

平成 22 年度
地域新成長産業創出促進事業

バイオマス・ファインケミカルズ・リファイナリー
システム構築に係る事業性調査
報 告 書

平成 23 年 2 月

中国経済産業局

はじめに

バイオマスは持続的に再生可能な資源であることから、エネルギー源又は製品の原材料として利用することは、地球温暖化の防止や循環型社会の形成に大きく貢献するものです。

また、バイオマスを活用した新たな産業の発展、国際競争力の強化、および、地域の活性化等の効果が期待されることから、その活用の推進に向け、平成22年12月に「バイオマス活用推進基本計画」が策定されました。

木質バイオマス資源に恵まれる中国地域においても、バイオマスのエネルギー・マテリアル利用による新事業が創出され、雇用の拡大に結びついている地域も生まれています。一方で、広範囲に薄く存在するバイオマスを効率的に利用する仕組みの構築に至らず、経済性が確保できないため、事業化が進まない事例も見られます。

本調査では、地域におけるバイオマスの高付加価値利用に取り組む産業のあり方について、経済性を重視し、効率的な収集・運搬システムを確立している地域において、地域内で一次加工等を行う川中産業がバイオマスの価値をどこまで高められるかという視点から、その可能性・事業性を検討・整理しました。

中国地域で木質バイオマスのマテリアル・ケミカルの新製品に取り組む企業等の現状とユーザー側である素材メーカー等のニーズとともに、最新の技術開発・市場動向等を把握し、今後のバイオマス由来製品の市場展開の方向を調査しました。

中長期には、木質の特性を活かしながら、医薬品・食品・機能性材料といった少量生産で付加価値の高い製品（ファインケミカルズ）を目指し、技術開発を進めながら取り組むべき分野が存在します。他方、比較的ローテクですぐに事業化に取り組み、売上確保を目指すべき分野も、地域の実情やリファイナリーの観点から求められており、当面は石油由来製品とのブレンドやその代替市場を目指すことも選択肢として考えられます。

また、中山間地域等に豊富に存在するバイオマスを原料とした産業を地域から考える場合、木や竹の特徴や産業の集積といった地域の特性を活かしたブランド化の発想も求められます。

本調査を参考としていただき、地域の関係者の連携・協力による取り組みにより、国内の貴重な資源である木質バイオマスが有効に活用され、競争力を有する新産業が生まれ、活性化に繋がるとともに、低炭素・循環型の社会システム構築に寄与することができれば幸甚に存じます。

平成23年2月

中国経済産業局 資源エネルギー環境部 環境・リサイクル課

目 次

1. 調査の背景と目的	1
2. 調査の取り進め方について	3
3. 調査結果と考察	6
3. 1. バイオマス・リファイナリー事業等への取り組み状況	6
3.1.1.木質バイオマスの利活用に関する動向	6
3.1.1.1.エネルギーとしての利用	7
3.1.1.2.マテリアル（素材）、ケミカル（化学物質）としての利用	7
3.1.1.3.マテリアル（素材）、ケミカル（化学物質）として 利活用するための処理技術	8
3.1.2.中国地域における木質バイオマスの利活用の動向	9
3.1.3.中国地域におけるバイオマстаунの例	13
3.1.4.中国地域における林業の状況	13
3.1.5.中国地域における利用可能な木材量の検討	16
3.1.5.1.平成15年度新全国総合開発計画推進調査にもとづく推計結果	16
3.1.5.2.NEDO のデータベース「バイオマス賦存量・利用可能量の推計」に 基づく方法	16
3. 2. 木質バイオマス関連技術開発・市場動向等の状況	18
3.2.1.「燃料製造」、「熱利用」、「発電」などエネルギーに関する利用	18
3.2.2.マテリアル（素材）・ケミカル（化学物質）としての利用	19
3.2.3.個々の利活用状況と処理技術	24
3.2.3.1.木粉	24
3.2.3.2.ウッドプラスチック（WPC）	27
3.2.3.3.粉碎技術	30
3.2.3.4.セルロースナノファイバー	31
3.2.3.5.糖化法及びバイオリファイナリー	34
3.2.3.6.リグニン	37
3.2.3.7.テルペン、ロジン	41
3.2.3.8.竹資源の利活用	43
3. 3. 素材メーカー等におけるバイオマス資源の利活用ニーズの状況	46
3.3.1.木粉	46
1) 中国地域での動向	46

2) その他の地域での動向	47
3.3.2. ウッドプラスチック (WPC)	49
1) 中国地域での動向	49
2) その他の地域での動向	49
3.3.3. 粉碎技術及びセルロースナノファイバー	50
1) 中国地域での動向	50
2) その他の地域での動向	52
3.3.4. 糖化法及びバイオリファイナリー	52
1) 中国地域での動向	52
2) その他の地域での動向	53
3.3.5. リグニン	54
1) 中国地域での動向	54
2) その他の地域での動向	56
3.3.6. テルペングリセリド、ロジン	57
1) 中国地域での動向	57
2) その他の地域での動向	57
3.3.7. 竹資源の利活用	58
1) 中国地域での動向	59
2) その他の地域での動向	60
3. 4. 中国地域における木質バイオマス・ファインケミカルズ・リファイナリーシステムの展開方向の提案	61
3.4.1. 展開方向について	61
1) 「石油資源の代替用途」よりも「木質の特質を利用した用途」を 目指した製品開発	61
2) 「一般的な用途」よりも「高付加価値の用途」を目指した製品開発	62
3) 「当面行うべき製品開発」と「時間を要する製品開発」を 区別した取り組み	63
4) リファイナリーとして、木質バイオマスを余すことなく有効利用	64
5) 地域の特性を活かした仕組み作り	65
3.4.2. 既存産業における木質バイオマス・(ファインケミカル)・リファイナリーの例	66
3.4.3. 木質素材を中心としたシステム (真庭市)	68
3.4.4. リグニン利用を中心としたシステム (隠岐の島町)	71
3.4.5. 竹を中心としたシステム	74

3. 5. 木質バイオマス・リフィナリーシステム構築の実現方策と課題の検討	75
3.5.1.バイオマスリファイナリーシステムの概要	75
3.5.2.木粉を中心とした木質バイオマス・リフィナリーシステム	76
3.5.3.リグニンを中心とした木質バイオマス・リフィナリーシステム	78
4.まとめ	80
4. 1. 現状のまとめ	80
4. 2. 実現方策と課題について	82
 5. 添付資料	87
5. 1. NEDO のデータベース「バイオマス賦存量・利用可能量の推計」 からの針葉樹広葉樹の解析例	87
5. 2. バイオマスリファイナリーの説明	90
5. 3. 個々の技術の詳細説明	95
5.3.1.木粉	95
5.3.2.ウッドプラスチック (WPC)	99
5.3.3.ナノファイバー	101
5.3.4.オリゴ糖、単糖類	106
5.3.5.糖化技術	110
5.3.6.リグニン	114
5.3.7.テルペン	122
5.3.8.竹資源	129
5.3.9.化学産業（素材産業）における原料と製品の俯瞰図	135
 参考文献	136

1. 調査の背景と目的

地域新成長産業創出促進事業は、国の成長戦略や産業政策等と協調しつつ、地域の産業界、大学等研究機関、地方自治体、支援機関等による広範なネットワークを構築し、新たな事業活動やイノベーションの創出につながるような先導的事業の実施を通じて、地域ごとに新たな成長産業群を創出することを目指している。

低炭素社会、資源循環型社会への要請が高まる中で、針葉樹の蓄積量も多く、木質バイオマス資源に恵まれる中国地域において、バイオマスの高度利用に係る基盤技術産業等を重点的に支援し、石油代替の素材、燃料等を安定的・効率的に供給できる体制を構築するとともに、需用者であるコンビナート立地企業等における低炭素化・環境対応のニーズに対応することにより、地域の中小企業等から付加価値の高い新産業を創出し、これを通じて地域の産業高度化、活性化を図る。

本調査は、中国地域で木質バイオマス事業に取り組む地域の企業等の実態とユーザーである素材メーカー等のニーズを明らかにする一方、最新の技術開発・市場動向等を把握し、中国地域において展開が見込まれるバイオマス・ファインケミカルズ・リファイナリーシステムの全体像を描くとともに、広域的視点に立った産官学連携による素材・燃料等としての安定供給体制の構築に向けた対応方策や課題などを明らかにすることを目的とする。

なお、国のバイオマス利活用に関する動向として、平成 22 年 12 月に「バイオマス活用推進基本計画」が公表されている。バイオマス活用推進基本法（平成 21 年法律第 52 号）に基づく、「バイオマス活用推進基本計画」として閣議決定されている。

バイオマス活用推進基本計画（平成 22 年 12 月 17 日閣議決定）

本日閣議で決定された「バイオマス活用推進基本計画」は、バイオマス活用推進基本法（平成 21 年法律第 52 号）に基づき、バイオマスの活用の促進に関する施策についての基本的な方針、国が達成すべき目標、技術の研究開発に関する事項等について定める計画です。

バイオマス活用推進基本計画の概要

第 1 施策についての基本的な方針

バイオマス供給者である農林漁業者、バイオマス製品の製造事業者、地方公共団体、関係府省等が一体となって、バイオマスの最大限の有効活用を推進することとしています。

第 2 国が達成すべき目標（目標年次：2020 年）

目標としては、600 市町村においてバイオマス活用推進計画を策定すること、バイオマスを活用する約 5,000 億円規模の新産業を創出すること、炭素量換算で約 2,600 万トンのバイオマスを活用すること等としています。

また、バイオマス活用推進計画の策定市町村については、取組効果の検証、課題解決のための技術情報の提供等により、確実な効果の発現を図るとともに、現在ほとんど活用されていない林地残材の有効活用等により、バイオマスの活用を推進することとしています。

第 3 政府が総合的かつ効果的に講すべき施策

第 2 に掲げた目標の達成に向けて、バイオマスの活用に必要な基盤の整備、農山漁村の 6 次産業化等によるバイオマス製品等を供給する事業の創出、研究開発、人材育成等を推進することとしています。

第 4 技術の研究開発に関する事項

バイオマスの新たな有効利用技術の開発とともに、バイオマスの収集・運搬から加工・利用までを総合的に捉えた技術体系の確立を推進するとともに、長期的な観点から、バイオマス生産効率の優れた藻類等、将来的な利用が期待される新たなバイオマス資源の創出を推進することとしています。

注：「バイオマス活用推進基本計画」に関する URL 情報 http://www.maff.go.jp/j/biomass/b_kihonho/index.html

2. 調査の取り進め方について

調査の取り進めの流れについて、以下にフロー図として示した。

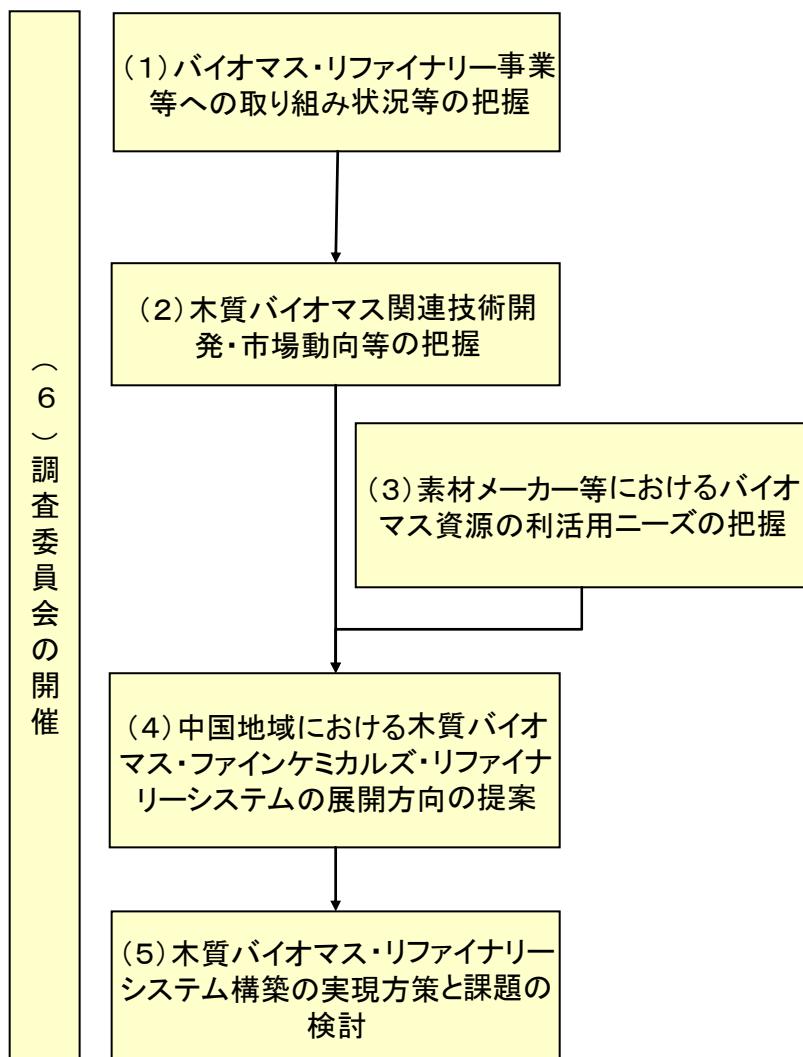


図1 調査の取り進めの流れ

上記した調査フローのように、(1) 中国地域における木質バイオマス・リファイナリー関連事業等への取り組み状況や(2) 木質バイオマス・リファイナリー関連技術の開発動向、市場動向や今後の展望などの調査と行うと同時に(3) 中国地域におけるユーザーである素材メーカー等へのヒアリングを行い、木質バイオマス・リファイナリー事業における素材としての利活用ニーズ等を把握した。これらをふまえて、(4) バイオマス・リファイナリー関連技術・事業の集積を図る複数の地域モデルを想定し木質バイオマス・リファ

イナリーシステムの全体像について提案を行った。

また、(4)で提案した木質バイオマス・リファイナリーシステムを構築するにあたり、対応すべき課題及び当面5年間程度で実施する方策について検討した。

各調査項目と調査内容について、以下の表にまとめた。

表1 調査項目と調査内容

番号	調査の項目	調査の内容
(1)	バイオマス・リファイナリー事業等への取り組み状況等の把握	中国地域における木質バイオマス・リファイナリー関連事業等への取り組み状況（地域、企業、組織・団体、自治体）等について把握する。
(2)	木質バイオマス関連技術開発・市場動向等の把握	(1)での取り組み状況等をふまえ、関連研究機関等へのヒアリング等により、中国地域での展開を視野においた木質バイオマス・リファイナリー関連技術の開発動向、市場動向や今後の展望等を明らかにする。
(3)	素材メーカー等におけるバイオマス資源の利活用ニーズの把握	中国地域におけるユーザーである素材メーカー等をリストアップして、ヒアリングを行い、木質バイオマス・リファイナリー事業におけるマテリアル（素材）、ケミカル（化学物質）としての利活用ニーズ等を把握する。
(4)	中国地域における木質バイオマス・ファインケミカルズ・リファイナリーシステムの展開方向の提案	(1)～(3)で得られた情報や知見を総合的に検討するとともに、中国地域の特性をふまえて、バイオマス・リファイナリー関連技術・事業の集積を図る複数の地域モデルを想定するとともに、広域連携を視野に置いた木質バイオマス・リファイナリーシステムの全体像について提案を行う。
(5)	木質バイオマス・リファイナリーシステム構築の実現方策と課題の検討	(4)で提案した木質バイオマス・リファイナリーシステムを構築するにあたり、対応すべき課題及び当面5年間程度で実施する方策について検討する。
(6)	調査委員会の開催	調査実施にあたって、有識者、研究機関、民間企業、自治体等からなる委員会を設置する。委員会は、3回程度開催する。

なお、上記(6)の調査委員会の開催に関しては、以下の委員で構成した、また、複数の地域モデルとして「島根県隠岐の島町」、「岡山県真庭市」を選定し、開催場所を変更しながら3回実施した。

表 2 委員会の構成

委員長	
坂西 欣也	(独) 産業技術総合研究所バイオマス研究センター研究センター長
委員(50音順)	
網屋 繁俊	信州大学繊維学部 特任教授
家藤 治幸	(独) 酒類総合研究所 研究企画知財部門 部門長
川村 雅人	(株) 三菱総合研究所 地域経営研究本部 チーフプランナー
仁枝 章	真庭市バイオマスリファイナリー事業推進協議会 事務局長
野中 寛	三重大学大学院生物資源学研究科 准教授
竹内 善幸	(社) 中国地域ニュービジネス協議会 コーディネータ
田村 亘弘	(社) 新技術協会 参事
オブザーバー	
森安 二九三	中国経済産業局資源エネルギー環境部環境・リサイクル課 課長
小川 恭宏	中国経済産業局資源エネルギー環境部環境・リサイクル課 課長補佐
藤村 俊文	中国経済産業局資源エネルギー環境部環境・リサイクル課 統括係長
岡田 清明	隠岐の島町定住対策課 課長(第1回)
八幡 哲	隠岐の島町定住対策課 課長補佐
井手 紘一郎	真庭市市長(第2回)
須田 実	真庭市副市長(第2回)
梶岡 知幸	真庭市産業観光部長(第2回)
宅見 幸一	真庭市産業観光部バイオマス政策課長(第2回)
長尾 卓洋	真庭市産業観光部バイオマス政策課参事(第2回)
小山 隆	真庭市産業観光部バイオマス政策課バイオマス担当(第2回)
森田 学	真庭市産業観光部バイオマス政策課バイオマス担当(第2回)
八木 久美子	真庭市産業観光部バイオマス政策課バイオマス担当(第2回)
藤原 啓	株式会社シーズ総合政策研究所 専務取締役(第1回、2回)
佐々木晶子	株式会社シーズ総合政策研究所 研究員(第1回、2回)
事務局	
(株) 三菱化学テクノリサーチ	
川畑 明	理事 九州センター センター長
崎前 明宏	広島オフィス 部長
田村 光彦	九州センター 特別研究員
渡辺 純哉	調査コンサルティング部門4部 主幹研究員
北川 道成	九州センター 主任研究員

表 3 各委員会の開催場所と討議内容

委員会	開催場所	討議内容
第1回 (10月17日)	島根県隠岐の島町	1次調査結果の説明と討議、ヒアリング項目とスケジュールの検討
第2回 (12月12日)	岡山県真庭市	ヒアリング結果のとりまとめ・システムの提案、課題の提案と検討
第3回 (2月10日)	広島県東広島市	報告書案の提案と検討

3. 調査結果と考察

3. 1. バイオマス・リフィナリー事業等への取り組み状況

3.1.1. 木質バイオマスの利活用に関する動向

木材を出発点として、その成分を有効利用するために、「熱的分解」、「化学的処理」、「微生物的処理」、「物理的処理」などを行った場合に誘導される製品群を以下の図に示した。

「熱的分解」では、木材を直接的に加熱して、分解することにより、合成ガス（CO と H₂）が発生すると同時にタールや硫黄成分（S）が発生する。タールや硫黄成分（S）を分離除去した後に、メタノールやジメチルエーテル（DME）、また、FT 合成（Fischer-Tropsh 合成）により、ポリオレフィン類などに誘導することができる。このプロセスは、石油化学において用いられている方法と同様であり、石油資源の代替として位置づけられる。

一方、硫酸を用いて、単糖類を取り出して、発酵により、エタノールに変換することが行われる。これらの用途としては、化学原料以外に燃料としての用途がある。

また、有機溶媒法、水熱法、アルカリ法、超・亜臨界法、白色腐朽菌法などを用いて、分子レベルまでに分解するのではなく、「テルペニン類」、「セルロース」、「ヘミセルロース」、「リグニン」などの木質の構成単位に分離して、マテリアルやケミカルとして利用することが行われる。ただし、得られる成分の組成や化学構造などは、その方法によって異なっている。

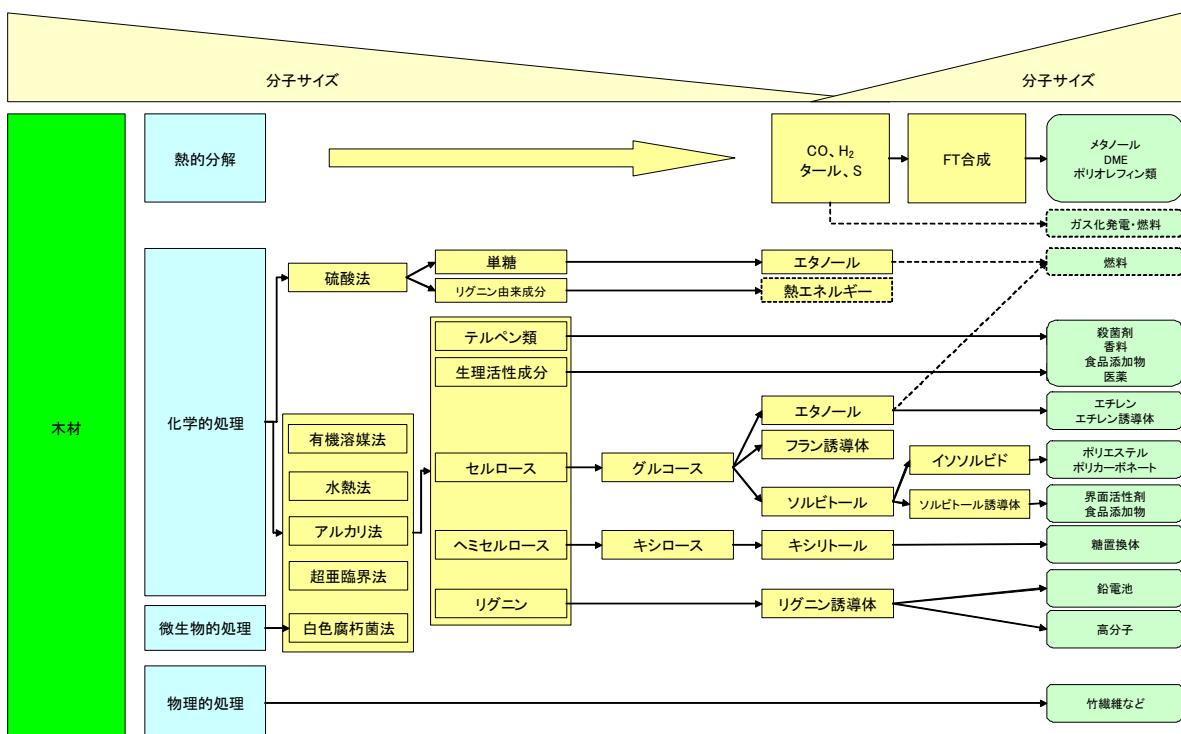


図2 木質バイオマス・リフィナリーシステムの技術俯瞰図

このような種々の木質利用の技術に着目して、木材の成分をあますことなく利用する「木質バイオマス・リファイナリーシステム」の構築を図る上での課題を整理する。

3.1.1.1. エネルギーとしての利用

バイオマス、特に木質系のバイオマスについては、過去から多くのエネルギー利用の検討が行われている。以下には「研究開発」、「実証」、「実用化」レベルにある技術を整理した図を示した。特に、エネルギー変換プロセスとして、「直接燃焼熱利用」、「直接燃焼蒸気タービン発電・熱電供給」、「(ペレット化)」などが実用化レベルにある。一方で、「バイオマス・石炭混焼技術」、「ガス化・ガスエンジン・ガスタービン発電」、「ガス化メタノール・DME合成」、「スラリー燃料化」、「直接液化」、「超臨界メタノール利用燃料油製造」、「酸加水分解エタノール発酵」などの実証レベルにある技術なども知られている。

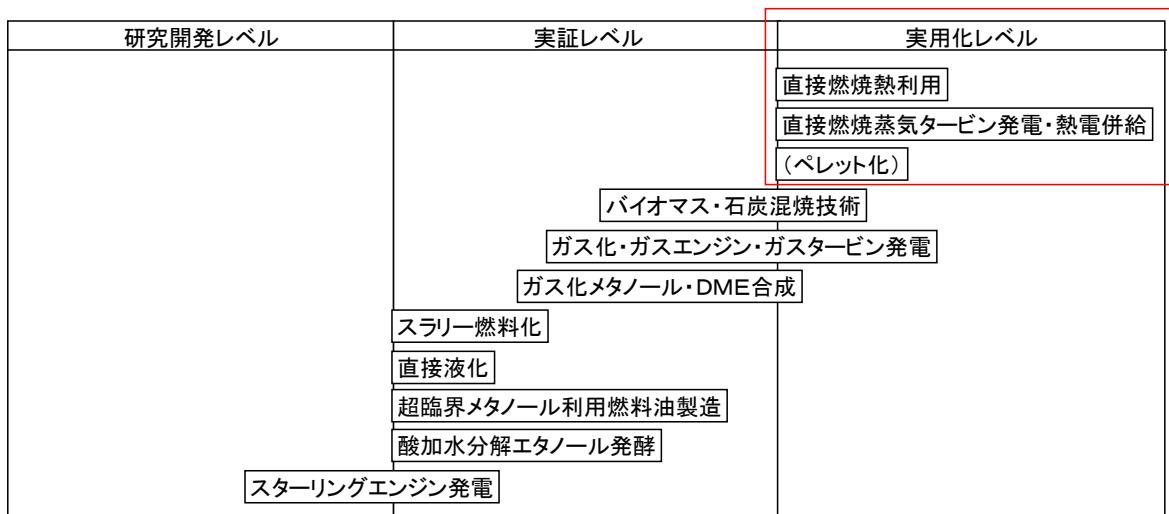


図3 木質バイオマスのエネルギー変換プロセス

出典：「産総研におけるバイオマス研究基礎戦略」 産業技術総合研究所（2003年12月）をもとに作成

3.1.1.2. マテリアル（素材）、ケミカル（化学物質）としての利用

このようなエネルギーとしての利活用に対して、マテリアル（素材）やケミカル（化学物質）として、用いることも多く検討されている。

古くからの例としては、建材や家具といった利活用や、製紙業界における紙パルプとしての利用が知られている。

これらの森林資源である木質バイオマスの有効利用については、例えば、林野庁が公表している「これからの中質バイオマス利用」(H20年5月)の資料などにまとめられている。以下には、林野庁の資料を抜粋して示した。ここでは、木質バイオマスの利用に関して、

事業化段階にあるものと技術開発段階にあるものが示されている。なお、調査にあたっては、これらの整理結果を参考にして、実用・開発段階なども踏まえて、現状の技術と今後の技術について整理が行えるようにヒアリング先を抽出して選定した。

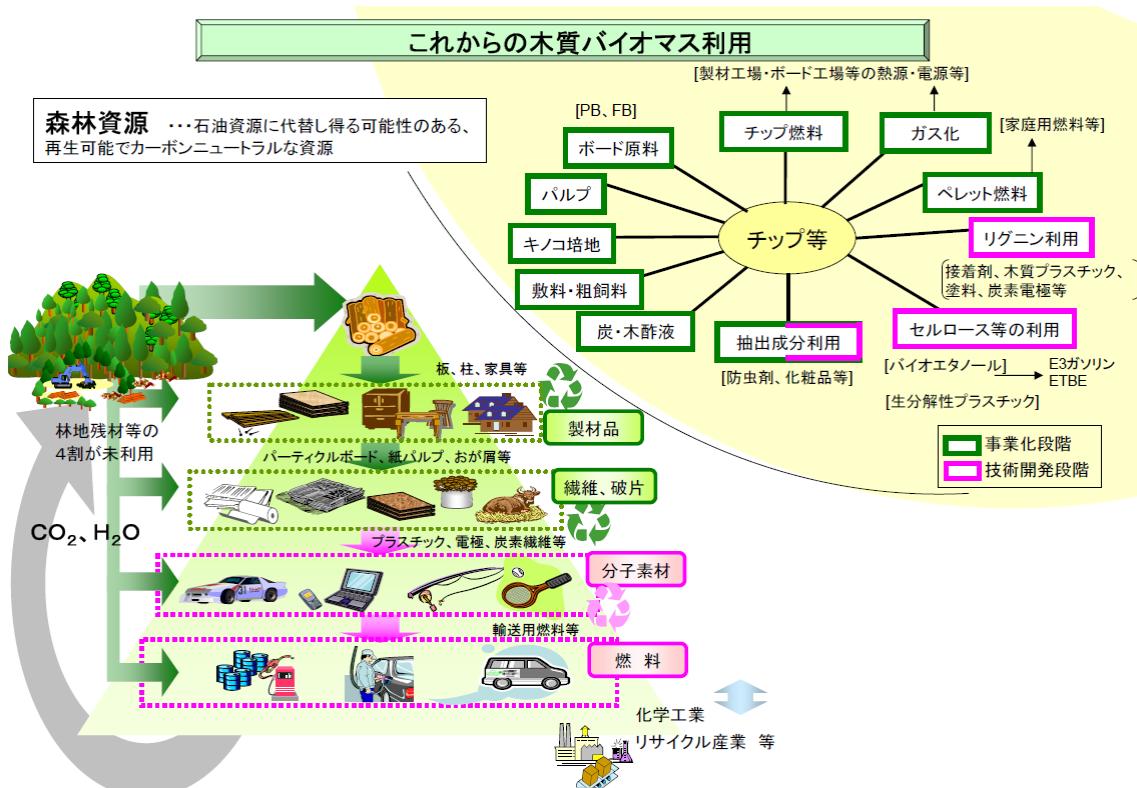


図4 木質バイオマスの利用

出典：森林・林業の現状と木質バイオマスの利用」林野庁研究・保全課（平成20年5月）より抜粋

なお、上図では、燃料（エネルギー）としての利用だけでなく、分子素材、繊維、破片、製材品など素材（マテリアル）としての利用も記載されている。これらの用途の幾つかは、いわゆる高付加価値の化学製品であるファインケミカル製品を含んでいる。

3.1.1.3.マテリアル（素材）、ケミカル（化学物質）として利活用するための処理技術

一方、科学技術振興機構の「第三世代バイオマス技術の日米欧研究開発比較」には、これらのマテリアル（素材）、ケミカル（化学物質）を利活用するために行うべき各々の処理技術の研究開発状況が記載されている。各項目を以下の表に整理して示した。

表 4 木質バイオマスの利活用技術に関する日本の研究開発状況

プロセス	研究開発内容
前処理 分解糖化	微生物による選択的脱リグニン法 濃硫酸+酵素糖化 水熱+酵素糖化 セルラーゼ、セルロソームの高機能化 白色腐朽菌によるリグニン分解除去技術
水熱処理	分解・糖化技術
発酵	5員環糖/6員環糖 並行発酵技術 糖化と発酵の同時進行技術
リグニン変換	生化学的変換技術
BDF 変換	均相触媒法、固体触媒法、超臨界アルコール法など
ガス化	ガス化時のタール対策などのフィルタ処理技術など
材料併産	ポリ乳酸、生分解プラスチック製造の個別技術開発
炭化	常圧での炭化技術

出典：科学技術振興機構の「第三世代バイオマス技術の日米欧研究開発比較」をもとに作成

3.1.2.中国地域における木質バイオマスの利活用の動向

中国地域においては、東広島に産業技術総合研究所のバイオマス研究センターが立地しており、木質バイオマスに関する研究開発が盛んであるといえる。また、岡山県工業技術センターにおいても木質バイオマスに関連した研究開発が行われている。地方独立行政法人 山口県産業技術センターなどでも検討が行われている他に、木材に関する検討としては、岡山県農林水産総合センター森林研究所などでも検討例がある。

以下には、中国地域における木質バイオマスの利用に関して、重要と思われる大学・研究機関の例を示した。また、幾つかの研究期間における主要な検討テーマについて、整理したものを表として示した。

表 5 中国地域の大学・研究機関における木質バイオマス利用に係る動き

大学・研究機関	主な動向
(独) 産業技術総合研究所 バイオマス研究センター	木質バイオマス、水熱処理、プロセスシミュレーション等
鳥取大学農学部 生物資源環境学科 / 工学部	木質バイオエタノールなど
鳥取大学工学部・化学・生物応用工学専攻	バイオエタノール
鳥取大学医学部保健学科/地域環境学科	テルペン含有バイオディーゼル
鳥取大学工学部・化学・生物応用工学	グルコース同時糖化発酵、キシリトール発酵
鳥取大学生物資源学部森林環境学	バイオマス搬出システム、燃料利用
鳥取大学農学部	植物性廃棄物の炭素資源化(土壤改良)
島根大学総合理工学部プロセス工学	テルペノイド(精油の抽出、有効利用) 木材接着、塗装性、木酢液、竹酢液 木質材料学(木質系素材開発、評価)
島根県中山間地域研究センター資源環境グループ	木材グループ、資源環境グループ、森林保護育成グループの研究課題
岡山大学農学部 総合農業科学科	天然生理活性化合物の探索

大学・研究機関	主な動向
岡山大学工学部生物機能工学科	グリセロール由来バイオリファイナリー リグニン、糖、精油の有機電解 グリーン生産システムシミュレーション バイオマス資源有効利用
岡山大学自然科学研究科	ポリ L、D 乳酸
岡山大学環境科学研究科	フィッシャートロップッシュ合成
岡山大学医歯薬学部総合研究科	精油成分抗真菌作用
岡山県工業技術センター	セルロース系バイオマス微粉碎
広島大学バイオマスプロジェクト研究センター	超臨界流体を用いたバイオマス利用 バイオマススターリングエンジン バイオディーゼル
広島大学大学院工学研究科	バイオディーゼル関連技術、竹炭土壤改良 食品化学、バイオマス炭化
広島市立大学情報科学科	バイオエネルギー生産
福山大学生命工学部	バイオマスエネルギー変換
山口大学工学部機械設計工学科	グリーンコンポジット、竹コンポジット
山口大学工学部循環環境工学科	木質起源分離膜材料、バイオエタノール分離濃縮技術
山口大学大学院医学系研究科（農学）	バイオエタノール発酵微生物
山口大学医学系研究科応用分子生命科学	バイオエタノール、耐熱酵素
山口大学農学部	バイオエタノール供給量の評価
山口県産業技術センター環境技術グループ	セルロース解重合、木質系バイオマスの熱分解

表 6 地方独立行政法人 鳥取県産業技術センターにおける検討テーマ

担当科	研究区分	研究期間	事業名	目的・内容
有機材料	実用化研究	17~19	高温高圧水を用いた 県産バイオマスの利 用技術に関する研究	環境に優しい「高温高圧水」を利用して、 県産バイオマス（県産スギ材、木質廃棄物）を有効に利用する技術を開発する。
有機材料	経常研究	17~18	木質系床材の製品性 能向上に関する研究	加工・生産が容易なフローリング材を開 発するため、フローリング材として必要 な製品性能（含水率、変形程度等）を明 らかにする。

表 7 島根県産業技術センターにおける検討テーマ

研究テーマ名	研究内容	担当G名	事業名
地域材を利用した新規建材の開発（H21～H23）	地域材を利用した建材の開発は全国各地で行われているが、技術開発のみ先行し、コストなども含めて市場化を見据えたものにはなっていない。また、島根県においてまだ建材の開発の動きは鈍い。そこで、これまで当センターが行ってきた研究成果をベースに県内企業と協力して新たな建材を市场化するための枠組みづくりを行う。	材料技術グループ	県単基礎研究
天然由来資源を用いた活性炭の製造およびEDLCへの応用（H21～H23）	石見銀山遺跡の周辺に限らず、放置竹林が問題となっている。この天然資源である竹は、CO ₂ を発生しない環境に優しい工業原料となる。本研究では、この竹を原料として、今後の大いな需要が見込まれる、電気二重層キャパシタ（EDLC）の材料となる高性能活性炭の開発を目指す。	環境技術グループ	県単基礎研究

表 8 岡山県工業技術センターにおける主要検討テーマ

[平成 21 年度]

事業名	テーマ	内容	担当部署
低炭素社会に向けた社会システム実証モデル事業	セルロース系資源微粉碎技術の開発による「岡山グリーンバイオプロジェクト」の推進	セルロース系(木質系)バイオマスは強固で安定な組織構造を有するため、低分子化工程に要する多大なエネルギーとコストが産業利用の妨げとなっている。本研究では、低エネルギー・低成本で木材を微粉碎する技術を開発するとともに、バイオエタノール製造に最適な微粉碎物スラリーの諸性質を明らかにする。	化学・新素材
グリーンバイオプロジェクト	セルロース系バイオマスの微粉碎処理による纖維状粉体の開発(乾式)	ミクロサイズに微粉碎された木質系バイオマスの素材としての付加価値を高めるためには、纖維構造のダウンサイジング化と各種用途に適した表面化学修飾が必要となる。本研究では、乾式粉碎加工により調製したセルロース系粉碎物の効率的低分子化技術と局部的親水化技術の開発を行う。	化学・新素材
(機能性食品の研究)	セルロース系バイオマスの微粉碎処理による纖維状粉体の開発(湿式)	間伐材などの未利用木質系バイオマスをセルロース系纖維素材の原料として利用するためには、粉碎加工技術が重要な要素となる。本研究では、石臼式および高せん断高圧式微粉碎装置を用いて木材チップをミクロ・ナノレベルの纖維状粉体に加工する条件ならびに得られた纖維状粉体の物理的諸特性について調べる。	食品技術
実用化技術開発事業	バイオマス製品の有効利用に関する技術開発	炭製品は多孔質素材として、調湿性能、揮発性有機化合物(VOC)除去性能、脱臭性能等を発揮することから、室内環境を向上させる為の建材等で実用化されている。本研究では、バイオマス資源を用いて製造された炭系多孔質素材を中心とするバイオマス製品の実用化を目的として、健康で快適な環境を実現するための製品開発及び性能評価を行う。	化学・新素材

[平成 20 年度]

事業名	テーマ	内容	担当部署
戦略的基盤技術高度化支援事業	セルロース系バイオマスの分散型超高効率エタノール生産システムの開発	小麦フスマを基質として用いセルラーゼの生産性を向上させる固体培養法を確立した。これを含めセルロース系バイオマス素材(小麦フスマ)を有効にエタノール化するための要素技術を確立することができた。これによりバイオマスを有効利用し効率的にエタノールが生産できるシステムの構築に貢献できる。	食品技術
実用化技術開発事業	バイオマス製品の有効利用に関する技術開発	炭製品は多孔質素材として、揮発性有機化合物(VOC)除去性能、脱臭性能等を発揮することから、室内環境を向上させる為の建材等に利用されている。本研究では、バイオマス資源を用いて製造された炭系多孔質素材の吸着性能回復性について調べた。その結果、臭気物質であるアンモニアを飽和吸着させた後、温水に浸漬処理することによって吸着性能が回復することが分かった。	纖維・新素材

[平成 19 年度]

事業名	テーマ	内容	担当部署
戦略的基盤技術高度化支援事業	セルロース系バイオマスの分散型超高効率エタノール	セルロース系バイオマス素材(小麦麸、米糠、稻殼)を基質として、固体培養により生成される糸状菌由来の複合酵素(セルラーゼ系酵素:セルロースを低分子化セル	食品技術

	生産システムの開発	ロース、セロオリゴ糖、グルコースにまで分解する)により、効率的にエタノールが生産できるシステムを構築することを目的に、セルラーゼの効率的生産に必要な培養条件(因子)を検討した。その結果、実証プラントに適応可能なモデルとしてスケールアップした固体培養系を構築した。	
ものづくり 試作開発支援事業	バイオマス製品の有効利用に関する技術開発	バイオマスの有効利用として、高機能材料や高性能製品の開発(バイオマス素材のマテリアル利用)が求められている。本研究では、炭を中心とした製品開発及び、炭製品の室内空気環境を向上させる性能の評価を行った。臭気ガスの吸着性能評価法と吸放湿性試験法を新たに開発して、炭製品を評価した結果、炭製品の高い臭気ガス吸着性と吸放湿性が確認された。	繊維・新素材

表 9 岡山県農林水産総合センター森林研究所における検討テーマ

平成 21 年度 実施課題
岡山県産ヒノキ材の接合性能評価による適用部材選別基準の検討
ヒノキラミナの強度性能評価
既存土木用木製構造物の耐用限界評価技術の開発
地域産材を活用した規格木材を生産するための乾燥技術の開発・改良

表 10 広島県立総合技術研究所における検討テーマ

センター(連携)	課題名	研究期間(年度)	備考
林技 C(西部 C)	「低コスト林業団地」における効率的な落網計画策定技術の開発	H20-22	
西部 C 東部 C	炭素繊維加工産業創出プロジェクト	H21-23	所長プロジェクト

表 11 地方独立行政法人 山口県産業技術センターにおける検討テーマ

テーマ	技術シーズ	内容	共同研究
木質バイオマスを用いた DME 製造方法の開発	①窒素をほとんど含まないガス化技術 ②生成ガス中に含まれる二酸化炭素及び水の除去技術 ③特許出願中: 特願 2008-087376	カーボンニュートラル、地球温暖化防止、中山間地域の新産業創造などの観点から、バイオマス利用の研究開発が進められていますが、バイオマスは広く分布しているために、輸送コストが大きくなることから、大規模設備だけではなく、小規模・高効率な設備の開発が重要となります。そこで、小型化・省エネ化を目指し、昇温・昇圧工程を省略した加圧ガス化・乾式ガス精製を用いた木質バイオマスからのDME(ジメチルエーテル)製造を試みました。DMEはLPG代替、ディーゼル燃料代替等として期待されています。	(独)産業技術総合研究所 中国センター

3.1.3.中国地域におけるバイオマстаунの例

バイオマス・ニッポン総合戦略推進事業として、バイオマстаун構想を策定した市町村が全国で 286 地区（2010年11月末現在）に達している。当該公表資料から抜粋した中国地域のバイオマстаунの例を示した。ここでは、木質バイオマスの取り扱い、物質、エネルギーとしての利用について一覧表にまとめている。

一方、冒頭で述べたバイオマス活用推進基本計画（平成 22 年 12 月 17 日閣議決定）であげられた課題として、バイオマстаун構想は策定したもの、構造に位置づけた目標を十分に達成できていない地域が多く存在していると述べられている。

表 12 中国地域のバイオマстаунの例

	県	所在	木質 バイオマス	物質	エネルギー
1	鳥取県	大山町	○		○
2	鳥取県	米子市	○		○
3	島根県	隱岐の島町	○		
4	島根県	安来市	○		○
5	島根県	出雲市	○	○	○
6	島根県	飯南町	○		
7	島根県	美郷町	○	○	○
8	島根県	江津市			
9	島根県	益田市	○		
10	島根県	吉賀町	○		○
11	岡山県	津山市	○		
12	岡山県	真庭市	○		○
13	岡山県	高梁市	○		
14	岡山県	新見市	○		○
15	岡山県	笠岡市笠岡湾干拓地域			○
16	広島県	庄原市	○		○
17	広島県	世羅町	○		○
18	広島県	北広島町			
19	山口県	周南市	○		
20	山口県	阿武町	○		○
21	山口県	山口市			
22	山口県	宇部市	○	○	○

出典：バイオマстаун（バイオマス・ニッポン総合戦略推進事業：平成 14 年度農林水産省補助事業）

3.1.4.中国地域における林業の状況

一方、木質バイオマスの利活用の川上側にあたる中国地域の林業の状況については、農林水産省が公表している 2010 年世界農林業センサス結果の概要から、最新のデータを抜粋して示した。

中国地域は、四国に続き、林野率が高く、鳥取、島根、岡山、広島、山口のいずれの県

においても、全国平均の林野率 66.6%に比較して高く、総土地面積に占める林野の率が高いことがわかる。

表 13 総土地面積及び林野面積

全国農業地域	都道府県	総土地面積	林野面積	現況森林面積	森林以外の草生地	林野率 (%)
全国(全国農業地域)	1	37 794 653	24 845 302	24 461 631	383 671	66.6
北海道	2	8 345 675	5 552 779	5 336 167	216 612	70.8
都府県	3	29 448 978	19 292 523	19 125 464	167 059	65.5
東北	4	6 695 131	4 624 165	4 570 889	53 276	69.1
北陸	5	2 520 649	1 636 361	1 617 984	18 377	64.9
関東・東山	6	5 045 208	2 766 097	2 750 119	15 978	54.8
東海	7	2 934 335	1 929 939	1 918 360	11 579	65.8
近畿	8	2 734 177	1 814 244	1 811 679	2 565	66.4
中国	9	3 192 151	2 331 163	2 307 235	23 928	73.0
四国	10	1 880 636	1 395 201	1 389 819	5 382	74.2
九州	11	4 219 090	2 684 491	2 654 352	30 139	63.6
沖縄	12	227 601	110 862	105 027	5 835	48.7
(都道府県)						
鳥取	43	350 726	257 806	256 491	1 315	73.5
島根	44	670 786	526 064	519 717	6 347	78.4
岡山	45	711 321	488 586	483 659	4 927	68.7
広島	46	847 927	618 912	610 631	8 281	73.0
山口	47	611 391	439 795	436 737	3 058	71.9

出典：2010年世界農林業センサス結果の概要（概数値）（平成 22 年 2 月 1 日現在）

総土地面積及び林野面積に関する注記

総土地面積：原則として国土地理院『全国都道府県市区町村別面積調』による総土地面積によった。

林野面積：「現況森林面積」に「森林以外の草生地」の面積を加えた面積をいい、不動産登記法（平成 16 年法律第 123 号）上の地目分類では山林と原野を合わせたものに該当する。

現況森林面積：調査期日現在の森林面積をいう。

森林面積：森林法（昭和 26 年法律第 249 号）第 2 条にいう「森林」をいい、山林に未立木地を加えたものに該当する。

山林：用材、薪炭材、竹材、その他の林産物の生産を行う樹木及び竹を集団的に生育させるために用いる土地をいい、不動産登記法上の地目分類のひとつである。立木地のほか、伐採跡地も含める。

森林以外の草生地：森林以外の土地で野草、かん木類が繁茂している土地をいう。なお、河川敷、けい畔、ていとう（堤塘）、道路敷、ゴルフ場等は草生していても含めない。

林野率：総土地面積に占める林野面積の割合をいう。なお、全国、全国農業地域別、都道府県別の各数値を算出する際は、総土地面積から北方四島（503,614ha）及び竹島（21ha）を除いて計算した。

また、別のデータであるが、2000 年世界農林業センサスにおいては、人工林率が示されている。

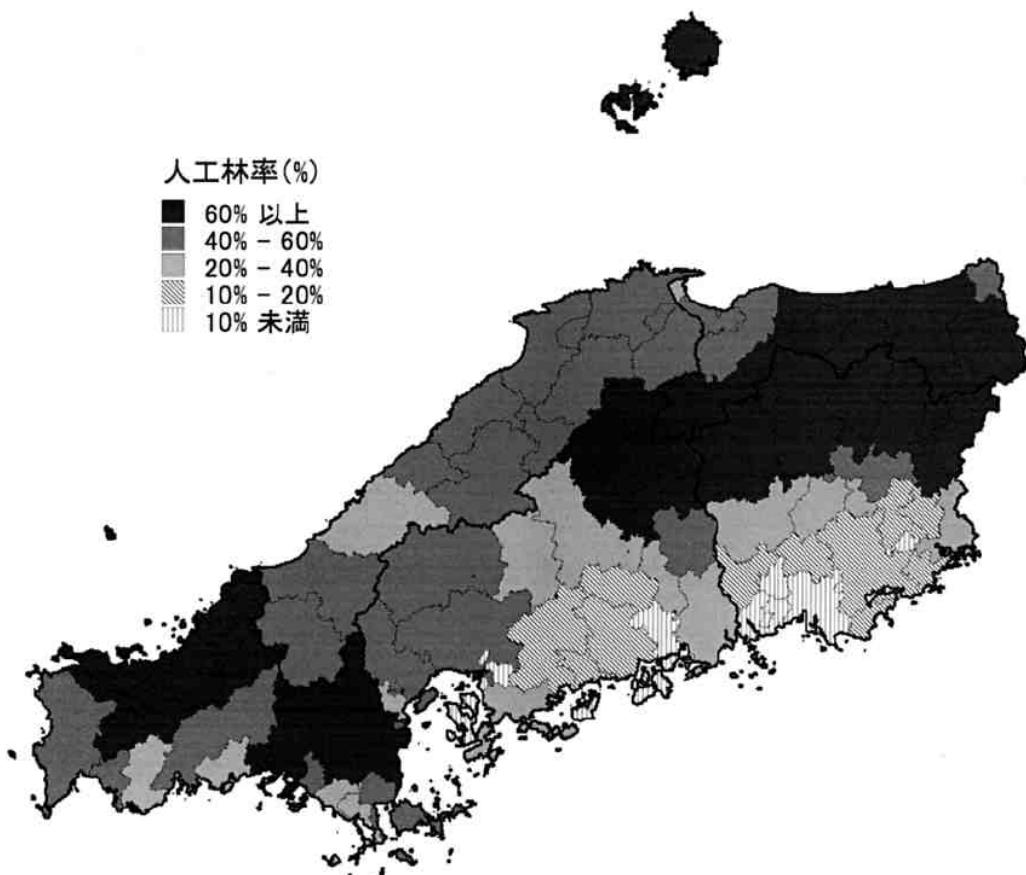


図 5 中国地域における人工林率の分布

出典：中国地域における国産材・林地残材・間伐材等の利活用方策の検討調査（平成 19 年 3 月 中国経済産業局）

農林水産省「2000 年世界農林業センサス 第 1 卷 各県統計書（林業編）」をもとに作成。

平成 19 年度の中国経済産業局の「中国地域における国産材、林地残材・間伐材等の利活用方策の検討調査」では、農林水産省 2000 年世界農林業センサスをもとに、林業地の類型化として、人工林率の高い地域を抽出している。調査によれば、特に、人工林率の高い地域は、鳥取県東部と中南部、岡山県北部、広島県北東部、山口県北部と東部となっている。代表的な林業地として鳥取県日野郡、八頭郡、岡山県津山市、真庭市、島根県、広島県庄原市、山口県岩国市、萩市などとの一致を記している。

今回の調査対象地域として、岡山県真庭市、島根県隠岐の島町などが集積基地として想定される。

3.1.5.中国地域における利用可能な木材量の検討

現状では、木質バイオマスは林業系、木材工業系および廃棄物系において、各々素材生産副産物・伐採材、産業廃棄物および一般廃棄物を経て、原料として利用（製紙用チップ、堆肥、家畜敷料、土木工事資材、パーティクルボード資材など）、熱利用（薪、木質チップ、木質ペレット、木炭など）および廃棄物処理（焼却処理、埋め立て処理など）で再利用されていると考えられる。中国地域の木質バイオマス利用量のポテンシャルの推定に関しては、NEDOのデータベースや農林水産省の公表資料などを参考にして、利用可能なポテンシャルの推定を行い、整理した。利用可能量の推計に関しては、幾つかのデータがあるが、ここでは、2つの推計結果について示した。

3.1.5.1.平成15年度新全国総合開発計画推進調査にもとづく推計結果

以下には、平成15年度新全国総合開発計画推進調査「バイオマス循環型社会形成モデル地区設定調査（中国経済産業局）」の中国地域の各県の木質バイオマス利用可能量の試算例（単位t／年）を示した。

表14 中国地域の各県の木質バイオマス利用可能量の試算例－1（単位t／年）

	鳥取県	島根県	岡山県	広島県	山口県	5県計
間伐材	53,715.0	91,722.1	187,734.3	82,827.0	100,633.8	516,632.2
林地残材	79,406.0	173,132.4	214,472.5	197,614.5	109,211.2	773,836.6
製材廃棄物	4,266.9	5,191.4	11,236.3	65,710.9	9,245.0	95,650.7
計	137,387.0	270,046.0	413,443.1	346,152.4	219,090.0	1,386,119.4

出典：平成15年度新全国総合開発計画推進調査「バイオマス循環型社会形成モデル地区設定調査

（中国経済産業局）

3.1.5.2.NEDOのデータベース「バイオマス賦存量・利用可能量の推計」に基づく方法

また、NEDOから公表されている資料を利用した中国地域の利用可能な木質バイオマスのポテンシャルの推定例を示した。

中国地域におけるバイオマスの利用可能量は、NEDOのデータベース「バイオマス賦存量・利用可能量の推計」により市町村別に林地残材賦存量・利用可能量等が与えられている。これを各県別に集計したものが表15である。体積(m³)で与えられる残材の体積は気乾比重を用いて質量(t)に換算されたものとなっている。（気乾比重：木材が通常の大気の温・湿度と平衡した水分(15%程度)を含有する状態。）

表 15 中国地域の各県のバイオマスバイオマス利用可能量の試算例－2（単位 t／年）

県名	鳥取県	島根県	岡山県	広島県	山口県
林地残材:賦存量	30,872	64,072	74,306	67,708	61,521
林地残材:利用可能量	1,523	3,000	4,268	5,397	2,554
製材所廃材:賦存量	137,104	249,679	148,469	919,822	167,405
製材所廃材:利用可能量	9,755	17,538	12,053	70,235	13,060
果樹剪定:賦存量	10,942	7,580	13,254	23,346	16,873
果樹剪定:利用可能量	8,355	5,789	10,126	17,836	12,891
公園剪定:賦存量	992	1,526	3,811	4,471	2,579
公園剪定:利用可能量	687	1,068	2,683	3,174	1,813
建築解体廃材:賦存量	17,778	29,249	53,478	85,839	46,608
建築解体廃材:利用可能量	6,934	11,407	20,857	33,477	18,177
新・増築廃材:賦存量	5,768	7,154	16,946	24,395	11,454
新・増築廃材:利用可能量	2,250	2,790	6,609	9,514	4,467

出典：NEDO バイオマス賦存量・利用可能量の推計

ホームページ：<http://app1.infoc.nedo.go.jp/index.html>

林地残材賦存量とは、切り倒した木の素材部分を除いた梢端、枝葉、その他の部分の林地算材の総量である。

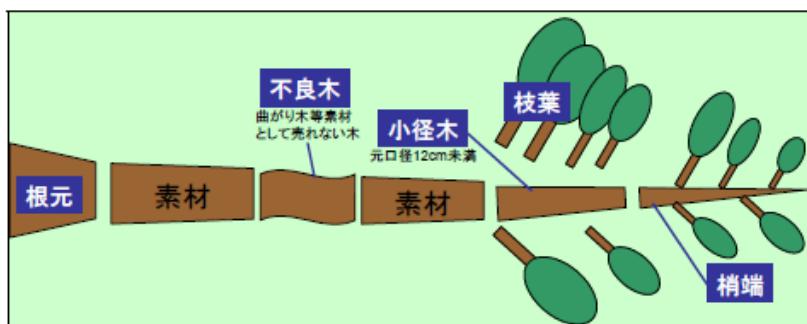


図 6 林地残材のイメージ（平成20年度 島根県木質バイオマス石炭混焼研究会報告書）

これらの賦存量に対し、搬出可能なものの、すなわち林道の両側 25m の領域を収集可能領域とし、林道延長距離から推計したものが、林地残材利用可能量となっている。

製材所での賦存量については廃材の発生量を対象とし、利用可能量については、チップや小物製材等にすでに有効利用されているものを除いた量としている。

その他に果樹剪定、公園剪定、建築廃材についての推計も行っている。（詳しい推計方法は出典 <http://app1.infoc.nedo.go.jp/index.html> を参照）

3. 2. 木質バイオマス関連技術開発・市場動向等の状況

3.2.1. 「燃料製造」、「熱利用」、「発電」などエネルギーに関する利用

木質バイオマスの利活用としては、大別して燃料や発電などのエネルギーとしての利用とマテリアル（素材）・ケミカル（化学物質）としての利用に分けられる。

前者についてみると、中国地域においては、燃料製造、熱利用、発電などに関するプロジェクトが種々行われている。以下の表には、「燃料製造」、「熱利用」、「発電」に関するNEDOのバイオマス利用のプロジェクトについて整理したものを示した。また、表以外にも石炭火力発電所において、混焼プロジェクトが進められている。

表 16 「燃料製造」に関するプロジェクト

所在地 (県)	所在地 (市町村)	事業者 (申請時)	規模	単位	年度	事業名
岡山県	真庭市	三井造船(株)	250	kg/日	H16	バイオマス等実証試験
岡山県	真庭市	真庭市	—	—	H17	バイオマス等実証試験
広島県	広島市	(株)フロンティア・ジャパン	10	t/日	H13	バイオマス等実証試験
広島県	三原市	(株)やまみ	889	N/d	H19	事業者支援
山口県	下関市	(株)原弘産 (独)農業・食品 産業技術総合研究機構	300	L/日	H17	バイオマス等実証試験
山口県	岩国市	山口県	800	t/年	H17	バイオマス等実証試験

出典：NEDO 新エネルギー・マップ 2009 資料編より抜粋

表 17 「熱利用」に関するプロジェクト

所在地 (県)	所在地 (市町村)	事業者 (申請時)	規模	単位	年度	事業名
鳥取県	米子市	鳥取県	6	GJ/h	H18	地域新エネルギー
岡山県	倉敷市	株式会社下電ホテル	2,352	MJ	H20	事業者支援
岡山県	津山市	津山市	900	MJ/h	H18	地域バイオマス FT
岡山県	津山市	オリックス株式会社 大成製紙株式会社	54,490	MJ	H20	事業者支援
岡山県	真庭市	真庭市	67,002	GJ/年	H17	バイオマス等実証試験
岡山県	真庭市	銘建工業(株)	5,500	MJ/h	H18	地域バイオマス FT
岡山県	真庭市	(株)御池鐵工所	2,700	MJ/h	H18	地域バイオマス FT
岡山県	勝山町 (現真庭市)	岡山県勝山町	4,184	MJ	H16	地域新エネルギー
山口県	下関市	やまぐち県酪乳業(株) (株)コプロス、下関市	320	MJ/h	H17	バイオマス等実証試験
山口県	下関市	山口県	11	TJ/年	H17	バイオマス等実証試験
山口県	下関市	山口県	11	TJ/年	H17	バイオマス等実証試験

出典：NEDO 新エネルギー・マップ 2009 資料編より抜粋

表 18 「発電」に関するプロジェクト

所在地 (県)	所在地 (市町村)	事業者 (申請時)	規模	単位	年度	事業名
広島県	呉市	中国木材(株)	5,000	kW	H15	事業者支援
山口県	山口市	中外炉工業(株)	176	kW	H14	バイオマス等実証試験
山口県	岩国市	(株)岩国ウッドパワー	—	—	H15	事業者支援
山口県	岩国市	山口県	171	kW	H17	バイオマス等実証試験

出典：NEDO 新エネルギー・マップ 2009 資料編より抜粋

3.2.2. マテリアル（素材）・ケミカル（化学物質）としての利用

マテリアル（素材）・ケミカル（化学物質）としての利活用については、木質などの木材としての特性を活かした利活用の方法と木質を適切な方法で化学物質まで分解して用いる方法がある。例えば、木質を粉碎した木粉は、キノコ菌床、家畜敷料、ウッドプラスチック（WPC）等の分野で使用される。一方で、バイオエタノールやプロピレンなど分子レベルまで分解したものを利用することがバイオリファイナリーとして検討されている。

ここでは、マテリアル（素材）としての利用とケミカル（化学物質）としての利用に分けてバイオマスリファイナリーについて取り上げる。

一般的には、化学物質などの分子レベルでの利活用に対して、バイオマスリファイナリーといった言葉が用いられているが、木質の特徴を活かした木材の性質を残した利活用方法も地域振興の視点では重要であると考えられる。

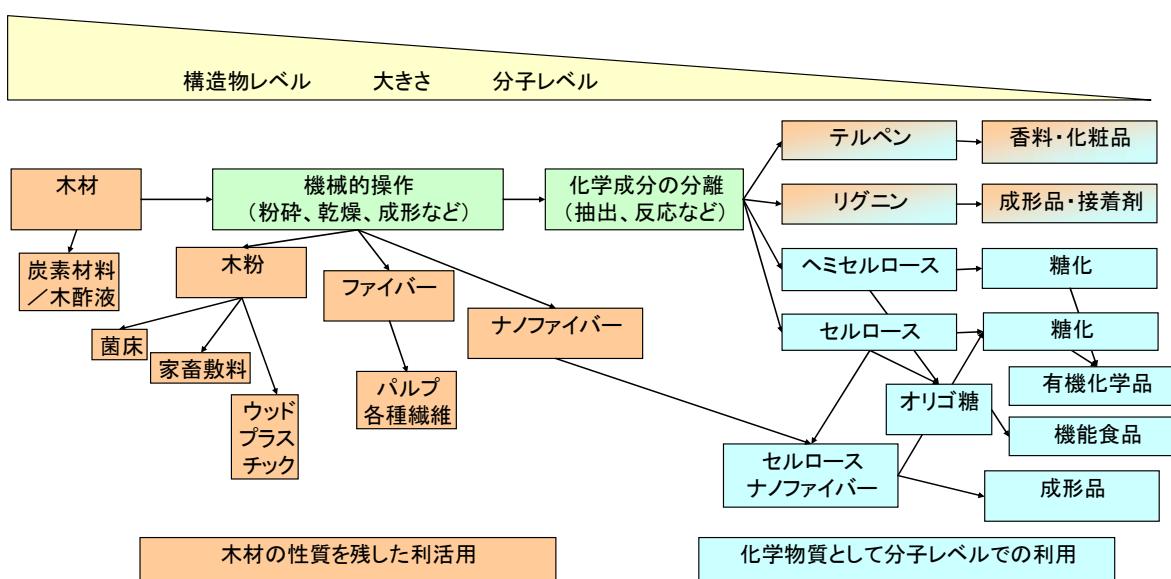


図 7 化学物質としての利活用と木質の特徴を活かした利活用

上図は、化学物質として分子レベルでの利用を考えた場合と分子レベルでの利活用に至る前段階にあたる木粉などの木材としての性質を多く残した場合の利活用の方法について示したものである。

前者は、化学成分の分離を抽出や反応などの化学的操怍により行うものであり、後者は、粉碎、乾燥、成形などの機械的操怍により製品を生産する方法である。また、大きさも分子レベルと構造物レベルといったように異なっている。

地域振興の視点では、一般的に言われている有機化学製品を中心としたバイオリファイナリーだけでなく、木質の特徴を活かした用途をその中に組み込んで、あますことなく使っていくことも重要であると考えられる。

また、テルペニン類などの香料や化粧品などの用途が考えられる高付加価値製品を見いだして製品化することも重要である。

ここでは、一般的に言われているバイオマスリファイナリーについて説明する。従来の石油由来化学物質のバイオマス由来原料転換に加えて、バイオマス由来故の新規な化合物を加えて実用面も考慮した統合型バイオリファイナリーの考えが公表されている。以下にその俯瞰図を示した。

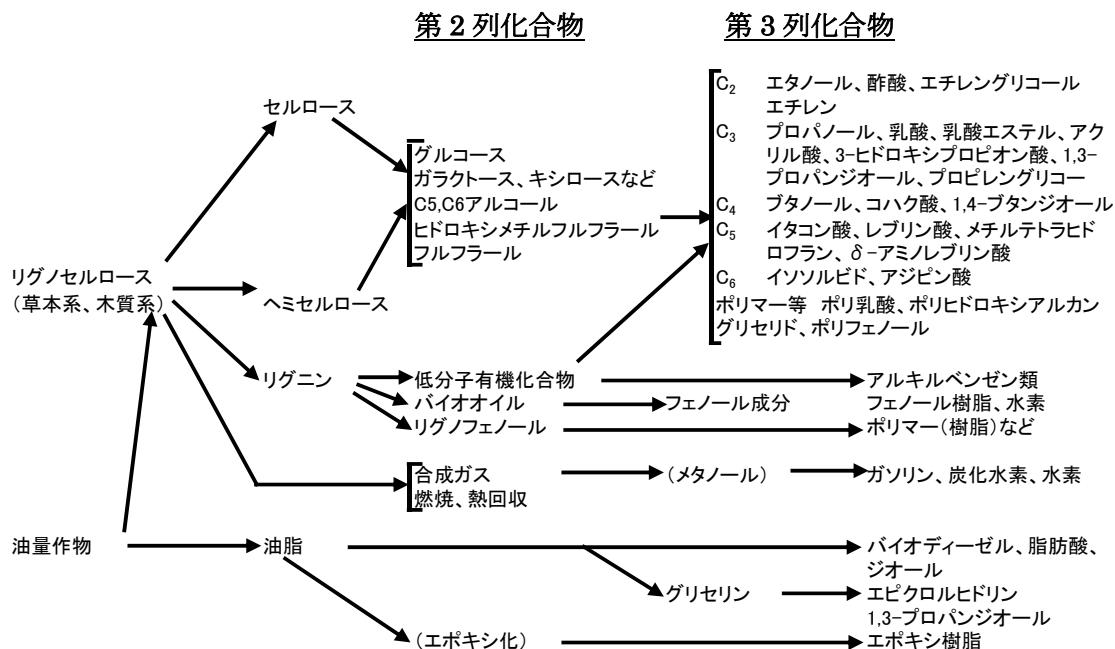


図 8 次世代型統合バイオリファイナリー

出典：化学経済 2010 年 5 月号（バイオ燃料技術革新計画平成 20 年 3 月（バイオ燃料技術革新協議会））をもとに作成

これらの化合物について、主要な成分毎に整理したものを以下に示した。

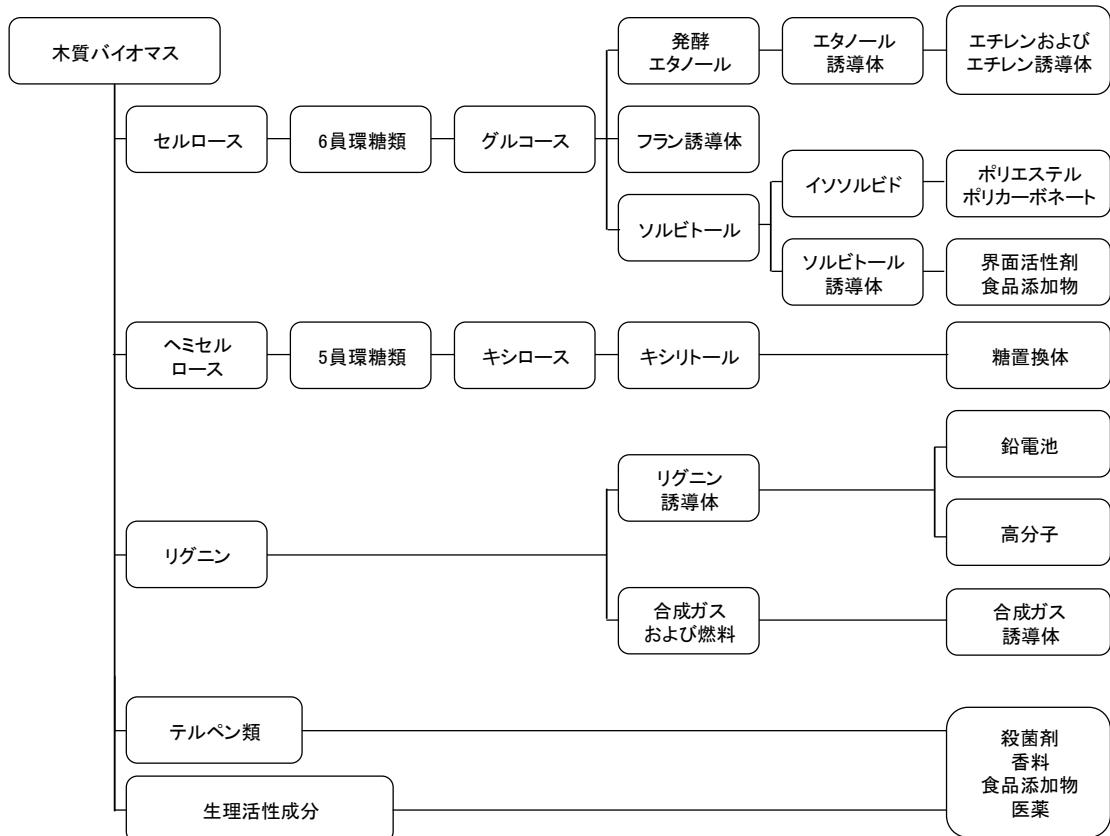


図9 木質バイオマスの化学製品としての利用

出典：種々資料をもとに、（株）三菱化学テクノリサーチにて作成

ケミカル（化学物質）としての利用に関しては、セルロース（6員環糖類）、ヘミセルロース（5員環糖類）、リグニンなどに大別される。これらを反応させることにより種々の化学製品の生産が期待される。また、テルペン類や生理活性成分などが高付加価値の成分として期待される。

セルロースについては、エタノールとその誘導体への展開、フラン誘導体、ソルビトールを経て、ポリエステルやポリカーボネートへの展開や界面活性剤や食品添加物としての用途が期待されている。

ヘミセルロースについては、キシリトールや糖置換体などへの展開がある。

リグニンについては、分散剤、土質改質剤・土壤改良剤、イオン交換剤、なめし剤、プラスチックス、ゴム補強剤、などの用途が古くから知られているが、近年では、高分子（バイオプラスチック）材料や鉛電池材料などの用途が期待されている。また、合成ガスおよ

び燃料としての利用も検討されている。

また、ファインケミカルズには、代表として、テルペン類や生理活性物質があり、殺菌剤、香料、食品添加物、医薬などへの応用が期待される。

このようなバイオマスに含まれる化学製品誘導体を分子構造レベルでみた場合の基幹となるブロック化合物（原料化合物）については、米国や国内における資料にまとめられている。

米国政府エネルギー省（DOE）内の組織であるEERE (the Energy Efficiency and Renewable Energy Office)は米国のエネルギー政策やバイオマスR&D法などの政策目標を達成するため、各種のバイオマスプログラムを実施している。このプログラムは、再生可能なバイオマス資源から、炭水化物（主に糖類）、油、リグニン等を抽出し、燃料や高付加価値化成品等の製品や材料に変換する統合化されたバイオプロセス技術やバイオリファイナリー展開の研究開発への強力な支援となるものである。

バイオマス資源からバイオプロセスを主要技術として開発可能もしくは早期に開発を実施すべき具体的な製品群について、アメリカ国内で産官学連携にて調査を実施し、2004年8月に「DOE report Top Value Added Chemicals from Biomass 2004 PNNL/DOE」を報告している。ここでは、バイオマス資源（糖を出発原料）から合成可能な化学製品を系統的に調査し、バイオリファイナリー産業として経済的にも成り立つ製品群を選定している。米国の国立研究所の報告書や産業界の資料、学術論文に基づいて選定された300以上の化合物を母集団として、スクリーニングをおこない、30の化合物をトップ30として選定し、その中から12種、15の化合物をトップ12として、最終選定化合物としている。

- トップ30は、炭素数C1～C6に分けて分類整理され次の要件を満たすものとなっている。
- ① 誘導体、分子ファミリーとしてさらに変換する際に適した機能性が多数ある
 - ② リグノセルロースとデンプンの両方から生産が可能である
 - ③ C1-C6モノマーである
 - ④ リグニンに由来する芳香族でないもの
 - ⑤ 未だ商用化が進んでいる化学品ではないもの

これらの中から12種、15の化合物をトップ12として、最終選定化合物としている。

以下にトップ12化合物のリストを示す。

表 19 バイオリファイナリートップ 12 化合物

	Building Blocks	基幹ブロック
1	1,4-Succinic acid / Fumaric acid / Malic acids	1,4-コハク酸、フマル酸、リンゴ酸
2	2,5-Furan dicarboxylic acid	2,5-フランジカルボン酸
3	3-Hydroxy propionic acid	3-ハイドロキシプロピオン酸
4	Aspartic acid	アスパラギン酸
5	Glucaric acid	グルカル酸
6	Glutamic acid	グルタミン酸
7	Itaconic acid	イタコン酸
8	Levulinic acid	レブリン酸
9	3-Hydroxybutyrolactone	3-ハイドロキシブチロラクトン
10	Glycerol	グリセロール
11	Sorbitol	ソルビトール
12	Xylitol / arabinitol	キシリトール/アラビニトール

出典：「Top Value Added Chemicals from Biomass Volume 1-Results of Screening for Potential Candidates from Sugars and Synthesis Gas」(2004 Aug DOE)

これらの化合物はバイオリファイナリーを推進する限り米国のみならず世界的に重要な目的物質であり、今後研究テーマ選定やプロセス化検討に際しグローバルスタンダードとなっていくと考えられる。

例えば、1,4-コハク酸、フマル酸、リンゴ酸、レブリン酸については化学原料としての用途も多い。以下に主な用途と販売価格などを整理して示した。（表20）

表 20 主な化学製品の用途と販売価格

化学製品	主な用途	販売価格
1,4-コハク酸	調味料などの食品添加物	(食品向け) 700~750円/t (工業用) 390~420円/t
フマル酸	食品添加用酸味剤	(食品向け) 400~500円/kg (工業用) 150~160円/kg
リンゴ酸	染料飲料の酸味剤、冷菓酸味剤、加工食品酸味剤、医薬品用、果実飲料などの色調保持、マヨネーズなどの乳化安定剤、消臭剤など	400~430円/kg
レブリン酸	香料原料、医薬品原料中間体、樹脂添加剤、改質剤原料（可塑剤、紫外線防止剤、化学線重合促進剤、重合開始剤、架橋促進剤、重合安定剤、硬化剤、湿潤剤、滑剤）、農薬合成原料中間体、溶剤、ゴム薬品原料中間体、染料・顔料中間体、界面活性剤原料など	2,000円/kg

出典：15710の化学商品 化学工業日報社

なお、日本においても、バイオマス原料から化学品を製造する上で重要な32の化合物が提示されている（表21）。C3化合物に関しては日米で共通の物質が挙げられており、これ

らは誘導体として規模の大きい中間体となるような化合物である。C4化合物でもコハク酸、フマル酸、リンゴ酸など同様の化合物が上げられている。アスパラギン酸やC5以上の化合物は機能性誘導体合成用中間体としての用途が期待される物質であるが、C5/C6には物質選定の背景となる両国における産業の相違を示して、日米で異なる物質群があげられている。

表 21 バイオリファイナリーの目的物質として期待される 32 化合物

	C2	C3	C4	C5	C6
ヒドロキシ化合物	エタノール		n-ブタノール		
		1,3-プロパンジオール	2,3-ブタンジオール		
		グリセリン	エリスリトル		
カルボキシ化合物	酢酸	プロピオン酸	酪酸		カプロン酸
			コハク酸		
			フマル酸	イタコン酸	
		乳酸	リンゴ酸		
			酒石酸		クエン酸
				4-ヒドロキシ吉草酸	5-ヒドロキシヘキサン酸
		3-ヒドロキシプロピオン酸	4-ヒドロキシ酪酸	5-ヒドロキシ吉草酸	
			3-ヒドロキシ酪酸	3-ヒドロキシ吉草酸	3-ヒドロキシヘキサン酸
		ピルビン酸		ケトグルタル酸	
カルボニル化合物		アセトン	アセトイソ		
アミノ酸		セリン	スレオニン	グルタミン酸	リジン
			アスパラギン酸		

出典：NEDO平成16年度「バイオリファイナリーの研究・技術動向調査」報告書

このようにマテリアル（素材）とケミカル（化学物質）の両面から広義のバイオマスリファイナリーを対象として調査を行った。

以下では、木粉、ウッドプラスチック、粉碎技術、ナノファイバー、リグニン、テルペン、糖化技術、竹の利用技術等について、個々に取り上げて、木質バイオリファイナリーの展開に向けた技術開発動向について述べる。

3.2.3.個々の利用技術と処理技術

3.2.3.1.木粉

おが粉や木粉は、製材を行った場合の削りかすやかんな屑などとして得られるが、現状は、キノコ菌床、家畜敷料、エネルギー、ウッドプラスチック（WPC）等の分野で使用される。ウッドプラスチックとしての利用では、微粉が用いられる。

チップ、ペレット、木粉、おが粉等に関する技術開発・市場動向等の状況

1. 処理技術の分類

使用目的に応じて、種々の形状や粒子サイズの木粉類が使用される。

製造設備としては、各種の破碎機や粉碎機が利用される。破碎品や粉碎品の粒度の調整は、粉碎機とスクリーンの組み合わせにより分級される。以下に製品と概要を示した。

表 22 チップ、ペレット、木粉、おが粉の利用技術

製品	概要
チップ	丸太、製材工程残材（背板）、端材等を機械的に粗碎（破碎）してチップ（木材小片）が作られる。チップは更に細かく粉碎して種々の木片や木粉が製造され、解纖され纖維状素材が作られる。
木質ペレット	木材チップやかんな屑、おが屑等をペレタイザー内で熱圧力をかけて木質ペレットが形成される。リグニンに熱圧力が加わると、リグニンが溶け接着剤の機能を発揮しチップ、おが屑、木粉等が接着し、ペレットが形成される。径 6-9mm、長さ 10-25mm の円筒形状のペレットが形成される。原料となる木材種や使用部位によりホワイトペレット、パークペレット、全木ペレットに分類される。製造コストと共に燃焼特性にも違いがある。
木質纖維	木質チップを蒸煮・解纖して作られる（ファイバーボード用）。
木材小片	チップ、端材をリングフレーカー（切削機）で作成された形状不均一な木片（パーティクルボード用）。
木毛	長さ 20cm 以上の木材を幅 3.5mm、厚み 0.3-0.5mm に切断した紐状製品（木毛セメント板用）
ストランド	長方形状木片、厚み 0.4-0.6mm、長さ 40-80mm（OSB 用）
ゼファー	製材時背板をつぶしたノシイカ状マット。配向、接着しゼファーマットに加工される。
木粉	粗碎木片を粉碎し、スクリーンと組み合わせ粒度を揃えたもの。WPC（ウッドプラスチック）用には、粒度に加え湿分管理して出荷される。WPC 用には、乾燥された建設材端材から作成される木粉が使用される。
おが屑	鋸状の刃で粉碎された木くずの総称。鋸屑に近い粒径木粉（片）もおが屑と称される。

2. 用途

チップ、ペレット、木粉、おが粉等について利用方法と用途を記載する。

表 23 チップ、ペレット、木粉、おが粉の用途

分類	利用方法	用途 特徴など
木質ペレット（おが粉、木粉）	発電や乾燥用のエネルギーに利用される。	発電用には石炭と混焼利用される。燃焼熱を加工材や集成材の加工前乾燥に利用される。ペレットストーブ等の需要が

		ある。
ファイバーボード	木質纖維、木材小片、ストランド等を熱硬化性接着剤と共に圧縮成形(加熱プレス成形)する。ストランドを配向積層してOSB(配向性ストランドボード)が、木材小片よりパーティクルボードが、蒸煮・解纖した木質纖維から中密度纖維板(MDF、密度0.35-0.80 g/cm ³)が作製される。 ゼファーを配向・接着しゼファー ボードに加工される。	OSB：我が国では生産されない。 MDF：家具の扉、側板、背板に、住宅設備機器、スピーカーキャビネットに加工される。 ファイバーボード：ラワン、カラ松、スギ等が用いられる。 ゼファー：我が国で開発された。
畳芯材	木材チップを加熱せずに圧縮成形したインシュレーションボード(軟質纖維板)が畳芯材に用いられる。	断熱性、吸音性に優れ、ダニが繁殖しにくい事から我が国畳芯材の過半に達している。
木毛セメント板	木毛(リボン状)あるいは木片をセメントと混練し、圧縮成形する。木毛由来を木毛セメント板、木片由来を木片セメント板と称する。	防・耐火、断熱、吸・遮音、調湿性があり、屋根野地板、外壁下地、コンクリート打ち込みパネル、一般住宅用外壁(硬質木片セメント板)、内装、床下地等に利用される。グリーン購入法指定資材。
ウッドプラスチック(WPC)	粒径略150 μm以下、水分0.5%程度の木粉が熱可塑性プラスチックと共にWPCとして使用される。	詳細は次節参照のこと。
菌床	広葉樹(ミズナラ、コナラ、クリ、アベマキ等)のおが粉が椎茸用人工ホダキやその他の菌床用に使用される。	菌床用には粒径2mm程度、水分40%程度が適当。
家畜敷料	従来、農業廃棄物(麦桿、稻わら、穀殼)や牧草が用いられたが、家畜排せつ物法施行後おが粉使用量が増大した。	家畜排せつ物法(平成11年成立、平成16年11月施行)により、規定頭数を超える家畜(牛、豚、鶏)を飼育する畜産業者は管理基準に従った家畜排泄物管理が義務づけられた。

3. 技術の概要

- 木質ペレット—木質を破碎(生木含水率42%程度)、乾燥(ロータリー式、水分8-12%)、サイロ内で攪拌(摩擦熱でリグニンが軟化)～造粒成形(例—リングダイ式ペレタイザー)、通風冷却、選別される。発熱量は木質チップ2,000kcal/kg、ペレットでは4000kcal/kg程度。容積当たり発熱量はチップの3倍程度。
- 木粉—富山県西部森林組合(Web情報)では下記プロセスにより粒径と水分含量の異なる4種類の木粉が製造販売されている。WPCに適した微細粉作成には供給木材含水率は数%以下が適切とされる。含水率が高いと、設備への微細粉付着により粉碎能率低下を生じる。
同Web情報によると、A重油噴霧燃焼火炎内に100メッシュスルー(149nm以下)のスギ粉を投入すると煤が減り、一酸化炭素が減り、燃焼効率が上がるとされている。木粉40%の混入でも発熱量は重油と変わらない¹²。



○おが粉ー敷料用には、乾燥状態（長期使用面）、粉塵の抑制、とげが無い（乳房炎原因）、発酵と乾燥が進行しやすい適度な粒径が必要とされる。

4. 量と価格

- 木質ペレットー製造量 2003 年 2,400 t (製造所数 10)、2007 年 32,600 t (製造所数 47)、2008 年 60,000 t (製造所数 55、2008 年度数値は見込み量)。ペレットの価格は、35 円 - 65 円/kg。仮に 40 円/kg では 7.95 円/1,000kcal となり灯油や軽油よりは安く、A 重油より高いと推測される。
- 木質パネル生産量ー表中数値は容量（単位m³）、2008、2009 年度供給量。2009 年度に大きく減少している。

表 24 ボード製品の生産量と輸入量単位

m³

年度	パーティクルボード		ハードボード		MDF		インシュレーションボード	
	生産量	輸入量	生産量	輸入量	生産量	輸入量	生産量	輸入量
2008	1,135,163	403,142	59,712	32,032	397,355	411,107	371,350	1,315
2009	972,273	353,904	4 ,086	28,071	319,670	340,365	317,569	1,324

(経済産業省「窯業・建材統計」、財務省「貿易統計」)

○畳芯材ー畳芯材分野におけるインシュレーションボード使用量は掴めなかった。畳需要量は、平成年代初頭の 4,500 万畳から経年的に減少し、平成 18 年で 2,000 万畳、平成 19 年で 1,900 万畳とされる（熊本県い草協同組合資料）。畳芯材の半量程度がインシュレーションボードであるとされるので、1,000 万畳分程度使用されている。

○おが粉ー都城地区のおが粉価格は、製材廃材から得られる杉おが粉販売価格は¥2,600/m³, ヒノキおが粉価格は¥3,000/m³ 程度（2007 年）。北海道では、乳牛用の敷料を堆肥として販売出来る水分 73% におが粉 5.86t/頭/年が必要であり、堆肥自家消費出来る水分 80% におが粉 2.56t/頭/年が必要とされる（2000 年代初頭の資料）。同資料では、飼養乳牛糞尿の 8 割を自家牧草用堆肥とし、2 割を水分 73% の堆肥として販売すると 3.22t/頭/年 ($2.56 * 0.8 + 5.86 * 0.20$) のおが粉使用量となる。堆肥販売価格は、施設栽培向けには¥8,000-9,000/t、道内露地栽培で¥1,000-3,000/t と想定されていた。

3.2.3.2. ウッドプラスチック (WPC)

熱可塑性樹脂に木粉を混入し押出成形する技術が米国で開発され、1990 年台に木粉/LDPE（低密度ポリエチレン）比率 1/1 の複合材料としてウッドプラスチック (WPC) が上市され、屋外用デッキ材として普及した。米国では、2010 年に WPC 生産量は 150 万

tに達し、フラットデッキの3割がWPCになった。中国では5年前からWPC生産が開始され、現在20-25万tが生産されている。2015年には500万tの生産が予測されている。

欧州では屋外デッキ需要が無く、屋内用向けWPCとして木質繊維質の高充填（木粉70-85%）製品が2軸押出機で押出成形され、中空成形体で製造される。2003年度製造量は2万t程度と考えられている。

国内での最初のWPC例は、1993年に塩化ビニル（PVC）ベースのWPC（木粉30部程度）を住宅の内装に用いた事から始まる。その後、数社が製造・販売に参画した。

ウッドプラスチック（WPC）に関連した技術開発・市場動向等の状況

1. 処理技術の分類

ポリエチレン（PE）やポリプロピレン（PP）などの石油由来の熱可塑性樹脂と木粉による成形品であり、3種類の成形法が選択される。

①押出成形法—2軸押出機により混練、成形する方法で、国内で流通しているWPCの汎用的な成形法として知られている。

②射出成形法—国内では開発段階にあり、成形方法の性格上流れ性が重要で、現状は木粉含量の少ないものが小型成形品に適用されている。

③プレス成形法—流動性を考慮する必要性が無いため、樹脂種類や木質材種類（形状等）に制約を受けない。大型製品の成型に適用される。

尚、木粉は親水性、石油由来熱可塑性プラスチックは親油性であるので、成形に際しては通常相溶性向上のためにマレイン酸変成PPが添加される。

木粉充填度に応じた分類として、低充填（木粉含量30%未満）、中充填（30%～70%）、高充填（70%以上）に分けられる。

2. 用途

国内、欧米における用途は概略次のような分野。

○国内用途：中空形状のもので、屋外用デッキが多い。ただし、熱膨張率が大きいこともあり、寸法精度が要求されるドア材には向きであると言われている。

・建材用途では、デッキ、歩道等に利用される。近年では、エクステリア用（高耐久Mウッド）がデッキ需要の50%を占めている。

・自動車では、トランクルーム床材等に使用される。

○米国：中実形状が主体であり、デッキ材用途が8割以上である。それ以外に、窓枠、ドア材、手すり等に使用される。将来はフェンス、外構、屋根材分野の成長が期待されている。生産量は2003年45万tであり、2010年に150万tに達した。尚、2010年にはフラットデッキの3割にWPCが使用されている。

○欧洲：木分より纖維質を用いる中空形状成形品が多く、用途は屋内用 75%、屋外用 25% の比率と云われる。主用途は、自動車内装材、座席用材料である。生産量は、2003 年 2 万 t であった。

3. 技術の概要

○開発経緯

米国で 1990 年代に中充填 WPC (1/1) の押出成形が盛んとなる。

国内では、1993 年にミサワホーム(株)が PVC (70) /木粉 (30) として販売した。以降、PE、PP 成形品として、1993-95 年に積水化学工業(株)（木粉比率 25%）、日本ゼオン(株)（木粉比率 35%）から製品が販売された。（註：PVC：ポリ塩化ビニル、PE：ポリエチレン、PP：ポリプロピレン）

○原料木粉

原料木粉としては、建材系木質廃材（国内排出量 300-500 万 t）が 1.5-2 万 t 使用される。WPC 成形では水分が嫌われる事から乾燥されている建材系廃材が用いられる。日本では、建材中の塗料、防腐剤は忌避される。

○利点

木材に比較して軽量化がはかれる。半ばプラスチックでありながら、香り、色調等木材の性質を残すことができる。木材の弱点である腐朽性を改善できる。

○欠点

- ・熱膨張率が大きいため、ドア材等寸法精度が要求される用途には難しい。
- ・耐衝撃性が低い、特に充填 30%以上では衝撃強度の低下が大きい。
- ・木粉含有量 50%以下では耐水性は良いが、50%以上では接地により劣化が加速される。
- ・紫外線によりチョーキング（白化）が発生しやすい。

4. 想定実現時期或いは今後の展開

○国内

- ・現状の生産量は、3-5 万 t /年であり、デッキ、歩道等が需要の大半を占める。
- ・今後の展開における課題としては、以下のことがあげられる。

大量の木粉供給体制の構築が必要。

耐衝撃性の大幅向上があれば、用途が広がり、需要が拡大する。

国内運搬用パレット等流通分野は、用途が大きいと推定される。

(国内パレット流通量は 3 億枚といわれており、パレットの 10%が WPC 化されると木粉使用量は 36 万 t /年に達すると推定される。)

註：パレット寸法を 110 * 110 * 10t(cm) として、両面部（厚み 1cm）が WPC とする

と 24.2kg/枚（密度 1 と仮定）。WPC 木粉含量 50%と仮定すると、木粉量 12.1kg/枚となり、流通量の 10%が WPC パレットと考えると木粉使用量は、
 $12.1\text{kg} \times 3,000 \text{ 万枚} = 36 \text{ 万 t} / \text{年}$ となる。

○中国

生産量 20-50 万 t。2015 年の目標生産量は 500 万 t と云われる。

5. 價格

- ・国内 20-400 円/kg
- ・米国 \$ 1 /kg
- ・中国 75-150 円/kg (Polyfile 2010/8 p26)。

尚、国内では重量単位では販売されず、定まった長さの材料として販売されている。カタログ記載のウッドプラスチック材価格（m 単位）を密度（1.2g/cm³）換算すると 400-800 円/kg の範囲に集中している。

3.2.3.3. 粉碎技術

木質を取り扱う上で、木質の粉碎技術は重要な技術である。

粉碎機は、被粉碎物の粒度によって粗碎機、中碎機、粉碎機、微粉碎機に分類される。

表 25 木材の粉碎技術の整理

粉碎機分類	被粉碎物	粉碎粒径	粉碎機形式
粗碎機	m	数 cm	ジョークラッシャー、ハンマーミル等
中碎機	数 cm	数 mm～数十 mm	ロールミル、スタンプミル
粉碎機	数 cm	百 μ m	自生破碎機、堅型ローラーミル、高速回転ミル（ハンマー、ブレード、ピン）、容器駆動媒体ミル（転動ボールミル、振動ボールミル、遊星ミル）、媒体攪拌ミル（ビーズミル、気流式粉碎ミル、圧密剪断ミル）
微粉碎機	数 cm	ミクロン～サブミクロン	

木質材料粉碎では、パルプチップ生産にはチッパー（切削型粉碎機）、パルプには磨碎型粉碎機（剪断力で木材を小片化）が用いられた。おが粉生産にはハンマーミル等の衝撃型粉碎機が用いられ、より粒径の小さい粉体には磨碎型粉碎機（石臼タイプ、ダブルディスクリファイナー）等が使用される。おが粉、木粉の粉碎機は、槙野産業(株)（東京都）、瑞東産業(株)（大阪市）、ホソカワミクロン(株)（大阪府・枚方市）等のハンマーミルタイプの衝撃粉碎機がある。その他にも木粉用粉碎機を扱っている会社がある。

産業技術総合研究所・バイオマス研究センターの酵素糖化や岡山県工業技術センターの木質ナノファイバー製造では、微粉碎が可能となる粉碎機が必要である。また、カッターミルに加えて湿式ディスクミルとして石臼式粉碎機が使用されている例も紹介されている。

次表に木質の酵素糖化やナノファイバーに適すると考えられる超微細粉碎機をまとめた。

表 26 超微細粉碎機

形式	粉碎原理	製造メーカー	機械名称	特徴	適用
衝撃ミル	高速回転ランナーとステー間の衝撃	ホソカワミクロン(株)/大阪・枚方	ディスパミル D	乳化分散主体	湿式
磨碎（石臼）方式	上下2枚の砥石の回転による磨り潰し		スーパーミクロンミル E	乾式：漢方薬、葉	乾式
	増幸産業(株)/埼玉川口	スーパーマスコロイダー	無気孔グラインダー	湿式	
	(株)グローエンジニアリング/東京都	グローミル	ハンマーミル 変換可	湿式/乾式	
ウォータージェット（カウンターコリジョン）	スラリー流の高速衝突、スラリーとメティアの高速衝突	スギノマシーン(株)/富山・魚津	スターバーストシステム	メティア分離は遠心分離方式	湿式
ホモジナイザー	高圧ポンプ等による細管内への液体噴流の噴射。プレーカーリングや壁等での衝撃粉碎。衝撃圧粉碎	三丸機械工業(株)/静岡・三島	アプロセティックホモジナイザー	—	湿式
		三和機械(株)/静岡・三島	高圧ホモゲナイザー	化粧品、医薬品、食品	湿式
		(株)アカエンジニアリング/千葉・銚子	超高压パルプレスホモジナイザー	繊維状材料、高粘性材料	湿式
ビーズミル	対象物とビーズの衝突、剪断	寿工業(株)/東京	ウルトラスーパーホームミル	ビーズ径0.03mm、	湿式

3.2.3.4.セルロースナノファイバー

可視光波長の1/10以下のエレメントは、光の散乱が起きず、媒体中では透明材料となる。セルロースナノファイバーの纖維径（ミクロフィブリル幅 3-30nm）は光の波長（400-700nm）に比して非常に小さく、透明プラスチックと複合すると透明材料となる。またプラスチックとの複合により、酸素バリア性が発揮されると云われる。用途としては、複合材料、透明機能フィルム（電池セパレーター、パネルディスプレイ、太陽電池）、包装材料、再生医療足場/培地などの医療分野での応用展開などが期待されている。

セルロースナノファイバーは、パルプを解纖して作製される。パルプ解纖方法として、大別して2法が提案されている。溶解パルプからは、凝固・粉碎して長さ20nm程度のものが、非カロリ一性可食セルロースとして販売されている。

セルロースナノファイバーに関連した技術開発・市場動向等の状況

1. 処理技術の分類

○原料：漂白クラフトパルプ—セルロースナノファイバー。

　溶解パルプ（サルファイト法パルプ）—可食性ノンカロリー商品

　バクテリアセルロース（天然素材）

　木質ナノファイバー

○性能：セルロースナノファイバー単纖維径 3-4nm、ミクロフィブリル幅 3-30nm。媒体中で透明。強度はアラミド纖維並み。極めて低い線膨張率 ($\leq 10\text{ppm/K}$)。

○製造法：

①高剪断/化学反応複合法（高剪断設備は高圧ホモジナイザー他多種あり）

□セルロースナノファイバーの製造法：セルロース結晶間水素結合の解裂によるミクロフィブリル間の解纖。

　・酵素処理併用—京大矢野法（三菱化学(株)、王子製紙(株)が複合材の共同開発実施中）

　・TEMPO 酸化併用—東大磯貝法（日本製紙(株)、凸版印刷(株)、花王(株)が包装材の共同開発実施中）

②高剪断解纖（高圧ホモジナイザー、石臼式粉碎機等）

　・叩解パルプ：ミクロフィブリル径が 100nm 程度、抄紙して不織布を形成（旭化成(株)）

　・可食性ナノファイバー：溶解パルプを酸凝固、粉碎（日本製紙ケミカル(株)）

　・木質ナノファイバー：木材粉碎物を湿式粉碎

2. 用途：

○低線膨張率透明基板フィルム：パネルディスプレイ、太陽電池フィルム、発光ダイオード封止剤。フィルムのガスバリア性要求にも対応可能と考えられる

○マット状成形物：電池セパレーター、高機能分離膜、再生医療足場、再生医療培地

○高強度材料：低比重（鉄の 1/5）、高強度（鋼鉄並 400MPa）、低線膨張 ($\leq 10\text{ppm/K}$)

　・高強度/高弾性率及び低線膨張率が要求される材料分野

　・複合材料—三菱化学（株）、王子製紙（株）が共同開発中

○バリアー材料：纖維間距離が極度に短い→バリア性（酸素バリア以外への期待も有り）

　・包装材料—食品、医薬品、高機能材料分野（日本製紙(株)、凸版印刷(株)、花王(株)）

○医療材料：高弾性ゲル状シート—人工血管、創傷治療材（旭化成(株)）

○低カロリー食品：パン、練り製品（日本製紙ケミカル(株)、神戸女子大学）

3. 技術の概要：

①セルロースナノファイバー：単纖維径 3-4nm、ミクロフィブリル幅 3-30nm

□製造法－クラフトパルプのミクロフィブリルセルロース（MFC）への解纖

- ・ミクロフィブリル非晶域の接着強度低下を図る—酵素処理、TEMPO 酸化
- ・ミクロフィブリル間剥離—高剪断（高压ホモジナイザー、砥石/磨碎）
- ・叩解—ミクロフィブリル幅 100nm 程度、抄紙法で不織布（旭化成(株)）
- ・製品開発：日本製紙（株）、凸版印刷（株）、花王（株）3 社－磯貝法 MFC（包装材料）、三菱化学（株）、王子製紙（株）2 社－矢野法 MFC（複合材料）

②可食性ナノファイバー：MFC 長 20nm、幅 20nm、重合度 40 程度。

- ・製造法－溶解パルプのアルカリ溶解/凝固－日本製紙ケミカル(株)

③木質ナノファイバー：木材を径 10nm、長さ 1 μm 程度に解纖

- ・製造法－木質粉碎物を臼式粉碎機で湿式粉碎（岡山県工業技術センター）

4. 想定実現時期

①セルロースナノファイバー

□クラフト由来 MFC：実験室的製法確立。工業化検討段階（共同研究開発段階）

□用途展開：評価結果とコストが折り合えば、時期的にも早く、需要の拡大も期待出来る

- ・包装材利用/複合材料－共同開発研究の進展が期待される。
- ・透明機能フィルム（電池セパレーター、パネルディスプレイ、太陽電池）－今後期待
- ・再生医療足場/培地（不織布）－医療分野なので認可迄時間がかかると想定される

②可食性セルロース：既に市場に製品が出回りつつある、ダイエットは社会現象化しており、需要増が期待出来る。（神戸女子大学 山根教授）

③木質ナノファイバー

□製造法：研究室段階では略目標値を達成。民間企業で超微細粉碎機の開発が進行している。

□用途展開：プラスチックの強化材料分野を想定し、木質ナノファイバーの要求品質の確認と品質の作り込み段階と考えられる。

5. 期待される量と市場：予測しがたいが、対象製品の現在値を記載。

①セルロースナノファイバーの市場：予測しがたいが、下記は対象製品の市場

- ・太陽電池－国内発電量実績 27 万 KW（2010/7-9）→2010 年度予測 108 万 KW/Y、655 万 m²（参考値（サンヨー電気数値より）：発電量－0.165KW/m²）

- ・Li 電池セパレーター需要（下記は富士経済調査報告値）

2009 見込：22,700 万 m²/522 億円→2014 予測：69,450 万 m²/1,400 億円

- ・バリアフィルム材料：PVA 樹脂生産量は 22 万 t 弱、単価は ¥300/kg。

全 PVDC 製品生産量 74,000 t（2008）、PVDC ラテックス量は 15,000 t（2008）、価格は¥350-400/kg。バリアフィルムは多種の構成があり、フィルム価格は不明。

- ②不織布－再生医療足場、医療向け培地等分野はまず認可のクリアが必要
 ③強化材料分野－2010年度の高強度PAN系炭素繊維需要は約3万t、ピッヂ軽高弾性繊維需要は3千t弱。ユーザーが木質ナノファイバーの品質を評価、受入には時間が必要と考えられる。身近な木質ナノファイバーの製品用途開発が期待される。

3.2.3.5. 糖化法及びバイオリファイナリー

トウモロコシやサトウキビ等の澱粉の酵素発酵糖質を原料とするバイオアルコールやバイオプラスチックは、既に実用化段階にある。一方で、木質バイオマスの約45%を占めるセルロースの酵素糖化は、糖化の進行と共に酵素の活性低下があり、高濃度グルコース溶液が得難いことが知られている。澱粉の酵素糖化に比べると、セルロース糖化は改善点が多い。木質からのバイオアルコール製造は、酵素糖化とアルコール発酵を同時進行させる（同時糖化発酵法）方法が検討されている。木質糖化で得られるグルコースは、木質バイオマスリファイナリーの有機化学製品の出発原料となり重要な技術である。

木質バイオマス糖化技術に関する技術開発・市場動向等の状況

1. 処理技術の分類

前述した米国DOE12化合物などの有用化学物質を得る方法の中間段階の処理技術として、糖化技術が種々検討されている。

表 27 主な糖化技術の種類

糖化法	技術
酸糖化法	濃硫酸糖化法(北海道法)、希硫酸糖化法(バイオエタノールジャパン・関西(株))、濃塩酸法などがある。
アルカリ蒸解・酵素糖化法	リグニンのアルカリ黒液除去後にセルラーゼ糖化する方法が(独)森林総合研究所で検討されている。
湿熱メカノケミカル粉碎/酵素糖化法(AIST/BC法)	湿式の粉碎方法と酵素糖化を組み合わせる方法が(独)産総研バイオマス研究センターで検討されている。
バイオアルコール製造法	現在研究中の方法は、セルロースのセルラーゼによる拮抗阻害を回避するため、セルラーゼとアルコール発酵酵母を作用させる同時糖化発酵法で検討が進められている。

2. 用途

糖を出発原料として、発酵や化学反応によって、米国DOE12化合物のような有用化学製品を得ることが期待されている。(註：下線を施した化合物は、米国DOEバイオファイナリートップ12化合物を示す)

○発酵原料

- ・アルコール発酵—バイオエタノール
- ・有機酸発酵—1,4-コハク酸、フマル酸、リンゴ酸、イタコン酸、グルカル酸、乳酸
- ・アミノ酸発酵—グルタミン酸（Na 塩・味の素(株)）、アスパラギン酸
- ・炭水化物発酵—2,3-ブタンジオール→ブタジエン、グリセロール
- ・ビタミン発酵
- ・核酸発酵　　・その他発酵—アラビニトール

○化学反応原料：還元—ゾルビトール→イソゾルビド、キシリトール（輸入品、¥1000/kg）

3. 技術の概要

検討されている各技術の概要と課題について記載する。

表 28 主な糖化技術と課題

糖化法	技術	現状と課題
濃硫酸糖化法	約 50 年前に実施された北海道法は、30-70% の硫酸により、低温短時間処理するもので、セルロース、ヘミセルロース共に糖化され、糖化収率は 90% 以上と高い。糖と硫酸の分離はイオン交換膜法を用いている。	工業的問題点は、濃硫酸使用による腐食に耐える適当な反応器材質がないこと、リグニンに同伴する硫酸の中和に大量の石膏沈殿物が発生し廃棄物が多いこと、更に硫酸と糖の分離のエネルギーコストが高い点である。
希硫酸法	硫酸濃度 0.1-1.0%、処理温度 125-220°C の高温短時間処理が実施される。	高温処理のため糖化収率が低い。バイオエタノールジャパン・関西ではヘミセルロース分解工程は良好な結果が得られたが、セルロース分解工程では良い結果が得られていないと言われている。米国では本法でヘミセルロース分解後、セルロース分解は酵素糖化が検討されている。
アルカリ蒸解・酵素糖化法	アルカリ蒸解工程はクラフトパルプ化条件に近い。リグニンを 10% 以下にしたパルプを用い、セルラーゼ（トリコデルマ菌由来）と酵母の同時糖化発酵法を検討中。	黒液リグニンは燃料として、エネルギー利用される。酵素糖化率は定量的と伝えられ、北秋田市で実証プラント稼働中 ((独)森林総合研究所)。
亜臨界水法	5MPa で処理すると、杉では 140-230°C でキシロース（ヘミセルロース由来）が溶出し、230-260°C でグルコースが溶出する。	バイオエタノールジャパン関西(株)は、後段を酵素糖化検討中。
湿熱メカノケミカル粉碎/酵素糖化法	湿式カッターミル処理と水熱処理（オートクレーブ）後、湿式ディスクミ 粉碎条件下セルラーゼを作用させる。	広葉樹にたいしてほぼ満足できる成果を得たと伝えられる。尚、アルコール発酵は、同時糖化発酵法が検討されている。

4. 想定される実現時期

検討されている種々の糖化法の想定実現時期について記載した。

表 29 主な糖化方法と想定実現時期

糖化法	現状と想定実現時期
濃硫酸糖化法	過去の検討では、反応装置が硫酸で腐食する材質の問題やコストが高いことから実用化は難しいと考えられている。
希硫酸糖化	バイオエタノールジャパン・関西(株)で実施中と言われているが、効率良いセルロース酵素糖化法が見つかるかどうかが課題である。
アルカリ蒸解・酵素糖化法	北秋田市で実証プラントが検討されている。1, 2 年先に結論が出ると推定される。糖化プロセスのコストが課題と考えられる。
AIST/BC 法	2、3 年先には実用化される可能性がある。同時糖化発酵技術も並行して検討されている。

5. 期待される量と市場

糖化技術の進歩により、得られると考えられるバイオエタノール、糖、アミノ酸の市場、価格として整理した。

表 30 糖化技術によって得られる主な化学製品の市場

生産品	期待される量と市場、価格
バイオエタノール	現状ガソリン使用量—5,800 万 KL。ガソリンへの混入量が 3% で 170 万 KL、10% で 580 万 KL 程度の需要となる。
糖価格	グルコース（無水）—¥120/kg。砂糖価格—ブラジル—180\$/t、USA—180\$/t、EU—710\$/t。廃糖蜜（糖分 40-60%）は安値¥2/kg。例えば、原料費¥7/L 時のバイオアルコールコスト¥144/L（農林水産省大臣官房環境政策課『国産バイオ燃料推進に向けた取組』（2006/9））から考えると、グルコース価格には厳しい要求が出てくると予測される。
廃糖蜜輸入量	2000 年、輸入量 22 万 t ((独)農畜産業振興機構)。廃糖蜜のバイオリファイナリーの適用は現在極めて限定域にある。ケミカルズ分野へのバイオリファイナリーの広範な進展が進み、原料問題が出てくれば、木質由来単糖類の出番が期待できる。
アミノ酸	量は 1996 年値。価格は 2009 年値。 グルタミン酸 Na—85,000 t、¥300-500/kg、医療用¥2,000/kg L-グルタミン酸—¥3,500/kg L-アスパラギン酸—3,000 t、¥2,200/kg

(農林水産省大臣官房環境政策課『国産バイオ燃料推進に向けた取組』（2006/9）)

3.2.3.6. リグニン

リグニンは、木質の約 25%を占める成分であり、古くから、製紙業界において、エネルギー利用されてきた。クラフト法パルプ製造では、蒸解後に生成する黒液中にリグニン成分が含有されており、製紙工程での燃料としてエネルギー利用されている。一方、サルファイト法パルプ製造においては、リグニンスルホン酸として取り出され、セメントをはじめとする各種工業用分散剤や粘結剤などのマテリアルとして利用されている。

リグニンは、化学構造がフェノール樹脂に似ていることから、同様の特性や用途を期待して、リグニンを抽出・分離してフェノール樹脂代替として利活用することが検討（研究開発）されている。木質を加溶媒分解しリグニン成分を得る試みは多くなされているが、北海道大学では木質の酢酸蒸解から得られる酢酸リグニンを紡糸し炭素纖維に変換する研究が進められている。また、変質度の少ないリグニンを得る目的で、フェノール系溶媒中常温下濃硫酸を作用させ、糖質分を硫酸分解し、フェノール相にリグニンを抽出する試み（相分離変換システム法）も進められている。

鉛蓄電池は、リグニンが鉛イオンを吸着し放電特性が向上するため負極活性物質に防縮剤としてリグニンが添加されている。

リグニン、リグニン由来高分子に関連した技術開発・市場動向等の状況

1. 処理技術の分類

リグニンを分離して利活用する方法は、大別して 2 法がある。一つは、化学的処理によりセルロースやヘミセルロースを分離して残渣としてのリグニンを利用する方法である。他方は、木質の加溶媒分解によりセルロースやヘミセルロース成分とリグニンを一体化して得る方法である。

前者の化学的処理による分離法としては以下のような幾つかの方法がある。

- ①パルプ化法副生リグニン：パルプ製造時に副生するリグニンであり、2 法が工業化されている。
 - ・クラフト法パルプ副生リグニンでは、アルカリの作用で化学結合の開裂を伴い分子量が低下すると共に使用薬剤の作用でチオリグニンとして得られる。
 - ・サルファイト法パルプ副生リグニンでは、リグニンはリグニンスルホン酸として得られる。
- ②硫酸糖化法副生リグニン：木質からグルコースなどの单糖成分を取得する目的で古くから研究されている方法でリグニン成分として副生する。濃硫酸糖化法或いは希硫酸糖化法がある。反応条件がシビアで、酸触媒の作用によりリグニンの化学的な変質が大きい。
- ③抽出リグニン（相分離変換システム－船岡法）：木質をフェノール系溶媒で膨潤処理して、常温で濃硫酸を作用させ、糖類を硫酸相に、リグニンをフェノール溶媒相に抽出する。常温操作であり、変質度が小さいと考えられている。

④湿式粉碎／酵素糖化法副生リグニン（AIST/BC 法）：木質を湿式粉碎し、超微細木質にセルラーゼを作用させ、セルロース・ヘミセルロース由来糖質成分を酵素分解してリグニン残渣を得る。酵素反応であるので、化学的変質の無いリグニンが得られる

後者の加溶媒分解法としては以下のような方法がある。

①木質フェノール化（白石法）－硫酸エステル触媒存在下で木質にフェノールを作用させる加溶媒分解法である。化学変化としては、セルロース及びヘミセルロースから得られる单糖成分とフェノールの置換反応、脱水反応及びリグニン成分とフェノールの反応などが同時に起こることにより、木質成分がフェノールと一体化した樹脂成分となる。

溶媒としてポリエチレングリコール（PEG）やカーボネート溶媒も研究されている。

2. 用途

現状の用途としては、製紙業におけるクラフト法で蒸解パルプを得た後に残るリグニンを燃料（エネルギー）として利用することが広く行われている。一方、マテリアルとしては、サルファイト法パルプ製造で得られるリグニンスルホン酸を分散剤として利活用されている。

①リグニンスルホン酸：リグニンスルホン酸は、粘結性、分散性、キレート性、乳化安定性などの特性を持ち、コンクリート減水剤、カーボンブラック造粒剤、鉛蓄電池の放電特性向上、土壤改良剤などに用いられている。

これ以外の、実用化例は極めて少ないが、今後拡大が期待される用途として以下のようないものがある。

②フェノール樹脂代替用途：

リグニンの網目構造がフェノール樹脂の硬化構造に似ていることから、フェノール樹脂の代替用途が期待されている。フェノール樹脂の用途としては、以下のようなものが知られている。

- ・ フェノール樹脂用途：接着剤（合板、ハードボード、ゴム、鋳型、砥石接着剤）、塗料、積層板（ガラス繊維、炭素繊維、紙、布帛）、摩擦材料（ブレーキ、ディスクパッド）、射出成形材料（耐熱部品、電気部品）、半導体封止材料などがある。

フェノール樹脂代替実用化例として、以下のような例がある。

- ・自動車の耐熱性灰皿（白石法による木質フェノール樹脂）
- ・コーヒーショップトレイ等の試作品（木質では無いが、グルコース変性フェノール樹脂）
(群栄化学工業(株))
- ・相分離変換システム法で得られたリグニンをサンプル提供し、求評中。（隠岐の島町）

なお、フェノール樹脂メーカー数は極めて多いが、旭有機材工業(株)、群栄化学工業(株)、住友ベークライト(株)等が大手企業である。

③炭素材料分野：

炭素材料の原料としての用途も期待されている。リグニンの炭素含有量は60-70%と高く炭素化収率は40%以上に達する。改質、変質方法が開発されれば、石炭（炭素含量が約80%）代替が考えられる（セルロースやヘミセルロースの炭化収率は約20%）。

代表的な製造企業と炭素材用途としては以下のようなものがある。

- ・各種炭材—東海カーボン(株)、日本カーボン(株)。
- ・短纖維等方性ピッチ纖維（吸着纖維）—東洋紡績(株)、大阪ガスケミカル(株)。
- ・異方性ピッチ纖維（スポーツ用品）—三菱樹脂(株)、日本グラファイトファイバー(株)。
- ・フェノール樹脂纖維（防炎・耐火衣料）—群栄化学工業(株)（カイノール^R）。
- ・活性炭—クラレケミカル(株)、カルゴンカーボンジャパン(株)。
- ・ニードルコークス（電炉用電極）・ピッチコークス（アルミ精錬用電極）
　　—シーケム(株)、三菱化学(株)。

3. 技術の概要

リグニンは、原料である樹種及び製造方法により化学構造が異なる。

○樹種によるリグニンの化学構造の違い

- ・樹種によりリグニン構成成分が異なり、リグニン網目構造が異なる。針葉樹は広葉樹に比し、リグニン網目構造が発達している。

○製造法によるリグニンの化学構造の違い—製造法によりリグニン特性が大きく異なる。

- ・サルファイト法による副生リグニン—リグニンスルホン酸が主で、分子量が大きい。
- ・クラフト法による副生リグニン—アルカリの作用でリグニン網目が解裂し、低分子化すると共に使用薬剤によりチオール化を受ける。尚、アルカリ蒸解リグニンは、クラフト法リグニンに近いがチオール化は受けていない。
- ・硫酸糖化法リグニン—変質度大。
- ・相分離変換システム法リグニン—低分子化は受けるが、変質度は低い。
- ・酵素糖化法—基本的に変質の無いリグニン。(独)産総研・バイオマス研究センターの研究では、広葉樹対象なるも糖化はほぼ達成。取得リグニンには化学的変性方法の多様性が活かせ、変性制御の期待が大と考えられる。

○木質フェノール樹脂—セルロース、ヘミセルロース由来の単糖成分及びリグニンがフェノール樹脂と反応し、フェノール樹脂様樹脂を形成する。市販フェノール樹脂分子量(900-1200)に比して、白石法は低分子量(500-800)であるが、フィラーや硬化剤を添加しコンパウンド化して、射出成形によりフェノール樹脂同様の硬化と物性を示す。

○炭素材料－白石法木質フェノール樹脂から軽沸成分を除去し、溶融紡糸、安定化処理を加えた後、炭化処理して炭素繊維が得られている。又、酵素糖化法で得たリグニン（セルロース、ヘミセルロース残存物）をフェノール及びテトラリン中で処理し、繊維化して、炭素繊維化が検討され、等方性ピッチ系炭素繊維強度を凌ぐ結果が得られている（第6回バイオマス科学会議における(独)産総研・バイオマスセンターと東海カーボン(株)の発表例）³。

尚、炭素繊維以外の炭素材料への研究例はあまり見られなかった。

4. 想定実現時期

リグニンの分離法や反応法毎に実現時期を想定して、以下に記載する。

- ・サルファイト法による副生リグニン－既に、製品として販売されている。リグニンスルホン酸として、既に多くの分野で使用されている。
- ・相分離変換システム法によるリグニン－実証プラントでの確認段階にある。リグニンは共同研究開発企業のフェノール樹脂製造企業で評価段階にある。（隠岐の島町）
- ・酵素糖化法によるリグニン－実験室での確認レベルにある。今後は、工業化（スケール拡大）のためには、湿熱粉碎技術の確立、酵素の改質が必要と考えられる。確立時期としては、2,3年程度必要と考えられる。
- ・リグニンを利用した炭素材料－研究段階にある。白石法木質フェノール樹脂、酵素糖化法リグニンからの炭素繊維化は研究が開始された段階。今後の研究開発の進展が期待される。より需要量が大きいと考えられる活性炭やその他炭素材料への展開には、リグニンの改質技術を含めた開発が今後進むと期待される。

5. 量と価格

○既存フェノール樹脂分野の代替需要

- ・フェノール樹脂生産量（2008年）は、総量28.7万t（平均単価¥233/kg）。これらの内訳は以下のとおりである。

成形材料 34,000 t（平均単価¥442/kg）、積層品 16,000 t（平均単価¥672/kg）、木材接着剤 96,000 t（平均単価¥81/kg）、その他 14,000 t（平均単価¥296/kg）

- ・例えば、フェノール樹脂の10%を代替すると約3万t。接着剤の10%を代替すると約1万tの使用量となる。

○新規な射出成形用フェノール樹脂分野

- ・グリーンプラスチックとして、環境意識の高い自動車分野、電気製品分野、物流分野などの用途が期待される。例えば、三菱自動車工業(株)のディーラーオプションとして、白石法木質フェノール樹脂を用いた材料がカップ型灰皿に採用されている。

3.2.3.7. テルペン、ロジン

テレピン油（テルペン）及びロジンは、生松脂、松枯れ木及びパルプ製造工程の副産物として得られる。生松脂から得られるテレピン油及びロジンをそれぞれガムテレピン油、ガムロジンと称する。松枯れ木や松根から抽出によりウッドテレピンとウッロジンが得られるが、生産量は極めて少なく国内では利用されていない。現状は、国内では生松脂採取は行われず、ガムテレピンあるいはガムロジンとして輸入される。パルプ化工程副生物の黒液中和物である粗トール油（海外より輸入）を蒸留してトール油ロジンとトール油脂肪酸が得られる。

テルペン及びロジンは重合性二重結合を有し、テルペン及びロジンの重合物は多くの高分子材料への相溶性が良く、接着剤や印刷インキビヒクルとして重用される。特にロジン由来樹脂成分はインキ用ビヒクルとしての性能が評価され、印刷インキ分野で需要が大きい。トール油脂肪酸はダイマー酸に誘導され、アルキッド樹脂原料等に利用されている。

木材は樹種により特有のテルペン類が含まれる。タイワンヒノキ成分であるヒノキチオール（国内樹種ではヒバにも含有）は、化粧品や医薬品に利用されている。

テルペン、ロジンに関連した技術開発・市場動向等の状況

1. 処理技術と分類

テルペン、ロジン類は、樹種によって異なっており、以下のようなものが知られている。

①テレピン油：生松脂の水蒸気蒸留流出物

マツヤニ由来をガムテレピン（或いはテレピン油）と称する。テレピン油の成分は、 α -ピネン、 β -ピネン等を主成分とするモノテルペソ（C₁₀—炭素数10を示す）、セスキテルペソ（C₁₅）類が主成分。

③柑橘油：圧搾採取した後に、精製する。柑橘油の主成分はリモネン。尚ハッカ油はメントールが主成分。

④ロジン：生松脂水蒸気蒸留残渣をガムロジンと称し、松材クラフトパルプ黒液由来粗トール油蒸留物をトールロジンと呼ぶ（高沸成分—トールロジン、低沸成分—トール油脂肪酸）。

④木質精油：葉、芯材の水蒸気蒸留或いは熱水蒸留により得られる。成分は、モノテルペソ、セスキテルペソ類。樹種、葉部、材部により含有物種類、含有量が異なる。ヒノキチオールは、国内天然品は青森ヒバ油より抽出・精製しているが、有機合成されたものが、高砂香料（株）、大阪有機化学（株）から販売されている。

2. 用途

テルペソ、ロジンなどの代表的な用途を以下に整理する。樹種によって、得られる成分や組

成が異なることから、ここでは、現在、使用されている用途を中心に記載した。

表 31 テルペソ類主な用途

テルペソ類	主な用途
テルペソ樹脂	β -ピネン、 α -ピネンの重合体。他樹脂との相溶性に優れ、ホットメルト、接着剤、エポキシ樹脂等の性能改良剤として利用されている。
ロジン重合物	テルペソ樹脂同様各種樹脂との相溶性が良好であり、特に印刷インキ用ビヒクルとして重用される。その他、サイズ剤、接着剤（撥水性、粘着性、濡れ性）、合成ゴム重合乳化剤、ハンドフラックス、コンクリート混和剤、表面処理剤（界面化学性能、分散性能）等用途がある。また、成分であるアビエチノ酸等樹脂酸のカルボン酸基を利用して、医薬品、化粧品合成用中間体として利用される。
トール油脂肪酸	アルキッド樹脂原料、ダイマー酸原料となる。ダイマー酸は、各種樹脂原料、塗料・接着剤原料として使用される。
オレンジ油	菓子、食品用フレーバーや、溶剤や洗浄剤分野に使用される。
木質精油	香料、芳香剤、入浴剤、アロマテラピー（森林浴）。消臭剤、抗菌・抗カビ、虫忌避剤に利用される。 特に、ヒノキチオールについては、化粧品、養毛剤、頭髪用化粧品、歯磨き成分、防腐剤、抗菌剤、防かび剤等に使用される。

3. 技術の概要

これらの成分を得る方法としては、個々に異なっているので、以下の表として整理した。

表 32 テルペソ類の主な利用技術

テルペソ類	主な技術
テルペソ、ロジン原料	マツヤニ採取が労働集約的で国内での採取はされていない。国内パルプ製造規模が小さく、黒液利用（エネルギー）からのプロセス転換が進んでいない。
テルペソ、ロジン利用技術	重合体は各種樹脂との相溶性が良く、流動性や透明性を阻害せず、各種接着剤、インキ用樹脂として利用される。ヤスカラケミカル（株）、荒川化学（株）、ハリマ化成（株）が重合体（樹脂）を利用している。日本テルペソ（株）は、受託合成原料としてテルペソを利用する。
柑橘油	国内でも少量生産されているが、海外（ブラジル等）品の果汁絞りかすとの競合が難しい。国内生産は極めて小規模のエネルギー向けや自家消費程度の量となっている。
木質精油	葉由来、材・根・樹皮由来等から得られる混合成分として使用する。アロマテラピー等嗜好製品分野では調合技術もキー技術となる。なお、香料原料のグランオールやメントールは化学合成もされている。ヒノキチオール合成品は、大阪有機化学（株）、高砂香料（株）から販売されている。

4. 想定実現時期

樹種によって得られる成分が異なること、メジャーな製品が海外輸入である点などを踏まえて、現状の利用状況を中心に整理して示した。

表 33 主な化学製品の用途と販売価格

テルペソ類	現状の利用状況
テルペソ、ロジン成分	国内での採取は海外との競争から難しいと考えられる。

精油採取	国内でも、地域的かつ小規模な採取、販売はなされている。
利活用技術	<p>テルペソやロジンの樹脂化技術、樹脂素材への配合改質技術等は既に種々利用され、高度な利活用段階にある。</p> <p>医薬等各種合成中間体分野は、ユーザーの化合物指定による受託合成として実施されていると推測され、詳細は解らない。</p> <p>特定精油成分は需要の増大により、化学的合成品が天然品の競合として現れる事がある（ヒノキチオール、メントール、グラニオール等）。</p>

5. 期待される量と価格

ここでは、公表されているデータをもとに、現状の量と価格を記載する。

表 34 テルペソ類などの利用量と価格

テルペソ類	量	価格 注1
テレピン油	輸入量 40 万 t	—
テルペソ樹脂	—	¥450-550/kg
オレンジ油	輸入量 7 万 t	—
香料用リモネン	40 t	¥700-900/kg
ロジンートール油ロジン	生産量 2 万 t (ハリマ化成)	¥140-160/kg
ガムロジン	輸入量 8 万 t	¥170-190/kg
ロジン変性マレイン酸樹脂	—	¥330-350/kg (荒川化学(株)、DIC(株)、ハリマ化成(株))
植物精油（2008 年度） (下記、注 1 注 2)	木質精油と考えられる輸入量 259 t	木質精油として考えられる輸入金額 13.9 億円

注 1：価格の出典：15710 の化学商品－化学工業日報社

注 2：財務省貿易統計（2008 年）から、全輸入量 13,250 t、金額 162 億円より、木質精油と考えられる量として、259 t、金額 13.9 億円を推定した。

注 3：流通精油－約 250 種。葉由来－約 20 種、材・根・樹皮由来－約 15 種。

（出典：木材ノート 1994.6.3 No.127 林産行政研究会資料）

3.2.3.8. 竹資源の利活用

竹製品に替わるプラスチック製品の出現や、中国や東南アジアからの安価な竹製品の輸入により、国内竹材生産量は大幅に減少している。

しかし、竹纖維は、亜麻やケナフ纖維よりも軽量であり、強度、弾性率はほぼ同等の性能を持つことから軽量強化材として期待される。

竹は、木質同様セルロース、ヘミセルロース、リグニンが構成成分であり、木質同様の方法で竹パルプ、竹リグニンに加えてヘミセルロース成分からは糖質を得る事が出来る。なお、竹リグニンは、針葉樹よりは広葉樹リグニンに近い緩やかな三次元網目構造を持っていると言われる。

竹に関する技術開発・市場動向等の状況

1. 処理技術の分類

竹繊維をはじめとする竹誘導体を利用する分野として以下のような用途があげられる。

表 35 竹利用のための処理技術

製品	処理技術
竹繊維	製造法には、爆碎法、機械的解纖法、化学的処理法が特許、文献等に見られる。ある企業によれば、爆碎法は臭気面の欠点があり、化学的処理法は強度的に満足出来ないとされた。特許によると、圧搾・機械的解纖法では、定間隔毎の押圧と押圧部の引き伸ばしを加えた後木製刃で解纖すると押圧部でちぎれ、切断面が伸びさく立ち、樹脂との複合時に優れた強度特性が出るとされる。 ⁴
竹パルプ	クラフトパルプ蒸解は、広葉樹並みの挙動を示しパルプの漂白性も良好。リグニンは木質同様黒液として得られる。
竹リグニン	現在市場打診されているリグニンは、竹のヘミセルロース分解を熱水処理で行い、不溶解のセルロース、リグニン部分からリグニンをアルカリ抽出し、酸性にして取り出されている。
竹炭	木炭と同様に炭化出来る。白炭同様 800°C以上で炭化し、灰をかけて冷却すると銀白色の白竹炭が得られる。
竹活性炭	窒素雰囲気中で 800°Cに昇温、炭化後冷却。炭化物を炭酸ガス雰囲気中昇温速度 10°C/分で 900°C迄昇温、900°Cで数時間保持し賦活する。

2. 用途

竹資源の用途について、以下にまとめる。

表 36 竹資源の主な用途

製品	用途
竹繊維	比重の小さな強化材料として、自動車、音響製品、建築製品に利活用される。 ・軽量強化材料—自動車部品（三菱自動車工業(株)） ・音響製品—スピーカー振動板（パナソニック(株)）
竹パルプ	竹パルプ入り紙に抗菌、抗カビ効果ありと云われる ⁵ 。
竹 レーヨン (バンブーレーヨン)	抗菌性、防臭性、吸放湿性、接触冷感、風合いを特徴として、竹マーク製品として販売されている（野村産業(株) ⁶ 、東レ(株)、倉敷紡績(株)、日本毛織(株)）。抗菌性布帛（MRSA 耐性布帛）が Web 情報にみられる ⁶ 。
竹炭	ミネラル含有アルカリ飲料水。 白竹炭を含む塗料が、抗シックハウス効果があると云われる（(株)日興）。

3. 技術の概要

①竹繊維：軽量強化材料、特に比強度に優れる。密度は、高弾性材料（ガラス繊維（GF））の 1/3～1/2）である。振動特性が良くスピーカー振動板（パナソニック）に、軽量化重視に好適な材料として樹脂複合体が自動車車内材料（三菱自動車工業(株)）に採用された。

- ・圧搾解纖法竹繊維：押圧/引伸/木製刃解纖一絡まり易い繊維⁴。
- ・爆碎法竹繊維：爆碎法繊維強化 PP 成型体特許出願あり⁷。臭気面懸念あり。
- ・化学処理法竹繊維：繊維強度面で不安あり。

- ②バンブーレーション：ビスコースレーション同様手法（野村産業(株))⁸
- ③竹リグニン：竹粉 → 热水処理 → 固相のアルカリ溶解 → 酸添加析出
- ④竹活性炭：加熱炭化 (800°C) → 加熱賦活 (CO₂/900°C) (北九州市立大)

4. 想定実現時期

- ①竹素材：製造技術面的には木質対象技術がほぼ適用可能。既に基本技術は確立済み。用途開発面では、軽量、高強度材料分野として自動車中心に展開が期待される。
 - ・自動車－軽量化（燃費）と環境（CO₂）面から期待大。
 - ・複合材料－バイオ由来樹脂素材との複合では、耐湿熱性の評価が重視される。
- ②バンブーレーション：繊維会社が竹マーク製品として展開中。
- ③竹リグニン：讃岐化成(株)はサンプル提供を行い、求評中。
- ④竹活性炭：未だ研究評価段階。竹故の性能評価と評価特性の提供が必要と考えられる。

5. 期待される量

- ・竹繊維複合材料の湿熱特性（耐久性）改良示せれば、自動車分野需要が期待出来る
- ・ケナフ価格が一つの目安と考えられる（トヨタ自動車(株)はケナフ材料を使用中）
　タイでのケナフ繊維価格：9-10 バーツ/kg ⇔ ¥35/kg に相当

(ケナフ協議会ニュース 2001.4/17)

3. 3. 素材メーカー等におけるバイオマス資源の利活用ニーズの状況

バイオマス資源の利活用ニーズの調査については、訪問聴取に加えて文献情報、新聞情報、Web情報なども参考とした。

3.3.1.木粉

木粉については、前節で記載した様に、広葉樹おが粉はキノコ栽培菌床用に供給され、スギやマツ等の針葉樹おが粉は家畜敷料に使用される。ここでは、中国地域での動向とその他の地域での動向について、記述する。

1) 中国地域での動向

ランデス(株) (真庭市)

間伐材チップをコンクリートに含有させたコンクリート製品を製造販売している。コンクリートに間伐材チップを 50%程度含有させると密度が 2/3 程度に軽くなる。本材料は、モコ^Rの商品名で、軽量歩道ブロック材（モコペイブ^R）やガーデン用縁石として販売されている。間伐材チップが 50%含有しても、縁石や程ブロック用途の寿命に影響しない。

岡山県真庭市

真庭地域は、スギよりもヒノキの比率が高いとされる。バイオマстаун第 1 ステージとして、真庭市バイオマス利活用計画が平成 18 年 3 月に制定された。木質バイオエタノール製造実証プラント（H16～H20）の誘致、NEDO の委託事業として未利用資源（林地残材、樹皮等）を燃料化する実証実験が実施された。バイオマス活用事例としては、ヒノキチップとセメントからのコンクリート製品製造、自社工場内で発生する木屑を用いたバイオマス発電や木質ペレットの生産販売が実施された。第 2 ステージ（H22～）では、バイオマス産業創出を重点施策として推進している。H22.4 には「真庭バイオマスラボ」が岡山県と共同設置された。バイオマス産業創出に向けて、①人材育成と普及啓発、②産学官連携によるバイオマス産業創出、③ニーズのマッチングが進められている。このため、「真庭市バイオマスリファイナリー事業推進協議会」を設立（H22.6）した。また中核機関として岡山県が参加する「森と人が共生する SMART 工場モデル実証事業」に参画している。

中国木材（株）（広島県呉市）

ベイマツの乾燥材、ベイマツ集成材、欧洲アカマツ集成材や上下層にベイマツ内部にスギ材を使用した集成材（ハイブリッド・ビーム）を製造販売している。これら木質材料製造時にはバーク及びおが粉が同伴する。おが粉は、社内ではおが粉のまま搬入材の乾燥及び発電に利用される。本社工場はおが粉の一部を活性炭原料用に近隣工場に出荷し、鹿島工場では乾燥おが

粉の一部を敷料向けに出荷している。

2) その他の地域での動向

富士エネルギー(株) (鹿児島市) (Web 情報)

木の根を解纏し 80℃で乾燥熱処理し、綿状で自然発酵させたものを牛、豚、鶏舎等の敷料に販売している。木質チップの粒度の粗さと固い木質構造の残存を回避したとされている。

(株) 木の纖維 (北海道札幌市) (カタログ情報、Web 情報)

ホーマテルム社 (独) の技術を導入、2009 年に苫小牧市にトドマツ、カラマツ原料の工場を設立し、ウッドファイバーを販売。ウッドファイバーは、高性能グラスウールと同等の断熱性能 (0.038W/m/K) を持ち鉱物系断熱材の 2.5 倍の蓄熱性を示すため、冬季の避寒や夏期の遮熱材料として適する。施設内の温度変化が抑制され、防音、シックハウスフリー、難燃 (防火構造 30 分認定取得) を特徴とする。環境省支援のエコハウスモデル事業 (20 自治体) として 3 つの自治体 (北海道下川町、山梨県都留郡、北九州市) で採用された (2010 年エコプロダクト展に展示)。

Accsys Technologies PLC (池上産業(株))、江間忠木材(株) (カタログ情報)

木材に化学的処理や物理的処理を加えて耐久性を向上させた木質素材が開発されている。

Accsys Technologies PLC は UK、アイルランド、米国に拠点を持つ企業であるが、accoya^R なるアセチル化木材を展開している。製造は Titan Wood BV(蘭)で製造し、国内は池上産業が市場展開を担当している。木材を無水酢酸でアセチル化すると、木材の膨張収縮が 7 割から 8 割抑制される。過剰無水酢酸と副生酢酸は系外に取り出す。アセチル基は木質中に存在するため、木由来の材料以外は使用していないと強調している。効果としては、寸法安定性、腐朽菌耐性、防蟻性能に加えて塗装性能も数倍に向上する。油や重金属による抗腐食効果は表層の耐久性向上にしか効果ないが、accoya は木材の芯まで化学構造が変わり高度な耐久性を示す。EU 規格 EN-350-2 の木材規格で accoya は最高のクラス 1 性能、イペ材で 2-1、チークやヒノキが 2-3、スギは最下位の 5 クラス。体積収縮率は、accoya3%、イペ 13%、チーク 9%、ヒノキ 8%、スギ 9%。建具 (ドア) や冊子材として使用すると取り替え費用含め費用対効果が優れる。用途としては、建物外壁、木造橋 (陸橋、オランダ) への適用が示され、上海万博では桟橋デッキに採用された。(2010 年エコプロダクト展に出演)

宮城県で開発されたエステックウッド^R (販売代理店 江間忠木材(株)) は、木材を窒素中で加熱処理を加え埋もれ木状素材として加工される。水分が減じ、耐久性、耐水性、防腐性、防虫性、形状安定性に優れた特性を有する。現在は杉材を加工し、デッキ材、壁材、木道等への使用例が紹介されている。

Web 上では他に、エステックウッド^R同様高温乾燥処理されたヒノキ材やカラマツ材が紹介されている ((有)エステックアソシエイツ)。ヒノキ材は、耐久性が高まり、浴槽や浴室用製品、内装加工用材、外装材用途への紹介がなされている。

(株) 日興 (東京都杉並区) (新聞情報、Web 情報)

日興(株)は、無機質コーティングを土木建築や電子部品等へ展開する企業。同社は木質用製品として、ナノコートウッド（無機質コート化粧剤）、ホーマーN（竹炭を含む塗料）、ファイヤープレベンター（難燃コート噴霧剤）、COWS-N（屋外用木材保護塗料）、WOODr.（木材洗浄剤－木質製品リフレッシュ効果）等を開発している。

ナノコートウッド：水性無機質塗料、呼吸する塗装材。シックハウス対策。

ホーマーN：竹炭、自然石、水性バインダーからなる塗料。竹炭は焼結技術で白色化。無機質焼結顔料による彩色。室内空気の浄化効果を持つ。

ファイヤープレベンター：天然素材への噴霧で不燃性に転換。

COWS-N：水常温硬化型性シロキサン塗料。防かび・腐朽菌、防蟻、紫外線・水カット、硬度アップ効果。間伐材利用に好適。

WOODr.：退色した木材や変色木材の洗浄、リフレッシュ。配合剤のヒバ油、 γ ツヤブリシが白蟻忌避効果、ヤシ油脂肪酸がセルロース分解抑制効果。

なお、日経産業新聞（2011.1.27）によると、顔料が入った液状ガラスに木材を浸漬し、加熱処理すると、木材中の導管が膨れ顔料が浸透、冷却により顔料が定着する。処理により木材中の水分と空気が減少し、防虫・防腐効果が出る処理法を開発した。処理コストは 10 万円/m³ であり、2014 年に 30 億円規模の年商を目指すとされている。

3.3.2. ウッドプラスチック (WPC)

ウッドプラスチックに関する企業情報を以下にまとめる。

1) 中国地域での動向

難波プレス工業(株) (岡山県倉敷市)

50 メッシュ ($297 \mu m \phi$ 以下) ~100 メッシュ ($150 \mu m \phi$ 以下) の製材前に乾燥された木粉供給を受け、押出成形により木粉と PP からなるシート材料を成形し、シート材料から冷間プレスで自動車内装材料が製造されている。建材廃材からの木粉は乾燥されており、使用に手間がかからず好都合である。

(株)ウッドプラスチックテクノロジー (東京、岡山県津山市)

東大農学研究科の安藤直人教授が技術顧問に就任、安藤教授の技術でウッドプラスチックパレットが岡山工場 (津山市) で製造され、販売されている。

ワタナベ工業(株) (岡山県総社市)

WPC に類似の技術として、木粉とデンプンから成形されたナプラス^Rなる製品開発を進めている。木粉にデンプンと水を加え、射出成形する。全てが天然素材であり次の様な特性の成型品が得られる。耐熱性良好であり、木の風合いを持ち、1 年以内に生分解する。水に接触すると 3 ヶ月でほぼ崩壊し、夏期、土中であれば 4 ヶ月で原型を止めない程度に生分解する。ナプラスの特性を活かした対象製品として、水溶性で土に帰る素材として魚釣り用餌箱、日用雑貨などに展開を考えている。

2) その他の地域の動向

富山県西部森林組合⁹ (Web 情報)

Web に見られる参考文献¹では、WPC 用木粉粒径として $150 \mu m$ 以下、水分 5% 程度が良いとされている。販売用木粉は 4 グレードが販売されており、粒径からは 2 グレードが WPC 相当と考えられるが、水分がいずれも 10% 程度と WPC 用木粉としては水分が高くなっている (WPC 用木粉スペックは、特許¹⁰によれば、粒径 $50\text{--}200 \mu \phi$ 、水分 0.5% 程度が好ましいとされている)。三菱自動車工業(株)が、オプション部品のカップ型灰皿に採用した白石法木粉フェノール樹脂の原料木粉は、富山県西部森林組合のスギ木粉が採用された。

ミサワエクステリア(株)、WPC コーポレーション(株)、大藪製作所(株)、積水樹脂(株)、積水化学(株)、積水化学工業(株)、(株)エコマ商事など (Web 情報)

ウッドプラスチックの代名詞でもあるデッキ材向け WPC は、木粉と PE 或いは PP にマレイン酸変成 PP (相溶化剤) が添加されコンパウンド化される。コンパウンドは、2 軸押出機に供給され金型内で中空形状に押し出される。市販されている合成木材 (人工木材) のWPC は、建築廃材と廃棄物であるリサイクルプラスチック (PE や PP 等) から成形され、用途は建設資材向けが多い。建築廃材とリサイクルプラスチックからなる WPC として、M ウッド^{2R} (ミサワエクステリア(株))、STERRAWOOD^R (WPC コーポレーション(株))、デュラウッド^R (大藪製作所(株))、オレンジウッド^R (積水樹脂(株)) 等がデッキ材料として販売されている。

千葉県 (環境生活部)

資源化されにくい木質バイオマス (被害材、製材残材、樹皮、竹材、剪定枝) の利活用を WPC 分野で進めるにあたり、押出成形分野は建設廃材利用の先行企業が強く、参入が難しいと考え、射出成形に絞った開発を進めている。強度が要求される分野では PP 含量を増大させる。コンパウンド供給業者 ((株)佼和テクノス) と県内成形事業者、大学等研究機関及び千葉県で構成される木質プラスチック部会が活動中であり、8 社が射出成型品を製造販売している。

3.3.3. 粉碎技術とセルロースナノファイバー

セルロースナノファイバーは、単纖維径 3-4nm、ミクロフィブリル幅 3-30nm であり、媒体中で光を散乱せず透明となり、強度はアラミド纖維並みであり、極めて低い線膨張率 ($\leq 10\text{ppm/K}$) を有する。透明基板フィルムや電池セパレーター、高性能分離膜、再生医療分野等の用途が期待されている。しかしながら、現在、これら分野における企業の研究開発状況は明らかにされていない。

1) 中国地域での動向

高剪断下酵素処理法 (京大・矢野法)、三菱化学(株)、王子製紙(株) (Web 情報、新聞情報)

三菱化学(株)と王子製紙(株)が、高剪断下酵素処理法 (京大・矢野法) セルロースナノファイバーを使って、高強度を活かした複合材料を開発中と伝えられる。

高剪断下 TEMPO 酸化法 (東大・磯貝法)、日本製紙(株)、凸版印刷(株)、花王(株)

(Web 情報、新聞情報)

日本製紙(株)、凸版印刷(株)及び花王(株)が、高剪断下 TEMPO 酸化法 (東大・磯貝法) 由来のセルロースナノファイバーを利用した製品の共同開発中である。日本製紙(株)発表

(2010.6.28) によれば、ポリ乳酸（PLA）等のバイオプラスチックとセルロースナノファイバーの組み合わせにより、酸素透過性の低いバリア材料への可能性を見いだした。高機能包装材料としての製品開発と市場性やコスト等の事業採算性の見極めを進めるとされる。

モリマシナリー(株)（岡山県赤磐市）

真庭地区で進められている「セルロース系バイオマス利活用事業モデル」は、製材廃材から得られるチップ、木粉に機械的処理、熱水処理やバイオ処理を加え、成分分離の検討や用途の多様化が進められている。モリマシナリーは、「セルロース系バイオマス超微粉碎技術研究会」に参加して、木質ナノファイバーの超微粉碎プロセスの開発を進めている。

開発機は、岡山県工業技術センター等が進める石臼式粉碎機方式で懸念される生産性改善を目的としている。

岡山県工業技術センター

岡山県工業技術センターでは、量産用湿式粉碎機の 2 年後完成を目指して産官連携で実証研究中である。石臼式磨碎機によりナノファイバー化の研究開発を進め、自動車向け部材として研究開発を進めている。プラスチック強化材料分野への展開を期待している。

日本製紙ケミカル（株）（東京、島根県江津市）

サルファイト法パルプ（溶解パルプ）を酸加水分解で分解して粉末化したパルプ纖維（粉末セルロース）は、消化されない不溶性植物纖維であり、水と油への両親媒性を有し、耐熱性（分解温度 230°C）であり、水酸基の化学修飾が可能な材料と云われている。

不溶性植物纖維としてハンバーグに用いるとつなぎ代の小麦、卵、乳の使用が無くてもしっかりととした食感を与える。ケーキやドーナツに添加すればしっとり感が維持出来、作業性も向上する。食品以外用途には、濾過助剤、耐衝撃性や耐熱性、寸法安定性向上用の樹脂やゴム等への添加剤、ウレタン塗料へのダレ防止や艶消し材として塗料や合皮へ、更には飼料分野等で使用されている。（神戸女子大学 山根教授）

不溶性パルプ纖維をカルボキシメチル化することでカルボキシルセルロース（CMC）となり、アニオン性の水溶性高分子として、増粘性、保水性、分散安定性、乳化安定性、保護コロイド性、ゲル化特性等を活かして、食品分野等で使用される。超低置換度 CMC は、特にチクソトロピー性に優れ、ゲル化機能を活かした各種分野で使用される。

2) その他の地域での動向

旭化成(株) (東京) (文献情報、Web 情報)

抄紙法セルロースナノファイバー不織布 (CNF) の用途については他の纖維との複合抄紙や他不織布との積層による機能化が掲げられ、機能性フィルター、セパレーター、医療用支持体、フレキシブルディスプレイ基板、低膨張性基板材料等の記載がある。

3.3.4. 糖化法及びバイオリファイナリー

前述の「木質バイオマス関連技術開発・市場動向等の状況」で記載したバイオリファイナリーは、「図8 次世代型統合バイオリファイナリー (p20)」に示される様に今後の展開として期待される分野である。木質バイオマス糖化はバイオリファイナリーの前段階と位置づけられる。バイオリファイナリーによる化学製品製造は今後急速な発展が期待されている。

木質バイオマス資源豊かな中国地域としては当面、木質バイオマス糖化への木質資源の供給を目指してバイオマスの搬出ルートの整備、搬出インフラ整備に加え、糖化段階原料である木粉製造技術を含めた木粉供給インフラ整備が考えられるべきであろう。酵素糖化技術は、産総研バイオマス研究センター (AIST/BC) で進行中であるので AIST/BC の動きを注視し連携を深める事が期待される。又酵素糖化法以外の糖化技術の展開を注視すると共に、糖化技術の研究開発先への木粉供給等を通して、顧客研究開発先の要望・要求に応える体制構築が期待される。

1) 中国地域での動向

バイオリファイナリーへの展開には、グルコースからのバイオエタノール以外の各種化学物質へのバイオリファイナリー（化学的誘導法）に加えて、ヘミセルロース由来単糖を利用したバイオリファイナリーの構築が必要で有る。中国地域では、化学系企業の事業所が立地しており、これらの動向について整理してまとめた。

大手化学企業数社

中国地域に立地する大手化学企業の事業所は、バイオリファイナリーの進展に大きな関心を抱き、バイオリファイナリーによるケミカルズの展開を注視している。木質バイオマス由来化学原料を利活用する高分子素材の開発に着手する企業も見受けられる。しかし、木質バイオマス由来原料の入手経路については、明らかにしていない。

2) その他の地域での動向

グルコースからのバイオリファイナリーの動向について以下にまとめた。

現在エタノール生産に向けた並行複式発酵をベースとした開発が進められているが、グルコースからのケミカルズ合成も盛んに研究開発されている。

バイオエタノール・ジャパン・関西(株) (大阪府堺市) (Web 情報)

木質バイオマスからグルコースを得る試みは、硫酸糖化法、希硫酸糖化法等化学的処理による方法が検討されたが、工業的には未だ確立されていない。

希硫酸法を検討するバイオエタノールジャパン・関西(株)は、ヘミセルロースの糖化迄を希硫酸糖化法ですすめ、セルロースの糖化は酵素法で検討すると伝えられる。

Novozymes 社と Genecor 社 (Web 情報、新聞情報)

澱粉の酵素糖化では高濃度のグルコース水溶液が得られるが、セルロースの酵素糖化（セルラーゼ）ではグルコースの蓄積で酵素活性が低下し高濃度グルコース溶液が得難い（拮抗阻害）。拮抗阻害を避けるためセルラーゼによる糖化と酵母によるアルコール発酵を同時進行させる方法（高アルコール濃度醸造酒製法である並行複式発酵）の開発が進められている。

酵素糖化法は、海外では遺伝子組換え技術を利用して菌株改良が行われて来た。米国 DOE 資金の提供を受けて Novozymes 社と Genecor 社が希硫酸前処理物からのセルラーゼの改良を行い、バイオエタノール生産にかかるセルラーゼ酵素コストの大幅な低下に成功し、更なる改良に取組中と伝えられる。

ブラジルプラスケン社、豊田通商(株) (名古屋、東京)¹¹ Web 情報)

バイオエタノール生産は、2007 年に、ブラジルにおいてサトウキビ由来の 2200 万 KL、米国ではトウモロコシ由来の 2,600 万 KL に達した。同年における EU のバイオエタノール生産は 200 万 KL であり、独、仏及びスペインが主産国である。ブラジルプラスケン社は、砂糖生産の副産物である廃糖蜜を利用した酵母発酵によりバイオエタノールを生産し、2011 年からバイオエタノール由来の 20 万 t/Y 規模でのバイオポリエチレンの商業化に着手すると伝えられ、豊田通商（株）も同計画に参加する。

ネーチャーワークス（米国カーギル社）、バイオブタマックスアドバンスド・バイオフェュエル（BAB）社 (Du Pont、英国 BP 合弁設立) (新聞情報、Web 情報)

米国カーギル社で始まったグルコース由来のポリ乳酸は、ネーチャーワークスに生産移行され、2009 年 5 月時点で生産能力は 14 万 t に達している。

Du Pont と英国 BP が 2009 年に設立したバイオブタマックスアドバンスド・バイオフェュエル

ル（BAB）社は、従来のブタノール・アセトン発酵を改良し副生物の無いイソブタノール発酵に成功したと云われる。発酵用微生物の改良によると推測される。

DuPont 社は、遺伝子修飾微生物によりグルコースをグリセリンへ転化、グリセリンから 1,3-プロパンジーオール（1,3-PDO）へ誘導する技術を開発した。1,3-PDO とテレフタル酸から合成されるポリエステル樹脂（PTT、ソロナ^R）繊維は、2004 年に 17,000 t が生産され、2011 年第 2 四半期迄に 1,3-PDO の生産を 35% 増産すると伝えられている。国内でも、東レ（株）が進める PTT 生産量は 2005 年に 3,000 t/Y に達した。

三井化学(株)（東京）（文献情報、新聞情報）

三井化学¹²は、遺伝子組換え大腸菌を用い、グルコースや廃糖蜜由来のスクロースから D 乳酸製造技術を開発したと伝えられ、更に遺伝子組換え大腸菌により糖蜜や廃木材由来糖類からイソプロパノール製造技術を確立したと伝えられる。D 乳酸は、ステレオコンプレックスポリ乳酸（帝人（株）のバイオフロント^R）成分であり、バイオイソプロパノールはバイオプロピレン原料となる。

このように、グルコースからのバイオリファイナリーは着実な進展を見せつつある。

バイオリファイナリーへの展開には、グルコースからのバイオエタノール以外の各種化學物質へのバイオリファイナリー（化学的誘導法）に加えて、ヘミセルロース由来单糖を利用したバイオリファイナリーの構築が必要である。

3.3.5. リグニン

リグニンについては、古くから製紙業界で利用が行われており、クラフト法パルプ製造においては、リグニン含有黒液は燃料としてエネルギー利用されている。一方、日本唯一のサルファイト法パルプ製造を行っている日本製紙ケミカル（株）においては、機能性の化学素材として製品化されて販売が行われている。

1) 中国地域での動向

日本製紙ケミカル(株)（東京、江津工場：島根県江津市）

サルファイトパルプ副生リグニンのリグニンスルホン酸は、日本製紙ケミカル（株）が、サンエキス^R、バニレックス^R及びパールレックス^Rなどの三分野の商品群を製品化している。

表 37 日本製紙ケミカル（株）のリグニン関連製品の特徴

商品名	主たる性状	追加説明
サンエキス	リグニンスルホン酸塩。Ca 塩、Mg 塩、Na 塩、及び混合塩 (Ca、Na 塩混合)。9	PH 範囲が酸性 (PH4.5~7.0) からアルカリ性 (PH1) に分布する。

	グレード存在。	還元性糖類量調整品もある。
バニレックス	リグニンスルホン酸をアルカリ性高温下で反応させ、高度な化学処理と精製を行い、一部脱スルホン化したもの。Na 塩のみ。4 種のグレードが存在。	還元性糖類は含まない。多くのグレードでは糖変性物も含まない。無機塩類量は概してサンエキスの倍量程度存在。
パールレックス	リグニンスルホン酸を高分子、低分子に分離し、高分子量物を化学処理した高分子量スルホン酸塩。3 種のグレードが存在。	還元性糖類及び糖変性物は 8% 程度。Ca 塩(2 グレード)と Na-Ca 混合塩(グレード)がある。

出典：日本製紙ケミカル(株)カタログより作成

日本製紙ケミカル(株)のリグニン関連製品は、具体的には次の様な分野に使用される。

○化繊用染料分散剤・染色助剤	○含量分散剤・染色助剤
○カーボンブラック分散剤	○黒鉛・活性炭増粒剤
○豆練炭成形用粘結剤	○粉鉱ブリケット用増粒剤
○窯業原料粘結剤・分散剤	○石膏ボード・ブلاスター用分散剤
○セメントクリンカー用粉碎助剤	○モルタル・コンクリート混和剤
○泥水調整剤	○肥料増粒剤
○農薬増粒剤・分散剤	○水処理剤・ボイラーコンデンサ防食剤
○電解精製・メッキ浴助剤	○蓄電池陰極板防縮剤
○インゴットケース塗型剤	○熱硬化性樹脂增量剤
○皮なめし助剤	○菌糸活性剤
○産廃物の焼却灰の増粒剤	○人工軽量骨材増粒剤
○ダスト、スラッジ、フライアッシュの増粒剤	

島根県隠岐の島町

相分離変換システムの実証事業が隠岐の島町で実施されている。林野庁の「平成 21 年度資源活用型ニュービジネス創造対策事業」に応募、「木質バイオマスからリグノフェノール及びメタン製造システム確立（小規模分散型製造システム）」が採択された。実証プラント設備は、混合機、反応器、電気透析設備等が設置されている。本設備はリグノフェノール採取に加え、硫酸相側の糖分（セルロース及びセルロース由来）を嫌気性発酵に供し、メタンを採取しエネルギー利用する。嫌気性発酵残渣は肥料用途に向けられる。実証プラントでのリグノフェノール採取に成功し、リグノフェノールの評価が開始された。メタンは、現在島内で使用されるプロパンガスの代替等が想定されている。

リグノフェノールは塩析操作で、粉末状に結晶化する。実証プラントから工業的（商業的）設備への移行には改善・合理化が必要で有り、林野庁や国の更なる支援を希望している。

国内の木材搬出コストは¥8,000/t と云われるが、隠岐の島町はフォーワード等伐採設備の導入があれば、島内に張り巡らされた林道により港までの搬出価格はより安価と伝えられる。

(独)産業総合技術研究所バイオマス研究センター (AIST/BC)

(カタログ情報、セミナー情報、Web 情報)

湿熱粉碎酵素糖化法で副生されるリグニンは、AIST/BC 法での酵素糖化に目処がたったとされ、近々入手が可能と推測される。酵素糖化法副生リグニンは、その製法から殆ど変質を受けていないリグニンと考えられ、変質していないリグニン故に、化学的手法で制御の効いた低分子化や変性を加える事で、樹脂分野や炭材分野、更には繊維素材等への利活用の展開が期待される。

東海カーボン(株) (東京都港区) (学会情報)

杉材を用いた AIST/BC 法での糖化処理後のリグニンリッチ残渣による炭素材料化に関する研究結果を第 6 回バイオマス科学会議（2011.1.12-13、大阪大学コンベンションセンター）で発表している。リグニンリッチ成分を、フェノール溶媒中及びフェノール/テトラリン溶媒中でフェノールと反応、不溶物を濾過除去後、単孔紡糸法で単纖維を紡糸し、不融化処理により炭素纖維を得る。得られた炭素纖維の引張強度は糸径 $10 \mu m$ で約 900MPa を示した。この数値は、市販の等方性ピッチ系炭素纖維の強度を凌ぐと報告された。テトラリン共存は、不溶分が減少し、紡糸時の安定性の向上と、欠陥減少により纖維性能向上に寄与している。

2) その他の地域での動向

三重大学船岡正光研究室 (書誌情報、文献情報、Web 情報)

リグニンの利活用に関しては、三重大学船岡正光教授が、「相分離変換システム」を提唱されている。相分離変換システム法は、フェノール溶媒共存下、常温で濃硫酸が短時間作用される。糖類は硫酸側に溶解し、リグノフェノールを含むフェノール溶媒相は抽出分離される。リグノフェノールでは、フェノール類との反応でリグニン網目構造が開放され、フェノール類の置換と共に分子量が低下する。リグニンの変質はパルプ法副生リグニンより軽微とされ、フェノール樹脂代替分野始め種々の用途への研究開発が進行している。

相分離変換システムの実証研究は、過去北九州エコタウン事業の一つとして「廃木材や間伐材等の木質廃棄物からリグノフェノールを取り出し、木質系プラスチックとしての利用を目指した実証研究」として実施された。研究組合メンバーの東洋樹脂(株)¹³ (愛知県小牧市) は、ダイナパック(株) (名古屋市中区) と共同開発の結果リグノフェノール誘導体を含浸した段ボールを開発している。東洋樹脂(株)ホームページによれば、リグニンの回収が可能であり、リグニンの循環利用が出来るとされている。(株)日立製作所は、東洋樹脂(株)から提供されたリグノフェノールをエピクロルヒドリンと反応させ、エポキシ化リグニンを得ている¹⁴。

白石バイオマス(株) (京都府京丹後市) (主として文献情報)

リグニンそのものの利活用では無いが、フェノール存在下、フェノールと木質（リグニン、セルロース、ヘミセルロース）成分を一体化した木質フェノール樹脂が、白石バイオマス(株)で開発されている。同社の白石信夫氏（京大・名誉教授）は、アグリフューチャーじょうえつ(株)（上越市）の研究所長として、米粉をPPに混ぜ込んだアグリウッド^R、デンプン（米粉）を多価アルコールで変性したポリオールによるウレタン材料、木質フェノール樹脂等の開発を進め、白石バイオマス社が引き継いで更なる開発を進めている。

三菱自動車（株）は、白石法木質フェノール樹脂から成形されたカップ型灰皿をディーラーオプション部材として採用した。アグリフューチャー・じょうえつ(株)で試作された木質フェノール樹脂（液化物）は、パナソニック電工(株)や今仙電気製作所の協力を得て工業化された。配合処方の改良の結果、耐湿熱性外観は従来材同等の外観となり、耐熱性（TG-DTA評価）は従来材と同等以上となり、難燃性及び消火性はUL94-V0となり従来材のUL94-HBを凌駕した¹⁵。

3.3.6. テルペン、ロジン

テルペン及びロジンはその殆どが輸入されている。関連する企業情報を以下にまとめた。

1) 中国地域での動向

ヤスハラケミカル（株）(広島県府中市)

テルペン系樹脂は、種々の熱可塑性高分子（エラストマー）と混合すると粘着性を引き出す機能があり、接着剤や粘着剤の製造に不可欠とされる。ホットメルトやエポキシ封止剤の配合剤として評価が高い。テルペン単独樹脂或いは石油成分と共に重合で、相手素材とのなじみや相溶性が制御出来、各種プラスチックスやエラストマーと相溶し、競合する石油系樹脂を凌駕している。

テレピン油を蒸留精製して α -ピネンや β -ピネンを得ている。オレンジ油からはリモネンを精製している。ピネン類やリモネンは、テルペン樹脂に加工され、EVA（エチレン酢酸ビニル重合体）に添加してホットメルト接着剤に、天然ゴムに添加してセロファンテープ接着剤に使用される。又加熱により接着性が発現するラミネートフィルムとして納豆等の透明シールフィルムや本の艶出しフィルム等に利用される。

(株)クラレ（大阪、倉敷）

(株)クラレは、メチルメタクリレート（MMA）モノマーと MMA 成形材料の大手メーカーであるが、 β -ピネン重合物がアクリルにない特徴を持つため、 β -ピネン重合技術について研究開発した。 β -ピネン重合物を水添ポリ β -ピネンは、光線透過率がポリカーボネート樹脂より優れ、水添環状シクロポリオレフィン（COP）と同等となる。COP はディスク記憶材料やプラスチックレンズとして携帯電話に多用される。COP と同等の複屈折と低吸水性を示し、比重は COP よりも 10%程度軽量である。

関連会社のクラレケミカル(株)はヤシガラ由来の活性炭事業を展開している。フェノール系樹脂系からの活性炭も製造している。

2) その他の地域の動向

ハリマ化成(株)（大阪）、荒川化学(株)（大阪）（Web 情報、新聞情報）

ハリマ化成(株)は、マツ材由来のクラフトパルプ黒液から得られる粗トール油を米国から輸入し（6 万トン以上）、蒸留によりトールロジン、トール油脂肪酸及びピッチを生産している。荒川化学(株)（大阪）は、過去ガムロジンを輸入していたが、現在は関連会社広西荒川化学工業においてマツヤニからロジンを生産し、国内に持ち込んでいる。

ロジンは製紙用サイズ剤、塗料・インキ・接着剤用樹脂や合成ゴム乳化剤の生産に利用される。トール油脂肪酸はダイマー酸に導かれ、ポリアミドやポリエステルの製造に利用される。ロジンは、テルペン樹脂同様重合性を利用して、重合体に導かれる。ロジン重合体もテルペン樹脂同様アクリル樹脂、EVA、SBR 等と相溶性が良く、これら粘・接着剤主剤の接着力や耐熱性等を向上させる。身近な用途としては滑り止めとして、野球、バレーシューズ、バイオリンの弓等に使用される。

印刷インキの構成は“顔料（色料）”と“ビヒクルから構成される。ビヒクル（意味：運搬、荷車）は、紙へ顔料を運び、印刷後紙へ顔料を固着する働きをする。ビヒクルは樹脂、油（植物油）、溶剤から構成され、印刷インキ樹脂分にはアルキッド樹脂やロジン変性フェノール樹脂が用いられる。印刷インキには、ロジン変性フェノール樹脂が性能面から特に多用される。

ハリマ化成(株)は、三菱商事(株)と共同出資会社を設立し、米国精密化学メーカー モメンティブ社（オハイオ州）の天然ロジン事業を買収した。モメンティブ社は、7カ国 14 の製造拠点を持ち、印刷インキ用樹脂分野のトップシェアを持つ。ハリマ化成(株)はこの買収で、欧米や中国等海外の印刷インキ用樹脂や粘・接着剤用樹脂の生産、販売強化を図るとされている¹⁶。

(有)キセイテック社（和歌山県橋本市）、ヒノキ新薬(株)（東京都）、高砂香料(株)（東京都）、大阪有機化学(株)（大阪市）など（Web情報、文献情報）

木質の葉部や材部の水蒸気蒸留で得られる精油類は、香料としての使用や精神を安らげるアロマテラピー分野で使用される。また、不快害虫忌避効果、殺ダニ効果、抗菌効果等に着目した製品開発が行われている。精油類の生産は、地域特産品として少量生産されているが、実態は解りがたい。例えば(有)キセイテック社（和歌山県橋本市）ホームページには、青森ヒバ精油やヒノキ精油（材油・葉油）が掲載されているが、青森ひば精油中のヒノキチオール含量は2%程度となっている。ヒノキチオール製品は医薬品効果として、殺菌・抗菌作用、消炎作用、皮膚浸透作用やメラニン色素の生成を抑制作用が有るとされ、医薬部外品のスキンケア製品としても販売されている（ヒノキ新薬(株)（東京都））。

国内流通精油¹⁷は250種程度あり、流通の多いものに葉由来が約20種、材・根・樹皮由来が15種程度流通しているとされる

なお、ヒノキチオールは天然品と合成品があり、合成品は高砂香料(株)（東京都）や大阪有機化学(株)（大阪市）から販売されている。

3.3.7.竹資源の利活用

竹は木材に比較して、成長が早い。また、竹繊維、竹パルプ、竹リグニン、竹活性炭などの用途が期待される。

1) 中国地域での動向

三菱自動車工業(株)（東京）（下記は、文献情報）

三菱自動車（株）は、竹繊維で強化したポリブチレンサクシネット（PBS）複合材を開発した。PBS繊維と竹繊維を混合しプリフォーム化し、プレス成形後冷却して得た複合体が、電気自動車i-MEVの実走行試験車と量産車のテールゲートトリムに採用された。量産車には石油由来樹脂と竹繊維の複合体が採用されている。

竹繊維採用理由は、①竹繊維は低密度であり引張弾性率（剛性）に優れる、②竹の生長が早く、環境面及び入手性に優れる（外来植物の様に生態系を乱さない）、③竹の採用は新たな利用用途の構築となり、竹害の解決や国内村おこしに貢献出来る、と指摘している¹⁸。自動車メーカーは、環境に優しい材料に目を向けており、自動車材料では内外装とも軽量化追求が盛んであり、軽量高強度の材料として、より少ない添加量で効果が得られると注目されている。

讃岐化成(株)（香川県）

讃岐化成(株)（香川県綾歌郡）は、2009年中小企業ものつくり製品開発等支援事業の支援を

受け、竹からのリグニン採取の研究開発を実施し、竹リグニンやセルロースをユーザー企業向にサンプル提供している。

2) その他の地域での動向

パナソニック(株)¹⁹ (Web 情報)

パナソニック(株)は、同志社大学の产学連携共同プロジェクトにより、竹繊維を使用したスピーカー振動板開発に成功した。振動板は通常北欧産針葉樹等の高級パルプが使用されるが、竹繊維のスピーカー特性は、針葉樹パルプの振動板より特性が良い。竹繊維振動板を使用したスピーカーは、高剛性で高音域がクリアに再生出来る。

従来法竹繊維（竹パルプ、中国品）とパナソニックエレクトロデバイスで羽毛化されたインドネシア産竹繊維（竹パルプ）の配合品で竹繊維 100%である。

表 38 竹繊維と針葉樹の振動板特性

	比重	内部損失	弾性率	音速
竹繊維	0.37	0.033	2100	2380
針葉樹	0.40	0.035	1450	1900

野村産業(株)⁸、東レ（株）、倉敷紡績（株）、日本毛織（株）など (Web 情報)

竹パルプから得た繊維或いはレーヨンは、抗菌性や防臭、吸放湿性や接触冷感を持つとされ、東レ（株）（爽竹^R、合纖混紡）、倉敷紡績（株）（凜竹^R・紫竹^R、天然繊維混紡）、日本毛織（株）（ニッケ・バンブール^R、ウール混紡）、野村産業（株）（バンブール^R）等が、共通した竹マークを付して市場展開を図ったとされる。

中越パルプ工業(株)（富山県） (Web 情報)

鹿児島県川内工場で鹿児島県の竹パルプを利用した竹入紙の生産をしている。抗菌・抗カビ等の効果があるとされ、製造特許が出願されている⁵。

(有)エム・イー・ティー（愛知県幡多豆郡） (Web 情報)

Web 情報²⁰であるが、小規模ながら竹活性炭をアルカリ飲料水向けに販売している。

3. 4. 中国地域における木質バイオマス・ファインケミカルズ・リファイナリーシステムの展開方向の提案

3.4.1. 展開方向について

木質バイオマス・ファインケミカルズ・リファイナリーシステムを構築する上で、重要なポイントを以下に示した。

- 「石油資源の代替用途」よりも「木質の特質を利用した用途」を目指した製品開発を行う。
- 「一般的な用途」よりも「高付加価値の用途」を目指した製品開発を行う。
- 「当面行うべき製品開発」と「時間を要する製品開発」を区別して取り組む。
- リファイナリーとして、木質バイオマスを余すことなく有効利用する。
- 地域の特性を活かした地域の仕組み作りを行う。

以下、これらのポイントについて説明を行う。

1) 「石油資源の代替用途」よりも「木質の特質を利用した用途」を目指した製品開発

木質資源を加工して利用する流れを「資源」→「加工」→「利用」の順番で整理すると図のようになる。森林資源についてみると、従来から、一般家庭や事業者においては、木材を建材や家具として利用している。一方で、エネルギーやマテリアル（広義の意味でケミカルやファインケミカルとして）として利用する場合には大別して、「石油資源の代替用途」か「木質の有効性を利用した用途」に分けられる。

「石油資源の代替用途」では、石油資源由来のエチレン、プロピレン、メタノール、エタノール、プロパノールなどの基礎化学製品を木質バイオマスから作ることである。これらの基礎化学製品の需要に関しては、石油価格の変動により、その需要に対する価格が変化することが考えられる。一方で、石油資源のように二酸化炭素を排出しないというエコエネルギー やエコ原料の観点としてのニーズが考えられる。利用者は、化学産業における大手事業者が考えられ、数万～数100万トンレベルの流通量がある。

一方、「木質の有効性を利用した用途」は、木質の持つ固有の特質を利活用した用途である。具体的には、炭素材料、繊維、接着剤、香料など木質固有の性質や特徴を利用した用途であり、利用者としては、大手や中小の化学企業、自動車企業などの各種製造業が考えられる。これらの用途やその他にも、今まで気がついていない潜在的な用途などが存在している可能性がある。流通量としては、数トン～数万トン程度である。地域振興の観点からは、中小事業者でも参入の可能性がある「木質の有効性を利用した用途」を優先する。

木質バイオマスの利活用の状況を図に示した。

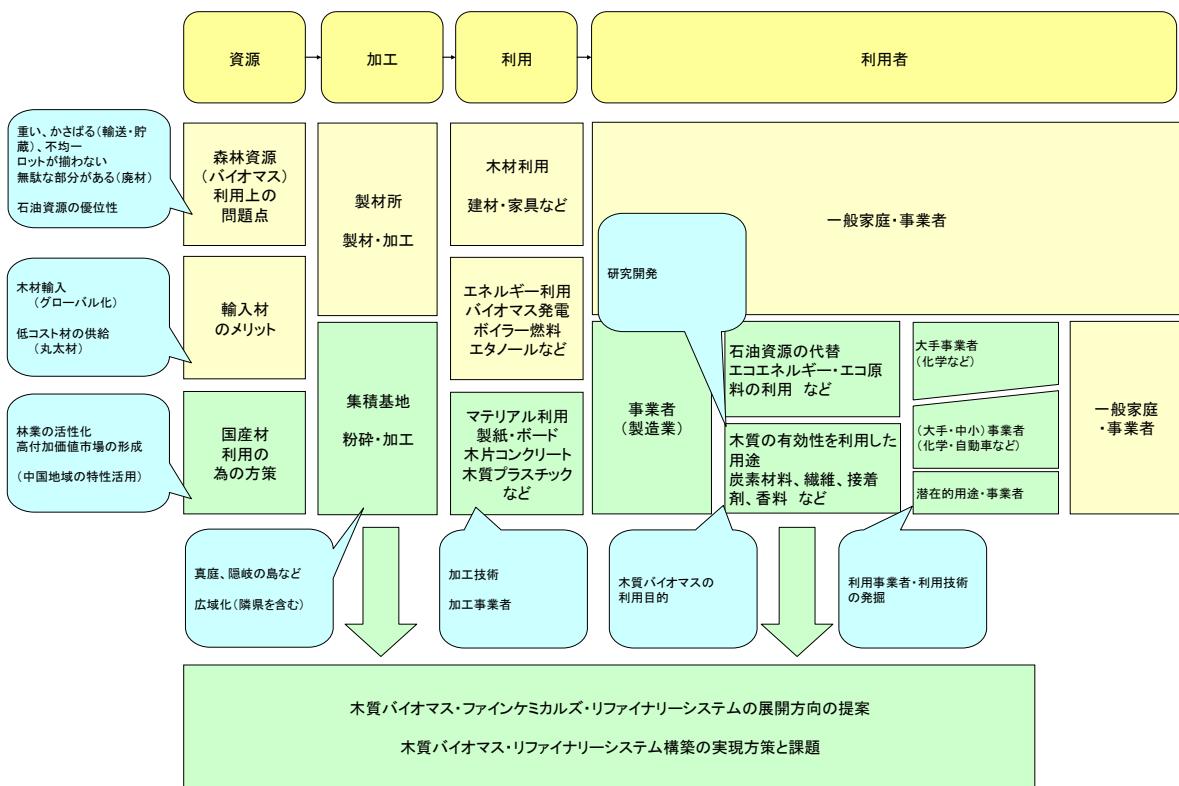


図 10 木質バイオマスの「石油資源の代替用途」と「木質の特質を利用した用途」について

2) 「一般的な用途」よりも「高付加価値の用途」を目指した製品開発

木質バイオマスの利活用における用途として「高付加価値の用途」と「一般的な用途」がある。

木質バイオマスを資源の観点でみると木材の特徴である「重い」、「かさばる」、「不均一である」、「ロットが揃わない」、「廃材など無駄な部分がある」などの特徴があげられる。

一方、「石油資源の代替用途」では、石油資源の優位性との競争比較の状況となる。また、木材自体では、国内資源よりもむしろ丸太材などの輸入木材を利用した方が、メリットが大きく、輸入材との比較競争となる。中国地域の特徴である国産材を利用するためには、「一般的な用途」より「高付加価値の用途」の市場を形成し、林業の活性化をはかっていく必要がある。

つまり、「高付加価値の用途」を目標とした製品開発を行う必要がある。

以下の図には、実用化期間と価格帯からみた木質バイオマスの利活用のイメージを示した。

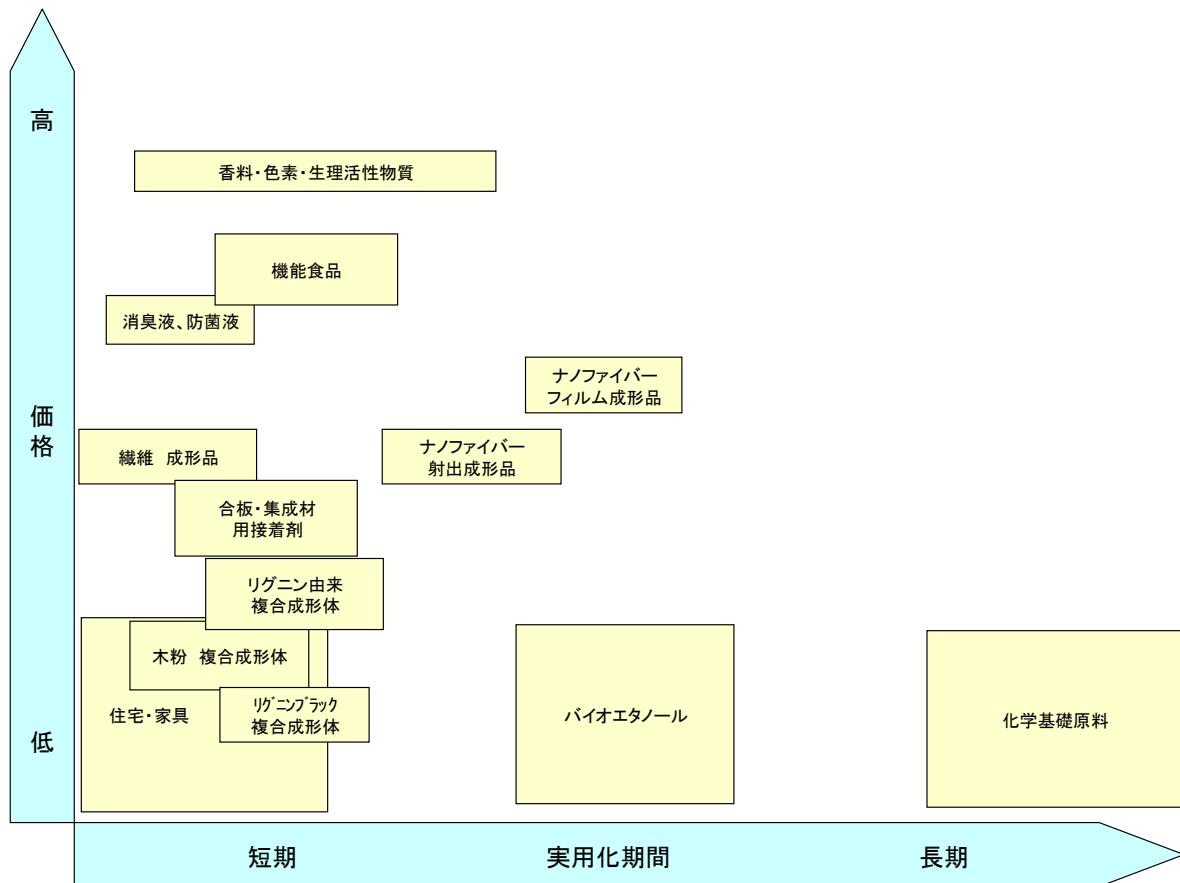


図 11 実用化期間と価格帯からみた木質バイオマスの利活用のイメージ

三菱化学テクノリサーチにてイメージとして作成した（横軸、縦軸は推定）

3) 「当面行うべき製品開発」と「時間を要する製品開発」を区別した取り組み

木質から有用な成分を取り出すにあたっては、「集積地側での供給体制」、「利用者側での受入体制」とそれぞれの生産や製造及び利活用に必要な各々の「技術」が必要となる。

集積地（川上側）と利用者（川下側）における実用化期間を短期のものと長期のものに分けて、整理したものをイメージ図として示した。

供給体制が直ぐに整うものや、時間をかけた研究開発の後に供給体制が整うものが考えられる。一方で、受入体制も短期で可能なものと長期にわたるものがある。

また、技術開発についても直ぐに対応できるものと時間をかけた研究開発が必要なものがある。

つまり、「集積地側での供給体制」、「利用者側での受入体制」と「技術」の3つから、「当面行うべき製品開発」と「時間を要する製品開発」を区別して、「当面行うべき製品開発」

を優先することが必要である。

また、バイオマス活用推進基本計画（平成 22 年 12 月 17 日閣議決定）における目標として掲げられたバイオマスを活用する約 5,000 億円規模の新産業の創出が技術開発のブレークスルーによってできるように、「当面行うべき製品開発」と「時間を要する製品開発」などを取捨選択した上での取り組みを行う。

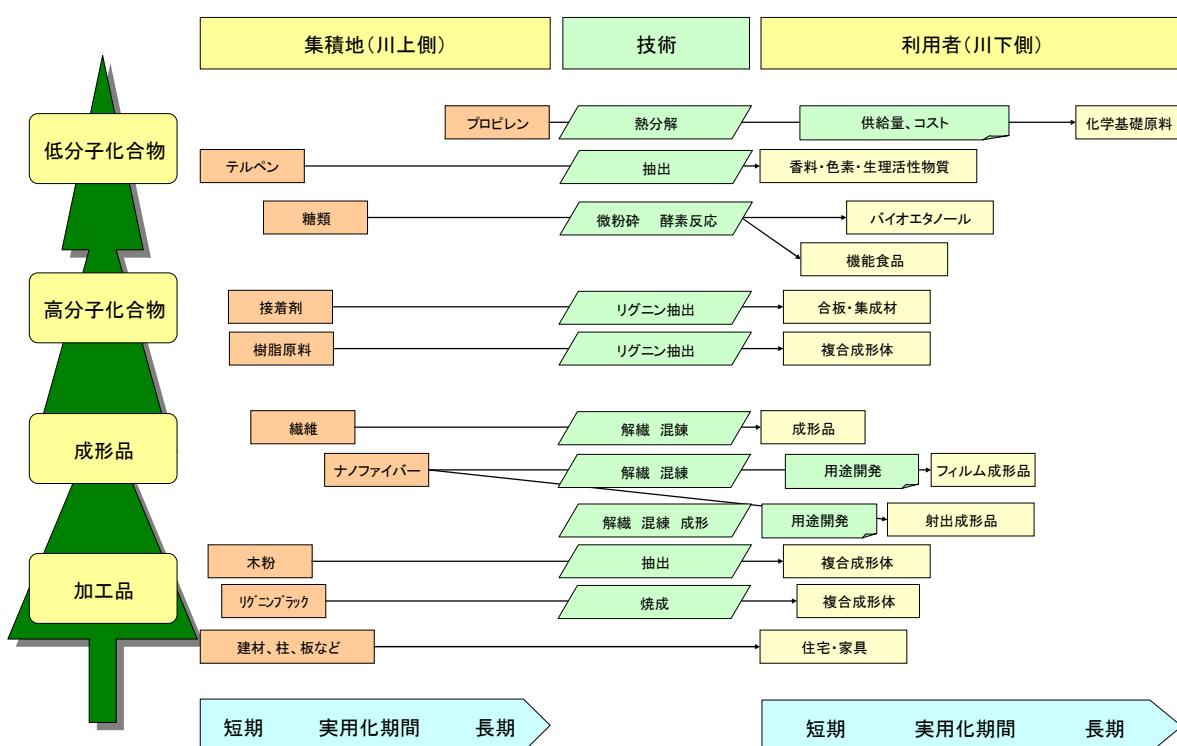


図 12 実用化期間からみた木質バイオマスの利活用のイメージ

三菱化学テクノリサーチにてイメージとして作成した（横軸は推定）

4) リファイナリーとして、木質バイオマスを余すことなく有効利用

森林資源の有効活用を目指した利活用のイメージとして、低分子化合物、高分子化合物、成形品などの用途のアウトプットを図にまとめた。

低分子化合物としては、熱分解技術を利用したプロピレンに代表される化学原料がある。また、香料・色素・生理活性物質やテルペニ系樹脂などに利活用されるテルペニ類がある。

高分子化合物としては、リグニンから誘導される接着剤や樹脂原料などの用途が考えられる。一方、セルロースの用途としては、糖類に誘導して機能食品としての活用が考えられる。また、セルロース繊維、セルロースナノファイバーなどの用途が想定されて、複合成形体などの利活用が考えられる。

成形品としては、木粉を原料とするフィルム成形品、射出成形品、押出成形品などが考えられるが、用途分野としては、電子産業、自動車、日用品、住宅、家具などがあげられる。また、木材以外のものとして竹繊維を用いた各種成形品が木粉と同様に期待される。

競争力を有する製品の事業化を優先させながらも、地域における産業の裾野を広げるとともに資源を有効に活用するため、効率的な利用の仕組みを地域において構築することで、このように低分子化合物、高分子化合物、成形品を余すことなく有効利用することが望ましい。

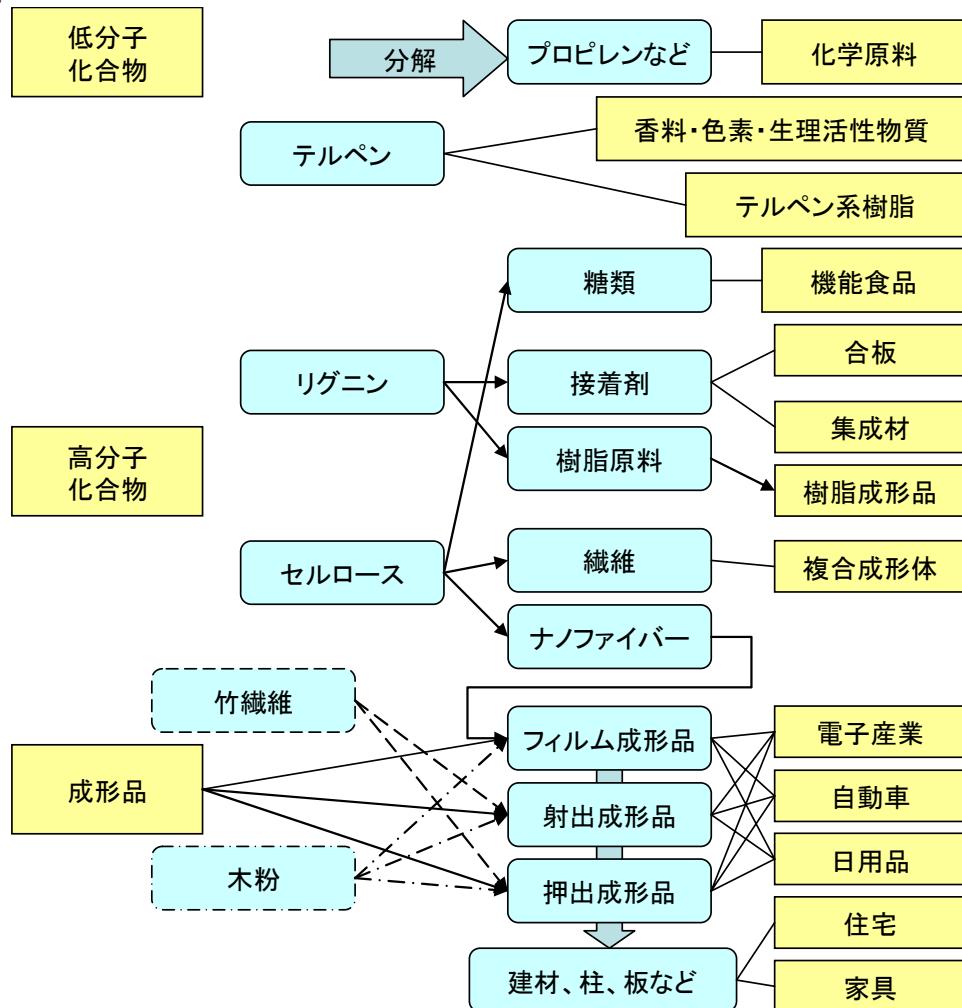


図 13 用途からみた木質バイオマスの利活用

5) 地域の特性を活かした仕組み作り

林業、製材業や製紙業などに代表される木材の利活用について多くの知見を有する地域の企業、木質バイオマスについて知識を持つ有識者が多い地域の公的研究機関、大学など、地域の特性を活かして、仕組み作りを行っていく必要がある。

木質または竹に関する産業が存在する地域は、自然風土等がその植物にとって特性を与えるものであることが考えられ、その特性を活かした差別化等競争力を有する製品を目指した取り組みが求められる。

また、木材に関する地域の木質副産物の有効利用を図っていくとともに、地元中小企業の参入が可能である仕組みを作り、強みを生かした新産業の創出により地域経済の活性化を図っていく。

以上のポイントにもとづき、木質バイオマスの利活用分野について、既存産業における木質バイオマス・(ファインケミカル)・リファイナリーの例を踏まえて、木質素材利用を中心としたシステム、リグニン利用を中心としたシステム、竹を中心としたシステムとして以下に説明する。

3.4.2.既存産業における木質バイオマス・(ファインケミカル)・リファイナリーの例

森林資源における木質バイオマス・(ファインケミカル)・リファイナリーとしては、紙パルプ業界が古くから知られている。特に、日本で唯一のサルファイト法パルプを製造している日本製紙ケミカル(株)においては、木材から、サルファイト法パルプを生産すると同時に、種々の素材をあますことなく利用・製品化している。

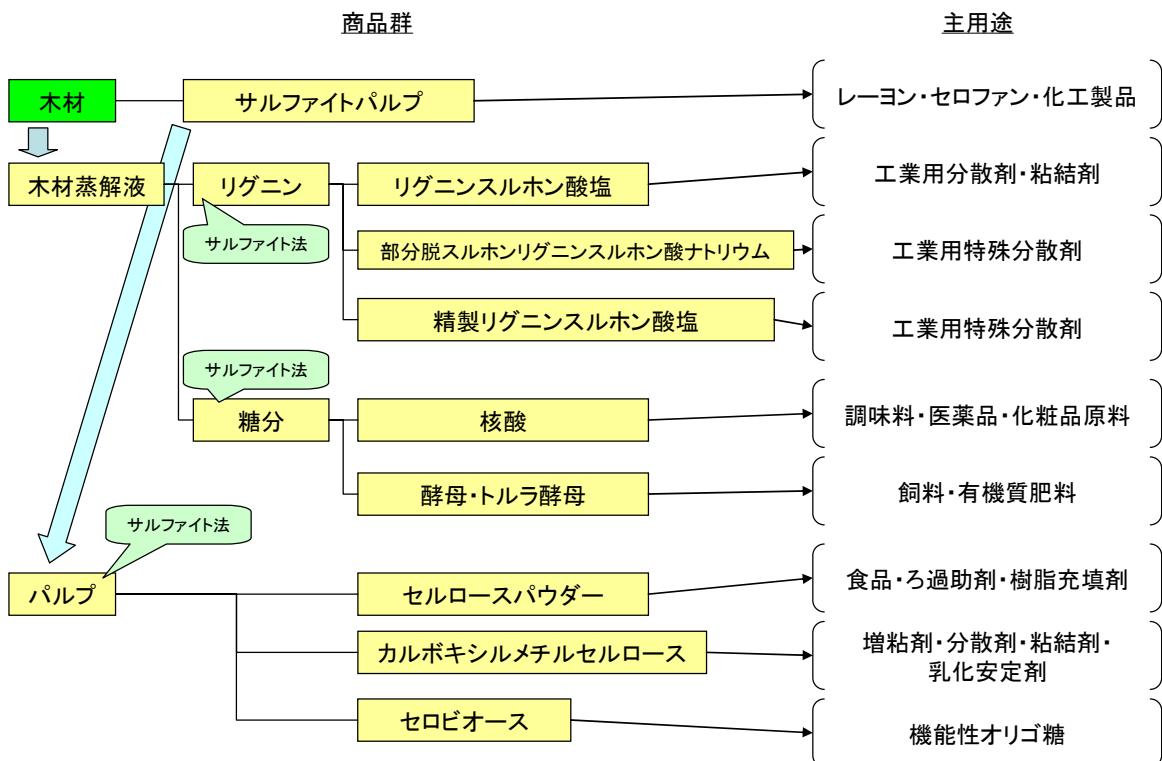


図 14 バイオマスファインケミカルリファイナリー（日本製紙ケミカル（株））の例

サルファイト法パルプの生産にともない、木材蒸解液からリグニンを併産している。リグニンからは、セメント混和剤などに代表される工業用分散剤・粘結剤として、リグニンスルホン酸を生産している。また、スルホン酸基の量を調整する、或いは、リグニンスルホン酸を精製することにより、工業用特殊分散剤として、製品化している。また、一方で蒸解液から得られる糖分については、核酸として調味料・医薬品・化粧品原料としての製品を生産している。また、酵母については、飼料・有機質飼料としての製品用途がある。サルファイト法パルプについては、食品・ろ過助剤・樹脂充填剤などに用いられるセルロースパウダー、増粘剤・分散剤・粘結剤・乳化安定剤などに用いられるカルボキシメチルセルロース、機能性オリゴ糖としてセロビオースなどが製品化されている。このように、サルファイト法パルプ生産にともなう、木質バイオマス・(ファインケミカル)・リファイナリーの一つの理想的な例が中国地域に見られる。

同様に中国地域の企業に関連のある松材を中心とするテルペノの利用に関する図を示した。

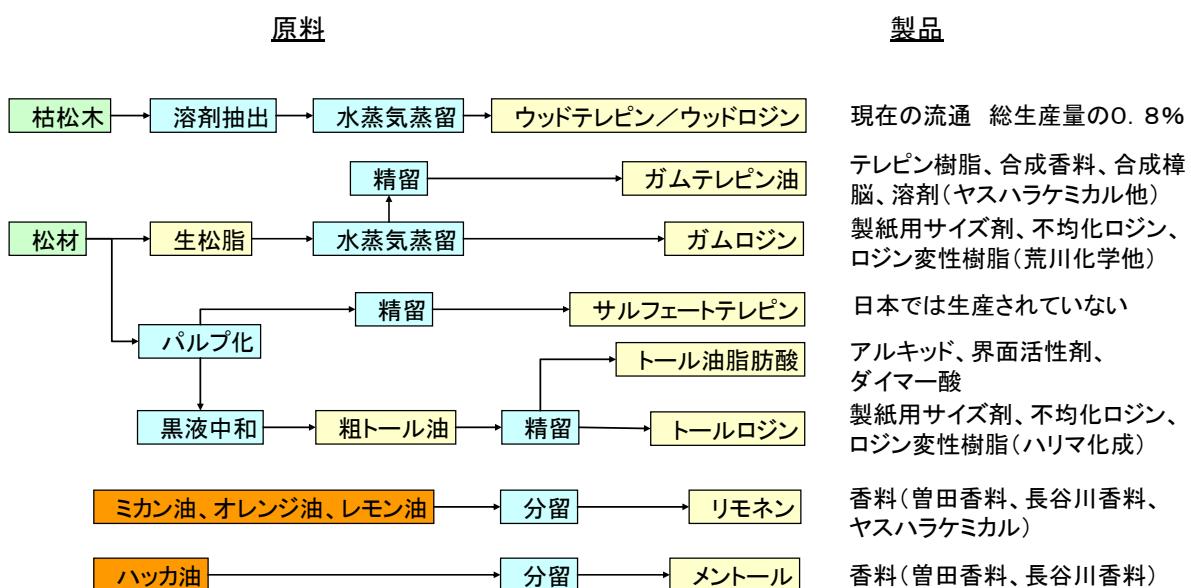


図 15 バイオマスファインケミカルリファイナリー（ヤスハラケミカル（株）など）の例
注：図中企業名の（株）は省略して表記した。

また、テルペノの利活用の例としては、松材を中心として、ガムテレピン油、ガムロジンなどを得て、利用することが行われている。また、ミカン油、オレンジ油、レモン油などからリモネンを得ることが行われており、香料などに利活用されている。

3.4.3.木質素材を中心としたシステム（真庭市）

図16は、地域として、真庭市を例として、現状と将来の検討の像を一枚の絵として示したものである。「チップ」、「ペレット」などについては、燃料利用や発電利用として、真庭市において取り組んできたものであり、「木粉」の利用としては猫砂などの用途に展開されてきた。「木粉」、「ファイバー」、「ナノファイバー」などを次の世代の「木質バイオマス」利用技術として、展開していくことが考えられる。木粉については、複合プラスチック化をはじめとして、菌床や敷料など、農林水産分野での利用なども含め総合的に展開していくことが期待される。「木質プラスチック」への展開では、「木粉」の粉碎技術、乾燥技術などが基盤技術として必要となる。また、「木粉」の「複合化」にあたっては、P E、P P、P V C、P L Aなどの各種プラスチックと「相溶化剤」、「接着剤」、「顔料・色素」、「添加剤・滑剤」などの助剤などとの「混練技術」が重要な技術となる。

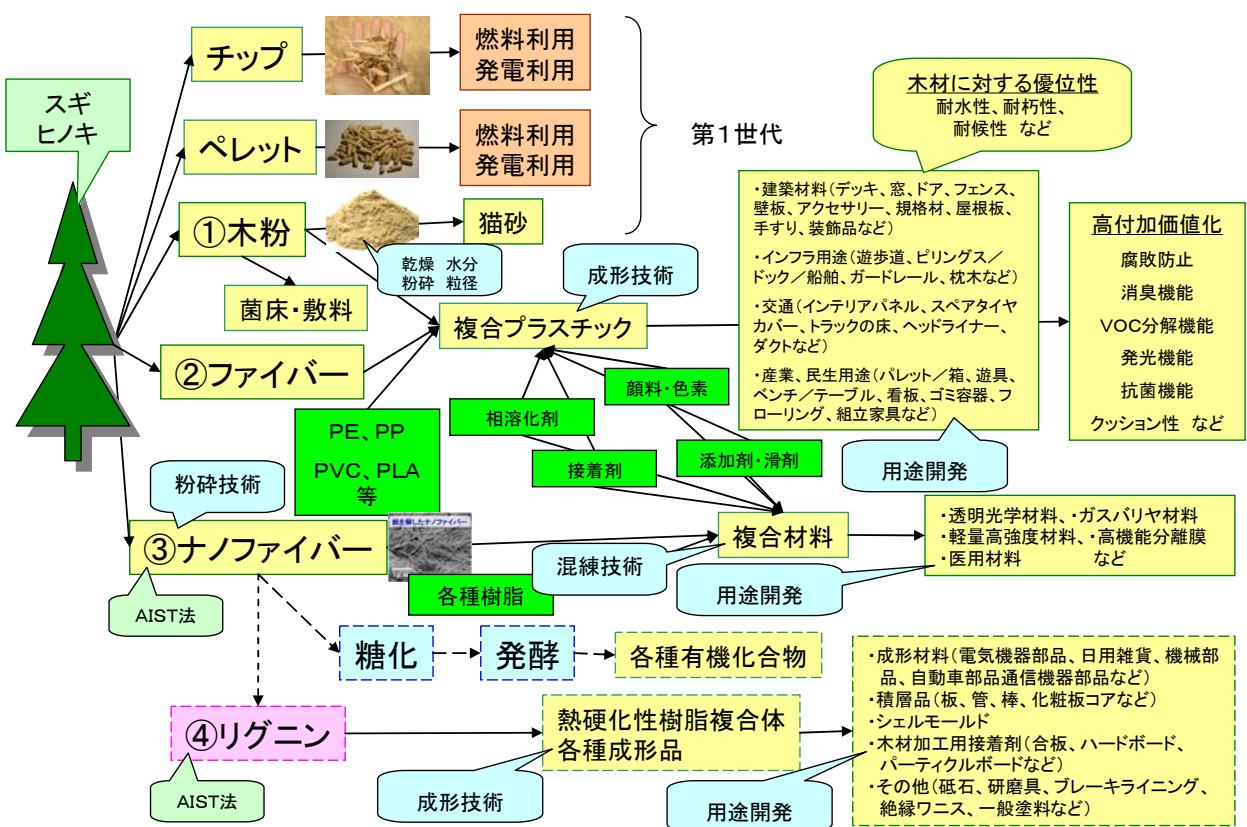


図16 木質素材を中心としたシステム（真庭市）

一方、「粉碎技術」の一層の深化により、「ファイバー」、「ナノファイバー」への微粉碎技術が進展することにより、乾燥技術、混練技術などの技術の一層の深化が期待される。「ナ

「ノファイバー」を各種樹脂に混練することにより、材料の強度向上、透明性の付与など、今までにない機能性を付与した材料を生み出すことが期待される。また真庭地域は杉材よりもヒノキ材が多いとされ、ヒノキ材由来の木粉の特徴を活かし、流通の多いスギ木粉と異なった用途展開が図られれば、特徴のある木粉ビジネス展開が期待出来ると考えられる。

産業技術総合研究所バイオマス研究センターで実施されている「ナノファイバー」微粉碎技術においては、「リグニン」の併産技術を深化させることにより、「熱硬化性樹脂複合体・各種成形品」への展開が期待される。また、得られる「セルロースナノファイバー」を原料として、「糖化技術」、「発酵技術」と組み合わせることにより、グルコースやDOE12化合物のような低分子有機化合物を生産することも期待される。

これらを時系列的に整理した図を以下に示す。木材を中心とする真庭市における、時系列的な検討の方向性としては、「木粉」、「ファイバー」、「ナノファイバー」などの順番が想定される。

「木粉」については、「粉碎技術」、「乾燥技術」の技術開発が重要で、プラスチックとの複合化において、「混練技術」が重要となる。

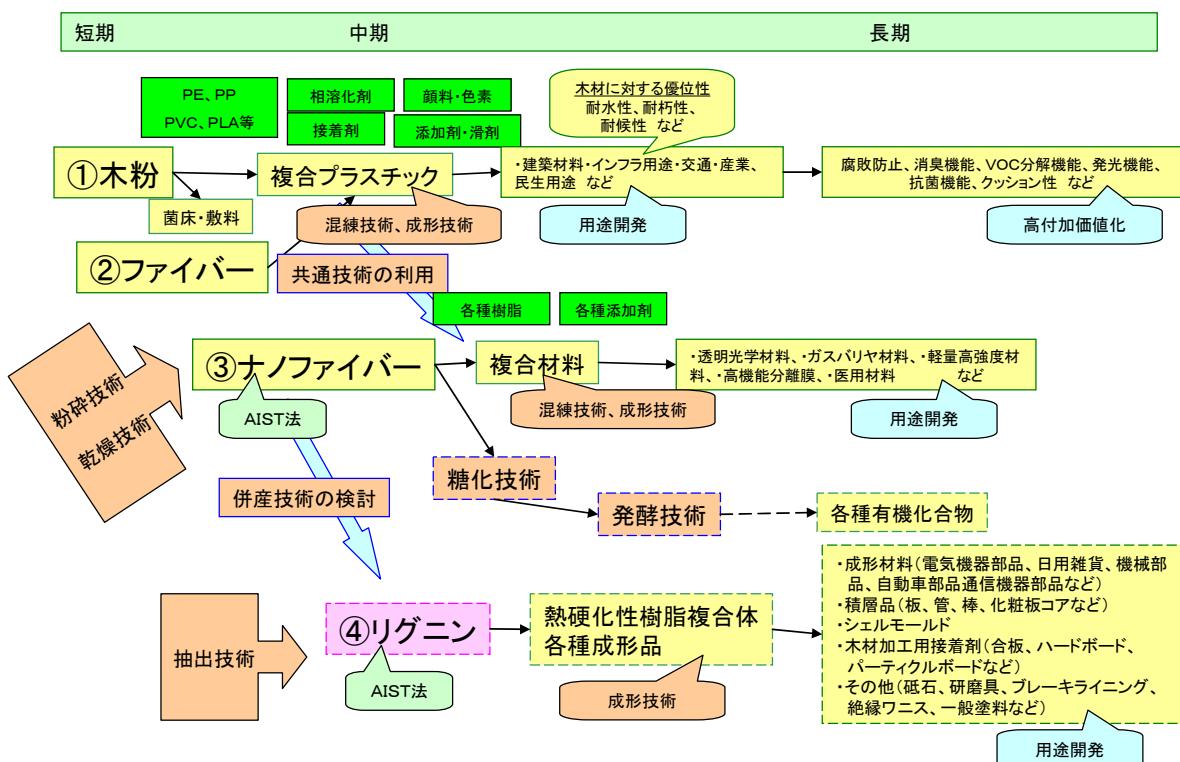


図 17 木質素材を中心としたシステム（真庭市）

図18には、連携を想定した場合の「破碎」、「柔化」、「微粉碎」、「リグニン抽出」、「接着剤化」、「樹脂原料化」、「単糖化」、「オリゴ糖化」、「アルコール発酵」、「有機酸発酵」、「アミノ酸発酵」、「分級」、「抽出」、「樹脂成形」などの基盤となる操作などを用いて、木質バイオマス・(ファインケミカルズ)・リファイナリーシステムの連携のイメージを作成した。

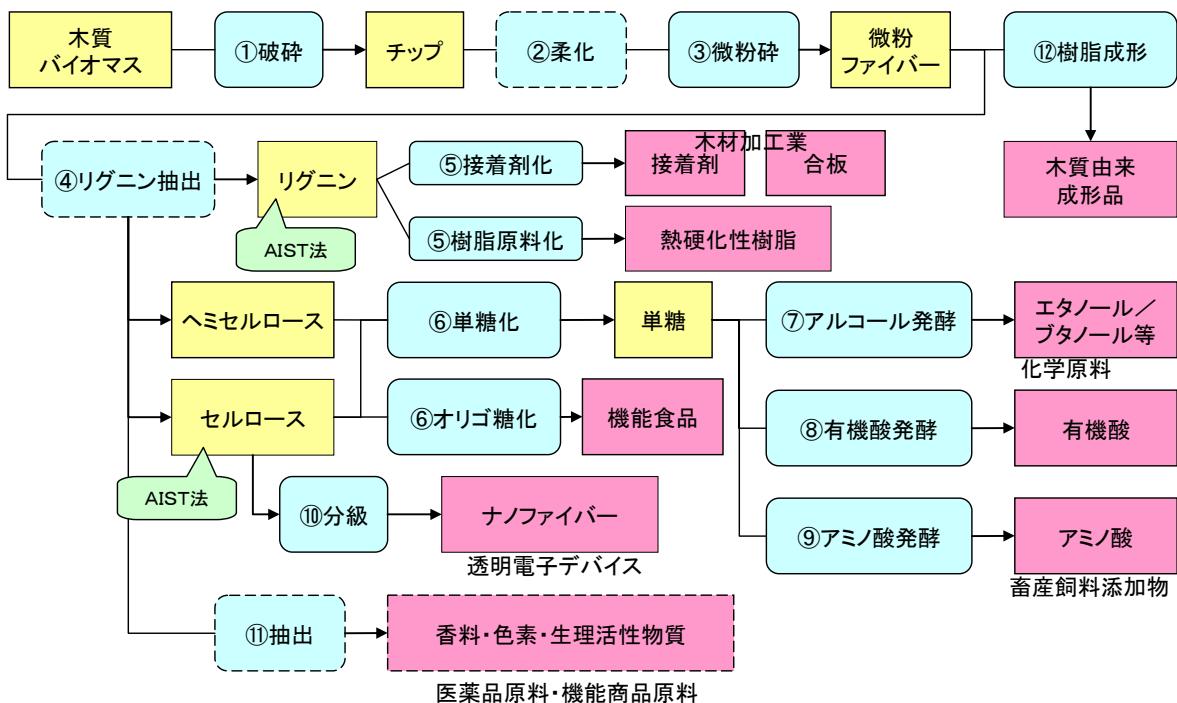


図18 連携（案）（木質バイオマス・ファインケミカル・リファイナリーー真庭モデル）

原料である「森林資源（木質バイオマス）」から「チップ」を作成し、「微粉ファイバー」までを製造する。「微粉ファイバー」は「樹脂成形」を行うことにより、木質由来の成形品として製品開発が考えられる。また乾燥前の湿潤状態微粉ファイバーは酵素糖化法によるグルコース原料となり得る。一方、「微粉ファイバー」を得た後の「リグニン」については、「接着剤化」、「樹脂原料化」としての製品用途が考えられる。この「リグニン」抽出方法は、産業技術総合研究所バイオマス研究センターを中心に開発されている「微粉碎」技術によって得られる「リグニン」を想定している。「リグニン」については、後述するように、その製造方法に従って、その組成・成分が異なってくるために、AIST法とでもいうべき「微粉碎」技術により、どの程度、純度の高い「リグニン」が得られるかどうかが事業化の鍵となる。

「リグニン」からは、大きな製品用途として、「接着剤」用途と「樹脂原料」としての用途が考えられる。いずれも「リグニン」がフェノール樹脂に化学構造が類似していること

からの用途である。「接着剤」用途としては、「合板」、「集成材」など木質からなる製品への展開方向としてあげられる。一方、フェノール樹脂の熱硬化性樹脂としての性質への類似点から、幾つかの用途展開が考えられる。フェノール樹脂の用途としては、成形材料（電気機器部品、日用雑貨、機械部品、自動車部品通信機器部品など）、積層品（板、管、棒、化粧板コアなど）、シェルモールド、木材加工用接着剤（合板、ハードボード、パーティクルボードなど）、その他（砥石、研磨具、ブレーキライニング、絶縁ワニス、一般塗料など）等があり、これらの用途への展開が期待される。

「リグニン」とともに木質を構成する成分として、「ヘミセルロース」、「セルロース」がある。「セルロース」については、パルプを原料として「セルロースナノファイバー」として取り出される。「セルロースナノファイバー」については、サイズや規格などを合わせる「分級」などの操作を経て、透明電子デバイスなどの複合材料として、応用展開される。一方、「ヘミセルロース」、「セルロース」などについては、「糖化」を経て、グルコースなどの「単糖」に変換される。ここで、「アルコール発酵」、「有機酸発酵」、「アミノ酸発酵」などの発酵過程を経て、それぞれ、エタノール／ブタノール、有機酸、アミノ酸など誘導される。また、「単糖」まで分解せずに「オリゴ糖」などに誘導することにより、「機能性食品」としての用途展開が考えられる。

また、「リグニン抽出」などの過程と同時に「テルペソ類」の「抽出」が考えられる。「香料・色素・生理活性物質」などの高付加価値の用途が期待される。ただし、「テルペソ類」は、木の種類によって、その成分が左右されることもあり、「木」の種類が用途展開の可能性を考える上で重要となる。

3.4.5. リグニン利用を中心としたシステム（隠岐の島町）

図19は、リグニン利用を中心とした検討の現状と将来の像を一枚の絵として示したものである。

このモデルでの基本的技術は、三重大学船岡研究室で開発された相分離変換システムである。スギやクロマツといった木材を原料として、リグニンを抽出することにより、リグニンを得る方法である。得られたリグニンは、フェノール樹脂と同様な化学的特性を有すると考えられる。従って、フェノール樹脂が用いられている用途と同様な使い方が期待される。フェノール樹脂としての主たる用途として、成形材料、積層品、シェルモールド、木材加工用接着剤、その他の用途例ええば炭素材料原料等が期待される。

一方で、リグニンを抽出した後には、セルロースやヘミセルロース成分が残存する。1つの方法としては、メタン発酵をすることにより、メタンを取り出し、燃料や発電用途に用いることである。一方、エタノール発酵により、エタノールを得て、燃料として利用す

ることも想定される。

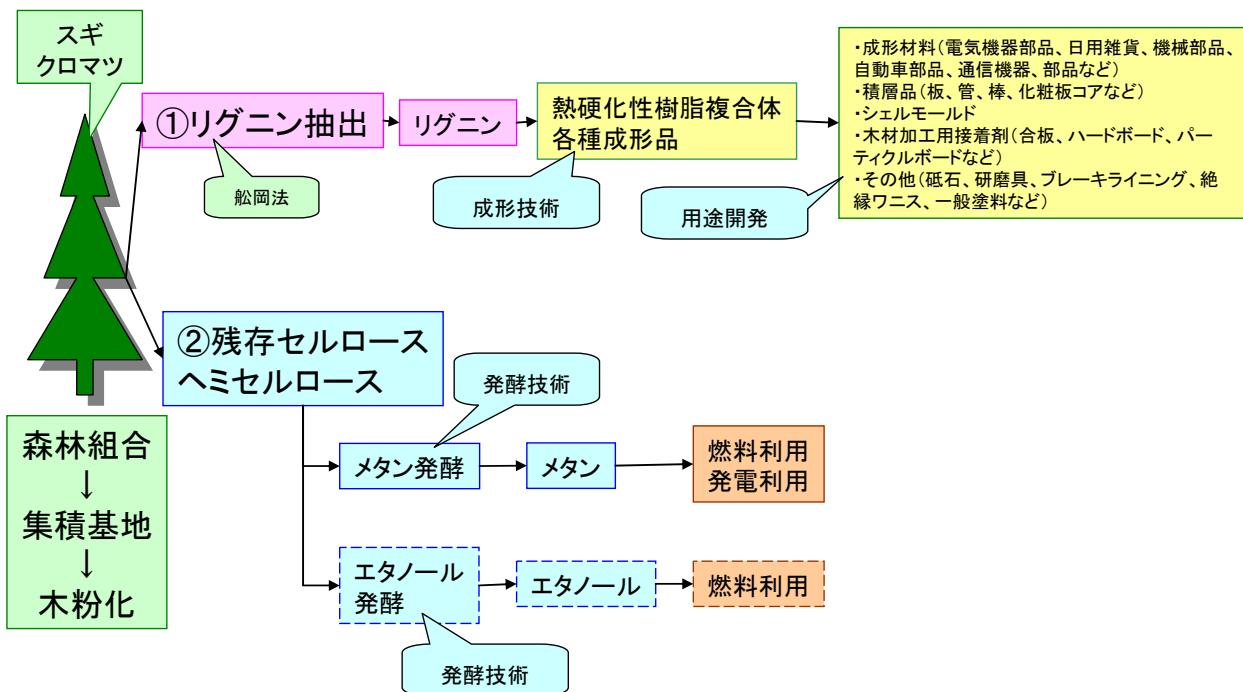


図 19 リグニン利用を中心としたシステム（隠岐の島町）

図 20 は、隠岐の島町でのリグニン利用を中心としたシステムである図 19 を時間軸に沿って整理したものである。時間軸に沿って整理したものである。初期には、リグニンの抽出を検討し、リグニンを用いた熱硬化性樹脂複合体の成形技術を検討することが期待される。一方で残存するセルロースやヘミセルロースについては、リグニンの分離と併産する技術検討が必要とされる。また、得られたセルロースやヘミセルロースについては、メタン発酵技術、エタノール発酵技術などにより、バイオマス全体をあますことなく利活用することが期待される。

シンプルなモデルではあるが、リグニンを抽出して、樹脂として利用する一方で残存するセルロースやヘミセルロースを燃料用途などに利活用するモデルである。

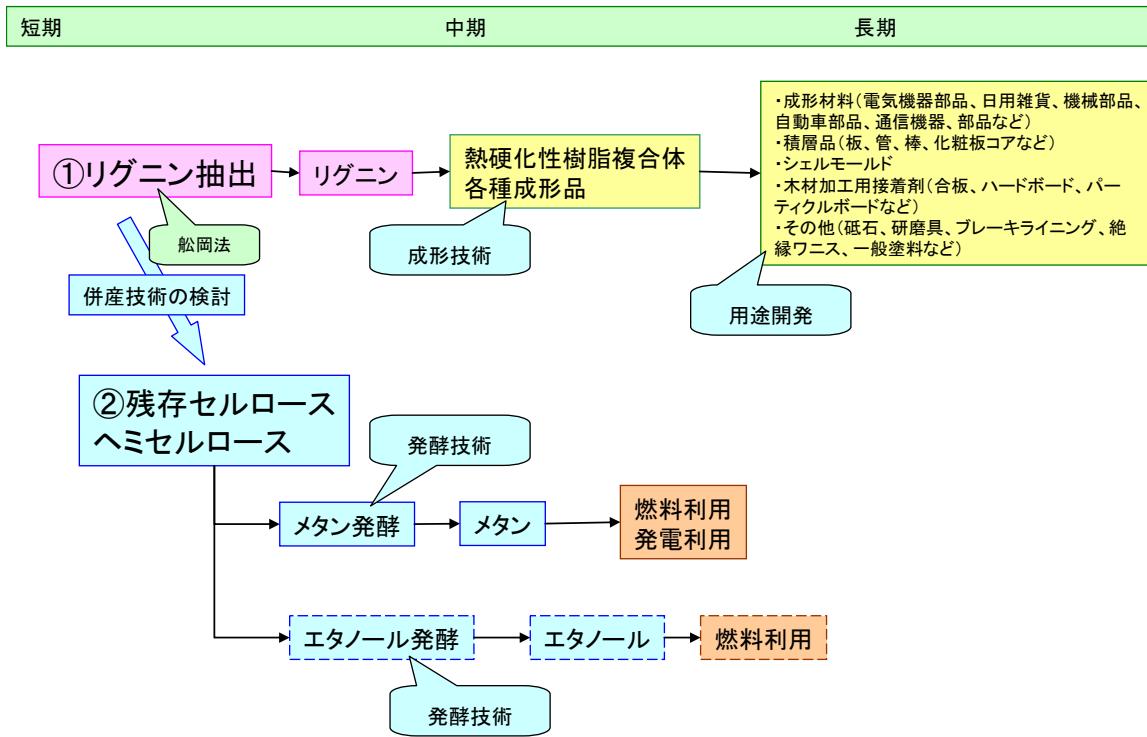


図 20 リグニン利用を中心としたシステム（隠岐の島町）

3.4.6. 竹を中心としたシステム

図 21 には、竹を中心としたシステムを整理して示した。

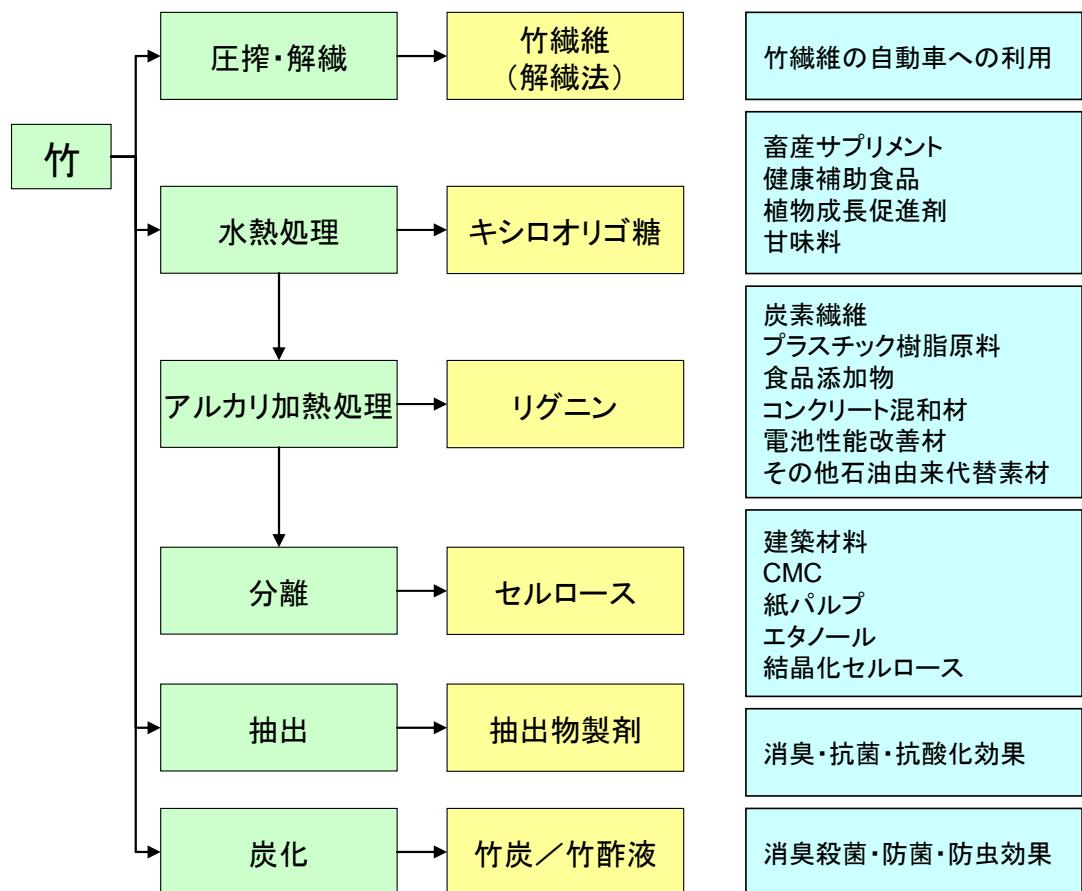


図 21 竹の利用を中心としたシステム（中国地域での主たるシステム）（案）

竹は、木質同様セルロース、ヘミセルロース、リグニンが構成成分であり、木質同様の方法で竹パルプ、竹リグニンに加えてヘミセルロース成分からは糖質を得る事が出来る。

竹の利用方法としては、前述のように種々の方法があるが、ここでは、圧搾・解纖による竹繊維の製造方法とアルカリ蒸解による竹リグニンの製造方法を取り上げた。

樹脂強化材料として竹繊維の利用が行われている。リグニンについても応用展開が期待される。

また、竹から抽出された成分には、消毒作用や保存性向上などの性質を有する成分も含まれており、高付加価値分野への展開が期待される。

また、竹は木材に比較して、成長速度が速く、木質と同様な成分を取り出すことができるため、中小事業者においても、参入しやすい可能性がある。

3. 5. 木質バイオマス・リファイナリーシステム構築の実現方策と課題の検討

3.5.1.バイオマスリファイナリーシステムの概要

木質バイオマスに関しては、従来のマテリアル（素材）利用として、建築材・家具などの利活用があるが、エネルギーとしての利用も数多く行われている。一方、木質の持つ特性を活かした木粉の利用、木質の構成成分であるリグニン、テルペン、セルロース、また、これらを経由して得られる基礎化学製品については、種々の研究開発が行われている段階であり、現時点では、新産業を創出し、地域経済を活性化し、雇用を創出するところまでには至っていない場合が多い。地域としてどのような川中産業を創出するべきかについて、整理を行った。

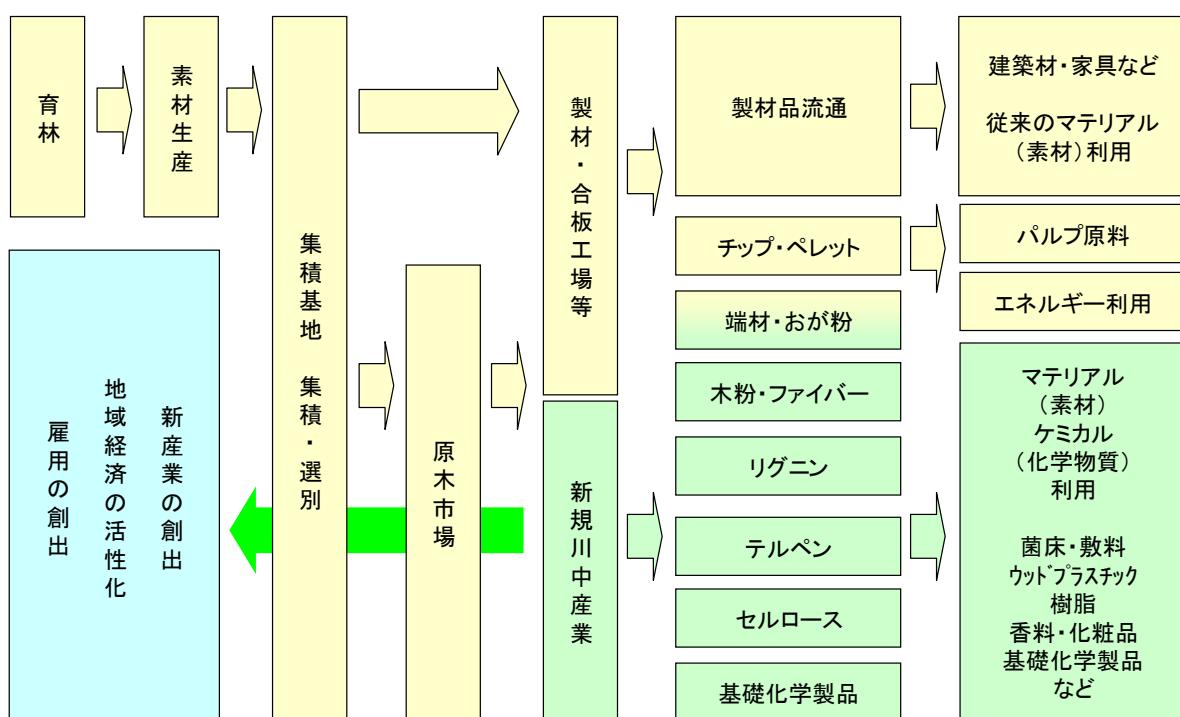


図 22 川中産業創出に関する整理

前述したように木質バイオマスの利用に関しては、石油資源由来のエチレン、プロピレン、メタノール、エタノール、プロパンなどの基礎化学製品が該当する「石油資源の代替用途」と一方で、炭素材料、繊維、接着剤、香料など木質固有の性質や特徴を利用した用途として「木質の有効性を利用した用途」が考えられる。

これらの用途にあますことなく木質バイオマスを利活用していくまでのシステム構築の実現方策と課題を検討する。

具体例として、

- ・木粉を中心とした木質バイオマス・リフィナリーシステム
- ・リグニンを中心とした木質バイオマス・リフィナリーシステム

を取り上げて、要素技術の整理を行うとともに技術的な課題について、整理を行った。

なお、これらの技術の達成時期については、難易度にも差があり、早急に取り組むことができる項目と、時間をかけて技術開発するべき項目もあり、技術的な課題を克服する時期にも差がある。いわゆるローテクといわれる技術でも優先して取り組んでいく必要がある。また、高付加価値の製品を取り込むことにより、少量生産・高付加価値の分野への展開が期待される。

これらの整理した結果を踏まえて新産業を創出し、地域経済を活性化し、雇用を創出するまでの実現方策と課題について説明する。

3.5.2.木粉を中心とした木質バイオマス・リフィナリーシステム

図 23 には、「木粉」を中心とした利用技術について整理したものを示した。

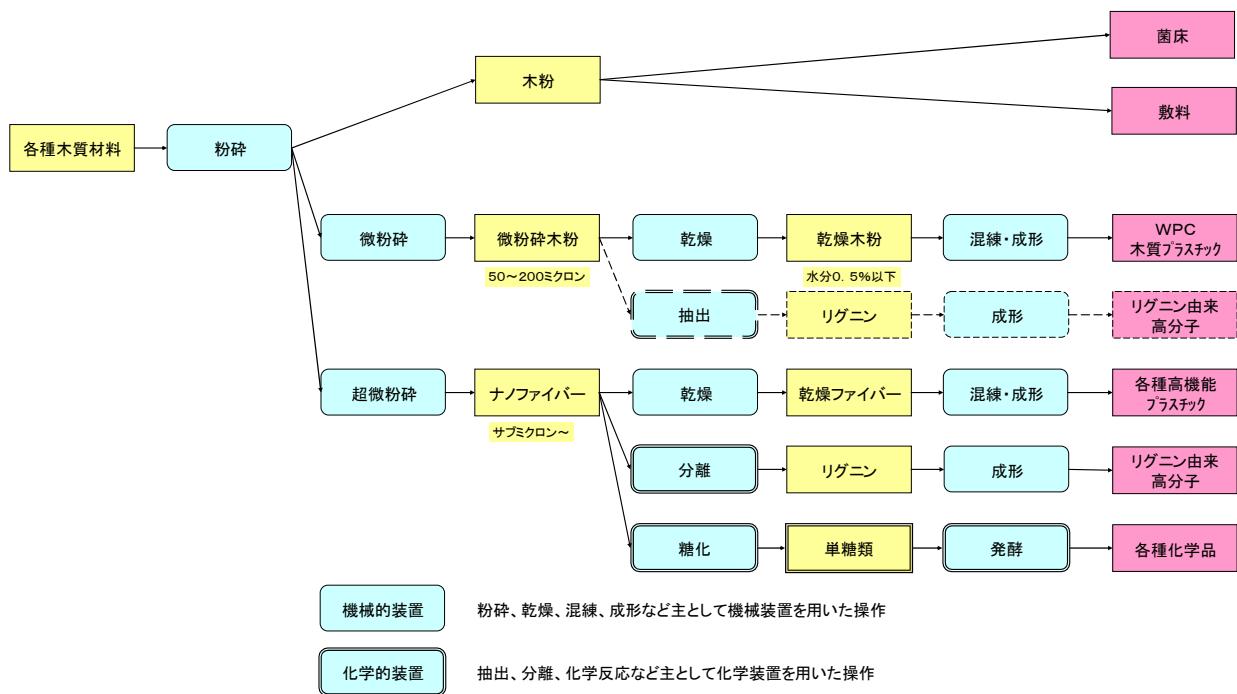


図 23 木粉を中心とした木質バイオマス・リフィナリーシステムの要素技術の整理

図に示すように「木粉」、「微粉碎木粉」、「ナノファイバー」の順番に取り組んでいく場

合を想定して、それぞれの段階での製品化までのシステムと要素技術を整理して示した。

以下には、木粉を中心とした木質バイオマス・リファイナリーを展開する上での実現方策と課題についてポイントを記した。

- 「木粉」、「微粉碎木粉」、「ナノファイバー」の順番で取り組んで行く。
- より細かな粉碎粒子の必要性に沿って、粉碎技術を進化させていく。
- 地域で産出される「ヒノキ」などのブランド化を考える。
- 粉碎にともなって併産される高付加価値の微量成分などにも着目する。
- より細かな粉碎粒子を得る粉碎技術の各進化段階において応用製品の開発を順次実施していく。具体的に「乾燥技術」、「混練技術」、「成形技術」などの要素技術を取り入れていく。
- 各段階における応用製品の用途開発を実施していく。

「木粉」からは、「菌床」や「敷料」を生産する。さらに、「微粉碎木粉」からは、「ウッドプラスチック」を生産する。モデル地域の真庭地域は、ヒノキを産出する地域であり、「スギ」とは異なった付加価値やブランドの醸成を想定することが考えられる。「ナノファイバー」については、産業技術総合研究所で実施されている「湿式粉碎技術」の成果が期待される。ここからは、「ナノファイバー」自体を混合した成形体材料である「高機能プラスチック」が期待される。また、「セルロースファイバー」の「糖化技術」の開発により「単糖類」を得て「発酵技術」を用いて、「各種有機化合物」に展開することが考えられる。また、併産される「リグニン」から「成形技術」を用いることにより、「リグニン由来高分子」に展開することが期待される。

下記の要素技術を組み合わせて、技術開発を行うことが川中での事業を行う上で、重要なである。採用する装置の種類や運転をする上での幾つかの課題が考えられ、どのような分担でこれらの単位操作を実施していくかが問題となる。以下には、操作、装置の種類、主たる課題について、整理して示した。

必要とされる技術について、装置の種類について、「木粉」や「ファイバー」の取り扱いでは機械装置が多いが、併産される「リグニン」の利用を行うためには、化学装置を利用する。従って、近々は機械装置を中心とした設備投資となるが、将来的には、化学装置に対する設備投資を考えていくことが必要となる。装置企業の立地や他地域・他業種との連携なども必要となる。

表 39 木粉を中心とした木質バイオマス・リファイナリーシステムの技術課題の整理

操作	装置の種類	主たる課題
粉碎	機械装置	処理量、コスト
微粉碎	機械装置	処理量、粉碎粒径、粒径分布、粉塵爆発
乾燥	機械装置	乾燥機形式、乾燥温度、水分制御量
混練	機械装置	混練機形式（1軸、2軸）
成形	機械装置	射出成形、押出成形
超微粉碎	機械装置	処理量、粉碎粒径、粒径分布、粉塵爆発、湿式、乾式
乾燥	機械装置	乾燥機形式、乾燥温度、水分制御量
混練	機械装置	混練機形式（1軸、2軸）
成形	機械装置	射出成形、押出成形
分離	化学装置	分離方法、処理量、装置の効率設計、装置の材質
糖化	化学装置	処理量、装置の効率設計、装置の材質
発酵	化学装置	処理量、装置の効率設計、後処理（特に分離精製）

3.5.3. リグニンを中心とした木質バイオマス・リフィナリーシステム

図 24 には、「リグニン」を中心とした利用技術について整理したものを示した。

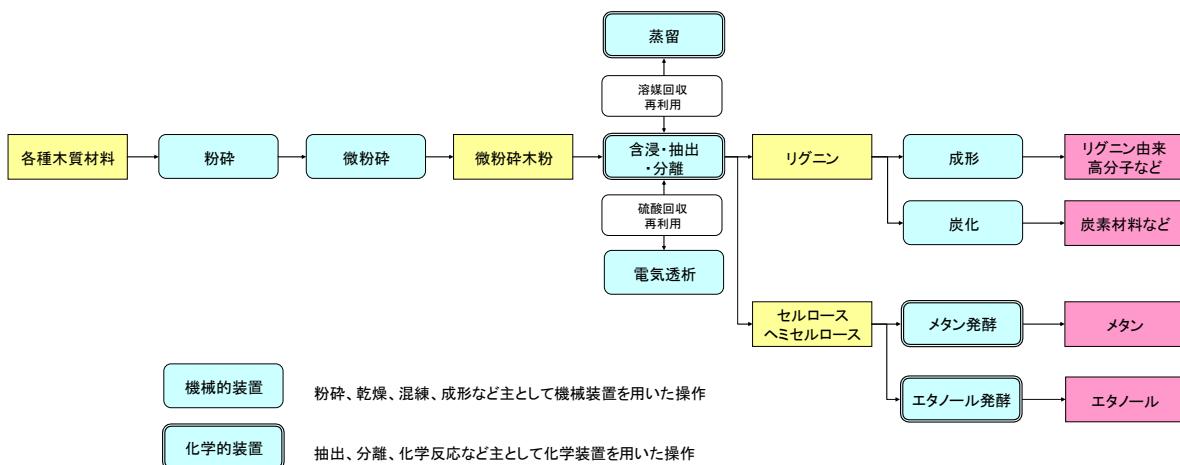


図 24 リグニンを中心とした木質バイオマス・リフィナリーシステムの要素技術の整理

以下には、リグニンを中心とした木質バイオマス・リファイナリーを展開する上での実現方策と課題についてポイントを記した。

- リグニンの抽出技術のプラッシュアップ
- 付随するエネルギー利用技術の確立
- 得られるリグニンの製品評価と用途開拓（フェノール樹脂代替用途）

○量産体制の確立

○トータルのシステムとして、CO₂削減・ゼロエミッションなど環境負荷の低減を図る。

リグニンを中心とした利用の場合には「木質材料」を「粉碎」、「微粉碎」して、「含浸」「抽出」「分離」することで「リグニン」を得る。得られた「リグニン」を「リグニン由来高分子」に展開する。残存する「セルロース」、「ヘミセルロース」を「メタン発酵」または「エタノール発酵」により「エネルギー」として利用する。

「リグニン由来高分子」はその化学構造から「フェノール系樹脂」に近い用途が想定されるため、これらの特徴を活かした製品評価や用途開拓が必要である。

また、「リグニン」については、炭素材料としての可能性も研究例があり、これらの用途への展開についても検討を行う。

「木粉」中心の技術と同様に、これらの要素技術を組み合わせて運転を行う場合には、採用する装置の種類、また、運転をする上での幾つかの課題が考えられ、どのような分担でこれらの単位操作を実施していくかが問題となる。以下には、操作、装置の種類、主たる課題について、整理して示した。この場合には、「化学装置」を主として用いることになるので、立地や他地域・業種との連携、役割分担などを明確にしておくことが必要となる。

表 40 リグニンを中心とした木質バイオマス・リファイナリーシステムの課題の整理

操作	装置の種類	主たる課題
粉碎	機械装置	処理量、コスト
微粉碎	機械装置	処理量、粉碎粒径、粒径分布、粉塵爆発
含浸	化学装置(木質粉へのアセトン及びクレゾール成分の含浸)	処理量、コスト
抽出	化学装置	処理量、コスト
電気透析	機械装置(硫酸水溶液の再利用)	処理量、回収量、コスト、精製純度
分離	化学装置(リグニンの分離)	処理量、回収量、コスト、精製純度
蒸留	化学装置(溶媒の再利用)	処理量、回収量、コスト、精製純度
メタン発酵	化学装置	処理量、回収量、メタン純度、コスト
エタノール発酵	化学装置	処理量、エタノール回収量、エタノール純度、コスト

以上、技術的な項目を中心に課題を列挙して示した。一方、地域といった観点では、それぞれの技術を展開していく上での整理が必要であり、それぞれの技術の共通的な項目として、実現方策と課題について、まとめとして整理して説明を加えた。

4. まとめ

4. 1. 現状のまとめ

中国地域においては、バイオマス・リファイナリー事業等への取り組みや状況や木質バイオマス関連技術開発・市場動向等の状況は盛んである。

中国地域においては、全国的にみても木材産出量が豊富であり、木質バイオマスの利活用の研究開発なども盛んである。また、バイオマстаунの取り組みの例も多くみられる。

研究開発や実用化の動向として、「燃料製造」、「熱利用」、「発電」などエネルギーとしての利用に関して進んでいる一方、マテリアル（素材）やケミカル（化学物質）としての利用としては、今後の課題であり、個々の事例としては、【木粉】、【ウッドプラスチック（WPC）】、【木質の粉碎技術】、【ナノファイバー】、【糖化技術】、【リグニン】、【テルペン】、【竹資源】などについて調査結果を整理した。

個々の素材メーカー等におけるバイオマス資源の利活用ニーズの状況からは、【木粉】、【ウッドプラスチック（WPC）】、【セルロースナノファイバー】、【糖化法及びバイオリファイナリー】、【リグニン】、【テルペン、ロジン】、【竹資源】など企業としての取り組みや期待状況を把握した。

これらの調査結果を踏まえて、中国地域における木質バイオマス・ファインケミカルズ・リファイナリーシステムの展開方向の提案として、「既存産業における木質バイオマス・（ファインケミカル）・リファイナリーの例」、「木質素材を中心としたシステム（真庭市におけるシステム）（案）」、「リグニン利用を中心としたシステム（隠岐の島町におけるシステム）（案）」などを提起した。

これらの取り進めにあたっては、技術の難易度や市場性、石油資源の動向などを踏まえて、優先順位をつけて検討を行っていく必要がある。また、幾つかの検討に共通的な技術については、将来展開も踏まえた基礎的な検討も必要である。

ただし、木質バイオマスに関しては、従来のマテリアル（素材）利用として、建築材・家具などの利活用があるが、エネルギーとしての利用も数多く行われている一方で、木質の持つ特性を活かした木粉の利用、木質の構成成分であるリグニン、テルペン、セルロース、また、これらを経由して得られる基礎化学製品については、種々の研究開発が行われているが、新産業を創出し、地域経済を活性化し、雇用を創出するところまでには至っていない場合が多い。

ここでは、「新規川中産業の創出と育成」、「マテリアル（素材）利用の拡大」の観点から、

課題として考えられる項目を取り上げた。

【新規川中産業の創出と育成】の観点から

- ・どのようなマテリアル（素材）、ケミカル（化学物質）に着目するか
- ・どこに立地するか
- ・主体はどうするか
- ・装置の設置や運転をどのような方法で行うか
- ・人材育成をどうするか

【マテリアル（素材）、ケミカル（化学物質）利用の拡大】の観点から

- ・用途開発をどうするか
- ・需要と供給のマッチングをどのように行うか
- ・性能、コストなどをどのように決めるか

【事業化を目指した連携の構築】の観点から

- ・事業化のための民間企業の役割分担
- ・公的研究機関・大学による技術指導と試作品評価等の役割分担
- ・事業化のサポートのための行政機関等の役割分担

【製品の競合関係】の観点から

- ・輸入木材との競合
- ・石油由来素材との競合

4. 2. 実現方策と課題について

新産業の創出、地域経済の活性化、雇用の創出などの観点から、実現方策と課題について、検討を行った。

ここでは事業性についての提言として、【新規川中産業の創出と育成】、【マテリアル（素材）、ケミカル（化学物質）利用の拡大】、【事業化を目指した連携の構築】、【製品の競合関係】の観点から提起した課題についてまとめた。

【新規川中産業の創出と育成】の観点から

- ・どのようなマテリアル（素材）、ケミカル（化学物質）に着目するか

木質バイオマスから得られるマテリアルについては、製品化までの時間がかかる場合や難易度の高いものなどもある。また、有機化学製品のように石油資源由来の製品と競合関係にあり、石油の価格と関連性のあるものもある。このような製品は価格も不安定で製品開発の期間も長く想定される製造コストも現状では高い。

まずは、木粉やリグニンなどをベースにウッドプラスチックや菌床、敷料といった比較的ローテクといわれる分野で事業化及び原料供給を含めた利用体制の基礎を固めていく必要がある。また、テルペン類などの「高付加価値」分野を取り込むことで香料や化粧品などの少量生産で高付加価値な分野への展開が期待される。

リグニンやテルペンはその取り出し方法により、化学構造に変化が起きる。従って、取り出す方法を選択することも重要である。

微粉碎技術や糖化技術など、優れた技術が出現することにより、コストや生産性に大きく寄与することが想定される。近年の研究開発状況によって、製品製造までの到達期間が短くなる可能性がある。

なお、ローテクと言われる技術であるが、生産過程において、基礎化学製品などと共に通する技術もあるため、基礎的技術の中には将来、応用展開ができる可能性がある。例えば、粉碎技術や乾燥技術などは、木質バイオマスを取り扱う上での共通的な技術となる。また、樹脂成形における混練技術・成形技術などが役に立つ技術となる。

長期的には、有機化学製品のようなバイオ由来の製品についても取り組んでいくことにより、余すことなく木質バイオマスを利用することが出来る。

- ・どこに立地するか

林業集積地に立地を行うことを推奨する。木材は、嵩密度が大きいことから、長い距離を輸送するには不向きである。輸送コストの観点から、集積地において処理施設を立地することが好ましい。

林業集積地には、林業、製材業、製紙業などに代表される木材の利活用について多くの知見を有する地域企業、木質バイオマスについて知識を持つ有識者が多い公的研究機関、大学などが集まっている。このような地域特性を活かした仕組み作りも考えられる。

また、木材を加工した後の粉碎屑なども多くあり、廃棄される木材の成分を有効活用する観点からも林業集積地での立地が好ましい。

・主体はどうするか

それぞれの製品により主体者は変わりうるが、地元の事業者で木材を扱っている業者や、プラスチック加工、化学製品を扱っている企業など幅広い事業者が新規事業として参画できるようになる。また、大手企業と中小企業では取扱量の違いがあり、適したパートナーを探す必要がある。

・装置の設置や運転をどのような方法で行うか

地元の公的研究機関や大学での実習や、または、装置の設置を委託するエンジニアリングメーカーなどでオペレーターを育成する必要性がある。

製品により、機械装置、化学装置などがあり、それぞれに対応した装置の設置や運転方法が必要となる。

・人材育成をどうするか

地元の公的研究機関や大学などが人材育成の場にあたるとともに、他地域や国外も含めて、当該事業を行っている企業に人材を送り込み、第1段階での人材育成を行い、次の段階で当該事業所でのノウハウの伝搬・拡大をはかっていくことが必要である。

【マテリアル（素材）、ケミカル（化学物質）利用の拡大】の観点から

・用途開発をどうするか

想定されるユーザーに対するサンプル評価などを行いながら、製品としてのイメージを絞り込んでいく。また、適切な段階からブランド名をつけることにより、ブランドイメージの醸成を図ることとする。

・需要と供給のマッチングをどのように行うか

森林からの木材の供給可能量と需要量のマッチングがあり、需要量が供給量を上回るような場合には、木材の採取範囲を集積基地周辺に拡大していく必要がある。

・性能、コストなどをどのように決めるか

公的研究機関や大学での評価結果やユーザーでの評価結果などから、性能を決めていく必要がある。また、コストについては生産量、プラント規模など、また、初期コスト、ランニングコストなどを想定して試算した結果と、実際の運転データなどとすりあわせをしていく必要がある。早い段階から、ユーザー企業とのコンタクトを行い、必要とされる性能を見極めて商品設計を行っていく必要がある。

【事業化を目指した連携の構築】の観点から

連携を行うことは、新規産業の創出、地域経済の活性化、雇用の創出などの様々な観点からメリットがあると考えられる。また、それぞれの専門分野での知識や知見を総合的に利用することにより、事業実施までの時間を短縮して、早期での事業化をはかれる可能性もある。

産官学のそれぞれの役割分担を踏まえた連携の案を図として示した。

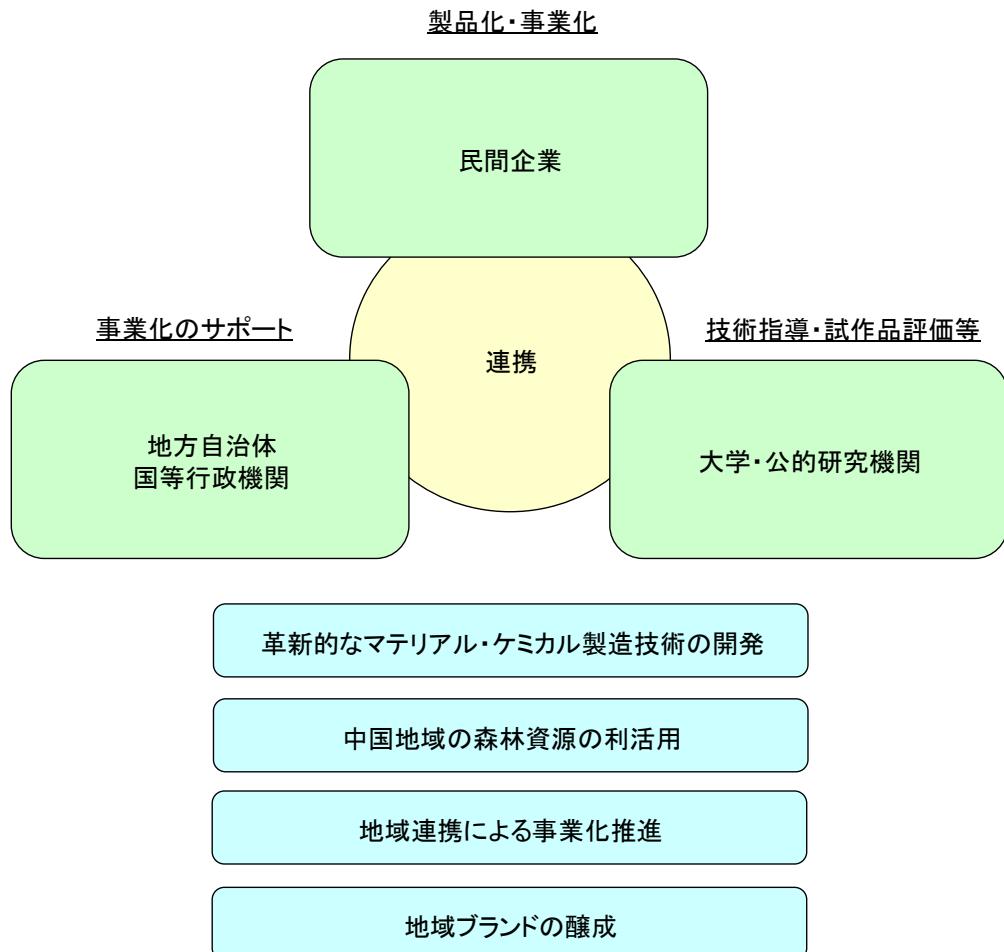


図 25 事業化を目指した連携の構築イメージ

- ・製品化・事業化のための民間企業の役割分担

林業集積地を核とした、企業連携を行うことにより、製品化を促進する。

早い段階から、ユーザー企業とのコンタクトを行い、必要とされる性能を見極めて商品設計を行っていく。

- ・公的研究機関・大学による技術指導と試作品評価等の役割分担

新たに必要とされる装置や分析機器の導入や技術の指導にあたるとともに研究開発段階から試作品などの評価を手助けして、商品設計のサポートを行う。

- ・事業化のサポートのための行政機関等の役割分担

地域の林業、製材業、製紙業、建設業など木質に関連した事業者の連携や事業化、事業継続をサポートして、新規産業の創出を促すことが必要である。

また、大学、公的研究機関などの知恵を引き出すためのサポートや、必要に応じて地域外から研究機関の協力を仰いだり、当該ノウハウを有する企業の誘致なども考えられる。

地域内、地域外の事業者のマッチングに繋がる企業同士の紹介等を行い適切な連携体制を組むことにより事業化を促進する。

大手ユーザー企業の連携への参画を促し、商品設計を促進させる協力体制を作る。

【製品の競合関係】の観点から

- ・輸入木材との競合

紙パルプ業界、建築業界など輸入木材を利用している業種も数多くある。国内産業として育成・発展させていく観点から、国内産材へのこだわりの理由やブランド化とその醸成など、事業として国産材を利用する体制を構築する必要がある。

- ・石油由来素材との競合

前述したように、木質バイオマスの利活用にあたっては、「石油資源の代替用途」と「木質の有効性を利用した用途」に分けられる。

「石油資源の代替用途」では、石油資源由来のエチレン、プロピレン、メタノール、エタノール、プロパンなどの基礎化学製品が該当すると考えられる。これらの基礎化学製品の需要に関しては、石油価格の変動により、その需要に対する要望が変化することが考えられる一方で、石油資源のように二酸化炭素を排出しないというエコエネルギー やエ

コ原料の観点としてのニーズが考えられる。経済性を確保しながら、環境配慮型製品としての展開も並行して行う必要がある。

一方、木質の持つ固有の特質を活用した用途として、「木質の有効性を利用した用途」が考えられる。具体的には、炭素材料、繊維、接着剤、香料など木質固有の性質や特徴を利用した用途であり、それぞれの特徴にあった優位性を有する製品を目指し、オンリーワン技術の開発を目指すことが重要である。

5. 添付資料

5. 1. NEDO のデータベース「バイオマス賦存量・利用可能量の推計」からの針葉樹 広葉樹の解析例

前述したようにNEDOから公表されている資料を利用した中国地域の利用可能な木質バイオマスのポテンシャルの推定例を示した。これらの結果をもとに針葉樹、広葉樹などの割合を推定した。

前述したように、中国地域におけるバイオマスの利用可能量は、NEDO のデータベース「バイオマス賦存量・利用可能量の推計」により市町村別に林地残材賦存量・利用可能量等が与えられている。これを各県別に集計したものが下表である。体積（m³）で与えられる残材の体積は気乾比重を用いて質量（t）に換算されたものとなっている。（気乾比重：木材が通常の大気の温・湿度と平衡した水分(15%程度)を含有する状態。）

表 41 中国地域の各県のバイオマスバイオマス利用可能量の試算（t）

県名	鳥取県	島根県	岡山県	広島県	山口県
林地残材:賦存量	30,872	64,072	74,306	67,708	61,521
林地残材:利用可能量	1,523	3,000	4,268	5,397	2,554
製材所廃材:賦存量	137,104	249,679	148,469	919,822	167,405
製材所廃材:利用可能量	9,755	17,538	12,053	70,235	13,060
果樹剪定:賦存量	10,942	7,580	13,254	23,346	16,873
果樹剪定:利用可能量	8,355	5,789	10,126	17,836	12,891
公園剪定:賦存量	992	1,526	3,811	4,471	2,579
公園剪定:利用可能量	687	1,068	2,683	3,174	1,813
建築解体廃材:賦存量	17,778	29,249	53,478	85,839	46,608
建築解体廃材:利用可能量	6,934	11,407	20,857	33,477	18,177
新・増築廃材:賦存量	5,768	7,154	16,946	24,395	11,454
新・増築廃材:利用可能量	2,250	2,790	6,609	9,514	4,467

出典：NEDO バイオマス賦存量・利用可能量の推計

ホームページ：<http://app1.infoc.nedo.go.jp/index.html>

以上の推計に対し、島根県地域振興部土地資源対策課による、同県江の川下流流域及び高津川流域の 6 年間の伐採量のデータを用い、主伐の際の針葉樹・広葉樹の比率から林地残材と製材所廃材について針葉樹と広葉樹の樹種別を推計した。島根県の平成 13~18 年度の 6 年間の平均伐採量のデータによる針葉樹・広葉樹の樹種別比率を製材所廃材の樹種別比率に当てはめ、この比率（84.58 : 15.42）をもって中国地域の比率とした。

表 42 島根県江の川、高津川流域における平成 13~18 年度の 6 年間平均伐採量 (m³)

森林計画区	樹 種		元データ(主伐・間伐等含)	主伐・間伐等分離後	針葉樹・広葉樹比率 (%)
江の川下流流域	主伐	針葉樹	148,412	140,541	87.79
		広葉樹	20,637	19,543	12.21
	間伐・除伐			8,965	
	計			169,049	
高津川流域	主伐	針葉樹	54,020	51,155	76.85
		広葉樹	16,273	15,410	23.15
	間伐・除伐			3,728	
	計			70,293	
合計	主伐	針葉樹	202,432	191,696	84.58
		広葉樹	36,910	34,953	15.42
	間伐・除伐			226,649	
	計			453,298	

出典；平成 20 年度 島根県木質バイオマス石炭混焼研究会報告書 島根県地域振興部土地資源対策課

また、同島根県の試算では残材発生率のデータをもとに林地残材量の算定をおこなっており（下表）、こちらの比率（75.25 : 24.75）を中国各県の残材量の樹種別の比率とした。

表 43 島根県江の川、高津川流域における林地残材量の算定 (m³)

森林計画区	樹 種		梢端	枝葉	その他 残材	計	比率 (%)
江の川 下流流域	主伐	針葉樹	3,795	16,443	7,027	27,265	79.94
		広葉樹	977	3,909	1,954	6840	20.06
	間伐・除伐		179	717	3,209	4105	
	計		4,951	21,069	12,190	38,210	
高津川流域	主伐	針葉樹	1,381	5,985	2,558	9,924	64.79
		広葉樹	771	3,082	1,541	5,394	35.21
	間伐・除伐		75	298	1,335	1,708	
	計		2,227	9,365	5,434	17,026	
合計	主伐	針葉樹	5,176	22,428	9,585	37,189	75.25
		広葉樹	1,748	6,991	3,495	12,234	24.75
	間伐・除伐		254	1,015	4,544	5,813	
	計		7,178	30,434	17,624	55,236	

出典；平成 20 年度 島根県木質バイオマス石炭混焼研究会報告書 島根県地域振興部土地資源対策課

以上から求めた中国地域各県の林地残材、製材所廃材の賦存量、利用可能量の樹種別の推計を次表に示す。

表 44 中国地域の各県のバイオマスバイオマス利用可能量の試算 (t)

県名	種別	林地残材 賦存量	林地残材 利用可能量	製材所廃材 賦存量	製材所廃材 利用可能量
鳥取県	合計	30,872	1,523	137,104	9,755
	針葉樹	26,111	1,289	103,171	7,341
	広葉樹	4,760	235	33,933	2,414
島根県	合計	64,072	3,000	249,679	17,538
	針葉樹	54,192	2,537	187,883	13,198
	広葉樹	9,880	463	61,796	4,341
岡山県	合計	74,306	4,268	148,469	12,053
	針葉樹	62,848	3,610	111,723	9,070
	広葉樹	11,458	658	36,746	2,983
広島県	合計	67,708	5,397	919,822	70,235
	針葉樹	57,268	4,565	692,166	52,852
	広葉樹	10,441	832	227,656	17,383
山口県	合計	61,521	2,554	167,405	13,060
	針葉樹	52,035	2,160	125,972	9,828
	広葉樹	9,487	394	41,433	3,232

出典：バイオマス賦存量・利用可能量の推計（NEDO）をもとに作成

5. 2. バイオマスリファイナリーの説明

DOE12などの化合物(表19、P23)はバイオリファイナリーの中で基幹化合物であるが、表記載化合物以外の各種化合物も有用な中間体が考えられる。我が国では図8にも示した様にバイオマス由来故の新規な化合物を加えて実用面も考慮した統合型バイオリファイナリーの考えが出されている(下図、図26として再掲)。

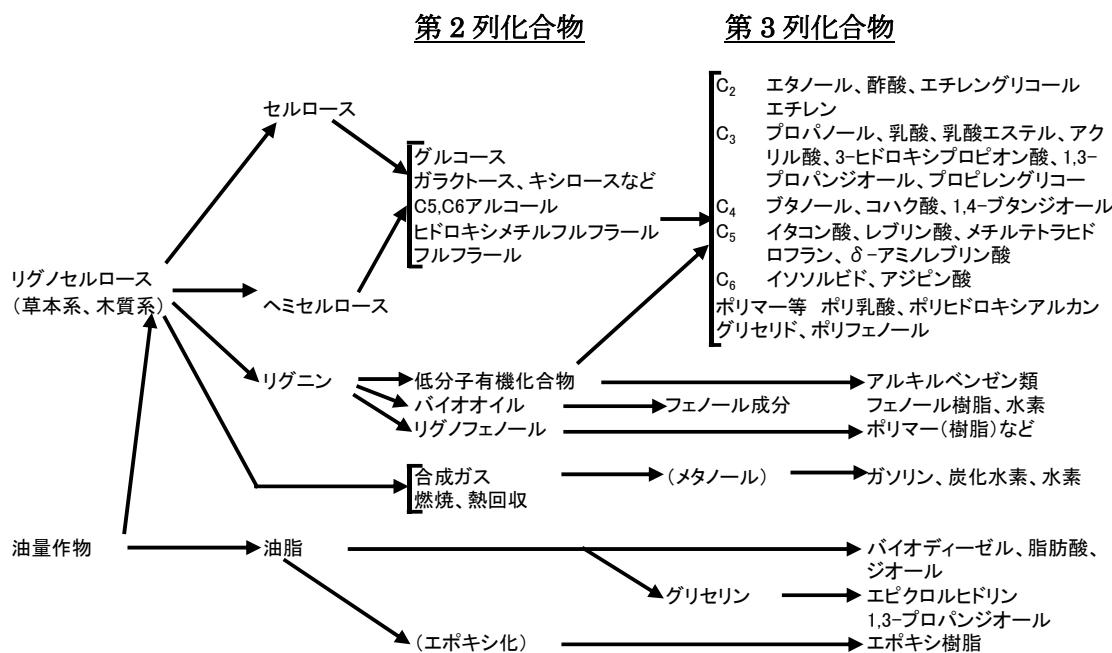


図26 次世代型統合バイオリファイナリー

出典：化学経済 2010年5月号（バイオ燃料技術革新計画平成20年3月（バイオ燃料技術革新協議会））をもとに作成

化学企業では、上図第3列記載化合物の効率的な製法を目指して研究開発が盛んに実施されている(表45)。これら低分子化合物の研究開発に注力している企業も増加しつつある。図26の第3列以降の化合物合成は完成されたものでなく、より効率的、合理的な合成を目指した研究開発が緒に就き始めた段階と言える。DuPontは既に、トウモロコシ由来糖(グルコース)から発酵プロセスにより1,3-プロパンジオール(1,3-PD)を得て、ポリトリメチレンテレフタレート樹脂(ソロナ^{REP})の商業生産に入っている。

グルコース誘導体であるイソソルビド由来の植物由来ポリカーボネートは三菱化学(株)や帝人(株)で開発が進行しているが、モノマー入手に係わる情報は公表されていない。同様に他の高分子においても、モノマー開発に先行してポリマーの市場開拓が進められていると考えられる。

表 45 バイオマスリファイナリーによる化学物質合成の研究例

目的物質	バイオリファイナリー経路	企業名
	$\text{CH}_3\text{OCH}_3 + \text{CH}_2=\text{CHCH}_2\text{CH}_3 \rightarrow \text{CH}_2=\text{CHCH}_3$ CH_3OCH_3 合成を木質合成ガスからも検討中	三菱化学 (株)/日揮(株)
プロピレン $\text{CH}_2=\text{CH-CH}_3$	<p>グルコース イソプロパノール プロピレン</p>	三井化学 (株)
D-乳酸	<p>D 乳酸</p>	三井化学 (株)
1,3-プロパンジオール $\text{CH}_2\text{OH}-\text{CH}_2-\text{CH}_2\text{OH}$	<p>グリセリン 3-ヒドロキシプロピオン (1,3-PD)</p>	日本触媒 (株)
アクリル酸 $\text{CH}_2=\text{CH-COOH}$	<p>3-HPA 3-ヒドロキシプロピオン酸 (3-HPAc) アクリル酸 (AA)</p>	日本触媒 (株)

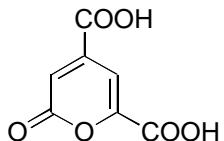
帝人(株)からは、バニリン酸から誘導される耐熱性ポリエステルの特許が出願されている²¹。バニリンは、次の様な反応により耐熱性ポリエステル用原料に導かれる。



表 46 バニリンの化学合成

略号説明 (O) : 酸化反応、 $-CO_2$: 脱炭酸反応

(独)森林総合研究所では、バニリン酸に遺伝子組換え菌を作用し 2-ピロン-4,6-ジカルボン酸 (PDC) を合成した。更に PDC 由来の高分子を新規なポリエステル繊維や、フィルム、接着剤等への製造技術開発を進めている。



2-ヒドロキシ-4,6-ジカルボン酸 (PDC)

バイオマスからの芳香族化合物類製造は、開発が進んでおらず、これからの課題と考えられている。多くの微生物や植物は動物と異なり、シキミ酸経路を利用して芳香族アミノ酸を合成できる。シキミ酸はフェノールへの変換が可能であり、シキミ酸経路の中間体からは、ヒドロキノン、カテコールなどの化合物も合成可能である。今後バイオマスからの芳香族化合物への研究開発が進み、合理化された合成法が期待されている。

大手化学企業のヒアリングによれば、各社植物由来中間原料からの製品開発を手がけている。植物由来中間原料からの高分子製品開発は盛んに研究開発され、製品市場開拓に注力している段階と考えられる。唯、製品開発に並行して、中間原料を植物由来出発原料から安定的な工業原料として入手を考えている企業は多くない。植物由来原料からのモノマー一合成にも関心を抱いているが、原料（モノマー）含めたバイオリファイナリーの展開と成長時期は未だ先の問題と考えているように思われた。

木質由来バイオマス主成分はセルロース、ヘミセルロースとリグニンであり、これらから誘導される図の第2列化合物は、第3列化合物合成への出発物質となる。第3列化合物の開発と市場展開には、時間がかかる可能性はあるが、研究開発の進展に応じて順次工業化段階に入ってくると考えられる。

セルロース及びヘミセルロースから第3列以降化合物へ進む重要中間物質は、グルコース、ガラクトース、キシロース等の单糖成分である。C5、C6糖アルコールやヒドロキシフルフラールもこれら单糖成分から誘導される。セルロース及びヘミセルロースから有用化学物質（第3列）へは、まず木質バイオマスから单糖成分入手を考える必要がある。

木質の主成分リグニンからは、第2列の低分子量有機化合物、バイオオイル及びリグノフェノールを経て第3列以降化合物に導かれる。工業的なリグニンは、サルファイト法パルプ製造の副生物（リグニンスルホン酸）、クラフト法パルプの黒液成分（チオール化リグニン、燃料使用）として得られるが、第3列化学物質の工業的な物質製造には殆ど使われていない。硫酸糖化法やアルカリ蒸煮法のリグニンも有用化合物への検討は進められているが、変質（架橋の進行等）が大きいとされ、燃料評価以上の有用性は、見いだされていない。

リグニンを第3列の利活用に供するには、変質度の少ないリグニンの取得が有効と考え

られる。相分離変換システム法リグノフェノールは、変質程度は大きくないとされるが、利活用初期段階である。中国地域では、隱岐の島で相分離変換システム法リグノフェノール製造の実証を行っており、産業技術総合研究所バイオマス研究センターで木質材料からの酵素糖化技術が開発され、変質の少ないリグニン取得に向けた取組が進められている。

5. 3. 個々の技術の説明

報告書本文中に示した個々の技術の詳細について、以下に説明する。

5.3.1.木粉

おが粉や木粉が、キノコ菌床、家畜敷料、ウッドプラスチック（WPC）等の分野で使用されている状況について記載した。

《おが粉》

キノコ菌床向けには広葉樹おが粉が使用され、家畜敷料には針葉樹おが粉が使用されている。

キノコ栽培方法は、原木栽培、菌床栽培、堆肥栽培、林地栽培等の栽培法に分類される。原木栽培や林地栽培では種菌付けから収穫開始まで1-3年程度が必要となる。菌床栽培では培養期間が5-20週程度に短縮され、栽培期間が短くキノコ栽培の回転が向上する。菌床栽培では、おが粉やチップ等の培地基材に栄養剤、添加剤、水等を加えて栽培培地とされる。栽培では生産者が上記培地に種菌接種・培養までの全てを行う形式（単独経営方式）と生産者が農協や企業が栽培培地に種菌接種・培養した菌床を購入して行う方式に分けられる。

栽培キノコと適する木質基材として次表の如き組み合わせが提案されている。

表 47 おもなキノコ栽培に適する木質基材

キノコの種類	樹種
シイタケ	ブナ、トチ、ハン、シデ、コナラ、クヌギ、シイ、カシ
エノキタケ	スギ、エゾマツ等針葉樹の散水堆積おが粉。広葉樹全般。
ブナシメジ	ブナ、ナラ、トチ等の広葉樹。マツ、スギ等の堆積散水針葉樹
ナメコ	広葉樹全般（ケヤキ、クリを除く）。
マイタケ	ブナ、ミズナラ、コナラ、クヌギ、カバ等の広葉樹
エリンギ	散水堆積針葉樹。広葉樹全般。
ハタケシメジ	バーク堆肥。散水堆積針葉樹。広葉樹全般
ヤマブシタケ	広葉樹全般

出典：「キノコ類の生産と経営」福井陸夫 農耕と園芸 60巻7号（誠文堂新光社）

富山県西部森林組合（砺波市頼成）は、ミズナラ、コナラ、クヌギ、アベマキ、クリの広葉樹を粒径1~5mmの椎茸用人工ホダキ用木粉（おが粉）として販売している。尚同組合の紹介記事¹では、粒径2mm程度、水分40%程度が適当と記載されている。

古い資料²²であるが、木材を蒸煮処理（150-200°C、5-20分）するとリグニンが変質や分解を受けて消化酵素が侵入出来る様になる。蒸煮後リファイナーで粉碎すると家畜では、シラカバ、ポプラ、ブナ、ミズナラ等では60%~70%近い消化率が得られる。木質飼料の普及状態は不明である。中国地方の技術では、岡山県工業技術センターが超微粉碎処理の

適用で進めるナノファイバーは、飼料に適用すれば消化率の向上や蒸煮処理の省略も期待出来るのではないかと考えられる。

平成 11 年に成立し、平成 16 年 11 月 1 日から施行された「家畜排せつ物法（家畜排泄物の管理の適正化及び利用の促進に関する法律）」では、規定頭数を超える家畜（牛、豚、鶏及び馬）を飼育し畜産業を営む者は、管理基準に従い、家畜排泄物の管理が義務づけられた。家畜排せつ物法の施行により、管理基準に従うために家畜敷料使用が増加している。

家畜敷料には、牧草、農業廃棄物（麦桿、稻ワラ、もみ殻）、林産廃棄物（おが粉、バーク、チップダスト）や建設廃棄物（解体材粉碎チップ、抜根粉碎チップ）が使用される。敷料使用は、居住性の確保（細菌繁殖抑制、蹄の保護、保温、けがの防止）、糞尿の処理（固形化による取扱いの向上、吸着による汚臭の低減）及び堆肥化の促進（好気性発酵に適する水分と通気性の確保）等が目的とされる。従って建設廃棄物では、コンクリート、アスファルト等との分離、釘除去や防腐剤等家畜への有害性や発酵阻害原因の排除が必要となる。

木質敷料に対しては、長期使用に適した乾燥状態、粉塵の抑制、とげが無いこと（乳房炎の原因）、発酵と乾燥が進行しやすい適度な粒径が要求される。資料²³によると、当時の乳牛 1 頭当たりの麦桿使用量 1.5kg/頭/日は、おが粉 1.7kg/頭/日（0.62t/頭/年）に相当するとされる。家畜排せつ物法に準じた糞尿固形処理を行い、糞尿を自家牧草地用堆肥として使用出来る水分 80%（液状～固形変換点、ショベル及びダンプで使用可能）にはおが粉使用量は 2.56t/頭/年が必要になり、糞尿を堆肥として販売出来る水分 73%（固形維持、通気性が確保出来堆肥化が進行する限界水分。糞尿臭抑制）にはおが粉 5.86T/頭/年が必要とされている。尚堆肥化中の発酵熱を利用した乾燥を行うためには敷料水分 70%以下への低下が必要であり、乳牛ではおが粉 7.58t/頭/年が必要となる。

例えば飼養乳牛糞尿の 8 割を自家牧草用堆肥として飼養し、糞尿の 2 割を水分 73% の堆肥として販売すると、おが粉使用量は $3.22t/頭/年$ ($2.56 \times 0.8 + 5.86 \times 0.20 = 2.05 + 1.17 = 3.22t/頭/年$) となり、販売用堆肥 1.17t/頭/年が得られる。糞尿の全量を一端水分 70% として戻し敷料となし数回の使用を考える場合は、おが粉使用量は 2 割程度の 1.52 t/頭/年に削減され、同量の販売用堆肥が得らると考えられている。尚同資料では牛種による生糞尿量と水分含有量を、乳牛では 55kg/頭/日 - 87%、肉牛で 23kg/頭/日 - 85% としている。また、当時（2000 年前後）の堆肥価格は、本州での施設栽培向けに対して ¥8,000-9,000/t、露地栽培用として ¥1,000-3,000/t を想定していた。

おが粉価格に関する情報は明確ではないが、北海道酪農畜産協会資料²⁴によると、広葉樹おが粉（嵩密度 0.3）に対しては、購入広葉樹価格 ¥12,000/m³（長さ 2.2m 材）に対しておが粉価格 ¥4,500-5,500/m³（輸送距離 200km 以内）～ ¥5,500-6,000/m³（輸送距離 200km

超)、他方針葉樹おが粉価格を¥2,000-2,300/m³としている。尚当該資料では道南地方におけるおが粉使用量を大家畜 5m³/頭/年、中家畜 2m³/頭/年としている。

鹿児島県、宮崎県の例として、次の様な紹介がなされている。都城地区では、製材廃材からの杉おが粉販売価格はが 3 トントラック 1 台分¥11,000-12,500、容積当たりでは ¥2,600/m³、ヒノキおが粉が¥3,000/m³であった。鹿児島県末吉町では、製材廃材からのおが粉販売価格は運賃込みで¥2,000/m³と報告されている²⁵。

エネルギー利用における木質バイオマスの資源コストとして、製材残材おが粉価格が 40km 程度の輸送コスト含みで¥2,700/t が示されている²。

製材廃材端材からのおが粉価格は、¥2,000-3,000/m³程度と考えられる。

《木粉》

富山県西部森林組合によれば、スギ間伐材の木粉（同組合の木粉販売はスギ木粉のみ）として 5ME、20ME、40ME 及び 80ME の 4 種類を製造販売している。

表 48 富山県西部森林組合が販売するスギ木粉グレード

グレード	5ME	20ME	40ME	80ME
粒径分布	500 μ	60.0%	3.5%	—
	300 μ	34.2%	45.0%	6.7%
	250 μ	3.4%	11.6%	6.9%
	180 μ	1.1%	15.0%	20.2%
	150 μ	0.4%	6.9%	20.9%
	100 μ	0.3%	6.5%	19.8%
	70 μ	0.4%	8.5%	15.1%
	40 μ	0.1%	2.5%	10.3%
	40 μ 以下	0.1%	0.5%	0.1%
水分	20-30%	約 10%	約 10%	約 10%
密度 (g·cm ³)	0.14	0.15	0.15	0.16

富山県西部森林組合では、ウッドプラスチック (WPC) 用途向けには粒径 150 μ m 以下が販売される¹。WPC に適した 150 μ m 以下の微細粉化には、木材含水率は数%以下が必要としている。含水率が高いと工具、フィルター、シフター等への微細粉付着があり粉碎能率低下の原因となる。木粉製造フローは図 27 であり、粉碎機は楳野産業(株) (東京都) 製が採用されている。楳野産業(株)粉碎機は、回転ディスクにより磨碎された木粉が、遠心力でスクリーンに衝撃的に衝突し微粉化される。円筒スクリーン細孔径 0.8mm φ 及び 0.3mm φ の粉碎機を直列に並べ粉碎する。粉碎後は、シフターを通して 150 μ m 以下の木粉を篩分し、シフターを通過しない木粉は粉碎機に戻される。

上表には全量が粒径 150 μ m 以下のグレードは記載されていないが、40ME 及び

80ME が WPC 用木粉であろうと考えられる。WPC 用には成形上の制約から水分は通常 0.5%程度が要求されるので、WPC 用木粉としては更に乾燥するかユーザー側に乾燥機設置が必要と考えられる。

同森林組合の操業 5 年目の概略原価費目別比率（目標）として、Web 上文書では次の様な値が示されている。材料費 36.9%、労務費 8.7%、製造経費 54.4%。製造費 54.4%の主たる内訳は電力費 24.6%、おが粉乾燥用燃料費 11.7%、減価償却費 7.7%、修繕費 2.5%、工場消耗品費 6.5%。

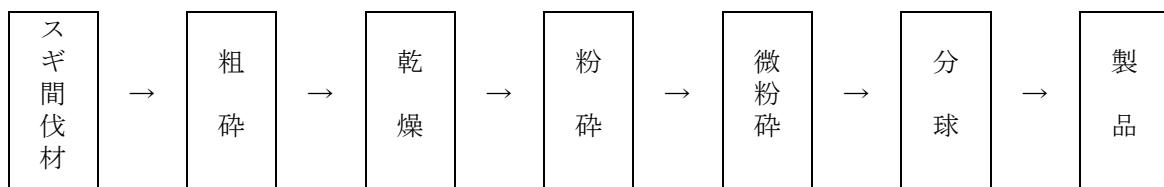


図 27 富山県西部森林組合におけるスギ木粉製造フロー

同森林組合は、更に検討結果報告として、A 重油噴霧燃焼火炎内に 100 メッシュスルーアー(149 μm 以下) のスギ木粉を投入すると、煤の発生が低下し、NOx は増加するが CO が大幅に減少し、燃焼効率が上がる結果を報告している（神戸大学、富山県木材試験場との共同研究結果）。新聞記事²⁶によれば、重油に 40%混ぜても発熱量は重油のみと変わらないとされている。ホームページでは、共同研究結果が掲載されているが、重油混焼用販売がなされているかは解らない。

5.3.2. ウッドプラスチック (WPC)

木質チップ或いは纖維を熱硬化性接着剤と共に圧縮成形した木質ボードは、OSB（配向性ストランドボード）、パーティクルボード及び中密度纖維板（MDF、密度 0.35-0.80g/cm³）に分類される。OSB は低質の広葉樹を薄い薄片状に配向させ積層、接着される。原料エレメントはパーティクルボードエレメントより薄く面積が大きい。MDF は木材チップを蒸煮・解纖した木質纖維の圧縮成形ボードであり、エレメントサイズは MDF が最も小さく、パーティクルボード、OSB の順に大きくなる。接着剤として尿素、メラミン尿素、フェノール樹脂、イソシアネート等が使用される。耐水性が要求される用途ではフェノール系或いはメラミン尿素系接着剤が使用される。OSB は我が国では生産されておらず、パーティクルボードは以前音響スピーカー素材として使われたが、加工性・仕上がりから MDF の使用が多くなっている。MDF は、家具の扉、側板、背板、住宅設備機器扉、カーテンボックス等の造作材、カラーBOX、スピーカーキャビネットに利用される。木質ボード材料としては、ラワン、カラマツ、スギ等が用いられる。

熱硬化性樹脂を用いる圧縮成形は、押出成型や射出成形に比べ生産性に優れない。生産性の悪さが、木質材料が熱可塑性プラスチックに比して発展を見なかつた理由となつてゐる。熱可塑性樹脂に木粉を混入し押出成形する技術が米国で開発され、1990 年台に木粉/LDPE（低密度ポリエチレン）比率が 1/1 の複合材料が上市され、屋外用デッキ材として普及した。米国ではデッキに次いでガードレールにも販路を伸ばした。2010 年には WPC 生産量 150 万 t に達し、フラットデッキの 3 割が WPC になったとされる。中国では 5 年程前から WPC 生産が開始され、現在 20-25 万 t が生産される。2015 年には 500 万 t の生産が予測されている。中国での用途はパレットから始まり、現在デッキ等の屋外資材や家具用材に移行しつつある。先々はあらゆる建設資材を考えていると言われる。

欧州では、屋外デッキ需要が無く、屋内用向け WPC として木質纖維質の高充填（木粉 70-85%）製品が 2 軸押出機で押出成形され、中空成形体で製造される。2003 年度製造量は 2 万 t 程度と考えられ、米国（45 万 t）に比して小さい。

国内での最初の WPC 例はミサワホーム（株）が 1993 年に塩化ビニル（PVC）ベースの WPC（木粉 30 部程度）を自社住宅の内装に用いた事により始まる。その後積水樹脂は PE ベースの低発泡押出成形 WPC（木粉 25 部程度）を開発した。1996～2000 年には、異形押出による PP ベースの WPC（木粉 55 部程度）をAINエンジニアリング（株）（AINウッド^R、現 WPC コーポレーション）やミサワホーム（株）（Mウッド 2^R）が開発した。同時期に日本ゼオン（株）は、浮き桟橋用床板を PP/PE ベース WPC（木粉 35 部、ゼオクーパーウッド^R）を上市した。

木材と PE や PP は親和性が無いため、木粉と PE 或いは PP との接着性向上のため木粉は、マレイン酸変成ポリプロピレン樹脂で処理される。木材性質上 200°C を超えると VOC

の発生や臭気が見られるため、2軸押出機を用い通常150-200°Cでコンパウンド化され、コンパウンドは異形押出成形に供される。WPCで使用される木粉は粒径50-200μ程度が好ましいとされ、水分量は低水分(0.5%程度)が好まれる¹⁰。水分が過大であると成形時に発泡を起こしやすく、成形体中で木粉周りに空隙が発生し、木粉と樹脂の接着を阻害する。WPC用木粉は、低水分が不可欠で有ることから、低水分の乾燥済みの製材工場端材や建設発生木材由来の木粉が好まれる。

WPCは次の欠点をもつ。熱膨張率が大きく寸法精度要求用途に向け難い、木粉30%以上のWPCでは耐衝撃性が低い、屋外使用では紫外線劣化による白化現象(チョーキング)が起こりやすい。森林総合研究所の話では、耐衝撃性が5割程度改善されれば用途の拡大が期待出来ると云われた。岡山県工業技術センターが開発を進めている木質ナノファイバーはWPCの衝撃性改良に期待持てるのでは無いかと考えられる。

なお、WPC分野で押出成形が多く、射出成形が選択されるのは少ない。木材含有量が多いと射出成形では金型内流れが悪くなり、充填不良が発生しやすいためと考えられる。

尚、合成木材や人工木材と称する製品分野には、擬木として木粉を含まない廃プラスチックのみからの再生材料、例えばテンダーウッド^R(積水化学(株))、エスロンネオランバー^R(積水化学工業(株))、エコマウッド^R((株)エコマ商事)等も市販されている。これらは擬木らしくPEやPPで表面加工されているが、芯材が全てプラスチックであったり或いは金属であったりする。

5.3.3.ナノファイバー

植物細胞壁構造は、中央にルーメンと呼ばれる中空構造が存在し、ルーメンの周りにはセルロース分子が集まりミクロフィブリルが形成される。ミクロフィブリルの隙間をヘミセルロースやリグニンが満たしている。セルロース分子の化学構造はグルコース残基が 1,4- β -グリコシド結合で連結され、重合度は 500-10,000 であり、2 つのグルコース残基がエーテル構造を介してセロビオース基本構造単位として連結される。セルロースは、分子内及び分子間の水素結合で固定される結果、分子鎖が整列し結晶部を形成する。

セルロースミクロフィブリル部では、セルロース分子が幅 3-30nm に集まりミクロフィブリル束となり結晶領域を形成する。幅 4nm の単位ミクロフィブリルが、グルコース 200-300 残基毎に幅 3-30nm に集まり結晶域を形成し、結晶域同士は 4-5 残基の非晶部で連結され、重合度が 500-10,000 となるようにセルロース分子が連結され、ミクロフィブリルが形性されている。セルロースミクロフィブリル内は水素結合で固定されるため、セルロースナノファイバーを得るには、セルロースミクロフィブリル間に作用する水素結合を解きほぐす必要がある。

セルロースナノファイバー材料としては通常パルプ原料が選ばれ、ミクロフィブリル間水素結合の解裂方法は大別して 2 法が提案されている。セルロースに剪断力を働くせながらセルラーゼを作用させてミクロフィブリル間の水素結合をほぐす方法（矢野法²⁸ 及び森林総合研究所法²⁹）と TEMPO (2,2,6,6-テトラメチル-1-ヒドロキシシラン) 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方法（磯貝法³⁴）が提案されている。解纖装置としては、高圧ホモジナイザー、グラインダー磨碎、水中カウンターコリジョン、超音波解纖、等の方法が適用される。

セルロースナノファイバーの繊維径は光の波長 (400-700nm) に比して非常に小さい。可視光波長の 1/10 以下のエレメントでは光の散乱が起きないため、媒体中では透明材料となる。繊維方向の熱膨張係数は 0.17ppm/K と極めて小さく石英ガラスに匹敵し、E ガラスの約 1/50 となる。

矢野研究室では、非晶性ポリ乳酸に 10% のミクロフィブリル化セルロース (MFC) の添加で、室温下の弾性率と強度が 3 割増大し、更にガラス転移点 (Tg) の弾性率低下を大きく抑制したとされる。MFC はアラミド繊維並みの高弾性、高強度繊維であり、MFC が 60-70% 含まれても透明であり、線膨張率も極めて低い (3-7ppm/K)。三菱化学(株)と王子製紙(株)は、矢野研究室の成果を受け、複合材料の共同研究に合意した (H22-1/07)。

磯貝研究室では、PLA へ練り込み、酸素バリアー性が 2 衍近く向上したと報告されている。日本製紙(株)、凸版印刷(株)及び(株)花王(株)の 3 社は、TEMPO 酸化セルロースナノファイバーを利用した包装材料開発に合意している (2010-06/2)。

なお、(株)KRI は、イオン性液体と窒素を含む有機溶媒でセルロース非晶部を溶解、ナノファイバー (30-50nm ϕ) を製出する。本法はセルロース表面の水酸基に作用して纖維の凝集固化を防止するとされている²⁷。

ガスバリアー材料は、現在ポリビニルアルコール (PVA) フィルム、塩化ビニリデン (PVDC) フィルム等がバリアーフィルムとして食品包装分野で使用されている。PVA フィルムは高湿度下でバリアー性能が極端に低下するので多層フィルムとして使用される。PVDC はプラスチックフィルム単体では最も酸素バリア性が優れるが、焼却時のハロゲン問題やダイオキシン問題を抱えている。多層共押出フィルム、或いはバリア樹脂エマルジョン或いは溶液を表面コートしたフィルムが、ガスバリア (酸素)、防湿、保香性等バリア性が必要とされる分野に使用される。ガスバリアー性能は、有機 EL 膜や太陽電池膜においても耐久性等の要求から重視されている。多層フィルムや多層コートフィルムは製造に手間がかかる。セルロースナノファイバーで強化したバリアー材料ならば製法が簡略化される。セルロースナノファイバー強化フィルムの特徴が明らかにされる (バリア性に加え、防湿や保香含め) に従い、競合材料との優劣比較や新規な応用分野が明確になってくると予測される。

酢酸菌等のバクテリアが産出するナノファイバーは、バクテリアが培養液中でナノファイバーを紡ぎながら移動、分裂するため、幅 50-100nm のセルロースが凝集することなく均一に分散したネットワーク (不織布) が得られる。高弾性のゲル状シートであるので、人工血管や傷口治療シート等、医療分野で積極的に研究されている。パルプからも叩解と抄紙法で不織布が開発されている (旭化成(株))。

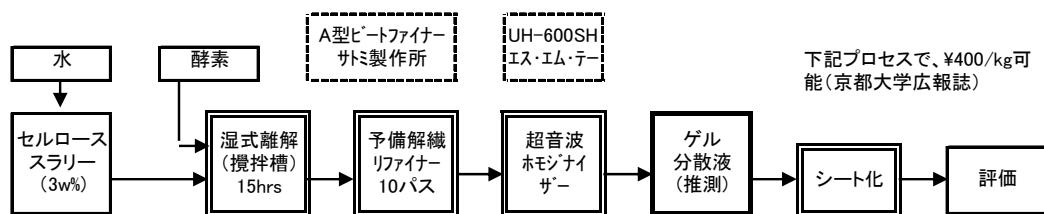
サルファイト法セルロースを苛性ソーダに溶解、硫酸で中和・凝固させた再生セルロースを希硫酸で酸分解した再生セルロースを高压ホモジナイザーで解纖すると、幅 20-30nm、長さ 20nm のミクロフィブリルが得られる。可食性のセルロースとなり、デンプンとの複合フィルムは高湿度下の高弾性率が保持されオブラーートに代わる材料となる。またノンカロリー多糖と共にアルカリに溶解し、Na₂SO₄を添加しゲル化、中和、水洗するとセルローススponジとなる。日本製紙ケミカル (株) の可食性ナノファイバーと略同じものである (p33、p54)。ノンカロリーパンとしてダイエット食の可能性がある。尚溶解パルプをアルカリ溶解し硫酸凝固したセルロースは、FDA の GRAS (generally recognized as safe) 認定が得られている (旭化成/山根教授・神戸女子大学)。

岡山県工業試験技術センターでは、パルプ由来セルロースでは無く、木材を湿式で石臼式

粉碎機や高圧ホモジナイザーの組み合わせで解纖し得られる纖維長 500nm 程度の木質ナノファイバーが、ゴム、プラスチック等の強化材料向けに検討されている。本ナノファイバーにはリグニンが含まれるために無色を嫌う材料には使用しがたいが、強化材料としてはナノファイバーの強度特性を活かした強化プラスチックへの展開が期待されている。

図 28 各種セルロースナノファイバーの製造法

1. 湿式離解～酵素処理～超音波解纖 (矢野 浩之 (京大))²⁸



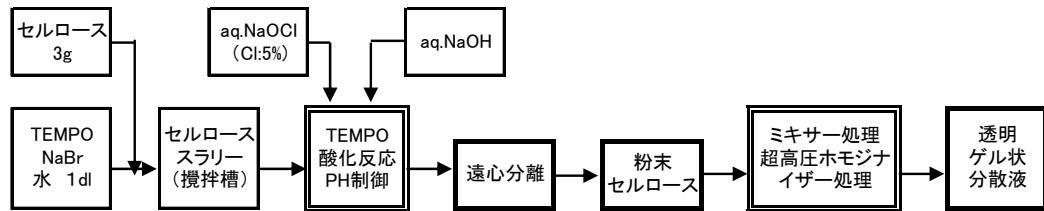
尚、矢野教授の別の記載(京都大学広報誌)によると、リファイナーでパルプ外層を傷つけ、吸水混練りすることでナノファイバーレベルまで容易に解纖を見いだしたとの記載有り

1. 酵素処理必須：セルラーゼ、キラナーゼ、ヘミセルラーゼ
2. 酵素処理は、湿式離解、予備解纖、超音波処理の全ての工程、或いは少なくともどこか1工程に必須
3. 沈降性 $\geq 500\text{m/g}$ (0.1wt%水分散スラリーの 100ml メスシリンドー中 1 h r の沈降体積)
4. 乾燥成形後引っ張り強度 $\geq 60\text{N/mm}^2$
5. PLA 繊維とセルロースナノファイバーを混合、加熱成形により GFRP の倍程度の強度を示す
6. 線熱膨張係数 ガラスの 1/10。弾性率はケブラー並み。鋼鉄の 1/5 の軽さ。
7. ~100nm 分散プラスチックの光線透過率は $\geq 85\%$
8. 三菱化学(株)、王子製紙(株)が複合材開発中

2. (独) 森林総合研究所法²⁹

矢野教授(京都大学広報誌)とほぼ同様の手法。セルロースに対して物理的破壊(攪拌、明細書では攪拌子の攪拌)を加え、結晶化度を低減させた後、エンドグルカナーゼを作用させ、フィブリル化し、セルロースナノファイバーを得る
機械的処理には、攪拌、超音波、ボールミル等にも言及されている³⁰。

3. TEMPO 酸化法 (磯貝 明 (東大))³¹



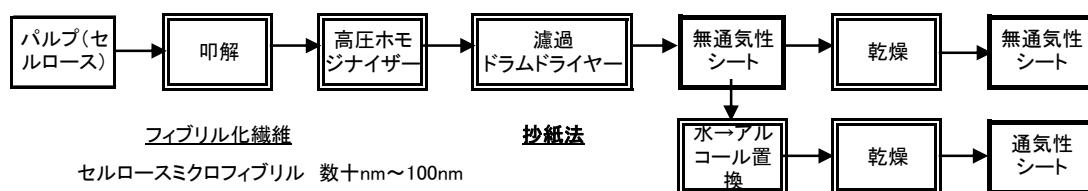
TEMPO : 2,2,6,6-テトラメチル-1-ヒドロキシニルオキシラジカル

TEMPO は一級アルコールをアルデヒド、カルボン酸へ酸化する。二級アルコールには作用しない

- 1.TEMPO は、セルロースミクロフィブリル表面露出 1 級水酸基を COOH に酸化、ミクロフィブリル間の静電反発が作用する。
- 2.セルロースミクロフィブリル：セルロース 30-50 本の集合体で、幅 4nm、長さ \geq 数 μ m、結晶化度 70% 以上のナノファイバーフィルム：①高い光学透明性、②極めて低い線熱膨張率（ガラスの 1/3 程度）、③高い酸素バリヤ性、⑤高強度・高弾性率、⑥COOH を基点とする構造変換
4. PLAへの混練時、酸素バリヤ性は ca.900cm³/m²/dayatm から、10 以下 (PET 並) 以下に低下。(cf. EvOH のバリア性 \leq 1)
- 5.. 日本製紙(株)、凸版印刷(株)、花王(株)が包装用複合フィルム開発

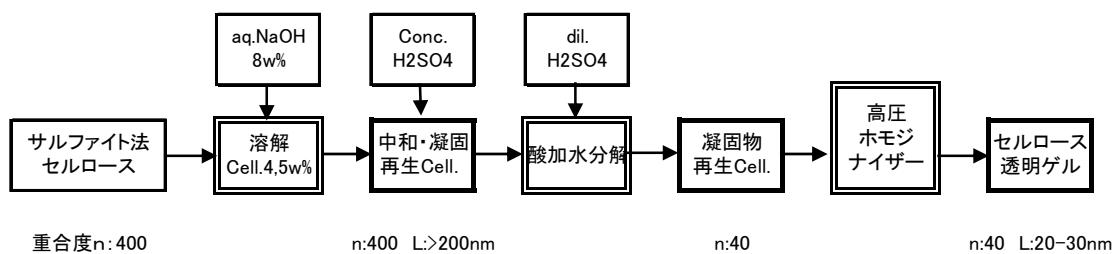
4. 旭化成法 CNF³²

CNF:セルロースナノファイバー不織布



- 1.セルロースミクロフィブリルは、ナノファイバー効果により凝集性を示す。凝集状態では軟凝聚集体堆積物となり、凝集体間隙に水路が形成され、抄紙化が可能
- 2.上記状態で、定長乾燥機上で乾燥すると、水の乾燥に伴いミクロフィブリルが引き寄せられ、隙間の無いシートが形成される
- 3.に代わり低表面張力のアルコール置換により、抄紙されたネットワークが維持され通気性シートが得られる。

5. 可食性セルロース 中国経済産業局バイオマス技術セミナー (2010/11/30) 山根千弘教授 (神戸女子大) 講演要旨

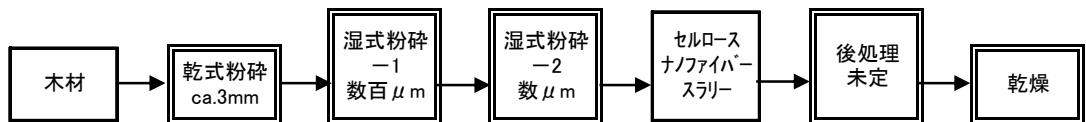


- 1.世界初可食性セルロース (食品使用可能薬剤のみ使用) : FDA が GRAS (generally recognized as safe)

と認定

2. 再生セルロースを叩解 → 幅 20-30nm 長、長さ 20nm のミクロフィブリル（ナノ粒子）
3. 再生セルロースと多糖溶液（コーンスターチ、aq.NaOH 溶液）を共凝固 → 多孔質構造 → 高保水・高保油
4. セルロース/デンプン複合フィルム（高湿度下の高弾性率保持）やセルローススポンジのノンカロリーパン

6. 岡山工業試験所法（岡山県工業技術センター、平成 21 年度報告）

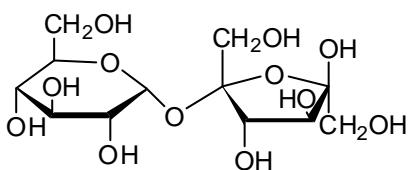


湿式粉碎-2：工技C報告では、石臼式粉碎機（増幸産業一ディスクミル MKCA6-2）、高圧ホモジナイザー（増幸産業一MMX-L200-D10）の組み合わせの他、遊星ボールミル（(株)レッヂェ PM100）が粒径低減効果大

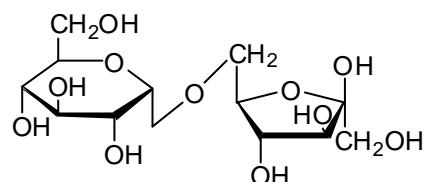
1. セルロース出発でないので、ナノファイバーはリグニン色（茶）を帯びる。
2. 目標繊維長は 500nm。
3. ゴム、プラスチック等自動車向けに期待
4. H21 報告によれば、ヒノキチップでは水熱処理を加えた粉碎で精油成分は効果的に除去出来る

5.3.4.オリゴ糖、単糖類

砂糖の主成分である蔗糖（スクロース）は二糖類であるが、単糖成分が2乃至10結合した成分をオリゴ糖と称する。う蝕は、口腔内細菌により糖質から乳酸等の酸が産生され進行するが、酸産生能はスクロースが最も高い。スクロースとパラチノースは同じ構成単糖（グルコースとフルクトース）で有っても、結合様式が異なるためパラチノースは口中細菌によって代謝されずう蝕性を示さない。

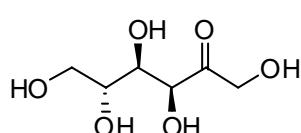


スクロース

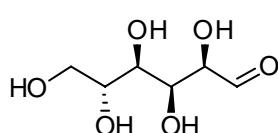


パラチノース

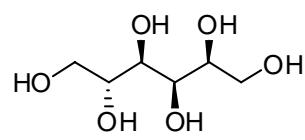
砂糖、澱粉等の糖類は、体内各器官の酵素により加水分解される。構成糖であるグルコースは小腸で吸収され、血管を通して筋肉や脳へ運ばれ消費されると共にグリコーゲンとして筋肉や肝臓に貯蔵される。余剰分は脂肪に変えられ蓄積される。蔗糖の構成糖フルクトースは、体内でグルコースに変換されるが、吸収速度は変換される分だけ遅くなる。ネズミでは、グルコースの吸収速度を100とすると、ガラクトース110、フルクトース43、マンノース19、キシロース15（五单糖）、アラビノース9（五单糖）と云われている。



フルクトース

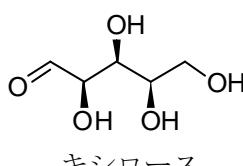


グルコース

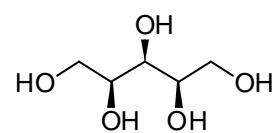


ソルビトール

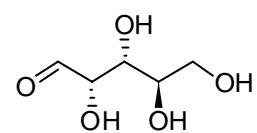
グルコースのアルデヒド基を還元したソルビトールは、甘味は砂糖の6割程度であり、カロリーも75%程度と低い。体内での吸収速度は単糖の種類によって変わる。五单糖であるキシロースも動物体内での吸収速度は遅く、キシロースが還元されたキシリトールは蔗糖と同等の甘味を持ち、熱量も4割低い。摂取しても血糖値の急上昇がないほか、腸内の吸収速度が遅いため弱い下剤機能を示す。



キシロース



キシリトール

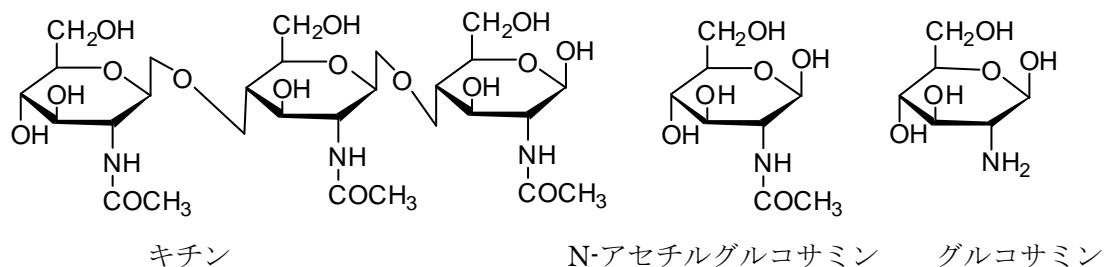


アラビノース

多くのオリゴ糖類はデンプンや蔗糖（スクロース）を原料に製造される様になってきた。

ヘミセルロース成分は、アラビノキシラン（キシロースからなる主鎖にアラビノースが α -1,3結合している。カラマツや稻科植物に多い）やグルクロノキシラン（キシロース10残基あたり4-O-メチルグルクロン酸が1残基結合。広葉樹に多く広葉樹成分の20-30%を占める）の形でキシロースを多く含んでいる。広葉樹のヘミセルロース成分から酵素分解や蒸煮処理でキシロースやオリゴキシロ糖が取得されている。トウモロコシ芯部も酵素分解してキシロースやキシロオリゴ糖が作られている。キシロオリゴ糖は体内消化酵素では消化されず腸まで達し、低カロリーであり、また腸内細菌を活性化する整腸作用があるとされ健康食品に使用されている。

植物成分由来の多糖類ではないが、カニやエビの骨格成分であるキチンはアミノ糖（N-アセチル-D-グルコサミン）を構成単位とする多糖である。キチンに濃塩酸を作用させ脱アセチル化した塩基性多糖はキトサンと呼ばれる。更に完全に加水分解すればグルコサミンが生成する。キトサンは酵素固定化担体、徐放性農医薬担体や手術後の吸収性縫合糸や創傷被覆材に使われる。グルコサミンは、経口投与により間接の痛みを軽減する効果がしられ、欧州では変形性関節症に対する医薬品として使用される。



糖類、オリゴ糖（植物成分由来）に関連した技術開発・市場動向等の状況

1. 技術の分類（糖、オリゴ糖）

① 单糖類

表 49 主な单糖類の原料と製造法

分類	原料	製造法
单糖類	グルコース（ヘキソース）	デンプン（セルロース）アミラーゼで低分子化（液化）し、グルコアミラーゼで糖化する。
	異性化糖	グルコース（ブドウ糖）シロップ グルコースイソメラーゼの作用でブドウ糖の半分を果糖に変化させる。
	ソルビトール	接触還元する。
	フルクトース（ケトース）	β -フルクトラシナーゼ、ホスピラーゼ、トランスホスピラーゼのいずれかを作用させる
	キシロース（ペントース）	酸加水分解或いは酵素分解で粗キシロースを作り、イオン交換樹脂で精製する。
	キシリトール	精製キシロースを接触還元する。

	L-アラビノース (ペントース)	アラビノキシラン	酸で分解し、中和、不溶性残渣除去、イオン交換樹脂精製、結晶化。
--	---------------------	----------	---------------------------------

②オリゴ糖

表 50 主なオリゴ糖の原料と製造法

分類：2 糖類（単糖成分数2）、三糖（単糖成分数3）、オリゴ糖（単糖成分数2-10）

構成糖：G—グルコース、F—フルクトース（果糖）、Ga—ガラクトース

名称	分類	糖構成		結合	原料	製造法（使用酵素）	
スクロース	二糖	G	F	—	サトウキビ、テンサイ	—	
マルトース	二糖	G	G	—	α -1,4	デンプン	β -アミラーゼ
トレハロース	二糖	G	G	—	α -1,1	デンプン	マルトオリゴシルトレハロース生成酵素、トレハロース遊離酵素
パラチノース	二糖	G	F	—	α -1,6	スクロース	β -ガラクトシルトランスフェラーゼ
セロビオース	二糖	G	G	—	β -1,4	溶解パルプ スクロース	セルラーゼ
ラクトスクロース（乳果オリゴ糖）	三糖	G	F	Ga	—	スクロース、 ラクトース	β -フルクトラシノダーゼ（注：スクロースとラクトース（乳糖一二糖）の部分構造を有する三糖）
ラフィノース	三糖	G	F	Ga	—	ビート糖蜜	糖蜜より分離精製
スタキオース	四糖	G	F	Ga（2分子）	大豆	—	
フラクトオリゴ糖	三～五糖	G	F （2-4分子）		蔗糖	β -フルクトシルトランスフェラーゼ (アスパラガス、ニンニク、タマネギ、蜂蜜に含まれる)	
			蔗糖にフルクトースが1-3個結合				
キシロオリゴ糖	オリゴ糖	キシロース	—	キシラン（広葉樹、トウモロコシ）	キシラナーゼ。ヘミセルロース成分の蒸煮、精製		

2. 用途

表 51 主な糖、オリゴ糖の用途

オリゴ糖名称	用途
マルトース	エネルギー補給（点滴剤：血糖上昇がマイルド）、食品用デンプン老化防止。還元生成物マルチトールは低カロリー甘味料。
トレハロース	タンパク質変性（加熱、乾燥、冷凍時）の防止（抗酸化作用）。乾燥食品、冷凍食品、菓子類。
パラチノース	虫歯の原因にならない。ガム、キャンディ。
セロビオース	難消化性、低カロリー、低う歯性。成長作用。
ラクトスクロース	非う歯性、整腸作用、ミネラル吸収促進、肝機能改善
ラフィノース	アトピー性皮膚炎改善
スタキオース	低カロリー（熱量4割）。大豆オリゴ糖（含有量3-4%）
フラクトオリゴ糖	整腸作用、ミネラル吸収促進。特定保健用食品。
キシロオリゴ糖	甘味は砂糖の4～5割。熱量2kcal/g。難消化性であり、体内消化酵素

	では消化されず、腸に達するまで吸収されず、整腸効果を示す。カルシウムの吸収促進効果ありといわれる。
--	---

3. 技術の概要（木質から製造可能なものの記載）

表 52 主なオリゴ糖の製造技術

名称	製造法
セロビオース	<p>①化学的製法：セルロースを酸加水分解後、カラム分画する。</p> <p>②酵素法：未乾燥パルプ（溶解セルロース）にセルラーゼを作用させる。適当な条件後、固液濾過により、パルプ吸着性セルラーゼ（エンドクルナーゼーセルロース（ランダム切断）及びセロビオヒドロラーゼ（末端から2分子ずつ切断）と液中溶解β-グルコシダーゼ（セロビオースの分解）を分離する。分離後、パルプ付着酵素によるセルロース分解によりセロビオースを得る。</p>
キシロオリゴ糖	<p>①ヘミセルロースの酵素分解：王子製紙（株）ホームページによれば、ユーカリ中のヘミセルロースに酵素処理を施しキシロオリゴ糖を抽出し、精製により高純度物を得たとされる。特許³³⁾によれば、広葉樹チップ70%、ユーカリ材30%の混合広葉樹チップをクラフト蒸解し、酸素脱リグニン、洗浄、PH調整（pH8）後キシラナーゼを作用させ、パルプ残渣を分離し濃縮糖液を得る。濃縮糖溶液を塩酸、硫酸、シュウ酸等によりpH3.5に調整し、121°Cで処理することでキシロオリゴ糖溶液が得られる。粗キシロオリゴ糖溶液に精製を加えて全糖回収率80%程度でキシロオリゴ糖溶液が得られる。</p> <p>尚、サントリー（株）のキシロオリゴ糖を含有する洗浄剤組成物に係わる特許³⁴によれば、コーンコブ（トウモロコシの芯）を熱アルカリ処理で前処理後、トリコデルマ・ヒリデ由来のキシラナーゼにより45°C、pH6.2で8時間糖化、脱色、脱タンパク、脱塩後濃縮しキシロビオース約40%、キシロビオース以上のキシロオリゴ糖30%、キシロースその他单糖約30%のシロップを得ている（関連特許³⁵⁾）。</p> <p>②キシラン（ヘミセルロース）成分の熱水分解³⁶：キシラン含有天然物から予め110°C以上140°C以下の热水で抽出される成分を除去した水不溶性残渣を前記温度以上200°C以下の热水で処理することでキシロース及びキシロオリゴ糖が得られる。キシラン含有天然物としては、シラカバやブナの広葉樹、稻穂、綿実殻、サトウキビバカラス、サトウキビピスやビートパルプが利用出来るとされるが、中でもサトウキビピスが最良とされている。精製は、活性炭処理後イオン交換樹脂処理することで行われる。</p> <p>③ササの蒸煮処理³⁷：北海道に広く分布するクマイザサの葉及び桿部粗碎物を温水処理或いは有機溶媒（アセトン、アルコール等）処理により可溶物を除いた後、圧力容器中、180-200°Cの飽和水蒸気(0.98-1.57MPa)で数分から30分蒸煮し、蒸煮物を水抽出することでキシロオリゴ糖を主成分とする抽出物が得られる。抽出物のスプレー乾燥により、固体物が乾燥原料あたり10-15%で得られ、固体物には、キシロースが70%、グルコース及びアラビノース含め80%強が含まれている。</p>

4. 想定実現時期

- 王子製紙（株）：イフィオスNなる商品名で、甘味度が蔗糖の15-20%の商品が、健康食品、レトルト食品、飲料、菓子、冷菓等に適するとして販売されている。
- 東洋インキ（株）：Webによると、クマザサの煮沸抽出法を発明し、キシロオリゴ糖、有機酸、ポリフェノールを含むリオハーバルササエキスRとして販売している。
- サントリー（株）：サントリー特許内記載³⁴によれば、キシロオリゴ糖70Rで市販とされるが

Web その他で単体での販売は見受けられない。ビフィズス菌キシロオリゴ糖[®](キシロオリゴ糖、マルチトール、ビフィズス菌、有胞子性乳酸菌、澱粉、セルロース、ショ糖脂肪酸エステルを含有)が市販されている。

- ・物産フードサイエンス(株) : サントリーウエルネス(株)のキシロオリゴ糖(主成分:キシロビオース、キシロトリオース)の販売を開始と報じられている。

5. 量と価格 (15977 の化学商品、化学工業日報社より収録)

表 53 主なオリゴ糖の生産量と価格

名称	価格 (円/kg)	生産量 (2009年)	備考 (製造メーカー等)
グルコース	90-100	—	日本食品加工(株)、群栄化学工業(株)他
異性化糖	79-83	—	果糖 55%、水分 25%
ソルビトール	370-400 (粉末)	輸入 34,000t、輸出 410t	上野製薬(株)、サンエイ糖化(株)他
フルクトース	180-190	輸入 10,700t、輸出 151t	三井製糖(株)、(株)林原他
キシロース	1,600-1,800	—	タマ化学工業(株)、岡村製油(株)
キシリトール	1,000	—	三菱商事フードテック(株)
マルトース	400	22,000t	(株)林原、三和澱粉工業(株)
トレハロース	315	31,000t	(株)林原
パラチノース	400	—	三井製糖、セレスター [®] ヤパン
キチン	1,000-1,500	500-600t	片倉チッカリン(株)、大日精化工業(株)、甲陽ケミカル(株)、日本水産(株)他
キトサン	2,500-5,000	400-500t	日本水産(株)、甲陽ケミカル(株)他
グルコサミン	6,000-7,000	70-100t	日本水産(株)、甲陽ケミカル(株)他

5.3.5. 糖化技術

トウモロコシやサトウキビの澱粉由来糖質を原料とするバイオアルコールやバイオプラスチックの幾つかは既に実用化段階にある。

従来、バイオケミカルズ、バイオプラスチックの出発原料は澱粉由来グルコースが利用された。澱粉のアミラーゼ糖化では、高濃度のグルコース水溶液が得られる。他方セルロースのセルラーゼ糖化では、糖化されたグルコースの蓄積により酵素活性が低下(拮抗阻害)し、高濃度グルコース溶液が得難い。木質バイオマスであるセルロースの酵素糖化は、澱粉の酵素糖化に比べて改善点が多い。木質バイオマスには、六单糖を構成単位とするセルロース以外に糖質成分として五单糖を構成単位とするヘミセルロースが含まれる。ヘミセルロースもヘミセルラーゼ(キシラーゼ等)の作用でキシロース等の五单糖に糖化され

る。

通常アルコール発酵用酵母は、グルコースを資化するが、五单糖は資化出来ない。木質バイオマスから誘導される糖分利用にはこのような制約があるが、セルラーゼの拮抗阻害への対応は、セルラーゼによる酵素糖化と酵母等のアルコール発酵を同時進行させる事で拮抗阻害を防止する研究が進んでいる（同時糖化発酵法）。

また、五单糖の微生物発酵に関しては、アルコール発酵用酵母に五单糖発酵機能を遺伝子組換えし、五单糖及び六单糖からのアルコール発酵が可能になりつつある。米国フロリダ大学のイングラム博士は、テキーラ製造用のザイモナス菌の持つエタノール発酵遺伝子を大腸菌に組込、五单糖と六单糖の双方からアルコール発酵が可能となった。

デンプン由来グルコースで築かれた合成化学は、当然セルロース由来グルコースに適用出来る。グルコースに加えヘミセルロース由来のキシロース（五单糖成分）を同時発酵出来る遺伝子組換え技術が研究開発されだした。遺伝子組換え技術は、木質バイオマス由来糖分からのケミカルズ開発にも向かいつつある。

木材資源豊富な地域にあっては、バイオリファイナリーの入口である木質バイオマス糖化技術に関心を持ち、木質バイオマス由来の糖類供給に積極的な関与が望ましいと考えられる。以下、木質バイオマスの糖化技術を整理する。

セルロースやヘミセルロース成分の木質多糖を加水分解してグルコースやキシロース等の单糖への分解方法は大別すると、濃硫酸・希硫酸・濃塩酸等の酸分解法、酵素による糖化法、及び高温高圧下の熱水による加水分解の 3 つに分類される。それぞれ単独でも実施されるが、組み合わせての実施もなされる。

濃硫酸法は、30-70%の硫酸を用い、低温短時間処理される。セルロース、ヘミセルロース共に糖化され、糖化収率は 90%以上と高い。工業的な問題点は、硫酸使用による適材反応器材質選定が難しい事、硫酸と糖の分離にエネルギーコストがかかりすぎる点にある。我が国では 1963 年 8 月から翌年 3 月迄操業された北海道法が著名である。広葉樹 80t/日の処理、年間 4,500 t のブドウ糖生産が計画された。糖と硫酸の分離はイオン交換膜法が検討された。材質問題やコスト面から半年強の操業に終わっている。木質では無いが Arkenol 社法は、稻わら等バイオマスの硫酸糖化を対象として、2 段法で糖化を行い、1 段目は 40°C、70%硫酸によりセルロース結晶の非晶化処理を、2 段目は 30%硫酸、95-100°Cでセルロースを分解する。糖と硫酸の分離はイオン交換クロマトグラフィ法が採用されている。

希硫酸法は、硫酸濃度 0.1-1.1%、処理温度 125-220°C の高圧下短時間処理が実施される。希硫酸法も古くから検討された方法であるが、糖化収率が良好では無かった（50%程度）。希硫酸法は、2004 年に設立されたバイオエタノール・ジャパン・関西（株）が、建設廃木材からのバイオエタノール製造を目的として操業している。該社もヘミセルロース分解は

良好な結果が得られたが、セルロース分解工程は難航していると云われる。

希硫酸法は熱水分解し易いヘミセルロースの糖化には好適な方法であり、米国では希硫酸法でヘミセルロースを製取後、酵素処理で残存セルロースの単糖への分解が検討されている。濃塩酸法は、糖化収率は良いと云われるが、濃硫酸同様腐食雰囲気での適材選択が難しい。

高圧热水抽出法は、210-230°C、5MPa の条件下で短時間処理される。産総研資料³⁸によると、スギに対して热水流通処理を施すと 140-230°C でヘミセルロース由来のキシロース等の糖類が溶出し、230-260°C でセルロース由来のグルコースが溶出する。

木質バイオマスに前処理を施し酵素が作用しやすい状態を作り、酵素処理する糖化法が検討されている。セルロース糖化には、セロビオハイドロラーゼ (CBH)、エンドグルカナーゼ (EG) 及び β -グルコシダーゼの 3 種が用いられる。CBH はセルロース末端からセロビオース（二单糖）を酵素分解し、EG はセルロースのランダム切断を引き起こす。CBH と EG は協奏的に働き、結晶セルロースを分解する。 β -グルコシダーゼは、セロビオースやセロオリゴ糖末端からグルコースを切り離す。

木質バイオマスの前処理は、物理的方法（微粉碎一ボールミル、振動ミル、凍結粉碎、蒸煮一蒸煮爆碎、蒸煮、熱水分解、加圧熱処理）、化学的方法（酸、アルカリ、溶媒）、生物処理（リグニン分解酵素）等が採用される。

産総研・バイオマス研究センター (AIST/BC) は、粗粉碎後前処理として小規模では湿式ボールミル（遊星型）処理が酵素糖化に効果的であったとされる。ボールミルは工業的な大量処理には向きであるので、湿式高速カッターミル処理して、引き継いで加圧下の水熱処理（オートクレーブ）後、酵素存在下で湿式ディスクミル処理（湿式メカノケミカル処理）をして、満足出来る糖化収率を達成されたとされる。

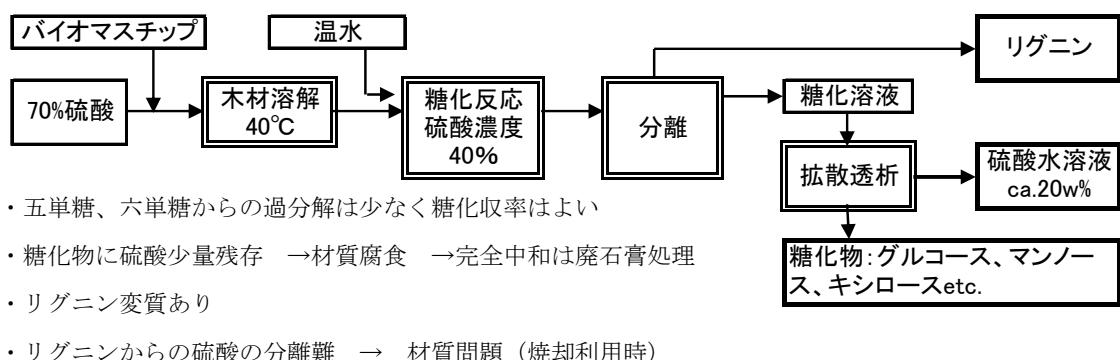
セルロースの酵素糖化では無いが、小片状木片のヘミセルロースのヘミセルラーゼを用いた酵素分解において、リグニンによる酵素阻害の回避にリグニンのオゾン処理が提案されている³⁹。

(独)森林総合研究所は、糖化法としてアルカリ蒸解パルプ化法で木材中のリグニンを除去し、得られたパルプにセルラーゼ（トリコデルマ菌由来）と酵母の同時作用によってエタノール生産を検討している。現在秋田県北秋田市で実証プラントが稼働中とされる。

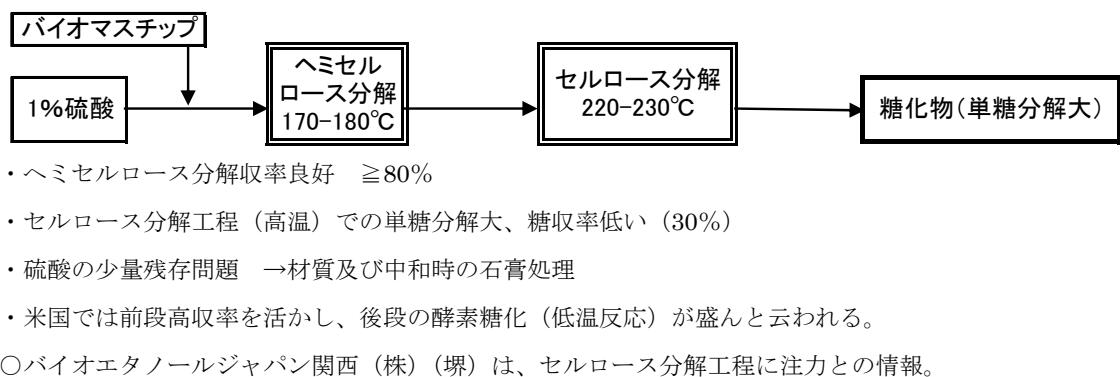
バイオマス酵素糖化では、「アスペルギルス・キュリータス」の β -グルコシダーゼ遺伝子をセルロース分解カビ「トリコデルマ・リーセイ」ゲノムに組込、稲ワラセルロースを従来酵素の 5 倍の効率で分解を確認、外国製品酵素と競争可能と伝えられた⁴⁰。

図 29 木質バイオマスの糖化法

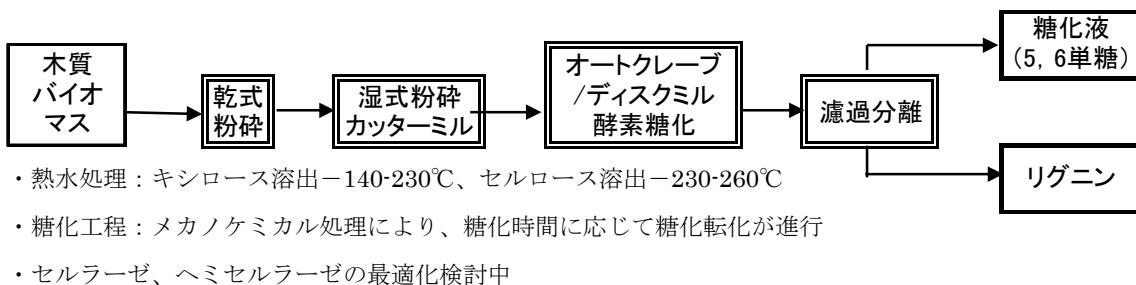
1.1 濃硫酸糖化法



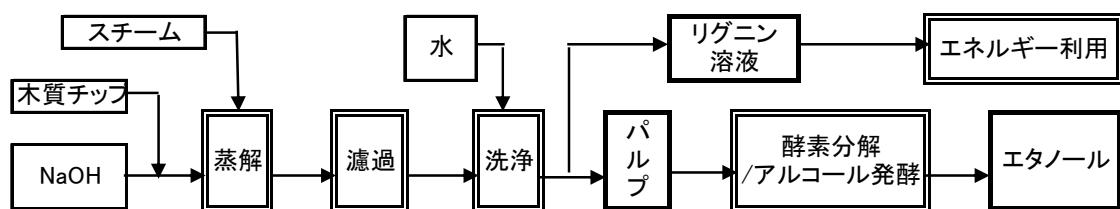
1.2 希硫酸糖化法



1.3 メカノケミカル法 ((独)産総研・バイオマス研究センター法)



1.4 アルカリ蒸解、酵素糖化法 ((独)森林総合研究所)



・セルラーゼ（トリコデルマ菌）と酵母の同時発酵

5.3.6 リグニン

リグニンは、リグニン前駆体であるシナピルアルコール（芳香環部分構造をシリングルグループ（S核）と呼称）、コニフェリルアルコール及びクマリルアルコールが、三次元網目構造を形成した天然高分子である。針葉樹リグニンはコニフェリルアルコール（芳香環部をグアヤシルグループ（G核）と呼称）のみから構成され、広葉樹リグニンはコニフェリルアルコールとシナピルアルコール（芳香環部分構造はシリングルグループ（S核））から形成される。草本系リグニンは前記2種のアルコールに加えてクマリルアルコール（（芳香環部p-ヒドロキシフェニルグループ（H核））の3種のアルコールから形成される。

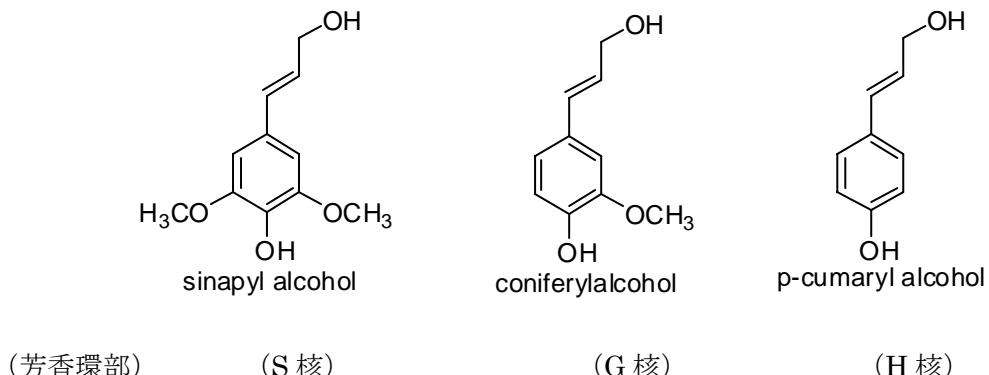


図30 リグニンの基本的な化学構造

ネットワークにS核構造も関与する広葉樹リグニンは、S核フェノール水酸基の両オルト位が封鎖されているため網目構造としては緩やかとなる。他方、針葉樹リグニンにはG核が含まれるため、G核の空いたオルト位で網目構造が発達し強固な三次元構造が形成される。針葉樹が、リグニン構造の分解・脱リグニンが広葉樹に比して難しい理由である。

工業的に実施されているパルプ化法から大量のリグニンが得られる。サルファイトパル

化法では、リグニンは、酸性亜硫酸水素カルシウムの作用により高分子化傾向にあり、更に芳香環がスルホン化される。生成したリグニンスルホン酸は、パルプ化溶液に可溶であり、通常カルシウム塩やマグネシウム塩の形で塩析して製取される。リグニンスルホン酸は、Mg 塩や Ca 塩として分散剤、減水剤や造粒剤等に利用される。パルプ化溶液を濃縮、固化すると遊離のリグニンスルホン酸が得られる。

クラフト法パルプ化では高温でアルカリ蒸解を受けるため、リグニン網目構造を形成するエーテル結合が開裂し分子量が低下する。メトキシ基のエーテル構造も開裂し、フェノール性水酸基が増加する。使用する Na₂S により、核がチオフェノール化される。リグニンを含むアルカリ性のパルプ化溶液からは、アルカリ成分の回収とリグニン成分のエネルギー一使用が確立されている。こうしたプロセス確立とリグニン変質が大きい為、化学物質としてのリグニン使用は実施されていない。クラフト法の Na₂S を使用しないアルカリ蒸解法も、糖化用セルロース分離に検討されているが、チオフェノール基は無いもののクラフトリグニン同様低分子化を受けたリグニンとなる。

リグニン製法として、フェノール系溶媒中で、木質を常温下 72%硫酸で処理する相分離系変換システム（船岡法：三重大学、船岡教授）が提案されている。フェノール溶媒で溶媒和された木粉粒子が界面で硫酸と接触する結果、セルロース・ヘミセルロース部分の膨潤と部分加水分解及びリグニン分子のサブユニット間を繋ぐ活性ベンジルアリールエーテルが開裂する。エーテル部の解裂で低分子化されたリグニンは、疎水性故にフェノール溶媒相に留まり、炭水化物は硫酸相へ移行する。フェノール系溶媒相から炭化水素溶媒等でフェノール系溶媒を抽出することで、リグニンが得られる。本法は、分子量低下はあるが、変質度の小さいリグニンが得られるとされる。隠岐の島では、本法で作られたリグニンのフェノール樹脂分野への適用が、検討され始めている。

古くから知られる含水アルコールと酸触媒でリグニンを可溶化する方法（Kleinert Process）もあるが、反応温度が高いためベンジルアリールエーテル結合がアルコール分解を受け低分子化する。含水アルコールであるのでヘミセルロースの加水分解が進行し、フルフラールも生成する。本法のリグニンが工業的に利用された形跡はない。

酸触媒下の木質の加溶媒分解では、環状カーボネートやポリエチレングリコール溶媒の使用が検討されている。加溶媒分解で、リグニン構造に環状カーボネート成分由来や溶媒由来のポリエチレンオキシド鎖が導入される。溶融紡糸性があるとされ、炭素纖維への適用可能性があるとされている。酢酸による木質パルプ化法が白樺材で検討（北海道大学）され、得られるリグニン（酢酸リグニン）から炭素纖維製造も研究された。

木質バイオマスの糖化法として硫酸糖化法が検討されている。濃硫酸糖化法副生リグニンは、リグニンの変質が大きいと伝えられる。濃硫酸糖化法は設備の材質問題や硫酸中和で副生する石膏問題から工業化されていない。希硫酸糖化法も検討されているが、希硫酸

法は、ヘミセルロースの糖化は進行するが、セルロース部の糖化分解が十分進行しないと云われる。

(独)産総研・バイオマス研究センター (AIST/BC) では、広葉樹のユーカリチップに対して、湿式カッターミル粉碎、オートクレーブ処理と湿式ディスクミル粉碎処理後、セルロース分解酵素（セルラーゼ）を作用させて糖化（メカノケミカル法）が検討されている。現在、粉碎にボールミルを用いる実験室法では、セルロースの酵素糖化はほぼ達成されたと云われる。本法は酸やアルカリが使用されず、セルラーゼのみで糖化が進行するので、取得リグニンは変質を受けていない純粋のリグニンに近いと考えられる。純リグニンが得られれば、様々な化学的手法の検討により、リグニン構造の制御された切断や制御された化学的反応が可能になると考えられる。

これまで利活用されてきたリグニン由来成分は、パルプ製造時の副生リグニンのみであった。クラフト法副生リグニンは、高温でアルカリ蒸解されるため、分子量低下やフェノール水酸基増等変質度が大きく化学製品としては利用されず、国内では製紙工場のエネルギー利用のみが行われる。サルファイト法では、リグニンはスルホン化されると共に高分子量化される。サルファイト法パルプ製造工程から製出されるリグニンスルホン酸は、粘結性、分散性、キレート性及び乳化安定性等の性質を示す。国内では唯一日本製紙ケミカル(株)がこれらの特性を活かし、サンエキス^R、バニレックス^R及びパールレックス^Rなる三分野の商品群を製品化している。

表 54 リグニンスルホン酸が持つ効果

特性	特性発揮理由及び特徴
粘結性	高分子物質であり、還元性糖類や糖スルホン酸塩を含み、これら成分の相乗効果で粘結性が発揮される。増粒剤（バインダー）としても使用される。低臭気である特徴を有する。
分散性	スルホン基、カルボキシル基、フェノール性水酸基を有する高分子電解質であり、有機無機の様々な粒子に化学的又は物理的に吸着し、強い親水性と負の帯電で粒子を安定した分散状態に維持する。
キレート性	リグニンスルホン酸及び糖誘導体が持つスルホン基、カルボキシル基、フェノール性無いしアルコール性水酸基が多価金属イオンの捕捉し、親水性または疎水性の錯化合物形成しキレート性を発揮する。
乳化安定性	油性物質は水中では二層に分離する。リグニンスルホン酸存在下に混合すると、球状になった油性物質にリグニンスルホン酸が吸着し、乳濁状態が安定化される。

出典：日本製紙ケミカル(株)カタログより作成

例えば使用分野として、リグニンスルホン酸のキレート性を活かした用途では、酸性土壤中のAlイオンの固定が考えられている。

木質からリグニンの分離ではないが、京都大学名誉教授の白石信夫氏は、スギ木粉をアルコール硫酸エステル触媒存在下にフェノールと共に加熱処理すると、木質フェノール化が進行すると報告された⁴¹。セルロースに硫酸を作用させるとセルロース硫酸エステルが生成するが、β位の水素が脱離され硫酸の再生と共に二重結合が生成する。脱離反応の制御は難しく、時には炭化まで進行する。アルコール硫酸エステルやフェノール硫酸エステルは、木質のアルカリシスやフェノリシスを進め、多糖（セルロース）の低分子化を進める。正確な反応機構は不明であるが文献⁴²によると、フェノリシスされた糖は、更なるフェノールとの置換反応、糖鎖部からの脱水反応と環化反応が繰り返され、糖の炭素基本骨格とフェノールが縮合した構造の化合物に導かれる。リグニンもフェノールに似た構造を有し反応に関与する。結果として所謂フェノール樹脂様のフェノール可溶物質が形成される。文献記載の化学構造から推測するに、セルロース及びヘミセルロース部分は单糖に分解すると共に、糖のアルデヒド構造がフェノールやリグニン部とノボラック様の反応により一体化し、脱水と核への置換反応を繰り返して木質フェノール化が進行するものと考えられる。生成する液状化木材フェノール樹脂（木質フェノール樹脂）の分子量は500-800であり、市販されるフェノール樹脂の900-1200に比して低分子量と報告されている。フィラーや硬化剤となるヘキサメチレンテトラミンを添加してコンパウンド化して、射出成形するとフェノール樹脂同様の硬化を示す。

木質フェノール樹脂を真空乾燥に供し、溶融紡糸した纖維をホルマリンと塩酸の1:1混合物で浸漬、安定化処理を加え、安定化処理（硬化）纖維を、窒素雰囲気下5°C/minの昇温速度で900°C到達後1時間保持して炭素纖維を得ている。

尚、白石名誉教授によれば、グルコースにPEG400（ポリエチレングリコール）とエチレングリコールを加え、硫酸エチルエステル触媒存在下、一価アルコールの共存下液化し、液化後一価アルコールを除去したポリオールは、ウレタン発泡用ポリオールとして改善点は多いが、実用化に向けた検討が進められている¹⁵。

群栄化学工業(株)は、デンプン由来原料にフェノールを反応させ、得られたバイオプラスチックに天然物フィラーを充填した成形材料（バイオ☆スター^R）を提案している。射出成形グレード及び圧縮成形グレードが取りそろえられ、食器、トレー、耐熱部品、摩擦材料、エポキシ原料やエポキシ硬化剤としての使用が出来るとしている。情報から考えるに、フェノール樹脂構造は、白石法木質フェノール樹脂とよく似たものと推察される。

セルロースやヘミセルロースの炭素化収率は約20%程度、他方リグニンの炭素化収率は40%以上に達する。リグニンはフェノール樹脂のノボラック様三次元構造樹脂であり、ノボラックから誘導される炭素纖維（カイノール^R、群栄化学工業(株)）が上市されていることもあり、炭素纖維化が研究してきた。硬化前のノボラックは溶融し纖維化が可能であ

るのに対し、リグニンは三次元構造故に紡糸が出来ない。リグニンを可融化し紡糸する試み、可融化リグニン紡糸物からの炭素纖維化の研究が継続して続けられてきた。広葉樹由来の酢酸リグニン（北海道大学）、環状カーボネート溶媒やポリエチレンオキシド溶媒中の加溶化リグニン等が溶融紡糸可能であり、炭素纖維への誘導が研究開発されている。上記白石法白石法木質フェノール樹脂も炭素纖維化が検討されている。しかしながら、木質からの炭素纖維は工業化されていない。

鉛蓄電池は、リグニンが鉛イオンを吸着し放電特性が向上するため、負極活物質に防縮剤としてリグニンが添加されている。鉛イオン蓄電池とリグニンに係わる研究開発として、バッテリー液中へのリグニンの添加⁴³や改質リグニン（合成リグニン）⁴⁴が電池性能の改質向上に効果が認められている。

セルロース、ヘミセルロースの炭化収率は20%程度であり、リグニンの炭化収率は40%以上と高い。従って、リグニンは炭素材料への優れた出発物質になり得る可能性が高い。

炭素材料は、カーボンブラック、活性炭、炭素纖維等が知られる。カーボンブラックは、石炭乾留時の副生クレオソート油や石油精製で複製する重質芳香族油を不完全燃焼して得られる数百nmの炭素の微粒子であり、粒子が繋がってストラクチャーを形成する。ストラクチャー構造はゴムの補強に優れた性能を与える。カーボンブラックは黒色顔料として、塗料や印刷インキに使用される。活性炭は、炭素化の過程の分解ガスが作る気孔を開気孔として残し、開気孔壁に多くのミクロ細孔が形成（賦活）されたものである。松、竹、椰子殻等の植物質の他、石炭質や石油質が原料として使用される。活性炭の細孔には種々の物質が吸着する。軸配向を持った炭素材料に炭素纖維があり、ポリアクリロニトリル纖維（PAN）やメソフェーズピッチを炭化して製造される。PANの分子構造を制御し延伸を加え高度に軸配向させる事によって高い引っ張り強度の炭素纖維（高強度タイプ）が作られる。メソフェーズピッチは異方性組織が発達しているので、延伸の必要無く、紡糸後炭素化によって軸配向組織が整備された高弾性の炭素纖維が得られる。炭素纖維材料には、高強度や高弾性を目指した炭素纖維ではなく、フェルト、シート、円筒状の形状で吸着剤機能を持つ炭素材料があり、空気脱臭、ガス吸着、水質浄化等の分野で使用されている（クラレケミカル（株）のクレカ^Rや東洋紡績（株）のKフィルター^R等）。

リグニンは炭化収率が優れた材料であり、炭素材料原料として期待できる。酢酸リグニン、加溶媒リグニン等は紡糸が可能であり、紡糸した纖維を炭化処理することで炭素纖維が生成するとする報告がなされている。

リグニンの利活用を考えるにあたり、組成的に近いと考えられる石炭、タール等について纏めた。リグニンは、表中のセルロースモデル（ポリグルコース）やヘミセルロースモ

デル（ポリキシロース）に比して炭素含量も高く、コークスやピッチ等の製造に適した石炭に近い炭素含量をもつ化合物と考えられる。

表 55 石炭、リグニン等の炭素含量

塗りつぶし部は粘結炭としてコークス製造用（炭素 80-88%、低分子量成分量比較的大）

名称	C:wt%	H:wt%	O:wt%	揮発分	備考
無煙炭	91.0	2.9	2.3	5.2	
瀝青炭	低揮発性	89.9	4.7	2.6	19.1
	中揮発性	88.4	5.2	4.2	26.9
	高揮発性 A	83.0	5.5	7.3	38.8
	高揮発性 B	80.7	5.6	10.8	43.6
	高揮発性 C	77.7	5.5	13.5	44.6
亜瀝青炭 A	76.0	5.3	16.4	44.7	
褐炭 A	71.2	4.9	21.9	44.2	
リグニン 成分	オピルアルコール	62.85	6.71	30.44	広/針葉樹、草本
	コニフェリルアルコール	66.65	6.71	26.64	針葉樹、草本
	p-クマリルアルコール	71.98	6.71	21.31	草本類
ポリグルコース（セルロースモデル）	44.4	6.3	49.3	—	(C ₆ H ₁₀ O ₅) _n
ポリキシロース（ヘミセルロースモデル）	45.4	6.10	48.4	—	(C ₅ H ₈ O ₄) _n
ノボラックモデル	79.1	5.7	15.1	—	(C ₇ H ₆ O) _n

リグニンはその網目構造がフェノール樹脂で有るノボラックに近いとして、フェノール樹脂の代替用途検討が続けられてきた。しかしフェノール樹脂の生産量は、レゾール含めて 29 万 t（2008 年）弱である。一方、コークス生産量は 4000 万 t 及び各種炭素材料に向けられるタール成分生産量は 160 万 t を超えている。

乾燥炭あたりのタール成分は 4.1% であるが、タール成分からはベンゼン、キシレン等の芳香族化合物に加えピッチやクレオソート油が得られる。ピッチからは、ピッチ性状（軟化点）に応じてニードルコークス（アルミ精錬や電気精錬鉄電極用）、高強度・高弾性炭素繊維、メソ-カーボンマイクロビーズ、炭素電極や各種炭材製品結合材が製造される。目的とする炭素材料やタール成分に応じて、適した石炭の選択が行われている。

リグニンの炭素含量から考えて、各種炭素材料は有望な開発対象と言える。しかし針葉樹や広葉樹中のリグニン化学成分は異なっており、その網目構造は樹種により異なっている。リグニンから有用な各種炭素材料（更に炭素材料に適したタール成分）を得るには、目的に応じたリグニンの選択や改質検討がなされる必要がある。コークスでは、400°C を超えて熱分解が開始し、400-500°C では揮発分の大量発生と共に石炭の軟化溶融や液相の形成と液相内の炭化が始まり、500°C を超えて液晶（メソフェーズ）の成長開始、液晶の積層と共に球晶が形成され、配向性繊維状組織が発達する。1200°C に到達し水素脱離を伴いつ

つ黒鉛化が進展しコークスが製造される。リグニンからの炭素材料開発においても、リグニンに適した炭化プロセスが開発される必要があると考えられる。

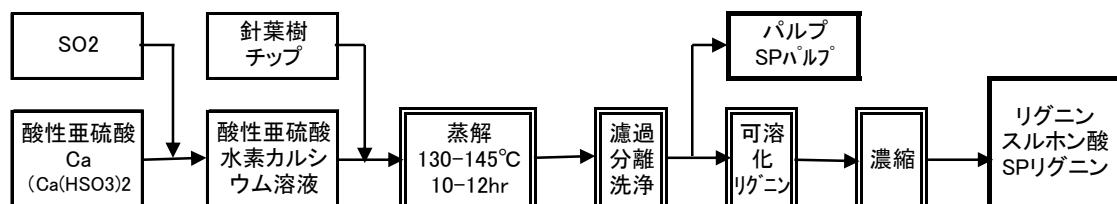
構造的に近いフェノール樹脂代替から比較的近いターゲット商品開発が先行されるが、リグニンの有用な用途開発にはリグニンの改質化学の展開やリグニン改質物からの炭素材料開発研究が必要と考えられる。有効な利用方法の完成は、木質成分全体の有効活用面からも不可欠と考えられる。

表 56 コークスとタールの生産量

コークス		タール		
全生産量 4000 万 t、製鋼用 3120 万 t (2000 年)		生産量 163 万 t (1999 年)		
乾燥炭 1000Kg からの生産物組成		1999 年度タールからの蒸留生成物		
コークス	741kg	74%	ベンゼン	22.1 万 t 12%
COG	3.18nm3	—	トルエン	4.8 万 t 2.7%
タール	41kg	4.1%	キシレン	1.6 万 t 0.9%
軽油	19kg	1.9%	ピッチ	24.5 万 t 13.6%
硫酸	13kg	1.3%	クレオソート油	66.4 万 t 36.8%
安水	20-30kg	2-3%	ナフタレン (95%)	17.8 万 t 9.8%

図 31 木質バイオマスからのリグニン類の分離法

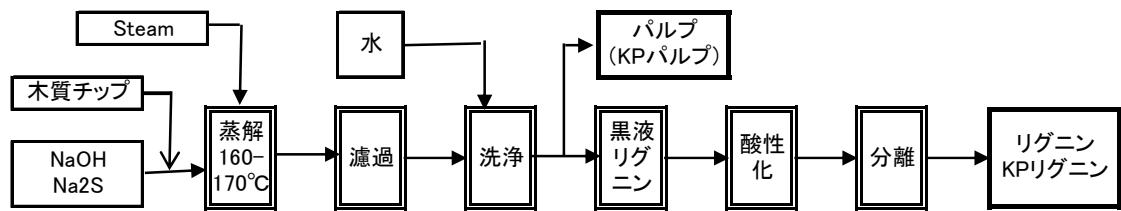
1. サルファイトパルプ化法：SP リグニン：リグニンスルホン酸、Ca 塩、Mg 塩として製取。



SP リグニン性状

- ・酸触媒、高温処理によるリグニン分子量増加有り
- ・リグニンスルホン酸は Ca 塩、Mg 塩として分離、製品化
- ・濃縮強化により、リグニンスルホン酸を取得。分散剤、バニリン製造等に利用される

2. クラフト法 : KP リグニン : チオリグニン。酸性化により沈殿として製取可能。



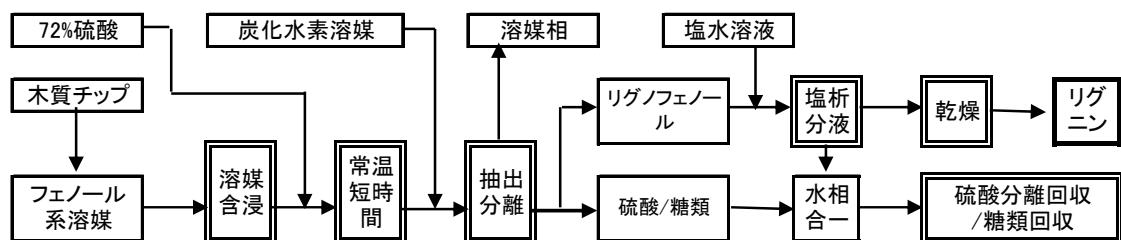
KP リグニン性状

- ・高温処理、アルカリ条件によるリグニン変質大 → チオリグニン → リグニン分子量低下
- ・リグニン側鎖エーテル結合開裂 → フェノール水酸基増加
- ・酸性化によりリグニンは沈殿形性する

3. アルカリ蒸解法 (KP 法の Na₂S を使用せず、NaOH と Na₂CO₃ を併用)

クラフトパルプ化類似プロセス。ソーダーリグニン。リグニン性状は KP リグニンに似て変質大。

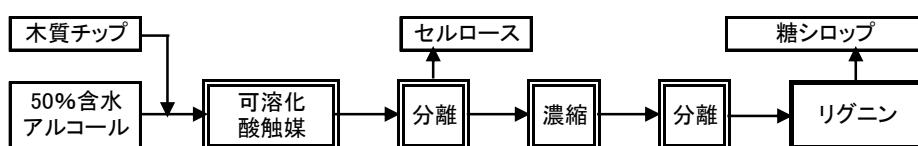
4. 相分離変換システム (船岡法一例示は隠岐の島法) :



船岡法リグニン : サブユニット解裂により、網目構造解放 → フェノール系溶媒に溶解

- ・リグニンの網目構造低減。分子量は低下。変質度はパルプ副生リグニンより少ないとされる。
- ・溶媒相からの回収、硫酸回収工程、回収糖類の利活用が必要

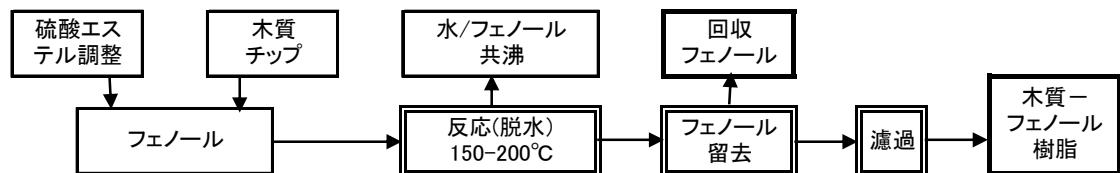
5. アルコール系溶媒可溶化法 (Kleinert Process, アルセルプロセス)



- ・解裂 : フェニルプロパン単位の β-O-4 結合が溶媒解裂 → 低分子化 → 可溶化

- ・糖シロップへはフルフラール等の混入

6. 木質フェノール化（白石法）：



- ・硫酸エステル触媒：糖類とフェノール間の縮合、脱水、閉環反応を触媒作用
- ・グルコース、ペントース部がフェノール、リグニンと合一して樹脂形性
- ・ヘキサミン等の添加でフェノール樹脂類似の架橋、硬化反応が進行

5.3.7. テルペソ

天然有機化合物は、一次代謝産物と二次代謝産物に大別される。一次代謝産物は炭水化物、アミノ酸・タンパク質、脂質、核酸の様に生命に必須で多くの生物で共通にかつ大量に存在する。二次代謝産物とは、それぞれの生物種に応じて一次代謝産物から派生的に作られる化合物群である。植物体内にはイソプレン $\text{CH}_2=\text{C}(\text{CH}_3)\text{CH}=\text{CH}_2$ の重合体即ち $\text{C}_5 \times n$ ($n = \text{整数}$) から誘導されたイソプレノイドと総称される化合物群が存在する。イソプレノイドの中で、炭素数 30 以下でステロイドとカルテノイドに属さない化合物は、テルペノイド或いはテルペソと総称される。基本となるイソプレン単位の集合数によって、モノテルペソ (イソプレン単位 2 個、炭素数 10 (以下炭素数は C_n と表記))、セスキテルペソ (C_{15})、ジテルペソ (C_{20})、セスターテルペソ (C_{25}) 及びトリテルペソ (C_{30}) が存在する。イソプレン単位は、グルコースを出発物質として複雑な反応を経て、メバロン酸 (C_6) 或いはメチル化エリスリトール (C_5) を経由して誘導される。

モノテルペノイドは香料工業で有用であり、次の様な化合物が知られている。

表 57 代表的なモノテルペノイド

名称	構造	所在
ミルセン myrcene		ドクダミ匂い成分 レモングラス油
ゲラニオール geraniol		バラ油
(S)-リナロール (S)-linalool		オレンジ油、茶 (R) 異性体はラベンダーの香氣成分

シトラール citral		レモングラス油の主成分 (60-80%)
(R)-リモネン (R)-limonene		オレンジ油の主成分(97%) (R)異性体はもみの木に存在
カンファー camphor		クスノキの葉、材に存在。ショウノウ (樟脑) 油中 50%を占める。
ヒノキチオール hinokitiol		タイワンヒノキ、ヒバ油

ゴムや松脂もテルペノイド誘導体に属する。テルペノイドは木質内で産生し存在するが、ゴムや松脂は木質に傷を付け分泌物を集めることで大量に採取出来る。

マツから分泌されるマツヤニ成分（生松脂）を水蒸気蒸留すると無色～微黄色透明精油テレピン油（テルペン）が得られる。主成分はモノテルペノイドの α -ピネン及び β -ピネンであるが、樹種により組成が異なる。他のモノテルペノイドも同伴する。テレピン油は、ワニス、ベンキ溶剤、各種樹脂添加剤として使用される。松脂成分から精油（テレピン油）を除いた残渣をロジンと称する。ロジンはアビエチン酸等の樹脂酸の混合物であり、絆創膏の粘着付与材や印刷インキ、塗料、電気絶縁材、合成ゴム乳化剤等に利用されている。

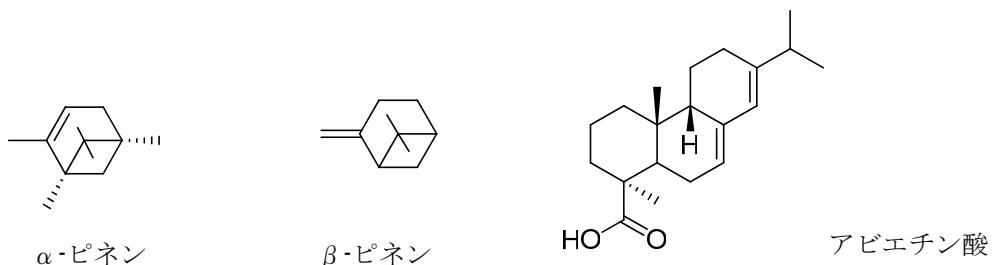


図 32 テルペン類の化学構造

テレピン油及びロジンは、生松脂、松枯れ木及びパルプ製造工程の副産物として得られる。生松脂から得られるテレピン油及びロジンをそれぞれガムテレピン油、ガムロジンと称する。松枯れ木や松根から抽出によりウッドテレピンとウッロジンが得られるが、生産量は極めて少なく国内では利用されていない。クラフトパルプ製紙工程からは揮発成分としてサルフェートテレピンが得られ、黒液を中和した粗トール油からは減圧下で精留しトール油脂肪酸とトールロジンが得られる。サルフェートテレピンは国内製紙工場規模が小さいことから製造されず、米国での生産が多い。尚、松根抽出物は整腸剤等医薬品に用いられる。

国内では生松脂採取は行われず、ガムテレピンあるいはガムロジンとして輸入される。ガムテレピンは中国、インドネシアの生産が多く、国内へは中国、ニュージランド、台湾、香港等から輸入される。ガムテレピンは、ヤスハラケミカル（株）、日本テルペン（株）が輸入しテルペン樹脂製造（ヤスハラケミカル（株））やファインケミカル合成事業（日本テルペン（株））に使用されている。ガムテレピンの輸入量は約40万トン。ガムロジンは荒川化学（株）が各種用途に使用している。

ハリマ化成（株）が、製紙工程から副生される粗トール油を輸入し、蒸留し、高沸成分としてトールロジンを得て、印刷インキ用途等に使用している。低沸成分は、トール油脂肪酸と呼ばれ、不飽和脂肪酸のオレイン酸やリノール酸が主成分である。

モノテルペン類は、オレンジ油（主成分リモネン）からも得られ、オレンジ油はブラジルではオレンジジュース絞りかすから採取される。オレンジ油は、国内へは約7万トンが輸入され、ヤスハラケミカル（株）等がテルペンとして各種誘導体に利用している。

ピネン類、リモネンは重合性二重結合を持つため、重合体樹脂として利用される。テルペン樹脂は、他種高分子の流動性や透明性を阻害しない為、高分子の性能改良材として利用され、ホットメルト接着剤やエポキシ封止剤の性能改良材として利用されている。天然ゴムにテルペンを配合したものがセロファンテープに利用され、ポリプロピレンフィルムにテルペン系接着剤を塗布したものは加熱接着用ラミネートフィルム等に使用される。

ロジンは三環性のアビエチン酸や類似構造のピマール酸、デヒドロアビエチン酸が主成分であり、テルペン同様重合性の二重結合に加えて化学反応基としてカルボン酸を持つ。これら官能基の反応性を利用し各種誘導体に導かれ、利用されている。撥水性、粘着性、濡れ性を活かして印刷インキ、サイズ剤、接着剤や塗料に利用され、界面化学活性や分散性能を利用して合成ゴム乳化剤、はんだフラックス、コンクリート混和剤や表面処理剤として利用される。更に反応性を利用して、医薬品、各種合成用中間体や消臭剤等に利用されている。

オレイン酸やリノール酸を含むトール油脂肪酸は、アルキッド樹脂として塗料に使用される。トール油脂肪酸の二量化生成物であるダイマー酸は、ポリアミド、ポリエステル、エポキシ樹脂原料等に使用され、塗料、接着剤等多方面に利用される。界面活性剤、ゴム添加剤の製造等にも利用される。

オレンジ油は、菓子、食品用フレーバー（香料）としての使用が多い。脂溶性に優れるので洗剤としても利用される。溶解性に優れ、溶剤としても使用される。航空機の洗浄剤として使用されている。一時、発泡スチロールの回収溶剤として使用された。家庭用には脂溶性汚れの洗浄剤に使用される。

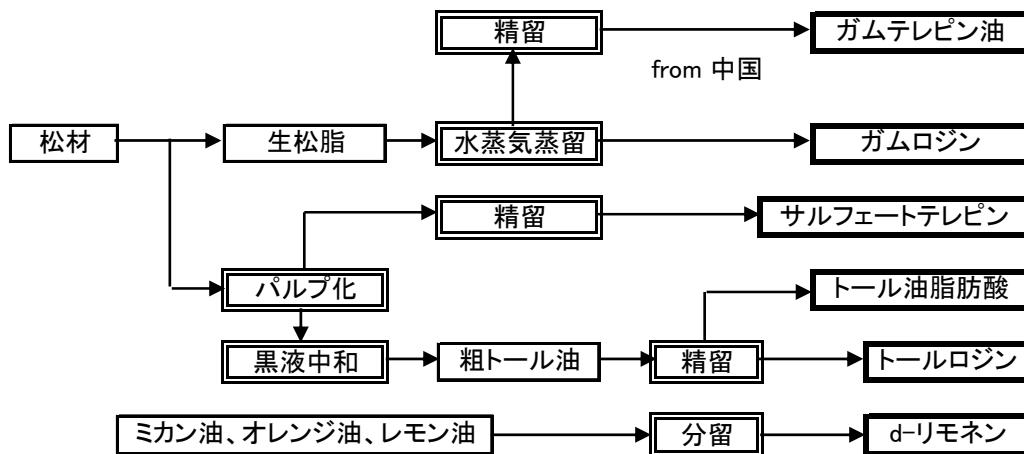


図 33 テレピン油（テルペン）及びロジンの製法

各種樹種には、樹種に特有の精油成分（モノテルペンやセスキテルペン）が含まれる。葉部（葉油成分）と材部（材油成分）では成分が異なるものが多い。葉部の水蒸気蒸留、葉、芯材・端材の水蒸気蒸留や熱水中での蒸留（熱水蒸留）により精油成分が得られる。熱水蒸留は高沸点の精油取得に適した方法である。各種香料として使用され、アロマテラピー等にも使用される。不快害虫忌避効果、殺ダニ効果、抗菌効果等が知られている。例えば、樹木抽出成分利用技術研究組合から次の様な特許が出願されている。

特開 H07-118106：パイン油中のフェンチルアルコールにゴキブリ忌避効果

特開 H06-239714：スギ枝葉水蒸気蒸留成分に殺ダニ効果

特開 H06-183924：カタルバ属（キササゲ）、サビウム属（ナンキンハゼ）、シンナモム属（クスノキ、ニッケイ）、アルビツイア属（ネムノキ）、マグノリア属（ホオノキ）等の有機溶剤抽出物に抗菌効果

香料成分の幾つかは、化学合成が主流となりつつある。例えば、ゲラニーオールはイソプレン原料からのクラレ(株)技術、（-）-メントール合成は β -ピネンからの高砂香料技術が著名である。

表 58 木材から得られる精油成分

M:モノテルペン

S:セスキテルペン ○—葉部成分、●—材部成分

油分存在場所	テルペ ン種	葉部成分							材部成分						
		スギ	ヒノキ	ヒバ	クスノキ	ネズコ	トドマツ	ハイマツ	スギ	ヒノキ	ヒバ	クスノキ	ネズコ	アカマツ	
含有率 % on 絶乾	—	2.9	3.8	1.3	2.3	4	7.6	1.9	0.1 -1.0	1.0 -3.0	1.0 1.5	2.0 -2.3	0.7 -1.0	1.0 -3.0	
α -ピネン	M	○	○		○		○		●	●			●	●	
β -ピネン	M													●	
リモネン	M	○	○		○	○	○		●					●	
リナロール	M													●	
サビネン	M	○	○	○											
γ -テルピネン	M	○		○											
4-テルピネオール	M	○	○	○		○			●						
α -テルピネアセテート	M		○	○											
ミルセン	M													●	
フェンコン	M					○									
カンファー	M				○					●		●			
カンフェン	M						○					●			
ボルネオール	M											●			
ボルニルアセテート	M					○	○								
β -フェランドレン	M						○								
ゲラニルアセテート	M							○							
カルバクロール	M									●					
サフロール	M										●				
ヒノキチオール	M									●					
エレモール	S	○	○	○											
カリオフィレン	S				○										
ゲルマクレンD	S				○			○							
δ -カジメン	S								●	●					
δ -カジノール	S									●					
β -オデスマール	S								●						
ツヨプセン	S										●				
セドロール	S										●				
クリプトメリオール	S								●						
クリプトメリジオール	S								●						
β -エレメン	S						○								
T-ムーロロール	S									●					
α -ムロレン	S								●						
ネズコン	S												●		

出典：『精油の利用』 大平辰朗 日本木材学会第6期研究分科会報告書 p72 第1表日本木材学会 1999年

化粧品用植物抽出物

自然志向、エコロジー志向を反映し、多くの植物抽出物が化粧品に使用される。化粧品で使用される植物抽出物は、水・エタノール・1,3-ブチレングリコール等の単独溶媒或いは混合溶媒等の水性溶媒で抽出した水溶性抽出物と、油で抽出された油溶性抽出物がある。使用される植物部位は、花、葉、実、種、茎、根等全てに渡る。しかし同じ植物から抽出されても、抽出溶媒や抽出条件、抽出部位で効能は全く異なる場合がある。

有効成分は、タンニン、フラボノイド、カロチノイド、サポニン、精油等がある。

植物抽出物はスキンケア化粧品を中心に、シャンプー、リンス等ヘアケア製品にも配合される。しかしながら、木質由来の成分は少ない。

表 59 化粧品に利用される植物由来機能別成分

機能	植物（下線太字：木質由来と考えられる植物）
保湿	多糖類、アミノ酸等を含有する抽出物 アマチャヅル、アロエ、オウゴン、カッコン、カラスマギ、クインシード、クロレラ、ゲンチアナ、コムギ胚芽、コメヌカ、ステビア、トウキ、バクモンドウ等
抗炎症	カモミラエキス、アルニカ、ウコン、エチナシ葉、 <u>オオバク</u> 、オドリコソウ、 <u>クチナシ</u> 、 <u>クワ</u> 、シャクヤク、 <u>ブクリヨウ</u> 、トウキンセンカ、バラ、 <u>チンピ</u>
美白	カモミラエキス、油溶性カンゾウ、 <u>ソウハクヒ</u> 、シャクヤク、トウキ、ワレモコウ、 <u>マロニエ樹皮</u> 、イブキトラノエキス、オリーブ葉、 <u>チョウジ</u> 、カシスエキス等
抗老化	酸化防止作用： <u>イチョウ</u> 、エイジツ、油溶性カンゾウ、セージ、チャ、チョウジ、細胞賦活作用：アロエ、オドリコソウ、オウゴン、ゲンチアナ、トウキ 血流促進作用： <u>イチョウ</u> 、センブリ、テルミナリア、 <u>マロニエエキス</u>
刺激緩和	アルテア、アルニカ、カンゾウ、 <u>油溶性ボダイジュエキス</u> 、 <u>キナ</u>
収れん	タンニン、フラボノイド、アントシアニン等を含有する抽出物 カモミラ、オドリコソウ、セージ、タイム、ラベンダー、レンゲソウエキス
抗脂漏	タンニン等を持つ収れん性抽出物、オドリコソウ、 <u>シラカバ</u> 、トルメンチラ
育毛	血管拡張/血流促進作用：センブリエキス、セファランチン 頭皮刺激作用：トウガラシチンキ

その他の情報として輸入量に関する統計数字を以下に整理して示した。

財務省貿易統計表の精油（分類番号 3301）に係わる輸入、輸出量の総計は下記の様になります。3301 分野由来と考えられる数値を収集した。3301 分野には、柑橘果実由来、ハーブ・香草等の精油が含まれる。内容から考えてマツ由来のテルペնやロジンは含まれていないと考えられる。従って、テルペնやロジンを除き、オレンジ油等食用にも利用される精油類は 1 万 t 程度が輸入され、150 億円強の金額になると考えられる。尚ヒアリングでは、オレンジ油輸入量は約 7 万 t と聞いているので、輸出入統計における製油は精製されたもののを指し、テルペン類の混合物であるオレンジ油は含まれない可能性がある。

表 60 財務省貿易統計用中、精油に分類される全精油量の輸入、輸出量

年度	量（トン）			金額（百万円）		
	2006	2007	2008	2006	2007	2008
輸入量総量	11912	13612	8516	146,94	18,106	16,147
輸出量総量	196	177	133	559	776	452

精油の品目詳細は不明であるが、輸出入統計尚、貿易統計表の精油分類の中から木質由来と考えられるものに次の様な分類がある。

分類番号 3301.29-110 : ベイ葉油、けい皮油、シダ一油、ユーカリ油等 21 品目

分類番号 3301.29-200 : 芳油（クスノキ科の芳楠の蒸留品）

分類番号 3301.30-000 : レジノイド（化粧品用途に使用される精油）

木質精油の輸入量は、全精油輸入量の数%、250 t 程度であり、金額としては十数億円程度である。

表 61 木質由来精油と考えられる精油の輸入量、輸出量（財務省貿易統計表）

年度	量（トン）			金額（百万円）		
	2006	2007	2008	2006	2007	2008
輸入	3319.29-000	233.0	268.9	23.7	952.4	1,075.3
	3301.30-000	23.9	18.8	21.8	150.3	150.5
	輸入小計	256.9	287.7	258.6	1,102.7	1,225.8
輸出	3319.29-000	90.0	66.8	21.0	248.2	73.0
	3301.30-000	0.05	0.15	0.346	0.34	1.12
	輸出小計	90.1	66.9	21.4	248.6	74.2

5.3.8.竹資源

竹は木材に比較して、成長が早い、また、竹繊維、竹パルプ、竹リグニン、竹活性炭などの用途が期待される。また、幾つかの特徴を有している。例えば、竹繊維は、亜麻やケナフ繊維よりも軽量であり、強度、弾性率はほぼ同等の性能を持っている。

表 62 植物繊維特性

		亜麻	ケナフ	竹	孟宗竹	ガラス繊維
密度	g/cm3	1.30	1.50	0.9-1.2	1.20	2.50
引張弾性率	MPa	13-26	15-37	21-38	21	70
引張強度	MPa	344	—	391-713	—	3400

1960 年代からプラスチック製品が、木製品や竹製品に代替し始めて以来、国内竹材消費量は落ち込み、又安価な中国や東南アジア産の竹製品の大量輸入が進行し、国内竹材生産量は大幅に減少している。タケノコも安価な中国産の輸入量が増大し、国内生産量は減少している。

竹材消費量の落ち込みと共に、放置竹林の増大が国内で進行し、森林や里山を浸食しつつある。竹は、九州地方で特に多く繁茂し、中国、四国地方にも多く見られる。中国地域の鳥取県の竹林面積は、昭和 60 年度に 2313ha であったが平成 17 年には 2968ha と昭和 60 年比 1.28 倍に達している。他の地方も同様の傾向と推測される。

竹は地下茎を広げることで繁殖域を拡大し、成長力が非常に強く、2-3 ヶ月で 10-20m にも成長し、しかも成長に空間と光を必要としない特徴を有する。モウソウチク（孟宗竹）とマダケ（真竹）に次いでハチクが繁殖し、国内三大竹を形成している。

孟宗竹：高さ 25m、地下茎は約 15m に成長する。タケノコが食用に、茎は竹細工に利用。

マダケ：高さ 20m、太く長い地下茎が張り巡らされる。弓、竹刀、尺八、建材に利用。

ハチク：直径 3-10cm、高さ 10-15m。

竹の繁殖抑制には伐採法が取られるが、効果を上げるために継続して数年の手入れが必要とされる。地下茎が貫通しない素材の埋設による地下茎の侵入防止策も、定期的な埋設資材の維持管理やつなぎ目をなくす工夫が必要となり手がかかる。

竹繊維製造法は、爆碎法、機械的な解纖法及び化学処理による方法が提案されている。爆碎法⁴⁵は、圧力缶体中で切断竹粉中に水蒸気噴出させ 100°C 以上とし（リグニンの加熱）、缶体圧力の瞬時解放操作を行う。加熱及び缶体圧力解放操作を、数回～数十回行い竹繊維を取り出す。圧力解放回数により炭化した繊維も生成する。本特許では、用途としてプラスチック繊維補強材や消臭・脱臭・抗菌用途の製品に使用出来るとしている。

機械的解纖法⁴⁶には、圧搾による押し潰しと刃を備えたローラー或いは解纖ドラムで引き

ちぎり纖維を得る方法⁴が提案されている。これら特許は用途として、充填剤や補強材として自動車内装材、セメント、建築材等を想定している。特開2008-307832⁴は、竹片を所定間隔毎に凸部で押圧し、更に押圧部を引き伸ばし、振動を加え竹纖維と肉質部の結合を弱めた後、多数の刃（木製）を有する木製の解纖ドラムで竹纖維を押圧部で引きちぎり竹纖維を得る。押圧部の引きちぎりが、切断面を伸ばしささくれ立たせ纖維同士の絡み合いを助長する。特開2007-71209の纖維端面が鋭利で絡み合いに欠けるのを改良したとされる。

化学処理法は、孟宗竹内外皮を除き、プレスで柔組織に亀裂をいれ、2-3%の苛性ソーダ水溶液中で煮沸後、プレス圧搾して柔組織を破壊後、洗浄し、竹纖維束を得て、ミキサーで解纖し、5-25 μm径の2mm長の纖維を得る⁴⁷。

竹纖維は軽量かつ高強度の纖維であり、自動車、電器機器、携帯電気機器等、CO₂や環境重視製品への利活用が期待される。軽量・高強度を活かして自動車に採用された。パルプ由来竹纖維を使った振動板を使用したスピーカーは、高剛性で高音域がクリアに再生出来るとされる。

爆碎法纖維では揮発性有機物の臭気がするなどの問題を指摘する場合もある。また、化学処理は纖維強度が弱く強度的に物足りないといった問題を指摘する場合もある。

爆碎法竹纖維を用いた竹纖維強化ポリプロピレンは特許が公開されている⁷。尚竹纖維が50wt%混入された竹纖維強化PP材は、木材の範疇に分類され、国や地方公共団体のGreen調達対象となる可能性がある。

竹パルプから得た纖維或いはレーヨンは、抗菌性や防臭、吸放湿性や接触冷感が得られるとされる。竹レーヨンは、野村産業(株)(愛知県)⁸が開発し、東レ(株)、倉敷紡績(株)、日本毛織(株)、野村産業(株)等が、竹マークを付して市場展開を図った。

竹の抗菌・抗カビ性を活かして、竹パルプを原料とする抗菌・抗カビ紙の開発も実施されている⁵。

Web情報では、CIEN(株)(大阪)がBaFRP(竹纖維強化プラスチック)を取り扱い、纖維集合体、竹マット、トレー、ランプシェードの写真が掲載されている。形態から考えて、同社主力製品のFRP水槽同様、熱硬化型プラスチック製品と推測される。(株)ナファ生活研究所から天然抗菌竹纖維製品として、竹布ストール(¥5,000程度)、竹タオル等が発売されている。

竹製品の概要を示すと下図の様に示される。

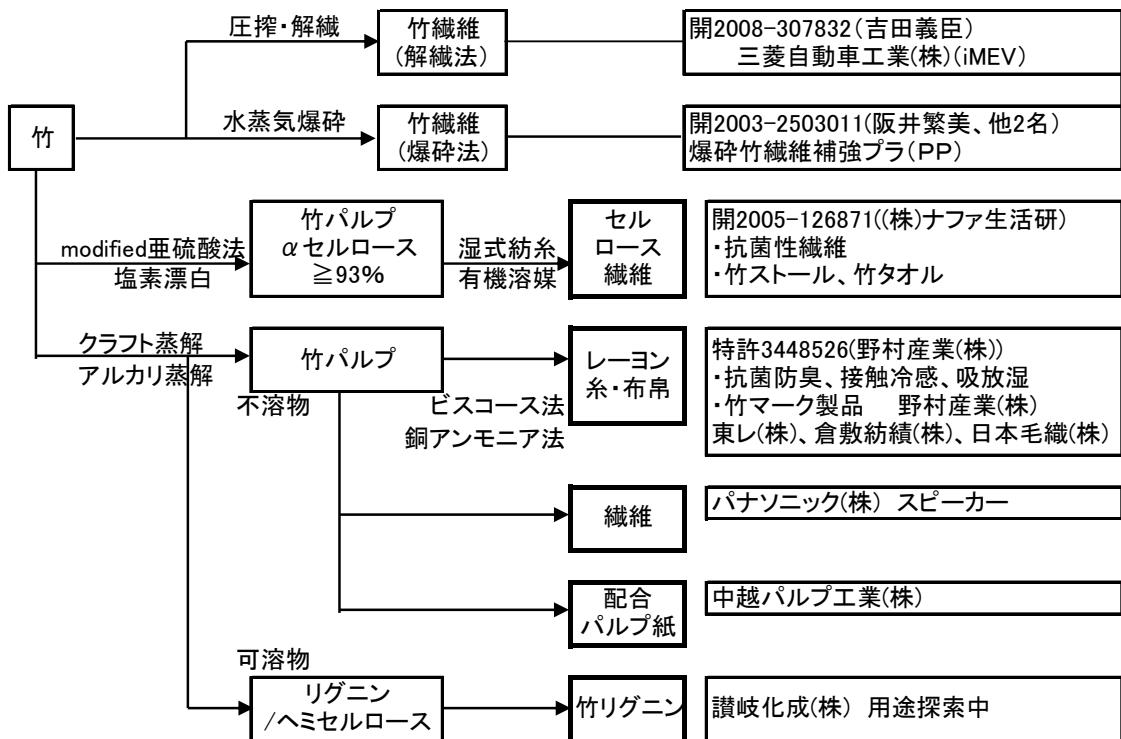


図 34 竹繊維などの製造の流れ

竹は、木質同様セルロース、ヘミセルロース、リグニンが構成成分であり、木質同様の方法で竹パルプ、竹リグニンに加えてヘミセルロース成分からは糖質を得る事が出来る。尚、竹リグニンは、広葉樹リグニン同様シリングルグループ型比率が高く、三次元網目構造は緩やかとなる。

讃岐化成(株)と開成工業(株)（香川県、両者の関係は後者が製造、前者が販売を担当）は、竹リグニンを研究開発している。竹粉を高温水で処理すると、ヘミセルロース成分を含む溶液と固体分に分離出来る。木質のアルカリ蒸解法同様、固体分にアルカリ添加後加熱するとリグニンがアルカリに熔解し、パルプが固体で得られる。リグニンを含むアルカリ溶液を酸で中和し、リグニンが取得される。セルロース成分は洗浄して不純物を洗い去り、次亜塩素酸で漂白しセルロースが得ている。竹リグニンは、ユーザーに提供しサンプル評価の段階にある。

竹炭は木炭に比して超微細孔が多くなるため、吸着性能を活かした脱臭や吸放湿を目的として利用される。水中では、カルキ臭の脱臭効果かやミネラル水（カ

リウムイオンやマグネシウムイオンの放出) にも利用される。竹炭と自然石を水性無機バインダーと組み合わせた塗料が、防臭、防虫、防蟻、抗菌、湿度調整を目的として製品化されている例もある。焼結処理により白色化も可能とされる(白竹炭と考えられる)。

竹から得られた活性炭は、ヤシガラ活性炭に近い大きな比表面積を持つとされる。孟宗竹から活性炭が得られる。竹片乾燥後、電気炉で昇温速度 10°C/min で昇温し、800°C 到達後即冷却する。炭化後 CO₂ 通気で昇温速度 10°C/min で 900°Cまで昇温し、900°Cで 4 時間かけて賦活した活性炭が、比較評価したヤシガラ活性炭高表面積タイプの活性炭と同等の性能を示したと報告されている。この活性炭を用いて、ホトレジスト廃液中の水酸化テトラメチルアンモニウム (TMAH (CH₃)₃N⁺OH⁻) 1000-2000ppm を吸着させ、食塩溶離液で溶離させた処、1回目は 80% 溶離を示した。2回目の吸着、溶離では 100% 近い溶離を示した。他方、ヤシガラ活性炭高表面積タイプは、溶離液で溶離処理毎に吸着性能と溶離性能が低下したとされている⁴⁸。

表 63 竹材料の特性

	長所と考えられる点	短所と考えられる点
成長	非常に早く、2~3ヶ月で 10~20m に成長する。成長に空間と光を必要としない。	地下茎を広げ、繁殖域を拡大する。森林内に侵入拡大し、光を遮り、主要樹木の生長を阻害する。
繊維	①植物纖維中で、最も小さい密度。 ②比強度、比剛性が GF より大(低密度) ③軽量で、高強度 ④弾性率、音速が針葉樹より大きく、スピーカーが針葉樹 MDF 材より良好	①植物纖維に共通するが、単纖維の取り出しが難しく、纖維束での利用となる。 ②引張強度が GF の 1/5~1/10 と小さい。
成分	セルロース、ヘミセルロース、リグニン量は木質とほぼ同等量。	
灰分	ミネラル分が多い(ミネラル水利用)	灰分が多い(配合抄紙率に限界)
パルプ	①蒸解性は広葉樹並、漂白性良好 ②強度性能は、針葉樹と広葉樹の中間 ③吸油度に優れたパルプ	①パルプ化収率、広葉樹より若干低い ②灰分多く、配合抄紙率に限界あり ③纖維長が針葉樹、広葉樹の中間
レーヨン	①抗菌・防臭性、吸放湿性、接触冷感 ②衣料、衛生材料への使用が好まれる	パルプ価格が木質パルプより高価
リグニン	①網目構造が緩やか(広葉樹様リグニン) ⇔ 改質処理容易と推測される	—
竹炭	①火付き良好 ②比表面積大で、吸着・吸湿性が良好 ③シックハウス対策用性能	火持ちが良くない

竹酢液、木酢液

有機農産物の日本農林規格(有機 JAS)では、有機あるいはオーガニック表示(有機 JAS 表示)ができる農産物(飲食料品)生産において使用禁止資材が決められている。木酢液、竹酢液は、有機農産物の JAS 規格において「肥料及び土壤改良資材」として認められている。

木竹酢液認証協議会は、農業用資材に供する木酢液・竹酢液の規格を制定している。

竹酢液、木酢液に関連した技術・市場動向等の状況

1. 処理技術の分類

- ①原料：広葉樹（ナラ、クヌギ、ブナ、カシ、シイ等）、針葉樹（スギ、ヒノキ、マツ、ツガ等）、竹類（タケ、ササ類）、その他（おが粉、樹皮、オガライト及び左記原材料の混合物）。有機JAS向けには、住宅・家具廃材、殺虫処理木材、防腐処理された木材等は除外される。
- ②炭化炉等：土窯、ステンレス釜、鉄製釜等が使用される。木酢液の凝縮、貯留、濾過等処理施設は、耐酸性材料の使用が図られている。
- ③製品分類
- 粗木酢液/粗竹酢液：木炭、竹炭製造時の煙が空気で冷却され液体状態を示すもの
 - 木酢液/竹酢液（製品）：3ヶ月以上静置し、上層部の油分と下層部のタール分を除いたもの
 - 蒸留竹酢液/蒸留木酢液：木酢液/竹酢液或いは粗木酢液/粗竹酢液を蒸留精製したもの
- ④成分組成：水分約90%、酢酸約5%、200種に及ぶ有機成分（アルコール類、エスエル類、フェノール類）

2. 用途

表 64 竹酢液、木酢液の用途

用途	詳細
有機 JAS	土壤改良材、植物活性剤、肥料：土壤消毒、土壤中有用微生物増殖促進、芽及び根の成長促進、ミネラル吸収の助長、木炭/竹炭のアルカリ性中和。但し、指定農薬では無いので効能を謳っての販売は出来ない。
堆肥	発酵促進剤。堆肥の腐熟促進効果
消臭剤	含有有機酸類による中和作用、消臭成分や燻香によるマスキング。ゴミ集積場、家庭ゴミ箱、畜舎、下水、トイレ等の消臭
畜産	畜舎の環境改善（噴霧、飼料、飲み水）、家畜の体質改善（アルカリ性体質、整腸作用、生産性向上、家畜品質改善）
入浴剤 化粧水	体の温もり改善（冷え性）、ポリフェノール類によるヒスタミン効果（痒み抑制）、アトピー性皮膚炎悪化原因の皮膚細菌の増殖抑制、アルカリ肌を弱酸性の健康肌化、肌の收れん効果等

3. 技術の概要

・製造技術

表 65 竹酢液、木酢液の製造技術

原料	伐採後余り日を置かない新鮮な材料が好適。広葉樹では伐採後二ヶ月以内の新鮮な原料が適する。
炭化	土窯、煉瓦窯、ステンレス釜、鉄製釜が炭化炉あるいは乾留炉を使用し、排煙口温度は80°C以上150°C未満で得られた排煙を冷却する。排煙の冷却、凝縮装置、貯留、濾過等の処理施設はステンレス、ガラス、珪藻引き等の処理を施した素材、

	木材等耐酸性材料のものを使用する。
製品	凝縮・貯留物は90日以上静置後、上層の軽質油を除去し、下層沈降タール部から中相を分離し製品とする。
蒸留	製品あるいは粗木酢液/粗竹酢液を常圧蒸留あるいは減圧蒸留する。蒸留ではタール成分の除去が目的。竹酢液では、減圧（低温）蒸留することで、有効成分を多く残しながら不純物（タール成分）を除去出来る。

4. 製品品質（日本木酢液協会の品質項目と適合範囲）

表 66 竹酢液、木酢液の品質

品質項目	木酢液・竹酢液	蒸留木酢液・蒸留竹酢液
pH		1.5～3.7
比重	1.005以上	1.001以上
酸度		2～12%
色調 透明度	黄色～淡赤褐色～赤褐色 透明（浮遊物無し）	無色～淡黄色～淡赤褐色 透明（浮遊物無し）

5. 想定実現時期

- ・日本木酢液協会では、業者数が多く原材料や製造法の違い等による品質のばらつきを抑えるため、平成15年に「木酢液認証協議会」を設置し、平成17年2月より「木酢液認証制度」の運用を開始した。
- ・木酢液認証制度の対象は、農業用資材用途に限っている。品質の向上と生産・流通の安定化を図り、需要拡大を図るため。
- ・公的機関による製品分析、現地調査員による原材料、製造方法、装置、容器調査に基づき、認証委員会が認定する
- ・平成21年9月迄に、認証事業者葉78、製品区分認証は98件となっている。

6. 量及び価格

- ・木酢液、竹酢液の生産量は4,000-5,000t。
- ・価格的には、竹酢液は同グレード木酢液の4倍以上の価格で取引される。

5.3.9. 化学産業（素材産業）における原料と製品の俯瞰図

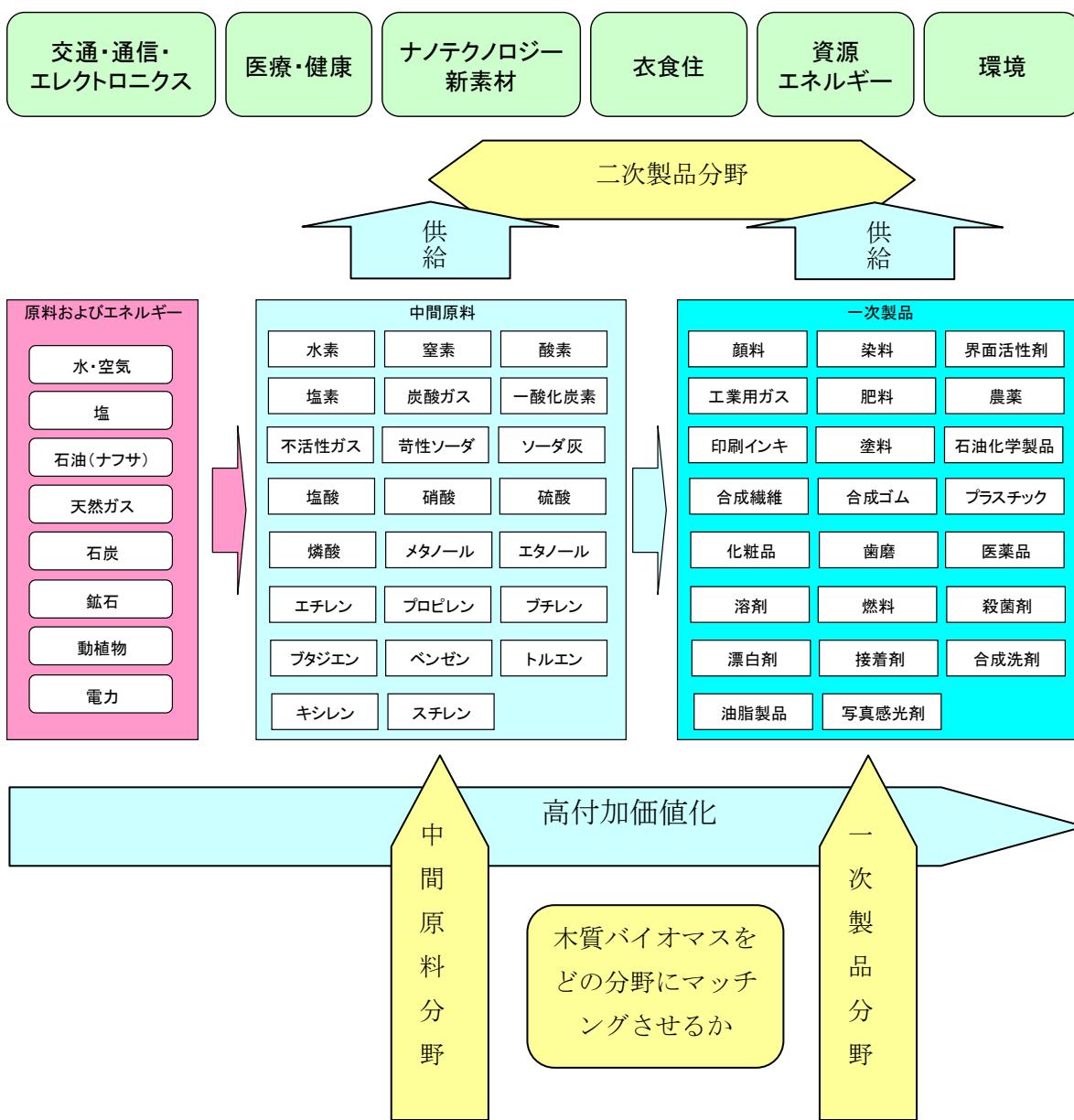


図 35 化学産業（素材産業）の姿と木質バイオマスの利用の可能性

中間原料分野：メタノール、エタノール、エチレン、プロピレンなど

一次製品分野：顔料、界面活性剤、プラスチック、化粧品、医薬品、接着剤、燃料など

二次製品分野：樹脂成形体、ウッドプラスチックなど

参考文献

- 1 フォレストコンサル No.107 p1467～ (2007)
- 2 みずほリポート 2005年9月16日発行「木質廃材リサイクルの課題と循環型利用拡大の可能性」
- 3 第6回バイオマス科学会議(H23.01.12/13) 発表論文集 p 110-113
- 4 公開 2008-307832 吉田義臣
- 5 特開 2005-89917 中越パルプ工業(株)、(株)片山化学工業研究所
- 6 特開 2003-310271 美洋(株)
- 7 特開 2003-253011 阪井繁美、近藤隆行、山本英紀
- 8 特許 3448526 野村産業(株)
- 9 http://www.mokufun.jp/topics/detail_100315.html
- 10 開 H11-286583、日本ゼオン(株)
- 11 豊田通商発表 2008年9月24日等
- 12 バイオインダストリー Vol.27 No.11 p27～ (2010)、WO2009/008377
- 13 特開 2008-75238 ダイナパック(株)、東洋樹脂(株)
- 14 「未利用バイオマスの活用技術と事業性評価」 p155～ 2010年 サイエンス&テクノロジー(株)
- 15 「未利用バイオマスの活用技術と事業性評価」 p138～ 2010年 サイエンス&テクノロジー(株)
- 16 日経産業新聞 2010.12.1
- 17 木材ノート 1994.6.3 No.127 林野行政研究会資料
- 18 「未利用バイオマスの活用技術と事業性評価」 p225～ 2010年 サイエンス&テクノロジー(株)
- 19 http://panasonic.co.jp/ism/eco/bamboo_speaker/index.html
- 20 <http://www.met-inc.co.jp/>
- 21 特開 2009-256646 帝人(株)
- 22 1984～1985の林産試だより
- 23 北海道林産試験場報 第15巻 第5号 p10～ (2001)
- 24 道南畜産敷料生産組合の2000年前後資料、「木質系敷料の確保対策と家畜排泄物の利用状況」
- 25 (独)農畜産業振興機構 2007年7月度月報(国内編)畜産用おが粉の需給に関する研究 遠藤日雄
- 26 富山新聞 2006.2.16
- 27 機能材料 Vol.29 (No.3) p69～ (2009)
- 28 特開 2008-169497 出願人:木村化工機(株)、京都大学。 京都大学広報誌 「樹の気持ちを材料に一セルロースナノコンポジット」紅萌 No.9 9-12 2006
- 29 特開 2008-150719、出願人:(独)森林総合研究所
- 30 (社)農林水産技術情報協会 No.26
- 31 特開 2009-263652 出願人:日本製紙(株)、WO/2009/069641 出願人:磯貝
- 32 機能材料 Vol.29 (No.3) p.43 (2009)
- 33 特開 2000-333692 王子製紙(株)
- 34 特開平6-192688 サントリー(株)
- 35 特開昭62-155095 食品産業バイオリアクターシステム技術研究組合
- 36 特許 418609 旭化成(株)
- 37 特開平6-197800 北海道、北海道林産試験場 林産試だより 2006年11月
- 38 産総研 TODAY 2006-03
- 39 特開 2004-333445、開 2007-74993 出願人:(独)産業総合研究所
- 40 長岡技術化学大、大阪府立大、(財)バイオインダストリー協会、日経産業新聞 2010年10月13日
- 41 特開 2010-184233 吉岡まりこ、白石信夫
- 42 機能材料 Vol.30 No.11 p22 (2010)
- 43 森林総合研究所 平成20年度版 研究成果選集 p12
- 44 GS Yuasa Technical Report 2006年7月 第3巻 第1号 p12
- 45 特開 2003-155677 出願:(株)ヤスジマ
- 46 特開 H4-216007、特開 H5-138617 ((株)アスク、三信熱工業(株))、特開 2007-71209 ((株)東洋油圧工業)、特開 2008-114484 (東亜機工(株))、開 2008-307832 (吉田義臣)

⁴⁷ 東京都立産業技術センター、TIRI News 2007年10月号

⁴⁸ 北九州市立大学 吉塚和治教授、日本イオン交換学会誌、 Vol.21 No.4 p13 (2010)

平成 22 年度地域新成長産業創出促進事業
バイオマス・ファインケミカルズ・リファイナリーシステム構築に係る事業性調査報告書

発行者：中国経済産業局 資源エネルギー環境部 環境・リサイクル課
〒730-8531 広島市中区上八丁堀 6 番 30 号
TEL:082-224-5676 FAX:082-224-5648
<http://www.chugoku.meti.go.jp>

委託先：株式会社 三菱化学テクノリサーチ
〒102-0083 東京都千代田区麹町 6 丁目 6 番地 麹町東急ビル 4 F
TEL:03-5226-0731 FAX:03-5226-0741
<http://www.mctr.co.jp>