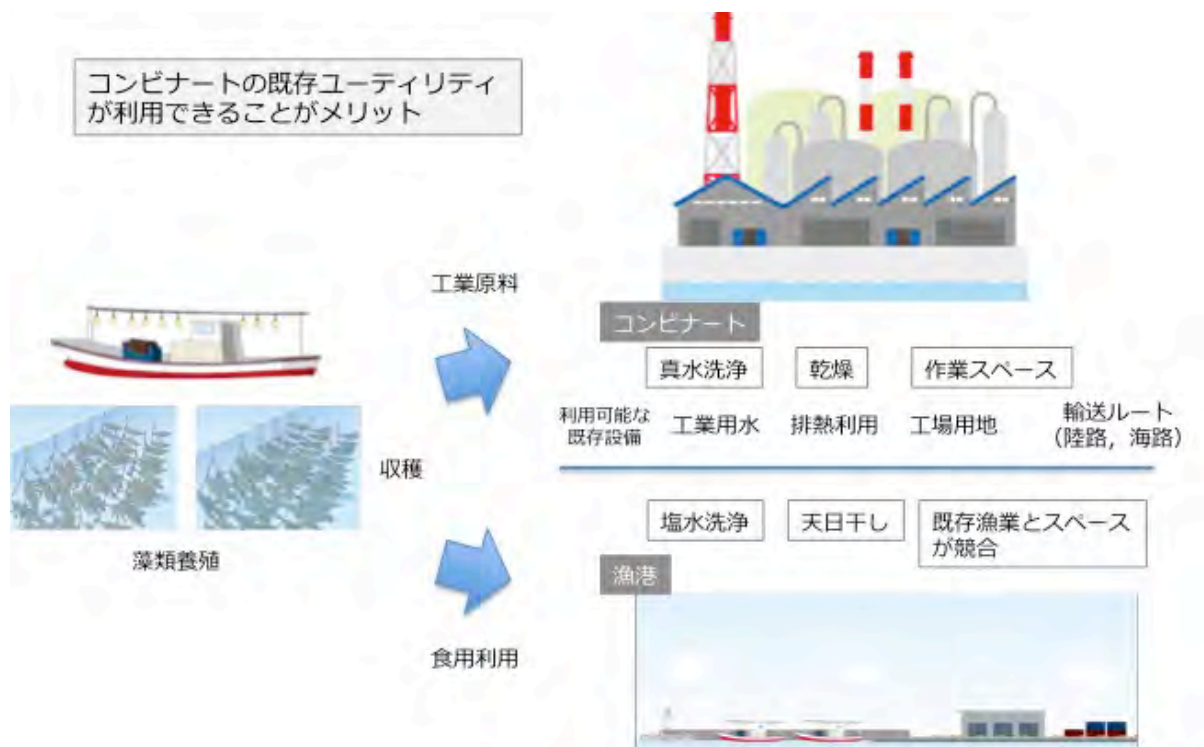


図 4-1-5 コンビナートを利用した場合のメリット

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、得られたハイ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 $0.018 \pm 0.02 \text{ W/mK}$ 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。

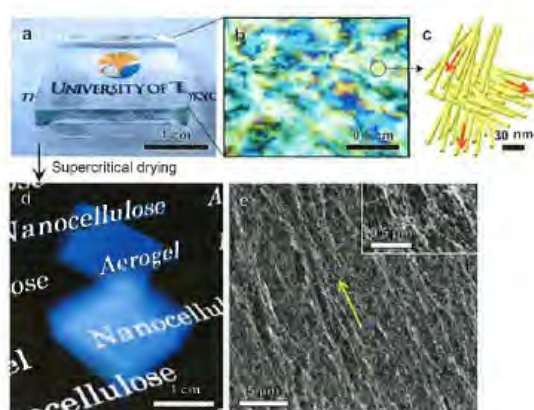


Figure 1. Transparent aerogels with 3D ordered LC-NCell nanofiber skeletons. a) LC-NCell hydrogel (1% w/v). b) Birefringence image of the hydrogel. c) A simplified model of the liquid-crystalline arrangement of the nanofibers or the nematic multi-domain structure. d) LC-NCell aerogels obtained by supercritical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

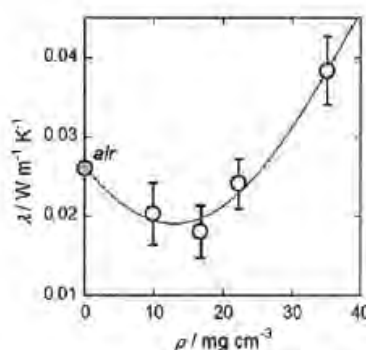


Figure 5. Thermal conductivity (λ) of the LC-NCell aerogel as a function of density.

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)。

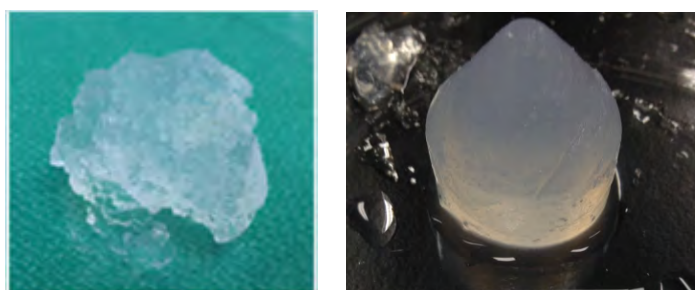


図 4-2-2 TOCN (左) と TOCN ハイドロゲル

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 100~250m²/g の多孔質体を作製することができることが判明した。

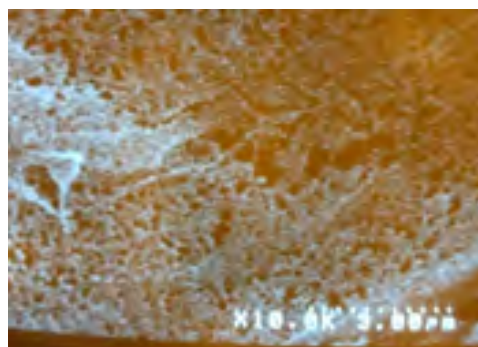


図 4-2-3 エアロゲルの SEM 写真

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

測定サンプル	熱伝導率 (W/m・k)
TOCN多孔質体 (250m ² /g)	0.30
シリコン樹脂	0.25

樹脂材料熱抵抗測定装置 (日立製)

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ジ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。

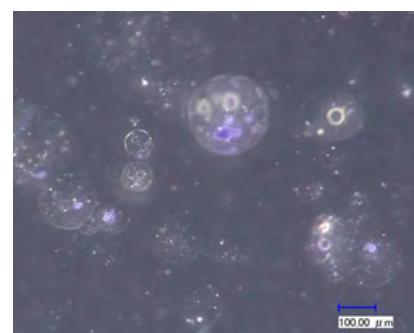


図 4-2-4 ハイドロゲル微粒子の写真

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 ハイ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つたため、今後の課題である。

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
TOCN ヒドロゲル粒子	無し	樹脂A (疎水性)	× (凝集多い)
	有り	樹脂A (疎水性)	△ (やや凝集)
	無し	樹脂B (親水性)	△ (やや凝集)
	有り	樹脂B (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ます。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、攪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 1mm とし、シート送り速度 60cm/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 4-3-2）。

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℃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 μm 、東京大学・磯貝/齋藤研究室（東大）製の TOCN 膜は約 30 μm 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。

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

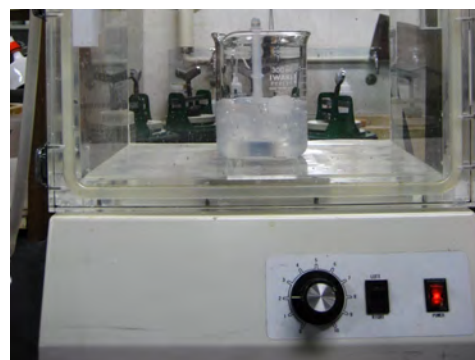


図 4-3-1 TOCN ゲルの調整

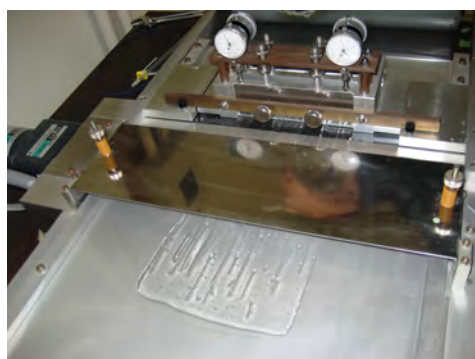


図 4-3-2 製膜工程



図 4-3-3 TOCN キャスト膜

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。

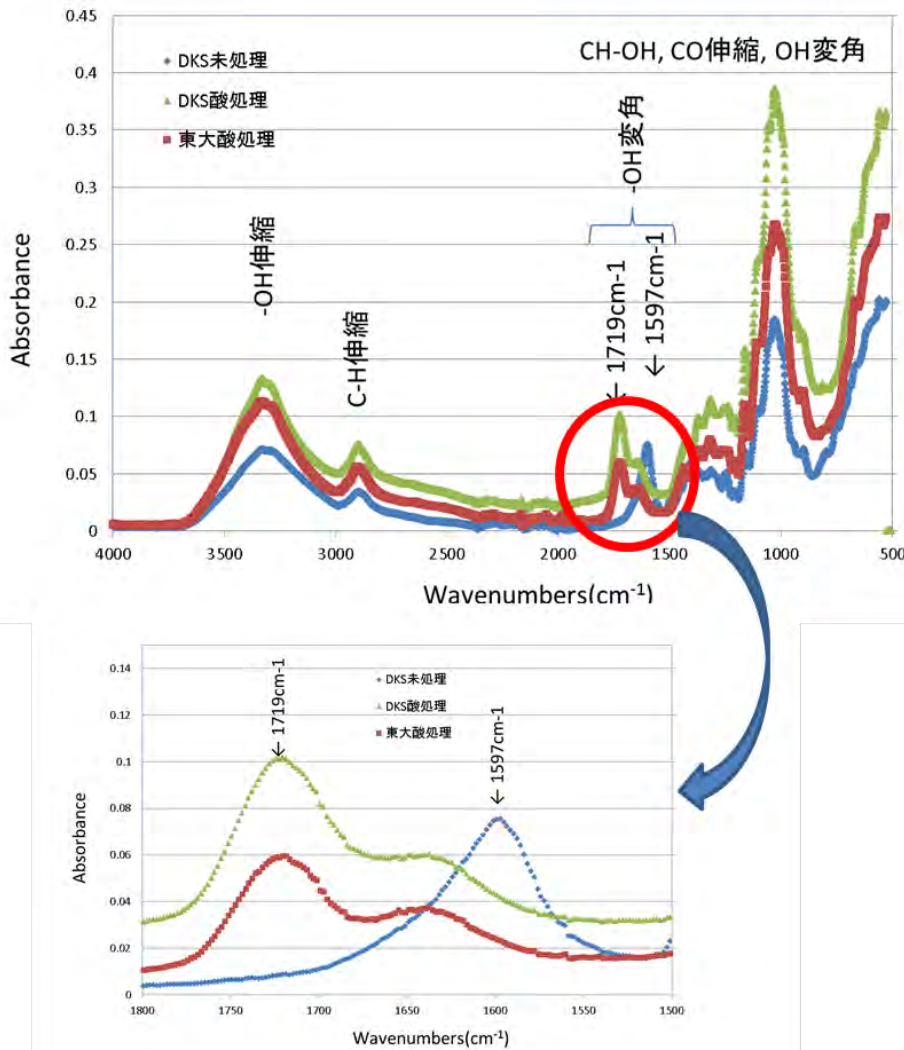


図 4-3-4 TOCN 薄膜の FT-IR 測定結果 (ATR モード)

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)

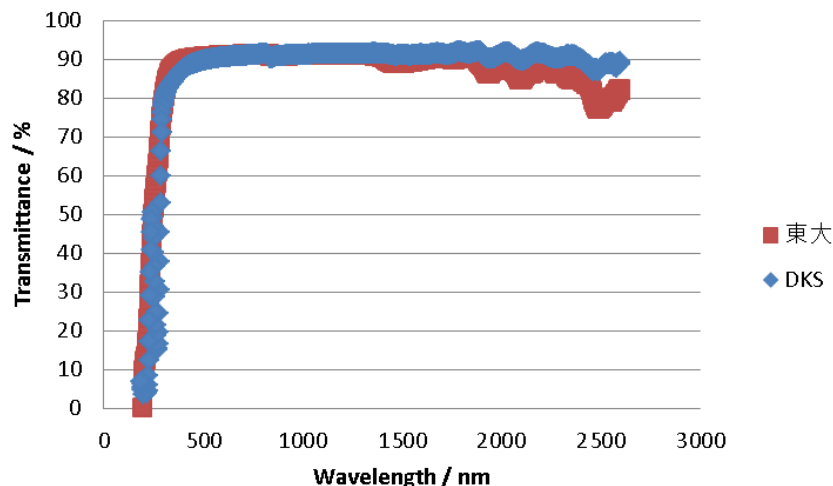


図 4-3-5 TOCN 薄膜の分光スペクトル測定結果

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 $60\mu\text{m}$ ～ $5000\mu\text{m}$ 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)

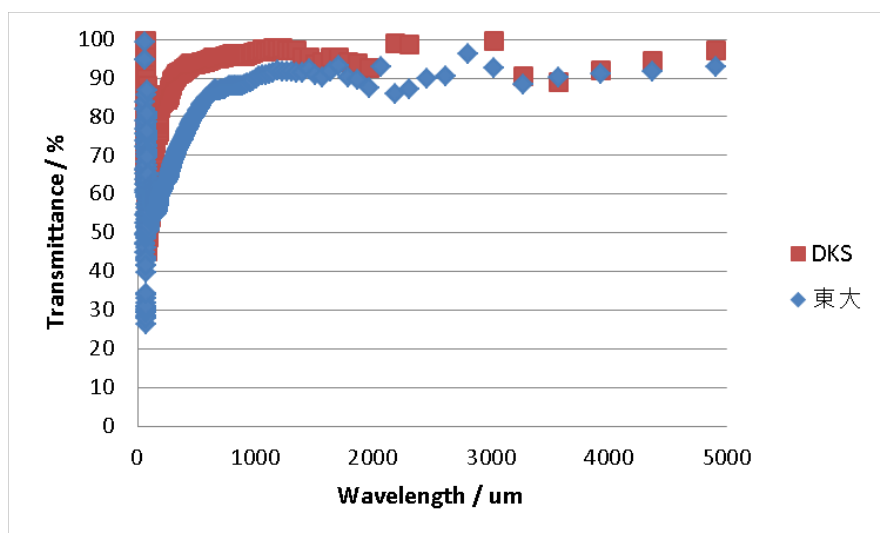
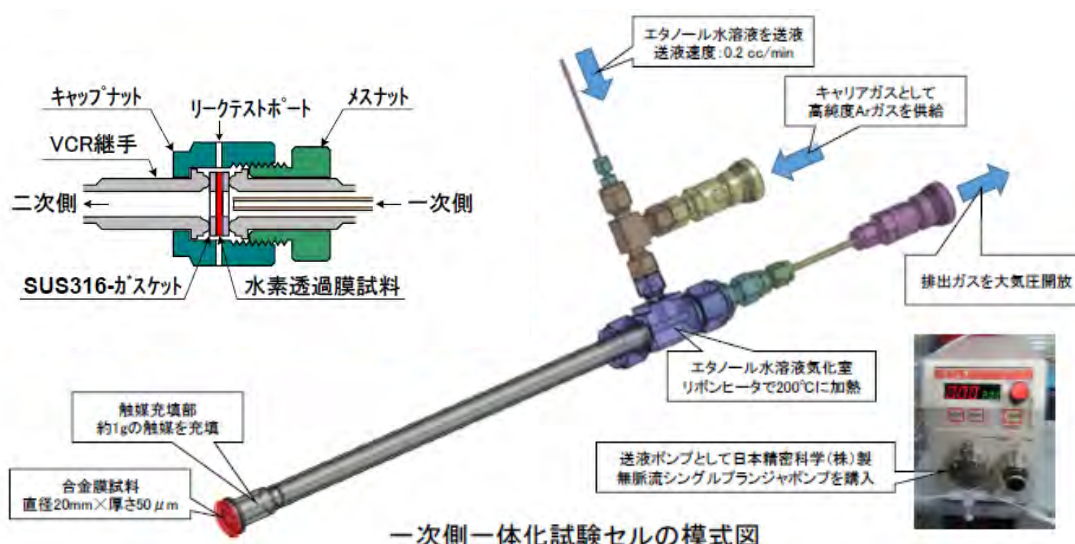


図 4-3-6 TOCN 薄膜の分光スペクトル測定結果

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。



一次側一体化試験セルの模式図

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。

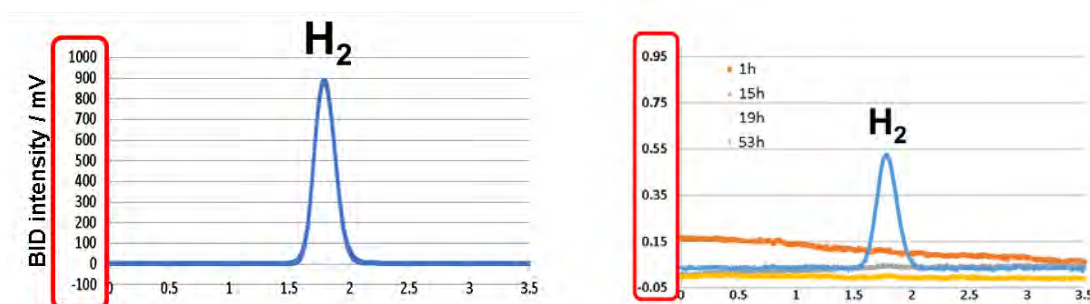


図 4-3-8 水素透過試験結果（左図：一次側水素ガス濃度、右図：二次側水素ガス濃度）

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压損、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。

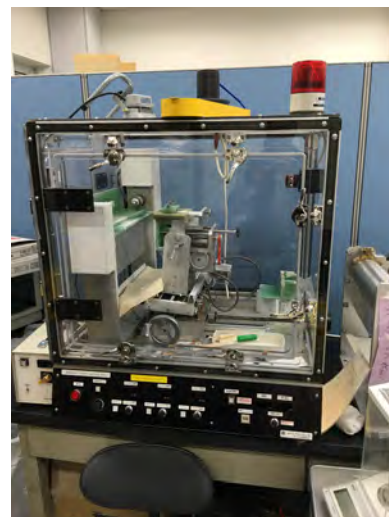


図 4-4-1 装置外観

(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。

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

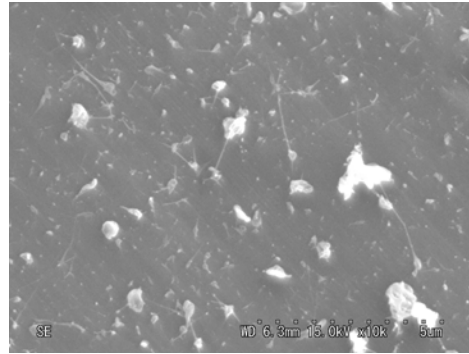


図 4-4-2 CNF の ES 結果

(2).ポリマー水溶液のエレクトロスピンニング

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、エレクトロスピン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。

エレクトロスピン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、エレクトロスピン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))。

この不織布の

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ン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。

表 4-4-2 CNF 溶液の組成

	組成重量 (g)
CNF (レオクリスタ)	0.002
PVA	0.60
イソプロパノール(IPA)	2.70
ウレタン	1.14
純水	5.66



(a). ポリマー水溶液のみ



(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

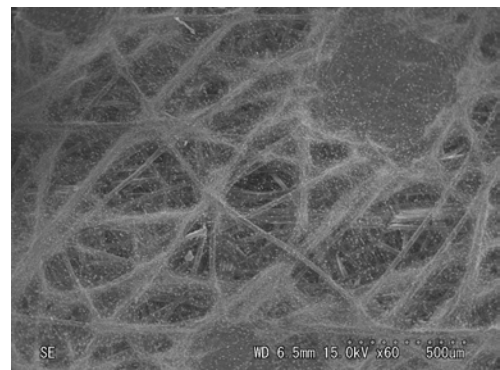


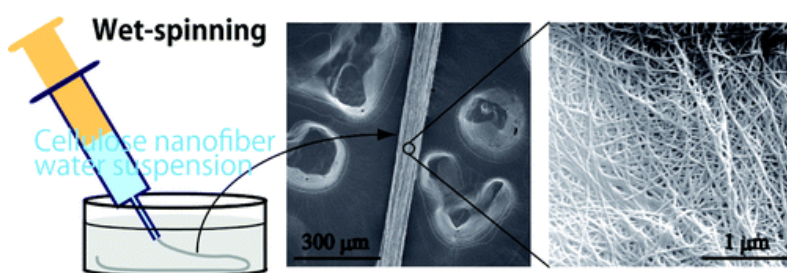
図 4-4-4 CNF 含有ポリマー水溶液の ES 結果

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、φ6mmのシリンダーに、CNFを充填して、φ0.95mm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℃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 μm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

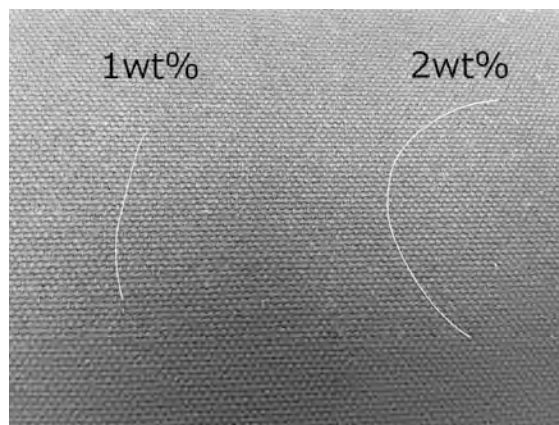


図4-4-5 CNFの湿式紡糸による試作糸の外観

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。

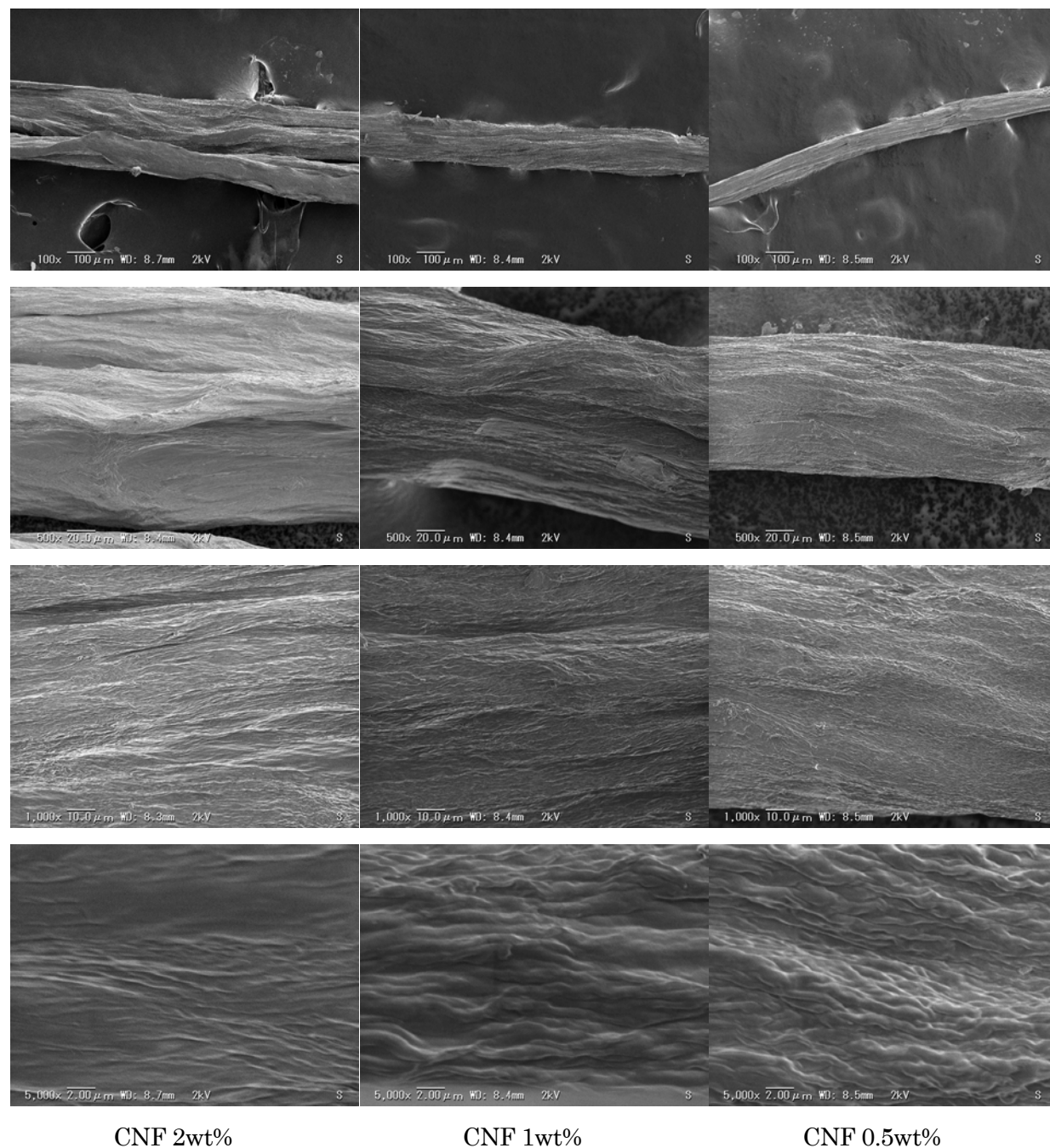


図 4-4-6 紡糸された CNF の SEM 写真 (上から、100 倍、500 倍、1,000 倍、2,000 倍)

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

アドバイザ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 の発光技術を確認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マイ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-CNCF 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碎・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）。

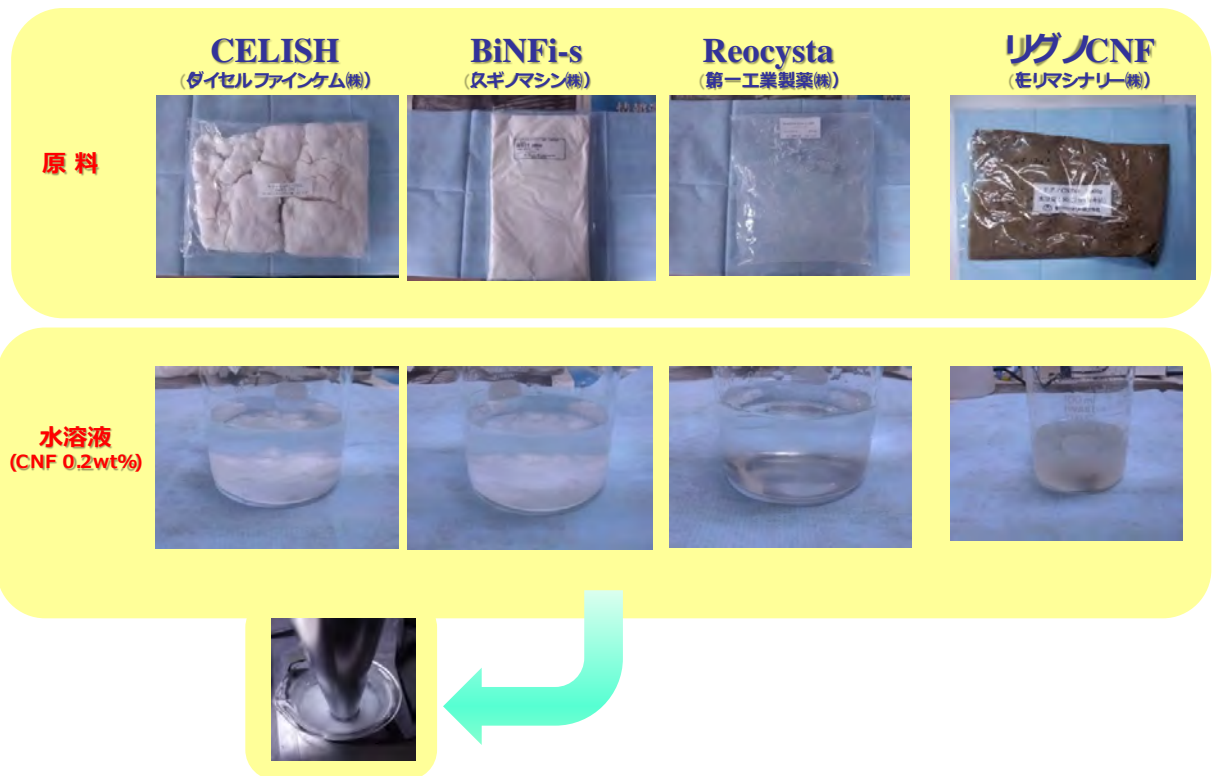


図 4-5-1 各種 CNF 原料の調整

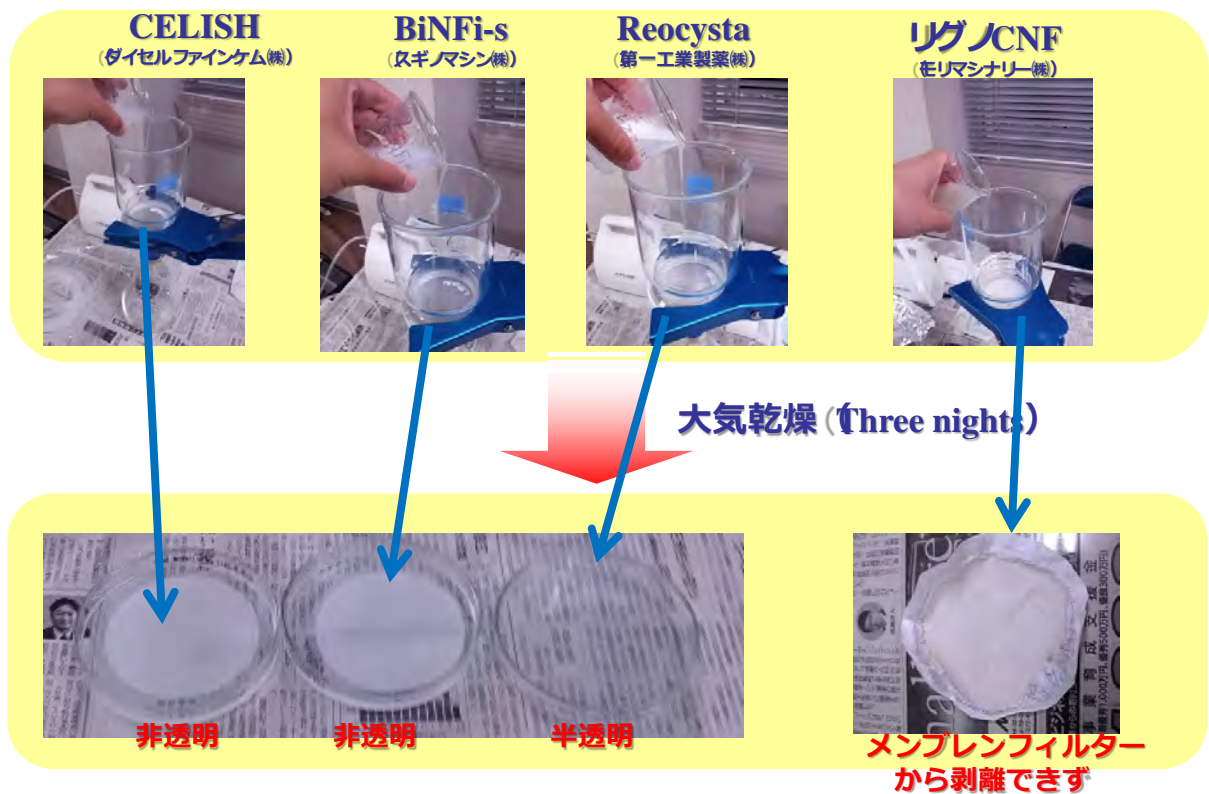


図 4-5-2 各種 CNF のシート化

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）。

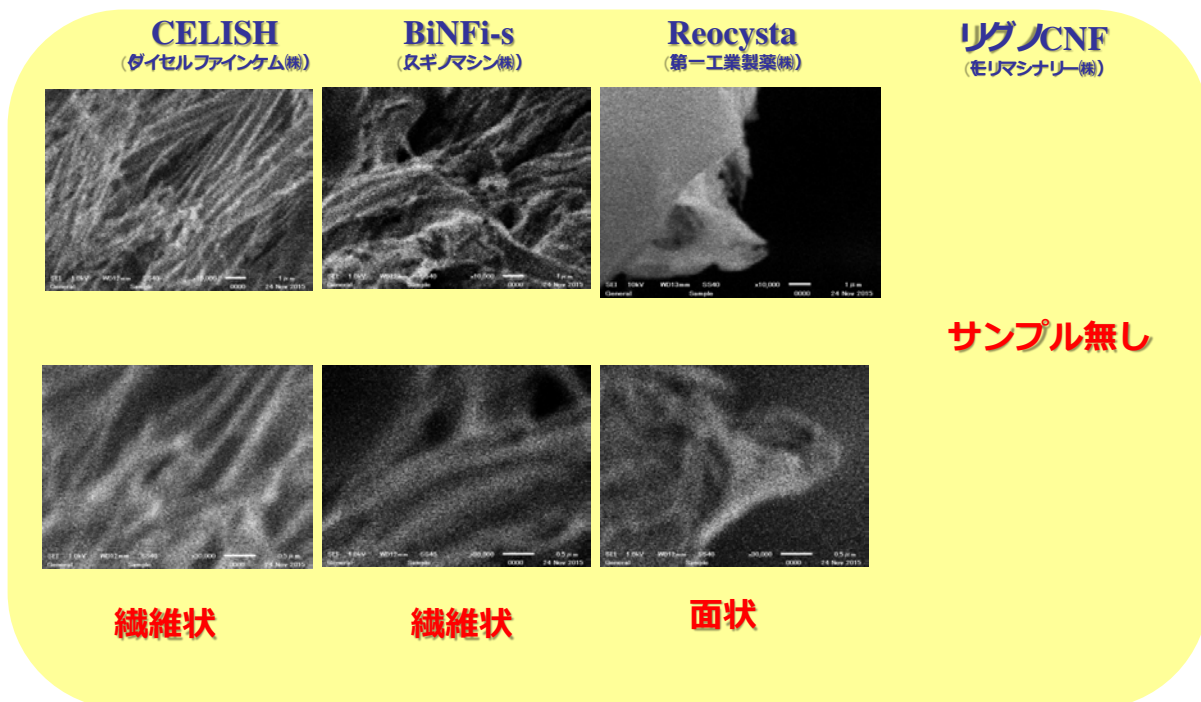


図 4-5-3 各 CNF シートサンプルの SEM 写真

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、レオクリスタでは 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：3 μ m）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。

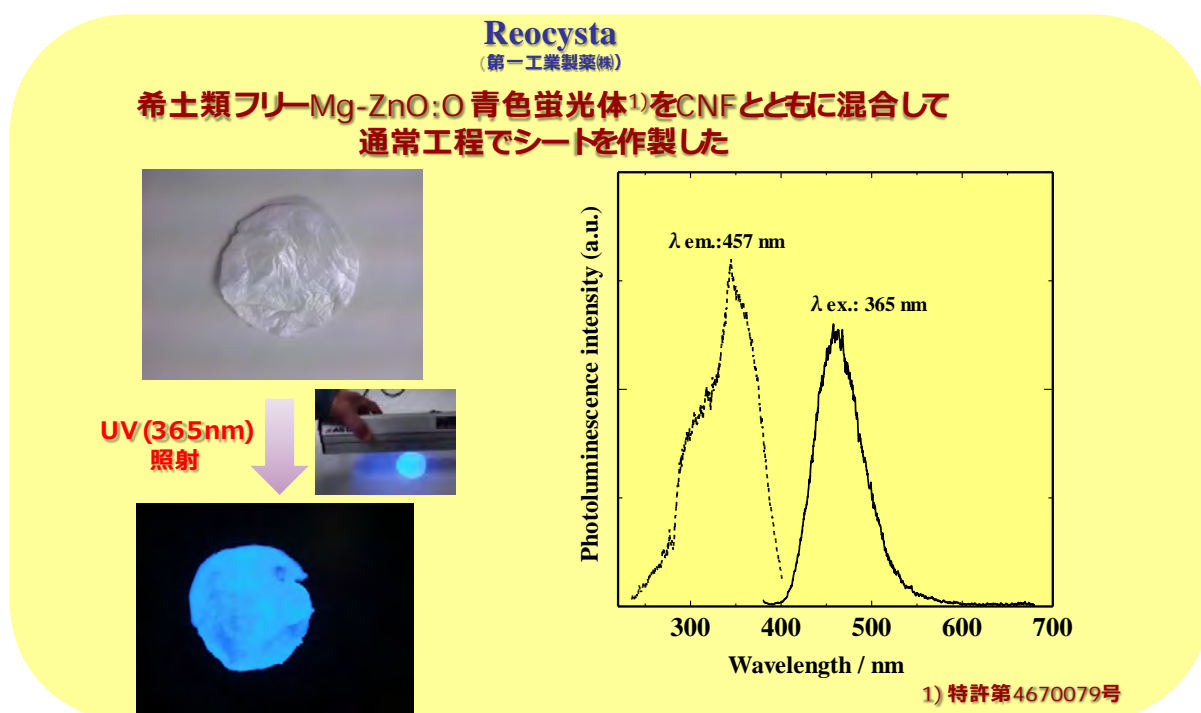


図 4-5-4 青色蛍光体を混合させた CNF シートの発光特性及びサンプルの外観写真

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。

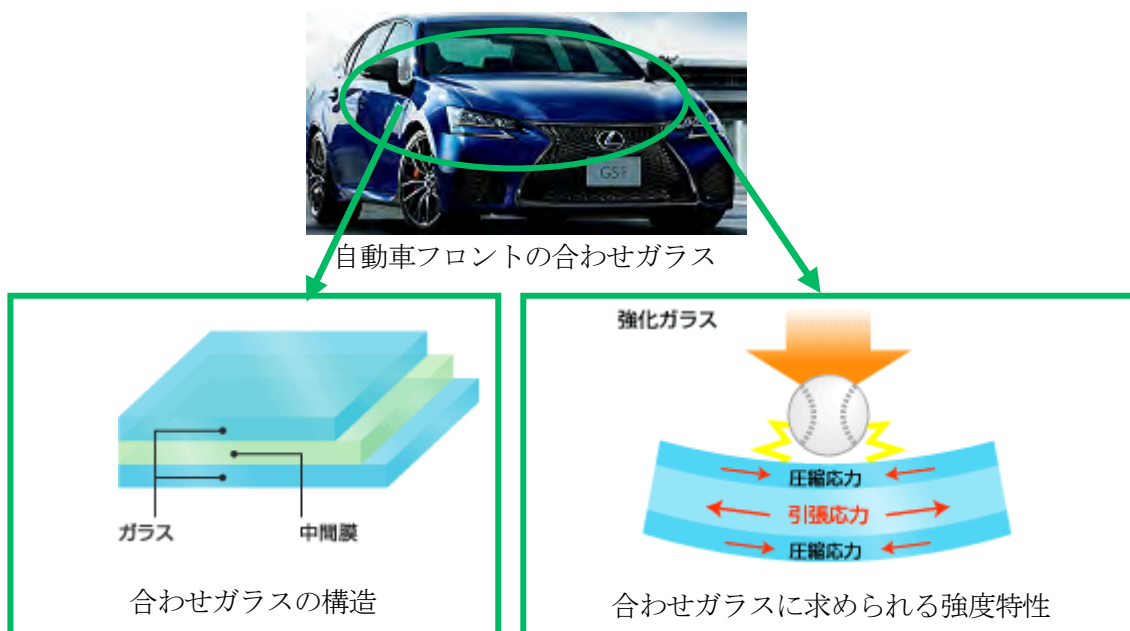


図 4-5-5 自動車フロントの合わせガラスの構造

(引用：トヨタ自動車(株)H.P. : <http://lexus.jp/models/gsf/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 内訳（三重県内・外別）			表 5-2 みえ CNF 協議会会 員内訳（産学官別）			表 5-3 みえ CNF 協議会会 員内訳（県内・産学官別）		
	会員数	割合		会員数	割合		会員数	割合
三重県内	52	73%	産	50	70%	産	45	87%
県外	19	27%	学	11	15%	学	4	8%
	71		官	9	13%	官	3	6%
			民	1	1%	民	0	0%
				71			52	

71 機関の内訳をみると、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。

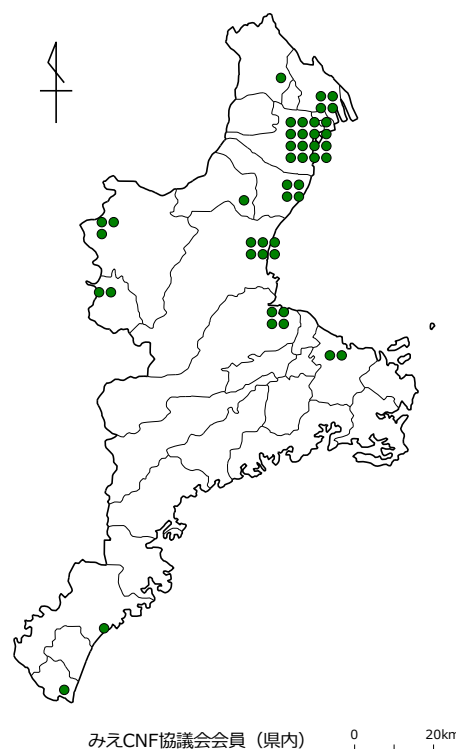


図 5-1 県内の市町村別会員数 (企業のみ)

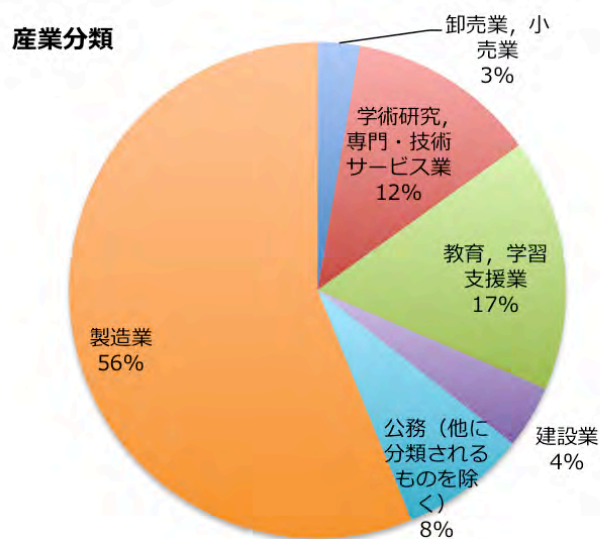


図 5-2 みえ CNF 協議会会員の産業分類

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。

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。

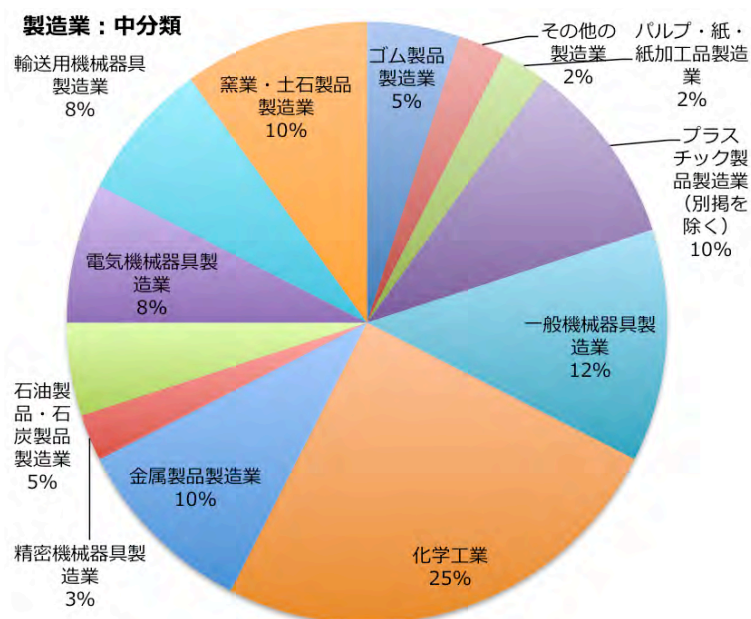


図 5-3 みえ CNF 協議会会員のうち、製造業企業の産業中分類

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。

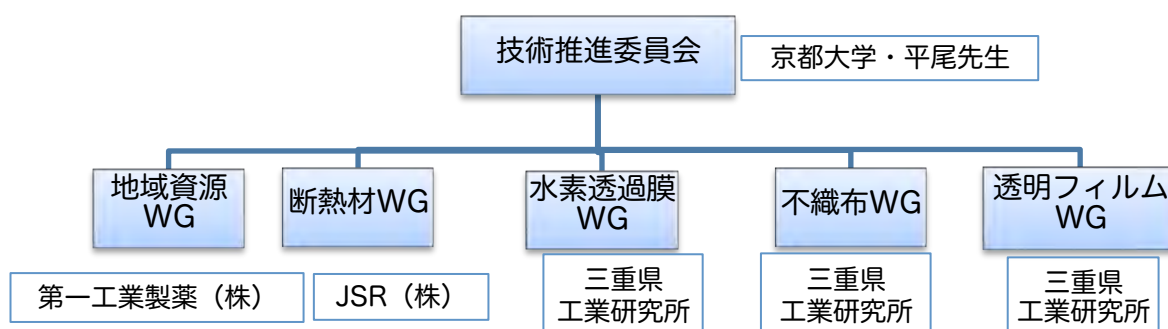


図 5-4 FS 事業における技術推進委員会及び調査ワーキンググループの実施体制

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 様に委託させて頂き調査を進めている。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

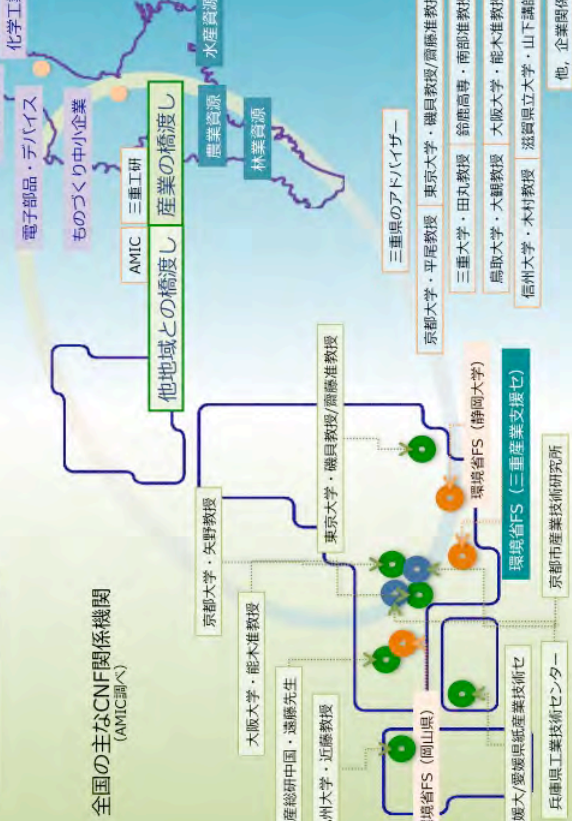
三重県が開催する企業展示会である「みえリーディング産業展 2015」に出展し、本業務での取組紹介、「みえ CNF 協議会」の活動紹介等の普及啓発に取り組んだ。また、本展示会中に、みえ CNF 協議会の設立総会、キックオフセミナーも開催した。（セミナー等は、別に報告）

- 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 5 1 6 9）
- 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



みえ低炭素セルロースナノファイバー用途開発

三重県の2/3を占める豊富な森林資源や伊勢湾など豊かな海洋資源等を供給する一次産業（資源供給）、四日市コンビナートを中心とする化学産業・ものづくり産業などの二次産業（CNF加工、製造）と、内陸部に立地する輸送コンテナや建築資材などの三次産業（製品販売）が融合したCNFによる省エネ・低環境負荷プロセスを用いた高機能・高性能な新規材料による低炭素社会の実現に向けた取組を推進します。



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

代表事業者 提案内容

- 静岡大学/トクラス(株)
- (公財)三重県産業支援センター/三重工研
- 岡山県

新発明特許レオクリスタ*

- 特長
 - 高い導電性
 - 高い透明度
 - 乳白・分散安定性

透明で電導率が高いため、フレキシブルデバイスに活用可能

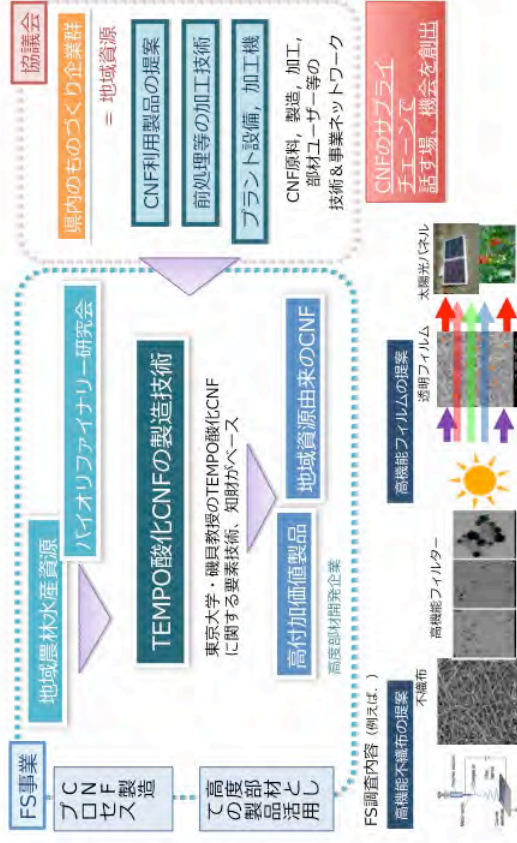
レオクリスタは、左図の構造を有するセルロースナノファイバーの分散液を、特定の条件下で乾燥・圧縮することで形成される。これにより、導電性と透明性を両立させた高機能材料が実現されています。

三重モデル

- 県内ものづくり企業群
- 県内農林水産資源
- TEMPO酸化セルロースナノファイバー

CNF及び応用製品 = 高度部材

- ◆ 地域資源からの特徴あるCNF製造及び適用分野を検討
- ◆ 高付加価値製品及び高機能製品
- ◆ CNFの使用量は少ないものの用途を特化した出口製品を検討



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

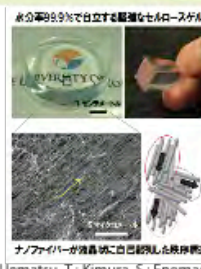
セルロースナノファイバーが拓く未来 - 木材活用による高度部材イノベーション -

講師 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・ヴァーレンベリ賞」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.



講師プロフィール

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

※定員になり次第、締め切らせていただきます。

申し込み

三重県産業支援センター北勢支所 (四日市市塩浜町 1-30)

(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)

本セミナーは「みえリーディング産業展 2015」内で開催されます

みえリーディング産業展 2015

11/20(金)~21(土)
10:00~17:00 (21日は16:00まで)

四日市ドーム

入場無料

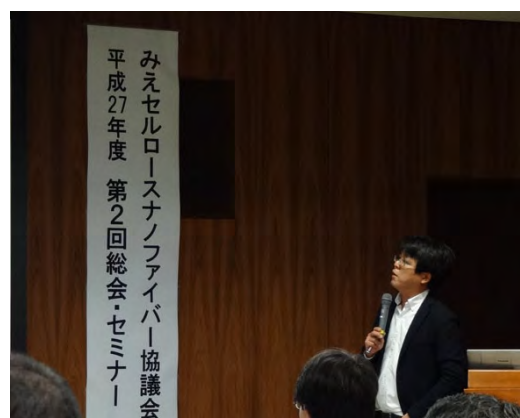


「みえセルロースナノファイバー協議会第2回セミナー」の開催

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所 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所 野中 寛 先生

リグノ CNF は、画一的なものではなく、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、裏面をご覧ください。

(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所 野中 寛 氏

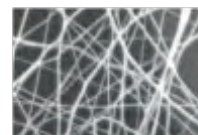


疎水性樹脂の補強材料として「リグノCNF」が注目されています。リグノCNFは決して画一的なものではなく、原料樹種、前処理、ナノ化手法等の選択によって組成や性質を変えうることを概説していただき、例として、木材チップを物理的に解繊して得られるリグニン量40%弱のリグノCNFの特性について紹介していただきます。他方、セルロース繊維に任意のリグニンを任意割合複合するというコンセプトで、求める機能性や混練性を発現するファイバーを創製する技術開発にも取り組んでおられますので、その複合原理や開発状況も紹介していただきます。

(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。

申し込み
問い合わせ

三重県産業支援センター北勢支所 (四日市市塩浜町1-30)
(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)