

平成 18 年度 国際共同研究先導調査事業実施報告書

バイオナノファイバーの製造と利用に関する
欧米の研究動向調査

Investigation on the Current Research and Development State of
Bionanofiber-Based Materials in Europe and North America

1. テーマ

バイオナノファイバーの製造と利用に関する欧米の研究動向調査

(1) 調査員

所属機関 京都大学
部課名 生存圏研究所
役職 教授
研究者名 矢野浩之

(2) 派遣先研究機関

機関名 スウェーデン王立工科大学
(The Royal Institute of Technology)

国名 スウェーデン
責任者名 ラーシュ・バーグランド教授
(Professor, PhD Lars Berglund)
トゥーラ・テリー教授
(Professor, PhD Tuula Teei)

機関名 ルレア工科大学 (Lulea University of Technology)
国名 スウェーデン
責任者名 クリスティーナ・オクスマン教授
(Professor, PhD Kristina Oksman)

機関名 スウェーデン紙パルプ・包装研究所
(STFI-PACKFORSK, Sweden)
国名 スウェーデン
責任者名 トム・リンドストーム教授
(Professor, PhD T.Lindstrom)

機関名 スウェーデン農科大学
(Sveriges Lantbruksuni universitet)
国名 スウェーデン
責任者名 ジェリー・スターバーグ助教授
(Associate Professor, PhD Jerry Stahlberg)
ジョフェリー・ダニエル教授
(Professor, PhD Geoffrey Daniel)

機関名 スイス連邦材料試験研究所
(Swiss Federal Laboratories for Materials Testing and Research)
国名 スイス連邦
責任者名 タニヤ・ツインマーマン博士

(PhD T.Zimmermann)

機関名 ウィーン農科大学
(University of Natural Resources and Applied Life Sciences)
国名 オーストリア
責任者名 ウォルフガング・ギンドル助教授
(Associate Professor, PhD Wolfgang Gindl)

機関名 マンチェスター大学 (The University of Manchester)
国名 連合王国
責任者名 ステファン・J・アイコン博士
(Researcher, PhD Stephen J. Eichhorn)

機関名 ロンドン大学(The University of London)
国名 連合王国
責任者名 トン・パエジ教授
(Professor, PhD Ton Peijis)

機関名 グルノーブル地区ポリテクニク紙・パルプ・グラフィックス大学
(Institut National Polytechnique de Grenoble)
国名 フランス
責任者名 アラン・デュフレン教授
(Professor, PhD Alain Dufresne)

機関名 フランス科学研究センター植物高分子研究所
(Centre de Recherches sur les Macromolecules Vegetales)
国名 フランス
責任者名 アンリ・シャンジー教授
(Professor, PhD Henry Chanzy)

機関名 ヨーロッパシンクロトロン放射施設
(European Synchrotron Radiation Facility)
国名 フランス
責任者名 クリスチャン・リーケル教授
(Professor, PhD Christian Riekell)

機関名 ワシントン州立大学(Washington State University)
国名 アメリカ合衆国
責任者名 ロバート・J・ティシー上級研究員
(Senior Researcher, PhD Robert J Tichy)

機関名 米国農務省林産物研究所
(US Department of Agriculture, Forest Service)
国名 アメリカ合衆国
責任者名 ロジャー・M・ロウエル教授
(Professor, PhD Roger M Rowell)

機関名 トロント大学(University of Toronto)
国名 カナダ
責任者名 モヒーニ・M・セイン教授
(Professor, PhD Mohini. M. Sain)

機関名 コンコルディア大学 (Concordia University)
国名 カナダ
責任者名 ソン・V・ホア教授
(Professor, PhD Suong V. Hoa)

機関名 マギル大学(McGill University)
国名 カナダ
責任者名 デレック・G・グレイ教授
(Professor, PhD Derek G. Gray)

機関名 カナダ国立産業材料研究所
(National Research Council Canada, Industrial Material Institute)
国名 カナダ
責任者名 ジョアンヌ・ドゥノー研究員
(Researcher, PhD Johanne Denault)

機関名 ケベック大学高等工科大学
(Universite du Quebec, Ecole de Technologie Superieure)
国名 カナダ
責任者名 アン・ダン・ヌウ教授
(Professor, PhD Anh Dung Ngo)

機関名 コーネル大学(Cornell University)
国名 アメリカ合衆国
責任者名 アニー・ネトラヴァリ教授
(Professor, PhD Anil Netravali)

機関名 ニューヨーク州立大学シラキユース校
(SUNY-ESF, State University of New York)
国名 アメリカ合衆国

責任者名 ウィリアム・T・ウィンター教授
(Professor, PhD William T. Winter)

機関名 デラウェア大学(University of Delaware)
国名 アメリカ合衆国
責任者名 ツー・ウェイ・チョウ教授
(Professor, PhD Tsu-Wei Chou)

機関名 米国農務省西部地域研究センター
(Western Regional Research Center, USDA)
国名 アメリカ合衆国
責任者名 ウィリアム・オーツ研究員
(Researcher, PhD William J. Orts)

機関名 ミシガン州立大学(Michigan State University)
国名 アメリカ合衆国
責任者名 ローレンス・T・デュルーザル教授
(Professor, PhD Lawrence T. Drzal)
アマー・K・モハンティー教授
(Professor, PhD Amar K. Mohanty)

機関名 メイン州立大学 (University of Maine)
国名 アメリカ合衆国
責任者名 ドウ・ガードナー教授
(Professor, PhD Doug Gardner)

機関名 ミネソタ州立大学(Minnesota State University)
国名 アメリカ合衆国
責任者名 ウィリアム・ツェー教授
(Professor, PhD William Tze)

機関名 ノースキャロライナ州立大学
(North Carolina State University)
国名 アメリカ合衆国
責任者名 ディミトリス・アギロポウラス教授
(Professor, PhD Dimitris Argyropoulos)

機関名 テネシー州立大学 (University of Tennessee)
国名 アメリカ合衆国
責任者名 ティム・ライアル教授
(Professor, PhD Tim Rials)

サイカン・ワン教授
(Professor, PhD Siqun Wang)

機関名 オレゴン州立大学 (Oregon State University)
国名 アメリカ合衆国
責任者名 ジョン・シ - モンセン教授
(Professor, PhD John Simonsen)

(3) 派遣期間

平成 18 年 9 月 5 日 ~ 平成 18 年 9 月 10 日
平成 18 年 9 月 9 日 ~ 平成 18 年 9 月 18 日
平成 18 年 9 月 24 日 ~ 平成 18 年 10 月 1 日
平成 18 年 11 月 1 日 ~ 平成 18 年 11 月 12 日
平成 18 年 11 月 4 日 ~ 平成 18 年 11 月 11 日
平成 19 年 1 月 24 日 ~ 平成 19 年 2 月 3 日

(4) 協力者

所属機関 株式会社豊田中央研究所
部課名 有機材料研究室
役職 室長
研究者名 臼杵有光

所属機関 神戸大学
部課名 工学部応用化学科応用高分子化学研究分野
役職 教授
研究者名 西野 孝

所属機関 京都大学
部課名 生存圏研究所
役職 教授
研究者名 杉山淳司

所属機関 京都市産業技術研究所
部課名 工業技術センター
役職 研究部長
研究者名 北川和男

所属機関 近畿大学
部課名 農学部バイオマテリアル研究室
役職 教授
研究者名 岡本 忠

所属機関 兵庫県立大学大学院
部課名 工学研究科機械系工学専攻環境エネルギー工学部門
役職 助教授
研究者名 岸 肇

所属機関 徳島大学大学院
部課名 ソシオサイエンス研究部先進物質材料部門
役職 助教授
研究者名 高木 均

所属機関 産業技術総合研究所
部課名 バイオマス研究センター
役職 チーム長
研究者名 遠藤貴士

所属機関 産業技術総合研究所
部課名 バイオマス研究センター
役職 研究員
研究者名 李 承桓

所属機関 トヨタ車体株式会社
部課名 新規事業部
役職 部長
研究者名 平田慎治

所属機関 松下電工株式会社
部課名 先行技術開発研究所
役職 部長
研究者名 奥平有三

所属機関 三菱化学株式会社
部課名 科学技術戦略室
役職 室長
研究者名 田中栄司

2. 要約

欧米におけるバイオナノファイバーの製造と利用に関する最新の研究動向調査を行った。28の欧米の研究機関を直接訪問して行った聞き取り調査や広範な特許・文献調査から浮かび上がってきた最新の状況は、未だ人類が作り得ない高性能均質ナノファイバーであるバイオナノファイバー(BNF)を使った材料製造について世界の各地で多くの先導的研究が行われており、また、その動きが2004年頃から加速しているということである。

欧州ではセルロースナノウィスカー(BNFをさらに切断した針状結晶物質)によるナノコンポジット研究が盛んである。1995年頃からフランス、CERMAVの研究者グループが、セルロースナノウィスカーとラテックスの複合(ウィスカー量:3-10wt%)を行い、これまでに50近い論文発表がなされている。多くは、柔らかなマトリックスを剛直なナノウィスカーのネットワークで補強するという考えに基づくもので、パーコレーション理論の適用可能な複合材料である。用途としては塗膜や生分解性フィルム、あるいはリチウムバッテリー固体電解質の補強がある。ウィスカー原料として、チュニシン(ホヤの外皮)や麦ワラ、砂糖ダイコンパルプ、ポテトパルプといった農産廃棄物、ウチワサボテン(*Opuntia ficus*)やサイザル麻の繊維などが使われている。

研究体制では北欧がリードしている。「森林資源利用でのナノテクノロジー」として製紙産業が主導してすでに複数のプロジェクトが立ち上がっており(スウェーデン)、その代表的なプロジェクトが、スウェーデンとフィンランドが共同で行っているプログラム(Wood Material Science Research Program)において、STFI-PACKFORSK(スウェーデン紙パルプ研究所)のLindstrom教授がリーダーとなっている“Nanostructured cellulose products”プロジェクトである。本プロジェクトは2006年に終了したが、得られた成果を発展させるべく、すでに2005年にはより大きなプロジェクトの立ち上げに向けたロードマップがSTFI-PACKFORSKの主導で作成されている。スウェーデンは、製紙産業が国の基幹産業であることから、セルロース科学は我が国と並んで世界のトップを走っており、今後もSTFIならびにKTHの研究者グループの動向からは目を離せられない。

スウェーデンの北部にあるルレア工科大学では、Oksman教授らが、ガスバリア性に優れた廃棄容易な容器の開発を目指して、ポリ乳酸とナノウィスカーとの複合について開発研究を進めている。それ以外にも、近年、スイス、ポルトガル、オーストリア、ドイツといった国々からも研究発表が相次いでいる。欧州では植物資源利用に対する自動車産業の意識は高く、現在は、麻・ジュートなど植物繊維とポリマーの複合材料開発が中心であるが、今後は、より高性能のセルロースナノコンポジットに関心が集まるであろう。

一方、研究グループの数においては北米の急増が目覚ましい。研究者コミュニティ形成に向けた国際シンポジウムが多く開催されるなど、この分野を北米でリードしようとする動きがある。しかし、個々の研究については、論文や特許が公開されるまでのタイムラグがあり、実際のところなかなか表に見えてこない。潜行して開発研究、特許出願がなされている可能性がある。

北米におけるBNF研究の多くは、植物繊維や木材粉末をポリプロピレンなどの熱可塑性樹脂と熔融混練する複合材料研究の発展として行われており、極性材料であるセルロースと非極性の樹脂との界面制御技術には多くの蓄積がある。自動車産業との関係が深いトロント大学のSain教授は、植物繊維補強材料の延長としてセルロースナノコンポジットの開発研究を精力的に進めている。また、ニューヨーク・シラキュース大学のWinter博士は表

面を化学修飾したセルロースナノウィスカーを用いたナノコンポジットの開発を進めている。それ以外にも、近年は多くの北米の研究者あるいはアルゼンチンの研究者がセルロースナノウィスカーの研究に関する論文を発表するようになってきている。

調査で訪れた欧米研究機関の研究者との直接の議論や文献・特許調査から、バイオナノファイバーの製造と利用に関する開発研究について、今まさに車輪がぎしぎしと鳴って、ちょっとしたきっかけで猛烈な勢いで転がり出しそうな状況が浮かび上がってきた。そのきっかけは、材料特性だけでなく製造プロセスも視野に入れた産業化への道筋や産業的拡がりが見えた時、すなわち、ナノファイバー製造やナノファイバーの構造化に関する技術、コストに関して、もう一段階産業化に近づくブレークスルーが出てきた時である。それがなされた時、低環境負荷・持続型資源に基づく大型汎用性材料として、バイオナノファイバー補強材料やバイオナノファイバーシート・フィルムに関する開発研究、特許出願は世界中を巻き込んで激化することが必至である。

このような状況において、我が国は、決して研究レベルにおいては負けていない。例えば、調査員らは、世界に先駆け高強度ナノコンポジットや透明繊維強化材料を開発している。また、磯貝、斉藤らは TEMPO 酸化により均一ナノファイバーの製造に成功している。B N F 関連特許については過去 20 年で世界中で 233 件出ているが、その約 70% は日本からの出願である。しかしながら、研究者コミュニティの規模や数においては欧州や北米に比べ大きく遅れをとっているといわざるを得ない。一方で、バイオナノファイバー、ナノコンポジットを支えるセルロース科学、木質科学、高分子科学、複合材料科学、機械加工学は、いずれも我が国のお家芸と言っても良い。バイオマス資源のエネルギー・化学原料利用の特許戦略で欧米諸国に先手を取られた我が国としては、高い専門性を有するこれらの分野を横断的に結集し、一日も早くバイオナノファイバーの製造や構造化において産業化につながるブレークスルー技術を世界に先駆けて開発し、広くその権利化を図らなければならない。そのためには、川上から川下までの企業と大学・公的研究機関の垂直連携により、バイオナノファイバーの製造・機能化・構造化の基盤技術開発を包括的に行う大型プロジェクトを早期に立ち上げる必要がある。2004 年以降の学術論文数の急増やヨーロッパ、北米における研究者数の増加は、そのことが我が国において一刻の猶予もならない状況にきていることを示している。

3 . 序論

急激な人口増加と世界的な生活レベルの向上に伴い、石油を始めとし、ガス、鉄鉱石等々、資源という資源が高騰している。現在の国民の生活レベルを下げることなく我が国の資源保証を図り、持続的発展を可能にするには、20世紀を支えた枯渇性資源ベースの「もの作り」から、自国の植物資源ベースによる「もの作り」への転換が喫緊の課題である。しかし、従前の技術に基づき、石油由来のポリマーやプラスチックをバイオベースに置き換えるだけでは、現在の生活レベルを下げることなく、資源の枯渇、高騰に対応することは難しい。化石資源ベースの材料を性能的に凌駕する「もの作り」を実現する「植物材料イノベーション」が必要である。

「植物材料イノベーション」という未来志向の観点から持続的利用が可能な植物資源を改めて見てみると、全ての植物が高性能ナノファイバー原料としてとんでもないポテンシャルを有していることがわかる。人類は、有史以来、建築材料や紙あるいは衣類として植物資源を利用してきたが、これまでその基本エレメントであるナノファイバーに材料原料としての思いを至らせることはなかった。ミクロフィブリルの幅は電子顕微鏡でやっと観察できる10nm。材料原料としてイメージすることが難しかったのかもしれない。そのナノファイバーが、鋼鉄の5倍の強度を持ち、石英ガラスに匹敵する低熱膨張性を有している、といってもにわかには信じてもらえない。しかし、実際のところ、セルロースナノファイバーは、セルロース分子鎖がピンと伸びきった状態で強固な結晶構造を形成しているため、固めると鋼鉄に匹敵する強度が得られる。同じ重量では鋼鉄の5倍である。また、このバイオナノファイバーで補強したプラスチックは、ガラスより低熱膨張である。このことに今、世界中の研究者が気づきつつある。

このような世界の動きに対し我が国がとるべき途を探るべく、NEDOの国際共同研究先導調査事業によって、欧米におけるバイオナノファイバーの製造と利用に関する最新の研究動向調査を行った。28の欧米の研究機関を直接訪問して行った聞き取り調査や広範な特許・文献調査から浮かび上がってきた最新の状況は、未だ人類が作り得ない高性能均質ナノファイバーであるバイオナノファイバー(BNF)を使った材料製造について世界の各地で多くの先導的研究が行われており、また、その動きが2004年頃から加速しているということである。

このような欧米諸国の動きに対して、我が国は、BNF研究レベルや特許出願においては決して負けていないが、研究者コミュニティの規模や数においては欧州や北米に比べ大きく遅れをとっていることが明らかとなった。一方で、バイオナノファイバー、ナノコンポジットを支えるセルロース科学、木質科学、高分子科学、複合材料科学、機械加工学は、いずれも我が国のお家芸と言っても良い。バイオマス資源のエネルギー・化学原料利用の特許戦略で欧米諸国に先手を取られた我が国としては、高い専門性を有するこれらの分野を横断的に結集し、一日も早くバイオナノファイバーの製造や構造化において産業化につながるブレークスルー技術を世界に先駆けて開発し、広くその権利化を図らなければならない。そのためには、川上から川下までの企業と大学・公的研究機関の垂直連携により、バイオナノファイバーの製造・機能化・構造化の基盤技術開発を包括的に行う大型プロジェクトを早期に立ち上げる必要がある。2004年以降の学術論文数の急増やヨーロッパ、北米における研究者数の増加は、そのことが我が国において一刻の猶予もならない状況にきていることを示している。日本の持てる力を結集し、植物材料ナノイノベーションに向け

第一歩を踏み出したい。

4．目的

欧米におけるバイオナノファイバーの製造・機能化・構造化技術、ナノコンポジットの製造・利用技術を総合的に調査し、バイオナノマテリアル産業の基盤整備を行う国家プロジェクトにおける研究開発の進むべき方向、特許戦略、そのために必要な国内外の研究コミュニティ形成について明らかにする。

5．方法

1．バイオナノファイバーの製造とその利用に関する特許・文献調査

一部外注により専門家のアドバイスを受けながらバイオナノファイバーの製造とその利用に関する特許調査、文献調査を網羅的に行う。

2．バイオナノファイバー製造とその利用に関する関連研究機関の動向の現地調査

異なる分野の第一線で活躍している研究者による調査団を組み、国際誌や国際学会プログラムの調査に基づき明らかにしたバイオナノファイバー、マテリアル研究に関し先端的研究を行っている欧米の研究機関を訪問し、文献、特許には現れていない最新の研究成果、研究体制、研究設備等について情報収集を行い、それを様々な観点から分析する。

3．委員会開催および報告書の作成

調査員、協力者、協力委員による委員会を通じて、バイオナノファイバーの製造と利用に関する欧米の研究について整理するとともに、研究調査結果をもとに報告書を作成する。

平成18年度国際共同研究先導調査事業

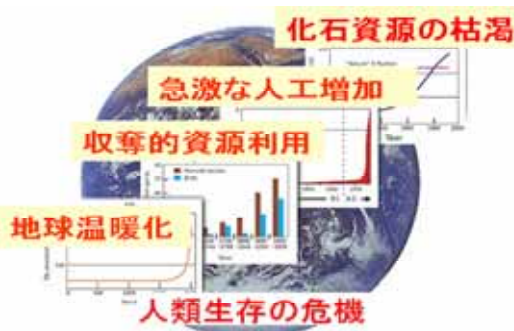
バイオナノファイバーの製造と利用に関する 欧米の研究動向調査

Investigation on the current research and development state of bionanofiber-based materials
in Europe and North America

目的と調査概要

21世紀 我が国の課題

循環型資源に基づく持続的社會基盤の構築



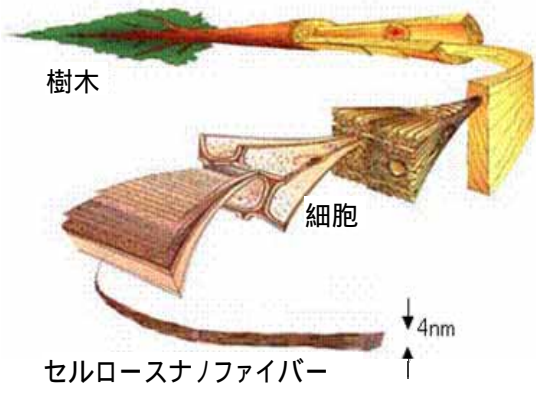
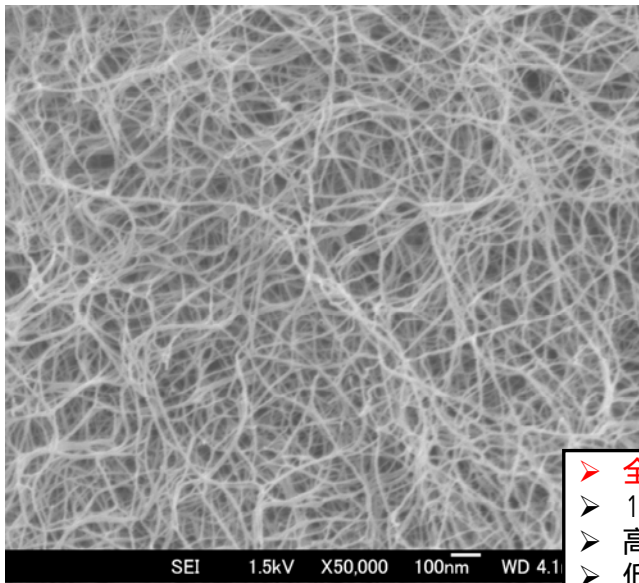
急激な人口増加と世界的な生活レベルの向上に伴い、石油を始めとし、ガス、鉄鉱石等々、資源という資源が高騰している。現在の国民の生活レベルを下げることなく、我が国の資源保証を図るには、20世紀を支えた枯渇性資源ベースの「もの作り」から、自国の植物資源ベースで、それを性能的に凌駕する「もの作り」を実現する「植物材料イノベーション」が必要である。

1. 環境と経済を両立した持続可能な発展に向けて、
2. 自国の資源で革新を続ける強靱な経済・産業の創成に向けて、

植物材料イノベーション

バイオナノファイバー, BNF (セルロースナノファイバー)

新規性



- 全ての植物細胞の基本骨格ナノファイバー
- 1兆トンの蓄積: 持続的再生可能資源
- 高強度 (鋼鉄の5倍): アラミド繊維と同等
- 低熱膨張 (ガラスの1/50: 石英ガラス並み)
- 低環境負荷、安全、生分解性

木材のBNF (京都大学 栗野博士提供)

日本におけるバイオナノファイバー研究

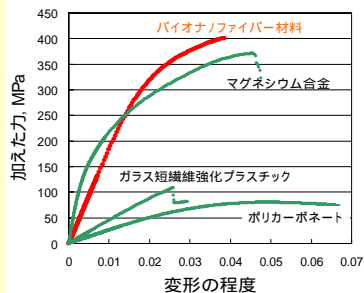
新規性

世界初

鋼鉄のように強い植物系ナノ複合材料

バイオナノファイバーをシートに加工し、樹脂を含ませてから積層、加熱プレスすると、**鋼鉄のように強い材料**が鋼鉄の5分の1の軽さで得られる。

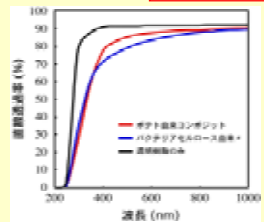
生存研



バイオナノファイバーで作る透明ナノ材料

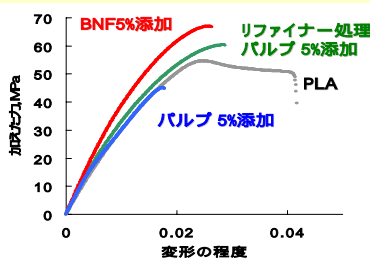
世界初

生存研



馬鈴薯ナノファイバーで補強した透明コンポジット (左、繊維添加率80%)とその光透過率(右)

ナノファイバー混練によるポリ乳酸樹脂の補強



世界初

生存研



バイオナノファイバー (BNF) を10%ポリ乳酸に混合し混練することで**強度の40%アップ**に成功。射出可能。



バイオナノファイバー複合材料を透明基板に用いた有機EL素子

バイオナノファイバーは可視光波長より十分細いために、透明材料を補強すると、透明性を保ったまま高強度・低熱膨張の材料が得られる。**透明基板**に用い、次世代ディスプレイ: 有機ELの発光に成功(上)。

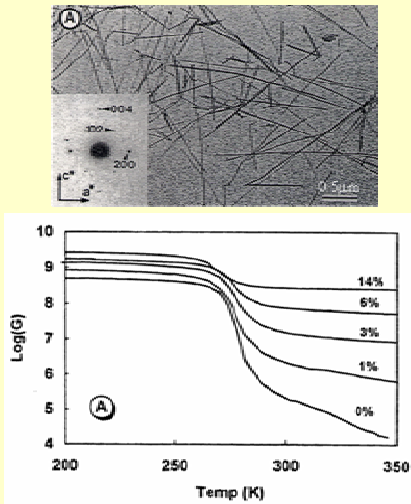
世界のBNF研究(1)

海外の
動向

ラテックスのBNF補強 CERMAV, CNRS, France, 1995

セルロースナノウィスカーによる補強(ウィスカーを1-14%含有)で、ラテックスのゴム状態での弾性率を飛躍的に向上。**BNFのバイオニア研究。**

Favier V, Chanzy H, Cavaille J Y. Macromolecules, 1995.

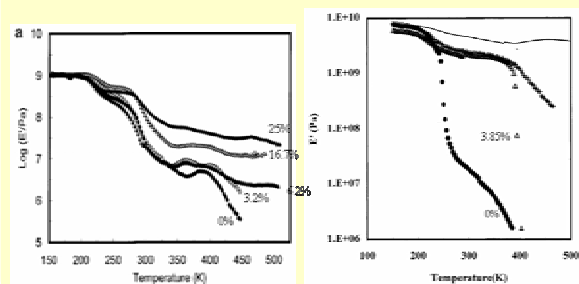


ナノファイバーとデンプンの複合 CERMAV, CNRS, France, 1998

ナノファイバーの方が、ナノウィスカーより少量の添加で高い補強効果が得られることを示した。Dufresneらのグループは、チュニケート、ビートやジャガイモ、多肉植物等、様々な原料から作製したセルロースナノウィスカーを用いてラテックスや可塑化デンプン、ゴムの補強を行い、数多くの論文を書いている。

Dufresne A, Vignon M R. Macromolecules, 1998.

Angles M N, Dufresne A. Macromolecules, 2001.



ナノウィスカー補強

ナノファイバー補強

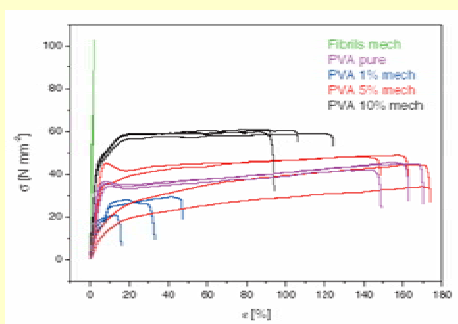
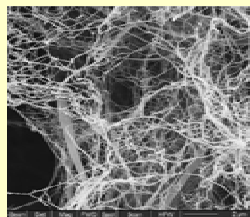
世界のBNF研究(2)

海外の
動向

BNFによるPVAの補強 EMPA, Switzerland, 2005

T. Zimmermann, *et al.*, Advanced Engineering Materials, 2005

フィルムキャスト法を用いたナノファイバー補強で破壊ひずみを保ったままポリビニルアルコールの強度を約1.5倍に向上。繊維率:1-10%。

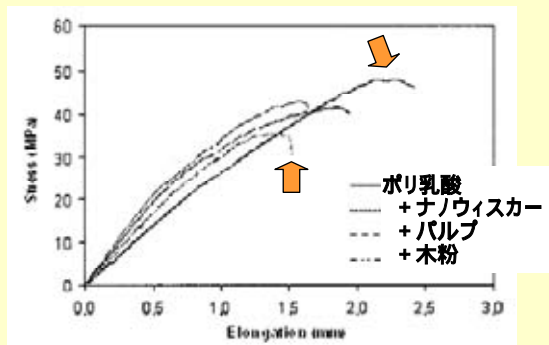
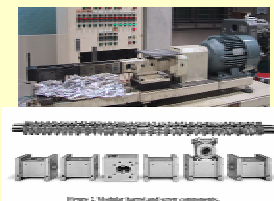


二軸混練機によるBNFとポリ乳酸の複合 Norwegian Univ. of Sci. and Tech. Norway, 2004

Norwegian Univ. of Sci. and Tech. Norway, 2004

A.P.Mathew *et al.*, J. Applied Polymer Science, 2004.

二軸混練機を用いてBNFとポリ乳酸を直接混合したところ、複合材料の強度は、ポリ乳酸単体の7割にまで低下した。

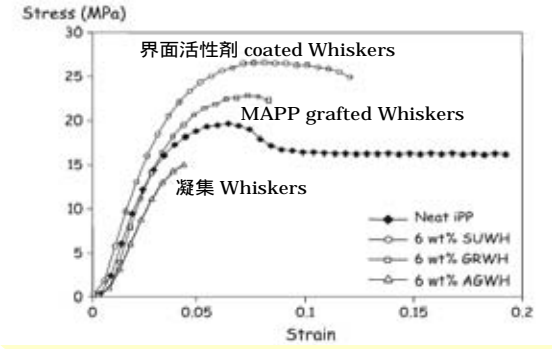
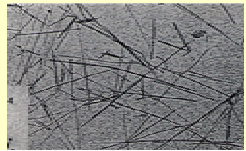


世界のBNF研究(3)

PP(isotactic)のナノウィスカー補強 CERMAV, CNRS, France, 2006

セルロースナノウィスカーによるiPP補強(ウィスカーを6%含有)。界面活性剤(BNA, polyoxyethylene-9-nonylphenyl ether)で、iPP中でのウィスカーが良分散。弾性率、強度が向上。

Ljungberg N., Cavaille J. Y., Heux L., Polymer, 2006.



表面修飾ナノウィスカーによる Cellulose Acetate Butyrateの補強 SUNY, USA, 2002

バクテリアセルロース由来のナノウィスカーを trimethylsilylate 処理して、Cellulose acetatebutyrate を補強 (0-10 wt%)。マトリックスとの相互作用の増大とともに、シリル化ウィスカーがCABの核剤となっていることを確認。無処理ウィスカーでは核剤の効果は認められず。

Grunert M., Winter W. T., J. Polym. Envir., 2002

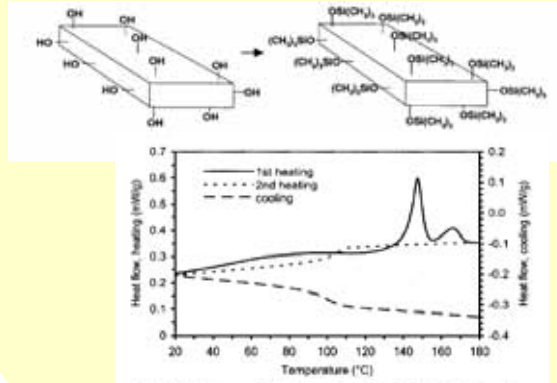


Fig. 3. DSC traces of CAB containing 5 wt% of silylated crystals.

自動車

軽量で強いボディ材料。燃費向上

住宅材料

高強度でリサイクル可能な住宅内装材料

家電品

耐衝撃に優れ、リサイクル容易な筐体材料

包装・容器

ガスバリア性、耐衝撃性に優れ、環境に優しい容器

植物材料イノベーションによりもたらされるセルロース系ナノコンポジット(バイオナノマテリアル)の用途。
カーボンニュートラルの特性を維持しつつ、高強度、低熱膨張性を達成。

急展開しつつある世界のバイオナノファイバー研究

➤ 2003年9月 Berglund教授のセルロースナノコンポジットに関する報告書

Cellulose Based Nanocomposites, as a chapter in Natural fibers, biopolymers and their biocomposites

セルロースナノコンポジットに関する研究は、フランス、グルノーブル、CERMAV-CNRSのグループの研究を除けば、論文として読むことが出来るものはわずかである。セルロースナノコンポジットは、多くの重要な興味あるテーマを産み出す様に思えるが、現在は、全くの揺籃期である。

➤ 2004年 フィンランド、スウェーデンの共同プログラム「木質材料科学」(5年、2千万ユーロ、26億円)で「セルロースナノコンポジット」についてのプロジェクトが始まる。樹木への遺伝子工学の応用、低環境負荷材料開発等、16あるサブプログラムの一つ。

➤ 2004年3月 米国化学学会年次大会で特別セッション「バクテリアセルロース」が開催される。

➤ 2005年3月 米国化学学会年次大会で特別セッション「セルロースナノコンポジット」を開催。

➤ 2005年 バイオナノファイバー研究グループが2003年の10未満から30程度にまで急増。

➤ 2005年9月 スウェーデン紙パルプ研究所が中心となりヨーロッパの紙・パルプ産業、木材産業に向けたロードマップ「A nanotechnology roadmap for the forest products industry: NANOFORREST」をまとめる。医療用、自動車、電子材料等への用途展開を目指す。

➤ 2006年4月 北米紙パルプ技術協会主催で、林産物におけるナノテクノロジーに関する国際会議を米国、アトランタで開催。欧米の研究者が多数参加。

2006年8月 米国化学会から書籍「セルロースナノコンポジット」を出版。

2006年12月末までのバイオナノファイバー関連論文(バクテリアセルロースは除く)は82報。そのうち44報は2004年以降。

2007年5月: 米国農務省林産物研究所、北米林産物学会主催国際会議「Wood & Biofiber Plastic」におけるオープニングセッションが「Nanocomposites」に。

ナノファイバー、ナノコンポジット関連の研究発表は計15件。

海外の動向

2006 International Conference on Nanotechnology for the Forest Products Industry

by TAPPI, 4/26/2006-4/28/2006, Atlanta, USA (TAPPIは北米の紙・パルプ産業に強い影響力を有している技術協会)

以下は、北米、ヨーロッパで進行中の植物資源(木材、紙・パルプ)利用に関するナノテクノロジープロジェクトの概要紹介講演の一部

Path Forward for NanoBiomaterials derived from Lignocellulosics (A. J. Ragauskas, IPST, USA)

リグノセルロースを由来とするナノバイオマテリアル創製への道

世界でトップ5の森林面積を有するアメリカの林産資源は経済的、社会的、環境負荷の面において重要な役割を果たしている。しかし、近年、国内外の林産産業の勢力図は劇的に変化しており、その結果、林産工業に依存する多くの林産地域の経済的損失を引き起こしている。そこでSF/USDA/AFPAの支援を受け、ワークショップが開催された。北米やヨーロッパから産官学の研究者が集結し、2日間の期間中、先端材料に向けた木質バイオポリマーの単離、合成、ナノ構造の研究ニーズや研究好機、経済効果など、60ものプレゼンテーションが行われた。

Potentials and Avenues for Nanotechnology in Canadian Wood Products (A. Potter, FRO, Canada)

カナダ林産産業分野におけるナノテクノロジーの可能性

Forintek 2005ではナノテクノロジー林産産業に関する広範囲な知見の集積と分析、検討が行われ、短期および長期的な局面においてナノテクが植物資源ベースのコンポジット材料を始め、合成高分子や排ガスの抑制、循環型社会の確立、新規材料の創製に有用であるとの結論に至った。本講演ではForintekにおける研究成果をその経緯を交え紹介する。

Forest Products Industry Nanotechnology Workshop Report European perspective: NanoForest (T. Lindstrom, STFI, Sweden)

ナノテクノロジー林産産業ワークショップのレポートとヨーロッパの展望: “ナノフォレスト”

“NanoForest”ではヨーロッパコミュニティの支援を受け、専門家によりナノテクノロジーと林産産業分野の融合を目的とするロードマップが示された。その概要は、ナノテクノロジーの研究と林産物や紙パルプ、ボードやセルロース繊維の新規利用の発展に焦点を絞り、1) 従来の最終製品の性能を引き上げること、2) 新規素材やパッケージをターゲットとした次世代型の繊維補強材料の創製を目的としている。

Nanotechnology Forest Products Industry Untapped Future Opportunities (P. Jones, IMERYS, USA) 将来有望な未開発のナノテクノロジー林産産業

“Nanotechnology workshop – For the Forest Products Industry”というワークショップでは、北米とヨーロッパから選りすぐられた120名の産官学の研究者が集結した。ナノスケールでのバイオポリマー構造や斬新な表面制御、生合成、システム統合、教育、ナノ材料の環境負荷などの基礎研究が進められており、ウッドバイオポリマー由来の革新的なナノ材料およびプロセスの開発が加速している。



2006.4.26 米国・アトランタ

第3期科学技術基本計画

理念2

国力の源泉を創る

目標3 環境と経済の両立

目標4 イノベーター
ニッポン

(5) 環境と調和する循環型社会の実現

(7) ものづくり
ナンバーワン国家の実現

-7 我が国発の**バイオ活用技術**により**生物資源の有効利用**を実現する。

-10 **ナノテクノロジー・革新部材**を駆使して今世紀の**マテリアル革命**を先導する。

-11 最小の**資源・環境・労働負荷**で**最大の付加価値**を生み出す**先端ものづくり技術**を進化させる。

-14 循環型社会の構築に向け、**バイオテクノロジー**を活用し、**環境に調和した先端ものづくり**を実現する。

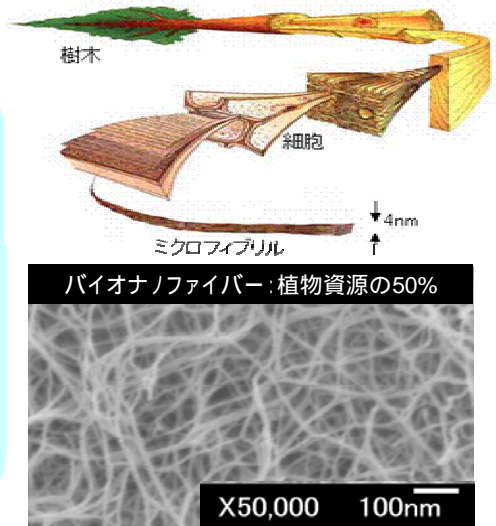
国家プロジェクトの提案

発展性

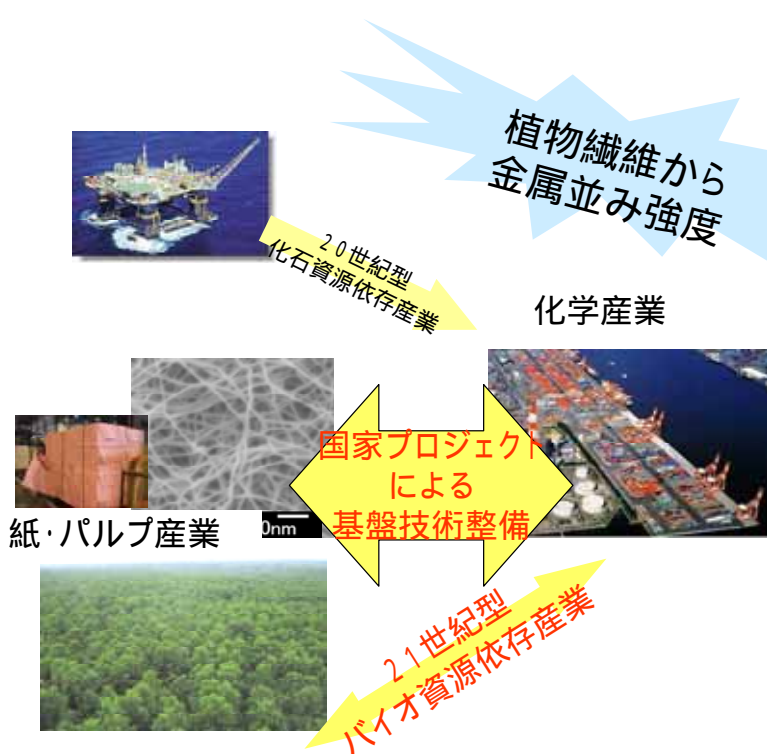
植物骨格物質先端利用の基盤技術開発

- 植物材料イノベーションのための基盤整備 -

1. 環境と経済を両立し持続可能な発展を実現するために、
 2. 革新を続ける強靱な経済・産業を実現するために、
- 20世紀を支えた枯渇性資源ベースの「もの作り」から、自国の植物資源ベースで、それを性能的に凌駕する「もの作り」を実現する「植物材料イノベーション」が必要である。そのためには、**先端ものづくりを主導する「バイオナノマテリアル産業」**を、**世界に先駆け創成するための基盤技術整備が急務である。**



植物材料イノベーションのイメージ



バイオナノマテリアルによる未来材料

自動車

軽量で強いボディ材料。燃費向上

家電品

耐衝撃に優れ、リサイクル容易な筐体材料

建材

高強度でリサイクル可能な建築材料

IT部品

高機能・高性能で環境に優しいIT部材

包装・容器

ガスバリア性、耐衝撃性に優れ、環境に優しい容器

用途開発

兆円産業

バイオナノファイバーの製造と利用に関する欧米の研究動向調査

概要

世界初のバイオナノマテリアル産業創成のための国家プロジェクト立ち上げに向けて、欧米における関連技術の動向を広い視野から調査し、国際共同研究の可能性を探ると共に、バイオナノファイバー系材料の現状・ポテンシャル、さらには未来像を明らかにする。

研究調査の目標

欧米におけるバイオナノファイバーの製造・機能化・構造化技術、ナノコンポジットの製造・利用技術を総合的に調査し、バイオナノマテリアル産業の基盤整備を行う国家プロジェクトにおける研究開発の進むべき方向、特許戦略、そのために必要な国内外の研究コミュニティ形成について明らかにする。

異なる分野の第一線で活躍している研究者による
調査団

調査員



矢野@京大,木質科学

協力者



白杵@豊田中研
ナノ複合材料科学



岡本@近大
天然有機化学



北川@京都市産技研
グリーンコンポジット



西野@神戸大
高分子科学



杉山@京大
セルロース科学



高木@徳島大
機械工学



岸@兵庫県立大
バイオベースポリマー



遠藤・李@産総研
セルロース科学



研究調査の項目及びその内容

1. バイオナノファイバーの製造とその利用に関する特許調査

国家プロジェクトの立ち上げ、新産業創成のために、一部外注により専門家のアドバイスを受けながら、国内外における関連技術特許の本格的調査を行う。

2. バイオナノファイバーの製造とその利用に関する文献調査

国家プロジェクト立ち上げのために、バイオナノファイバー製造とその利用に関する技術およびナノコンポジット、バイオマテリアルにおける関連技術について、一部外注により専門家のアドバイスを受けながら、網羅的に、文献調査を進める。

3. バイオナノファイバー製造とその利用に関する関連研究機関の動向の現地調査(29機関)

国家プロジェクト立ち上げのために、上記の文献・特許調査に加え、バイオナノファイバー研究を進めている欧米の関連機関を実際に訪問し、文献、特許には現れていない最新の研究成果、研究体制、研究設備等について情報を収集する(海外調査の必要性)。それを、プロジェクト研究の進むべき方向、特許戦略、そのための研究コミュニティ形成の観点から戦略的に分析する。

本現地調査の特徴は、以下の通り。

- 1) 木質科学(矢野)、セルロース科学(杉山、遠藤)、天然有機化学(岡本)、バイオベースポリマー(岸)、高分子科学(西野)、ナノ複合材料科学(白杵)、機械工学(高木)、グリーンコンポジット(北川、李)といった、異なる分野の第一線で活躍している研究者により調査団を組み、
- 2) 国際誌や国際学会プログラムの調査に基づき明らかにしたバイオナノファイバー、マテリアル研究に関し先端的研究を行っている欧米の研究機関を訪問し、最新の研究動向を調査するとともに、今後の国際共同研究立ち上げのためのコミュニティ形成を図る。

4. 委員会開催および報告書の作成

申請者、調査協力者、関連研究者による委員会を通じて、バイオナノファイバーの製造と利用に関する欧米の研究について整理するとともに、研究調査結果をもとに報告書を作成する。

欧州調査

3回,12機関



Dr. Eichhorn
Univ. of
Manchester



Prof. Peijs,
London Univ



Prof. Dufresne,
EFPIG Univ



Prof. Chanzy and
Dr. Nishiyama,
CERMAV



Prof. Riekkel,
ESRF



Dr. Gindl,
BOKU



Dr. Zimmermann,
EMPA



Prof. Oksman,
Lulea Univ



Prof. Berglund,
KTH



左端がDr. Stahlberg, SLU



ESEMを操作するProf. Daniel, SLU

Prof. Lindstrom
STFI-PACKFORST

Prof. Tuula Teeri
(スウェーデン王立
工科大学KTH)

第1,2次
北米調査
11機関



Dr. Tichy,
Washington St. Univ.



Prof. Rowell,
FPL, USDA



Prof. Sain,
Univ. Toronto



Prof. Gray,
McGill Univ.



Prof. Hoa
Concordia Univ.



Dr. Winter,
SUNY-ESF



Dr. J. Denault
IMI, NRCC



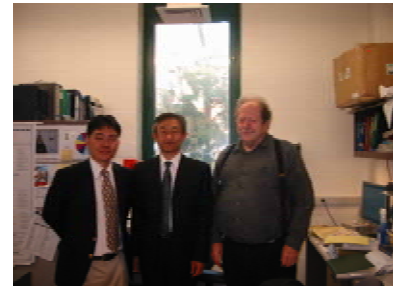
Prof. Chou
Univ. Delaware



Prof. Netravali,
Cornell Univ.

USDA, WRRRC
Dr. Orts

Prof. Ngo,
Universite du Quebec



第3次
北米調査
6機関



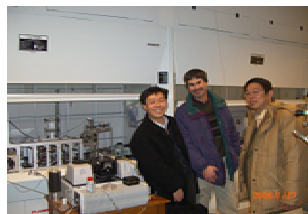
Michigan州立大学
Prof. DrzalとProf. Mohanty教授



North Carolina州立大学
(Prof. Argyropoulos)



Maine州立大学
(Prof. Gardner)



Prof. Bousfield



Minnesota大学
(Dr. Tze)



Oregon州立大学
(Dr. Simonsen)

University of Tennessee大学
(Tim Rials教授、Siqun Wang博士)

「Japan-Sweden Workshop on NanoComposites」

Nov.,7,2006 at KTH, Sweden

講演者および講演タイトル

Keynote:

A. Usuki, TOYOTA Central R&D Labs, "Polymer clay nanocomposites work at Toyota"

U. Gedde, KTH, "Nanocomposites, barriers and fire retardancy"

L. Fogelström, KTH, "Nanocomposite coatings"

R. Olsson, KTH, Nanocomposites based on magnetic particles

T. Iversen, STFI-Packforsk, "Inorganic nanostructure from wood substrates"

T. Lindström, STFI-Packforsk, "Nanoscale microfibril and layered silicate disintegration and exfoliation into stable suspensions"

L. Wågberg, KTH, "Cellulose nanocrystals and model surfaces"

T. Nishino, Kobe, Univ., "All-cellulose composites"

H. Yano, Kyoto Univ., "Cellulose Nanocomposites and their applications"

K. Abe, Kyoto Univ., "Disintegration of cellulose microfibrils"

L. Berglund, KTH, "Cellulose nanocomposites" **11件の講演**

