

NCJ・環境省NCP事業ジョイントWEBセミナー <国際社会におけるCNF動向とカーボンニュートラルへの取組> (2021年10月5日開催)

Q&A回答集

多くのご質問をいただき有難うございました。いただいたご質問について講演者の皆様からの回答を掲載いたします。(※一般公開が難しい一部の質問については回答を控えさせていただいておりますのでご了承ください)

ご講演者様名	ご質問内容	講演者からのご回答
東京大学 磯貝 明 氏	セルロースフィラメントとセルロースナノファイバーの違いをききわすれていたかもしれませんが教えてください	定義から言いますと、セルロースナノファイバー：すべての繊維幅が100 nm以下に微細化された繊維。調製方法によって、完全に1本1本が孤立して分離しているCNFと、部分的な枝分かれ、絡み合いを有しているCNFがあります。 セルロースフィラメント：幅が100 nm以上（場合によっては数十ミクロンまで）の繊維を含むセルロース：水中機械解繊処理で調製されます。ナノメートル単位まで微細化しませんので解繊処理に要する電力は少なく済みます。一部はナノメートル幅にまで微細化しています。
磯貝氏	木材チップからセルロースにする時のエネルギーが気になると言われていましたが、どの程度のエネルギー、CO2など排出されるのでしょうか？ 森林はCO2を吸収して酸素を出してくれますが、どんどん使用していくと何年ぐらい日本の森林は、大丈夫なのでしょうか。(勿論、植林もしていく事を含めて)	現在、紙パルプ会社では、長い歴史の中で、木材チップからセルロースを取り出す優れた化学処理方法を構築しました。木材は炭素、水素、酸素を主成分とし、セルロースを約50%含有しています。クラフト法という化学パルプ化では、薬品を加えて加熱処理することで、約50%の収率で硬い木材からセルロース繊維を分離して製造し、紙製品や段ボールなど包装容器として利用してきました。残りの50%分は反応後の洗浄排液に含まれています。 その洗浄排液を濃縮、還元的に燃焼（含まれている木材成分由来の酸素成分で水素成分を燃焼させて水を生成することになります。外部から燃焼のための酸素を供給しないので炭素はCO2にならずに、炭酸イオンとなります：炭の製造法に類似しています）します。その温度は1000°C程度になりますから、その熱を利用して発電します。その燃焼残渣中にクラフト法で用いる薬品を回収して再利用します。すなわち、木材チップからセルロース繊維を取り出す化学パルプ化工程では、A) セルロースという素材と、B) 木材を化学処理して分離したリグニンを主成分とする排液を燃焼させることで、CO2を発生しないバイオマス由来の電力が得られ、C) 使用する薬品もリサイクル利用される、優れたプロセスです。正確なCO2発生量はわかりませんが、木材チップを海外から重油を燃焼させて船で運搬したり、国内の木材資源をチップにして運搬する際にCO2を発生しますが、得られる電力と原料がバイオマス由来ですから、石油由来の原料とエネルギーを用いる他の素材製造に比べればかなり少ないと思います。
磯貝氏	海外の貴重な情報を有り難うございました。SUNPAPは、専門家が沢山おられると思うのですが、何故中途半端なTEMPO酸化のCNF開発で終わったのか、その低い環境負荷が一人歩きしても困ると思うので、推測でも結構ですので、聞かせて下さい。	ご指摘の通りと思います。日本では、TEMPO-CNFは完全にナノ分散した透明分散液状態で解析や利用を検討しています。一方、おそらく、SUNPAPでは当時は、機械解繊のCNFと同程度の解繊度にした場合で、解繊エネルギーやコストを比較検討する目的だったのではないかと推察します。 このような視点で比較すれば、当然ながらTEMPOの方が解繊による消費エネルギーは少なくなります。一方、日本では、さらに解繊して幅約3 nmまでの透明分散液で、どのような特性・機能が発現するのか、どのような利用分野があるかを検討していますので、そもそもTEMPO-CNFの利用目的が異なっていた可能性があります。

<p>機員氏</p>	<p>海外と日本の動向が異なるとの事です、海外はセルロースナノファイバー（CNF）よりナノ化していないセルロースファイバー（CF）、パルプがコストが安く主流になるとの見方があります。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ CNFとCFはどちらかが主流になるのでしょうか。 ・ それとも用途ごとで住み分けになるのでしょうか。 ・ 特に樹脂向けの複合材料市場の動向について、知見があれば知りたいです。 	<p>ご指摘のように、構造、機能、特性が、CNFとCFでは異なりますので、用途ごとのすみわけになると思います。2000年代には日本を含めて世界レベルでCNFが、「軽くて高強度バイオ系ナノ素材」として注目されましたが、いまだに大きな用途開発には至っていません。ニーズ（要求）から発見された青色ダイオードやワクチンなどは、すぐに実用化が進みますが、CNFのようなシーズから（用途目的からではなく素材として偶然見いだされたたもの。例として炭素繊維、光触媒、カーボンナノチューブなど）見いだされた素材は、用途が見いだされて広まるまでに長期間を要する場合が多いのが現状です。CNFの樹脂複合化による軽量高強度材料の開発と、それによる金属や石油由来の樹脂の使用量の削減は、大気中のCO2の削減、循環型社会の構築、海洋マイクロプラスチック等の環境問題の削減に期待はされていますが、現状では、「既存製品よりも、安価で、軽量高強度のCNF複合化樹脂の製造方法の構築・一般化」までには至っておりません。しかし、上記のCNFの優位性は広く認識されており、世界レベルで、CNF強化樹脂の研究開発が進められていますので、時間はかかるかもしれませんが、少しずつ用途が見いだしられ、次第に量的な実用化が進むものと期待しています。繊維強化樹脂では、添加する繊維が強く、細いほど、少量添加で強化効果が発現することは理論的に明らかにされていますので、理想的な複合化（繊維成分が均一分散した複合化）が可能であれば、CFの数百分の1、数千分の1の添加量で、同等の強度が発現するはずで。課題は、親水性のCNFをどうすれば樹脂中に凝集せずに1本1本分散して複合化することができるか、という点で、この点が極めてハードルが高いのが現状です。</p>
<p>機員氏</p>	<p>ヨーロッパや北米の動向について、詳細な情報をありがとうございました。アジアや南米についての情報はございますか。</p>	<p>アジアや南米でもCNF関連の研究は主に大学や研究機関で進められています。しかし、先進国でCNFの研究開発を推し進めている企業である紙パルプ産業に比べ、アジアや南米の発展途上国では依然として紙の需要量が増加傾向にあるため、産業の方から積極的にCNFの研究開発を自社で推し進めている状況ではないのが現状です。しかし、発展途上国でも将来予想される紙・包装用紙の需要の低下に対して、CNFの情報は集めているようですが、先進国ほどリスクを冒してCNFの研究開発を進めているようには思えません。</p>
<p>機員氏</p>	<p>待ったなしの環境対応の中で、中短期で世に出す環境に優しい強化プラスチックの実現を考えた時に、高価なCNFではなく、ガラス繊維並みの強度を持ったガラス繊維に替わる安価なCFの実現が切実な願いです。</p> <p>CNFが安価になってくれればいいのですが、一方で熱硬化性樹脂を考えた時にはガラス繊維に替わる安価なCFは非常に魅力ある素材です。</p> <p>カナダではそれに近いものが実現できているようですし、日本が培ったCNFの技術から派生して、ガラス繊維に替わるCFの実現は可能なのでしょうか？"</p>	<p>CNFの価格は、原料価格、装置、減価償却、人件費等で決まるものだと思いますが、現状では生産量が少ないので、原料の製紙用パルプの価格が60円/乾燥kgと安価でも、CNFの価格は極めて効果になってしまいます。もしも、CNFの年間生産量（需要量）が、3000トン以上になれば、原料価格が60円ですから、1000円以下になると予想されます。</p> <p>価格が下がれば用途が広がるのに、価格が高いので用途が広がらない、というのはニワトリと卵の関係と類似しています。したがって、現状でCNFの価格を下げるためには、高価格でもビジネスになるような高機能用途を皆さんが検討してくださっている状況だと思います。その意味では、いつまでも決して価格が下がらない素材ではないところに、期待があります。工業製品のガラス繊維も長い研究開発を経て、信頼される安価な素材になっています。CFは、これまで製紙用パルプとしてはその素材条件を満たすように、パルプ化や抄紙、塗工技術が進歩してきました。しかし、汎用工業製品としての樹脂複合化のための素材として必要なスペックをCFが常に満たすのは現状では困難だと思います（それがかのうであれば、既に行われたはずなので）。やはり、新規バイオ系ナノ素材に、その機能（少量添加で軽量高強度樹脂複合体）を期待するところです。</p>
<p>豊田合成株式会社 内田 均 氏</p>	<p>スライド10ページ目、数ある部材から、ガーニッシュという車載部材を選択した理由（CNF20%混練を採用（テスト）した理由）は、何でしょうか？</p>	<p>比較となる従来材料が、フィラーを5〜30%程度配合されていることから20%にて実施したものです。</p> <p>部材の選定は、形状に基づき、ゲートから距離があり面状のため、成形収縮や外観状態が評価しやすいからです。</p>
<p>内田氏</p>	<p>車載部材として使用する場合にはCNFの吸湿性、湿潤〜乾燥環境での寸法安定性に注意が必要なのではないかと思うのですが、差支えの無い範囲で性能の現状について、ご教示いただけましたら幸いです。</p>	<p>湿度条件での寸法安定性の評価を実施していませんが、CNFの特性を考えると検証が必要と考えます。</p>
<p>内田氏</p>	<p>自動車部材の適用に向けて NCFを使用した新たな材料スペック（現状より物性が低下しても）の検討はあり得るのでしょうか？</p>	<p>自動車部材により、材料の要求性能が変わります。</p> <p>CNF材料の使用範囲が拡大すると、材料の特性管理が必要となる可能性があります。</p>

<p>京都大学 矢野 浩之 氏</p>	<p>CNFが切磋琢磨する競合素材はあるのでしょうか？あるとすれば、その素材に対するの優位性はどんなところでしょうか？</p>	<p>ガラス繊維、炭素繊維に対してはカーボンニュートラルであること、マテリアルリサイクルが容易であることです。検討すべき素材としては、コストで優れるパルプ(80-100円/kg)や木粉（こちらはグレードによって様々です）の補強性も重要です。</p>
<p>矢野氏</p>	<p>星光PMCの樹脂中でのCNF化の技術のお話がありました。 アルケニル無水コハク酸、N-メチルピロリドン以外を用いて同様のCNF化は不可能なのでしょうか。 また星光PMCの手法でCNF化している樹脂種は何になるのでしょうか。可能であれば教えてくださいと幸いです。</p>	<p>本技術は、パルプの状態、それを構成する数百万本のCNFの表面を樹脂あるいは相溶化剤と相溶する構造に修飾して置くことがポイントです。それであればNMPの薬剤は使わず、乾燥した変性パルプを押出機の溶融混練時にナノ解繊できます。ASAにこだわるものではありません。</p>
<p>矢野氏</p>	<p>CNFを用いた強化プラスチックは、ガラス繊維強化プラスチックに比べて、サーマルリサイクルが容易（プラスチックは石油に匹敵する熱量を有する故、火力発電材料としても有利）なわけですが、この頃の炭酸ガス排出が環境破壊として忌み嫌われる状況において、サーマルリサイクルを念頭に置いたCNF強化プラスチックの選択と言う考え方はマイノリティ化しているのでしょうか？ マテリアルリサイクルが熱可塑性CNF強化プラスチックでは複数回のリユースが可能であるとされていますが、最終形態としてサーマルリサイクルは避けて通ることが出来ない課題であると考えますし、この部分は大きくクローズアップされても良いかと思う次第です。</p>	<p>CNF強化材料のGFや炭素繊維、パルプに対するアドバンテージは、ナノエレメントであることによるマテリアルリサイクル性です。最終的に容易にサーマルリサイクルできることも特徴です。サーマルリサイクル過程で排出される二酸化炭素は、植物が光合成で固定したカーボンニュートラルなCO2になります。</p>
<p>矢野氏</p>	<p>昨年のSNFの生産量、販売額、今年、に三年後の見通しを教えてください。もちろんCNFの規格が決まっていないと思いますので条件を付けていただいても結構です。</p>	<p>私は把握できていません。経産省から出ているロードマップをご覧ください。昨年度、改訂版が出ました。</p>
<p>矢野氏</p>	<p>政府などの支援がなくてもCNFがビジネスとして確立されるのは何年後ぐらいと思われるますか。またその実現にはどんな条件が必要ですか。</p>	<p>すでに親水性CNFについては実用化が進んでいます。構造用途については経産省や環境省の社会実装に向けた補助事業の成果が表れる2025年頃ではないでしょうか。</p>
<p>矢野氏</p>	<p>自動車部品への適用のコストの目安</p>	<p>あくまでも個人的な思いですが、製造の立場からは、年間10万トン程度のCNF強化樹脂の生産量になれば、CNF強化PA6で800-1000円/kg、CNF強化PPで500円-1000円/kg位ではないでしょうか。これに対して自動車部材メーカーは、この半額〜7割を期待しているのではないのでしょうか。</p>
<p>矢野氏</p>	<p>衣類用繊維（ポリエステルやナイロンなど）への活用は考えられるでしょうか？</p>	<p>ポリエステルはCNFの耐熱性（溶融温度：230°C程度の樹脂まで）の関係で難しと思います。一方、ナイロンはPA6にCNFを2、3%程度混ぜて新たな機能を発現させる、ということはあると思います。CNF量が増えると紡糸が難しくなります。</p>
<p>矢野氏</p>	<p>待ったなしの環境対応の中で、中短期で世に出す環境に優しい強化プラスチックの実現を考えた時に、高価なCNFではなく、ガラス繊維並みの強度を持ったガラス繊維に替わる安価なCFの実現が切実な願いです。 CNFが安価になってくれればいいのですが、一方で熱硬化性樹脂を考えた時にはガラス繊維に替わる安価なCFは非常に魅力ある素材です。 カナダではそれに近いものが実現できているようですし、日本が培ったCNFの技術から派生して、ガラス繊維に替わるCFの実現は可能なのでしょうか？</p>	<p>熱硬化性樹脂との複合化において、CNF,MFC,パルプ、植物繊維（ラミー、ケナフ等）によるガラス繊維の代替は、用途によっては可能だと思います。剛性、強度、耐衝撃性、吸湿性などが比較検討すべき項目かと思います。</p>

<p>一般社団法人 サステナブル経営推進機構 鶴田 祥一郎 氏</p>	<p>環境問題は、新興国の人口増加と言われましたが、先進国が良かれと思ってやって来た生活様式に問題があったのではないのでしょうか。</p>	<p>環境問題すべてではないかと思いますが、先進国が特に多いかと思いますが、便利な世の中にするために環境問題を犠牲にしていたことは関係があると思います。特に大量生産大量消費の経済が与えた環境問題は計り知れないものになっていたと言わざるを得ないと思います。</p> <p>地球温暖化問題に関するCO2排出量では、先進国等の国籍には関係なく、世界各地の富裕層の生活様式によるもので、世界上位10%の富裕層が全体のCO2排出量の50%を占めて、下位50%の貧困層35億人の排出量はわずか10%にすぎないという研究結果があります。</p>
<p>鶴田氏</p>	<p>スライド13の2100年に4°C上昇時の東京の被害例の信頼性は、出展はNHKのようですが、どの程度でしょうか？その関連の論文がいくつも引用されていると少しは信頼できると思うのですが。</p>	<p>NHKの出典につきましては、詳細な文献まで把握できておりませんが、環境省や国土交通省がまとめたデータをもとに記載されています。また、国土交通省の国土交通白書では100年後の治水安全度の試算をすると、関東地域では降水量が1.1倍になると予想された報告があります。この降水量をもとにしては氾濫や浸水がおこった場合、例えば荒川の堤防が決壊すると都心部まで影響があると予測されています。</p> <p>一方で近年は氾濫危険水位を超過河川の発生状況を鑑み、国土交通省を中心として気候変動に対応した適応策などを検討しているため、必ずしも予測のような被害にはならない可能性もあるかと思えます。</p>
<p>鶴田氏</p>	<p>CN社会に向けた2030年の削減目標、特に2050年のゼロに向けた目標にむけて、CNFも必ずや一端を担えると思いついて取り組んでおりますが、その原料の森林吸収の考え方は、どのように評価するのが良いのでしょうか？EUでは、かなりネガティブな考え方も聞こえてきますが。</p>	<p>森林のCO2固定によるネガティブエミッションにつきましては、Royal SocietyのGGRを始め期待されていることであります。また、それらのCO2固定したものを材料として建築物などに用いて長期固定化するものもネガティブエミッション技術として期待されています。もちろん、ネットでネガティブにするため、製造段階で係るCO2の削減は必要とはなりません。</p> <p>一方で、ご質問いただいております通り、バイオマス材料につきましては、特にエネルギー利用で懸念や課題もあります。特にEUにつきましては、土地利用変化に伴う地球温暖化について懸念しており、例えば泥炭地を開拓して植林した場合、森林の吸収より土地利用変化に伴う地球温暖化への影響が大きい可能性があるため、認めないということをいわれております。今年発表されたFit for 55というEU政策パッケージでは、バイオマス発電は2026年末までにはCCS等の回収技術をもたない、つまりBECCSとはならないバイオマス発電所への政策的支援をやめるという話もされているようです。</p> <p>結論としましては、どのようなバイオマスであるかという問題であり、木につきましては森林管理上、木は一定期間で伐採し、再度植林することで森を維持していくため、それらのきちんと管理された森林等の木を使いマテリアルとしてリサイクルなどで長期固定することはポジティブな考えとしていと認識されていると理解しています。</p>
<p>鶴田氏</p>	<p>LCAの観点からすると、例えばEV車は製造段階でのCO2排出量が多いとのことでしたが、そう言ってもバッテリーの材料が（すぐに）変えられるわけではないので、そのような全体バランスの中での個々の技術の開発は進んで行くのでしょうか</p>	<p>全体バランスの中でこの技術は進んでいき、かつ製造に係る電力等のグリーン化によって排出量の削減は大きくなると思われれますが、抜本的な変更も必要と考えます。埋蔵量の問題等で資源制約もあるため、EVのバッテリーにつきましては、リチウムイオン電池から、そもそも材料が違うような次世代バッテリーと言われるものによって電池部分のCO2排出量が減ることがあるかと思えます。また、EVだけという選択肢ではなく、燃料電池自動車や、近年は水素エンジンなどの新たな自動車がでてきており、水素の脱炭素化が進められていることもあって、大きなCO2排出量の削減に寄与する可能性もあるかと思っています。</p>
<p>鶴田氏</p>	<p>CNFやその他のバイオプラ製品を含む廃棄物を用いた廃棄物発電でバイオ由来の炭素を回収することはできるか？ そのようなネガティブエミッションに関する評価は定量的にされているか？ 以上について教えていただけますでしょうか。</p>	<p>回収は可能と考えます。バイオマス発電等にCCS技術を追加してCO2回収・貯留するBECCS（Bioenergy with Carbon Capture and Storage）もそのイメージに近いものであり、廃棄物発電におきましても同様の原理で可能と思われれます。</p> <p>BECCSにつきましては世界でいくつか実証がすでに行われており、それらの検証をもって、2、3年後には商用化に移行する予定となっております。国際エネルギー機関のIEAの報告書やイギリスのRoyal Societyの報告書においてもネガティブエミッション技術として、BECCSにも期待しております。論文などでもBECCSのLCA等に係るものが増えており、ネガティブになる報告がされております。</p>