

セルロースナノファイバー（CNF）の研究開発から実用化普及に至るまで

産業技術支援センター 北川 和男

要 旨

筆者は、平成元年（1989年）10月の京都市リサーチパーク（KRP）開設に伴い当時の京都市工業試験場がKRP東地区に移転したのをきっかけに、当時の有機材料研究室においてエポキシ樹脂を母材とした繊維強化樹脂複合材料（FRP）の繊維／樹脂界面を中心に研究開発¹⁾を開始した。その後、京都大学生存圏研究所矢野浩之教授とのセルロースナノファイバー（CNF）の特にCNF／樹脂複合材料の産学公連携研究開発へと繋がり、実用化・事業化されているパルプ直接混練法（京都プロセス）の開発等を経て、現在我が国においてCNFそのものの実用化普及が進み、産業化段階を迎えるに至っている。本稿では、それら一連の経過等を中心に列記紹介する。

1. CNFの研究開発を始めるきっかけ

今からすると、産業技術連携推進会議（産技連）物質工学部会高分子分科会において大阪市立工業研究所（現（地独）大阪産業技術研究所森ノ宮センター）の松川公洋氏と共に同分科会共同研究の担当幹事として、平成11-14年（1999-2002年）に「生分解性プラスチックの全国土壌分解性フィールドテスト」²⁾を企画実施したことがそもそもの始まりだったように思う。全国の公設試等57機関の参加のもと、当時益々増大する産業廃棄物削減の切り札の一つとして国内各化学メーカーを中心に製造供給され始めていた熱可塑性生分解性プラスチックの土壌分解性について、公設試のネットワークを活かし統一的に評価しようとする事業であった。厚さ20 μ mのフィルム試験片は6社から6種の提供を受け、厚さ3mmの射出成形ダンベル型試験片は樹脂ペレットを一部異なる6社から6種の提供を受け、富山県工業技術センター（現富山県産業技術研究開発センター）で必要本数を一元的に成形することで、フィルムは半年間、射出成形試験片は2年間に渡って事前に作成した手順書に従って分担評価した。実際の埋設箇所は91か所に及んだ。それらの外観、重量保持率の変化を中心とした結果は、当時大きな反響、成果をもたらし、関連協会からの要請、経費負担により米国サンジエゴ市で開催されたAmerican Chemical Society（ACS）の通常総会にて口頭発表³⁾も行った。本フィールドテストについては、近年の海洋性マイクロプラスチックに関連する生分解性プラスチックへの改めでの着目動向において有用な先行事例として最近取り上げられ紹介されている⁴⁾。

そして、これらの成果により産業技術総合研究所関西センターの当時の副所長からこの度経済産業省から新たに「地域新生コンソーシアム研究開発事業」が公募され

ることになったから、成果を基にした産学公連携新規研究開発事業を提案するようにとの半分指示に近い要請が来た。松川氏は電子材料が専門であり自身はなかなか難しいとのことで、結局筆者が図1に示す「バイオマス織

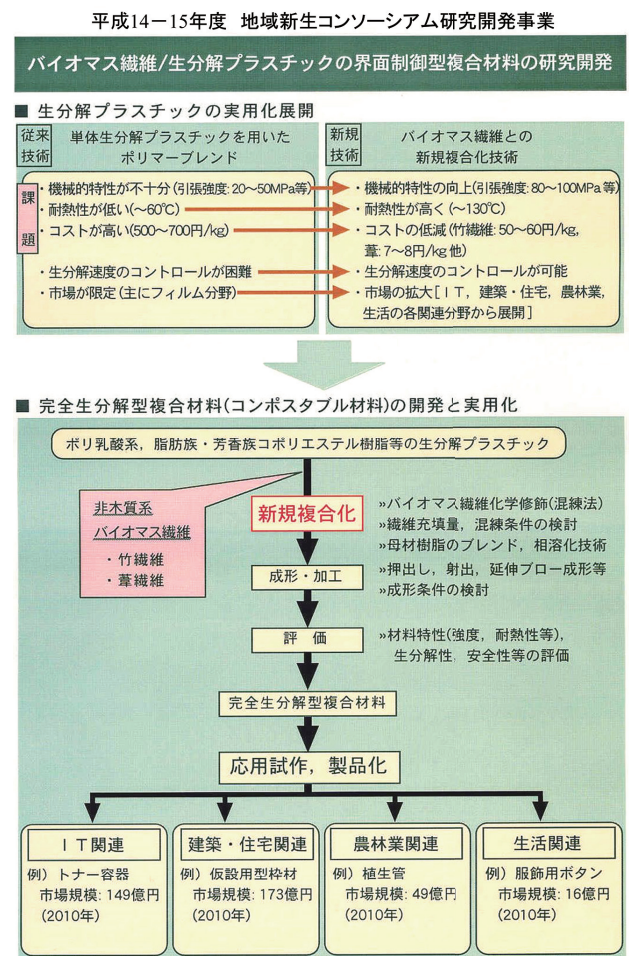


図1 バイオマス繊維／生分解プラスチックの界面制御型複合材料の開発

維／生分解プラスチックの界面制御型複合材料の開発」を立案、体制構築並びに2年間の新規研究開発実施内容、実施後の具体的な実用化見込等々をアレンジ、同副所長並びに近畿経済産業局への事前相談、申請書作成等々を経て申請・採択を受け、今からするとマイクロサイズの竹繊維強化複合材料の研究開発を実施した。その実施内容には、開発する新規バイオマス繊維強化生分解性樹脂複合材料の土壌生分解性テストも盛り込んだ。さらにこの時の知見は、現在我々が実施している（独法）環境再生保全機構（ERCA）「セルロースナノファイバー補強によるバイオマスプラスチック用途拡大の推進」事業における土壌生分解性評価においても活かされている。

丁度この頃、京都大学生存圏研究所の矢野浩之教授が木質パルプからナノサイズの繊維、セルロースナノファイバーを調製出来ることを発表し始められ、関連特許を平成13年（2001年）に大阪ガス（株）が主体運営していた頃の関西TLO（株）から出願されていた経緯から、同社が技術紹介面談会を開催された。同社のオフィスはたまたま当時工業試験場に近いKRP1号館にあり、その関係で声が掛かり参加したのが矢野先生とお出会った最初であった。矢野先生がまだ助教授の頃で、当時、工業試験場有機材料研究室で開催した成果発表会の特別講演依頼や京都大学宇治キャンパスでの生存圏シンポジウムへの参加の中で、矢野先生から「次年度（平成17年[2005年]）に経済産業省地域新生コンソーシアム研究開発事業にCNFの製造と新規高植物度複合材料研究開発で提案申請するのでご一緒しませんか」とお声掛け頂いた。そしてそれまでの経験から事前相談をしっかりとした上で申請書の作成、申請後のヒアリングへも対応し無事採択された。後からのお話だと、筆者らが同じ地域コンソ事業で既に竹繊維／生分解プラスチック研究開発を実施していたことをご存じ頂いていたようであった。この辺りのいきさつについては既に矢野先生ご自身がその詳細を記述されている⁵⁾。

以上、CNF関連研究開発を始めるきっかけとなった事業は以下の通りである。

- 平成11-14年（1999-2002年）産技連物質工学会高分子分科会共同研究「生分解性プラスチックの全国土壌分解性フィールドテスト」
 - 平成14-15年（2002-2003年）経済産業省 地域新生コンソーシアム研究開発事業「バイオマス繊維／生分解プラスチックの界面制御型複合材料の開発」
- 本事業は、当時の工業試験場として新たな競争的外部

資金研究開発事業への申請に道を拓き、採択され実施した。それまでは100%助成事業といえどもスケジュール的に京都市の予算システムに馴染まないとの事で、提案応募ができなかった。

2. CNF 関連研究開発の実施

- 平成17-18年（2005-2006年）経済産業省 地域新生コンソーシアム研究開発事業「バイオマスナノファイバーの製造と高植物度ナノコンポジットの開発」

前述したきっかけで、平成17年（2005年）に地域コンソ事業の採択を受け実施した研究開発の中で、筆者らは竹繊維のCNF化（図2）、粉末法による親水性CNFと疎水性熱可塑性樹脂との複合化、CNFの染色等次に繋がる成果を挙げた。特に、粉末法により何とか微分散できたCNF／樹脂複合シート（図3左側）の引張試験結果は図4の通りであるが、10 wt%CNF複合化により引張強

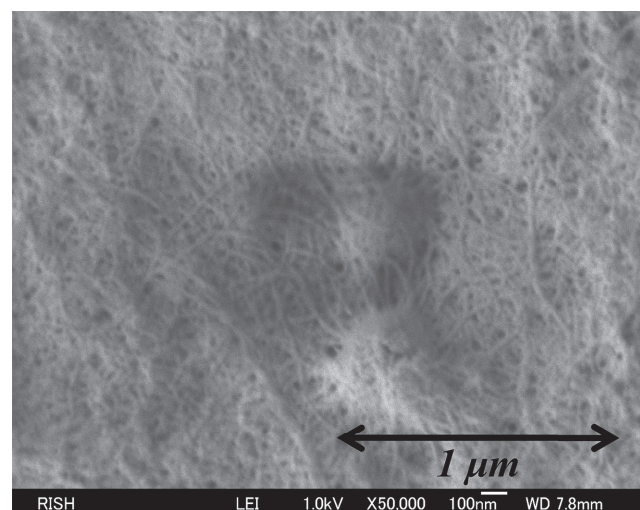


図2 竹CNFの電子顕微鏡写真（×50000倍）

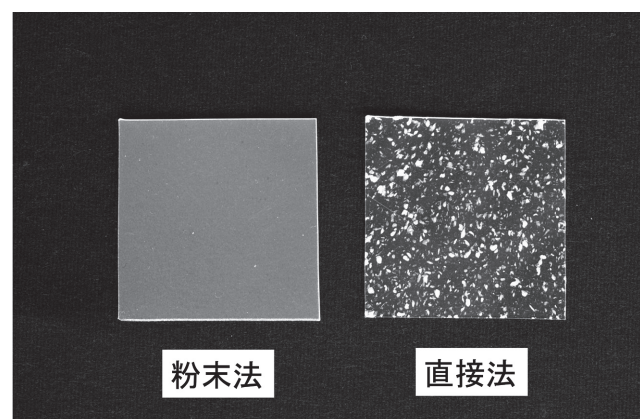


図3 CNF／ポリエチレン（LDPE）複合シート

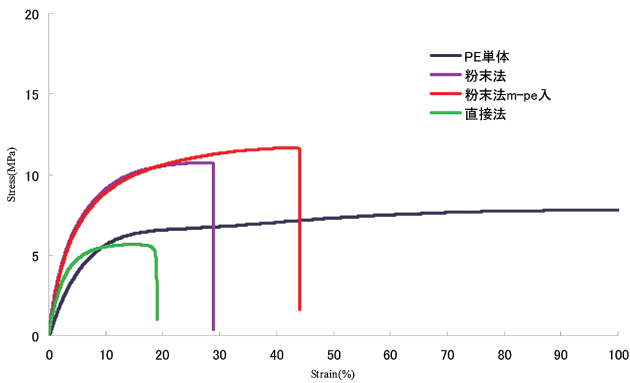


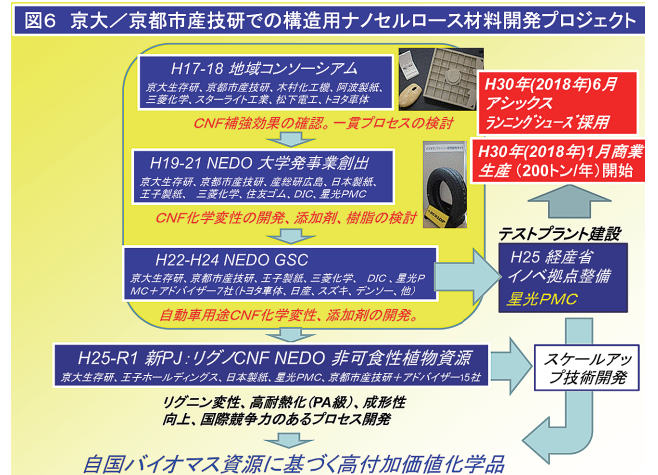
図4 CNF / ポリエチレン (LDPE) 複合シートの引張応力-ひずみ線図



図5 CNF 10 wt% / ポリ乳酸複合材の射出成形製品試作

度が上がった。これには驚いた。というのも、我々が先に実施した竹マイクロサイズ繊維強化複合材料では、サイズが大きいと繊維樹脂界面制御も不十分なため竹繊維は異物となり、引張試験で引張応力を加えて行くと樹脂中の繊維が破断開始点となり引張強度は配合率が増えれば増えるほど低下して行った。これは当時のヘンプ、フラット他の麻繊維等植物繊維複合材料においても同様であり、改めてナノ効果によるCNFのネットワーク補強の可能性を知ることが出来た。なお、この時のCNFは何の表面処理もしていない親水性の-OH基を有するそのままのCNFである。

さらに、図5右側にはこの手法で複合化した樹脂ペレットを用いた世界初のCNF / 樹脂複合材実製品の試作成形体である。これは前地域コンソ事業で協業した成形メーカーの協力を得て同社の既存350t射出成形機、モーターポートインパネ金型による成形試作品である。これも今となつては、CNFが水分散CNFと同様に樹脂中でもチキソトロピー性を発現する(シアシニング効果)ことから既存設備でも成形が可能であったと言える。そ



の時はこれまでの経験から引張試験片だけの結果では産業界には研究段階かということで余り関心を示して貰えず、図5左側の当時の携帯カバー同等品の成形が出来たので、次は何とか大型の実成形体を打ちたいという一心で材料を出来るだけ多く用意しトライした結果、意外にも簡単に成形が出来てしまったという感であった。

この2年間の事業成果により、委託先の国の方ではこれは世界に先行する大事な技術開発とのことで、国の大型研究開発事業(大プロ)よりNEDO事業への続いたの応募を推奨してくれ、結果的に以下に示すNEDOによる切れ目ない公募事業への申請採択を受けて各々産学公連携研究開発事業を実施した(図6)。

- 平成19-21年(2007-2009年) NEDO 大学発事業創出 実用化研究開発事業「変性バイオナノファイバーの製造および複合化技術開発」
- 平成22-24年(2010-2012年) NEDO グリーン・サステイナブルケミカルプロセス基盤技術開発事業「セルロースナノファイバー強化による自動車用高機能化グリーン部材の研究開発」
- 平成25年-令和元年(2013-2019年) NEDO 非可食性植物由来化学品製造プロセス技術開発事業「高機能リグノセルロースナノファイバーの一貫製造技術と部材化技術開発」

これらの中で、複合材料では必須の①繊維/樹脂界面の設計・強化、即ち京都大学生存圏研究所中坪文明特任教授発案のCNFエステル化による疎水化学変性の最適化(現在実用化されているASA変性)を図ることでより高弾性率・高強度をもたらすCNF複合材料の開発、併せて②CNF複合化により製品の寸法安定化に繋がる線

膨張率の低減、熱変形温度の向上等の性能発現、③現在「京都プロセス」と呼ばれるパルプ直接混練法の開発、④アセチル化疎水化学変性によるCNF自身の耐熱性向上によるエンジニアリング樹脂ナイロン6複合材の開発、⑤アシックス社のランニングシューズミッドソール材に繋がるCNF／樹脂射出発泡成形技術の開発等を成し遂げ、何れも現在の関連企業による実用化・事業化に繋がっている。

これらの成果には弊所の、特に二軸混練技術による樹脂複合最適化技術開発で仙波健研究主幹、CNF樹脂射出発泡技術開発で伊藤彰浩主席研究員、CNF染色技術開発で上坂貴宏主席研究員、井内俊文主席研究員、次に述べるCNF／バイオマスプラスチック複合化技術開発で野口広貴次席研究員が各々役割分担で大きな貢献を果たしている。

このようにして国、NEDOによる100%委託研究開発事業を進める中で年度ごとの社会への成果報告・普及は必須であり、毎年3月には生存研シンポジウムの形で事業報告会を開催して来た。当初京都大学宇治キャンパスでの開催で70-80名の参加規模が、平成28年(2016年)前後辺りから京都市内京都テルサでの開催で毎回700名前後の多くの参加者が集まるようになって行った。

また、CNFと併せて海外ではCNC(セルロースナノクリスタル)の研究開発も行われており(現在これらを合わせて“ナノセルロース”と呼称)、平成26年(2014年)にカナダと北米がCNCのみの評価・命名法に関するISO標準化の提案書をTC229(ナノテクノロジー分科会)に提出したことへの対応をきっかけの一つとして経済産業省主導によるオールジャパン体制の「ナノセルロースフォーラム」が設立された。さらに、ほぼ同時期平成26年(2014年)6月に当時の内閣における「日本再興戦略」改訂2014の中に“セルロースナノファイバーの研究開発等によるマテリアル利用の促進”が明記され、以降同様の国家戦略の中でCNF関連ISO標準化の促進等の記載が続いた。

■平成26-令和2年(2014-2020年)「ナノセルロースフォーラム」

経済産業省主導によるCNFの実用化研究や製造プロセス技術開発支援、CNFサンプルプラントの建設支援、幅広い業種での実用化促進や国際標準化(ISO)対応を目的としたオールジャパン体制での産総研(産業技術総合研究所)コンソーシアム。

■平成26年(2014年)6月安倍内閣による「日本再興戦略」

改訂2014にセルロースナノファイバーの研究開発等によるマテリアル利用の促進が明記された。

そして、この戦略実行のためにCNF省庁(経済産業省、文部科学省、農林水産省、環境省、国土交通省)連絡会議が立ち上げられ文部科学省、環境省からの各々以下のCNF関連提案公募事業に応募申請、採択を受けて事業実施を続けた。

●平成27年-令和元年(2015-2019年)文部科学省 戦略的創造研究推進事業(ALCA)「セルロースナノファイバーを用いた高機能性プラスチック極限軽量断熱発泡部材の開発」

●平成28年-令和元年(2016-2019年)環境省「NCV(Nano Cellulose Vehicle)」プロジェクト」 CNF材が再生可能資源由来で軽量・高強度であることから自動車部材として実装することでどれだけ軽量化になり、燃費低減が図れ、そしてどれだけCO₂が削減するのを実証するプロジェクトで、京都大学生存圏研究所白杵有光特任教授(元(株)豊田中央研究所)のもとでトヨタ自動車関連の部材メーカーを中心に産学公22機関が集まった。3か年掛けてガソリンエンジン搭載のNCVコンセプトカーを製作し、テスト路を時速120km/hr前後で走行することで16%の軽量化、11%の燃費削減、8%のCO₂削減を実証し、その成果については令和元年(2019年)10月の東京モーターショーにコンセプトカーと共に出展した(図7)。CNF実装部材のCO₂排出量については、LCA(Life Cycle Assessment)の手法により各々個別に原料製造工程、加工工程等々を詳細に算定積算することで求めたが、この時の手順等の知見が昨今あらゆる分野でCO₂ゼロエミッションがより強く求められる社会状況のもとで非常に役立っている。

●令和元年-令和2年(2019-2020年)環境省 脱炭素社会を支えるプラスチック等資源循環システム構築実証



図7 2019東京モーターショーでのNCVコンセプトカー

事業「京都プロセスで製造したアセチル化セルロースナノファイバー強化バイオPEの社会実装評価」

- 令和3年-令和5年（2021-2023年）（独法）環境再生保全機構（ERCA）環境研究総合推進費「セルロースナノファイバー補強によるバイオマスプラスチック用途拡大の推進」

3. CNF 関連研究開発成果を活かした企業支援事業の取り組み

前述のとおり、産学公連携によるCNF関連研究開発を約20年近く進めてきたことは、結果的に同分野を切り拓いて来たことになり、周りから求められるように関連技術の普及並びに企業支援のための任意団体がほぼ同時期に以下のとおり京都、大阪で設立された。それらの活動の中では、技術普及セミナーの開催、実用化・応用製品開発にあたっての企業マッチング、企業支援等を進めて来た。

- 平成26年（2014年）7月～現在「京都グリーンケミカル・ネットワーク」設立

京都市域では京都大学を中心に「化学」領域での最先端の研究が幅広く行われていると共に、独自の分野で活躍している化学系企業も多く存在しており、グリーン新事業の創出を目指す。CNFも当初から対象とする分野に入っており、会長は京都大学平尾一之名誉教授で筆者が副会長を務める。当初20数社から活動を始めて現在63会員にまで増えている。

- 平成26年12月-平成29年3月（2014-2017年）「部素材産業-CNF（セルロースナノファイバー）研究会」

近畿経済産業局主導による関西に業界の拠点を有する不織布やプラスチックの部素材関連企業を中心に、CNF関連の実用化新製品開発等支援を目的とした研究会。「ナノセルロースフォーラム」、「京都グリーンケミカル・ネットワーク」等とも連携する。

その間に、弊所が平成26年（2014年）4月に地方独立行政法人に移行したことを受けて、近畿経済産業局からCNF関連で国の企業支援委託事業への応募申請の要請があった。京都市直営の時は応募できず、地方独立行政法人であれば応募申請出来るとの事であった。外部資金の獲得は独立行政法人の方針でもあったため申請応募し採択され、研究開発以外で初めて以下に示す国の企業支援委託事業を実施し、現在も環境省の同様の委託事業を受けて実施している。なお、これら一連の企業支援国委託事業は現在の横田久幸総括の貢献に依る所が大きい。

- 平成27年（2015年）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）
 - 平成28-29年（2016-2017年）経済産業省地域中核企業創出・支援事業
 - 平成29年12月-令和3年3月（2014-2021年）経済産業省「部素材-CNFナショナル・プラットフォーム」事業
 - 令和3年6月-令和5年3月（2021-2023年）「関西CNFプラットフォーム事業」
- 「部素材-CNFナショナル・プラットフォーム事業」の後継事業で、近畿経済産業局と連携して全国的規模での常設的なCNF製造等企業／応用企業のマッチング機能を果たすと共に地域間CNF支援組織との実務レベルでの水平連携を図った。
- 令和5年（2023年）6月以降はCNF関連産業支援が近畿経済産業局産業部製造産業課の経常業務となり、引き続き京都市産技研との連携を図っている。

これらの企業支援事業の一環で「セルロースナノファイバー関連サンプル提供企業一覧」（図8）をこれまでに発行して来ている。これは支援開始当初、CNFの応用

セルロースナノファイバー関連サンプル提供企業一覧 (第16版) 2023年8月1日現在 (独法)京都市産業技術研究所調べ(協力:近畿経済産業局)

企業名		王子ホールディングス(株)		日本製紙(株)	
ホームページ		https://www.ohodings.co.jp/d/ohemeter.html		https://www.nipponpapergroup.com/products/cnf	
問合せ先	部署	イノベーション推進本部 CNF創造センター		バイオマス材料事業推進本部 バイオマス材料販売推進部	
	住所	〒135-8558 東京都江東区東横1-10-6		〒101-0062 東京都千代田区神田駿河台4-6(御茶ノ水/水戸市シティ)	
	電話又はEメール	TEL: 03-3533-7006 E-mail: ohodings@oh.com		E-mail: ホームページから受付可能	
サンプル名称	透明CNFスラリー(アクロ/タピオ)	濁性CNFパウダー	透明シート(アクロ/タピオ)	セルロースナノファイバー(トウモロコシ/木質)	CNF強化繊維(セルロース/木質)
	紙状CNFスラリー				
サンプル提供及び価格	弊社ウェブサイトよりお問い合わせください。 https://www.ohodings.co.jp/d/ohemeter.html			お問い合わせ先へお問い合わせください。	
	<価格> 個別にお問い合わせください。			<サンプル提供> 個別にお問い合わせください。	
サンプルの性状	スラリー状	パウダー状	シート状	TC-01A, TC-02X, TC-03X, TC-04X, TC-05X, TC-06X, TC-07X, TC-08X, TC-09X, TC-10X, TC-11X, TC-12X, TC-13X, TC-14X, TC-15X, TC-16X, TC-17X, TC-18X, TC-19X, TC-20X	CNF強化繊維(セルロース/木質)
	原料	植物繊維(パルプ)		製紙用パルプ、製糖用パルプ	製紙用パルプ
特徴	繊維径	約30nm (リン酸エステル化CNF)	※化学処理、機械処理の程度で、10nm以上の繊維径も作成可能	TC-01A, TC-02X, TC-03X, TC-04X, TC-05X, TC-06X, TC-07X, TC-08X, TC-09X, TC-10X, TC-11X, TC-12X, TC-13X, TC-14X, TC-15X, TC-16X, TC-17X, TC-18X, TC-19X, TC-20X	CNF強化繊維(セルロース/木質)
	製法	化学処理(リン酸エステル化)、機械処理		TC-01A, TC-02X, TC-03X, TC-04X, TC-05X, TC-06X, TC-07X, TC-08X, TC-09X, TC-10X, TC-11X, TC-12X, TC-13X, TC-14X, TC-15X, TC-16X, TC-17X, TC-18X, TC-19X, TC-20X	CNF強化繊維(セルロース/木質)
想定用途	増粘・分散材料：塗料、化粧品、医薬品、潤滑剤など 光学材料：エレクトロニクス用途、フィルム、導電材料など 機能材料：導電、導熱、導光、導電性コンクリートなど 生体適合材料：バイオ、メカニクスなど その他用途材料：スポーツ用品など			食品包装材(紙、膜、容器、ラミネート、コンパックなど) 包装資材(紙、膜、容器、ラミネート、コンパックなど) 印刷用インク(紙、膜、容器、ラミネート、コンパックなど) 塗料(紙、膜、容器、ラミネート、コンパックなど) 化粧品(紙、膜、容器、ラミネート、コンパックなど) 医薬品(紙、膜、容器、ラミネート、コンパックなど) 潤滑剤(紙、膜、容器、ラミネート、コンパックなど) 光学材料(紙、膜、容器、ラミネート、コンパックなど) フィルム(紙、膜、容器、ラミネート、コンパックなど) 導電材料(紙、膜、容器、ラミネート、コンパックなど) 導熱材料(紙、膜、容器、ラミネート、コンパックなど) 導光材料(紙、膜、容器、ラミネート、コンパックなど) 導電性コンクリート(紙、膜、容器、ラミネート、コンパックなど) バイオ材料(紙、膜、容器、ラミネート、コンパックなど) メカニクス材料(紙、膜、容器、ラミネート、コンパックなど) スポーツ用品材料(紙、膜、容器、ラミネート、コンパックなど)	食品包装材(紙、膜、容器、ラミネート、コンパックなど) 包装資材(紙、膜、容器、ラミネート、コンパックなど) 印刷用インク(紙、膜、容器、ラミネート、コンパックなど) 塗料(紙、膜、容器、ラミネート、コンパックなど) 化粧品(紙、膜、容器、ラミネート、コンパックなど) 医薬品(紙、膜、容器、ラミネート、コンパックなど) 潤滑剤(紙、膜、容器、ラミネート、コンパックなど) 光学材料(紙、膜、容器、ラミネート、コンパックなど) フィルム(紙、膜、容器、ラミネート、コンパックなど) 導電材料(紙、膜、容器、ラミネート、コンパックなど) 導熱材料(紙、膜、容器、ラミネート、コンパックなど) 導光材料(紙、膜、容器、ラミネート、コンパックなど) 導電性コンクリート(紙、膜、容器、ラミネート、コンパックなど) バイオ材料(紙、膜、容器、ラミネート、コンパックなど) メカニクス材料(紙、膜、容器、ラミネート、コンパックなど) スポーツ用品材料(紙、膜、容器、ラミネート、コンパックなど)
	イメージ				

図8 セルロースナノファイバー関連サンプル提供企業一覧

を検討し始めている多くの企業から“CNFといっても、どこの何がどうなのかさっぱり分からない。”という声が多く寄せられ、我々が必要に駆られて各社のホームページ、展示会資料等からCNFに関するサンプル情報、画像等を集め、近畿経済産業局担当者の作表ヒントも得て平成28年(2016年)3月22日現在の第1版(10社)を発行した。さらにこの分野の進展が急なため半年に一回改訂しようと決め、その後現在令和5年(2023年)8月1日(第16版、31社)の発行にまで至っている。同一覧表は、現在同分野において定番となり、多くのCNF製造供給メーカーを含めその加工等企業、応用展開企業、また各地域の支援機関等々において利用されている。

■令和2年(2020年)環境省「脱炭素革新素材セルロースナノファイバー普及のための課題解決支援企業委託業務(NCM)」:環境省NCVプロジェクトの成果を活かした企業マッチング事業

■令和3年-令和5年(2021-2023年)環境省「セルロースナノファイバー適用部材拡大のための課題解決支援企業委託業務(NCP)」

なお、前述の「ナノセルロースフォーラム」は現在下記の通り「ナノセルロースジャパン」に継承されている。

■令和2年(2000年)4月「ナノセルロースジャパン」設立

国主導(産総研コンソーシアム)のオールジャパン「ナノセルロースフォーラム」が3期6年活動した後、実用化普及段階に入ったということで国主導を卒業して産業界主導に移って設立された。会長は産業界から、3分科会ある中で技術普及分科会長は京都大学矢野浩之教授が、ナノセルロース事業化推進分科会長は筆者が就任していて現在何れも2期目の活動中である。

4. おわりに

以上、約20年前にCNF関連の研究開発をスタートするきっかけから、以降の産学公連携研究開発事業の進展実施、そして近年のCNF関連実用化普及のための企業支援事業等々について記述したが、今後とも地球温暖化防止に伴うCO₂ゼロエミッションに少しでも寄与することが可能なカーボンニュートラル材であるCNFの引き続きの社会実装化の促進を改めて期待します。

また、筆者らは結果的に幸いに多くのご支援ご協力を得て競争的外部資金の助成・補助を受けて研究開発を実施して来た。今後特に独立行政法人化した京都市産技

研での研究開発等に係る外部資金獲得の組織的スキルは必須であると思われる。各研究員における研究開発基盤の形成、それらを基にした公募事業に応じたストーリーの構築、産学公によるコンソーシアム、プロジェクトの形成、外部との折衝・事前相談、そして申請書作成、ヒアリングへの対応、採択後の実施計画の作成・交付決定・契約、研究開発の実施、報告・成果の外部評価と普及、企業への実用化・事業化移転等々のプロデュース能力の育成は非常に重要で、普段からの留意が大事であると共に、時間と根気が必要である。今後とも引き続きの継続、発展を祈念する。

最後になりましたが、経済産業省、環境省、文部科学省をはじめとする関係省庁、並びにNEDO(国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構)、近畿経済産業局など多くのご関係各位のご支援、ご協力によりこれら多くの事業は実施出来ました。改めまして感謝申し上げます。

また、これらCNF複合材料産学公連携研究開発は京都大学生存圏研究所矢野浩之教授、中坪文明特任教授、白杵有光特任教授そして多くの関連研究者、関連企業と共に何れも実施したことを記して感謝の意を表します。

参考文献

- 1) K. Kitagawa, Interphase Properties of Aramid Fibre Reinforced Composites (1998).
- 2) 産業技術連携推進会議物質工学部会高分子分科会, 生分解性プラスチックの全国土壌分解性フィールドテスト報告書(2005).
- 3) K. Kitagawa, presented "Field Test of Soil Biodegradability of Biodegradable Plastics in Japan" at American Chemical Society's 221st ACS National Meeting, San Diego, CA, April 2001.
- 4) N. Kawashima et al., How Do Bioplastics and Fossil-Based Plastics Play in a Circular Economy?, Macromol. Mater. Eng., 304, 1900383 (2019).
- 5) 矢野浩之, 異業種垂直連携によるセルロースナノファイバー材料の開発, SEN'I GAKKISHI (繊維と工業), 70(5), 12 (2014).