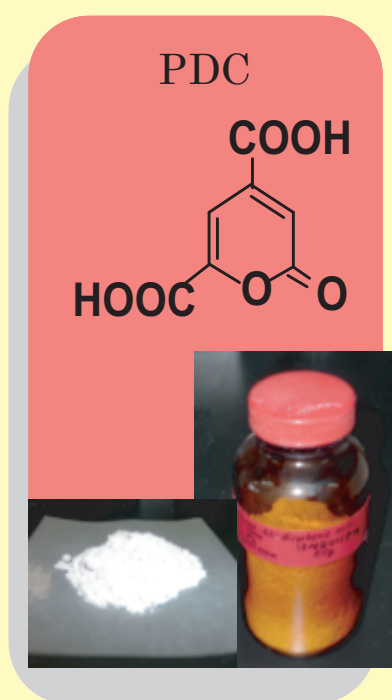


[森林総合研究所 第1期中期計画成果集19]

木質資源を有効に 利用するための新しい技術



平成18年8月

独立行政法人 森林総合研究所
Forestry and Forest Products Research Institute



表紙写真

左：新規プラスチック原料となるPDC
(26頁参照)

右上：VOC測定的小型チャンバー装置
(40頁参照)

右下：超臨界水処理ベンチプラント
(22頁参照)

はじめに

森林総合研究所では、平成 13 年度から 17 年度までの第 1 期中期目標期間において、重点研究分野として「木質資源の環境調和・循環利用技術の開発に関する研究」を設定し、この中で、豊富に存在する木質資源を、環境に優しく、有効に使うために、基礎から応用まで幅の広い技術開発を行なってきました。

森林資源を有効に利用するため、まず基礎的な研究として、木材中にある化学成分の構造や特性を明らかにする研究を行いました。木質材料を長寿命で使うための研究では、塗膜や接着層の性能を向上させる技術や、シロアリの被害を防ぐ技術、木材を燃え難くする技術を開発しました。また、木質資源を化石資源の代替としてマテリアルやエネルギーに利用するため、木材中のリグニン成分を活用した新しい機能性プラスチックやセルロースフィルムを開発し、更に、木材の超臨界水処理やオゾン処理などの糖化前処理技術を開発し、バイオエタノールの製造の実用化に向けた取り組みを強化しているところです。同時に、未利用木質資源や木質廃棄物に目を向ける具体的な研究を行い、建築廃材を木質ボードや建築材料として有効利用する研究、熱帯アジアにおいて生産されている油ヤシの廃棄物をパルプとして活用する研究等においても多くの成果を収めました。また、木質資源の利用に当たっては、効率的な利用技術だけではなく、安全・安心で快適であり、環境への負荷を最小限に留めることが不可欠です。そのため、木材利用におけるシックハウス問題や、木材焼却に伴うダイオキシン生成問題の解決方法、木材利用の環境的な優位性や優しさの解明などについて多くの新しい知見を得ることが出来ました。

本冊子では、5 年間の研究で得られた新しい研究成果や、興味深いトピックを取り纏めました。本成果集が、木質資源や木質バイオマスの利用拡大、更には林業・木材産業の活性化のために、多くの皆様に利活用されることを心から期待致します。

平成 18 年 8 月
独立行政法人 森林総合研究所
研究コーディネータ 山本幸一



編集委員会



編集委員長

研究コーディネータ

山本 幸一

編集委員

バイオマス化学研究領域長
木材改質研究領域長
複合材料研究領域長

大原 誠資
大越 誠
鈴木憲太郎

Cover Design
Total Design・Layout

加工技術研究領域 松村ゆかり
複合材料研究領域 荒井さと子



木質資源を有効に利用するための新しい技術

森林総合研究所 第1期中期計画成果集 19

目次

はじめに

1

1) 木質資源を有効利用するための基礎化学

酵素による結晶セルロース加水分解残渣の形態を解析する 6

トリコデルマの酵素 CBH I は結晶セルロースに作用して繊維の割れを生成したり、短繊維を生産したりしますが、基質と結合する結合部位のみでも割れを生成することを明らかにしました。

木材細胞壁中のリグニンと炭水化物の結合状態を明らかにする 8

グルコースおよびマンノースの6位とリグニンのベンジル位で結合したLCC結合が存在し、さらにこの両者が主要な結合様式であることを明らかにしました。

樹皮タンニンのアンモニア変性による気中アルデヒド捕捉能の向上を明らかにする 10

樹皮タンニンをアンモニア処理してタンニン分子中にアミノ基を導入することにより、タンニンの気中アルデヒド捕捉能が大きく向上することを明らかにしました。

漆塗膜のナノ構造を3次元で解析する 12

原子間力顕微鏡を用い、漆塗膜のサブミクロンからナノオーダーの表面構造が、硬化前の分散処理に強く依存すること、また、径20~40nm程度の微細粒子が、表面構造の中核を成すことを示しました。

2) 木質材料を長寿命で使うための技術

プラズマ処理により木材表面を汚染しにくくする 14

木材の意匠性を著しく低下させる、粉塵等の環境汚染や手垢等の人的汚染は、木材表面を塗装で被覆した上、プラズマ処理によって親水化することによって防げることを明らかにしました。

接着性能を向上させて木質ボードを高耐久化する 16

木材原料をアセチル化処理およびオゾン処理し、接着剤にフェノール樹脂を使用することにより、高耐久性木質ボードの製造が可能となりました。

環境に調和した方法で木材をシロアリから守る 18

熱処理木材に対するシロアリの嗜好性を明らかにし、熱処理木材と薬剤とを併用して、シロアリ体内への薬剤の取り込みを促進させることにより、より少量の薬剤で効率よくシロアリを防除する方法を開発しました。

できるだけ少ない防火薬剤で木質材料を燃えにくくする 20

防火薬剤の注入と表面塗装の組合せにより、できるだけ少ない防火薬剤の注入で、準不燃材料の性能をもつ木質材料を開発しました。

3) 木質資源利用のための新しい化学変換技術

超臨界/亜臨界水処理で木質廃棄物から糖を作る

2 2

工業原料やバイオエタノール原料となる糖類を木材から高速かつ高効率で生産する手段として超臨界水/亜臨界水による処理法を検討した結果、スギ木材からグルコースやオリゴ糖などの糖類を短時間で多量に生成することに成功しました。

オゾン前処理により木質バイオマスの酵素加水分解（糖化）を促進する

2 4

酵素糖化法により木質バイオマスからバイオエタノールを生産するための前処理方法（オゾン前処理）を開発しました。

微生物を利用して廃棄木材から新規プラスチックを作る

2 6

リグニン分解微生物の代謝機能遺伝子を再構成し、低分子リグニン化合物から有用代謝中間物質である PDC（2-ピロン-2-オン-2,6-ジカルボン酸）を得、それを原料とした新しい機能性プラスチック（ポリエステル）を合成しました。

セルロースから機能性フィルムを製造する

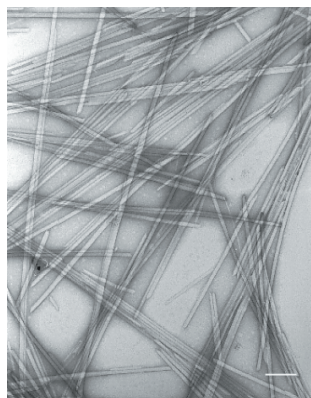
2 8

セルロースの持つ性質を利用して、特徴あるフィルムの調製技術確立し、そのフィルムの構造と特性との関係を明らかにしました。

キトサン膜を用いた浸透気化法で水をきれいにする

3 0

キトサン膜を用いた浸透気化法でアンモニアを含む水溶液から水分を優先透過することによってアンモニアを約60%除去し、さらに透過したアンモニア蒸気を吸着剤で吸着除去することにより、純水を回収する方法と装置を開発しました。



微結晶セルロース：
6 頁参照



準不燃木材の施工例：
20 頁参照



テルペンの生理作用
の実験：
42 頁参照

4) 未利用木質資源の活用を進める

建築解体材から厚物パーティクルボードの床下地材を作る

3 2

厚物パーティクルボード（PB）の強度性能を明らかにするとともに構造性能、遮音性能、耐火性能に優れた住宅床や壁を構成するための利用方法を提案しました。加えて、PB 等をリサイクルする技術を開発して PB を核にした循環型社会構築のための技術を開発しました。

廃棄物を原料とした木質ボード類を住宅用に使う

3 4

木質系面材料のせん断性能を簡便に測定する方法を開発し、廃棄物を原料とした木質ボードのせん断性能は他の木質ボード類と同水準であり、住宅部材として実用可能であることが明らかとなりました。

熱圧爆裂処理によって木質系廃棄物から新しい製品を開発する

3 6

木質系廃棄物を刃物を用いずにエレメント化する熱圧爆裂法を開発しました。この方法で得られた柔らかくて長いという従来にない特徴を持ったエレメントを用いて軽量断熱材、緑化資材、セメント複合材の製品開発を行いました。

オイルパーム木質資源のパルプ原料としての用途を開拓する

3 8

オイルパーム木質バイオマスのひとつ・空果房のパルプ化、漂白技術の向上を試み、酸素、オゾン、過酸化水素など、塩素を使わない漂白方法が空果房パルプの漂白に有効であることを明らかにしました。

5) 木質資源の安全で快適な利用と環境問題解決のために

住宅のシックハウス対策のため木質建材の VOC 放散特性を調べる

4 0

合板・集成材等の各種木質建材から放散される揮発性有機化合物（VOC）を網羅的に調べ、木質建材の JAS・JIS 規格に反映するとともに、JAS 規格の F☆☆☆☆基準が建築基準法の規制対象外となる要件を満足できることを実証しました。

無垢の木材から放散するテルペン等は人を快適にする

4 2

厚生労働省が室内濃度指針値を策定している揮発性有機化合物（VOC）は無垢の木材からはほとんど放散されず、天然成分として放散されるテルペン類は人をリラックスさせる効果やダニの行動を抑制する効果があることがわかりました。

木材の燃焼におけるダイオキシン類の生成防止技術を開発する

4 4

バッチ式小型焼却炉で天然由来の材を燃焼した際のダイオキシン類生成量は規制値以下でした。海水貯木材の燃焼で発生するダイオキシン類については、インヒビター（酸化鉄）の添加により、1/3 程度に低減することができました。

日本の伐採木材製品の炭素貯蔵量を推計する

4 6

日本の伐採木材製品による炭素貯蔵効果を統計資料を基に、3 つの評価手法について推計してみました。2002 年における結果は、蓄積変化法では 211 万 t-C の吸収、生産法では 59 万 t-C の吸収、大気フロー法では 1, 150 万 t-C の排出となりました。



酵素による結晶セルロース加水分解残渣の形態を解析する

背景と目的

セルロースは、食糧、飼料、エネルギー等の原料として潜在価値があり、化石資源の代替が可能な天然資源です。セルロースからグルコースを得る方法として酸加水分解が主として行われますが、この方法は高温反応で環境に負荷がかかるため、必ずしもよいものとはいえません。これに対して、微生物の酵素は常温でセルロースを生分解する安全で低エネルギーの触媒として注目されています。また近年、パルプ漂白や洗剤の効果向上のための酵素利用が発展し、酵素によりセルロースの強度を変えることなくセルロースを改変するという新しい流れができました。酵素分解は地球環境的に重要で、多糖類の新たな利用の可能性を秘めていますが、そのためには木材分解微生物の生物機能やその分解機構、酵素の作用等の基礎研究の蓄積が必要です。

本研究ではその一端として、セルラーゼ作用後の結晶セルロースの残渣の形態の詳細を解明することを目的としました。

成果

天然のセルロースは、直鎖状のセルロース分子が水素結合等で複雑な高次構造を持つ結晶様の物質で、長さ1 μ m以上の繊維です。結晶セルロースを分解するカビ、トリコデルマのセルラーゼ（CBH I）は結晶セルロースの複雑な高次構造を徐々に破壊し、様々な形態を示す残渣を生産します。いずれも高結晶性セルロースであるシオグサ（海藻の一種）セルロースを加水分解して長さ300-400nmの短繊維を多く生成します（図1）。また、バロニア（海藻の一種）セルロースでは、酵素処理で元の繊維がさらに細い繊維に割れる現象が見られました。これらは、結晶セルロースの高次構造を反映して生じたもので、結晶セルロースに一樣に作用する酸による加水分解では見られない現象です。

また、セルラーゼ（CBH I）は、基質（セルロース）と結合する結合部位（CBM）と基質を分解する触媒部位を持ち、CBMでセルロース分子に吸着し、触媒部位で分子を末端から順次分解します。CBH I からCBMを分離・生成し、酢酸菌セルロース（ナタデココ）にCBH I およびCBMを作用させたところ、CBH I で結晶セルロースに割れが生じ、CBMでも若干割れが生じることを確認しました（図2）。以上の結果は、吸着するだけのCBMもまた微結晶セルロースの高次構造を緩める働きがあることを示しています。

これらの酵素加水分解残渣は、未処理と同等の高結晶性を保っています。このことから酵素反応を用いて高結晶性の短繊維やフィラメントを作成する可能性が示唆されました。

成果の利活用

酵素によるセルロース繊維の部分的な分解で生じる残渣が高結晶性を維持していることを解明したことから、高結晶性の短繊維やセルロース繊維よりも細い繊維（フィラメント）を創るという新規材料の開発に繋げることが可能です。

主な発表文献

- 1) Hayashi N., Kondo T., Ishihara M. (2005) Enzymatically produced nano-ordered short elements containing cellulose I β crystalline domains. Carbohydr. Polymers, **61**, 191-197.

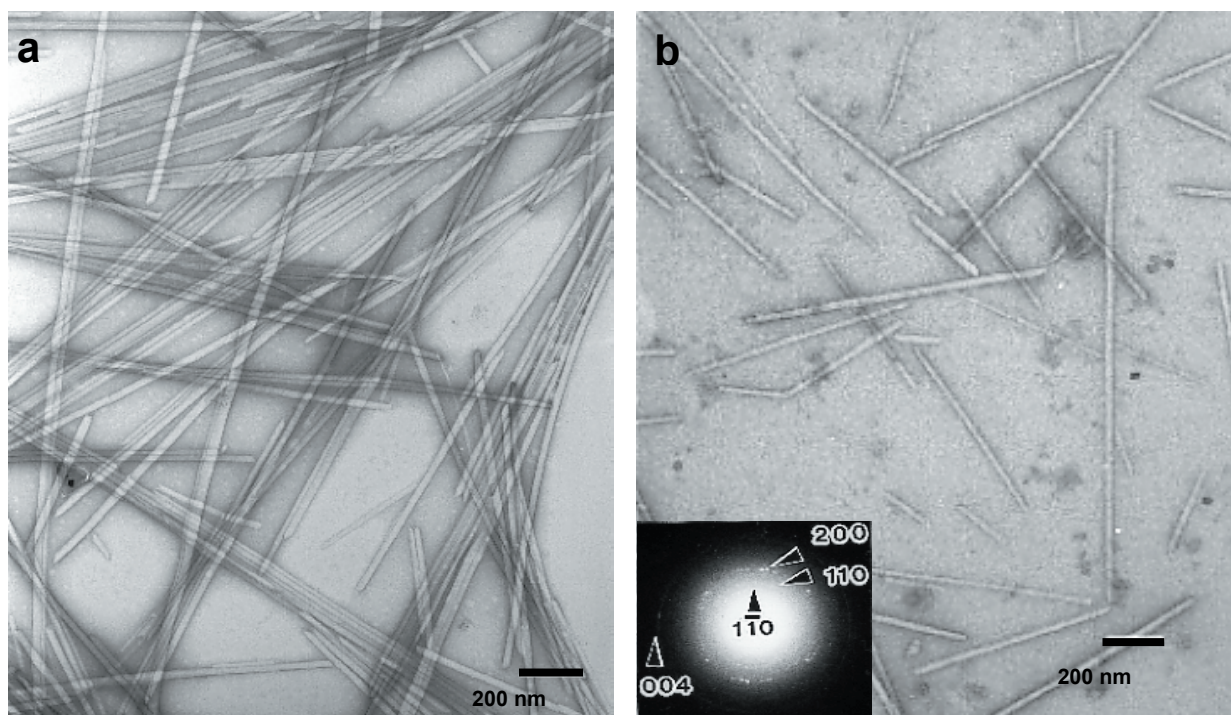


図1 シオグサ（海藻の一種）の微結晶セルロースの透過電子顕微鏡写真
セルロースミクロフィブリルは、未処理では長い繊維状を示すが(a)、CBH I 処理
すると短繊維が多数生成した(b)。

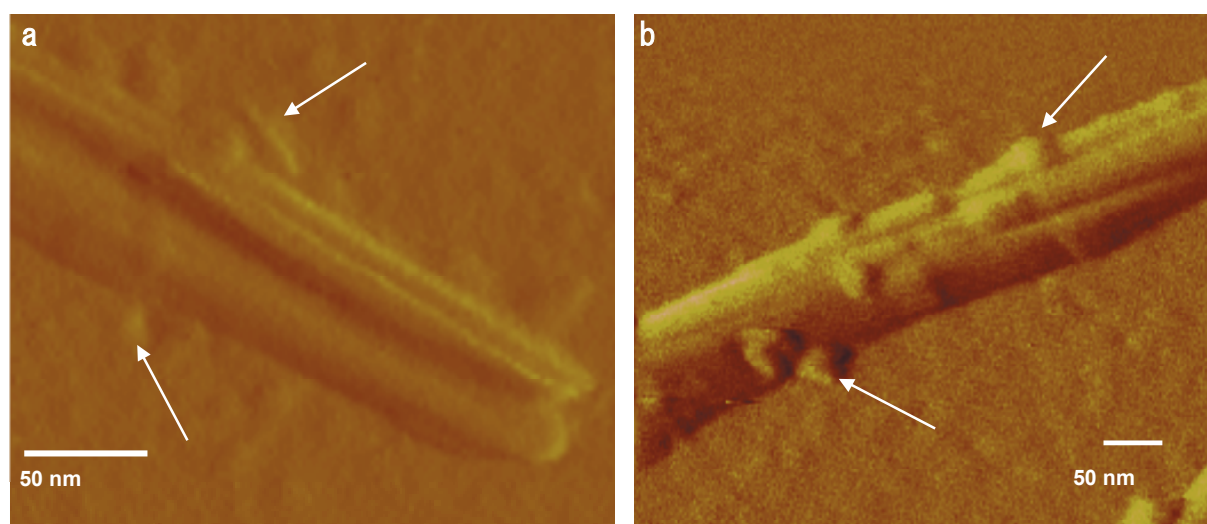


図2 CBH I (a) 及びCBM(b) を作用させた酢酸菌セルロース（ナタデココ）の
ミクロフィブリルの原子間力顕微鏡像（非接触モード）
両者ともミクロフィブリルに割れが生じた。また、→は酵素タンパクと思われる粒子。

木材細胞壁中のリグニンと炭水化物の結合状態を明らかにする

背景と目的

木材細胞壁は、主にセルロース、ヘミセルロース、リグニンから構成されています。これらの成分は互いに助け合いながら、木材の強さ、かたさ、しなやかさを演出しています。リグニンと炭水化物の間には、1957年にその存在が予想されて以来今日まで論争の的となってきたリグニン・炭水化物結合が存在すると言われてしていますが、これまでは、この結合の存在状態が科学的に立証されていません。

本研究では、アカマツ材中のリグニンと炭水化物間の結合様式を解明することを目的としました。

成果

リグニン・炭水化物結合（LCC結合）の解明を試みる研究はこれまで数多くなされてきました。しかし、いずれも結合点を切断した後には分析が行われる「間接的手法」であったために、リグニンと炭水化物の間に結合が存在することを明確に証明することができませんでした。

本研究では、オゾン酸化でリグニンを有機酸へ分解することにより、反応性の高いベンジルエーテル結合をより反応性の低いエーテル結合に変えた後、酸処理で炭水化物を単糖へ分解することにより（図1）、リグニンのベンジル位で炭水化物と結合したベンジルエーテル型LCC

結合を切断することなく単離できることを明らかにしました（図2）。本手法は、LCC結合が切断されない「直接的手法」であるために、高い精度で分析を行うことが可能であるばかりでなく、LCC結合を高収率で単離することができるために、様々な結合様式を有するLCC結合の解明に応用することが可能です。

本手法をアカマツ材に適用した結果、グルコースおよびマンノースの6位とリグニンのベンジル位で結合したLCC結合が存在し、さらにこの両者が主要な結合様式であることを明らかにしました（図3）。

成果の利活用

リグニン・炭水化物間の結合様式を解明したことは、長い間論争の的になってきた木材中のLCC結合の結合状態を科学的に立証した点で、木材化学の基礎研究の発展に大きく寄与するものです。また、明らかにされたLCC結合はクラフト法パルプ化過程では安定な構造であることから、パルプ中のリグニンを効率的に除去する漂白法を改善するための有力な知見を与えるものです。

主な発表文献

- 1) Karlsson O., Ikeda T., Kishimoto T., Magara K., Matsumoto Y., Hosoya S. (2004) Isolation of lignin-carbohydrate bonds in wood. "Model experiments and preliminary application to pine wood" *J. Wood Sci.* **50**(2) : 142-150.
- 2) Ikeda T., Sugimoto T., Magara K., Kato A., Hosoya S. (2005) Isolation of lignin-carbohydrate bonds in wood. Model experiments and application to wood. *Proceedings of the 13th ISWFPC* : 151-152.

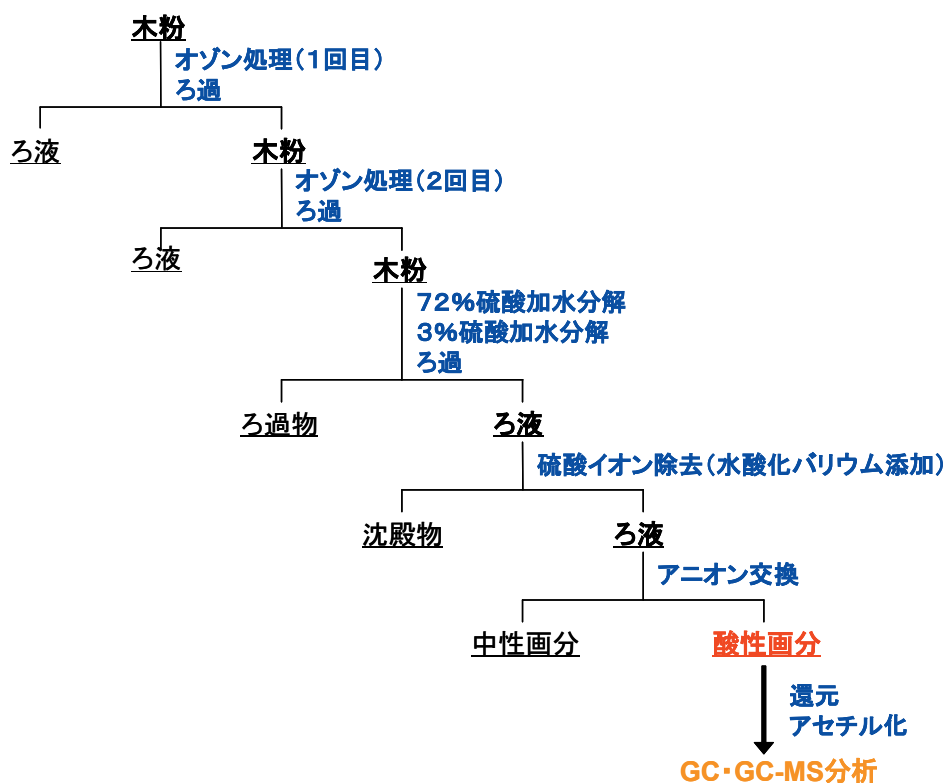


図1 アカマツ材からLCC結合体を単離するための手法
最終目的物は酸性画分に含まれます。

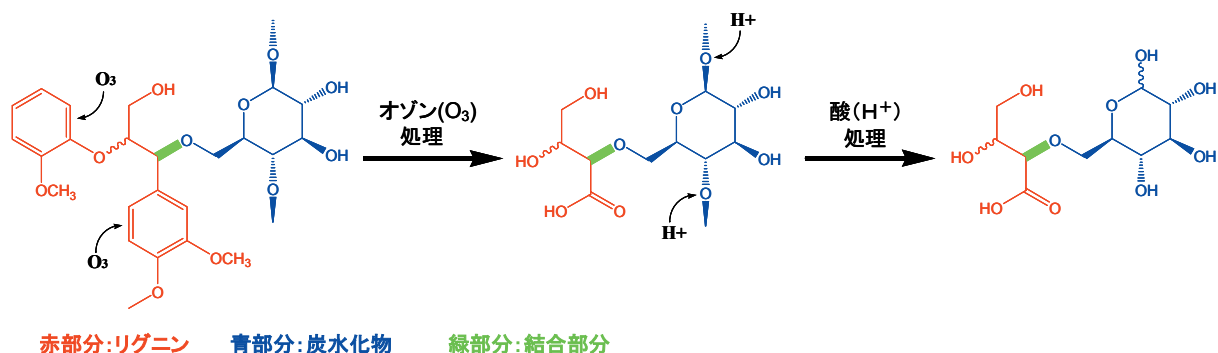


図2 リグニン・炭水化物間化学結合の単離過程における反応様式
オゾンで余分なリグニン部分を分解した後、酸で不必要な炭水化物部分を除去します。

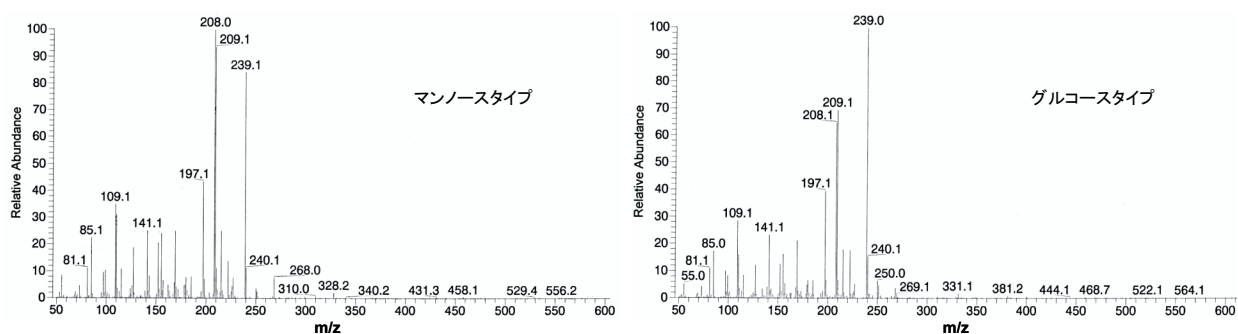


図3 アカマツ材から単離されたLCC結合体のマスペクトル
木材構成糖のうちマンノース型とグルコース型の存在が確認されました。

樹皮タンニンのアンモニア変性による気中アルデヒド捕捉能の向上を明らかにする

背景と目的

現在、日本の木材工業で発生する残廃材の中で樹皮は最も利用率が低く、有効利用法の開発が重要な課題となっています。

本研究では、樹皮に多量に含まれているタンニン成分に着目し、これらの気中ホルムアルデヒド捕捉能や、アンモニア変性による気中ホルムアルデヒド捕捉能の向上を明らかにし、その特性を活かした高分子材料の開発につなげることを目的としました。

成 果

樹皮タンニンは図1に示すようなフラバノール構成単位のポリマーであり、A環、B環の二つのフェノール核を有しています。A環は主にレゾルシノール核とフロログルシノール核、B環は主にカテコール核とピロガロール核から構成されています。天然の樹皮タンニンのB環構成フェニル核の存在比を熱分解法で測定した結果を表1に示します。アカシア属樹木のタンニンのB環は主にピロガロール核から成り、カラマツ、ケブラコはほとんどすべてがカテコール核から構成されています。

樹皮タンニンのアンモニア水処理を室温で行い、気中ホルムアルデヒド捕捉能の向上について検討しました。供試したすべての樹皮タンニ

ンについて、アンモニア処理によるホルムアルデヒド捕捉能の向上が認められました（図2）。特にB環にピロガロール核を多く有するモリシマアカシア及びアカシヤマンギウムタンニンでは、顕著な捕捉能の向上が認められました。

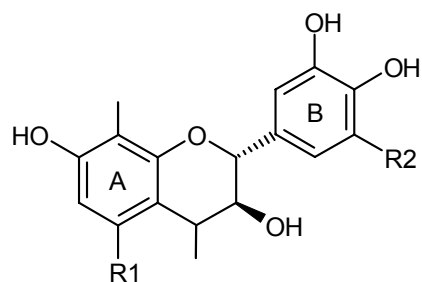
タンニンのアンモニア水処理における変性挙動を調べた結果、ピロガロール核の4位の水酸基がアミノ基に置換されることを明らかにしました（図3）。ホルムアルデヒドとの反応性の高いアミノ基がタンニン分子中のピロガロール核へ導入されたことが、気中ホルムアルデヒド捕捉能の向上に繋がったと考察されます。また、タンニンのアンモニア処理では、タンニン分子が高分子化することも確認されました。

成果の利活用

アンモニア処理樹皮タンニンの機能を活かした気中アルデヒド類捕捉材の製造や、分子内に導入されたアミノ基を利用した高分子材料への変換・利用が期待されます。

主な発表文献

- 1) Hashida, K., Ohara, S. and Makino, R. (2006) Improvement of formaldehyde-scavenging ability of condensed tannins by ammonia treatment, *Holzforschung*, **60**(2), 178-183.
- 2) 橋田光・大原誠資・牧野礼（2006）樹皮タンニンのアンモニア処理による改質，*木材工業*，**61**（6），244-247



A環

R1=H, レゾルシノール核 (Re)

R1=OH, フロログルシノール核 (Phl)

B環

R2=H, カテコール核 (Ca)

R2=OH, ピロガロール核 (Py)

図1 樹皮タンニンの化学構造

表1 樹皮タンニンのA環、B環の化学構造

樹種	A 環	B 環 (Py/Ca)
モリシマアカシア	Re	3.44
アカシアマンギウム	Re	7.90
エゾヤナギ	Phl	0.77
カラマツ	Phl	0.00
ケブラコ	Re	0.10

熱分解GC/MSによる測定値

Py/Ca: ピロガロール核/カテコール核 (モル比)

Re: レゾルシノール核、Phl: フロログルシノール核

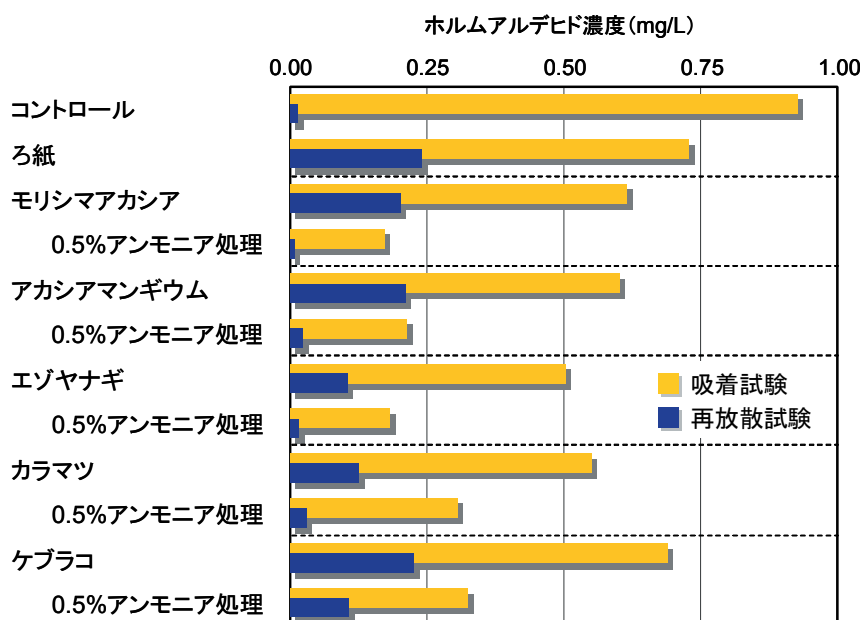


図2 樹皮タンニン及びアンモニア処理タンニンのホルムアルデヒド捕捉能
デシケータ底部にタンニン溶液を含浸したろ紙とホルムアルデヒド発生源を
置き、デシケータ中のホルムアルデヒド濃度をアセチルアセトン法で測定した。
コントロールは、ホルムアルデヒド発生源のみを用いて測定した。

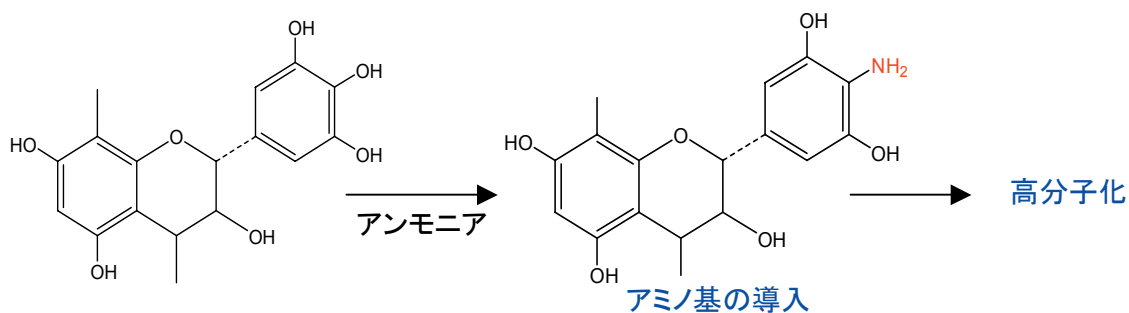


図3 タンニンのアンモニア処理によるB環へのアミノ基の導入と高分子化

漆塗膜のナノ構造を 3 次元で解析する

背景と目的

木材は多くの場合、表層の保護、美化、および機能性の付与のために塗装されて使われます。漆は、硬化前に与えた物理的処理が硬化後の塗膜構造に影響して光沢等の物性を変化させることが知られていますが、サブミクロンからナノオーダーの 3 次元構造に生じた変化を定量的に評価することは困難でした。

本研究は、微細構造の 3 次元解析において電子顕微鏡よりも優る原子間力顕微鏡（AFM）を用いて、漆の硬化前の物理的処理が塗膜構造に及ぼす影響を明らかにすることを目的としています。

成 果

漆は、ウルシオールを主体とする油相、およびラッカーゼや多糖類等を含む水相から成る油中水滴型エマルジョンであり、硬化前にその分散状態を制御することにより、硬化後の光沢度、触感等を調整できることが知られています。本研究では漆試料として、中国産の①生漆（粗分散）、②透素黒目漆（伝統的手法による分散）、③高分散処理した透素黒目漆（ロールミルによる高分散）の 3 種を用いました。漆膜は、ガラス板にアプリケーションを用いて塗布し、23℃、70%RH の条件で硬化させ、約 25 μm の膜厚に調製しました。AFM 観察には、DI 社製 Nanoscope IIIa を用い、タッピングモードにより高さ像および位相像（波長の長い高低変化が結像に寄与しにくい）を得ました。

原子間力顕微鏡（AFM）高さ像観察により、各試料の表面構造をサブミクロンオーダーで比較したところ、①生漆（粗分散）>②透素黒目漆（中分散）>③透素黒目漆（高分散）の順に表面の凹凸が激しく、高低差は、それぞれ、①200nm 以上、②100～200nm、③100nm 以下でした（図 1）。この結果は、水相成分（多糖類）の分散状態の善し悪しを反映しており、人為的な分散処理の効果が、漆塗膜のサブミクロンオーダーの構造に及ぶこと

を示しています。

さらにナノオーダーでの高さ像および位相像観察により、①生漆（粗分散）および②透素黒目漆（中分散）の塗膜表面が、それぞれ、①径 30～70 nm および②径 20～40nm の微細粒子に覆われていることがわかりました（図 2）。漆塗膜のナノオーダーの基本構造は、ウルシオール分子の集合および硬化様式に左右されます。上記の結果は、分散処理の影響がウルシオール分子の構造形成にまで及び、このため透素黒目漆の微細粒子が生漆に比べて小さくなったことを示唆しています。

以上の結果から、漆の硬化前の分散処理により、水相成分が分散して塗膜の平滑性がサブミクロンオーダーで高まるだけではなく、ウルシオール分子の構造形成にも影響が及んで塗膜のナノオーダーの基本構造（微細粒子）に変化が生じることがわかりました。サブミクロンオーダーの効果は、漆塗膜の光沢度を向上させるのに役立っていると考えられます。一方、ナノオーダーの効果が認められたことから、漆塗膜の他の物性（力学的特性、耐久性）についても分散処理により調整することが可能であると考えられます。

成果の利活用

漆の硬化前の物理的処理が、塗膜のサブミクロンオーダーの凹凸構造のみならず、ナノオーダーの基本構造にも影響を与えることがわかりました。この結果は、漆塗膜の様々な物性（力学的特性、耐久性）を同処理により調整できる可能性を示しており、漆塗膜の高品質化、高機能化技術の開発に役立ちます。

主な発表文献

- 1) 木口実・片岡厚（2001）低環境負荷型天然物系塗料（I）-漆-，木材工業，56，265-269.

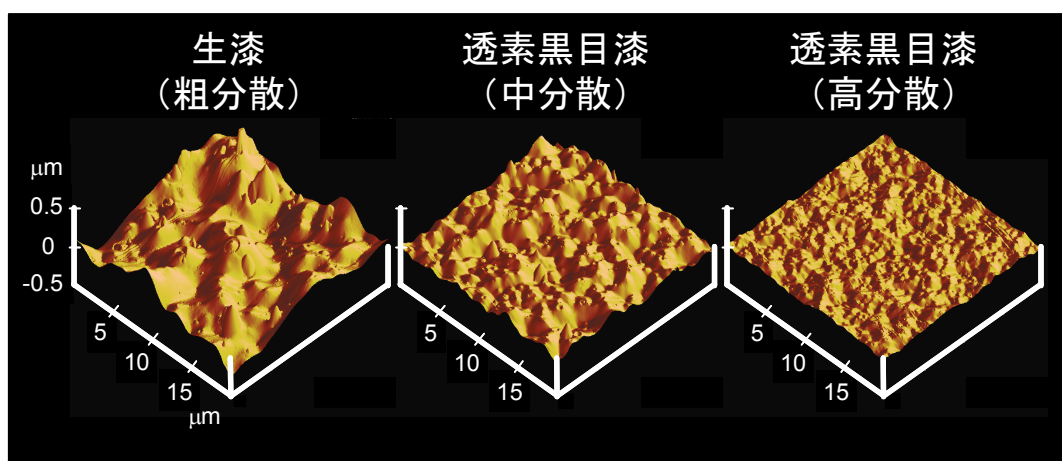


図1 水相成分の分散状態が異なる漆塗膜表面のAFM（原子間力顕微鏡）像
表面の凹凸は、水相成分の分散の程度を反映しており、生漆（粗分散）＞透素黒目漆（中分散）＞透素黒目漆（高分散）の順に高低差が大きいことが示されました。

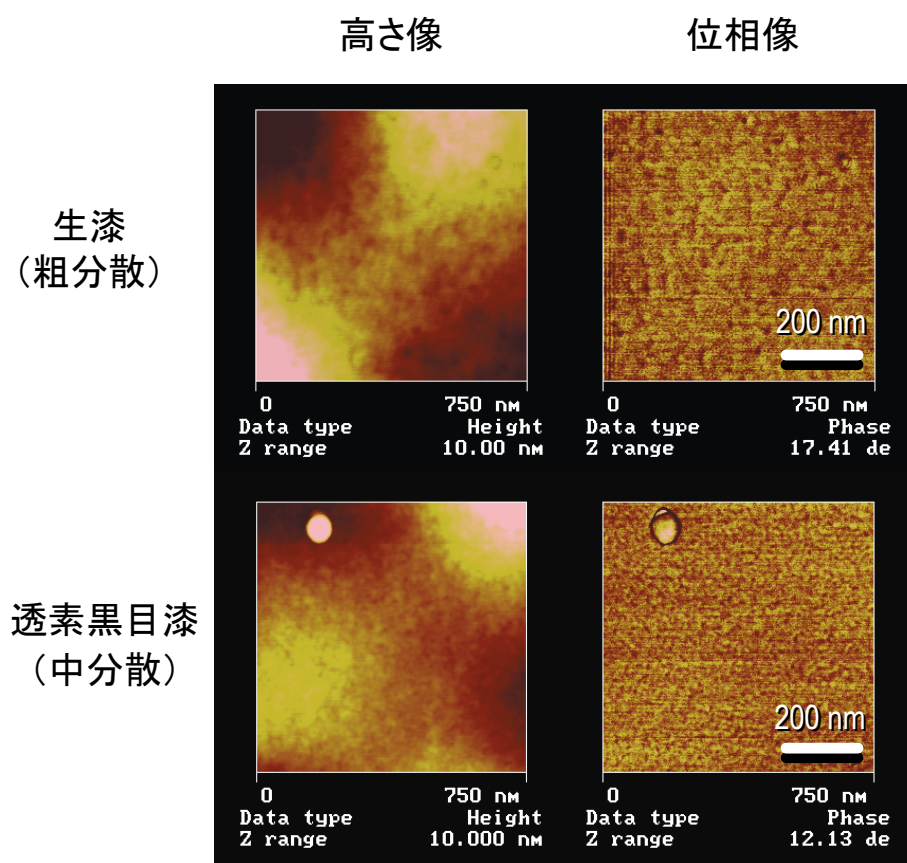


図2 生漆（粗分散、上）および透素黒目漆（中分散、下）の高倍率高さ像（左）と位相像（右）。高さ像では、色の明るい箇所ほど高い位置にあり、最も明るい色と濃い色の高低差（Z方向の距離）は10nm。

生漆（粗分散）と透素黒目漆（中分散）の塗膜表面には、それぞれ径20～40および30～70 nmの微細粒子が無数に観察されました。透素黒目漆の微細粒子は生漆よりやや小さいことから、漆の硬化前の物理的処理が、ナノオーダーの構造形成に影響することが示されました。

プラズマ処理により木材表面を汚染しにくくする

背景と目的

木材は、排ガスや粉塵等の環境汚染、藻やカビ等の生物汚染、タバコの煙、手垢や食品による人的汚染など種々の汚れ（図 1）が付着し、意匠性が著しく低下します。表面を親水化して濡れやすくし、水の介在により汚染物質を洗い流すことができるようにすると低汚染性になります。

本研究では、簡便かつ環境に配慮した親水化手法である大気中プラズマ（コロナ放電）処理法（図 2）により木材表面及び塗装表面を低汚染性にすることを目的としています（図 3）。

成 果

疎水性汚染物であるカーボンブラック（CB）の直接付着による汚染試験で、表面の元素組成 O/C の値が小さいほど、また表面の帯電性が大きいほど疎水性の CB が付着しやすいことを明らかにしました（図 3、図 4）。

塗装表面では、プラズマ処理することにより、CB が付着しませんでした（図 5）。

シリコンを含む塗装では、CB の付着が見られますが、プラズマ処理することにより大幅に汚染率が低下し、低汚染化されました。

無塗装面はプラズマ処理をしても、内部に侵

入した CB は、洗浄出来ませんでした（図 6）。

プラズマ処理を施すと、塗装材では表面が親水化し未処理面と比べて CB が付着しにくく、かつ水による洗浄性が向上することが明らかになりました。

これらの結果、高い洗浄性能と防汚性は、表面が被覆されて汚染物質が内部に浸透せず、表面が親水性であることによって達成されることが確認され、プラズマ処理が表面の低汚染化に有効であることを明らかにしました。

成果の利活用

本研究は、岐阜県生活技術研究所との共同研究で進めました。得られた成果は、学会や研究会で発表するとともに、岐阜県の家具工業等に公表し、民間への技術移転を進めています。さらに、木材表面の性状と汚れの付着性について得られた知見をもとに、防汚性能に優れた木製福祉用具の開発研究を進めています。

主な発表文献

- 1) 長谷川良一・村田明宏・松井宏昭（2004）木材表面の耐汚染性（Ⅳ）－塗装表面へのプラズマ処理－，日本木材学会大会講演要旨集，277.
- 2) 長谷川良一・村田明宏・松井宏昭（2005）木材表面の耐汚染性（Ⅴ）－プラズマ処理による効果－，日本木材学会大会講演要旨集，204.
- 3) 松井宏昭・長谷川良一（2005）木材表面の汚れと汚染の防止，日本福祉工学会第 8 回学術講演会講演論文集，69-70.



図1 JR駅のベンチ
環境汚染と人的汚染で汚れがめだちます。

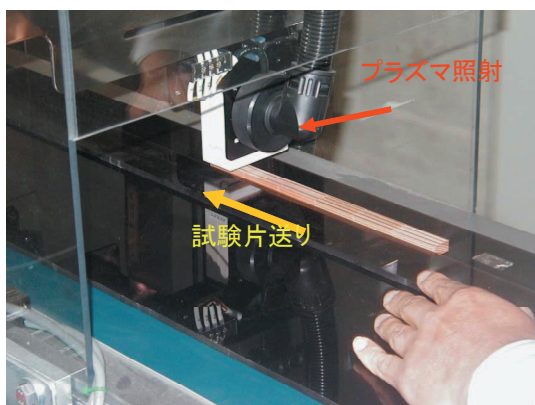


図2 プラズマ処理による木材表面の親水化処理
アークプラズマとエアによる大気中プラズマ方式。装置は、春日電機（株）製 PS-601、出力電圧 10KV、電流 60mA。

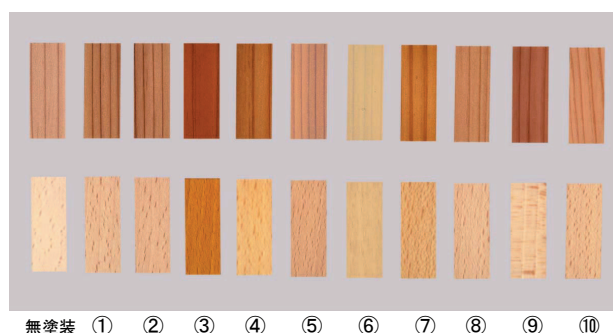


図3 汚染実験に供した試験片
スギ・ブナ材、幅 15mm×長さ 40m、表面#240 サ
ンダーがけ後市販塗料を塗布

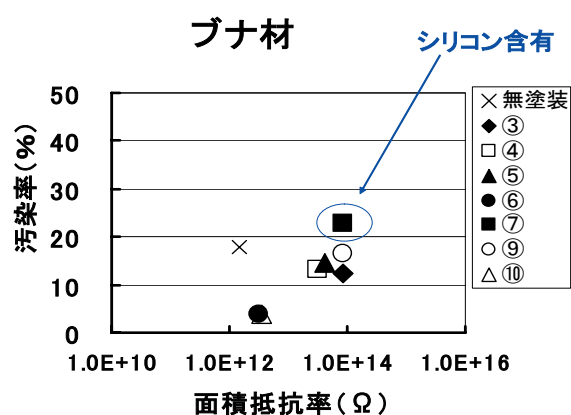


図4 カーボン汚れ (CB 汚染)
一般に CB は、付着しやすく、とれにくくなります。また、表面の帯電性 (面抵抗率) が大きいほど、汚染率が高くなります。シリコンを含有した表面は、汚染率が高くなります。



図5 スギ材塗装面 (造膜) の CB 汚染



図6 スギ材無塗装面の CB 汚染

塗装表面では、プラズマ処理することにより、CB が付着しなくなりました。

無塗装面は、プラズマ処理をしても、内部に侵入した CB は、洗浄出来ませんでした。

接着性能を向上させて木質ボードを高耐久化する

背景と目的

建築廃棄物を原料として木質ボードを製造することは、循環型社会を形成させるために極めて重要ですが、耐久性が不十分でした。そこで、建築廃棄物を原料とした木質ボードの耐久性を向上させ、その使用する環境範囲を広げることが必要です。そのため、原料である木材そのものの耐久性をアセチル化処理で向上させ、さらにオゾン処理により原料であるアセチル化木材の接着力を向上させることで、高耐久性木質ボードとすることを目的としました。

成 果

親水性である木材をアセチル化し疎水性にすれば、耐久性が向上します。接着力の向上にはオゾン処理が有効です。そこで、アセチル化木材をオゾン処理（図 1 および図 2）したものを原料としました。接着剤には高耐久性であるフェノール樹脂を用いました。図 3 に製造した木質ボードを示します。図 4 に接着強さを示しますが、アセチル化オゾン処理により接着強さが未処理の約 2 倍に増加しました。さらに接着耐久性を評価するために非常に過酷な耐久性試験である米国材料試験規格（ASTM）6 サイクル試験を実施しました。厚さ膨張率は未処理の $1/3$ 以下に低下し（図 5）、接着強さも 0.6MPa という十分な値を示しました（図 4）。この理由として、フェノール樹脂の接着力が

向上したためと考えられます。一般的にフェノール樹脂は木材中に過剰浸透し、接着不良を起こしやすいです。そこで浸透の程度を測定するために接触角を測定しました（図 6）。未処理の場合、接触角がたいへん小さく、浸透しやすいことがわかりました。しかし、アセチル化では接触角が大きくなり、浸透が抑制されました。さらに、アセチル化オゾン処理ではアセチル化より接触角が小さくなりました。オゾン処理によって表面が改善され、フェノール樹脂との親和性が向上したと考えられます。アセチル化オゾン処理は、浸透抑制効果と表面の改善が効果的に作用したと考えられます。こうして、従来の木質ボードでは実現できなかった高耐久性を実現しました。

成果の利活用

得られた成果は、すでに「木質板およびその製法」として特許を取得しており、企業による製品化に発展させます。

主な発表文献

- 1) 高麗秀昭・近江正陽（2004）メラミンおよびフェノール樹脂を用いたアセチル化ファイバーボードの寸法安定性に及ぼすオゾン処理の効果，木材工業，59，398-404.
- 2) 高麗秀昭・木口実・岩田立男：木質板およびその製法、特許 3312128 号



図1 オゾン発生装置

オゾン処理は非常に簡単な装置で行われます。



図2 オゾン処理の様子

オゾン処理は気相法で行い排出されるのは酸素のみです。



図3 製造した木質ボード

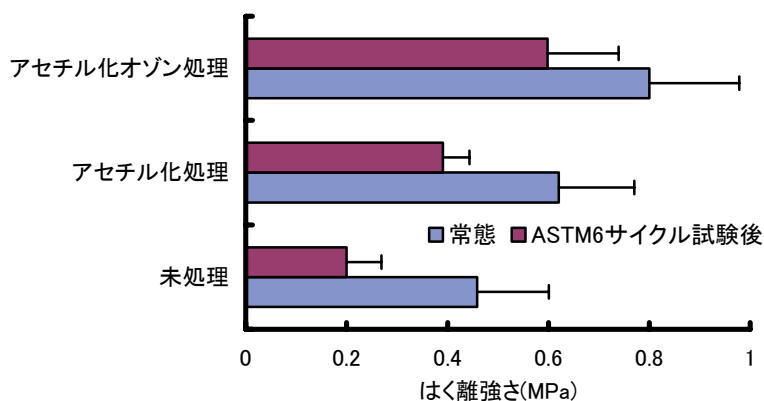


図4 常態およびASTM6サイクル試験後の接着強さ

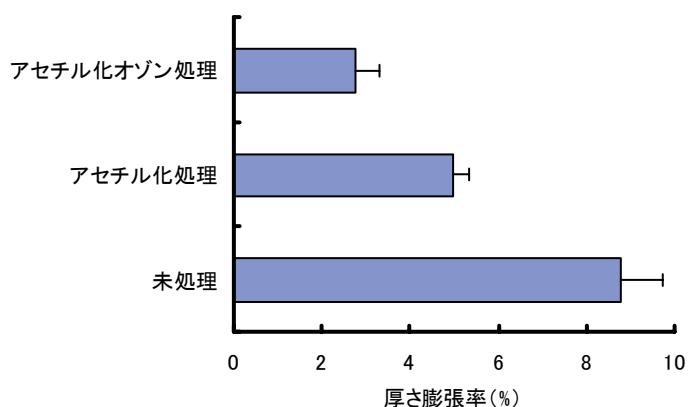


図5 ASTM6サイクル試験後の厚さ膨張率

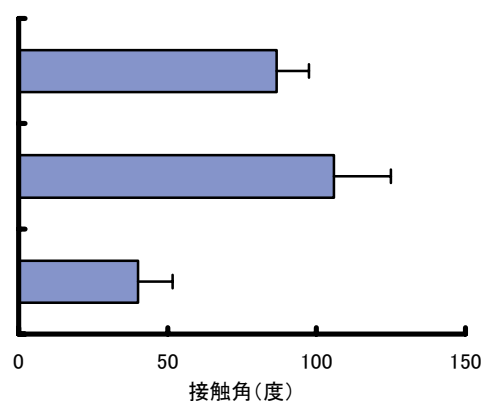


図6 フェノール樹脂の接触角

アセチル化処理とオゾン処理、さらにフェノール樹脂を接着剤として使用した場合にたいへん優れた高耐久性ボードの製造が可能であることがわかりました。

環境に調和した方法で木材をシロアリから守る

背景と目的

木質材料をシロアリ等の被害から長期間保護するために、近年、環境への負荷を考慮しつつ薬剤の使用量を低減した木材保存技術の開発が強く求められています。

本研究では、シロアリが熱処理木材を好んで食べるようになることから、この特性を使った新しい防除法の可能性を明らかにしました。まずはじめに熱処理木材に対するシロアリの嗜好性を明らかにする目的で、熱処理条件とシロアリの木材消費量との関係を解析しています。

防除法としては熱処理木材と薬剤、あるいは熱水抽出物と薬剤を同時にシロアリに食べさせる方法が考えられます。シロアリ体内への薬剤の取り込みを促進させることにより、より少量の薬剤で効率よくシロアリを防除する方法を開発することを目的としています。

成 果

シロアリは、木材を 200℃程度までの温度域で熱処理すると、熱処理しない木材よりも好んで加害するようになります。

本研究では、木材の熱処理温度および処理時間が異なるスギ心材を調製し、シロアリによる木材の質量減少量を計測して、熱処理条件とシロアリの木材摂食量との関係を解析しました。その結果、実験した 150℃以下の温度域では処理温度が高く、かつ処理時間が長いほどシロアリに大きく加害されることがわかりました。また、木材の処理温度・処理時間とシロアリの木材摂食量との間に直線関係があることを明らかにしました（図 1）。

さらに、熱処理の一つである蒸煮処理を施したカラマツ心材を熱水抽出し、その熱水抽出物と食毒効果のあるホウ酸とを混合してシロアリに投与する実験を行いました。兵蟻（へいぎ）は大顎が変形しているため、直接餌となる木材等をかじって食べることができず、職蟻（しょくぎ）の食べた餌の吐き戻しや糞をもらって生きています。本実験の結果、兵蟻にもホウ素が検出されたことから、直接餌を食べない個体へも食毒効果のあるホウ酸が移ること、また、熱水抽出物を添加するとシロアリ体内へのホウ酸の取り込み量が増加することを明らかにしました（表 1）。

成果の利活用

大学との共同研究で進めた熱処理に対するシロアリの嗜好性効果に関しては、複数の企業が注目し、ベイトシステムの基材等へ利用を開始しています。

主な発表文献

- 1) 大村和香子 (2002) 蒸煮カラマツ心材抽出物を利用したイエシロアリ防除への応用基礎研究, 環動昆, 13, 19-28.
- 2) 大村和香子・加藤英雄・小林 功・桃原郁夫 (2004) スギ心材の熱処理条件とシロアリの摂食量との関係, 木材工業, 59, 170-173.

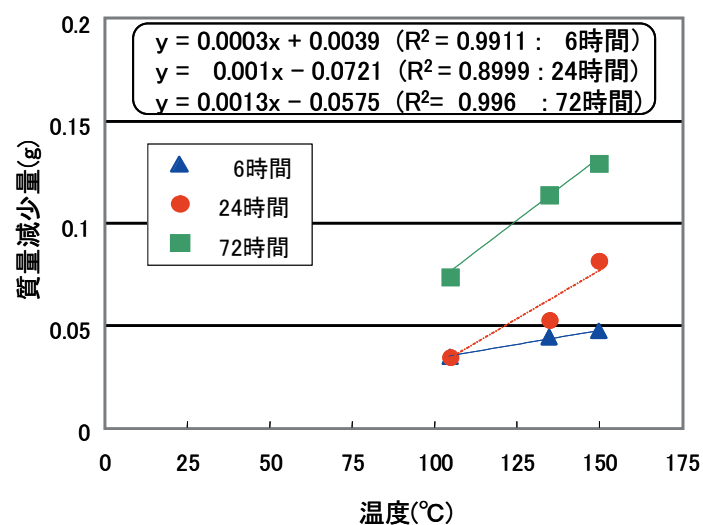


図1 スギ心材に対する熱処理とシロアリの食餌による木材質量減少量との関係
(温度一定、時間可変)

熱処理温度を高く、かつ処理時間を長くするほどシロアリ
に大きく被害されるようになりました。

表1 カラマツ蒸煮処理材抽出物(S-Water)添加による
ホウ素のシロアリ体内取り込み促進効果

投与液のホ ウ酸濃度		ホウ素量 ± 標準誤差 (ng/termite)		
		兵蟻投入区		兵蟻未投入区
		兵蟻	職蟻	職蟻
ホウ酸のみ	0 %	3.06±2.54 e	2.40±1.02 e	4.92±0.61 e
	0.1 %	7.32±1.67 e	46.8±6.92 de	44.0±3.89 de
	2.0 %	115±1.62 de	368±32.5 c	476±31.1 b
ホウ酸 + S-Water	0 %	0.00±0.00 e	3.71±0.60 e	0.65±0.17 e
	0.1 %	10.6±2.08 e	46.7±10.4 de	43.3±4.26 de
	2.0 %	146±19.4 d	447±39.8 bc	610±29.0 a

(注) 表中の同じアルファベット文字は互いに有意差がないことを示す (P=0.05)

直接餌を食べることができない兵蟻へもホウ酸が取り込まれること、
カラマツ蒸煮処理材抽出物を添加すると、シロアリ体内へのホウ酸の
取り込み量が増加することが明らかになりました。

できるだけ少ない防火薬剤で木質材料を燃えにくくする

背景と目的

火災に強い木質材料の開発は、木材の新たな用途を開拓する上で大きな課題です。しかし、準不燃材料や不燃材料を目指すには、多量の防火薬剤を木材に注入しなければなりません。

本研究では、防火薬剤の注入と表面塗装の組合せに着目し、塗装には材料表面の仕上げ性能に加え、防火性能向上と薬剤が材料表面に吹き出してくる白華の防止に寄与する機能をもたせることにより、より少ない防火薬剤の注入で、準不燃材料の性能をもつ木質材料を開発することを目指しました。

成 果

本研究では、まず、リン酸系防火薬剤を木材に注入して建築基準法に定められた難燃材料や準不燃材料の性能を有する材料とするために、防火薬剤の有効成分量としてそれぞれ 80kg/m^3 、 160kg/m^3 程度の注入が必要であることを明らかにしました。

次に、仕上げ性能と防火性能をあわせ持つ塗料として無機系塗料に着目し、防火薬剤の注入・固定と塗装の組合せによる相乗効果を検討しました。防火材料の性能は、コーンカロリーメータを用いて、難燃材料は 5 分間、準不燃材料は 10 分間の加熱試験を行い、総発熱量が 8MJ/m^2 以下であることが求められます。厚さ 15mm のアカマツとシナノキを用いた実験で、防火薬剤の固定量が 100kg/m^3 であっても、無機系塗料の塗布を組み合わせること

で、準不燃材料のレベルの性能が得られることがわかりました（図 1）。

実際の材料開発に当たっては、より簡易な注入方法が求められます。温冷浴法は、減圧・加圧による注入法に比べ簡易な薬剤注入方法ですが、薬剤の浸透が悪く、また、見かけ上同量の防火薬剤が注入されていても、防火性能は一般に減圧・加圧法に比べて劣ります。しかし、温冷浴法で防火薬剤を約 150kg/m^3 注入した厚さ 6mm のシナノキ単板を 3 層積層し、厚さ 15mm に仕上げた試験体は、表面に無機系塗料を塗布することにより 10 分間の総発熱量を 8MJ/m^2 以下とすることができました。

なお、本研究は、岩手県林業技術センターとの共同研究により行いました。

成果の利活用

開発した防火材料は、岩手県等と特許申請を行うとともに民間への技術移転を行いました。また、シナノキの 3 層材料は、平成 16 年 12 月 10 日に準不燃材料の国土交通大臣認定（申請者：（合）ヤマゼン木材、認定番号：QM-0301）を受け、JR 盛岡駅西口の複合施設内の内装材料として実用に供されました（図 2）。

主な発表文献

- 1) Harada, T., Uesugi, S., Taniuchi, H. (2003) Evaluation of fire-retardant wood treated with poly-phosphatic carbamate using a cone calorimeter, Forest Products J., **53**(6), 81-85.
- 2) 中嶋康・穴沢靖・原田寿郎・山崎重雄（2005）不燃木材の製造方法，特願 2005-48318，2005 年 2 月 24 日

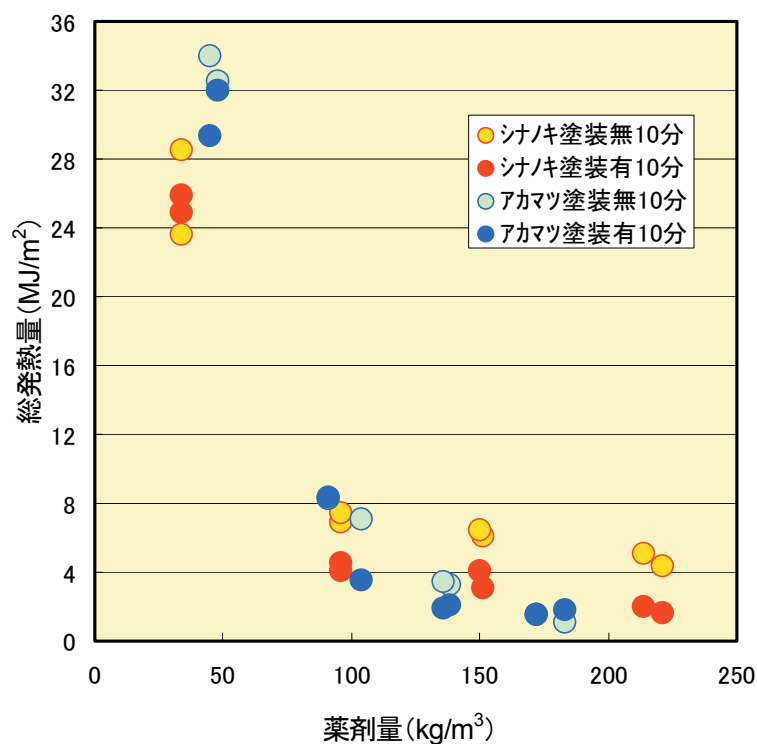


図1 難燃薬剤固定量とコーンカロリーメータ試験（10分間）での発熱量の関係

準不燃材料は10分間の総発熱量が8MJ/m²以下でなければなりません。防火薬剤を注入した木材の防火性能は、無機系塗料を塗布することで向上し、より少ない難燃薬剤量で準不燃材料の性能が得られました。



図2 開発した準不燃木材と施工例

開発された準不燃材料は、JR盛岡駅西口の複合施設内の壁面（内装材料）に用いられました。

超臨界/亜臨界水処理で木質廃棄物から糖を作る

背景と目的

木質系廃棄物は多量にあるにもかかわらず、焼却、投棄されることが多く、リサイクルのための技術開発が求められています。超臨界水及び亜臨界水による処理は、その高速分解性、環境低負荷性から、高分子材料の分解・再資源化技術として近年脚光を浴びています。

本研究は、超臨界水及び亜臨界水処理により木材から糖類を高速かつ高効率に生産する処理条件、処理に必要なエネルギー・コストの削減方法を見出すことを目的としています。

成 果

木粉を超臨界水及び亜臨界水を用いて処理する（図 1）と、反応液中の水可溶分にグルコースやセロオリゴ糖などの糖類が多く含まれることが明らかとなりました。高い糖収率が得られた反応条件は、スギ木粉 2g に対して、圧力 25MPa、水供給量約 62g/min、反応温度 310～320℃のときでした（図 2 左）。このとき木粉と亜臨界水の重量比は約 1：500 でした。また、スギ木粉と水が十分に接触できるように前処理を施すことでさらに糖収率は増加し、最大で 70%近くまで達しました。

反応に要するエネルギー・コストを削減するには、超臨界水／亜臨界水の使用量をいかに減らすかがポイントとなります。反応器を大型化（木粉量 30g）させ、水流量を最初は 50g/min として反応器温度を短時間で上昇させ、セルロース分解開始温度である 300℃に達した段階で 22g/min に減

量すると、糖収率の低下を最小限に抑えながら単位重量の木粉の処理に必要な亜臨界水の量を約 11 分の 1 に削減できました（図 2 右）。

糖類に分解された反応溶液をエタノール化など次の工程に移行させる際には、溶液の濃縮が必要となりますが、超臨界水／亜臨界水処理では反応液の圧力を膜分離の推進力に利用できることから、濃縮方法として逆浸透膜による方法が適していることがわかりました。

残渣は主としてリグニン由来物で構成され、その元素組成は、C：H：O＝69：4：26 と処理前の木粉に比べて炭素の割合が非常に高いものでした。発熱量は約 27,000J/g と石炭にほぼ匹敵し、また、灰分量は約 0.4wt%と非常に低いことから、残渣は、亜臨界水処理を行う際の熱源としての利用が有望です。

成果の利活用

ラボスケールでの実験データ蓄積はほぼ終了したことから、今後はこれまでの実験装置の十数倍規模の処理能力を有するベンチプラントを用いて実験データを採取し、本技術の実用化を目指します（図 3）。

主な発表文献

- 1) 松永正弘・松井宏昭（2004）超臨界水及び亜臨界水処理によるスギの高速化学変換，木材学会誌，50(5)，325-332.
- 2) 松永正弘・松井宏昭・山本誠一・大塚剛樹（2005）木材からアルコールを創り出すー超臨界水および亜臨界水処理を用いた木材の高速糖化ー，農林水産技術研究ジャーナル，28(12)，25-29.



図1 半流通式反応装置（ラボスケール装置）

木粉を超臨界水及び亜臨界水処理で処理する装置。反応器の中にスギ木粉を仕込み、反応器内温度を 160℃ 前後まで昇温させてから、250～350℃の亜臨界水を流通。処理圧力は 15～25MPa。水供給量は 30～130g/min の範囲で変化。反応器の大きさは最大仕込み量 5g のものと 30g のものを使用。

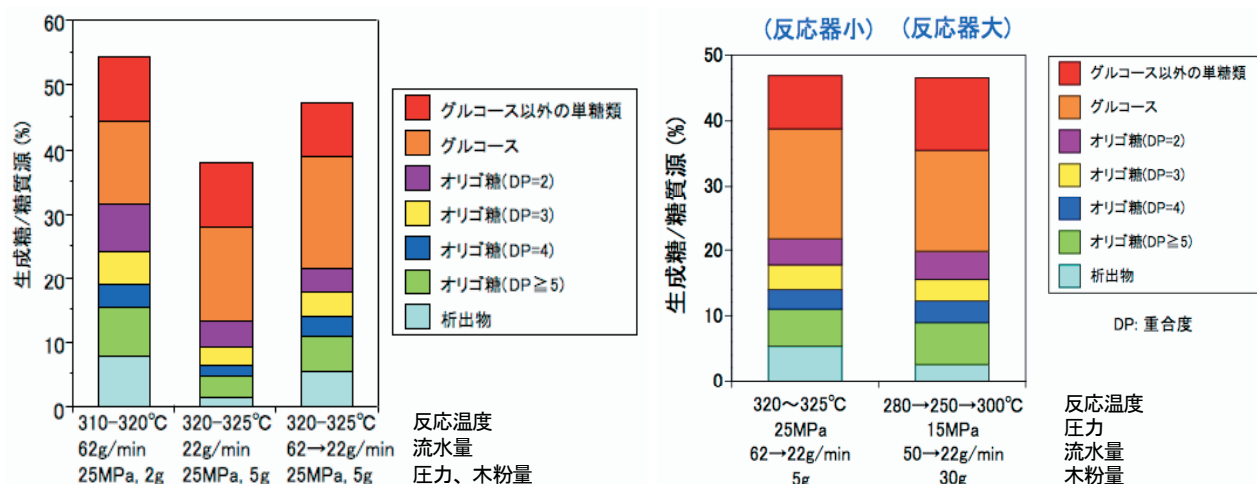
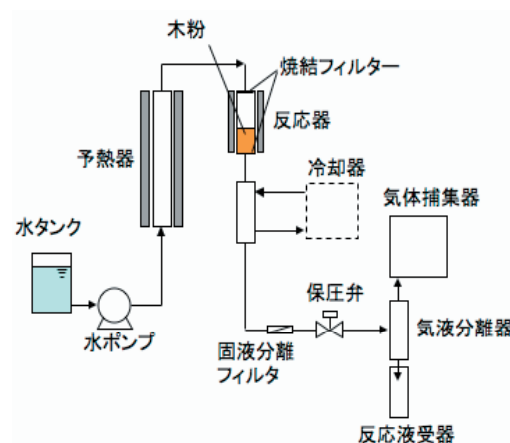


図2 亜臨界水処理によって木粉から得られた糖類の種類と生成量

スギ木粉 2g、圧力 25MPa、水供給量約 62ml/min、反応温度 310～320℃のときの糖収率は前処理なしで 55%。反応器の大きさを大きくし（木粉処理量 30g）、流量を変化させた条件でも糖収率は維持。



図3 ベンチプラントの反応装置

装置構造は半流通式を基本としたが、スラリーポンプによる木粉スラリーの供給も可能な構造。木粉の最大処理量は約 500g（全乾質量）で、ラボスケール装置の約 17 倍。実用化を目指した実験を展開中。

オゾン前処理により木質バイオマスの酵素加水分解(糖化)を促進する

背景と目的

温室効果ガス排出量削減の一環として、化石燃料（ガソリン）の一部を、バイオマス起源の「バイオエタノール」に代替することが進められています。木質バイオマスは主成分であるセルロースを加水分解（糖化）した後、発酵によりエタノールを生産することができます。酵素で加水分解するには、リグニンを予め分解して酵素の作用を高める前処理が必要となります。

本研究は、木質バイオマスの酵素加水分解を促進するための前処理法を開発することを目的としています。

成果

現在及び今後我が国で供給される木質バイオマスは、住宅解体材や製材端材及び間伐材など、そのほとんどが針葉樹材です。針葉樹のリグニンは広葉樹と比較して難分解性であり、これまで研究されてきた爆砕や蒸煮といった水熱系の前処理では、糖化を目的とした場合十分な効果は望めませんでした。

そこで、オゾン（ O_3 ）を用いて針葉樹リグニンを分解することを試みました。オゾン前処理と酵素加水分解（糖化）法による木質バイオマスからのエタノール生産の概要を図 1 に示します。この前処理では、オゾンガスを直接木粉に作用させるだけで、その投入オゾン量に比例してリグニンが分解され、最終的に、針葉樹のスギ木粉で全多糖

の 8 割を酵素加水分解することができました。さらに、処理量 50kg スケールのテストプラントでオゾン処理した試料でも、同様に加水分解率が向上することを確認しました（図 2）。

前処理と最終的に生産されるエタノールの間のエネルギー収支を図 3 に示します。エネルギー収支がマイナスとなる程度までオゾン前処理を行う場合には、原料の一部をガス化発電等によりオゾン発生のためのエネルギーとするなどの対策が必要です。また、表 1 に示す試算から、酵素加水分解により 1 kg の糖を得るために必要なオゾン前処理コスト（生産費）は、処理の程度に関わらず約 110 円となりました。

成果の利活用

オゾン前処理による酵素加水分解率の向上は、スギ木粉以外の針葉樹や広葉樹系試料に対しても確認されました。水熱系前処理（蒸煮・爆砕）では効果の低い針葉樹材で特に高い加水分解率を達成したことから、間伐材・建築解体材などをエタノール生産の原料として利用する場合の前処理に非常に有効な方法であることが明らかになり、針葉樹廃材の利用に道を開きました。

主な発表文献

- 1) Sugimoto, T., Magara, K. and Hosoya, S. (2003) Effect of Ozone Pretreatment on Enzymatic Saccharification of Mushroom Grown Wood Meal, Proceedings of 12th International Symposium on Wood and Pulp Chemistry, **2**, 227-230.
- 2) Sugimoto, T., Magara, K. and Hosoya, S. (2005) Ozone Pretreatment of *sugi* Sawdust for Enzymatic Saccharification-Ethanol Fermentation, Proceedings of 13th International Symposium on Wood, Fibre and Pulp Chemistry, **3**, 379-382.

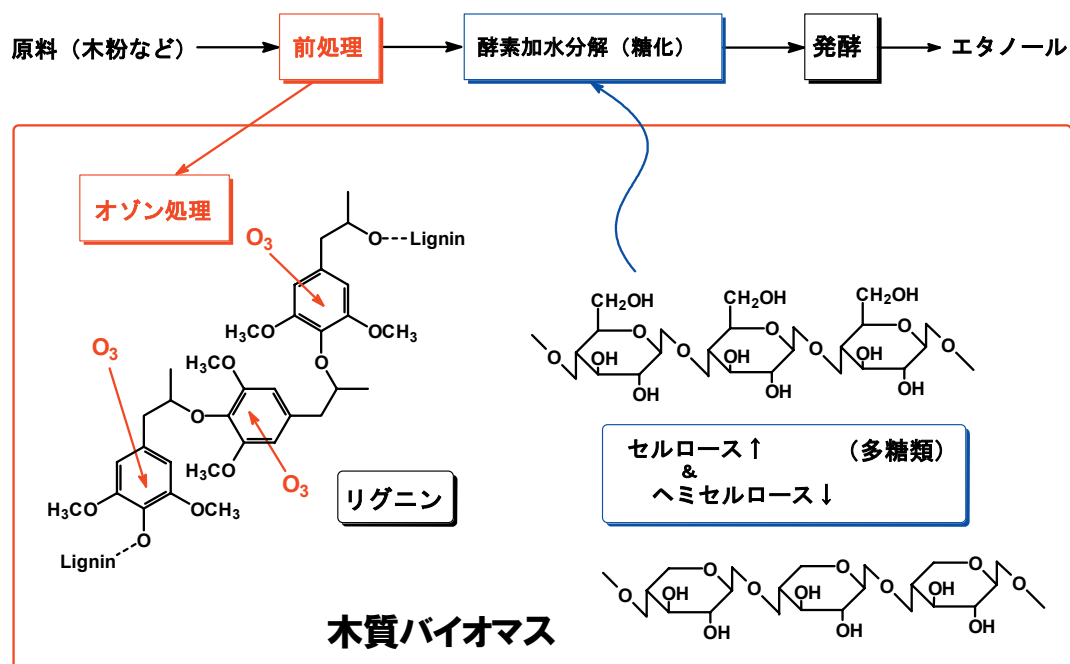


図1 酵素加水分解（糖化）法によるバイオエタノール生産スキームおよびオゾン前処理の反応機構
木質バイオマスの三大主成分（セルロース・ヘミセルロース・リグニン）の1つであるリグニンを、
選択的にオゾンで破壊します。

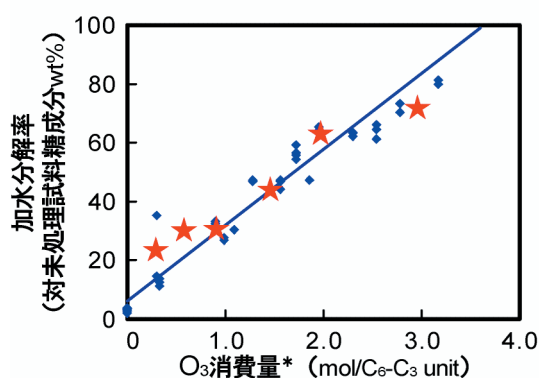


図2 乾式 O₃ 前処理スギのこ屑の加水分解率
（◆：実験室，★：テストプラント）

*テストプラントについては O₃ 投入量

オゾン前処理を行うに従い、加水分解率が
向上しています。

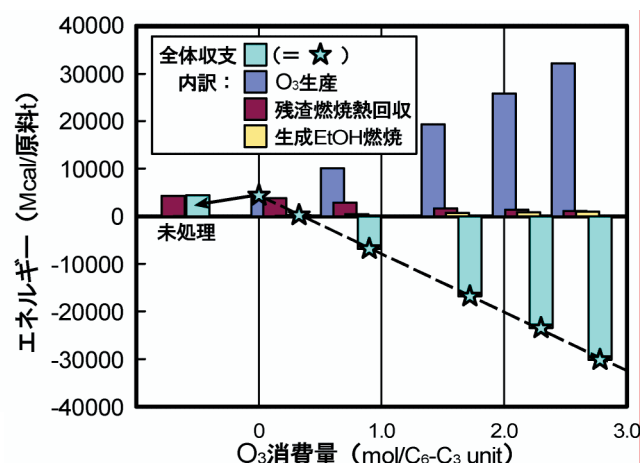


図3 乾式 O₃ 前処理のエネルギー収支概算（-★-）

投入オゾン量が増えれば、その生産に必要な
エネルギーも増えます。

表1 スギ材オゾン前処理テストプラント運転状況

前処理時間 (hr)	2	4	6	8	10
原料投入量 (kg) (水分含む)	45	50	45	50	45
投入オゾン量 (mol/リグニン C ₆ -C ₃)	0.50	0.91	1.5	2.0	3.0
電気使用量 (kWh)	28.8	69.6	91.2	125	144
加水分解率 (%)	—	30.5	43.9	63.0	71.8
生産費 (円/kg 糖)		108	105	101	123

オゾン前処理の程度に関わらず、生産費はほぼ一定となります（表の最下段）。

微生物を利用して廃棄木材から新規のプラスチックを作る

背景と目的

多量に排出される木質廃棄物系バイオマス（間伐材、製材廃材、きのこ廃菌床、茶殻）の利用促進は、資源の有効利用の観点から極めて重要な課題です。

本研究は、複雑な化学構造を持つため殆ど燃焼され、熱エネルギーとして利用されているのみであるリグニン、ポリフェノール類を、微生物の代謝機能を用いて中間物質に変換し、それを原料にして様々な高機能性高分子製品を開発することを目的としています。

成 果

リグニン分解微生物 *Sphingomonas paucimobilis* SYK-6 のリグニン代謝機能を遺伝子工学技術により再構成し、針葉樹型リグニンの構成成分であるバニリンからバニリン酸、プロトカテク酸を経て有用代謝中間物質である PDC（2-ピロン-4, 6-ジカルボン酸）へ変換可能な“遺伝子組換えバイオリクター”を構築しました（図 1）。10 リッター発酵槽を用いて PDC 変換を行ったところ 95% 以上の変換率で PDC を得ることが出来ました（図 2）。さらに、リグニン構成成分中の *p*-ヒドロキシ核 C6-C1 構造からの PDC 変換プロセスを確立するため、*p*-ヒドロキシ安息香酸からプロトカテク酸への変換酵素遺伝子 (*pobA*) を取得し、代謝機能遺伝子を再構成した結果、*p*-ヒドロキシ安息香酸から PDC への変換に成功しました（図 1）。

一方、バイオリクターにより生産される PDC を反応濾液から高分子材料用に高純度精製する技術開発を行いました。PDC は NaCl と複塩を形成し、容易に沈殿として回収する事が出来ますがその後脱塩操作が必要でした。複塩の構造解析から、強プロトン酸を用いた液-液抽出により簡便、高効率に PDC を精製出来る事が明らかとなりました（図 3）。さらに精製 PDC を原料とした新規機能性グリーンプラスチック（ポリエステル）を合成するため、PDC のジオール誘導体である BHPDC（bis(hydroxyl)PDC）を合成し、PDC- BHPDC- 乳酸 (LA) との三元共重合 (PDC/BHPDC/LA) を試みた結果、溶融形成可能なポリエステル (LA 単位含量 $y=0.9$) の合成に成功しました（図 4）。

成果の利活用

廃材、きのこ廃菌床、樹皮、茶殻を出発物質とした PDC 生産システムを構築し、PDC を原料とした新規ポリエステル繊維・フィルム・接着剤、導電性接着剤の製造技術開発により実用化を目指します。

主な発表文献

1) Yuichiro Otsuka, Masaya Nakamura, Kiyotaka Shigehara, Kosuke Sugimura, Eiji Masai, Seiji Ohara, , Yoshihiro Katayama (2005) Efficient production of 2-pyrone 4, 6-dicarboxylic acid as a novel polymer-based material from protocatechuate by microbial function. Applied Microbiology and Bioterchnology , On line.

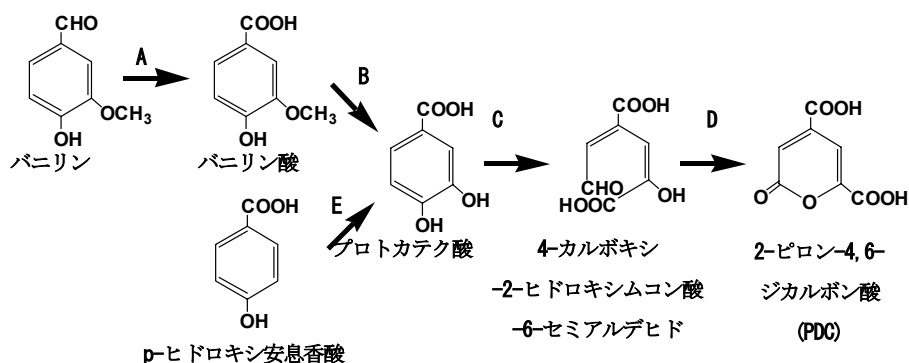


図1 代謝機能遺伝子再構成によるPDC変換

A (ベンズアルデヒドデヒドロゲナーゼ遺伝子)、B (バニリン酸デメチラーゼ遺伝子)、C (プロトカテク酸 4,5-ジオキシゲナーゼ遺伝子)、D (4-カルボキシ-2-ヒドロキシムコン酸-6-セミアルデヒドデヒドロゲナーゼ遺伝子)、E (*p*-ヒドロキシ安息香酸 3-モノオキシゲナーゼ遺伝子:*pobA*) を再構成しバイオリクターを構築。

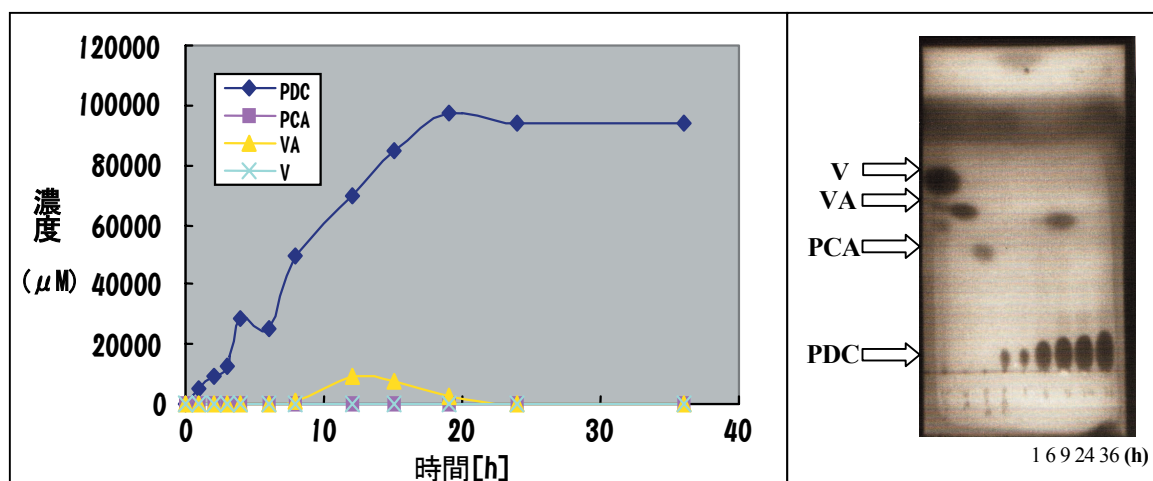


図2 10リッター発酵槽を用いたバニリンからのPDC変換の経時変化

(左：高速液体クロマトグラフィー分析による経時変化 右：薄層クロマトグラフィー分析による経時変化)

バニリン 100mM を 12 時間かけて添加。添加終了後 8 時間 (培養 20 時間) でほぼ理論値の収量を示し、最終的に培養 36 時間 (添加後 24 時間) で 95%以上の PDC 変換率。(V : バニリン、VA : バニリン酸、PCA : プロトカテク酸)

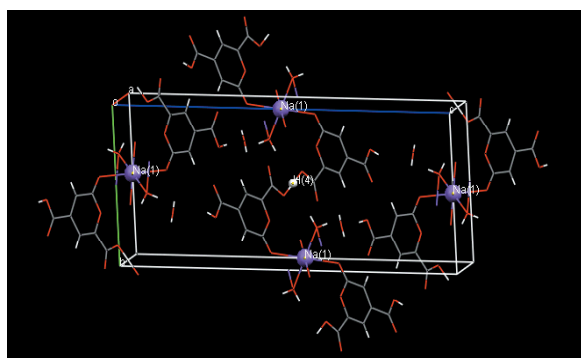


図3 X線結晶回折によるPDC- Na^+ 複塩の構造 (紫球; Na^+ 、白球; 水素結合している水素) $\text{PDC}_2\text{Na}_1(\text{OH}_2)_4$ と組成決定され、 Na^+ は二つのラクトン環ケトンと四分子の水が配位した八面体の中心に位置し、対アニオンは $-\text{COO}^- \cdots \text{H}-\text{OOC}-$ の水素結合を形成。

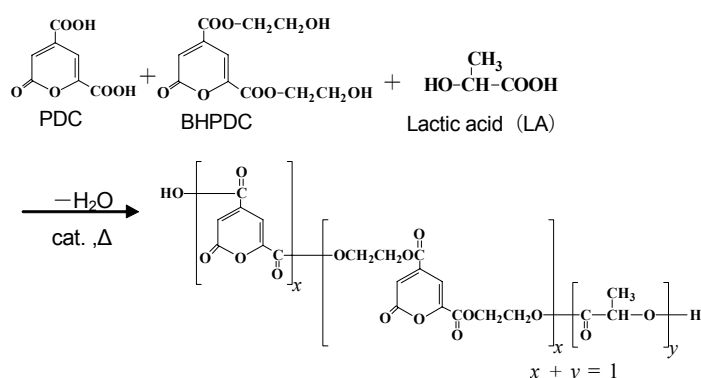


図4 PDC/BHPDC/LAによる三元共重合
BHPDC : bis(hydroxyl)PDC、LA : 乳酸

セルロースから機能性フィルムを製造する

背景と目的

セルロースは木材の細胞壁を構成している主成分で、天然に最も多く存在し、再生産される生物資源です。セルロースを今以上に有効に利用することは、自然環境の保全を主眼とする循環型社会の構築に不可欠といえます。そのためには、セルロースを新たな機能性材料に変換する高度な加工技術の開発が必要となります。

本研究では、セルロースからの幅広い応用分野に適応し得るフィルムの調製方法や、その構造・物性を解明することを目的としました。

成 果

ジメチルアセトアミド／塩化リチウムを溶媒とするセルロース溶液を、水蒸気によって凝固させて水洗すると、水で膨潤したセルロースの透明なゲル状フィルムが得られます。このフィルムは軟らかいので、ゴムのように引っ張って伸ばした状態で固定することができます。その際、一方向にこのフィルムを延伸して乾燥固定すると(一軸延伸)、セルロースの分子鎖も延伸方向に対して平行に並びます(図1)。一軸延伸することで、セルロース分子鎖の並んだ延伸方向には、引張強度で300MPaを超える強いフィルムができます。このフィルムは、その垂直方向の強度は弱いものの、良

く伸びるフィルムにもなります(図2)。このように、フィルム中のセルロース分子鎖の並べ方を変えることによって、フィルムの強さと伸びをコントロールすることができます。たとえば、四方へ同時に同率で延伸すると(二軸延伸)、セルロース分子鎖はフィルム面でランダムに並ぶため、フィルムの強度や伸びはフィルムの全方向で同等になります。

以上のように、ゲル状のフィルムを最初に調製して、その後の加工法を工夫することにより、様々な性質を持つセルロースフィルムを製造することが可能となりました。

成果の利活用

新機能を持つ天然多糖類セルロースフィルムを調製する技術が確立されたことは、新たな用途開発への道筋ができたことになり、より実用に即した開発に繋がります。とくに、延伸セルロースフィルムは、透明でフレキシブルな音響デバイス(スピーカー)としての応用が期待されます。

主な発表文献

- 1) 戸川英二(2005) 非結晶セルロースの高次構造制御による材料化, セルロース学会関東支部ミニシンポジウム講演要旨集, 21-25.
- 2) Kondo Tetsuo, Nojiri Masanobu, Hishikawa Yukako, Togawa Eiji, Romanovicz D., Brown R. M. (2002) Biodirected epitaxial nanodeposition of polymers on oriented macromolecular templates, Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, **99** (22) : 14008-14013

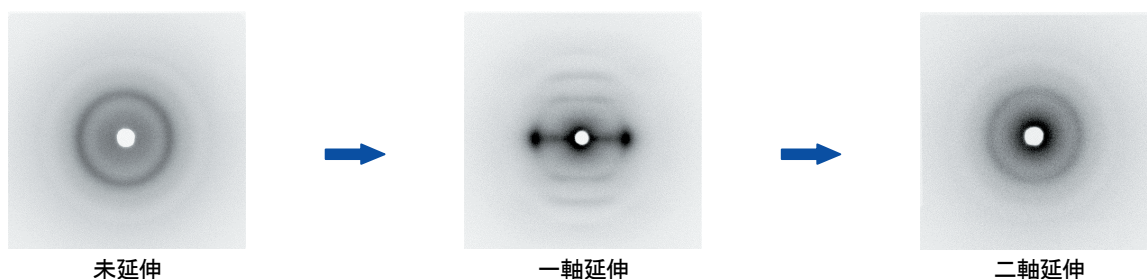


図1 延伸セルロースフィルムのX線回折像

延伸方法によって形成される構造（セルロース分子鎖の配列）が異なっているため、各フィルムX線回折像もそれぞれ異なります。

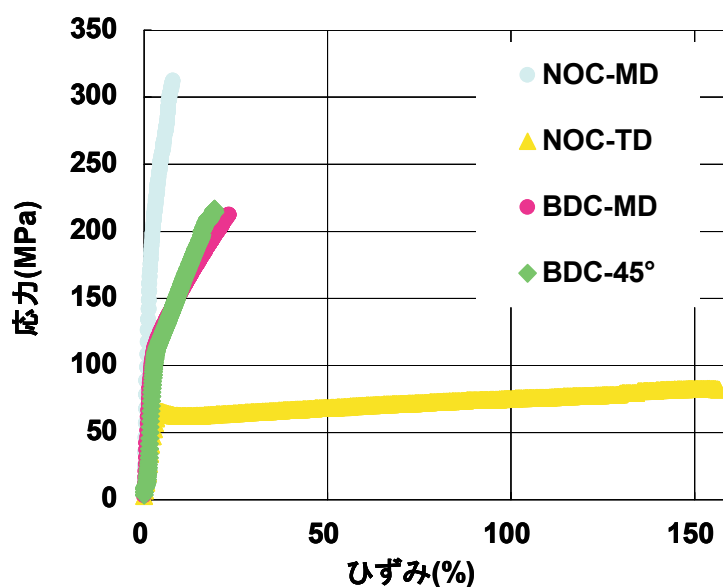


図2 延伸セルロースフィルムの応力—ひずみ曲線

NOC-MD:一軸延伸・延伸方向, -TD:横方向

BDC-MD:二軸延伸・延伸方向, -45° :対角線方向

一軸延伸からは縦方向に強く横方向に伸びるフィルムが、二軸延伸からは縦横のバランスがとれたフィルムが調製されます。このようにフィルムの性質がそれぞれ異なるのは、分子鎖の並び方がそれぞれ異なり、その影響を受けるからです。

キトサン膜を用いた浸透気化法で水をきれいにする

背景と目的

キトサンはカニやエビの甲羅から分離したキチンをアルカリ処理でキトサンに変換して製造されています。一方、キトサンはキノコ類にも含まれ、キチンは昆虫、キノコ、カビ、菌類にも存在することから、森林はキチン・キトサンを豊富に生産し、かつ循環している環境とも言えます。デンプンやセルロースと同様にキトサンも多糖類の一つです。デンプンとセルロースはD-グルコースのみが繋がった多糖類ですが、キトサンはD-グルコサミンが数百から数千個もつながった窒素元素を含むアミノ多糖類です。

本研究では、天然多糖類資源であるキトサンを新たな機能性材料に変換して利用する技術開発を目的としています。

成 果

キトサンは酸性水溶液に溶かして繊維や膜など種々の形状に加工することができます。そして抗菌性、保湿性、高透湿性、染色性などの種々の機能が見出されています。

本研究では、キトサンの高い透水性に着目して水を浄化する膜材料として利用する技術開発を行いました。水を浄化する方法は種々ありますが、最近では濾過膜という技術が主流です。濾過膜には孔があるので、不純物や汚染物がある一定の割合で水と一緒にすり抜けてしまうという欠点があります。昔から行われている蒸留法の方が理想に近い浄水方法ですが、沸騰で生じる飛沫が汚れの原因になります。そこでキトサンから孔の無い薄膜を調製し、これを浸透気化法（パーバレーション法）でアンモニアを除去して水を浄化する技術を開発しました。

浸透気化法による水の浄化は減圧蒸留の水面に

キトサン膜を張って飛沫を生じない状態で減圧して純水を回収する方法です。濾過法では水に溶けているアンモニアを除去できませんが、図1に示すように本研究で製膜したキトサン膜を使うと約60%のアンモニアを除去できました。この数値は温度を変えても殆ど変化しませんので、その分離メカニズムは拡散機構ではなく、図2に示すようにキトサン膜表面の+に荷電したアミノ基と、アンモニア水中+に荷電したアンモニウムイオンとの間に働く電氣的反発機構で説明できます。

さらに、キトサン膜を透過した水蒸気とアンモニア蒸気から、アンモニア蒸気を選択吸着できる吸着剤で除去してから冷却液化することにより、水分のみを純水として回収することにも成功しています。

この浸透気化法と吸着法を組み合わせた浄水法は米国特許として登録を承認されました。

成果の利活用

キトサン膜を用いた浸透気化法による浄水技術の確立によって、民間企業等での浄水装置の実用化が期待されます。

主な発表文献

- 1) Hirabayashi, Y. (2002) Pervaporation Process for the Removal of Ammonia from Water through Chitosan Membrane and Silica Gel, Chitin and Chitosan Research, 8(1), 1-6.
- 2) Hirabayashi, Y. and Onishi, N. (2003) Method for Regenerating Inorganic Porous Particles, Method for Purifying water, and continuous Water Purification Device, United States Patent.

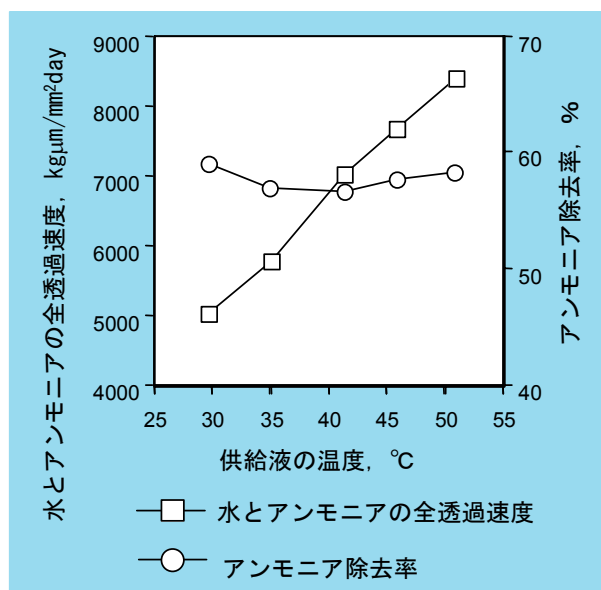
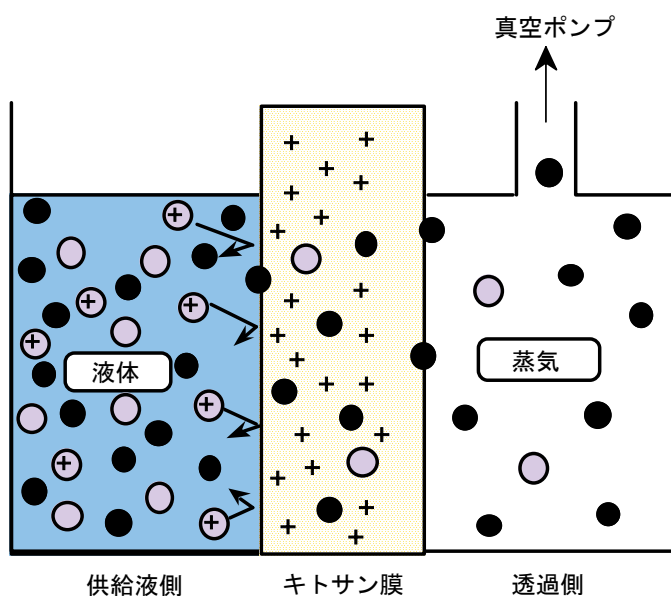


図1 浸透気化法によるアンモニアの除去

アンモニア除去率は温度に依存しておらず一定なため、アンモニアの分離は拡散機構によるものではないことを示しています。



- 水分子
- 溶質分子
- ⊕ プラスに荷電した溶質分子(アンモニウムイオン)
- + 膜中のプラス荷電サイト(+に荷電したアミノ基)

図2 電氣的反発による溶質分子の膜への浸透抑制機構を表すモデル

アンモニアの分離は、キトサン膜の表面とアンモニア分子との電氣的反発によって起こります。

建築解体材から厚物パーティクルボードの床下地材を作る

背景と目的

建築解体材から発生する木材をリサイクルして製造されたパーティクルボードについては、構造用材として利用するために必要なデータやマニュアルの整備が不十分でした。そこで、建築解体材の大量利用を可能にする厚物パーティクルボードについて、住宅等の高い要求性能に応えられるためのデータを揃えました。

成 果

厚さ 30mm の厚物パーティクルボード(PB)は、通常床下地材として使用される構造用合板(15mm 厚)に相当する曲げ強度を持っていました。また、長期間荷重が継続してかかる際の強度性能について、厚物 PB の方が通常の PB (厚さ 15mm) より高いことを明らかにしました(図 1)。

この厚物 PB を用いた住宅用床は、「住宅金融公庫仕様」の床と同等以上の水平方向の荷重に対する変形しにくさと強度を示しました(図 2)。また、厚物 PB を用いた住宅用の壁は、壁倍率が 5 倍以上で、耐震性能が高いことを確認できました。

厚物 PB と合板フローリング(厚さ 12mm)及び石膏ボード(厚さ 12.5mm 2 枚張り)で構成した床(図 3)は、60 分の準耐火構造の性能を示しました(図 4)。

厚物 PB を用いた床の重量床衝撃音遮断性能は、最も重要な 63Hz 帯域で約 8dB の床衝撃音レベル低減効果を示しました。また、これらの性能を変えずに施工を簡単にする、根太などを省略した根太なし床の仕様を提案しました(図 5)。

これらの結果により、厚物パーティクルボードの住宅床材としての利用が可能であることが確かめられました。

成果の利活用

建築学会規準等の改訂に合わせて、再構成木材の活用に関する提言を行います。また、木構造の設計指針等の作成および建築性能認証の取得等に活用します。

主な発表文献

- 1) 青井秀樹・三井信宏・杉本健一・高麗秀昭・神谷文夫(2003.9) 厚物パーティクルボードを張った水平構面のせん断性能について, 日本建築学会大会学術講演梗概集, C-1, 237-238.
- 2) 原田寿郎・上杉三郎(2004.8) 厚物木質ボードの耐火性能と熱画像による裏面温度の評価, 日本建築学会 2004 年度大会学術講演梗概集, A-2 号, 17-18.

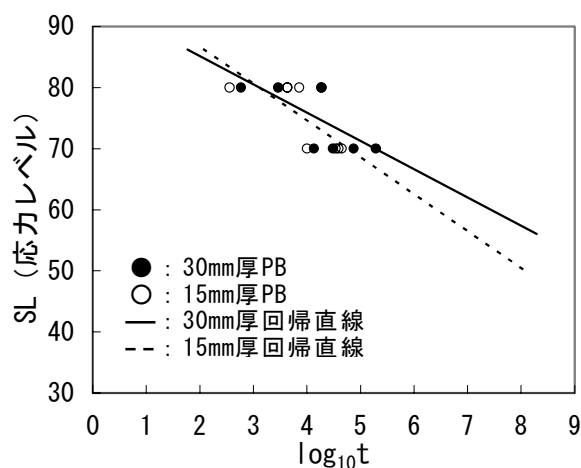


図1 荷重継続時間と応力レベルとの関係

厚さ30mmの厚物PBは従来のPB（厚さ15mm）と比較して、長期間荷重が継続した際に破壊に至るまでの時間が長いことが明らかになりました。

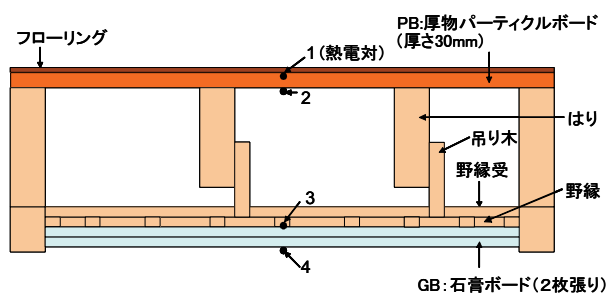


図3 厚物PBを使った住宅床の仕様

(図中の番号は耐火試験時の温度測定位置)

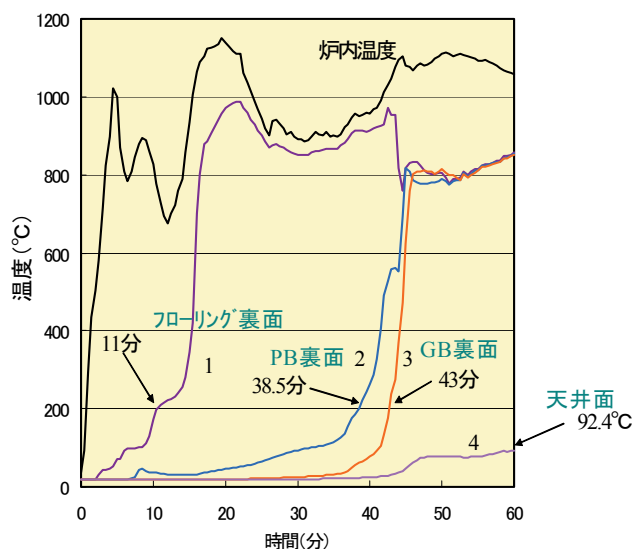


図4 住宅用床の準耐火試験結果

床面から60分間加熱した時点で天井面の温度は約90°Cで、燃え抜けることはありませんでした。(図中の1～4は図3の温度測定点を示す番号)

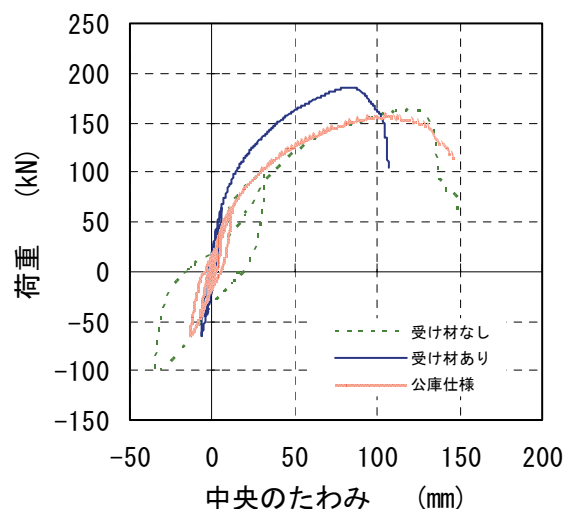


図2 住宅用床の構造性能

地震や風等による水平方向の荷重に対して、住宅金融公庫仕様と比較して同等以上の性能を示しました。

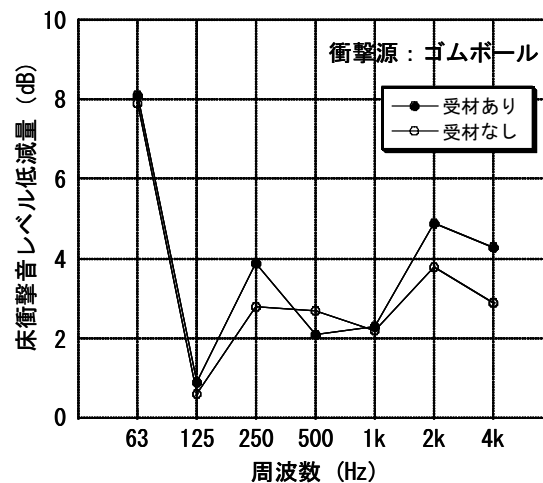


図5 根太なし床の床衝撃音レベルの低減量

根太なし床の2つの仕様でも、63Hzにおいて8dBという大きな低減量を得ることができ、両者の性能に差がないことを確認しました。

廃棄物を原料とした木質ボードを住宅用に使う

背景と目的

建築解体材などの木質廃棄物をボード類として再利用することは、二酸化炭素の蓄積を維持する効果があり、資源の有効利用の観点からも重要です。一方、木質ボード類は、他の建築材料と比べて強度性能に関するデータが少なく、強度が必要な建築材料にはあまり使われていませんでした。特にせん断性能は、木造住宅の耐震性向上に重要な性能でありながら、測定に多大な労力・時間を要するため、データの蓄積が十分ではありませんでした。そこで、簡便な試験装置によって廃棄物を再利用した木質ボードのせん断性能を明らかにし、住宅部材としての新たな用途拡大を目指しました。

成 果

木質ボード類のせん断性能を簡便に測定する装置(図1)を開発し、廃棄物を用いて製造したパーティクルボード(PB)のせん断性能を測定しました。合板(PW1:ラワン・PW2:国産針葉樹・PW3:外国産針葉樹)、木質ボード類(OSB:配向性ストランドボード・MDF:中密度繊維板)等の従来から使用されている住宅部材との比較を行い(図2)、せん断弾性係数(G :耐変形性能の指標)、せん断強度(τ :耐荷重性能の指標)に関する統計的データを整備しました(図3)。

従来から使用されている合板は、耐変形性

能・耐荷重性能は木質ボード類より低いものの、最大荷重後も破断しにくく、一定の荷重を負担しながら大きな変形が可能な性質を持っていました。廃棄物を用いて製造したパーティクルボード(PB)は、最大荷重直後に破断しますが、耐変形性能・耐荷重性能は合板の2倍以上の数値となり、従来の木質ボード類(OSB・MDF)に匹敵する性能を持っていました。

以上のことから、廃棄物を用いて製造したパーティクルボードも住宅部材として実用可能であることが明らかとなりました。

成果の利活用

開発した試験方法はISO規格に採用されました。また、得られた性能データは論文発表や公刊図書への掲載のほか、技術資料として公表され、枠組壁工法建築物構造計算指針に引用されるなど、廃棄物を用いて製造したボード類の木質系面材料の利用推進に寄与しています。

主な発表文献

- 1) 渋谷龍也(2004):木質面材料の強度性能, 木材工業ハンドブック, 丸善, 618-622.
- 2) 渋谷龍也(2006):木質ボード類の種類, 木材科学ハンドブック, 朝倉書店, 350-363.

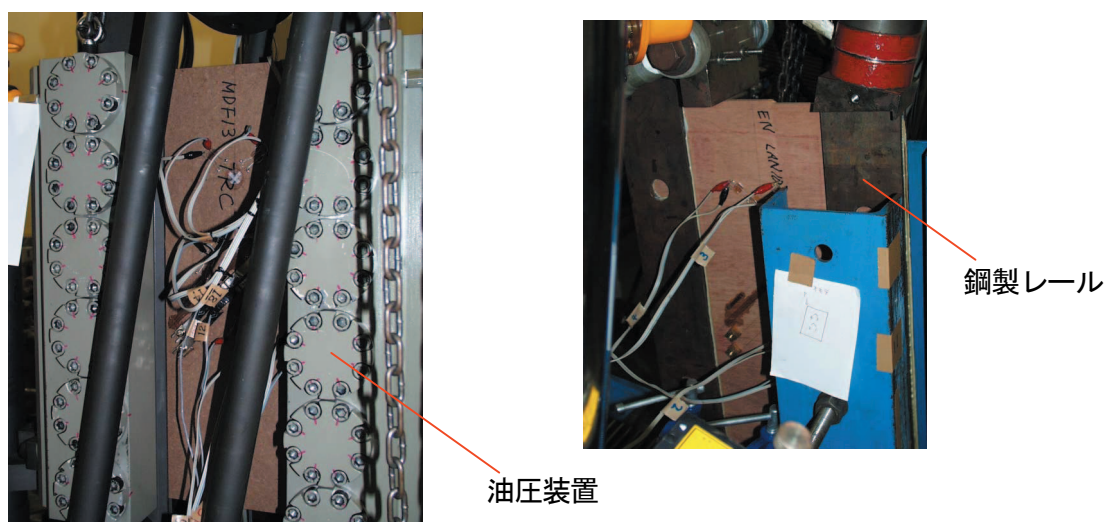


図1 せん断性能測定装置

従来の装置（右）では、試験体に鋼製レールを接着して固定していたため、多大な労力が必要でした。開発した装置（左）は、試験体の保持に油圧を使用するため、測定が容易になりました。

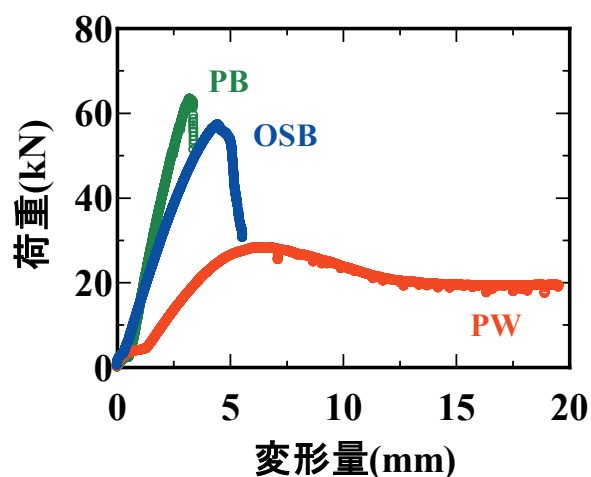


図2 荷重－変形関係の例

廃棄物を用いて製造したパーティクルボード（PB）は、従来の木質ボード（OSB）と同程度の性能を示しました。合板（PW）は破断せず（＝曲線が急激に下がらず）に一定の荷重を支えながら大きな変形が可能です。変形のしにくさ（＝曲線の傾きの大きさ）、高い荷重に耐えられる度合い（＝曲線のピークの高さ）は、いずれの木質ボードも高い性能を持っていました。

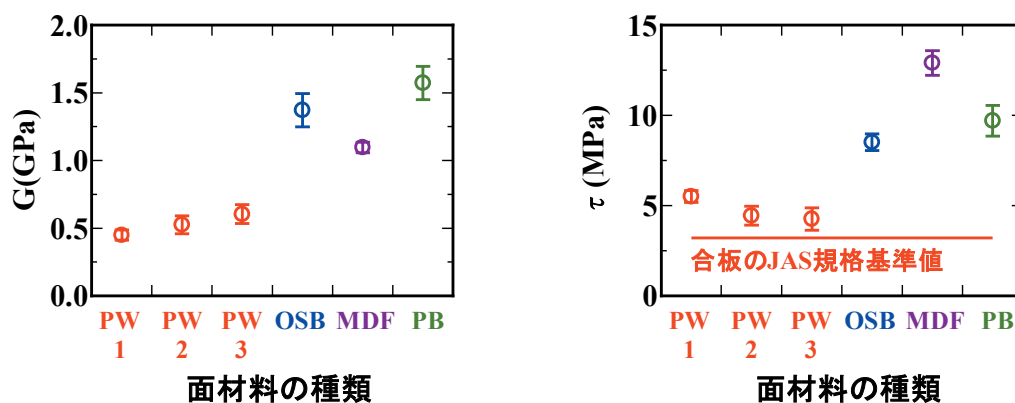


図3 面材料のせん断性能

廃棄物を原料とした木質ボード（PB）は他の木質ボード類に匹敵する性能を示しました。

熱圧爆裂処理によって木質系廃棄物から新しい製品を開発する

背景と目的

工場残廃材や建築解体材などの木質系廃棄物は、形状、材質等が多種多様で、かつ金属、無機物、プラスチック等の異物を含むことからこれまで再利用が困難となっていました。

そこで、熱圧爆裂による木材の細片化技術によって、多種多様な細片を作製し、用途に応じた細片を選別・分別し、これらの細片の特徴を生かした、これまでにない新素材・製品を開発して木質系廃棄物の新たな市場獲得を目指しました。

成 果

木材を高温度、高圧縮力下で熱圧すると、含有水分が気化するとともに空隙が極端に減少するので、木材の内部は高圧状態となります。その状態で瞬間的に圧力を開放すると、水蒸気の力によって木材は内部から爆発を生じ、細片化されます(図1)。

この技術の実用化のために熱圧爆裂装置を試作したところ、十分な水分を含んだ木質系廃棄物であれば細片化にコストのかかる厚板や不定形の背板でも、圧縮圧力 2～5MPa、熱盤温度 300℃、圧縮時間約 270 秒の条件で簡単に細片化できました。また、爆裂処理時間の短縮・高効率を図るために小型の密閉型爆裂装置を試作したところ、処理時間は約 1/10 まで短縮することができました。

この装置で得られる木材細片の中には、これまで木材から得ることができなかった柔らかくて長いという性質を持つストリング状のものが含まれていました(図2)。ストリング状爆裂細片の特徴

を生かして接着剤塗布量、圧縮圧力、温度を適正に制御することで、多様な積層材が製造できました。特に、成型用バインダーにオレフィン繊維を用いた密度 0.1～0.2g/cm³の低密度材は製造が容易で、熱伝導率も約 0.06W/mK と市販のインシュレーションボードに匹敵することがわかりました(図3)。

また、軽量で保水性があることを生かして、マリーゴールドを育成して性能を試験したところ、市販の植生ボード並みの育成を示しました(図4上)。

爆裂片をセメントの補強繊維として混入すると様々な形状をしたセメント複合製品の製造が可能となります。爆裂細片はセメントの硬化阻害を起こすので、適切な添加剤を見つけ、これを克服し、セメント複合製品を試作(図4下)することができました。

成果の利活用

これらの技術開発によりこれまでにない木質のリサイクル製品が提案できるので、企業との共同研究の中で技術を発展させ実用化を目指します。

主な発表文献

- 1) Yi Min Wei, B. Tomita, Y. Hiramatsu, A. Miyatake, Tsuyoshi Fujii, Tomoyuki Fujii, S. Yoshinaga (2003) Hydration behavior and compressive strength of cement mixed with exploded wood fiber strand obtained by the water-vapor explosion process, Journal of Wood Science, **49**, 317-326.
- 2) Yasushi Hiramatsu, A. Miyatake, K. Shindo (2005.7) Manufacture of low-density boards from wood elements obtained by the water vapor explosion process, Advances in ECOMATERIALS, **2**, 494-498.

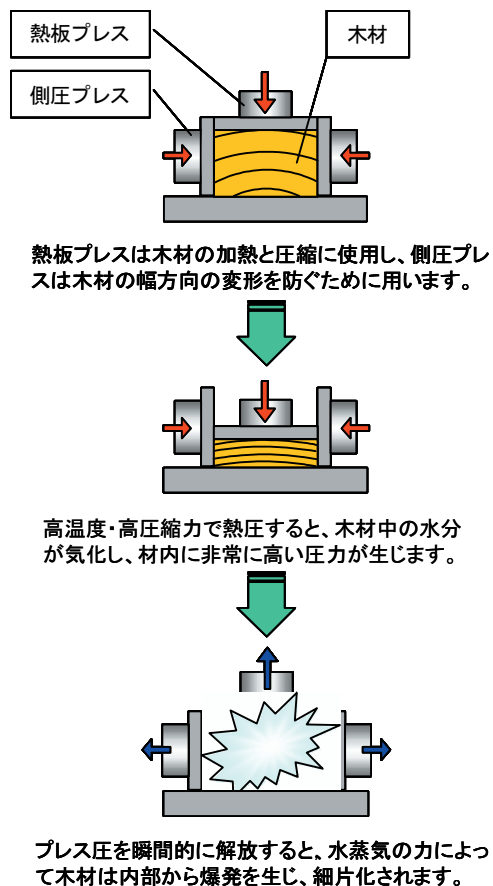


図1 木材の熱圧爆裂細片化

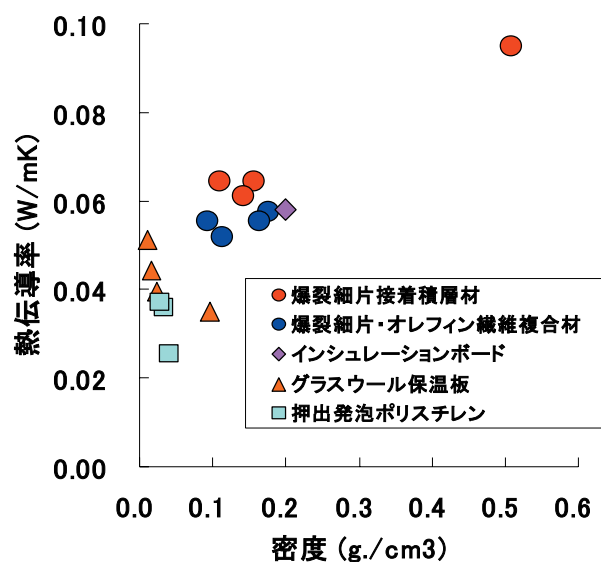


図3 熱圧爆裂ストランドを用いた軽量ボードの断熱性能
密度や熱伝導率はインシュレーションボードと同等でした。

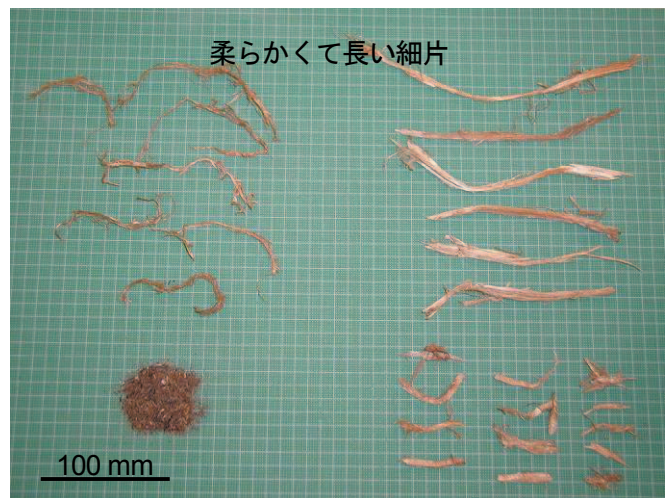


図2 熱圧爆裂処理で得られる細片
木材の繊維を切らずに柔らかくて長い細片（上段）を製造することができるのは、熱圧爆裂法の大きな特徴です。その他、チップや木粉（下段）も得られます。



図4 熱圧爆裂ストランドを用いた製品試作

上：緑化資材 軽量で植栽・栽培ができます。

下：セメント複合材 爆裂細片の柔軟性を生かしてU字型の成型も可能です。

オイルパーム木質資源のパルプ原料としての用途を開拓する

背景と目的

東南アジアでは、パームオイル産業から排出される木質バイオマスの用途開拓が切望されています。その主要資源は樹幹、茎葉、空果房です(図1)。その中でも空果房(Empty Fruit Bunches = EFB)は定期的に搾油工場に集積されており、また木材と化学成分構成が似ており、工業的な利用が望まれています。しかしながら現状では、一部がボイラー燃料や堆肥原料、マルチング(根覆い)に使われる以外、未利用のまま放置されています。

本研究では、この EFB を取り上げ、パルプ原料としての利用適正を明らかにし、また実際に利用可能な量を現地調査により把握することを目的としました。

成 果

オイルパームの木質バイオマス資源に関する実態調査では、世界のパームオイル生産量の約8割を占めるマレーシアとインドネシア両国で、EFB排出量が年間800万トン(乾量)に上ることが明らかになりました(表1)。これは日本の総木材生産量に匹敵するもので、現在量的にはまだ少ないタイでも、今後7年間で栽培面積を15倍にする計画があり、もしこれが実現すると東南アジアのEFB排出量はさらに膨れ上がります。

この EFB を紙パルプ原料とすることは、アジア地域における紙需要の拡大という点からも最適であると思われます。EFB に対して、クラフト、クラフト-AQ またはソーダー-AQ 蒸解を施し(AQ=ア

ントラキノン)、さらに中濃度パルプ漂白ミキサーを用いて、酸素、オゾンおよび過酸化水素で漂白することにより、無塩素系試薬を用いた EFB 漂白パルプが得られます。このパルプは白色度80%以上の高い値を示すことが確認されており、EFB から調製した化学パルプが塩素を用いない手法でも、容易に漂白が進むことを示しています。また、同程度の白色度を得るためには、蒸解工程にアントラキノンを加えた系の方がパルプ粘度を維持できます(表2)。これはすなわちAQを加えることによって、より白色度が高く、紙力の強い紙ができることを示しています。

成果の利活用

今後マレーシア、インドネシア等でオイルパーム空果房を原料とするパルプ・製紙工場のベンチプラントあるいはプラントを建設する場合に、より高品質のパルプを調製する技術、ならびに従来の環境汚染につながる塩素を用いずに漂白する技術に関する知見を提供することができます。

主な発表文献

- 1) Tanaka, R., Wan Rosli, W. D., Magara, K., Ikeda, T. and Hosoya, S. (2004) Chlorine-free bleaching of kraft pulp from oil palm empty fruit bunches, JARQ, 38(4), 275-279.
- 2) Leh C. P., Tanaka, R., Ikeda, T., Wan Rosli W. D., Magara, K. and Hosoya, S. (2005) Totally chlorine-free bleaching of oil palm empty fruit bunch (EFB) chemical pulps, JIRCAS Working Report, 39, 95-99.

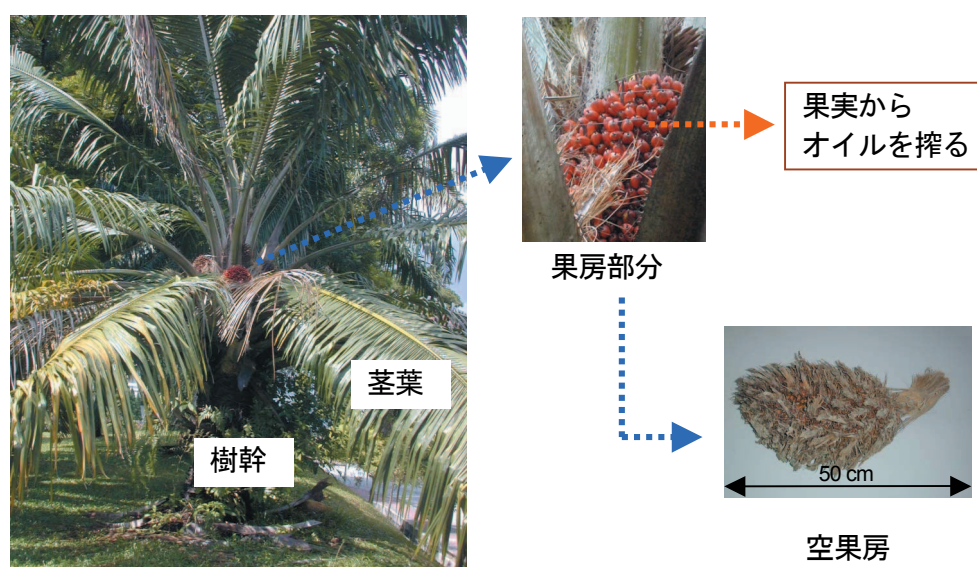


図1 オイルパーム・木質バイオマス

オイルパームの主要な木質バイオマス3種類（樹幹、茎葉、空果房）の図解。

表1 東南アジア主要三カ国のオイルパーム関連データ（2002年）

	栽培面積 (×1,000 ha)	オイル生産量 (×1,000 トン)	EFB 排出量 (×1,000 トン)
マレーシア	3,370	13,408	4,713
インドネシア	2,400	9,700	3,455
タイ	224	644	302
世界合計	10,775	28,300	—

マレーシア、インドネシア、タイ三カ国のオイルパームの現状。栽培面積、オイル生産量はFAO統計による。また、EFB排出量は栽培面積から推定して算出。世界合計では1,000万トン程度。

表2 オイルパーム空果房パルプの漂白性

	クラフト			クラフトーAQ			ソーダーAQ		
	κ価	粘度 (cp)	白色度 (%)	κ価	粘度 (cp)	白色度 (%)	κ価	粘度 (cp)	白色度 (%)
未漂白	13.6	20.8	—	12.1	26.3	—	10.9	16.9	—
漂白1	7.7	18.3	—	7.7	23.7	—	7.2	16.0	—
漂白2	2.3	12.7	80.4	2.9	16.3	79.6	3.3	15.1	80.9

漂白1は酸素のみ、漂白2では酸素－オゾン－過酸化水素のプロセスで漂白を施したもの。κ価はリグニン残存量、粘度はセルロース重合度、白色度は漂白性の指標となる。クラフト、AQ 添加クラフト、AQ 添加ソーダは蒸解工程で用いた蒸解法。AQ：アントラキノン

住宅のシックハウス対策のため木質建材の VOC 放散特性を調べる

背景と目的

住宅室内の化学物質による空気汚染によって体調を崩す「シックハウス」が社会問題になっていましたが、本研究を開始した 2001 年以前には、建材から放散される化学物質に関する標準試験法もなく、その実態データも不足しており、シックハウス対策についての検討が遅れていました。そこで、住宅で使用する接着剤を用いて製造された木質建材について、放散する化学物質の実態を把握し、その発生メカニズムや対策を行うための研究を行いました。

成 果

各種木質材料（集成材、合板、ボード類、塗装製品、保存処理製品）について、新たに制定された日本工業規格（JIS）小形チャンバー法により、シックハウスの原因の一つとされるホルムアルデヒドに加えて、分析可能な全ての各種 VOC について、放散実態データを収集しました。図 1 にその一部を示します。木材自体から発散する α -ピネンなどのテルペン類を除けば、トルエン等有害な化学物質の放散はほとんどありませんでした。

ホルムアルデヒド放散量は、時間の経過とともに減少すること（図 2）、室内空気の相対湿度

が高くなると増加する関係があること（図 3）など、環境因子の影響についても解析を行いました。

また、木質建材の日本農林規格（JAS）で採用されているホルムアルデヒド放散量測定法（デシケーターを用いた測定法）で、0.3mg/L 以下（F☆☆☆☆基準）であれば、建築基準法において規制対象外とみなせるという要件（放散速度が $5\mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$ 以下）を満足できることを示しました（図 4）。

以上の他、得られた成果をまとめて、「シックハウスと木質建材」資料集として公開しました。

成果の利活用

得られた成果は、所轄の林野庁を通じ、農林水産省の JAS、経済産業省の JIS 等の国家規格の改定や、国土交通省の建築基準法の規制・基準などの関連する施策に活用されました。

その結果、ホルムアルデヒドを著しく減少させた F☆☆☆☆規格が新設され、F☆☆☆☆製品は建築基準法のホルムアルデヒド規制対象外建材として使用できるようになりました。

主な発表文献

- 1) 塔村真一郎・井上明生・宮本康太・千葉保人・龍玲（2003）デシケーター法を利用した木質建材からの放散アセトアルデヒドの定量法，日本接着学会誌，39(5)，190-193.
- 2) 森林総合研究所編著（2004.11）「シックハウスと木質建材」資料集，林業科学振興所

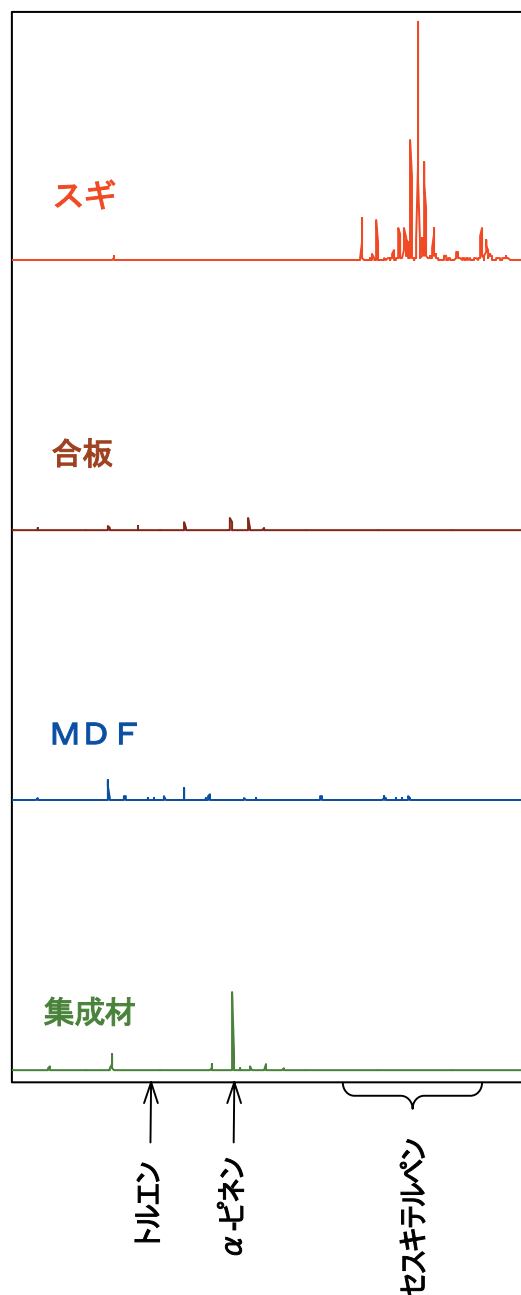


図1 スギ、合板、MDF、集成材についてのVOC放散量測定例（小形チャンバー法、加熱脱着ーガスクロマトグラフ質量分析計による測定）

木質材料からはトルエン等室内濃度指針で定められた化学物質はほとんど放散されません。また、スギ材からは快適性増進効果のあるテルペン類が放散されます。

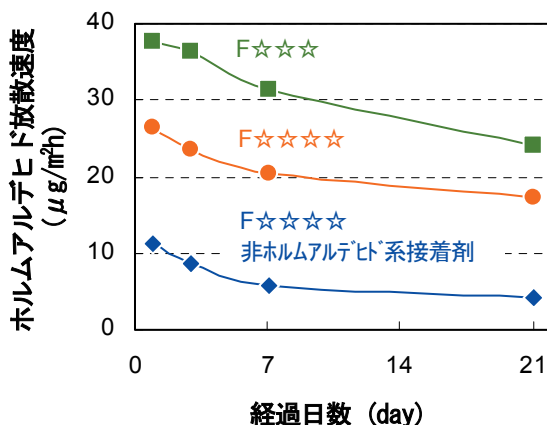


図2 パーティクルボードのホルムアルデヒド放散速度の経時変化
時間の経過とともにホルムアルデヒドは減少します。

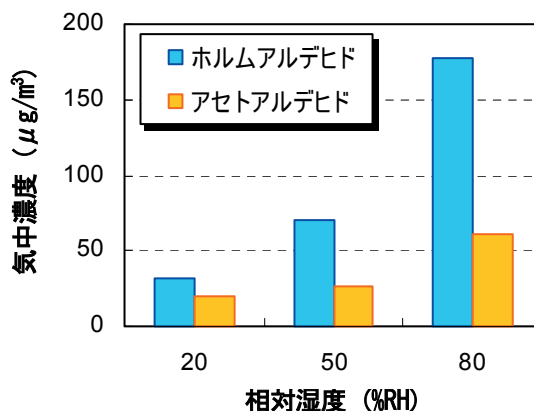


図3 パーティクルボードのアルデヒド類放散量と湿度の関係
湿度が高くなるとアルデヒド類の気中濃度も高くなります。

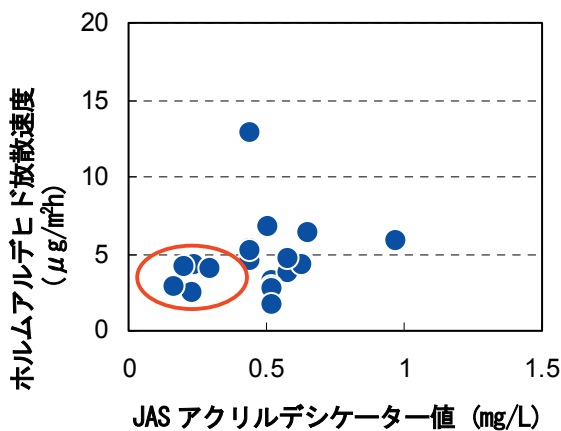


図4 JAS測定値と建築基準法における放散速度との関係

JASのF☆☆☆☆ (0.3mg/L)は、建築基準法の規制対象外基準の放散速度 ($5\mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$ 、赤丸内)以下となります。

無垢の木材から放散するテルペン等は人を快適にする

背景と目的

シックハウス対策で測定される揮発性有機化合物（VOC）には木材のテルペン類等（天然成分）のように人に対して有用なものがあり、それらの全てを総揮発性有機化合物（TVOC）として規制の管理下に置くことは、自然の木材を利用する上で重大な問題となる可能性があります。そこで無垢の木材からの VOC の基礎的なデータを整備し、人に対して快適性を増進する効果を明らかにして、住空間への木材の利用拡大に貢献することを目的にしました。

成 果

無垢の木材について、新たに制定された JIS 小形チャンバー法により、シックハウスの原因の 1 つとされるホルムアルデヒド及び各種揮発性有機化合物（VOC）の放散データを収集しました。無垢の木材からは、森林の快適性に関与するテルペン類は放散されますが、テルペン類以外の VOC の放散は非常に少ないという結果が得られました（表 1）。テルペン類の人体への影響を被験者の血圧変化で調べたところ（図 1）、テルペン類の代表である α -ピネンを吸入すると、安静時よりさらに血

圧が下がり、快適に感じることがわかりました（図 2）。また、無垢のヒノキ板を畳の中に差し込むと（図 3）、ヒノキ板に含まれるテルペン類を主体とした抽出成分により、住宅の不快害虫であるダニの行動が一定期間抑制されることがわかりました（図 4）。これらより、無垢の木材は、それ自身が快適で有用性のある材料であることがわかりました。これらを取りまとめ、「森林総合研究所交付金プロジェクト成果集 5」として発行しました。

成果の利活用

得られた成果は、所轄の林野庁を通じ、農林水産省の JAS、経済産業省の JIS 等の国家規格の改定や、国土交通省の建築基準法の規制・基準などの関連する施策の基礎データとして活用され、その結果、建築基準法においては、無垢の木材はホルムアルデヒド規制対象外の建材として扱われることになりました。

主な発表文献

- 1) 森林総合研究所交付金プロジェクト成果集 5（2005. 9）「木質建材から放散される揮発性有機化合物の評価と快適性増進効果の解明」, 1-35.
- 2) 平松靖・宮崎良文（2005）：木材の香り物質によるダニ防除効果, 木材工業, 60(11), 606-608.

表1 厚生労働省で室内濃度指針値が定められている化学物質の無垢材からのVOC放散量（JIS小形チャンバー法）
無垢材からは室内濃度指針化学物質はほとんど放散されません。

厚生労働省指針化学物質	指針値 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	国産針葉樹 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	国産広葉樹 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
ホルムアルデヒド	100	2-15	0-15
トルエン	260	—	—
キシレン	870	—	—
パラジクロロベンゼン	240	—	—
エチルベンゼン	3800	—	—
スチレン	220	—	—
テトラデカン	330	—	—



図1 テルペン類の人体への生理作用の実験
テルペン類を吸入して血圧を測定しているところです。

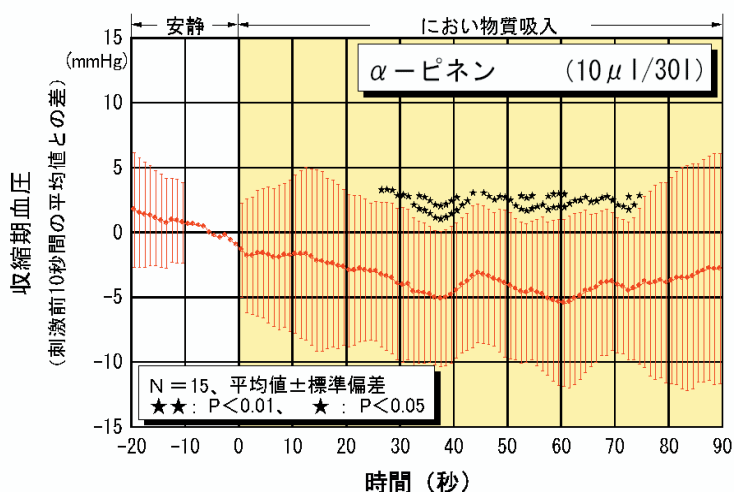


図2 被験者の収縮期血圧の変化
テルペン類の代表物質 α -ピネンは人の血圧を下げリラックスさせる効果があります。



図3 テルペン類のダニ行動抑制効果の実験
ヒノキ材を原料とした量を使って、ダニの行動を観察します。

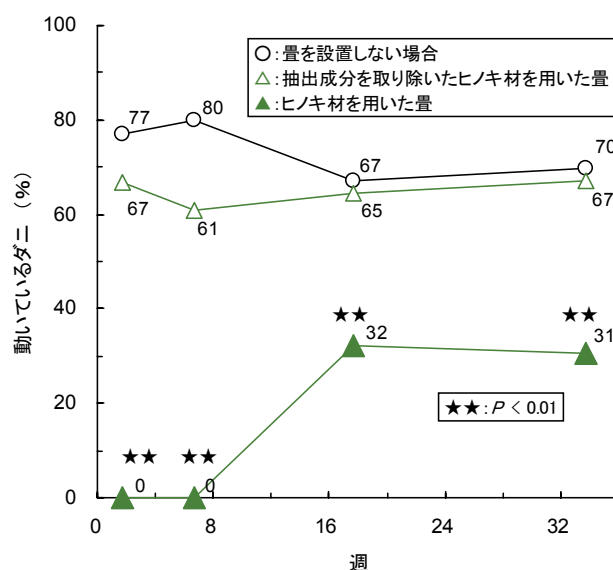


図4 テルペン類のダニ行動抑制効果
ヒノキ抽出成分がダニの行動を抑制します。

木材の燃焼におけるダイオキシン類の生成防止技術を開発する

背景と目的

ダイオキシン規制法により、小型焼却炉についても木質廃材の焼却の規制が強化され、製材工場を始めとする木材産業では廃材処理が大きな問題となっています。

本研究では、小型焼却炉を用いて木材燃焼の実証試験を行い、燃焼条件がダイオキシン類生成に及ぼす影響について検討しました。また、木材中の塩素濃度を変えて実証試験を行い、塩素濃度がダイオキシン類生成に及ぼす影響を解明しました。さらに、インヒビターの添加やプラズマ処理によるダイオキシン類の生成抑制技術を開発しました。

成 果

スギ材をバッチ式で燃焼させた場合、連続投入方式と比較してダイオキシン類生成量が著しく高い結果が得られました（図 1 A）。燃焼初期に一酸化炭素濃度の急激な増加が確認されたことからバッチ式の燃焼方法では、常温から 700℃に達するまでの間にダイオキシン類が多量に生成すると思われます。また、材部と樹皮の燃焼によるダイオキシン類の生成量に大きな違いは見られませんでした（図 1 B）。

スギ材の塩素濃度は個体差が大きく、最も高かった個体は約 500ppm、平均値は約 50ppm でした。塩素濃度の高い個体（塩素濃度 500 ppm）と平均的な塩素濃度の個体（同 59ppm）でバッチ式燃焼試験を行ったところ、両者間で大きな違いは見られませんでした（図 2）。水中貯木材に相当する塩化ナトリウム添加材（塩素濃度 5000ppm）では、一次燃焼室出口で高いダイオキシン類の生成が検出されました（1.2 ng-TEQ/Nm³、図 2）。

上記塩化ナトリウム添加材（塩素濃度 5000ppm）からのダイオキシン類生成量は、規制値（5ng-TEQ/Nm³）を下回ってはいますが、十分な安全を見込めないと考え、インヒビターによる抑制を検討しました。インヒビターとしては酸化鉄が最も高い効果を示し、ダイオキシン類生成量を約 1/3 に低下させることができました（図 3）。

未処理スギ材、海水貯木スギ材及び化学物質含有スギ材相当の三種を連続投入方式で焼却した結果、排ガス中のダイオキシン類濃度は各々 0.068、0.21、1.4（ng-TEQ/Nm³）でした。このままでも環境規制値以下でしたが、プラズマ放電後は各々が 0.0071、0.018、0.012（ng-TEQ/Nm³）にまで低下しました。ダイオキシン類の分解率は 90-99%であり、プラズマ放電が排ガス中に含まれるダイオキシン類の分解に極めて効果的であることが実証されました（表 1）。

成果の利活用

水中貯木された履歴のない木材を小型燃焼炉で燃焼した時に発生するダイオキシン量が規制値以下であるという事実は、今後のダイオキシン規制法の見直しに有用な知見を与える。

主な発表文献

- 1) 河村文郎・池田努・細谷修二（2004）木材の燃焼によって生成するダイオキシン類，平成 15 年度森林総合研究所研究成果選集，42-43。

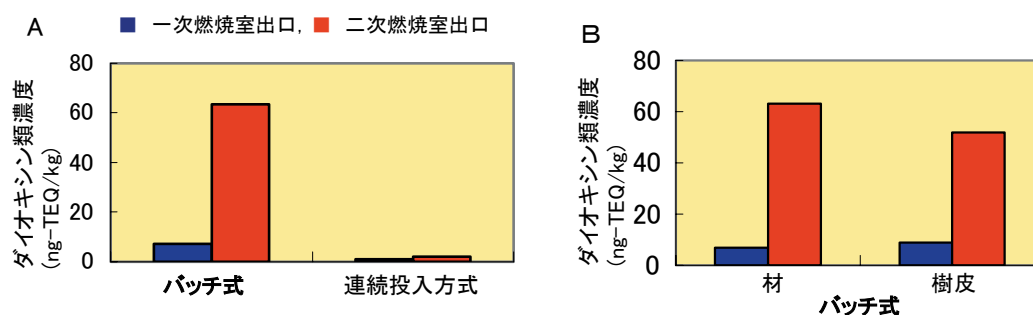


図1 木質材料の燃焼によるダイオキシン類の生成

A. バッチ式(被燃焼材料を全て燃焼室に入れておいて着火)と連続投入方式の比較

B. バッチ式による材(塩素濃度, 40ppm)と樹皮(塩素濃度, 200ppm)の比較

材や樹皮を予め燃焼室に入れて着火する燃焼方式では、ダイオキシン類の生成量が増加する。

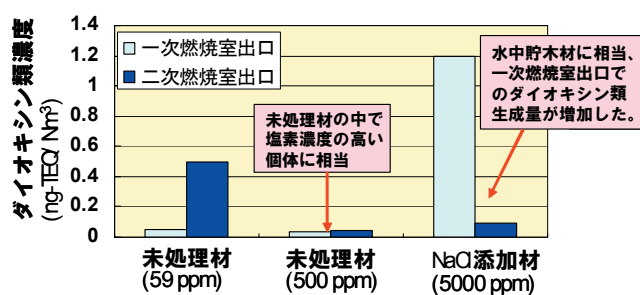


図2 塩素濃度がバッチ式燃焼におけるダイオキシン類の生成量に及ぼす影響

水中貯木材は問題となる恐れがあるが、一般材のうち、塩素濃度の高い個体については問題ない。

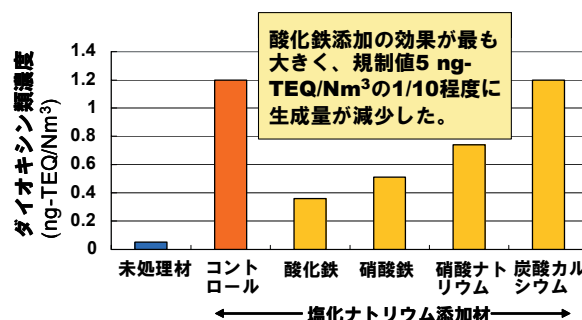


図3 インヒビター添加によるダイオキシン類生成量の低減化

一次燃焼室出口の排ガスをサンプリングした。
燃焼温度：800℃
酸化鉄添加の効果が最も大きい。

表1 プラズマ放電前後におけるダイオキシン類発生量

	プラズマ放電前 (ng-TEQ/m ³ N)	プラズマ放電後 (ng-TEQ/m ³ N)	分解率 (%)
天然材	0.068	0.0071	89.6
海水貯木相当材	0.210	0.0180	91.4
化学物質含有相当材	1.400	0.0120	99.1

* 環境規制値 5ng-TEQ/m³N

日本の伐採木材製品の炭素貯蔵量を推計する

背景と目的

京都議定書第一約束期間では、木材の伐採は即時の二酸化炭素排出と取り扱われますが、2013 年以降の評価では、伐採木材製品の炭素貯蔵も含めた評価がなされる可能性が高くなっています。世界の用材生産量の約 1/3 は国際貿易されており、伐採木材評価手法には輸出入材に関するシステム境界が異なる 3 手法が提案されています(図 1)。世界有数の木材輸入国である日本は採用される評価手法により評価結果が大きく異なり、林業・木材産業への影響は大きくなります。伐採木材製品の炭素貯蔵の推計手法を開発し、その結果を政策や交渉に反映する必要があります。

成 果

木材量から炭素量に換算するため、我が国で用材として使われる丸太・製材品について、樹種・属ごとの全乾密度を国産・輸入材の各物量値で重み付けして平均値を算出しました。国産材 $0.40\text{t}/\text{m}^3$ 、輸入材 $0.45\text{t}/\text{m}^3$ で全体の平均値として $0.42\text{t}/\text{m}^3$ 、炭素換算では $0.21\text{t-C}/\text{m}^3$ となり、収集した 34 年間のデータ範囲でほぼ一定でした。

炭素貯蔵効果を評価するためには、年間の伐採木材製品ストック変化量が必要です。その算出方式として、製品ストック絶対量が分かる場合のストックデータ方式、各年の製品生産量は分かるが廃棄量が分からない場合のインフロー寿命解析方式があります。建築部門(図 2)とトラック・バス部門の解析には「固定資産概要調書」と「自動車保有台数調査」を用いたストックデータ方式、家具建具部門・パレット梱包部門・紙部門と参考値とした埋め立て地部門では、過去に遡った生産統計にデータの外挿なども行い、インフロー寿命解析方式により推計しました。

製品単位あたりの木材使用量については、「建

設資材・労働力需要実態調査」などの統計調査や各種調査報告を元に推定しました。

評価手法のうち大気フロー法で必要となる輸出入材は各種貿易統計から得ました。また生産法で必要となる製品中の国産材・外材由来の比率は、いくつかの仮定とデータの外挿を伴う寿命解析を用いたシミュレーションモデルの解析結果から得ましたが、データが得られたものについても信頼性は低いと考えられます。

我が国の 2002 年の評価結果は、もしも蓄積変化法が採用された場合は 211 万 t-C の吸収、生産法 59 万 t-C の吸収、大気フロー法では第一約束期間の日本の森林吸収量上限値 1,300 万 t-C に匹敵する 1,150 万 t-C の排出と推計されました(表 1)。

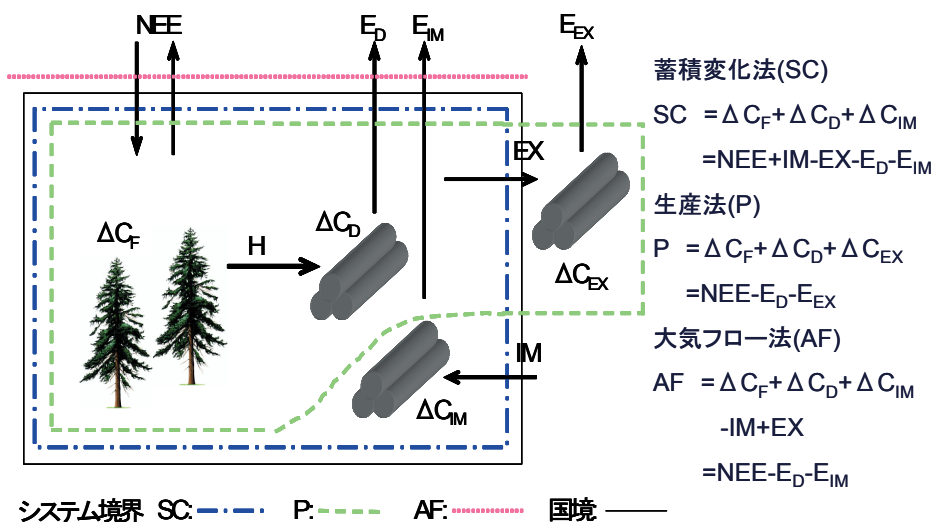
大気フロー法になるとカーボンニュートラル性は失われ、木材産業は炭素排出産業になります。生産法では輸入材によるストック増加が促進されません。蓄積変化法なら木材産業は炭素貯蔵産業となり、輸入材の材価の上昇により国産材の競争力も増します。

成果の利活用

気候変動に関する政府間パネル(IPCC)では、2013 年以降の評価に用いる 2006 国別温室効果ガス目録ガイドラインが伐採木材評価も含めて作成されています。気候変動枠組み条約締約国会議(COP/MOP)・科学技術補助機関(SBSTA)でも伐採木材評価に関する論議が始まっています。我が国の政策決定のための基礎データとして本成果が活用されます。

主な発表文献

- 1) 外崎真理雄・恒次祐子(2004)「建設資材・労働力需要実態調査」による建築木材投入量原単位, 木材工業, 59(8), 360-362.
- 2) 外崎真理雄(2004)「伐採木材」の算出と評価について, 木材情報(11), 5-8.
- 3) 外崎真理雄・恒次祐子・小澤雅之・花岡憲司(2005)日本林業のための木材利用, 日本エネルギー学会誌 84, 973-979.



註 NEE: 森林の正味炭素吸収量、H: 伐採炭素量、 ΔC : 炭素蓄積変化量、E: 炭素排出量、EX, IM: 輸出(入)炭素量
 添え字 F, D, EX, IM: 森林、国内の国産材、輸出(入)材

図1 伐採木材の3評価手法

木造建築の着工を増やすとかなりの二酸化炭素吸収が期待できる。国産材利用率の低下により生産法では吸収が少ない値となる。

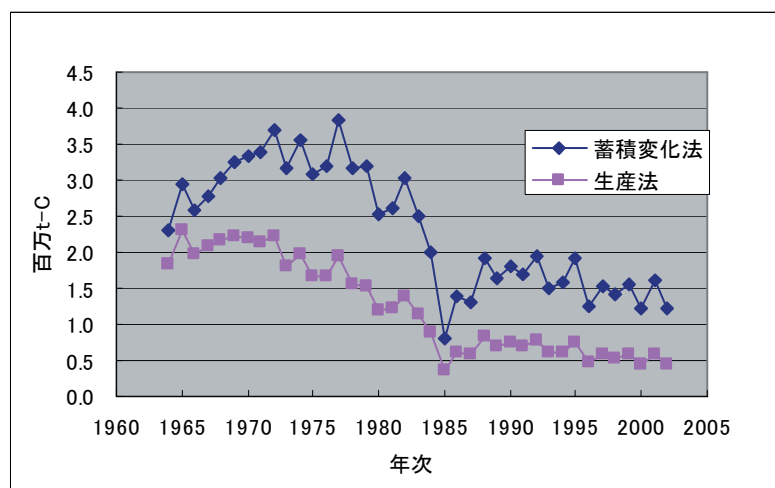


図2 建築木材炭素蓄積変化量

表1 伐採木材製品に関するデータ試算(2002年)

(単位: 1000t-C)

	ストック総量		ストック変化量	国産材率	試算値		
	2002年	2003年			蓄積変化法	生産法	大気フロー法
伐採木材炭素量	222,547	224,656	2,110	-	2,110	590	2,110
建築部門	178,901	180,124	1,223	0.37	1,223	448	1,223
家具・建具部門	14,806	14,909	103	0.25	103	26	103
パレット・梱包部門	4,859	4,768	-91	-	-91	-	-91
トラック・バス部門	474	462	-12	-	-12	-	-12
紙部門	23,507	24,393	886	0.13	886	116	886
(参考)埋立地部門	(11,027)	(10,801)	(-226)	-	(-226)	-	(-226)
木材輸出量(EX)					-	-	1,214
木材輸入量(IM)					-	-	14,820
各手法の評価結果					2,110	590	-11,497

蓄積変化法では、かなりの吸収貯蔵と評価されるが、大気フロー法では森林吸収量に匹敵する排出になってしまう。

ISBN 4-902606-26-7

「森林総合研究所 第1期中期計画成果集19」

木質資源を有効に利用するための新しい技術

発行日 平成18年8月

編集・発行 独立行政法人 森林総合研究所
〒305-8687 茨城県つくば市松の里1番地
電話029-873-3211（代表）

お問い合わせ 企画調整部研究情報科
メールアドレス kanko@ffpri.affrc.go.jp
ホームページ <http://www.ffpri.affrc.go.jp>

印刷所 株式会社 梶 本

本誌から転載・複製する場合は、森林総合研究所の許可を得て下さい。
