

セルロース・ナノ・ファイバー（cellulose nanofiber：CNF 以下 CNF と記載）は
木材廃棄物の有効活用になるか

大森ゼミナール第 19 期 3 年 石盛大樹、須賀芳己

【目次】

はじめに

1 研究の背景

- 1-1 CNF の定義
- 1-2 CNF の特性
- 1-3 世界の動向
- 1-4 日本の動向

2 CNF による環境経済的な波及効果

- 2-1 環境面による波及効果
 - 2-1-1 循環型社会の実現
 - 2-1-2 軽量化による燃費効率の向上
- 2-2 経済面による波及効果
 - 2-2-1 製紙業界の活性化
 - 2-2-2 森林資源の有効活用
 - 2-2-3 地方創生の促進

3 CNF 事業の拡大に向けた課題

- 3-1 製造コストの高さ
- 3-2 キラアアプリケーションの開発による用途拡大

4 先行する環境負荷低減素材の普及状況と新素材の普及条件

- 4-1 バイオプラスチックの場合
- 4-2 バイオエタノールの場合
- 4-3 バイオガスの場合
- 4-4 新素材の普及条件

5 CNF の普及政策の提案

5-1 CNF と環境負荷低減素材の普及条件

5-2 CNF 内外価格差への差額払い制度の提案

5-3 原料の木材廃棄物に対する運搬費負担制度の提案

5-4 補助金の財源として最適な提案

おわりに

【参考文献、資料、URL】

【調査協力企業、団体】

はじめに

2016 年、「京都議定書」に代わる地球温暖化対策の新たな国際的な枠組みとして、「パリ協定」が発効され、世界基準で温室効果ガスの排出量を抑えることが長期目標として掲げられた。これに伴い先進国である日本は環境に配慮しつつ、産業を発展させていくことが求められている。低炭素社会の実現のためには、環境負荷の少ない素材の使用と製品を生産する段階での環境配慮が重要である。そこで私たちは自然由来の素材であり、様々な用途における活用が期待される CNF に注目した。国土の約 7 割を森林が占めており豊富な森林資源を有している日本は、CNF 製品の実用化と普及において他国に対して大きなアドバンテージがある。そして CNF の実用化がさらに進み、市場規模の拡大がなされることで、環境的な波及効果の発生だけでなく、経済的な波及効果の発生をも展望できる。

私たちは製紙業界の活性化、木材の有効活用、地方創生の促進といった様々な経済的な波及効果が発生すると仮定した。環境保全と経済発展の両立を目指す上で CNF は最適な素材であると私たちは考えた。本稿では、1 で CNF の定義と特性を説明する。また、世界と日本における CNF を活用した製品の実用化に向けた研究開発の動向について検討する。2 で CNF 事業の拡大に伴い期待される環境的および経済的な波及効果について考察する。3 で現状の CNF 事業の課題を検討する。4 でバイオプラスチック、バイオエタノール、バイオガスなどの他の環境負荷低減素材の普及の現状を踏まえて、新素材の普及条件を明らかにする。5 で新素材の普及条件をもとに CNF 事業を拡大させるための施策を提案する。この提案とは、CNF 内外価格差への差額払い制度、原料の木材廃棄物に対する運搬費負担制度の創設であり、これらの制度運用の費用を新設予定の国税としての森林税に求めるとする

ものである。

1 研究の背景

1-1 CNF の定義

すべての植物は主構成成分としてセルロースを含んでおり、セルロースは地球上で最も多量に存在する炭水化物である。30～40 本のセルロース分子が規則的に束になったものをセルロースミクロフィブリルといい、細胞壁や繊維質を構成している。このセルロースミクロフィブリル単位、あるいはその集合体がナノセルロースであり、そのうち、ミクロンレベルの長さを含む繊維状のものを CNF と呼ぶ。竹などの木材、間伐材、木材の製造残渣、おがくずなどの産業廃棄物からも製造が可能である。今回の研究の背景として木材の有効活用の観点が含まれていることから、本稿では CNF の製造方法は問わず、木材を原料とする自然由来の CNF を研究の対象とする。(注 1)

1-2 CNF の特性

ここでは、CNF の特性を述べる。[表 1] の通り、CNF は、様々な特性を有しており、多種多様な業界での活躍が期待できる。CNF はこのように様々な特徴を有しているため多種多様な業界での活用が期待されており、[表 2]において現状の製品化についてまとめた。加えて CNF は植物由来であるため、燃焼する際に発生する二酸化炭素は原料となる植物が取り込んだのと同じものとして考えることができる。このような特徴をカーボンニュートラルと言い、環境負荷の少ない素材として CNF に対する期待は高まっている。(注 2)

[表 1] CNF の特性と用途

特性	用途
軽くて、強い	自動車部品、家電部品、住宅建材など
比表面積が大きく、空孔率が高い	フィルター、おむつ、消臭シートなど
熱による寸法変化が小さい	半導体封止材、フレキシブルプリント基盤など
ガスバリア性が高い	食品包装材など
水中で粘性を示す	化粧品用、医療品用、食品増粘剤など
透明である	透明シート、ディスプレイなど

〔表 2〕 CNF を活用した商品

企業名	製品	商品名	発売日
日本製紙クラシア株式会社	おむつ	『肌ケア アクティ』	2015年10月
三菱鉛筆株式会社	ボールペン	『ユニボール シグノ UMN-307』	2016年5月
オンキヨー&パイオニア株式会社	スピーカー、ヘッドホン	スピーカー『SC-3 (B)』 ヘッドホン『SE-MONITOR 5』	2016年10月
大王製紙株式会社	トイレ用品	『キレキラ！トイレクリーナー 1枚で徹底おそうじシート』	2017年4月
株式会社コーヨー化成	美容品	『barairo』	2018年1月
株式会社アシックス	ランニングシューズ	『ゲルカヤノ 2 5』	2018年6月

参考：ナノセルロースフォーラム HP

1-3 世界の動向

日本国内だけでなく、海外諸国でも CNF の開発が行われている。アメリカ、カナダの北米やフィンランド、スウェーデンの北欧において言及する。

まずアメリカ、カナダの北米について述べる。アメリカは CNF を雇用の促進の対策として開発を促進しているため、農務省などの政府機関が中心となって推進している。カナダは豊富な森林資源を有していることから、CNF の開発に取り組んでいる。そしてバリューチェーンを創出することで CNF 産業のグローバルリーダーになるという目標を掲げている。

フィンランドでは、労働経済産業省の組織である技術庁が CNF の研究開発、実用化に向けて金銭面から支援を行っている。また技術研究所、大学、製紙会社がナノセルロース技術センターを設立し、産学官連携が進んでいる。さらに、CNF 製造プラントを建設している製紙会社もあり製品化を見据えている。

スウェーデンでは CNF の商業化研究を行っており、製紙関連研究企業と CNF の基礎研究を行っている大学が連携して中核となる拠点を担っている。すでにパイロットプラントを建設しており、サンプル提供、実用化支援を開始している。

ノルウェーでは民間研究企業が中心となり、CNF の基礎研究や実用化研究、パイロットプラントの建設の検討がなされている。そしてこの民間研究企業は、大学や公的研究機関と密接に連携している。イノベーションの基礎となる持続可能なソリューションを開発し、資源の持続可能な利用といった社会問題に対応することを目的とし、CNF の育成に取り組ん

でいる。政府は資金援助を行っているが、官民連携はそこまで行われていないと言える。

このように CNF の研究開発は世界で行われており、これらの国の特徴は、森林資源を有していること、製紙産業、林業が盛んなことが挙げられる。日本と同様、世界各国でも CNF による経済効果に期待していると考えられる。

1-4 日本の動向

日本では 2012 年 5 月に農林水産省、環境省、経済産業省が設置するバイオマス事業化戦略検討チームにより「バイオマス利用技術ロードマップ」が策定され、その中でバイオマテリアル技術の原料として CNF が言及された。その後 2014 年 6 月に改訂された「日本再興戦略」では、CNF 等によるマテリアル利用の促進に向けた取り組みを推進すると明記された。同年には国レベルで産学官が参画するナノセルロースフォーラムが設立された。省庁間での情報共有を図るため農林水産省、経済産業省、環境省、文部科学省がナノセルロース推進関係省庁連絡会議を設置した。さらに中央省庁だけでなく、地方においても研究開発が盛んに行われている。静岡県のみならず CNF フォーラムを筆頭に各地の特色を生かし、CNF の研究開発に取り組んでいる。民間企業では大王製紙株式会社、日本製紙株式会社、王子ホールディングス株式会社などの製紙会社が積極的に CNF の研究開発、サンプル提供を行っている。このように日本国内では産学官の連携がなされオールジャパンでの研究開発が行われている。

2 CNF による環境経済的な波及効果

2-1 環境面による波及効果

私たちは、CNF 事業が拡大した場合、2 つの環境的な波及効果が発生すると仮定した。

2-1-1 循環型社会の実現

一つ目が、環境負荷の少ない循環型社会の実現である。CNF はカーボンニュートラルな素材であるため、大気中の二酸化炭素を増加させることがない。そして植物由来であるため、将来的な枯渇が危惧されている石油資源の節約にも貢献する。環境にやさしい素材である CNF を活用した製品が普及し、これらの製品が利用された後、リサイクルされることによって、循環型社会が成り立つと展望できる。

2-1-2 軽量化による燃費効率の向上

二つ目が、自動車、家電製品、発電機等の軽量化に伴う燃費効率の向上による二酸化炭素の排出量の削減である。CNF の丈夫で軽いという特徴を活かし、自動車部材、発電機、家電製品等の軽量化により燃費・効率が改善し、CO₂削減につながり、地球温暖化対策への貢献が期待できる。特に、自動車部材への活用は、大きく期待されており、環境省は2016年、「地球温暖化対策計画」において、自動車軽量化対策の一環として CNF の社会実装を進めることを明記した。さらに同年、環境省は京都大学、株式会社デンソー、トヨタテクノクラフト株式会社などの民間企業を含む約20の研究機関・企業を参画する「NCV（ナノセルロースビークルプロジェクト）」を始動した。2018年6月には一部をCNFで代替して作られたトヨタのスポーツカー「トヨタ86」が公開された。2019年にはコンセプトカーが作られる予定で、今後さらなる開発が期待される。CNFを配合することで、車体の軽量化につながり、燃費改善に貢献する。

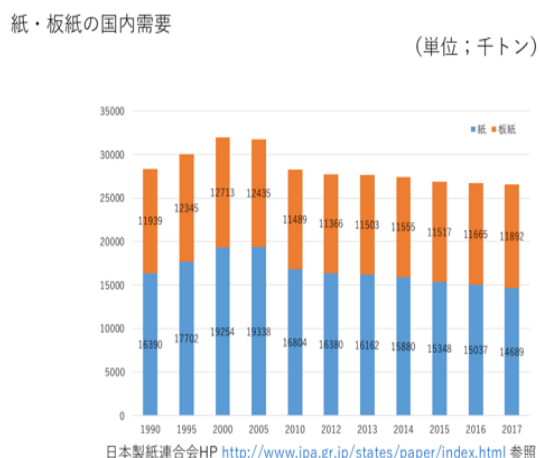
2-2 経済面による波及効果

私たちは、CNF事業が拡大した場合、3つの経済的な波及効果が発生すると仮定した。

2-2-1 製紙業界の活性化

一つ目が、製紙業界の活性化である。[グラフ1]から、紙の需要は年々低下していることが読み取れる。原因はパソコンやスマートフォン等の電子媒体の普及による紙媒体から電子媒体へのシフトである。このように紙需要は減少しているため、製紙業界は事業の転換期を迎えている。そこで製紙業界が注目している素材がCNFである。紙はCNF同様、木を原料にしているため、製紙会社は木を加工するノウハウを持っている。さらに製紙各社は国内外に社有林を所有しており、木材を十分に確保できる。CNFを活用した製品の普及は、製紙業界の新たな事業の柱の確立につながるため、製紙会社はCNFの研究開発に力を入れている。[表3]の通り、すでに、国内の大手製紙会社は、CNFの供給を行う生産プラントの建設、稼働を始めており、企業へのサンプル提供のほか、CNFを活用した製品の実用化も果たしている。

[グラフ1] 紙・板紙の国内需要の推移



[表3] 製紙会社のプラント建設状況

企業名	プラント	
日本製紙	岩国工場 石巻工場 富士工場 江津事業所	CNF実証生産設備 CNF量産設備（年500t） CNF強化樹脂の生産設備 食品や化粧品などの添加物用途
大王製紙	三島工場	CNF水分散液プラント CNF成形体プラント CNF乾燥体プラント
王子ホールディングス	富岡工場 東雲研究センター	実証生産設備 CNFの透明シート製造
中越パルプ工業	川内工場	CNF量産設備（年100t）

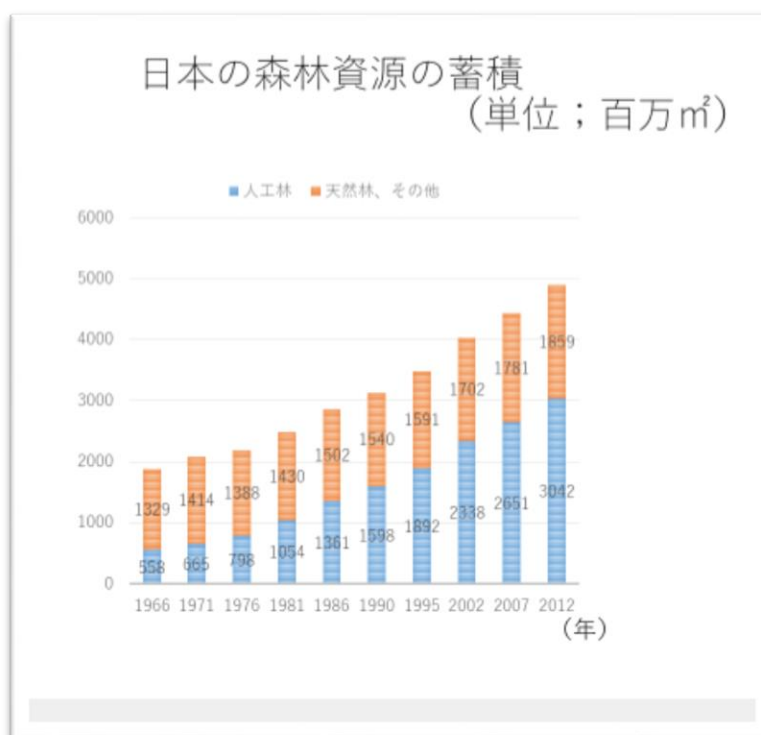
参照：日本製紙連合会 HP

2-3-2 森林資源の有効活用

2つ目は、木材の有効活用の促進である。戦中や戦後の日本では、軍需やその後の復興需要、経済発展のため、パルプ用原料や建築建材などの木材需要が急増した。そこで、政府は、天然林を伐採し、そこに成長の早いスギやヒノキ、カラマツなどの人工林を植えることで急速な造林を図るという目的のもと、拡大造林政策を打ち出した。しかし、木材輸入の自由化や変動相場制への移行の影響により、安価な外国材が大量に輸入されるようになり、日本の林業は衰退した。拡大造林政策によって生み出された多くの人工林は、現在、収穫期を迎えているが、林業の衰退に伴い、人員が不足しているため、放置されたままである。適切な管

理がされていない人工林の地表には日光が届かず、根が張らないため土がやせていく。そして台風などの災害が発生した場合、根が水を吸いきれないため、土砂災害が発生しやすくなる。安全面の観点から見て、収穫期を迎えた森林を伐採し、そこに、新たに植林し、保育し、間伐し、伐採するという循環を構築する必要がある。この循環を円滑に進めるためには、森林資源の需要が必要である。こうした中、森林資源に新たな付加価値をもたらす CNF は、森林資源の需要を喚起する素材として認識されている。[グラフ 2]の通り、日本の人工林の面積が年々増加していることを受け、CNF の生産量は、毎年 1500 万トン増加している。これは、日本で消費されている石油由来のプラスチックの 1.5 倍に匹敵する量であり、日本が資源大国となるうる可能性を秘めているといえる。災害を防止するという安全面の観点から見ても、日本の森林資源を有効活用するという観点から見ても、CNF を活用した事業の発展が期待される。

[グラフ 2] 日本の森林資源の蓄積の推移



2-2-3 地方創生の促進

三つ目は地方創生の促進である。今後の日本は人口減少、少子高齢化等に伴い、主に地方における労働力の減少、都市の消滅などが危惧されている。CNF はこのように深刻化した

社会問題を解決するための素材となる可能性がある。CNF の原料となる森林資源は全国各地に存在しているため、CNF 事業の普及は、地方経済の活性化につながると想定できる。CNF の研究開発がなされ、普及が進むにつれ、地方に存在する森林資源の需要が高まり、地方経済の活性化につながる。このような点を考慮すると、CNF は地方発の新事業である。実際に製紙各社は地方に拠点を置いており、CNF の製造プラントの多くも地方に所在している。

こうした背景から、地方自治体は各地の有力企業と連携を行い CNF の実用化を促進する体制を整備している。その最たる事例が、静岡県と鹿児島県薩摩川内市である。

静岡県は、2015 年、「ふじのくに CNF フォーラム」を設立し、CNF の実用化を推進する体制を整えた。静岡県が CNF 事業の普及に力を入れている背景には、静岡県の産業的、地理的な特徴がある。静岡県は、自動車産業や富士地区の製紙産業、中部地区の食品業、東部の医療産業、西部の光産業など様々なジャンルの産業が盛んである。こうした産業に CNF を取り入れることで付加価値が発生し、経済的な波及効果が発生する。その中でも特に期待していることは、製紙業界の活性化である。紙を製造する上で、豊富な森林資源と水資源が必要となる。静岡県はそのどちらも豊富に有しているため、製紙業界が主要産業として、発展している。しかし、上述したように、製紙業界は、構造転換に迫られている。このような状況を受け、静岡県は、CNF 事業の普及に期待している。CNF 事業の普及は、関連知識を豊富に持つ製紙業界の活性化をもたらし、静岡県の経済がさらに発展することが想定される。静岡県では主な取り組みとして、CNF 事業に向けた研究開発を行っている企業、大学、研究所、約 162 団体への支援などを積極的に行っている。この支援の一環として、静岡県は補助金を交付するだけでなく、展示会やイベントを開催することで情報交換の場を提供している。さらに企業、大学の研究開発をサポートするために、情報の共有を徹底している。そして CNF 事業に取り組んでいない企業にも情報を提供することで、将来的に事業として自立できるような支援を行っている。このような支援の体制は CNF 事業を普及させていくためのオールジャパンでの研究開発に多いに貢献すると推測できる。

鹿児島県の薩摩川内市は 2015 年に市内の竹を有効活用するために「竹バイオマス産業都市協議会」を設立し、竹由来の CNF の活用を推進する体制を整えた。薩摩川内市を含む鹿児島県の薩摩半島の北部地域は、元々タケノコ生産が盛んな地域であり、効率的なタケノコ生産を行うために 5 年目以降の竹を伐採していた。伐採された竹は、かつては山に放置されていたが、行政の要望を受け中越パルプ工業株式会社が竹を使った「竹紙」を開発し、これを契機に、述べ 2000 人のタケノコ生産から竹の処理に関わる地域システムを確立させた。このシステムを活かし、竹から製紙の途中段階で製造されるパルプを微細化した CNF

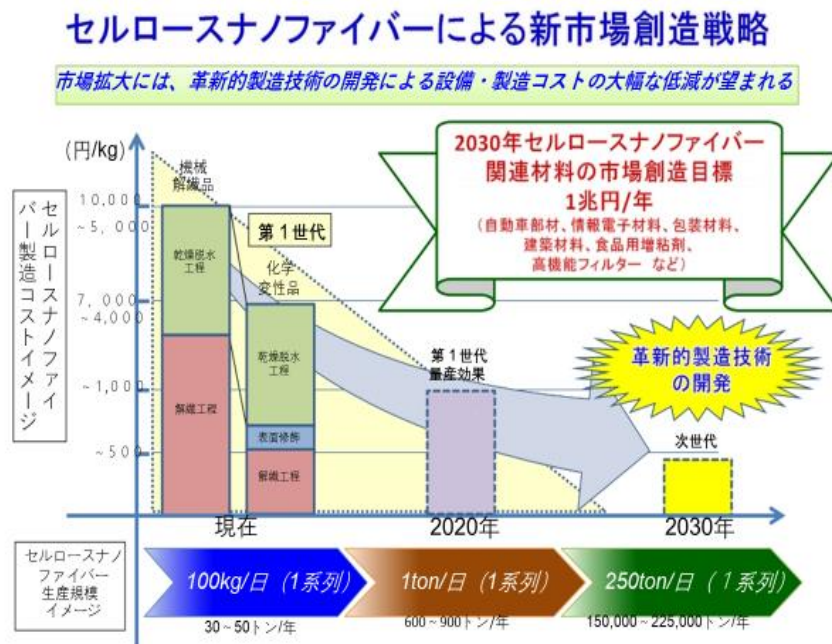
にも事業展開をした。薩摩川内市は「竹バイオマス産業都市構想」の中で、タケノコを生み出す地域資源でありながら、放置竹林等の地域課題になっている竹に着目することで、産業振興や雇用創出といった地域経済を刺激する取り組みを進めている。薩摩川内市は、川上（原料供給）から川下（商品化）までが一貫となったシステムを確立させることで、地域産業の競争力強化による産業振興や雇用創出などの波及効果を生み出すことを目指している。

3 CNF 事業の拡大に向けた現状の課題

3-1 製造コストの高さ

CNFを普及させていくために解決しなくてはならない課題がある。それが製造コストの高さである。現状では1キログラムあたり5000～10000円と素材として非常に高価であり、鋼鉄、アルミニウム合金、プラスチック等の他の素材と比較すると割高である。しかし2014年に、経済産業省の委託により株式会社三菱化学テクノリサーチが実施した「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」の中では、CNF新市場戦略について明記されており、[図1]の通りCNFの1kgあたりの製造コストは、2020年に1000円まで、2030年に500円まで減少させることが達成すべき目標として設定された。この目標を達成するためには、CNFの生産プラントの建設をより積極的に行うなど供給体制を整備する必要がある。CNFの量産化をすることが実現できれば、その製造コストを抑えることは可能である。

[図1] セルロースナノファイバーの市場戦略



3-2 キラーアプリケーションの開発による用途拡大

上述したように、CNF の課題は、製造コストが高いことである。そして、この課題を解決するための条件として、供給体制の構築を挙げた。しかし、供給体制を整えたことにより増加する供給量に見合う需要も必要となる。日本において、製紙業界が中心となり、CNF を活用した製品の実用化には成功しているが、その事例は、数件であり、用途も限定されている。今後、CNF の需要を増加させ、より多くの CNF を活用した製品の実用化を図るために必要となることは、キラーアプリケーションの発見による用途拡大である。つまり、CNF でしか達成することのできない用途を見つけ出すことによって、他の素材との競合を回避し、需要の増大を目指すということである。

4 先行する他の環境負荷低減素材の普及と普及条件

4-1 バイオプラスチックの場合

バイオプラスチックは、トウモロコシやサトウキビなどのデンプンや糖を多く含んでい

る穀物から主に生産されるプラスチックである。バイオプラスチックは植物由来であるため、カーボンニュートラルな特性を有しており、二酸化炭素の排出量の削減という観点において優れている。さらに従来のプラスチックの代替としての用途が期待され、枯渇性資源である石油に依存しない素材として注目されている。しかし日本においては、バイオプラスチックの普及は進んでいない。

政府は 2016 年の「地球温暖化対策計画」の中で、2030 年度にバイオプラスチックの国内出荷量を 197 万トンとする目標を定めた。そして、その途中過程である 2017 年における出荷量を 20 万トンと算出していた。しかし実際の 2017 年の出荷量はわずか 4 万トンであった。この原因としては、推測できることは以下の二点である。一つ目が原料の確保が困難であるということである。国土が狭い日本では、バイオプラスチック用となる穀物生産により、食料との競合が発生するため、資源の有効活用にはつながらず、さらに食料価格の高騰を引き起こす恐れがある。二つ目が将来的に処分に関する問題が生じる恐れがあるということである。バイオプラスチックは、従来のプラスチックと同様の方法で処分することができないため、バイオプラスチック専用の堆肥化施設が必要となるため、事業者にとっては大きな負担となる。

4-2 バイオエタノールの場合

バイオエタノールはサトウキビやトウモロコシ、米などのバイオマスを発酵・蒸留させて製造するエタノールである。バイオエタノールの普及は、環境負荷の小さいカーボンニュートラルな燃料として二酸化炭素の排出量の削減に貢献するとともに、ガソリンの代替として使用されるため石油の節約にもつながる。

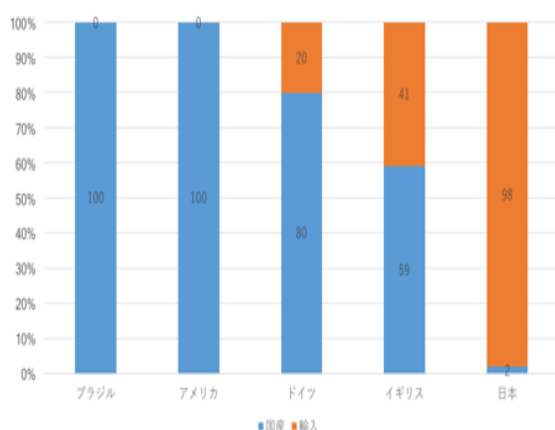
ブラジルでは 1975 年の「国家アルコール計画」を契機に、国家プロジェクトとしてバイオエタノールの普及に力を入れており、ガソリンに 20%~25%、エタノールを混合させることが義務付けている。ブラジルでは、広大な土地を生かしたサトウキビの生産が盛んに行われており、バイオエタノールの原料となるサトウキビを作ることで、雇用の創出、有効な土地利用を行っている。一方、日本においては、バイオエタノールは普及しているとは言えず、2012 年のその生産量は世界シェアのわずか 0.03%にとどまっている。その原因として、バイオエタノールの原料の国内調達が困難であることが考えられる。

日本は、ブラジルのような広大な土地を有していないため、バイオエタノール用の原料を生産することで、食料価格の高騰を引き起こす恐れがある。さらに[グラフ 4]の通り、日本のバイオエタノールの自給率は 2%であり、多くを輸入に頼っている。そのため、輸入バ

バイオエタノールの普及によっても、雇用の創出、地産地消などの経済的な効果の発生は期待できない。

〔グラフ 4〕 世界のバイオエタノール自給率

世界のバイオエタノール自給率（2016年）



参考：平成28年度石油産業体制等調査研究 株式会社三菱総合研究所
<http://www.meti.go.jp/medi/lib/report/H28FY/000069.pdf>

また、**日本における**バイオエタノール事業に対する政策も不十分である。2007 年から、農林水産省が主体となり、エネルギー供給源の多様化や農村の活性化を目指してバイオエタノール事業を行っている北海道バイオエタノール株式会社、北海道オエノンホールディングス株式会社、新潟県全国農業協同組合連合の 3 つの団体に、合計約 200 億円もの補助金を出していた。しかし、2015 年、農林水産省は、自立化・事業化の軌道に乗せるのは困難であり、今後も改善が見込めないと判断し、この補助金を打ち切った。

4-3 バイオガスの場合

バイオガスは牛や豚などの糞尿、下水汚泥、産業廃棄物などをメタン発酵することによって発生するガスである。バイオガスを生産する際に発生する二酸化炭素は、家畜の飼料に吸収されるため、バイオガスはカーボンニュートラルな特性を有している。さらに生成されたガスの燃焼で発電が可能であるため、天然ガスの節約につながる。

バイオガスの生産が盛んな国は環境先進国として知られるドイツである。その背景には

政府の援助があり、1991 年の電力供給法や 2000 年の再生可能エネルギー法の導入は、ドイツにおけるバイオガスの普及に大きな影響を与えた。これらの政策により、バイオガスによって発電された電力の買取が電力会社に義務付けられたため、農家を中心にバイオガスプラントの建設が盛んに行われた。かつては、家畜糞尿を主な原料として、バイオガスを発生させていたが、2004 年再生可能エネルギー法の改正により、買取価格が引き上げられたため、トウモロコシなどの穀物や廃棄物を原料とするバイオガス事業が一般的になった。

日本においても、バイオガスプラントの建設数は増加傾向にあり、普及の兆しが見えている。その要因の一つは、2012 年の固定価格買取制度（FIT 制度）の導入である。この制度の中でバイオガスによる発電を含めた再生可能エネルギー由来の電気の買い取りを電力会社に義務付けたことにより、バイオガス事業の採算性に見通しがついた。現在の日本におけるバイオガス事業は、家畜糞尿の確保を比較的容易に行える北海道が中心である。しかしバイオガスは、下水汚泥や産業廃棄物も原料とすることができるため、全国各地での普及が期待できる。

4－4 新素材の普及の条件

他の環境負荷低減素材の普及と問題点を検討した結果、新素材の普及の条件は、以下の四つである。一つ目が、負の価値であるバズを原料とすることである（注3）。現状の日本では、普及しているとは言えないバイオプラスチックとバイオエタノールは、正の価値として食用、飼料用としての需要があるトウモロコシ、サトウキビ、米、小麦などの穀物を原料としている。そのためバイオプラスチックやバイオエタノールの普及は、二酸化炭素の排出量の削減、天然資源の節約につながる一方、食料価格の高騰の原因として、将来的に負の価値をもたらす素材となる恐れがある。しかし、普及が進みつつあるバイオガスは家畜糞尿、下水汚泥、産業廃棄物など、処理についての問題を抱え、負の価値となっているものを原料としている。そして、二酸化炭素の排出量の削減に貢献し、枯渇が危惧されている天然ガスの代替として利用される正の価値をもたらす素材としての普及が期待できる。

二つ目が、正の価値であるグッズを生み出すことである（注4）。処分の問題など、将来的に悪影響を及ぼす恐れのあるバイオプラスチックは、日本のみならず、世界的に見ても普及しているとは言えない。一方、将来的な環境問題の発生が予見されていないバイオエタノールやバイオガスは、ブラジル、ドイツで非常に普及しており、素材としては普及する可能性があると言える。

三つ目が、地産型の事業であるということである。ブラジルのバイオエタノール事業は、

ブラジルの国土が広く、原料が確保しやすいという地理的な特徴を活かし原料の確保から製造までを自国で完結する地産型の事業として成長した。ドイツのバイオガス事業もドイツの酪農が盛んであり、原料となる家畜糞尿の確保がしやすい、という特徴を活かして、地産型の事業として発達した。

四つ目が、政府による普及政策が整備されているということである。ブラジルにおいてバイオエタノール事業が普及した背景には、政府によるバイオエタノール導入の義務化がある。同じくドイツにおいてバイオガス事業が普及した背景には、政府による FIT 制度の導入や再生可能エネルギー法の制定にある。

5 CNF 普及の政策提案

5-1 CNF と環境負荷低減素材の普及条件

私たちは4で環境負荷低減素材の普及条件を導き出した。第1に負の価値を持つバズを原料とすること。第2に正の価値を持つグッズを作り出すこと。第3に地産型の事業であること。第4に政府による普及支援が整備されていること。以上の普及条件4点の成功要因がCNFに対応しているのかを検討し、普及政策の提案を行う。まずは第1の普及条件と第2の普及条件について言及する。CNFは循環型社会に実現、二酸化炭素の排出量の削減などの環境的な効果に加え、製紙業界の活性化、林業の活性化、地方創生などの経済的な効果をもたらす正の価値を持つ素材である。また木材パルプを主な原料としており、食料と競合する恐れはない。しかしCNFを今後、より普及させていくためには、放置森林、林地残材、加工時に発生する端材などの負の価値を持つバズを原料として活用することも必要である。木材廃棄物を利用することでゴミ処理問題、放置森林による自然環境の悪化などの環境問題を解決するとともに、付加価値を生み出すCNF製造、商品化、販売の促進により経済的な波及効果を望むことができる。

次に第3の普及条件について言及する。現状、CNFの原料の多くは輸入パルプを利用している。輸入パルプは国産パルプより安価であるため、CNF事業において利用されることが多いが、CNFにおける地産地消型ビジネスを展開するためには、国産パルプを積極的に活用する必要がある。この観点から国産材の有効活用を進めるための制度を提案する。これは第4の普及条件にも関連する。他の環境負荷低減素材の普及の成功要因の一つであるブラジルのバイオエタノール政策とドイツのバイオガス政策を参考に、私たちはCNF内外差額払い制度と木材廃棄物運搬費負担制度の導入を提案する。

5-2 CNF 内外差額払い制度の提案

上述したように現在の日本国内における CNF 事業の多くは、高価な国産材ではなく、安価な輸入材を原料として使用しているため、地産型の事業であるとは言えない。そこで私たちは CNF 事業における国産材の利用を促進するために CNF 内外差額払い制度の導入を提案する。CNF 内外差額払い制度とは、製紙会社や化学メーカーなどの CNF 事業者が国産材を使用する場合、輸入材との差額分を補助金が補填するという制度である。この制度を導入することで、国産材を活用した地産型の CNF 事業の展開の促進が期待できる。

5-3 木材廃棄物運搬費負担制度の提案

さらに CNF 事業がより普及していくためには木材廃棄物などのバツズをより有効活用する必要がある。そこで私たちは CNF 事業における木材廃棄物の利用を促進するために木材廃棄物運搬費負担制度の導入を提案する。木材廃棄物運搬費負担制度とは、林業従事者から CNF 事業者への木材廃棄物の運搬費を補助金が負担するという制度である。この制度を導入することで、バツズである木材廃棄物を原料とした CNF 事業の展開の促進が期待できる。また、これまではお金を支出して処理していた木材廃棄物の処分費、運搬費が節約できるため、林業従事者にとっても大きなメリットとなることが期待される。

5-4 補助金の財源として最適な提案

私たちは CNF 内外差額払い制度と木材廃棄物運搬費負担制度における補助金の財源として、森林環境税を充当することを提案する。森林環境税は地球温暖化の防止、間伐、造林などを目的とした森林整備のための事業費に必要な財源の確保を目的とした税である。しかし、その用途は明確化されていない。実際、長野県では所有者や境界が不明の森林が多いため整備することが困難であり、基金残高は 8 億円を超えている。森林環境税は現在、都道府県や市町村ごとに独自で導入されており、36 の県と 1 の政令指定都市において導入されている。しかし 2024 年度より国税となることが決定された。2018 年において個人住民税を納めている約 6200 万人を対象に、1 人あたり 1000 円の徴収をすることで年間約 620 億円の税収となることが想定されている。この税収を有効に活用するためにも、CNF 内外差額払い制度と木材廃棄物運搬費負担制度における補助金に森林環境税を充当するべきであると私たちは考える。

おわりに

21世紀になり、環境問題への関心が増し、今後も環境保全に対するニーズは強くなっていくと考えられる。そこでCNFのような環境に優しく、経済効果の発生も見込める素材が普及していくことで、持続可能な社会の実現が可能となる。植物由来のCNFは、環境配慮型の素材として環境問題の対策となるだけでなく、木材の有効活用、製紙業界の活性化、地方創生といった経済的な諸問題の解決策としても十分に期待されている。このような点において、CNFはバイオプラスチック、バイオエタノール、バイオガス等の従来環境に良いとされてきた素材と比較して優位性がある。そのため日本はCNF事業の普及に向けて、すでに産学官や関連省庁間の連携体制を構築している。さらに地方レベルにおいても取り組みが行われている。静岡県では主要産業である製紙産業の活性化を図るためにCNF事業の研究開発に力をいれている。また、鹿児島県の薩摩川内市では、竹由来のCNF事業の普及に力を入れており、本来、廃棄物となる竹から商品を作り出すことで、竹の有効活用を目指している。このように、CNFは環境的、経済的な波及効果が望める素材であるが、CNF事業を普及させていくにあたり越えなくてはならないハードルが存在する。グッズであるCNFをより普及させるためには、地産型事業を展開するための政策、バズを原料とするための政策を整備する必要がある。そこで、私たちは国産パルプと輸入パルプの差額分を補填するCNF差額払い制度と木材廃棄物の運搬費を補助する木材廃棄物運搬費負担制度の導入を提案する。そして、これらの政策における費用には使途が不明確な森林環境税を充当すべきである。

最後に、様々な形でこの研究にご協力頂いた全ての企業、団体の方々へ感謝の意を表し、この論文を結ぶ。

【注釈】

- (注1) CNFを製造する方法は、大別して二つの方法が提案されており、セルロースに剪断力を働かせながらセルラーゼを作用させることによってセルロース間の水素結合をほぐす物理的な方法とTEMPOを作用させてセルロース分子間の水酸基をカルボン酸に酸化し、カルボン酸間の静電反発により凝集を防止する化学的な方法がある。
- (注2) カーボンニュートラルとは、燃焼など伴って排出される二酸化炭素の量と元となる植物が吸収した二酸化炭素の量が同じ量となる状態のこと。環境負荷の小さい素材に見られる特徴である。

(注3) バッズとは、プラスの価格で引き取る人が誰もいず、そのまま自然環境中に廃棄されると外部不経済を引き起こすようなモノのこと。

(注4) グッズとは、市場でプラスの価格がつけられるモノのこと。

【参考文献・URL】

後藤淳一

(2015) 『CNFの可能性を探る』

下川知子 真柄謙吾 野尻昌信 久保智史 戸川英二 木口実 林徳子

(2017) 『国産材由来の CNF に求められるもの-市場調査報告-』

相馬隆宏

(2017) 『脱製紙へ CNF に賭ける』 日経エコロジー

吉田智

(2017) 『紙おむつ、化粧品から自動車まで 1 兆円市場にらむ量産化へ』 エコノミスト
大森ゼミナール第 9 期 (2008) 「バイオエタノール普及の環境経済的な可能性」

Dami Moon, Naomi Kitagawa, Masayuki Sagisaka, and Yutaka Genchi

(2014) "Economic Impact of Utilizing Woody Biomass to Manufacture High Value-Added Material Products: a study of Cellulose Nanofiber and Standard Chip-Dust Production in Maniwa, Japan"

日本政策投資銀行

「新素材として注目されるセルロースナ
ノファイバー」

(https://www.dbj.jp/pdf/investigate/mo_report/0000160329_file5.pdf)

産業技術総合研究所ナノセルロースフォーラム

(<https://unit.aist.go.jp/rpd-mc/ncf/index.html>)

経済産業省

「CNF の素材供給拠点及び市場可能性調査事業」

(http://www.meti.go.jp/meti_lib/report/H28FY/000534.pdf)

環境省

「第 5 章 CNF 最新動向調査」

(https://www.env.go.jp/earth/ondanka/cnf/mat27_2.pdf)

林野庁

「木材の需要拡大」

(http://www.rinya.maff.go.jp/j/kikaku/hakusyo/22hakusho/pdf/h22hakusyo_1-1.pdf)

日本製紙連合会

(<https://www.jpa.gr.jp>)

アクアス

「バイオガス発電とは」

(<http://www.aquas-biogas.jp/about/situation.html>)

有限会社エコハート

(<http://www.ecoheart.com/biogas/>)

国立科学研究所

「バイオエタノール」

(<http://tenbou.nies.go.jp/science/description/detail.php?id=6>)

日本バイオマスプラスチック協会

(http://www.jbpaweb.net/bp/bp_faq.htm)

大王製紙株式会社

(<http://www.daio-paper.co.jp>)

日本製紙株式会社

(<https://www.nipponpapergroup.com>)

王子ホールディングス株式会社

(<https://www.ojiholdings.co.jp>)

中越パルプ工業株式会社

(<http://www.chuetsu-pulp.co.jp>)

薩摩川内市

「薩摩國竹 CNF」

(<http://www.kantei.go.jp/jp/singi/tiiki/tiikisaisei/dai45nintei/plan/a154.pdf>)

【協力企業・団体】

- ・大王製紙株式会社
- ・静岡県ふじのくに CNF フォーラム