

平成 22 年度

独立行政法人 森林総合研究所

公開講演会＋オープンラボ

イノベーションでリードする木材需要の創出

－国産材・木質バイオマス利用拡大戦略のための研究開発－

要 旨 集



独立行政法人 森林総合研究所

平成 22 年 度独立行政法人 森林総合研究所 公開講演会＋オープンラボ

イノベーションでリードする 木材需要の創出

－国産材・木質バイオマス利用拡大戦略のための研究開発－

日 時	平成 22 年 10 月 12 日 (火)	10:00-17:00	オープンラボ
	13 日 (水)	9:00-15:45	オープンラボ
		13:00-17:10	公開講演会
場 所	木材会館 (東京都江東区新木場 1-18 TEL 03-5534-3111)		

公開講演会

森林・林業再生プランにおける木材利用の課題－研究開発に期待すること－

渕上 和之 (林野庁林政部木材産業課長) 7

公共建築物の木造化

青井 秀樹 (構造利用研究領域) 11

木材の難燃化と木造建築物の高層化－現状と今後の課題－

原田 寿郎 (木材改質研究領域) 17

シックハウス問題と木質建材の揮発性有機化合物 (VOC) 放散

井上 明生 (複合材料研究領域) 23

リグニンのマテリアル利用による木質バイオマス総合利用の推進

山田 竜彦 (バイオマス化学研究領域) 29

オープンラボ セミナー

日本の木質資源－供給量や生産コストの今後－

田内 裕之 (四国支所) 37

CO₂ 冷媒ヒートポンプを応用した低環境負荷型木材乾燥装置の開発

齋藤 周逸 (加工技術研究領域) 41

超臨界二酸化炭素によるスギ材の高機能化

松永 正弘（木材改質研究領域） 47

スギを用いた集成材の強度性能を向上させる

宮武 敦（複合材料研究領域） 51

厚物合板の床・壁等への利用

杉本 健一（構造利用研究領域） 55

木質系廃棄物を利用した軽量な屋上緑化法

高麗 秀昭（複合材料研究領域） 59

木質バイオマスからの新規成型材料の開発

1. 木製単層トレイの製造技術の開発

秦野 恭典（複合材料研究領域） 他 63

2. 木材・プラスチック複合材（混練型 WPC）の高性能化

木口 実（木材改質研究領域） 他 67

木材成分からのマテリアル新素材の開発

1. 酵素加水分解でつくるセルロースナノファイバー

林 徳子（きのこ・微生物研究領域） 他 73

2. 樹木精油を利用した空気質の改善

大平 辰朗（バイオマス化学研究領域） 77

木質バイオマスエネルギー

1. 高性能木質ペレットの製造と利用

吉田 貴紘（加工技術研究領域） 81

2. 木質バイオエタノールの製造技術の開発

真柄 謙吾（バイオマス化学研究領域） 他 85

林業の低コスト化に役立つ林木育種－第2世代精英樹の選抜と活用－

藤澤 義武（林木育種センター育種部） 89

木材の土木分野での利用

桃原 郁夫（木材改質研究領域） 93

水源林造成事業等における木材利用

1. 水源林造成事業における丸太組工法による作業道作設

山崎 一（森林農地整備センター森林業務部） 97

2. 特定中山間保全整備事業等における木材利用の取組み

清水 修（森林農地整備センター農用地業務部） ... 99

公開講演会要旨

公開講演会 要旨

森林・林業再生プランにおける木材利用の課題

－ 研究開発に期待すること －

林野庁 林政部 木材産業課長 瀧上和之

1. はじめに

今後 10 年間を目途に我が国の森林・林業を早急に再生していくための指針として、「森林・林業再生プラン」（以下、再生プラン）が、昨年 12 月 25 日に作成された。さらに、再生プランを着実に推進するため、農林水産大臣を本部長とする「森林・林業再生プラン推進本部」が本年 1 月に設置され、本部の下に 5 つの検討委員会が置かれた。そのうちの 1 つとして、国産材の加工・流通構造や木材利用の拡大など森林資源の活用を進めるための対策を検討するため、「国産材の加工・流通・利用検討委員会」が設置されているところである。

2. 再生プランにおける木材利用に関する研究開発の位置付け

再生プランは、木材などの森林資源を最大限活用し、雇用・環境にも貢献するよう、我が国の社会構造をコンクリート社会から木の社会へ転換することとし、10 年後の木材自給率 50% 以上を目指すべき姿としている。

目指すべき姿を実現するための検討事項の一つとして、森林資源の活用（国産材の加工・流通構造・木材利用の拡大）が掲げられ、その中には「木材利用の多角化や新たな木質部材開発に向けた研究・技術開発の推進」及び「経営的・技術的に整合のとれた木質バイオマス利用の仕組みづくりと着実な普及体制の整備、研究・技術開発の推進」等研究・技術開発への取り組みが示されている。

3. 国産材加工・流通・利用検討委員会中間とりまとめ

再生プランの検討事項に従い、国産材の加工・流通・利用検討委員会において本年 7 月に中間とりまとめを策定した。この中で、森林資源の活用に向けた対応方向が示されており、研究・技術開発に特に関連の深いものについて紹介する。

< 森林資源利用率の向上 >

- ・循環利用できる広葉樹材の家具用・フローリング用等への製品化

< 製材用材 >

- ・木取りの工夫・乾燥工程の確立、グレーディングマシンでの強度保証による梁・桁への利用拡大
- ・羽柄材を主目的とした製材・乾燥技術の開発・普及、用途に応じた針葉樹フローリングの開発・普及



広葉樹の家具

- ・ 公共建築物等住宅以外の建築物、伝統工法へ対応できるプレカット技術の開発
- ・ 枠組み壁工法用製材等への利用に向けてのスギ等の性能評価手法の確立



スギの MSR 梁



スギの圧密
フローリング



トラス式牛舎

<合板用材>

- ・ コンクリート型枠用合板やフロア台板への利用に向けての、強度・転用回数など性能・耐久性にかかる技術開発及び普及、接着材の開発
- ・ LVL の土台や面材等への用途開発

<住宅・建築物>

- ・ 木造建築に関する大工・工務店、設計者などの人材育成・構造材や内装材等にかかる耐火性や耐久性の高い製品開発・普及
- ・ 住宅以外の木造建築にかかる設計技術・部材開発及びそれらの普及（木造耐火建築物、真壁準耐火などの、新たな中高層、都市内木造建築のモデル開発・普及等）
- ・ 木造・木質空間の省エネ性や様々な機能に関する研究・普及
- ・ 住宅の省エネ改修等の住宅の性能向上に必要となる改修部材の開発・普及（木製サッシ等）



コンクリート型枠用合板



構造用 LVL



フローリング
（合板台板）



木材会館



不燃処理スギの内装



不燃処理スギ



木製サッシ

<土木・造園分野>

- ・地盤改良用基礎杭や木製ガードレール、工事用仮囲い等の技術開発・普及



木製ガードレール



工事用仮囲い（試作品）

<チップ>

- ・チップパーの高性能化に向けた技術開発

<木質バイオマスの総合利用>

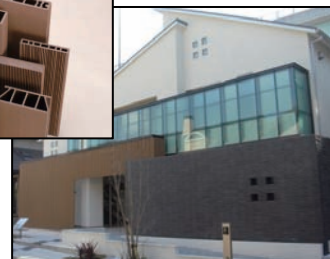
- ・木質バイオマスボイラーの性能評価、高性能化（高効率化・小型化）等の改良・普及
- ・排出量取引、カーボン・オフセットなどの信頼性の構築、環境会計への木材利用の位置付け
- ・木質バイオマス燃料（バイオエタノール、バイオガス等）の低コスト生産のための技術開発
- ・バイオマスプラスチック等の新たな用途に向けた技術開発
- ・木質バイオマスの生産から利用までの一貫した低コストシステムの確立のための技術開発
- ・民間のビジネス感覚を活かし、産学官連携による技術開発等を促進



移動式チップパー



熱利用施設



ウッドプラスチック
コンビネーション

<木材輸出>

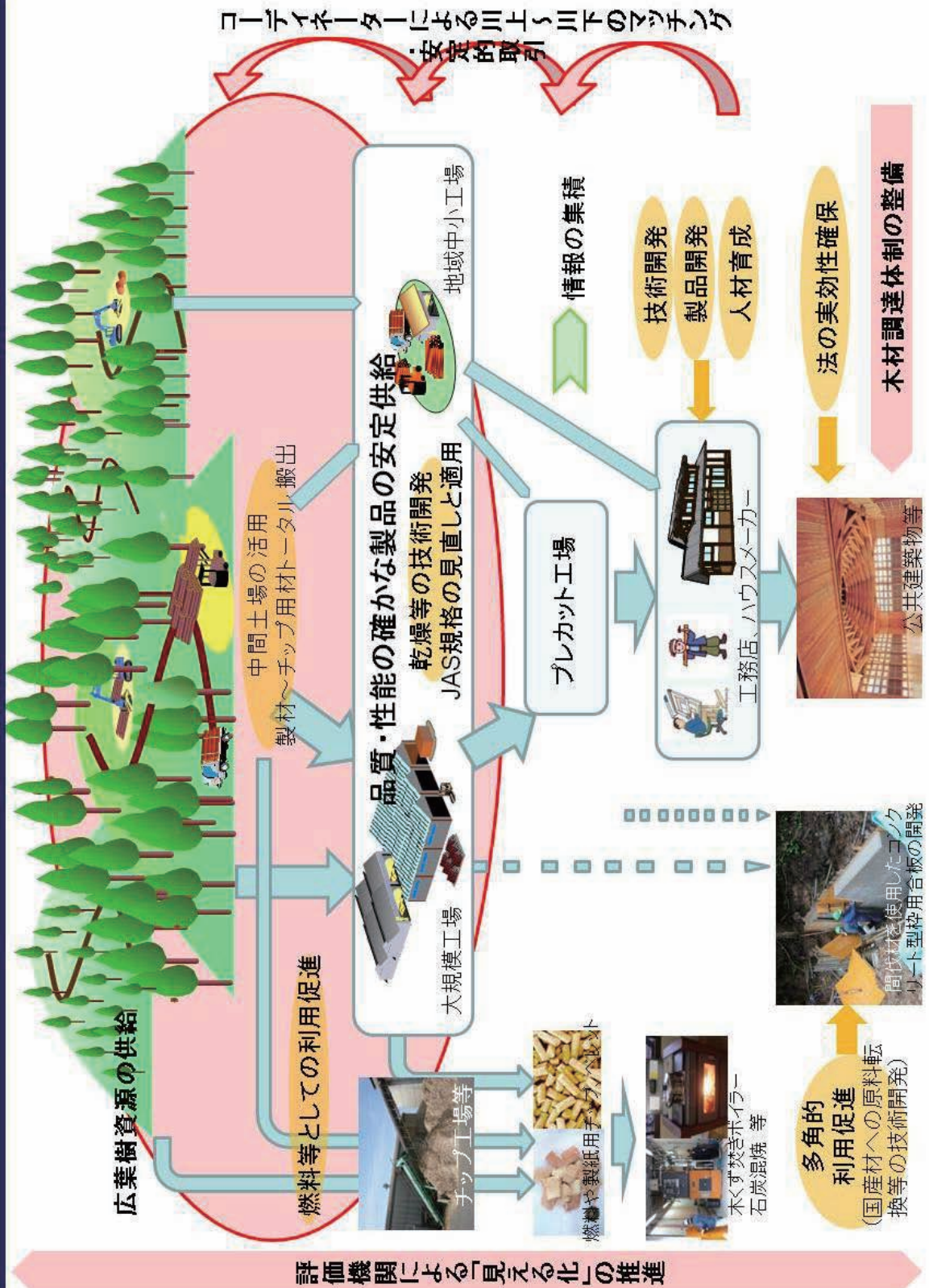
- ・輸出先の消費者のニーズに対応した新たな製品開発

4. おわりに

中間とりまとめにおいて、製材用材については、梁・桁や 2×4 部材等の国産材利用の推進、土木用など新規需要の開拓、外材取り扱い工場における国産材への転換などの推進、合板用材については、国産材を用いた構造用合板の利用拡大を一層図るとともに、外材主体のコンクリート型枠用合板やフロア台板などへの国産材利用の推進、パルプチップ用材については、供給体制の整備などを進めるとともに、燃料用など新たに需要を開拓することにより、22 百万 m³ の国産材の需要が増加すると試算している。

これらを実現する上で、前述したような研究・技術開発は重要な役割を果たすものと期待している。

国産材の加工・流通・利用の対応方向（中間とりまとめ）



公開講演会 要旨

公共建築物の木造化

構造利用研究領域 木質構造居住環境研究室 主任研究員 青井秀樹

1. はじめに

2009 年度の新設住宅着工戸数は 77 万 5277 戸にまで落ち込み、実に 45 年ぶりに 80 万戸を下回ることとなった。2008 年度の実績が 103 万 9180 戸であったことから、前年度比で 25.4%もの記録的な減少であったことが分かる。今後の見通しについては、所得の二極分化などによって住宅取得が可能な層が減少傾向にあることから、住宅市場は将来的に縮小する可能性が濃厚であり、木材需要も厳しい状況が続くことが予想される。そのため、木材の自給率 50%達成のためには、住宅用途以外での木材需要を新たに発掘・開発することが強く求められている。

この要求に対するひとつの答えが「公共建築物の木造化」である。これまでも、地域によっては学校や庁舎を木造で建築すると言った取り組みが散発的に行われてはいた。しかし、その取り組みは「地域のシンボリックな建築物を地元産の木材を使って建てる」と言った PR 色の強いものであり、木材の需要拡大を戦略的に目論む意識は希薄であった。

そこで本講演では「公共建築物の木造化」への取り組みによって木造のシェア拡大を狙う道筋についての基本的な考え方を解説すると共に、その取り組みにおいて解決すべき課題について検討する。

2. なぜ公共建築物の木造化を目指すのか

2. 1 公共建築物の建築市場の規模

図 1 に 2003～2008 年度における新設着工の公共建築物の延べ床面積の推移を示す。

図 1 中の“公共建築物”とは建築統計年報¹⁾に分類された「公務用建築物」「教育・学習支援用建築物」「公営住宅」を指す。“木造で建築可能と思われる建築物”とは建築統計年報¹⁾に分類された「公務用建築物」のうちで 3 階建て以下の建築物、「教育・学習支援用建築物」のうちで 2 階建て以下の建築物、「公営住宅」の 74%（「公営住宅」の階数は住宅着工統計上では区分されていないが、2008 年度の建築統計年報における居住を目的とする建築物（居住専用住宅、居住専用準住宅、居住産業併用建築物の合計）のうちで 74%が 3 階建て以下であったため、これと同じ割合とした）の合計を言う。ただし、ここでは建築法規等を考慮していないことを付記する。

この図を見ると、2003 年度からの 6 年間に於いて、新設着工が平均で約 450 万 m²/年、“木造で建築可能と思

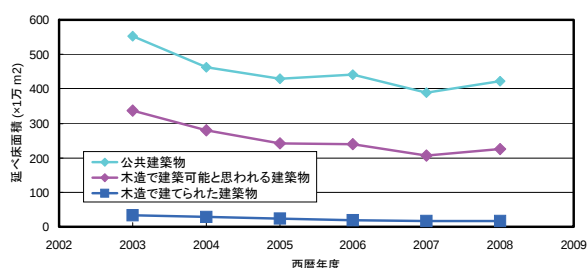


図1 新設着工の公共建築物の延べ床面積の推移
(2003～2008年度)

われる建築物”は平均で約 260 万 m^2 /年、それぞれ存在することが分かる。ただし木造で建築された実績は 20 万 m^2 /年前後に留まっていることから、“木造で建築可能と思われる建築物”が全て木造で建築されると仮定するとおよそ 240 万 m^2 /年の新規需要が生まれることとなる。ただし、これによる新規の木材需要は年間 53 万 m^3 程度（単位床面積あたりの木材使用量を 0.22 (m^3/m^2) とした場合²⁾)であり、それだけではインパクトに欠けると言わざるを得ない。

2. 2 一般の建築市場への木造化波及の可能性

しかし公共建築物自体の建築物としての特徴を工学的に捉えることにより、「公共建築物の木造化」が一般の建築物にも波及する可能性が見えてくる。なおここで言う“一般の建築物”とは住宅以外の建築物を指す。

ここで、構造設計上の重要な要素である「スパン」と「積載荷重」を、公共建築物と一般の建築物とで比較してみる。まず「スパン」について、公共建築物で一般的に見られる「スパン」は、学校の教室で 8m 程度、庁舎の会議室などで 10m 程度、大会議室などで最大 12m 程度であるのに対して、一般の建築物（事務用途）では 6~8m 程度³⁾（鉄筋コンクリート造（RC造）の場合）、あるいは 7~12m 程度³⁾（鉄骨造（S造）の場合）であることから、ほとんど違いが無いことが分かる。次に「積載荷重」については、用途が同じであれば木造であろうと RC 造であろうと「積載荷重」は基本的に同じである。つまり事務用途として設計すれば「積載荷重」は基本的に同じである。

従って以上をまとめると、建築物の用途によって基準が異なるものの、公共建築物と一般の建築物とで構造的に大きな違いが見あたらないことが示された。（筆者注：ちなみに一般の住宅と公共建築物を比較すると、住宅の居室の「スパン」は長いもので 4.5m 程度と短く、また 2 階床の「積載荷重」も 1800 (N/m^2) 以上と比較的軽い（この値は事務用途の「積載荷重」の 62%程度に相当）。従って、住宅の居室はコンパクトで、構造的にシンプルであることが示唆される。）

そのため、公共建築物の木造化が普及する過程で、木造建築の価格競争力等が強化されれば、一般の建築物に木造化が波及する可能性は充分大きいと考えられる。

それでは、一般の建築市場において木造で建築可能と思われる建築物はどの程度存在するのだろうか。

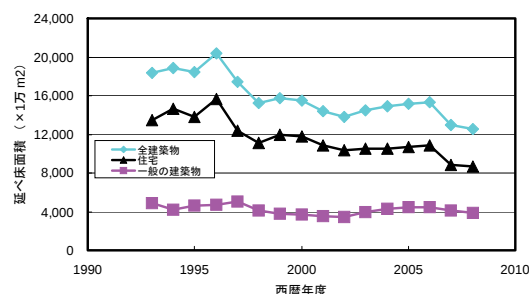


図2 それぞれの新設着工の延べ床面積の推移

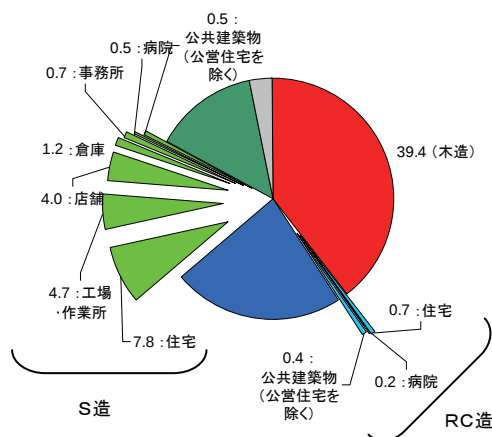


図3 2階建て以下のRC造およびS造の建築物の主な用途別の割合 (2008年度)

図 2 に全建築物、住宅、一般の建築物の新設着工の延べ床面積の推移を示す。図 3 に 2 階建て以下の RC 造および S 造の建築物の主な用途別の割合、図 4 に 3 階建て以下の RC 造および S 造の建築物の主な用途別の割合を示す。

図 2 に示す通り 2008 年度の全建築物の新設着工の延べ床面積は 1 億 2500 万 m^2 、このうち図 3、図 4 に示した一般の建築物の割合はそれぞれ 12.2%、15.0% であるから、延べ床面積ではそれぞれ約 1500 万 m^2 、約 1900 万 m^2 であることが分かる。ただし、ここでは各省庁による設置基準や建築法規等を考慮していないことに留意する必要がある。しかし今後、木造建築の技術革新等により設置基準や建築法規等が改正される可能性も充分にあることから、敢えて 2～3 階建てまでを対象とした。

従って以上を整理すると、「公共建築物の木造化」は一般の建築物にも波及する可能性を含んでおり、最終的なターゲットは 2～3 階建ての一般の建築物（市場規模：約 1500～1900 万 m^2 ）と掲げることができる。

2. 3 県産材使用によるメリット

一般的に言って、自治体が公共建築物を木造で整備する場合、原則として県産材を始めとする地場産材の使用を求めることが多い（ここでは便宜的に「県産材」に統一する）。この「県産材の使用」という条件は、単に県内の林業・木材産業の育成のためだけでなく、経済刺激策としても優れていることが報告されている⁴⁾。

この調査では、同程度の規模・用途の建築物を木造で建てる場合と RC 造で建てる場合の「波及効果倍率」を比較している。その結果、規模・用途によらず、木造の方が RC 造よりも「波及効果倍率」が大きいことを報告している（図 5）。この意味するところは、建築費の大小によらず、RC 造よりも県産材を用いた木造建築を採用する方が建築工事に支出されたお金がより多くの会社や人を経由するので、「波及効果倍率」が大きくなって経済活性化策として優れているということである。

現状においては、国だけでなく多くの自治体においても財政難に悩まされている。こうした状況で公共建築物を建てるにあたって、相対的に高い経済活性化効果を期待できる木造を選択することが合理的であることは言うまでもない。

3. 本格的な建て替え期に入りつつある公共建築物

3. 1 いくつかの自治体における公共建築物の保有状況

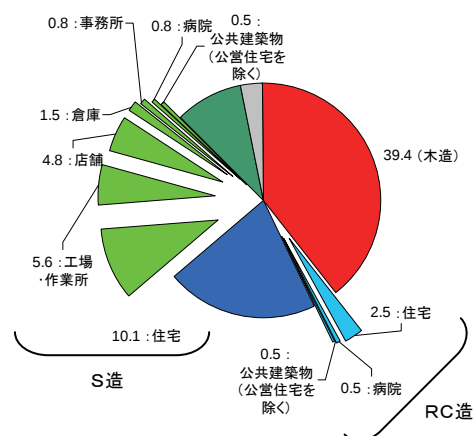


図4 3階建て以下のRC造およびS造の建築物の主な用途別の割合（2008年度）

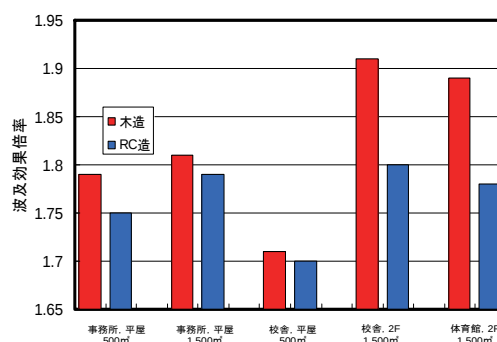


図5 木造、およびRC造で建築した時の波及効果倍率の比較

以上では木造化のターゲットとなる市場規模や、木造で公共建築物を建てるメリットを述べたが、一般の建築物への木造化の波及を考えた場合、ある程度の量の木造に対する建築需要が継続的に発生しなければ、木造建築の価格競争力強化や大型建築物向けの木造建築技術の合理化などがなかなか進展しないと予想される。しかし以下に示す自治体の公共建築物の保有状況を元に中長期的な建築需要が発生する可能性が推測できることから、木造化の着実な進展を図ることができると考えられる。

図 6⁵⁾、7⁶⁾、8⁷⁾ に旭川市、札幌市、平塚市が保有する公共建築物の延べ床面積の推移をそれぞれ示す。いずれの自治体でも公共建築物の整備が始まった時期は概ね 1960 年代からと共通しており、現状では 1960 年代以降に建てられた公共建築物が大量にストックされた状態にある。また当時の政府・与党は「国土の均衡ある発展」を目標とする国土開発計画を推進していたことから、ここで例示した以外の自治体でもほぼ同様の傾向にあることが類推される。

一方、小松による調査では、事務所用途の建築物の除却までの推定年数が、S 造では 34 年程度、RC 造では 40 年程度であることを報告している⁹⁾。1960～1970 年に建てられた公共建築物は 2010 年時点で築 40～50 年程度となることから、今後これらが格好の建て替え候補となる可能性が高い。もちろん、これら全てを建て替えるには財政的に不可能であるため、建築物の劣化度合い、建て替え・改修に掛かる費用、自治体の財政事情、稼働率等を総合的に勘案して、「改修」や「除却」を選ぶ可能性もある。

3. 2 地方の自治体が保有する公共建築物の特徴

しかし一方で問題もある。それは、公共建築物のうちで“木造で建築可能な条件”にあるものがどの程度あるかは明らかになっていないことである。と言うのは、自治体が保有する公共建築物の属性（築年数・用途・延べ床面積・階数・建築構造（木造・RC 造・S 造）など）がほとんど公開されていないためである⁸⁾。そこで一例として旭川市と平塚市を取り上げ、公共建築物に共通する特徴を類推しながら、木造化の可能性を探る。

代表的な事例として図 9⁵⁾、10¹⁰⁾（以上、旭川市）、11¹¹⁾、12¹¹⁾、13¹¹⁾（以上、平塚市）を示しつつ大まかな傾向をまとめると、学校関連を除いた建築物の多くは延べ床面積

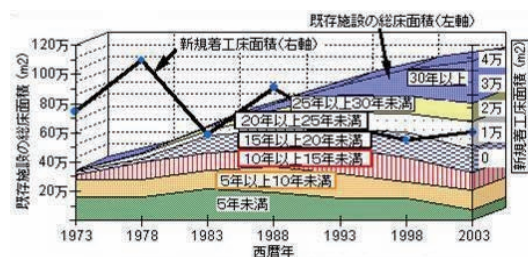


図6 旭川市における既存施設の総床面積の推移

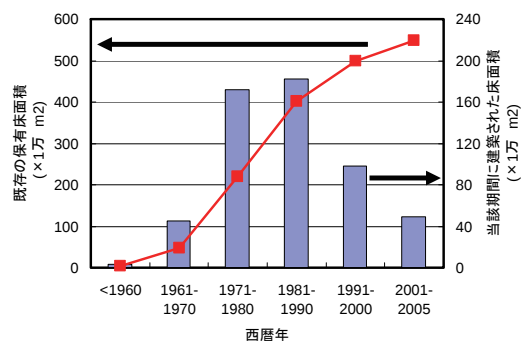


図7 札幌市における公共建築物の整備・保有状況

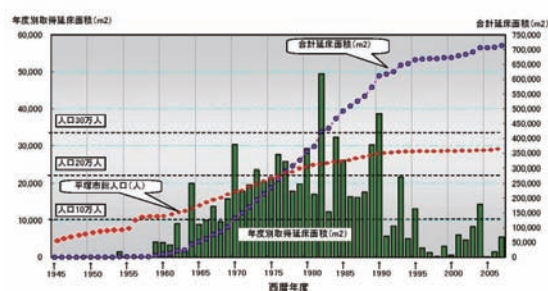


図8 平塚市における年度別延べ床面積と人口の推移

が 1500m^2 程度以下に分布し、延べ床面積が 1500m^2 程度までであれば基本的に低層の建築物であることが分かった。ただし延べ床面積が 1500m^2 以下の建築物が多数を占める理由は不明だが、住民のニーズと当該施設の稼働率を考慮して規模を決定したと仮定すると、結果的にあまり大きな床面積は必要ではなく、 1500m^2 以下の規模が最適であったと推測できる。もちろん延べ床面積が数千 m^2 の中高層の建築物も存在するが、それらはあくまで中枢機能を備えた建築物（例：市役所の本庁舎）に限定され、多くの棟数を必要としないと考えられる。

また学校関連の建築物については、現状では事実上 2 階建てまでしか建てられないが、「耐火構造が義務付けられる延べ面積基準及び、学校などの特殊建築物に係る階数基準については、木造の耐火性等に関する研究の成果等を踏まえて、必要な見直しを行う」ことを閣議決定¹²⁾していることから、今後の木造化が期待される。

以上を総括すると、旭川市や平塚市を始めとする地方都市において、木造で建築可能と思われる古い公共建築物が多数存在することが推測される。

4. 今後の課題

これまで公共建築物の木造化があまり振るわなかった理由として、“発注者側が必要とする木造コスト情報の提供体制の不備”と言った発注に関する課題の他に、“木造建築の価格競争力”や“大口の木材需要に対する不安定な供給体制”と言う木造建築・木材産業分野に関する課題が挙げられる。

さて、自治体が公共建築物を発注するには予算を確保する必要があるのだが、現状では木造で建てたくても“発注者側が必要とする木造コスト情報の提供体制の不備”があり、入り口でつまづいている状況にある。具体的に言えば、大規模木造建築物向けの構造用材の単価が「建設物価」などに掲載されていない上に、建築費の概算も木造では信頼性が乏

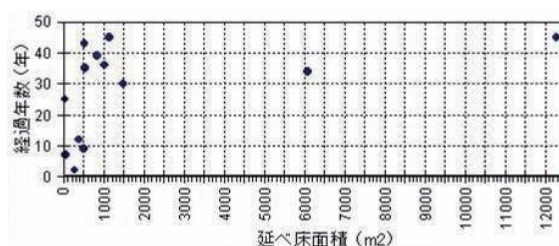


図9 庁舎の経過年数と延べ床面積

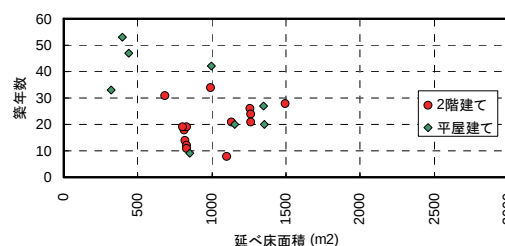


図10 公民館等における築年数と延べ床面積の分布

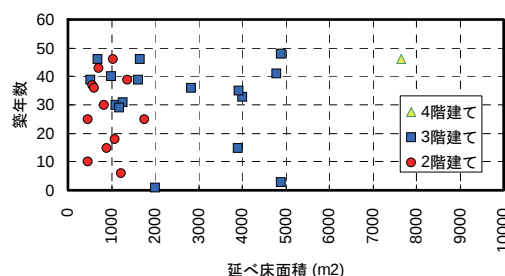


図11 庁舎等における築年数と延べ床面積の分布

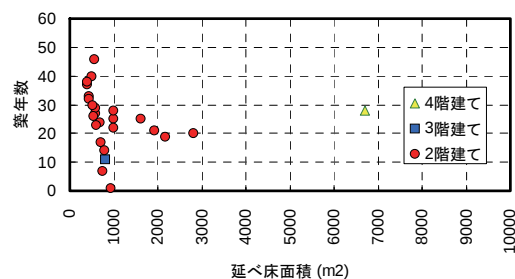


図12 公民館における築年数と延べ床面積の分布

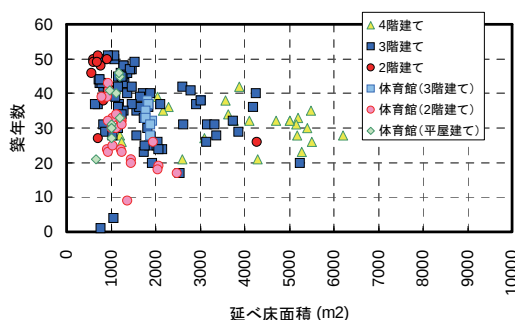


図13 小中学校における築年数と延べ床面積の分布

しいため、木造での予算要求が困難な状況にある。ひるがえって R C 造や S 造では、建設資材の単価が入手容易であるとともに、発注者側も概算導出のノウハウを保有している。このように、木造と比較して雲泥の差があることから、早急な改善が求められる。

次に、建築計画の段階で“木造”が選択肢に上ったとしても、“木造建築の価格競争力”が充分でないため“木造”が敬遠される状況にある。と言うのは、現状では R C 造や S 造に対して木造の建築コストの不透明感が強く、建築物の設計条件によっては価格競争力が乏しいためである。しかし学校の校舎を例にとると、木造が必ずしも R C 造より割高になる訳では無く、建築コストを抑えた事例があることも事実である。そこで、建築コストの実例の把握に努めるとともに、需要の多い用途に特化した木質構造部材・構法の開発を進めるなどして、“木造建築の価格競争力”の強化に務める必要がある。

一方で、首尾良く予算を確保でき、建築構造に木造を選択できたとしても、木造で建築する場合には大量の木材を短期間に確保することが必要になる。しかし現状では“大口の木材需要に対する不安定な供給体制”のため、至難の業である。と言うのは、我が国の木材生産は地域による違いが大きく規模も小さいため、大口需要に対応できる体制が充分整備されていないためである。ただし、この課題については内閣府国家戦略室の梶山恵司氏が提唱する「林内路網密度の拡充」や森林・林業再生プランで目指す「施業集約化」等によって、徐々に解消される可能性が高い。

上記に挙げた以外にも大小さまざまな課題があるが、多くの人々と連携して課題を解決し、公共建築物や一般の建築物で木造化を普及できるように今後とも努力していきたい。

参考文献

- 1) (財)建設物価調査会：平成 21 年度版 建築統計年報 (2010)
- 2) 国土交通省総合政策局：平成 19 年度 建設資材・労働力需要実態調査業務報告書 ―平成 18 年度工事実績調査― (2008)
- 3) 建築知識編：梁せいを抑えたい！ スパンを飛ばしたい！ ラクラク建築構造マニュアル 基本キーワードから木構造の詳細計算まで、エクスナレッジ、12-13 (2008)
- 4) (社)愛媛県建築士事務所協会：木材利用効果 P R 推進事業委託業務、9-12 (2003)
- 5) 旭川市：市有施設の建築保全に関する基本方針 (2005)
- 6) 札幌市市民まちづくり局企画部調整課：第 2 次札幌新まちづくり計画 (平成 19～22 年度)【概要版】(2008)
- 7) 平塚市：平塚市施設白書 (2008)
- 8) (財)建築保全センター：自治体のストック調査の概要、
<http://www.bmmc.or.jp/system3/index.html> (2008)
- 9) 小松幸夫、島津護：日本建築学会計画系論文集 565、317-322 (2003)
- 10) 旭川市都市建築部建築指導課：市有建築物の耐震化の取組状況 (2010)
- 11) 平塚市：平塚市総務部財産管理課資料 (未公表) (2010)
- 12) 内閣府：規制・制度改革に係る対処方針
http://www.cao.go.jp/sasshin/hatomimi/recept/2010/20100618/item_100618_05.pdf(2010)

公開講演会 要旨

木材の難燃化と木造建築物の高層化 - 現状と今後の課題 -

木材改質研究領域 木材保存研究室長 原田寿郎

1. はじめに

木材の利用拡大のため、さまざまな施策が進められているが、その鍵は建築部材としての木材の利用にある。「公共建築物等における木材の利用の促進に関する法律」が可決・成立したことは記憶に新しいが、中高層の木造建築物など、新たな需要を開拓しようとする、燃えるという木材の性質が大きく立ちはだかる現実を思い知らされることになる。

建築基準法には、防火地域、準防火地域といった建物が建設される場所や、建物の規模、用途などにより、内装材料や、柱、梁、壁、床などといった構造部材に使用できる材料の種類や仕様が非常に細かく定められている。例えば事務所を建設する場合の建物の規模による制限を表 1 に示す（建築物の用途ごとの詳しい内容は文献 1)を参照願いたい）。

2000 年に建築基準法が改正され、木質系の不燃材料や耐火構造の認定が認められるなど、門前払いをされていた場所にも木質材料使用の道が開かれた。これを受け、さまざまな木質防火材料や耐火構造の柱、梁などが開発されている。とはいえ、門戸の開放と普及は別である。木材の利用をさらに進めるには、防耐火面で克服しなければならない課題も多い。

本講演では、木質防火材料や木質耐火構造の開発に向けた森林総合研究所の取り組みと今後の課題について概説することとしたい。

表 1 事務所を防火地域、準防火地域以外に建設する場合の建築物の規模による制限

4階建以上	—	耐火建築物	
3階建	その他の建築物 (耐火建築物、準耐火建築物以外 の建築物)	準耐火建築物(1時間準耐火構造)	
2階建		①準耐火建築物(1時間準耐火構造)	
1階建		②その他の建築物(30分の加熱に耐える防火措置)	
高さ	高さ 13m 以下かつ軒高 9m 以下	高さ 13m 超または軒高 9m 超	—
延べ面積	3000m ² 以下		3000m ² 超

準防火地域では 1500m² 超、防火地域では 3 階建以上、100m² 超は耐火建築物でなければならない。

2. 木材の難燃化 —燃えない木質内装材料—

火災に強い木材の開発といっても、内装に用いる防火材料と柱、梁、壁、床などの構造部材とでは求められる性能が異なる。不燃性が求められる防火材料は、燃えるか燃えないかが評価の基準となるが（軽微な着火は可）、耐火構造部材は例え燃えても、構造材料としての強度性能が失われなければよい。だからといって、内装材料よりも耐火構造部材の方が、開発が容易というわけではなく、1 時間以上火災にさらされても構造体としての性能を保たなければならない耐火構造の開発の方が、遥かにハードルが高い。

防火材料は、難燃材料、準不燃材料、不燃材料の 3 つに区分されている。それぞれ、5 分間、10 分間、20 分間の不燃性が求められており、コーンカロリメータと呼ばれる装

置を用い、 50kW/m^2 の輻射加熱を与えて材料を燃焼させる試験を行い、それぞれの時間内において、 200kW/m^2 を超える発熱速度が 10 秒以上継続しない、総発熱量が 8MJ/m^2 を超えない、裏面にまで達するような亀裂等が発生しないなどで評価される。

木材の難燃化は、リン酸系やホウ酸系の難燃薬剤水溶液を木材中に減圧・加圧法などにより注入する方法が一般的である。薬剤の種類や木材の厚みによっても異なるが、窒素・リン酸系薬剤の場合、難燃材料で 100kg/m^3 、準不燃材料で 150kg/m^3 の有効成分の注入が目安となる（図 1）²⁾。不燃材料の場合はさらに多くの薬剤注入量が必要となるが、20 分間の総発熱量を 8MJ/m^2 以下にするには、単に木材が燃焼しないだけでなく、木材の炭化の進行を遅らせる薬剤の選択もポイントとなる。

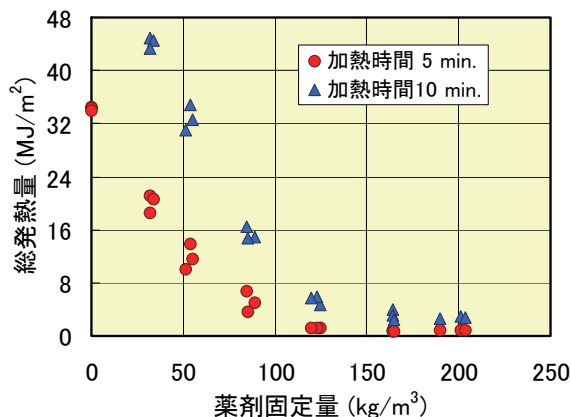


図 1 難燃薬剤の固定量と総発熱量
窒素・リン酸系薬剤を注入した
厚さ 15 mm のアカマツ材のコーン
カロリーメータ試験結果

木質系の準不燃材料や不燃材料の開発は、多くの企業や公設試験研究機関で行われており、所期の性能を付与する技術はある程度確立されているが、難燃化での一番の課題は、水溶性の薬剤を木材中に注入するため、吸湿に伴って注入した薬剤が製品の表面に吹出す、所謂「白華」への対応である。この解決策として、最近、薬剤そのものを溶出し難くする技術も開発されたが、森林総合研究所では、加工の容易性と注入薬剤量の低減を目指して難燃薬剤と塗装との組合せに着目し、岩手県林業技術センター、同工業技術センターと共同で、白華しにくい木質準不燃材料を開発した³⁾。本技術開発では、セラミック系塗料を採用することで、塗装に表面の仕上げ性能と防火性能の向上に加え、薬剤が材料表面に吹き出してくる「白華現象」の防止機能を持たせ、より少ない薬剤の注入で、木質材料に準不燃材料の性能を付与することが可能となった（特許第 4446071 号）。

実用化に当たっては、減圧・加圧法による薬剤注入装置を持たない工場でも処理が可能な温冷浴法を採用した。温冷浴法とは、木材を煮沸して内部の空気を排気した後、常温の薬液に浸して薬剤を木材中に浸漬・置換させる薬剤注入方法である。減圧・加圧法に比べて注入性は劣るが、温冷浴法でも材を薄くして積層すれば注入性が改善され、セラミック系塗料を表面に塗布すれば注入量の少なさを補うことができる。これにより、厚さ 6mm のシナノキ単板に難燃薬剤を注入し、これを 3 層積層して厚さ 15mm に仕上げ、表面に上述の塗料を塗布した準不燃材料の開発に成功した（図 2）。

この材料は、合資会社ヤマゼン木材（岩手県）が準不燃材料の国土交通大臣認定を取得し、いわて準不燃スーパーパネルとして商品化され、JR 盛岡駅西口のアイーナいわて県民情報交流センター内の内装材料（約 500m^2 ）などに使用されている（図 3）。



図 2 3 層シナ準不燃木材



図 3 準不燃木材の使用事例
(アイーナいわて県民情報センター内)

3. 中高層木造ビルの建設は可能か？

建築可能な建物の仕様は、建設される場所や規模、用途によって制限を受ける。防火地域や準防火地域以外では高さ 13m、軒高 9m を越える建物、4 階建以上の建物、延床面積 3,000m² を超える建物、準防火地域では延床面積が 1,500m² を超える建物、防火地域では 3 階建以上の建物、延床面積が 100m² を超える建物は、耐火建築物でなければならない。用途による制限が加わるとさらに厳しくなり、住宅や事務所を除く 3 階建て以上の特殊建築物（劇場、集会場、病院、学校、百貨店など）は耐火建築物であることが求められる。

2000 年の建築基準法の改正によって、その性能が証明できれば、木質材料であっても耐火構造にすることが可能となった。その方法には、ルート A（「大臣が定めた、または認定した」仕様規定に基づく方法）、ルート B（「耐火性能検証法」に基づき、告示に示される計算方法を用いて検証を行う方法）、ルート C（「耐火性能検証法」以外の方法で耐火性を検証し、その妥当性について指定性能評価機関で評価を受け大臣の認定を受ける方法）がある。ルート B やルート C は、木材が使用されている箇所の温度が火災時に 260℃ 以下であることが必要なので、木質材料そのものに耐火性能を付与する必要は必ずしもないが、適用範囲は、体育館やドーム、大会議場などの大空間に限定される。従って、住宅やオフィスビルを木質耐火構造で建設する場合は、ルート A による大臣認定の取得が必要となる。

耐火構造には 30 分間、1 時間、2 時間、3 時間の 4 種類がある。柱や梁では、建築物の最上階から数えた階数が 4 以内の階には 1 時間、最上階から数えた階が 5 以上 14 以内の階には 2 時間、最上階から数えた階数が 15 以上の階には 3 時間の耐火性能が求められるなど、建物の部分により要求性能が異なる。ルート A では、実大寸法の柱や梁、壁、床などに所定の荷重を負荷し、ISO834-1 に示される標準温度曲線に従った加熱試験を行う耐火性能評価が行われる。ただし、耐火建築物には、火災による火熱に火災が終了するまで耐える性能が求められるため、性能試験は、要求耐火時間（1 時間耐火構造であれば 1 時間）の加熱では終了せず、試験体を要求耐火時間の 3 倍時間（1 時間耐火構造であれば 3 時間）加熱炉にセットしたまま放置し、材料が壊れないか等が評価される。鉄骨やコンクリートなどはこれで試験終了だが、木質材料の場合は、さらに試験を継続し、自然に消炭して「燃え止まる」ことが求められる。木材や集成材は、火災に際して表面は炭化するものの、内

部の温度が上がりにくいので、断面を大きくすれば、避難に必要な時間、建物が壊れないようにすることができ、むしろ鉄よりも火事に強いともいえるが、加熱終了後に燃え止まらない。この「燃え止まり」が木質耐火構造の開発を著しく厳しいものになっている。

木質部材を耐火構造にする手法には、(1)石膏ボードなど無機材料による被覆、(2)鋼材との組合せ、(3)耐火集成材の開発がある。(1)には主要構造部分を石膏ボードで被覆した 1 時間耐火構造のツーバイフォー工法や軸組構法があり、1,000 棟を超える実績がある。(2)は鋼材の周りを集成材で被覆した 1 時間耐火構造の木質ハイブリッド部材で、2 棟の建築実績があり、現在、標準仕様の作成が行われている。しかし、(1)は木材を完全に被覆するため、木造でありながら、木材部分を表面に見せることができない、(2)は木材を表面に出せるが、あくまで鉄骨造であり、また、カラマツやベイマツでは燃え止まるがスギでは燃え止まらず、スギが使用できないといった歯がゆさがある。(3)は視覚的に木材が見える耐火木造の開発で、燃え止まりを期待する部分にジャラ等の高密度材や難燃処理した木材を配置する方法がある。前者では、カラマツ集成材とジャラとの組合せによる 1 時間耐火構造柱・梁が開発されているが、スギ集成材では燃え止まらず、スギ材が使用できない。

森林総合研究所では、木材の見える木造、スギの利用にこだわり、東京農工大学、鹿島建設との共同研究（新たな農林水産政策を推進する実用技術開発事業）により、図 4 に示す手法での耐火集成材の開発を行っている。荷重を支える無処理の集成材の周囲に難燃薬剤を注入した木材（ラミナ）を配置することで燃え止まりを実現しているので、この柱や梁を使用すれば木材を目で見え実感ができる木造建築物が建設できる

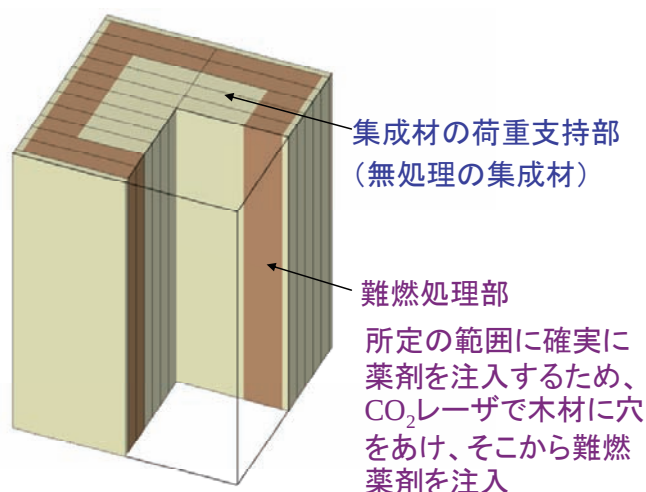


図 4 耐火集成材柱の概念図

（特開 2008- 31743）。

また、スギの利用が可能になることも魅力のひとつである。難燃処理ラミナには、窒素・リン酸系の難燃薬剤を注入している。注入ムラが少しでもあると、そこが弱点となり、燃え止まらなくなるため、より確実にムラのない注入を期して、難燃処理ラミナには CO₂ レーザによるインサイジング（穴あけ）を施している。

無処理の表層 10 mm + 難燃処理層 60 mm からなる燃え止まり層を荷重支持部の周りに配置すれば、1 時間耐火構造の性能が得られる。350 mm × 350 mm の断面寸法のスギ集成材柱の試験中の内部温度変化を図 5 に、試験終了後の集成材断面の写真を図 6 に示す⁴⁾。試験体は、壊れることなく余裕をもって燃え止まり層で消炎しており、1 時間耐火構造に求められる性能を十分に満たしている。実用化に向けては、本研究グループのメンバーである鹿島建設が 350 mm × 700 mm の断面寸法の集成材柱と梁で、スギ材のみで構成された集成材としては初となる 1 時間耐火構造の国土交通大臣認定を取得している。

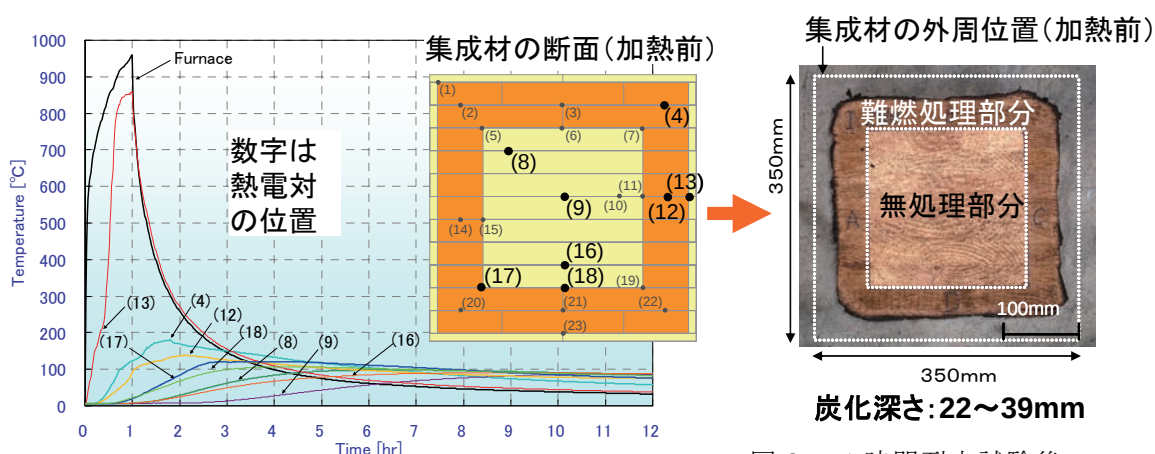


図 5 耐火集成材柱の内部温度変化

同様のコンセプトは 2 時間耐火構造の集成材の開発にも適用可能である。難燃処理層の厚みを 2 倍にし、無処理の表層 10 mm＋難燃処理層 120 mm となる燃え止まり層を配置した 470 mm×470 mm の断面寸法のスギ集成材柱の 2 時間耐火加熱試験で、試験体は燃え止まり（図 7）⁴⁾、2 時間耐火性能を有することが実験的に確認されている。

木質系耐火構造の各種手法は、1 時間耐火構造の認定を取得しており、4 階建てまでの建物、中層建築物の最上階から数えて 4 階以内への適用が可能である。また、2 時間耐火構造の可能性が示唆されたことから、中高層木造の建設も夢ではない。

図 6 1 時間耐火試験後の集成材断面

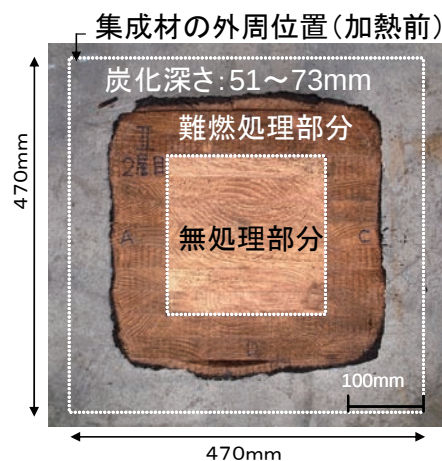


図 7 2 時間耐火試験後の集成材断面

4. 今後の課題

準不燃材料、不燃材料といった防火材料については、白華防止に加え、屋外使用時にける薬剤の溶脱防止が今後の技術的課題である。水溶性の薬剤を注入するという事は、雨水等で溶脱しやすいことを意味する。薬剤の改良、塗装との組合せなどが検討されているが、メンテナンス方法も含めた難燃処理木材の屋外での使用技術の開発が待たれる。

難燃処理木材の使用に当っては、準不燃材料の性能が軽視されている点に苦言を呈したい。避難階段の壁・天井などを除き、内装制限を受ける場所でも大抵は準不燃材料であれば使用できるにもかかわらず、施主や設計者などにその情報が正しく伝わらず、不燃材料しか使用できないと誤解されている場合が多い。準不燃材料で良いとするのは合理性があることである。木材の不燃化は、薬剤注入量を増加させ、コストアップや白華の危険性を高める。こうしたことを正しく消費者に伝えていくことも開発者の役割であろう。

木質耐火構造の開発は、1 時間耐火構造の手法が出揃った段階にある。石膏ボード被覆型の耐火構造はマニュアルの整備も進み、普及に向けた着実な歩みがみられるが、視覚的に木材が見える手法については、普及に向けた取組みが急務である。

木質耐火構造の実用化には、部材開発のみならず、部材間の接合方法、壁や床との取り付けを含めた構法の確立、さまざま規模や用途に対応できる幅広い汎用性の確保、設計マニュアルの整備が不可欠である。耐火構造部材の認定は実大寸法の試験体での評価で、基本的に一仕様一認定であるため、多様な寸法への対応には最大及び最小断面での認定が必要になる。樹種が異なれば認定も異なる。柱と梁の認定取得だけでは建物は建たず、接合部の耐火性能についての検証や壁、床との取合い部分の耐火性能に関するデータも必要となることから、性能検証には莫大な費用がかかる。さらに部材の製造や建物建設にかかるコストをいかに小さくするかも重要な課題である。部材の開発・製造、建築物の設計・施工など多岐にまたがる課題であり、産学官の連携なくして課題の克服は不可能である。

また、中高層木造の実現に向けては、2 時間耐火構造に向けた技術開発が必要である。2 時間耐火構造が実現できれば、銀座や丸の内に中高層木造ビルが建つことも夢ではなくなるが、既に 8 階建や 6 階建の中層木造が建設されている EU 諸国に比べ、木質耐火構造への規制は、今なお厳しく、制度面を含めた対応の検討も今後の課題と思われる。

5. おわりに

「公共建築物等における木材の利用の促進に関する法律」が可決・成立したことは、木質材料にとって大きな福音である。現行規定から一歩進んだ取組みに期待したい。戸建や共同住宅、事務所ビルでは 4 階建以上に必要とされる耐火構造が、他の特殊建築物では 3 階建以上となっている。火気が想定されにくく、避難誘導が比較的容易な学校などの特殊建築物なら、耐火構造は 4 階建以上としてよいのではなかろうか。鉄筋コンクリート造や鉄骨造と同列ではない、木造に特化した防耐火規制の創設は検討できないかなど検討すべき課題はまだある。しかし、木質耐火構造にとっての最大のハードルは、木質材料に課せられた「燃え止まり」である。現行法令では、スプリンクラーなどの消防用設備の有無が耐火構造認定とは必ずしもリンクしていないが、耐火構造がスプリンクラーの設置とセットで認定されるようになれば、木質耐火構造はもっと身近なものになるに違いない。

こうした課題を科学の力で解決していくのが、研究者に課せられた責務である。現行規定からさらに踏み込んだ施策が展開できるよう、火災安全工学の進展にも尽力したい。

文献

- 1) 日本住宅・木材技術センター編集、木を活かす建築推進協議会発行（2009）木造建築のすすめ。
- 2) Harada, T., Uesugi, S., Taniuchi, H., (2003) Evaluation of fire-retardant wood treated with poly-phosphatic carbamate using a cone calorimeter. Forest Products Journal 53(6): 81-85
- 3) Harada, T., Nakashima, Y., Anazawa, Y., (2007) The effect of ceramic coating of fire-retardant wood on combustibility and weatherability. Journal of Wood Science 53(3): 249-254
- 4) 上川大輔ほか（2009）耐火集成材の開発（その 9）2 時間耐火集成材柱の載荷加熱試験．日本建築学会 2009 年度大会（東北）学術講演梗概集 A-2：327-328

公開講演会 要旨

シックハウス問題と木質建材の揮発性有機化合物（VOC）放散

複合材料研究領域 積層接着研究室長 井上明生

1. はじめに

森林総合研究所のミッションは、森林・林業・木材産業に係わる研究を通じて、国民の生活を豊かにすることである。木材産業に係る製品としては、需給量（平成 19 年度）の大きいものから順に並べると、製材（約 2,000 万 m³）、合板（約 650 万 m³）、ボード類（パーティクルボード及び繊維板等）（約 300 万 m³）、集成材（約 200 万 m³）があり、その他、フローリング、単板積層材、構造用パネル等がある。このうち、製材以外の製品は、木材をいったん細分化した後、接着剤を用いて再構成した材料（木質材料）である。木質材料の最大の用途は住宅・建築関係であるが、木質材料を建材として使う場合、強度性能・耐久性・接着性能といった諸性能が建築基準法や日本農林規格（JAS 規格）または日本工業規格（JIS 規格）で要求される基準を満足することが必要である。さらには、国家規格である JAS 規格や JIS 規格自体が、建築基準法の要求事項を合理的に説明できる体系となっていなければならない。森林総合研究所では、長い間、木質材料の JAS 規格の合理性を担保するためのデータ・資料整備を行ってきた。それは、とりもなおさず、我々のミッションである「木材産業を通じて、森の恵みである木質資源を利用し、国民の生活を豊かにする」ことのために重要かつ必要不可欠と考えるからである。

シックハウスの主要な原因とされている揮発性有機化合物（VOC）についても、建築基準法及び JAS・JIS 規格において、製材及び木質材料の安全性の担保が求められている。

2. 厚生労働省の室内濃度指針値

平成 9 年に我が国で初めて化学物質（ホルムアルデヒド）の室内濃度指針値が策定された。現在、我が国には 13 物質の室内濃度指針値が策定されている（表 1）。室内濃度指針値の意味及び取り扱いについては、厚生労働省の「シックハウス（室内空気汚染）問題に関する検討会中間報告書―第 8 回～第 9 回のまとめ」によれば、「指針値は、ヒトがその濃度の空気を一生涯にわたって摂取しても、健康への有害な影響は受けないであろうと判断される値を算出したものである」、「現状の研究では指針値が策定された物質と体調不良との間に明確な対応関係は証明されていない」、「指針値の設定はその物質がいかなる条件においてもヒトに有害な影響を与えることを意味するものではない、という点について、一般消費者をはじめ、関係業界、建築物の管理者等の当事者には、正しく理解頂きたい」となっている。なお、総揮発性有機化合物（TVOC）については、人への健康影響が明らかになっていないことから、単に室内空気の汚れの指標のひとつという扱いで、“暫定目標値”となっている。以上のように、VOC が室内濃度指針値を超過したからといって直ちにシックハウスになるというわけではない。

表 1 厚生労働省の策定した化学物資の室内濃度指針値

揮発性有機化合物	室内濃度指針値	備考
ホルムアルデヒド	100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (0.08ppm)	超揮発性有機化合物(VVOC)
アセトアルデヒド	48 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (0.03ppm)	
トルエン	260 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (0.07ppm)	揮発性有機化合物(VOC)
キシレン	870 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (0.02ppm)	
エチルベンゼン	3800 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (0.08ppm)	
スチレン	220 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (0.05ppm)	
パラジクロロベンゼン	240 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (0.04ppm)	
テトラデカン	330 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (0.04ppm)	可塑剤
フタル酸ジ-n-ブチル	220 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (0.02ppm)	
フタル酸ジ-2-エチルヘキシル	120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (7.6ppb)	防蟻剤、殺虫剤
クロルピリホス	1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (0.07ppb)	
ダイアジノン	0.29 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (0.02ppb)	
フェノブカルブ	33 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (3.8ppb)	
総揮発性有機化合物量(TVOC)	400 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	暫定目標値

3. 建築基準法によるホルムアルデヒド規制

平成 15 年 7 月に改正・施工された建築基準法によりシックハウス対策に係る規制が開始された。その内容は、①クロルピリホスの使用禁止と、②ホルムアルデヒド発散建築材料の使用面積制限である。ホルムアルデヒド発散建築材料については、居室の種類及び換気回数に応じて内装の仕上げに使用するには面積制限を受けるというものである。ただし、現在、製材及び JAS・JIS 規格でホルムアルデヒド放散量が最上位区分である F☆☆☆☆基準に適合する木質建材は、建築基準法の面積制限を受けず、無制限に使用可能となっている。以上の建築基準法によるシックハウス対策において、森林総合研究所の研究成果が活用された重要な事項として下記が挙げられる。

- ①JAS 規格を建築基準法に位置付けることができた。
- ②JAS 規格の F☆☆☆☆基準に適合する木質建材は建築基準法の規制対象外となった。
- ③製材（木材）は建築基準法の告示対象外建築材料（規制対象外）となった。

3. 1 ホルムアルデヒド気中濃度予測式の開発

木質建材の JAS・JIS 規格におけるホルムアルデヒド放散量の試験方法（通称ガラスデシケータ法）では、密閉容器中に設置された蒸留水に吸収されるホルムアルデヒド量が測定され、基準値は水中濃度により規定されている（図 1）。一方、建築基準法では、居住環境中のホルムアルデヒド室内濃度（気中濃度）を直接的に設計可能な放散速度（単位時間・単位面積当たりの放散量）によって基準値が定められている。しかし、放散速度が測定可能な JIS 小形チャンバー法を実施するためには高額の特許装置が必要であり、また、1 週間以上の日数がかかる等の理由により、品質管理的な試験も兼ねている木質材料の JAS・JIS 規格の試験方法としては必ずしも適切とはいえない。一方、森林総合研究所では、既に、木質材料の JAS・JIS 規格試験による測定値から実際の室内のホルムアルデヒド気中

濃度を予測するための換算式を開発していた。その換算式について、国土交通省は実大住宅を用いた実験により検証を行い、その妥当性を確認した。その結果、換算式が建築基準法シックハウス対策関係技術的基準の作成根拠に採用され、木質材料の JAS・JIS 規格が建築基準法に引用されることとなった。技術的基準の作成根拠として採用された換算式は下記のとおりである

$$C = (0.158D / 6 + 0.017) \times \{2 / (1 + Q/S)\} \times 1.09^{(t-23)} \times \{(55+h) / 100\}$$

C : 気中濃度 (ppm)、 D : JAS のホルムアルデヒド放散量 (デシケータ値) (mg/L)

Q : 換気量 (m³/h)、 S : 建材表面積 (m²)、 t : 温度 (°C)、 h : 湿度 (%RH)

3. 2 F☆☆☆☆基準値

建築基準法で規制対象外となる F☆☆☆☆の基準値は、放散速度として 0.005mg/m²h 以下となっており、JAS・JIS 規格による F☆☆☆☆の基準値は、水中濃度で 0.3mg/L 以下となっている。上の換算式に、建築基準法の諸要件と JAS・JIS 基準値である 0.3mg/L を代入すると、放散速度 0.005mg/m²h が得られる。このことが、木質建材の JAS・JIS 規格における F☆☆☆☆製品が建築基準法の規制対象外として無制限に使用可能とされた根拠になっている。

3. 3 製材と集成材

建築基準法において、製材（木材）については「告示対象外建築材料」とされた。これは、製材という材料そのものが規制対象外であるという意味であるが、そこにも森林総合研究所が長年蓄積してきたデータが活用されている。また、集成材等の JAS で採用されているアクリルデシケータ法を建築基準法関連法規で引用してもらうため、実験計画の作成とデータの取りまとめを行った。

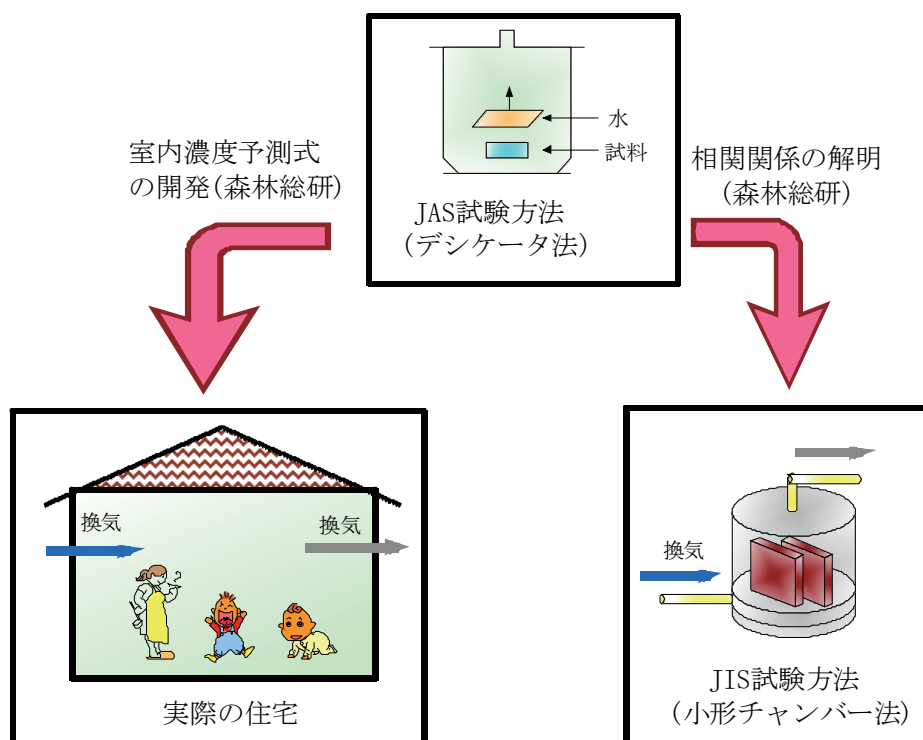


図 1 ホルムアルデヒド放散量の試験方法

4. VOC の自主表示制度

厚生労働省が室内濃度指針値を策定している 13 化学物質のうち、現在規制が行われているのは、建築基準法が対象としているクロルピリホスとホルムアルデヒドの 2 物質のみである。しかし、その他の化学物質についても安全性に関する表示制度の確立を望む声が多く寄せられてきたため、平成 20 年 4 月 1 日に、(財) 建材試験センターが主催する「建材からの VOC 放散速度基準化研究会」により「建材からの VOC 放散速度基準」が制定され、トルエン、キシレン、エチルベンゼン及びスチレン (4VOC) の放散速度基準値 (4VOC 基準) が示された。それを受けて、(社) 日本建材・住宅設備産業協会 (建産協) は、平成 20 年 10 月 1 日より「化粧板等の VOC 放散に関する自主表示 (トルエン・キシレン・エチルベンゼン・スチレン) 制度」(業界団体による自主制度) を開始した。同自主表示制度において、製材及び木質材料の一次加工品 (接着剤のみを用いて製造された木質材料で、塗装や印刷紙貼り等の二次加工を行っていないもの) は、4VOC の放散が 4VOC 基準以下と認められることになったが、そこに森林総合研究所の成果が活用されている。

4. 1 木材 (無垢材) の 4VOC 基準適合性

木材 (無垢材) については、標準法である小形チャンバー法 (JIS A 1901) による測定において 4VOC がほとんど検出されないこと、また、木材成分の生合成経路から判断して 4VOC が生成される可能性がないことなどから建材からの 4VOC 基準に適合するものと判断された。

4. 2 木材用接着剤の 4VOC 基準適合性

主な木質材料用接着剤 (ユリア樹脂、メラミン・ユリア共縮合樹脂、メラミン樹脂、フェノール樹脂、レゾルシノール樹脂及び水性高分子-イソシネート系樹脂接着剤) からは 4VOC の放散はほとんど認められず、これらの接着剤は 4VOC 基準に適合するものと判断された。

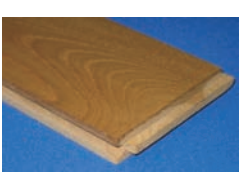
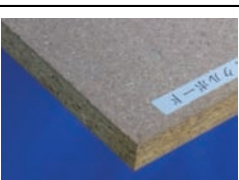
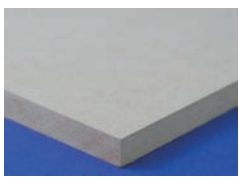
4. 3 木質建材の 4VOC 基準適合性

7 品目 95 体の木質建材 (合板 : 14 体、集成材 : 14 体、フローリング : 20 体、パーティクルボード : 40 体、ミディアムデンシティファイバーボード (MDF) : 5 体、インシュレーションボード : 1 体、ハードボード : 1 体) について、4VOC 放散基準に対する適合性を解析したところ、これらの木質建材は 4VOC 基準に適合するものと判断された。

これらの成果は、「木質建材からの VOC 証明・表示研究会」報告書 ((財) 日本住宅・木材技術センター) として取りまとめられた。同報告書は、(社) 日本建材・住宅設備産業協会が平成 20 年 10 月 1 日より開始した「化粧板等の VOC 放散に関する自主表示 (トルエン・キシレン・エチルベンゼン・スチレン) 制度」(業界団体による自主制度) の根拠として活用されている。同制度において、上記の木質建材は「4VOC が基準値以下であることが確認されている資材」として認められることとなった (表 2)。

表 2 4VOC が基準値以下であることが確認されている資材

((社)日本建材・住宅設備産業協会)

材料名称	写真	要件	備考
合板		ユリア樹脂接着剤、メラミン・ユリア共縮合樹脂接着剤、メラミン樹脂接着剤、フェノール樹脂接着剤、及びレゾルシノール樹脂接着剤またはこれらを共縮合または混合した接着剤を用いた製品。但し、水性高分子・イソシアネート系接着剤を用いた合板については国内産に限る。	「木質建材からのVOC証明・表示研究会」報告書(平成20年8月1日(財)日本住宅・木材技術センター)による
集成材		ユリア樹脂接着剤、メラミン・ユリア共縮合樹脂接着剤、メラミン樹脂接着剤、フェノール樹脂接着剤、及びレゾルシノール樹脂接着剤またはこれらを共縮合または混合した接着剤を用いた製品。但し、水性高分子・イソシアネート系接着剤を用いた集成材については、その接着剤が日本接着剤工業会の4VOC基準適合製品又は放散速度基準値以下であることを証明した製品であること。	
単板積層材(LVL)		ユリア樹脂接着剤、メラミン・ユリア共縮合樹脂接着剤、メラミン樹脂接着剤、フェノール樹脂接着剤、及びレゾルシノール樹脂接着剤またはこれらを共縮合または混合した接着剤を用いた製品。但し、水性高分子・イソシアネート系接着剤を用いた単板積層材については国内産に限る。	
フローリング		ユリア樹脂接着剤、メラミン・ユリア共縮合樹脂接着剤、メラミン樹脂接着剤、フェノール樹脂接着剤、及びレゾルシノール樹脂接着剤またはこれらを共縮合または混合した接着剤を用いた製品。但し、水性高分子・イソシアネート系接着剤を用いたフローリングについては、その接着剤が日本接着剤工業会の4VOC基準適合製品又は放散速度基準値以下であることを証明した製品であること。なお、いずれの製品であっても塗装等の処理を全く行っていない製品に限る。	
パーティクルボード		ユリア樹脂接着剤、メラミン・ユリア共縮合樹脂接着剤、メラミン樹脂接着剤、フェノール樹脂接着剤、及びレゾルシノール樹脂接着剤またはこれらを共縮合または混合した接着剤を用いた製品。但し、イソシアネート系接着剤を用いたパーティクルボードについては、その接着剤が日本接着剤工業会の4VOC基準適合製品又は放散速度基準値以下であることを証明した製品であること。	
MDF		ユリア樹脂接着剤、メラミン・ユリア共縮合樹脂接着剤、メラミン樹脂接着剤、フェノール樹脂接着剤、及びレゾルシノール樹脂接着剤またはこれらを共縮合または混合した接着剤を用いた製品。但し、イソシアネート系接着剤を用いたMDFについては、その接着剤が日本接着剤工業会の4VOC基準適合製品又は放散速度基準値以下であることを証明した製品であること。	
インシュレーションボード		(接着剤を使わないため要件はなし)	
ハードボード		(接着剤を使わないため要件はなし)	

5. おわりに

建築基準法によるホルムアルデヒド規制と 4VOC に関する自主表示制度については、一般消費者が満足でき、かつ、製造側である木材業界も対応可能なバランスのとれた規制・制度となるような研究成果が得られた事例といえる。

しかし、厚生労働省が室内濃度指針値を策定している化学物質のなかで、アセトアルデヒドについては、日本建築学会により「アセトアルデヒドによる室内空気汚染防止に関する濃度等規準・同解説」が発行され、木材から放散するアセトアルデヒドについて安全性を疑問視する指摘がなされている。森林総合研究所としては、今後とも木材からのアセトアルデヒド放散機構の解明とともに、安全性を示すためのデータを蓄積していく必要があると考えている。

また、ホルムアルデヒド放散量試験方法についても、我が国の JAS 規格で採用されているデシケータ法を国際規格（ISO）に位置づけするため、各国の試験方法との相関関係を明らかにしていく必要がある。さらには、木質材料の使用段階のみならず、製造段階で工場から排出される VOC に関しても、大気汚染防止法の改正や PRTR 法（化学物質排出把握管理促進法）の改正に伴い、各工場からの VOC 排出量について規制や報告の義務等が課せられている。

以上のような VOC に関する規制は今後とも厳しくなっていくと思われる。木材が天然材料であるという理由だけで、そのような規制を一律的に免れるというわけにはいず、技術的・科学的に安全性を明らかにすることが必要な時代になっている。一方、木材業界における個々の企業は比較的零細であり、VOC 問題に単独で対応することは極めて困難である。森林総合研究所として様々な VOC 問題に対応するためデータの蓄積と資料整備を行っていく必要があると考えているので、今後とも業界団体のご支援とご協力をお願いしたい。

参考文献

- 1) 厚生労働省：シックハウス（室内空気汚染）問題に関する検討会中間報告－第 8 回～第 9 回のまとめについて、平成 14 年 2 月 8 日
- 2) 国土交通省：建築基準法関係シックハウス対策 技術的基準の試案の作成根拠、平成 14 年 7 月 29 日
- 3) 国土交通省：ホルムアルデヒド発散建築材料の審査方法について、平成 15 年 6 月 26 日
- 4) 財団法人建材試験センター：建材からの VOC 放散速度基準、平成 20 年 4 月 1 日
- 5) 財団法人日本住宅木材技術センター：「木質建材からの VOC 証明・表示研究会」報告書、平成 20 年 8 月 1 日
- 6) 社団法人日本建材・住宅設備産業協会：建材からの VOC 放散速度基準に関する表示制度運用に関わる基本的事項、平成 20 年 10 月 3 日

公開講演会 要旨

リグニンのマテリアル利用による 木質バイオマス総合利用の推進

バイオマス化学研究領域 チーム長 山田竜彦

1. はじめに

低炭素社会の構築をめざし、バイオマスを徹底的に有効利用する技術が待望されている。我が国は、国土の約 8 割が森林と農用地で占められた緑豊かな農林地を保持しており、バイオマスの潜在的なポテンシャルは高いと考えられている。石油代替の液体燃料としては、バイオエタノールが広く認知されてきたが、食料生産との共存をめざして、トウモロコシやサトウキビからでなく、木材等のセルロース系資源からの生産が重要視されてきた。そのような中、森林総合研究所においては、スギ材からバイオエタノール生産を行う実証プラントを秋田県に設置し、木質バイオエタノールの生産を試みているところである。

木材は、糖系の成分であるセルロース（約 50%）とヘミセルロース（約 20%）に加えて、「リグニン」と呼ばれる芳香族成分（約 30%）で構成されている。糖系の成分からは、バイオエタノールや紙パルプ等の生産が可能である。しかしながら、その際に副産するリグニンの利用法は明確となっていない。そこで森林総合研究所では、バイオエタノール生産や紙パルプ生産で副産するリグニンを高付加価値製品に変換する技術開発を進めている。もし、極めて高付加価値な製品がリグニンから生産されるようになれば、状況は逆転し、木質バイオマス利用において、リグニン製品が主産物（バイオエタノール等が副産物）となると考えられる。ここでは、リグニンはどこまで使えるのかを考察し、この主副逆転の可能性について考えていきたい。

2. リグニンとは

リグニンから高付加価値製品を製造するためには、まずは、リグニンという物質の基本特性について、最低限の理解が必要となる。マテリアル利用において重要な事項をまとめると以下ようになる。

リグニンとは

- ・植物系バイオマスの 3 大主成分の一つ（3 大主成分：セルロース、ヘミセルロース、リグニン）の天然高分子。
- ・地上の有機化合物の中で 2 番目に多い物質（1 番はセルロース）
- ・基礎骨格が芳香核で構成されている。（一方、セルロースやヘミセルロースは糖骨格）。
- ・水との親和性が比較的弱い（一方、セルロースやヘミセルロースは水との親和性が比較的高い）。
- ・針葉樹、広葉樹、草本系植物で化学構造等が異なるので、材料特性が異なる。
- ・植物体に存在するオリジナルの構造のままで取り出すことはできず、取り出すための処理（分解方法や度合い）に応じて、材料特性が異なる。

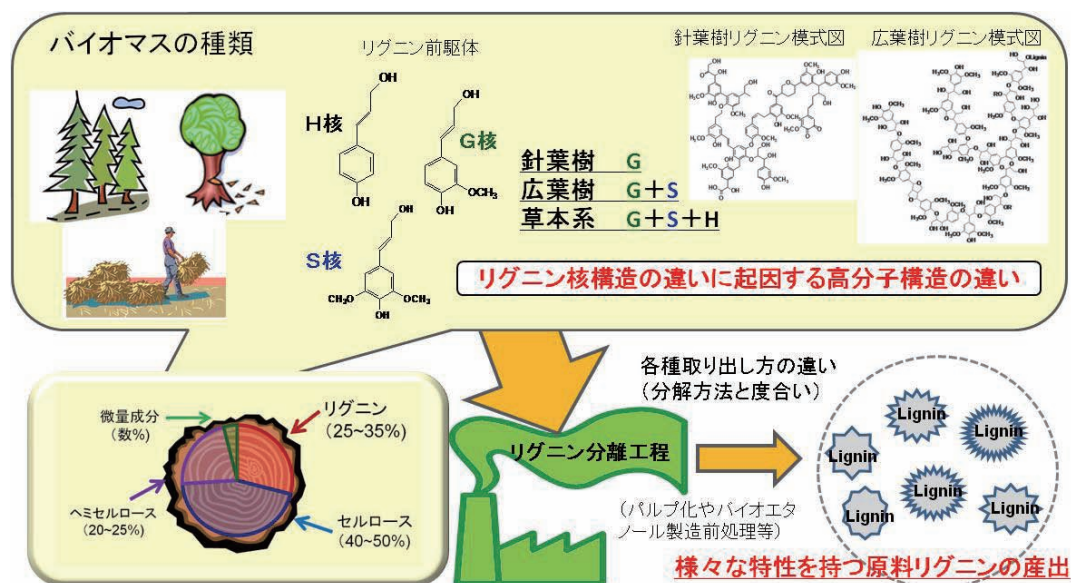


図1 リグニンの特性は「起源」「取り出し方法」により千差万別

リグニンを材料として利用する際には、起源で大きく構造が異なる点と、どのような分解処理を経て取り出されたのかの点に留意する必要がある。例えば、広葉樹リグニンは、その構造上、針葉樹リグニンと比較して分解が容易な傾向にある。そのため、広葉樹材において効果のある技術でも針葉樹材には応用できない例が多い。例えば、バイオエタノール製造において米国においては希硫酸を用いた前処理が主流となっているが、この手法は広葉樹材には効果があるが、針葉樹材には効果をもたらさない。一方、我が国にはスギを代表とする膨大な針葉樹資源を保持しており、針葉樹材に応用できる技術開発が必要である。そのため、森林総合研究所では、スギ材に適用できる技術を独自に開発し、前述の木質バイオエタノール実証事業（林野庁事業）につなげている。同様に、マテリアル利用する際も、リグニンという物質を石油化学の合成樹脂のように単一の特性を持つ材料として認識すると、多くの誤解を生じる。最低でも、針葉樹、広葉樹、草本系のどれに由来するかという起源と、どのような手法で分解して取り出されたのかを理解しておかなければならない（図1）。

3. リグニンからの機能性ポリマー材料の開発

木質バイオエタノール製造においては、材中のセルロースをむき出しにして、糖化酵素が作用できる部位を増加させるため、リグニンを取り除くことが望ましく、一般に前処理として脱リグニン処理が行われる。森林総合研究所の木質バイオエタノール製造の手法では、苛性ソーダ水（水酸化ナトリウム水溶液）によりスギチップを処理し、材中のリグニンを分解して分離している（アルカリ処理法）。ここで副産するリグニンは苛性ソーダ中に溶解した黒色の液体（黒液）として産出し、アルカリリグニンと呼ばれる。また、多くの紙パルプ製造において脱リグニンが行われる際も、副産リグニンはアルカリ性の黒液中に溶解している。汎用されているパルプ化法にクラフト法があり、副産する黒液中のリグニンはクラフトリグニンと呼ばれる。これらのリグニンは、アルカリ溶液から精製して取

得ることができるが、そのままのリグニンは、残念ながらポリマー原料として使いやすいものではない。したがって、何らかの処理で改質する必要がある。

森林総合研究所と北海道大学のグループでは、これらアルカリに溶解したリグニンを黒液中で直接に機能性材料に変換する手法を開発した。目的とする機能性は「両親媒性」である。

3. 1 両親媒性リグニンの開発とその機能性

「両親媒性」とは水と混ざらない部分（疎水基）と水と混ざる部分（親水基）をあわせ持つ物質の性質であり、身近にあるものでは石鹸や合成洗剤などの界面活性剤がこれに相当する。リグニンは芳香核をその主構造に持っており、それ自身、基本的には疎水性（水に溶けない）物質である。よって、両親媒性リグニンを調製するには、何らかの方法で、親水性（水に溶ける性質）を付与することが必要であった。我々は、親水性高分子のグリシジルエーテル系化合物を用いて、親水基をリグニンに容易に導入することに成功した（図 2）。親水基が導入されたリグニンは水にも溶解するようになり、両親媒性を示すと共に、導入親水基の種類を変えることで、その性能をコントロールすることも可能となった。

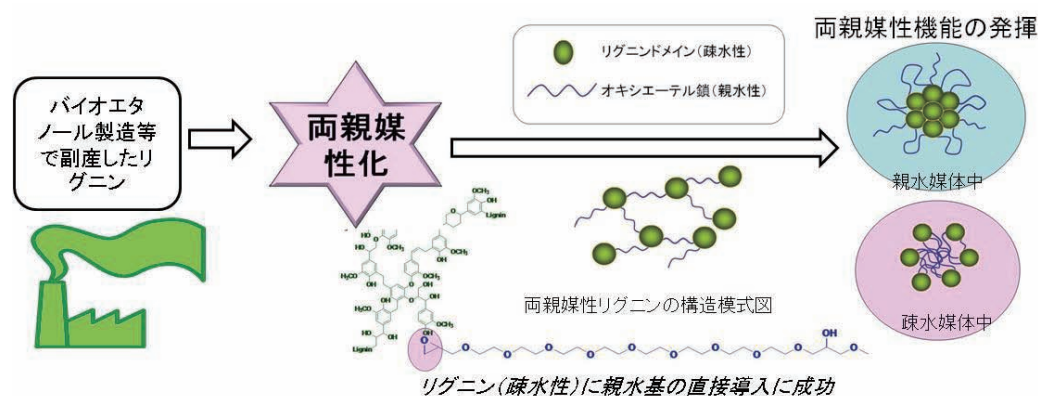


図 2 両親媒性リグニンの製造

3. 1. 1 両親媒性リグニンを用いたコンクリート用化学混和剤

この手法を用いて、調製した両親媒性リグニンを、コンクリート用化学混和剤としての利用をめざして開発を進めた。コンクリート用化学混和剤とは、少量の添加で、コンクリートの施工性等を改質する化合物で、代表的なものに「減水剤」がある。減水剤とは、コンクリートの粒子を分散させ、流動性を与えて、施工性を高める混和剤である。

我々は、開発した両親媒性リグニンを用いて減水剤評価用に行われるコンクリートのフロー試験（流動性の試験）を実施した。アルカリリグニンから調製した新規のリグニン系コンクリート混和剤は市販の混和剤と比較して、圧倒的に高い流動性の付与能を示した。流動性の改善はコンクリート施工で最も重要で、ほぼすべてのコンクリートには混和剤が使用されており、市場規模は年間約 400～500 億円とされている。当成果は大量に副産するリグニンの有効利用法として大いに期待できるものである。

3. 1. 2 両親媒性リグニンの酵素安定化剤としての利用

木材等のセルロース系バイオマスから酵素糖化発酵法でバイオエタノールを調製する場合、最もコストのかかる工程は酵素糖化工程にあり、特に、酵素のコストがキーポイントと言われている。基本的にリグニンは酵素の活性を低下させるので、糖化に先立って取り除くことが望ましいとされる。アルカリ処理法においても、針葉樹材から大部分のリグニンを除去することができたが、すべてを除去することはできず、残留リグニンは存在し、酵素の活性に影響を与えていた。そこに、新たにリグニンから調製した両親媒性リグニンをを用いると、酵素の活性低下を抑制することができた。さらに、酵素反応後に酵素の活性がどのくらい残っているか調べると、酵素の約 7 割が活性を保っていた。これは酵素の再利用が可能であることを示している。前述のように酵素にかかるコストがセルロース系バイオエタノール製造において最も大きいものであるので、本技術はバイオエタノール製造コストの低減に大きく貢献するものと期待される。

酵素活性の低下は、残留リグニンが酵素に吸着することにより生じると考えられている。当技術は、酵素のリグニンへの吸着をリグニンで阻止する方法でもあり「リグニンでリグニンを制御する」という逆転的発想の成果であり、新規性の高い知見である。

3. 2 針葉樹リグニンからの炭素繊維の開発

炭素繊維は我が国で開発された先端材料であり、現在も日本が品質、生産量共に世界一の実績を誇っている。通常、炭素繊維は化石燃料由来の原料から紡糸した繊維を炭化したものである。バイオマスでこれに代替する場合、最も適した物質は、バイオマス成分の中で炭素含有率の高い成分であるリグニンと言われている。

炭素繊維を調製する際、原料から糸を引くこと（紡糸）が必要である。紡糸には、いくつかの手法があるが、熱を加えて押し出しながら紡糸する「熔融紡糸法」は最も工業化が容易な手法で汎用されている。リグニンも容易に熔融紡糸することができれば、リグニン系炭素繊維の実用化に近づくと考えられる。しかしながら、これまで、針葉樹リグニンをを用いて直接熔融紡糸に成功した例はなかった。

森林総合研究所では「加溶媒分解法」という手法を応用することで、これまでに困難であった針葉樹材から熔融紡糸可能なリグニンを直接取り出すことに成功した。取得された「加溶媒分解リグニン」は、針葉樹リグニンであるにもかかわらず熱成形性に優れ、容易に熔融紡糸することが可能であった（図 3）。



図 3 炭素繊維製造のためのスギ加溶媒分解リグニンの熔融紡糸

4. リグニンからの有用化合物の開発

上記に紹介したリグニン系の機能性材料は、あくまで高分子であるリグニンを高分子材料として利用する技術である。一方、森林総合研究所では、リグニンを低分子に分解した後、微生物の代謝を用いて、有用な単一化合物に変換する試みを検討している。

これまでに、リグニン分解微生物のリグニン分解・代謝遺伝子を操作した組換え微生物を用いることにより、低分子のリグニンから、均一で単一な化合物である、2-ピロン-4,6-ジカルボン酸（PDC）に変換することに成功している（図4）。

PDCは、分子内に2つのカルボキシル基を保持しており、典型的な重合反応を応用することにより、様々なポリマー合成の原料として利用可能である。これまでに、PDCからエポキシ誘導体を合成したものから、強力な金属接着を示す接着剤の合成に成功している。当技術では、ステンレス同士の接着で最大90メガパスカル（MPa）、鉄同士の接着では115MPaの接着強度を示す高性能な接着剤が得られた。この強度は、市販の石油系エポキシ接着剤の接着強度（約30MPa程度）と比較して、およそ3倍の強度である。また、PDCを用いたポリウレタン樹脂等の合成にも成功している等、他の様々なポリマー合成への展開を精力的に進めている。

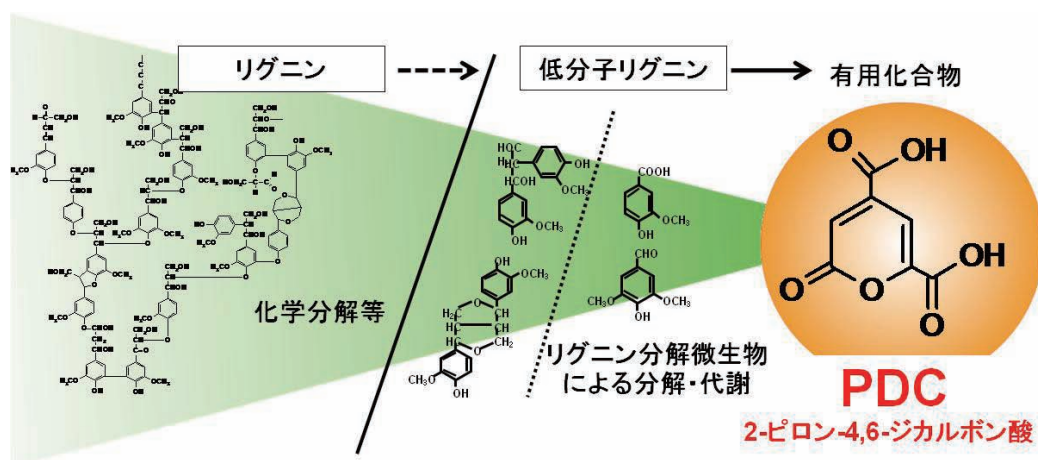


図4 リグニンからの有用化合物PDCの製造

5. リグニン利用を主目的とした木質バイオマス総合利用のすがた

上記に紹介したリグニンの高度利用技術を用いた場合の、バイオマス総合利用の姿を図5に示す。図の上段のスキームは木質バイオエタノール製造工程であり、リグニンは前処理の段階で黒液中に産出する。例えばこれを両親媒性リグニンに変換する場合は、黒液を中和せずに、そのまま用いることができ有利である。この場合、親水基の構造を分子設計することにより、コンクリート用混和剤、もしくは酵素安定化剤として利用することができる。コンクリート混和剤は大きな市場性が期待され、一方、酵素安定化剤はバイオエタノールの価格を低下することが期待される。

また、PDCのような有用ケミカルスを得るのには、最初から低分子画分のリグニンを使用した方が有利と考えられる。PDCからは高付加価値な合成ポリマーを目指すことが重要と考えられる。

熱溶融性の付与により炭素繊維も製造可能であり、例えば、活性炭素繊維の市場価格は1～2万円/kgであり、こうなれば、バイオエタノールの製造目標である40～100円/Lのレベルとは違った展開が開けてくる。我々は、バイオリファイナリーにおいて、リグニン製品を主産物として生産する新産業の創成を目指している。

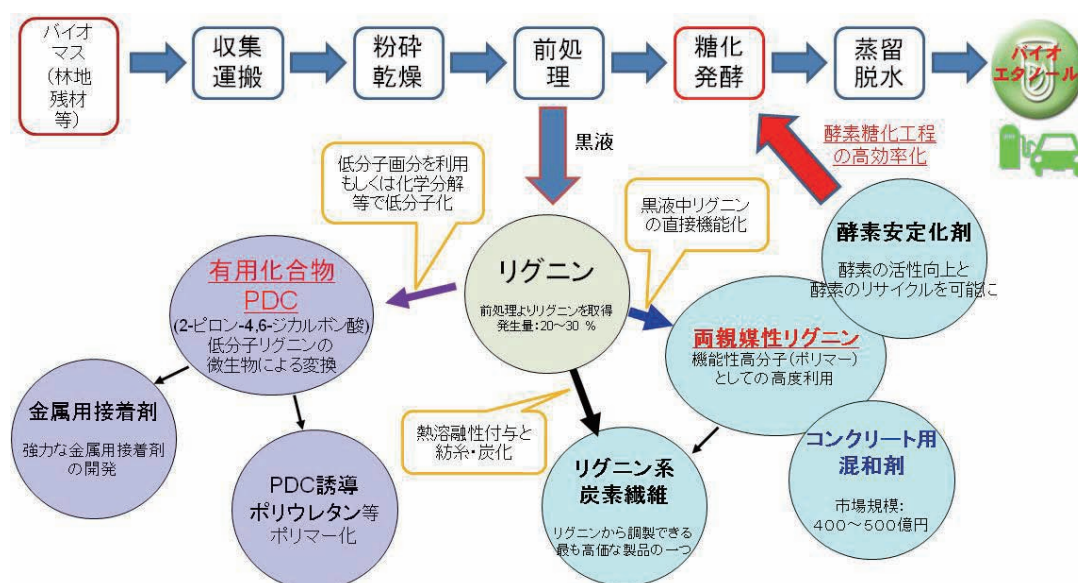


図5 リグニンの高度利用によるバイオマス利用の促進

6. おわりに

我々は国産バイオマスの利用を目的とした技術開発を重要視している。これら国内の地域バイオマスを用いたグリーン分野の新産業創出は、地域活性化をもたらし、新規雇用の創出にも貢献すると考えられる。また、国内地域のバイオマスを利活用する事は、地産地消によるエネルギーの効率的利用に加え、エネルギー自給率向上の面でも重要と考えられる。「バイオマス大国ニッポン」と言われるための、技術革新をめざしてまいりたい。

セミナー要旨

オープンラボ セミナー 要旨

日本の木質資源 ー供給量や生産コストの今後ー

四国支所 産学官連携推進調整監 田内裕之

1. はじめに

日本の森林率は国土の 66%と、先進国ではトップクラスであり、森の国と言える。森林資源量（森林が蓄えている資源量）は年々増加しているにもかかわらず、国内林業の衰退により適切な森林の管理や資源利用が出来ていない状況にある。そのため、木材自給率は一時より持ち直したものの、まだ 28%という低い水準である。農林水産省では「強い林業の再生」の確立を目指し、木材自給率を 2020 年までに 50%以上に引き上げ、資源の有効利用による低炭素社会の実現を目指している。

ここでは、森林資源のみならず、廃材として放置されている資源や新たに創出しようとする資源も含めた木質資源全体について紹介する。また、収穫や運搬にかかるコストや供給可能な資源量などを明らかにし、適切な森林管理をしながら木質資源の供給量を上げていく方法を考え、さらに、将来はどのような資源が供給されるのかを予測しながら、木質資源の将来像を明らかにしていきたい。

2. 木質資源の量と種類

2. 1 森林資源量の推移

日本の森林面積は過去 50 年間ほとんど変わっておらず、約 2,400 万 ha で推移している。人工林の面積は戦後から昭和 40 年代にかけて増加し、昭和 60 年代からはほとんど変化が無く、約 1,000 万 ha で森林の 40%強を占めている。一方で、資源（蓄積）量は毎年増加し、44.3 億 m^3 （平成 19 年現在）に達しており、過去 40 年間で 2.3 倍に増えた（図 1）。

特に人工林の蓄積量は 5 倍以上に増えおり（26.4 億 m^3 ）、その内訳は、スギが最も多く（15.1 億 m^3 ）、ヒノキ、カラマツを含めた主要 3 種で全体の 85%以上を占めている。

2. 2 森林資源の供給量

齢級配置を見ても、人工林は 9 齢級（46 年生）以上の面積が 50%以上となり、間伐や主伐をして利用できる 7 齢級以上の面積が、実に 75%にも達している。しかし、この 20 年間を見ると、スギの場合丸太価格は 60%も下落しており、資源量が毎年増加しているにもかかわらず、経済的に伐採可能な森林資源は、この間増加したとは言えない状況なのである。

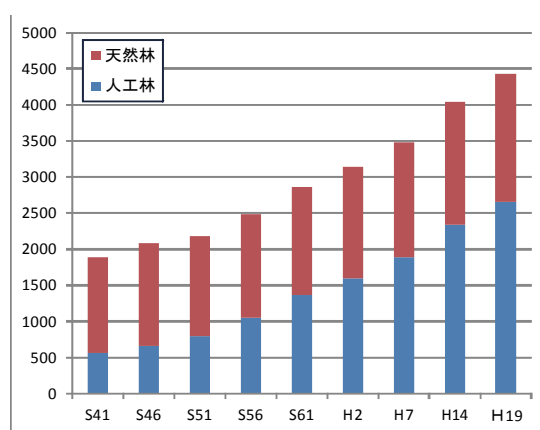


図 1 日本の森林資源蓄積の推移（縦軸単位：100 万 m^3 ）
林野庁「森林資源の現況」による。

2. 3 木質資源の種類

木質資源の用途は多岐にわたっており、今後ますますその用途は広がっていくと思われる（図 2）。主要な用途としては、もちろん建造物の構造材や内外装材で、これらは伐採した樹木の幹が使われる。低質なもののや小さな丸太はパルプ・チップ材として利用され、紙製品やボード類の原料となる。

一方、最近注目を集めているのが、今まで未利用であった木質資源の

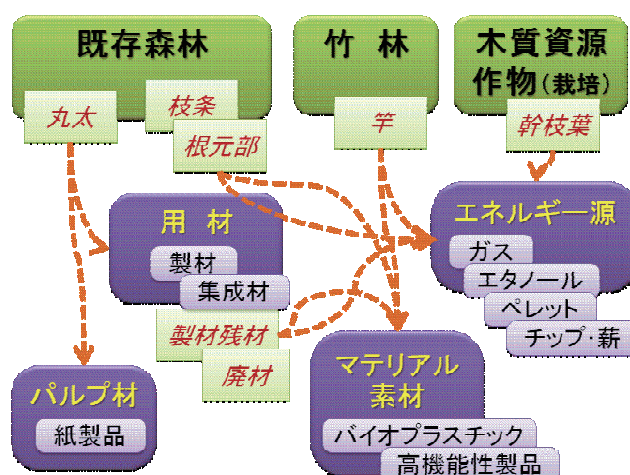


図 2 木質資源の種類とその用途

活用である。伐採時に放置されていた枝条および根元部をはじめ伐り捨て間伐木（林地残材）や、ほとんど放棄されている竹林資源（タケ）は、新たなマテリアル素材として生分解性プラスチックや保水資材等へと利用されているほか、エネルギー源としても利用され始め、低次加工の薪やチップに始まり、ペレット、エタノール、ガス化及びその発電による電気へと高次にエネルギー変換され、脱石油資源の主役として期待されている。また、原野や耕作放棄地等でのエネルギー樹木（ヤナギ等）の栽培も始まっており、こうした多種多様な用途が開発されている今、森林資源供給への期待はますます高まっている。

3. 木質資源の今後

3. 1 供給量とコストの削減

木質資源の利用が進むなか、日本の木質資源の需要動向や供給可能量、今後の価格（市場までの収集・搬出コスト）はどのようになるだろうか。現在、日本の森林の成長量は伐採量を大幅に上回っており、上述のようにその蓄積量は年々増加している。年間の成長量は約 8,200 万 m^3 （2003～2007 年の平均）もあり、これは国内の年間木材需要量に相当する。この数字だけを見れば、日本は森林資源を自給できそうに見えるが、自然及び社会条件により供給できる量は格段に少なくなる。地理的条件が悪い奥山や環境保全のために施業が制限されている場所など、伐採が出来ない森林が多いのも事実だが、何よりも素材（木材）価格が低いため伐採が手控えられているのが現実である。現在の木材価格はスギ中丸太で 12,000 円/ m^3 （2010 年現在）程度と 1980 年頃の 1/3 以下になっており、森林所有者は販売してもその後の再造林にかかる費用を賄えないために皆伐を控えている。

このような状況の中で、素材生産について、森林資源予測モデルの一つである FADAS（森林総合研究所開発）によって将来の生産量を予測すると、2020 年頃に生産量が 3,300 万 m^3 に増加する場合でも、皆伐面積は増えず、間伐による供給量が増大する結果となった。これほどの量が供給されるのであれば、日本の木材自給率は 40% 程度に上昇するが、その実現には生産性の向上と共に、集材・搬出コストの低減が進むという条件が整わなければならない。

我が国の素材生産現場における生産性は皆伐（主伐）の場合 $4.6 \text{ m}^3/\text{人日}$ 、間伐の場合 $3.0 \text{ m}^3/\text{人日}$ （2007 年現在）と、スウェーデンなどヨーロッパでの生産性、約 $20.0 \text{ m}^3/\text{人日}$ と比べるとかなり低い数字となっている。生産性を上げるためには、伐採・集材・造材効率を上げるための機械の高性能化や、運搬効率を上げるための路網整備が必要である。伐



図 3 高性能林業機械の一つ、ウィンチ付きハーベスタ。これ一台で伐採木の引き寄せ、玉切り等の複数の作業が出来る。

採から造材、搬出までの作業については多くの機械が開発されており、その性能の実証試験から実用化へと移行している。特に、最近の機械は、一台で多数の作業をこなせるタイプのものが多く、効率の良い作業が可能となっている（図 3）。一方で、作業員の労働効率の向上もコスト低減のためには重要な課題であり、工程ごとの作業時間の短縮や待ち時間の解消等が図られている。このように効率的な作業システムを組むことによって、間伐作業においても生産性 $10 \sim 12 \text{ m}^3/\text{人日}$ （この数値は地理的条件等によって大きく異なる）という目標の

達成を目指して実証試験が行われている。

一方、木質バイオマス資源の需要は、今後大きく増えることが予想される。その資源量は林地残材が約 800 万 ton/年（乾重）、製材残材（製材等によって発生する残り物）が 535 万 ton/年、建築残材（建築物の解体等によって発生する残り物）が 944 万 ton/年（平成 20 年林野庁業務資料より重量換算）とされている。更に、竹林資源を効率よく収穫する技術や、原野・耕作廃棄地でエネルギー樹木を栽培する技術開発を行っており、潜在的な供給可能量は年間 3,000 万 ton 以上あると推定される（図 4）。特に、残材類の資源分布や供給コストについては、そのマッピングが可能となっており、資源を利用する側からは、必要な情報が得られる便利なツールとなっている。また、これらバイオマス資源の収穫コストの低減に関しても技術開発が進んでいる。資源を現場で圧縮したりチップ化したりして効率的に運搬する方法や、木材収穫（集材）とセットで作業効率を上げる方法等が開発され、資源の収穫からエネルギーへの変換・利用までのシステム作りのための技術開発プロジェクトが各地で行われている（図 5）。

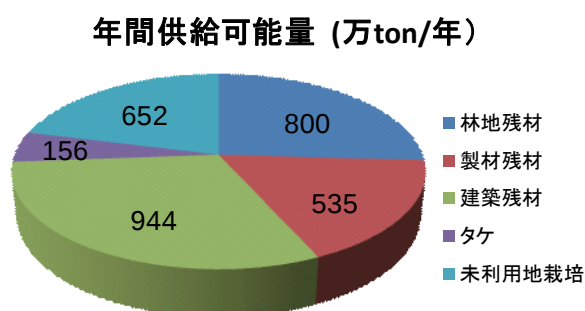


図 4 日本の木質バイオマス資源の供給可能量
バイオマス資源は、重量で表す場合が多く、各種資料から、重量換算してある。

3. 2 持続可能な供給

今後も、木材自給率向上のために様々な取り組みが行われるだろう。現在は収穫コストの低減のための技術開発が盛んに行われているが、供給の持続性を確保するためには、次の資源を育てるコストの低減も考えなければならない。残念ながら、日本の主要造林樹種は、自然に再生（更新）する事は困難である。優良な資源を確保する意味からも、伐採した後は植林（再造林）をするという施策が必要となる。現在、人工林を

育成する場合、植栽をし、除伐間伐などの保育作業をし、伐採出来るまでの森に育て上げるまで 250 万円/ha もの費用がかかっている。この内の 2/3 を占める植栽から保育までの費用を、現在の半分以上に削減しようとする技術開発も始まっている。また、多様な森林資源の供給を目指して、広葉樹林を育成する技術開発も行われている。

木質資源の有効利用が進むことは良いことだが、一方で、森林の伐採面積は今以上に増加するであろう。森林は、木材生産の場合だけではなく、水土を保全したり生物の棲み家となったり、多様な機能を発揮しその恵み（生態系サービスともいう）で我々の生活は維持されている。どのように伐採・利用し、再生・育成するか、持続可能な資源管理が一層求められる時代になっている。

4. 参考文献・資料など

- 1) 森林・林業・木材産業の将来予測－データ・理論・シミュレーション－、森林総合研究所、2006、日本林業調査会
- 2) 木質バイオマスの大量収集に適した地域を特定する、久保山裕史・上村佳奈・山本幸一、森林総合研究所平成 22 年版成果選集、16-17、2010.9、森林総合研究所
- 3) 生産性の向上に向けた作業システムの開発、岡勝・中澤昌彦・佐々木尚三、森林総合研究所平成 22 年版成果選集、38-39、2010.9、森林総合研究所

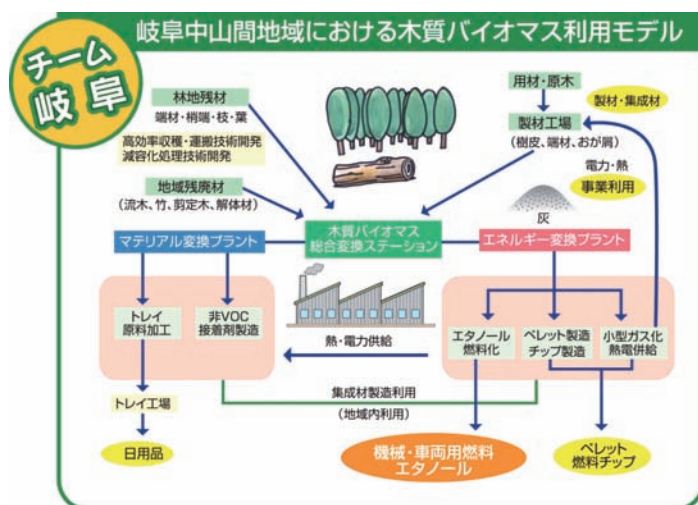


図 5 木質資源の有効利用を考えたバイオマス利用モデルの例。現在、農林水産省の委託プロジェクトで技術開発中。

オープンラボ セミナー 要旨

CO₂ 冷媒ヒートポンプを応用した 低環境負荷型木材乾燥装置の開発

加工技術研究領域 木材乾燥研究室長 齋藤周逸

1. はじめに

地球温暖化の抑制や原油価格高騰の回避対策等は我が国の急務とされている。これらの対策として、政府は省エネルギー技術の開発・普及、低炭素社会の構築に取り組んでいる。

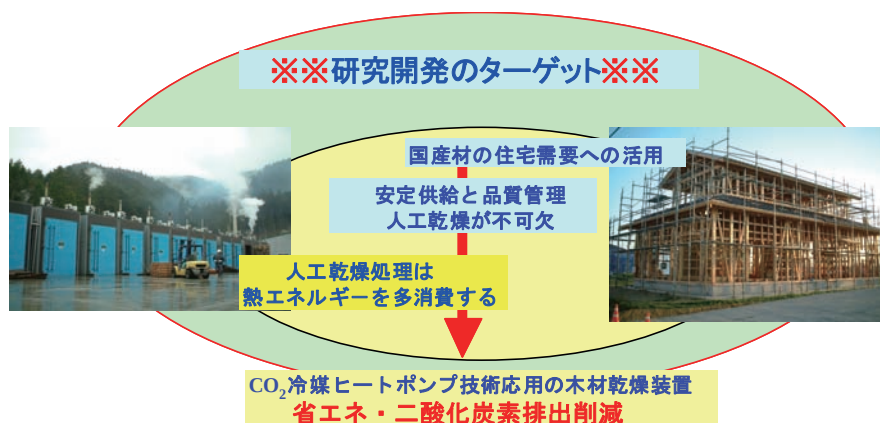


図1 CO₂ 冷媒ヒートポンプを用いた木材乾燥装置開発の目的

木材製品の加工で使われる空気加熱は、油の燃焼や電熱ヒータ、そしてヒートポンプ等の方式である。この中のヒートポンプ加熱方式は低炭素社会のキーテクノロジーである。何故ならヒートポンプ加熱方式は、必要エネルギーの 1/3～1/2 で同等の加熱量を生み出す可能性があるからである。

従来のヒートポンプは地球環境に悪影響を与えるフロンガスが使用されていた。近年はCO₂ガスをヒートポンプに応用できるようになった。現在、このヒートポンプシステムは年々大型化され、業務用や産業用として応用可能な規模になった。

この研究開発の目的は、最近民間で開発された直接空気加熱CO₂冷媒ヒートポンプを応用して産業用の木材乾燥装置として実用化することである（図1）。

2. 開発の経緯

2. 1 木材乾燥の必要性

現在、国の施策は木材自給率を高めようとしている。国内の木材需要は紙パルプと製材品原料に大別される。製材品は、国民の木造住宅指向に支えられて、主に住宅用材として使用される。住宅用材は、消費者の安全安心指向の流れに沿って、材料性能を示すようになってきている。この材料性能表示項目は、強度、寸法そして含水率である。強度と寸法は含水率に依存されるので、乾燥処理は重要である。また、人工乾燥処理は、一定期間で所定の含水率に乾燥することを可能とするので、今後も必要不可欠である。

2. 2 加熱エネルギーが必要

木材の人工乾燥処理は、箱形乾燥装置の中に整然と木材を積載し、決められた温度と湿度を保ちながら行われる。加熱方式は油焚きボイラが主流であり、国内シェアの 80% 以上を占めている。しかし、油焚きボイラは、燃料代の高騰や二酸化炭素排出という環境面の問題を潜在的に持っている。このような状況の下、注目されてきたのがヒートポンプ加熱方式である。

2. 3 ヒートポンプとは

低環境負荷や省エネルギーのための技術革新は、最先端分野だけに限らず、既存の技術を改良する方法もある。国内のヒートポンプ装置は世界の最先端を走る画期的な技術として認知されている。

ヒートポンプとは、太陽によって暖められた空気等の熱を活用して、燃焼を伴わずに加熱が行える技術である。この加熱は、冷媒と呼ばれる化学物質の加圧・減圧による液化と気化の相互変化によって生じる発熱や吸熱を応用している。

CO₂冷媒ヒートポンプの特徴は、従来のヒートポンプ加熱方式では不可能であった 70℃ 以上の空気加熱を可能としたことである。また、省エネ性は高い。電気エネルギー換算で大幅な削減が可能である（図 2）。環境面も優れている。自然冷媒である CO₂ ガスは、オゾン破壊係数が 0、地球温暖化係数が 1 である。

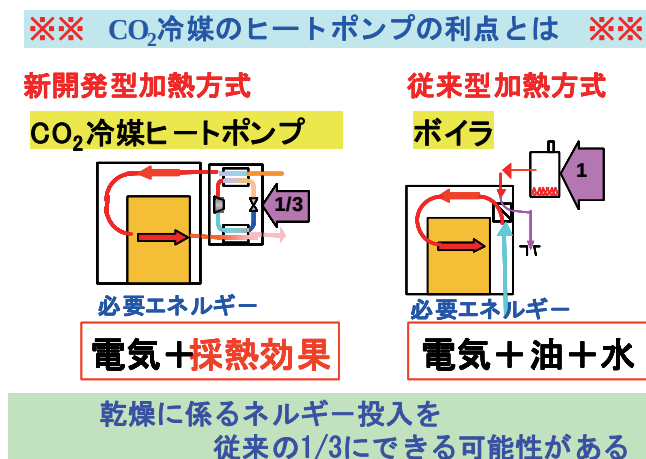


図 2 CO₂ 冷媒ヒートポンプの利点

2. 4 熱量計算モデルによる省エネ・低環境負荷設計の検証

熱源別の二酸化炭素発生量や加工に係る総エネルギーの試算を行うため、木材乾燥にかかるエネルギー量を熱量計算モデルによって試算した。

その結果、ヒートポンプシステムの性能指標である成績係数 (COP^{*1}: 表 1 参照) は、従来のフロン冷媒は 70℃ を超える加熱は成績係数が低下する。一方、開発対象の CO₂ 冷媒ヒートポンプは 60~80℃ までの温度域で 3.41~3.99 と良好な試算結果であった。

表 1 各加熱システムによる成績係数（省エネ性）と環境負荷の比較

加熱システム		CO ₂ 冷媒ヒートポンプ			フロン冷媒ヒートポンプ			灯油ボイラ
乾球温度	℃	60～70	65～75	70～80	60～70	65～75	70～80	70～80
相対湿度	%	100～26	86～43	87～57	100～26	86～43	87～57	87～57
成績係数(COP)*1		3.99	3.96	3.41	3.46	2.5	1.8	－
二酸化炭素排出量	t-CO ₂ /年	167	162	174	257	302	365	416
二酸化炭素削減率	%	60	61	58	38	27	12	－

*1: COP: Coefficient of Performanceの略、消費電力1kWあたりの冷却・加熱能力を表した値。

*2: 乾燥条件、スギ46m³、含水率100%から15%まで7日間処理、乾燥温度70℃から徐々に80℃へ上昇。

次に、表 1 の結果を基に、CO₂冷媒ヒートポンプの年間ランニングコストと二酸化炭素排出量を試算した。

その結果、図 3 のように、灯油焚きボイラを用いた乾燥システムに比べて、二酸化炭素排出量は 68%程度削減できた。また、ランニングコストは年間 550 万円程度の削減効果を認められた。

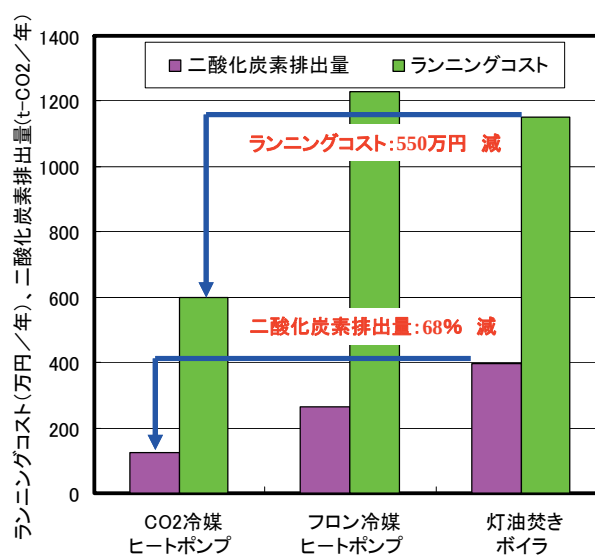


図 3 各加熱システムによるランニングコストと二酸化炭素排出量の比較

2. 5 開発装置の環境負荷の検証

製品の生産、製造に係る環境評価は、原料、製造装置、燃料等の製造開発エネルギー等でおこなわれている。ここでは、開発装置機器の環境負荷を評価するため、LCAを実施し製造段階から使用段階までの二酸化炭素排出量を求めた。製造段階については開発機のCO₂冷媒ヒートポンプと加熱能力の近い機種であるフロン冷媒ヒートポンプの部品構成表を整理してインベントリ分析を行った。

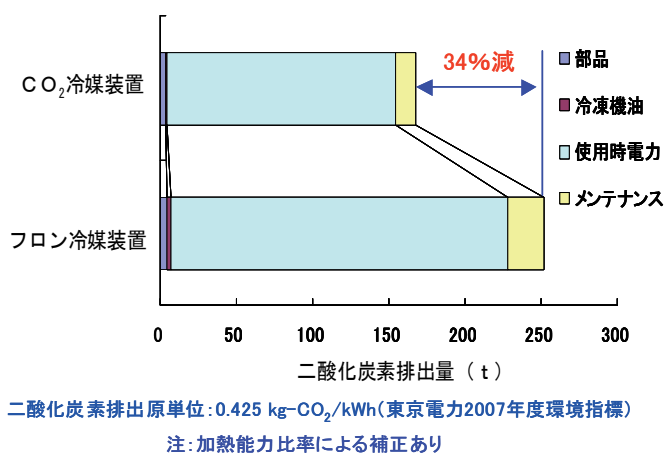


図 4 熱源装置の製造から実稼働時における二酸化炭素排出量の差

また、使用段階については年間 2000 時間稼働で 10 年間運転したときの使用電力やメンテナンス条件により二酸化炭素排出量を算出した。

その結果、開発機の CO₂ 冷媒ヒートポンプの製造から使用に至る二酸化炭素排出量は、図 4 のように同規模のフロン冷媒ヒートポンプと比べて約 34% 減と試算された。

3. 今後の展開・展望

省エネ、低環境負荷の試算結果に基づき、当所内に実証試験のための装置を作製した。この木材乾燥装置は、図 5 のように乾燥室と CO₂ 冷媒ヒートポンプを空気ダクトで接続する構成とした。木材乾燥室は、省エネルギー対策として、壁体の断熱性を高める等を考慮する設計をした。また、乾燥室内は、ヒートポンプで加熱した熱風の流れが内部で均一になるように調整できる構造とした。

このように、乾燥装置はほぼ完成した。現段階では、実際の木材（スギ、ヒノキ材）による乾燥処理運転を行い、開発装置が実用装置として必要十分な温湿度制御性を確認しているところである。

この装置を実用化するための重要な要素として、乾燥技術者の機器操作性が考えられる。特に、温湿度操作を簡易化して、自動的に運転できることは重要である。

今回開発した CO₂ 冷媒ヒートポンプユニットは、時間の経過によって温湿度が変化するタイムスケジュール運転機能を搭載した。このタイムスケジュールソフトは森林総合研究所で蓄積したデータを基にしている。

今後、実証試験を行いながら、開発装置の機械的ハード面と操作性ソフト面を改良する。このことによって、木材の品質を考慮した省エネと低環境負荷に対応する装置として最適化を図り、開発装置が実用化できるレベルまでの完成度をめざす予定である。

この研究は、農林水産技術会議「新たな農林水産政策を推進する実用技術開発事業」によって行った。



図 5 各試算を基に作製した CO₂ 冷媒ヒートポンプを応用した検証試験用乾燥装置

4. 参考文献・資料

- 1) 「森林・林業基本計画」，林野庁，平成 18 年 9 月
- 2) 「新たな森林・林業基本計画の目指す方向」，林野庁，平成 18 年 9 月
- 3) 「森林と生活に関する世論調査」，内閣府，平成 19 年 5 月
- 4) 「ヒートポンプ・蓄熱白書」，財) ヒートポンプ・蓄熱センター，平成 19 年 7 月
- 5) 「ヒートポンプ・蓄熱白書Ⅱ」，財) ヒートポンプ・蓄熱センター，平成 21 年 7 月

- 6) 「温室効果ガス 2050 年 80%削減のためのビジョン」, 環境大臣, 平成 21 年 8 月
- 7) 「新成長戦略」ー輝きのある日本へー, 政府, 平成 21 年 12 月
- 8) 「森林林業再生プラン」, 農林水産省, 平成 21 年 12 月
- 9) 「農林水産研究基本計画」, 農林水産技術会議, 平成 22 年 3 月
- 10) 「ヒートポンプ普及拡大による経済効果等に関する調査報告」, 財) ヒートポンプ・蓄熱センター, 平成 22 年 6 月
- 11) 「ヒートポンプ普及拡大による経済成長寄与の見通しについて」, ヒートポンプ・経済効果研究会, 平成 22 年 6 月
- 12) 飛原英治: 「ノンフロン技術」, オーム社, 平成 16 年 2 月
- 13) 飛原英治他: 「ヒートポンプがわかる本」, オーム社, 平成 17 年 10 月
- 14) 矢田部隆志: 「図解ヒートポンプ」, オーム社, 平成 17 年 3 月
- 15) 矢田部隆志: 「ヒートポンプ入門」, オーム社, 平成 19 年 3 月

超臨界二酸化炭素によるスギ材の高機能化

木材改質研究領域 機能化研究室 主任研究員 松永正弘

1. はじめに

木材は、その温かな肌触りや美しい木目で人に安らぎを与える、自然の中で育まれた天然材料である。しかし天然材料であるが故に、腐る、シロアリに食べられる、水や湿気によって狂ったり割れたりするなどの欠点もある。そこで、湿気の多いところや屋外で使用する場合には、木材を長持ちさせるために、薬剤を使用した防腐・防蟻処理や化学加工処理が施される。これらの処理では、薬剤が木材内部まで十分に拡散浸透することが重要であるが、内部まで均一に処理することは容易ではなく、目的の効果が十分に発揮されないケースも多い。そこで私たちは、環境負荷の低い新技術として注目されている超臨界二酸化炭素処理を用いた木材の改質・高機能化技術の開発に取り組んできた。本セミナーでは、これまでに得られた超臨界二酸化炭素処理技術に関する研究成果をまとめて紹介する。

2. 超臨界二酸化炭素を用いたスギ材の高機能化処理

2. 1 超臨界二酸化炭素とは？

超臨界二酸化炭素とは、温度が 31℃ 以上、圧力が 73 気圧以上の二酸化炭素のことで（図 1）、気体並の高い流動性・浸透性と液体並の高い密度と強い溶解力を合わせ持っている。従って、木材のような材料に対して、気体のように速やかに内部まで浸透し、液体に近い溶解力で成分を抽出することができる。また、二酸化炭素は無毒・不燃性・不活性・安価であり、使用後も回収して再利用できることから、環境や人体に有害な有機溶媒に代わる環境低負荷型反応溶媒として注目されており、食品や香料などの分野では超臨界二酸化炭素を利用した商用プラントがすでに稼働している。そこで、主要な国産材の一つであるスギ材の心材部分を用いて、超臨界二酸化炭素による様々な高機能化処理を行った。

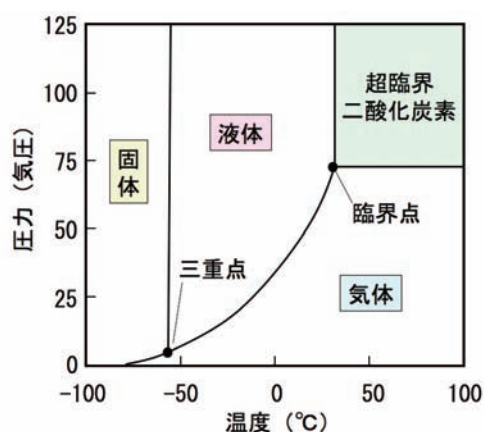


図 1 二酸化炭素の温度-圧力線図

2. 2 超臨界二酸化炭素によるスギ材の浸透性改善

薬剤が木材内部まで十分に拡散浸透しない原因の一つとして、木材の特に心材中に多く含まれる抽出成分が薬剤の注入を阻害していることが考えられる。そこで、高い溶解力を持つ超臨界二酸化炭素で薬剤の浸透を阻害する物質成分を除去し、木材の浸透性を向上させることを試みた。

試片寸法が 100mm (L: 繊維方向) × 15mm (R: 半径方向) × 15mm (T: 接線方向) のスギ心材を 40℃/120 気圧または 80℃/120 気圧の超臨界二酸化炭素中で 7 時間バッチ抽出した。

浸透性の評価は、試片を繊維方向に垂直に立てて固定し、試片下部の約 5mm が木材保存剤のタナリス CY の 90 倍希釈水溶液に浸かるようにして、1、3、6、24 時間後の質量増加率を測定し、それを浸透性の評価指標とした。その結果、超臨界二酸化炭素処理をすることで試片の質量増加率は未処理試片を大きく上回った（図 2）。特に、抽出温度が 40℃ のときに質量増加率は極端に高くなり、さらにエタノールを 3.0wt% 添加した場合で未処理試片の約 7 倍の質量増加率を示し、浸透性が大幅に改善された。

浸透性改善の機構を解明するために、処理試片と未処理試片を走査型電子顕微鏡（SEM）で観察した。典型的な仮道管の壁孔の写真を図 3 に示す。未処理試片では壁孔が抽出成分と思われる沈着物質で完全に塞がれており、通水が非常に困難であると予想される。一方、超臨界処理した試片では、沈着物質が取り除かれ、マルゴと呼ばれる網目状の組織がはっきりと確認される壁孔が数多く存在していた。このことから、壁孔に沈着している成分が取り除かれることで通水が再び可能になり、浸透性が大幅に向上したと思われる。

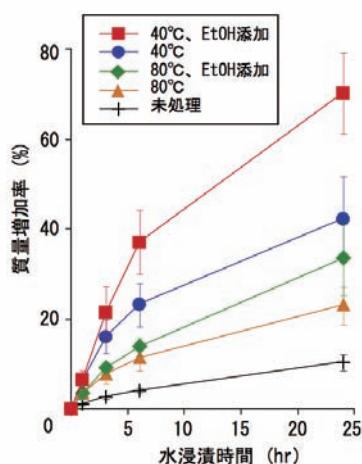


図 2 水浸透性評価試験の結果

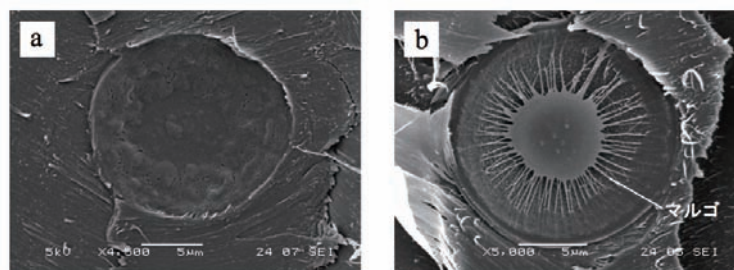


図 3 スギ心材の有縁壁孔
a: 未処理木材、b: 超臨界二酸化炭素処理木材

次に、超臨界二酸化炭素を用いて木材の浸透性改善と薬剤注入処理を同時に行う、全工程がドライプロセスで行われる薬剤注入処理法を検討した。

木材保存剤の IPBC 25g をエタノール 50ml に溶解させ、試片寸法が 100mm (L) × 50mm (R) × 40mm (T) のスギ心材と一緒にバッチ容器へ入れた。そして、40℃/300 気圧の超臨界二酸化炭素中で 3 時間処理した後、試片各部の IPBC 注入量をガスクロマトグラフを用いて分析した。その結果、IPBC 含有率は、木口面に近い部分で 0.9～2.6%、試片中心部でも 0.5～1.0% となり、試片内部まで薬剤が注入されていることが明らかとなった。また、IPBC 中には元素としてヨウ素が含まれているので、IPBC 処理試片中のヨウ素を SEM-EDXA で観察・分析し、試片中心部における IPBC の濃度分布

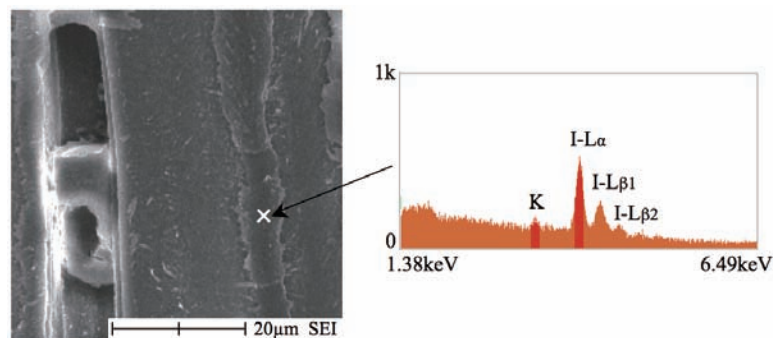


図 4 IPBC 注入試片中心部の SEM-EDXA 分析

を調べたところ、仮道管細胞内腔面からヨウ素が高濃度で検出された（図 4）。以上の結果から、超臨界二酸化炭素処理によって、難浸透部位の心材試片の中心部に薬剤を浸透させることが可能であることが示された。

2. 3 超臨界二酸化炭素中でのスギ材のアセチル化処理

木材の高機能化処理には、薬剤注入処理の他に化学加工処理がある。中でも、アセチル化処理は非常に有効な木材改質法である。アセチル化処理とは、お酢の一種である無水酢酸を用い、木材成分中に含まれる親水性の水酸基を疎水性のアセチル基に置換して、水分に対する寸法安定性や防腐・防蟻性を高める処理のことである。無水酢酸は無毒・無害であり、薬剤注入処理に代わる環境に優しい化学加工処理として近年見直されている。そこで本研究では、超臨界二酸化炭素中での木材のアセチル化処理法を検討した。

スギ心材試片（5mm（L）×20mm（R）×20mm（T））2 個と無水酢酸 3.0ml を 90ml 容の耐圧容器内に入れ、120℃/100 気圧または 130℃/100 気圧の超臨界二酸化炭素中でアセチル化処理を 1～24 時間行った。処理試片の質量増加率（WPG）を測定した後、木材の寸法安定性を示す抗膨潤能（ASE）を測定するため、処理試片を水中に沈め、アスピレータで減圧しながら 1 週間浸漬させたのち、試片寸法を測定して水含浸による膨潤率を求め、以下の式から ASE を算出した。

$$ASE (\%) = (D_0 - D) / D_0 \times 100、\quad D_0: \text{未処理材の膨潤率}、D: \text{処理材の膨潤率}$$

その結果、ASE は 1 時間で 60～76% に、3～4 時間以降では 75～80% に達した（図 5）。従来法である液相処理（液体の無水酢酸中に試片を浸漬して加熱）と気相処理（加熱して気化した無水酢酸の蒸気中で試片を処理）でも実験を行ったが、それらと比較としても、超臨界二酸化炭素処理は非常に高い寸法安定性を示した。また、一般に、WPG が 17% 以上になると十分な防腐効果が得られることが知られているが、超臨界二酸化炭素中でアセチル化処理した木材の WPG は 3～4 時間の処理で 20% 前後、24 時間処理で 24～28% にまで達した（図 6）。以上の結果から、高密度で激しく分子運動をしている超臨界二酸化炭素と共に無水酢酸が木材中の反応サイトに素早く到達し、短時間処理で寸法安定性と防腐性能に優れたアセチル化木材が製造できることが明らかとなった。

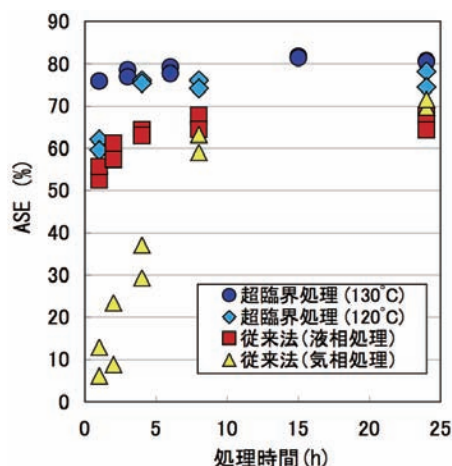


図 5 アセチル化処理時間と ASE との関係

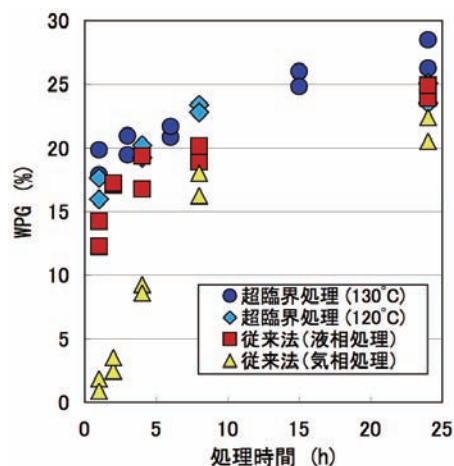


図 6 アセチル化処理時間と WPG との関係

2. 4 超臨界二酸化炭素によるスギ材の高速脱水処理

樹木から切り出されたばかりの木材（生材）は多量の水分を含んでいる。住宅用材などに用いる前には生材を適切な水分量まで乾燥させる必要があり、いかに高速かつ低エネルギーで生材を乾燥させるかが現在でも大きな課題となっている。そこで私たちは、高密度でありながら流動性の高い超臨界二酸化炭素の性質を利用した、木材の高速脱水・乾燥処理への応用を検討した。

試片寸法が 100mm (L) × 15mm (R) × 15mm (T) の飽水試片（全乾試片に水を強制的に減圧注入）もしくは生材試片を 120℃/170 気圧の超臨界二酸化炭素中で 20 分間保持した後、約 30 秒で常圧まで急速に減圧した。そして、処理直後と 1 時間後の試片重量を測定し、含水率を算出した。その結果、飽水試片の含水率は処理によって約 1/3～1/4 に減少し、生材でも約 1/2 まで減少した（図 7）。特に初期含水率が 130%未満の飽水試片では、処理によって含水率が 30%前後まで低下しており、木材中の細胞内腔に存在する水分（自由水）がほとんど脱水されていると考えられる。その後の実験で、40℃程度の低温処理でも十分な脱水効果が得られることが確認されており、新たな木材乾燥処理技術に繋がる可能性もあると考えている。

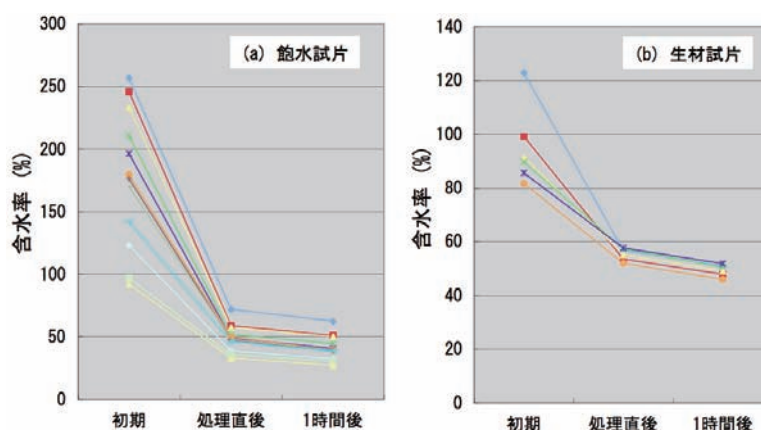


図 7 超臨界二酸化炭素処理による含水率変化

3. 今後の展開・展望

これまでの研究で、超臨界二酸化炭素が木材の高機能化処理に十分有効であることが明らかとなった。また、処理に必要なエネルギーについても、例えば高速脱水処理の場合、含水率 120%のスギ生材を 30%まで脱水するのに必要なエネルギーは、蒸気加熱式や除湿式、高周波加熱減圧式などの既存乾燥法とほぼ同程度かやや下回る、との試算結果が得られている。現段階では小試験片での実験が中心であるが、今後は実大材での実験データの蓄積も進め、実大材における高機能化処理の有効性や処理コスト・エネルギーの検証などを行い、将来の実用化を目指してさらに検討していく予定である。

4. 参考文献・資料など

- 1) 佐古猛ら：超臨界流体、アグネ承風堂、東京、pp. 264 (2001)
- 2) 荒井康彦ら：超臨界流体のすべて、テクノシステム、東京、pp. 656 (2002)
- 3) 新井邦夫ら：超臨界流体の最新応用技術、エヌ・ティー・エス、東京、pp. 324 (2004)

スギを用いた集成材の強度性能を向上させる

複合材料研究領域 チーム長 宮武敦

1. はじめに

戦後に植林され今や伐採期を迎えたスギやヒノキなどの人工林資源を適切な管理の下で有効に利用しながら、豊かな森林を永続的に維持していくことが、「低炭素・循環型社会の構築」の実現に不可欠であることが、広く認識されるようになってきた。

しかし、現状を見れば木材産業における使用原料はその 7 割強を海外からの輸入材に頼っており、このことが林業経営の自立を困難にする一因ともなっている。

このため、木材産業分野では、輸入材から国産材へ原料転換を図るとともに、国産材に適した新しい製造技術の開発が強く求められている。ここでは、集成材を中心として国産材利用に関する最近の技術開発への取り組みを紹介するとともに、その問題点や可能性について考えてみたい。

2. スギ集成材の強度性能を向上させるには

2. 1 断面寸法を増やす

国産スギのひき板を用いた構造用集成材は、外力に対する変形しにくさを示すヤング係数*（以下 MOE）などの強度性能が低いため、住宅の構造材として不向きだとされている。最も MOE の低い等級のスギ材で製造された集成材の MOE は、一般的に流通している海外産樹種集成材の MOE の約 1/2 である。集成材の MOE が 1/2 になると、設計上梁に生じる「たわみ」は 2 倍になるため、床が垂れ下がったように見えたり、床鳴りがしたり、クレームが生じる可能性が高くなる。

ただし、MOE が 1/2 の材料を使っても、設計上の「たわみ」を同じにする方法はある。集成材の断面寸法を増やせばよいのである。以下に、「たわみ」の計算式を示す。

$$y = \frac{k \times P}{MOE \times I}$$
$$I = \frac{w \times h^3}{12}$$

ここで、y：たわみ、k：設計条件に係る係数、P：荷重、MOE：ヤング係数

I：断面二次モーメント、w：集成材の幅、h：集成材の厚さである。

この式から、MOE が 1/2 になっても I を 2 倍にすることで「たわみ」を同等にできることがわかる。

最も簡単なのは材料の幅 w を 2 倍にする、すなわち同じ断面の材を 2 本並べて使うことである。しかし、これでは単純に材積が 2 倍になり材料コストも大幅に上昇すること

*材料が外力を受けた時の変形しにくさ（しやすさ）を表す数値。数値が大きいものほど変形しにくい。構造材としては数値の大きなものを選ばれる傾向にある。

は明らかである。

そこで材料の幅はそのままに厚さ h を増加させることを考える。すると、元の厚さ h を $2^{1/3}$ 倍、すなわち約 1.26 倍すれば同等の性能になることがわかる。300mm 厚の集成材を使っていたとすれば、その厚さを約 80mm 増やして 380mm 厚にすれば「たわみ」の問題は解決する。しかし、80mm といえども元の断面より高い寸法の部材が使用できるのかどうかといえ、高くなった梁が一階の天井に収まらないとか、接合金物などを使った接合部の形式や寸法の変更が必要になるなどの問題が出てくることになる。

この様に、部材の断面寸法に関して言えばその変更幅は極力小さいことが望まれる。

2. 2 強度性能の高い異種材料や異樹種と組み合わせる

材料の強度性能を向上させるのに一般的に行われるのは、強度性能の高い材料との複合である。鋼材や繊維強化プラスチックなどの異種材料との複合なども考えられるが、高い強度性能を持つ木材とでも強度性能向上の効果が期待できる。

2.1 節でヤング係数が $1/2$ のスギ材でも、厚さを 80mm 付加することで設計上の「たわみ」を海外産樹種の製品と同等にできることを示したが、これは同じヤング係数のスギ 40mm 厚さの板を厚さ 300mm の製品の上下に接着することと同じ意味である。そこでスギよりもヤング係数の高い板を利用した場合、どれくらいの厚さの板を上下に付加すれば設計上の「たわみ」を同じにすることができるか計算してみる。

その結果、ヤング係数が 2 倍の樹種を付加するならば 22mm 厚さ、同じく 3 倍であれば 15mm 厚さの板を付加すればよいことがわかった。因みに同じ原理で計算すると、鋼板の厚さは 3.5mm でよい。

これらの計算結果をまとめて図 1 に示す。ただし、これらはスギのヤング係数を最も低く見積もった場合の例であることを改めて明記しておく。

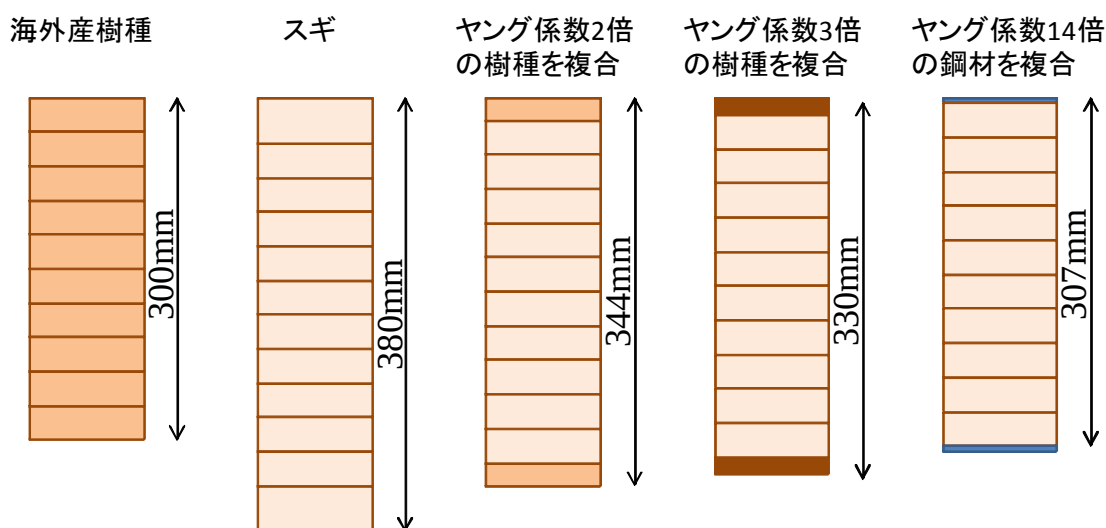


図 1 同じ荷重条件下で生じる「たわみ」が同じになる集成材のひき板の構成と厚さの関係
(スギのヤング係数が海外産樹種の $1/2$ と仮定した場合)

2. 3 異樹種集成材の開発と規格化

以上のような原理に基づいて集成材を製造する試みとして、スギよりもヤング係数の高い樹種を複合して使う、いわゆる異樹種集成材が考案された。国内における異樹種集成材の実用化のための研究・開発は、1998 年に架設された揚の沢橋（秋田県）の部材へスギ集成材を使用した際に、その強度性能向上のためにコナラを複合したことにはじまる。また、建物の部材としては、1994 年に建設された秋田県立大学木材高度加工研究所の図書室の梁桁にスギとベイマツの異樹種集成材が使用されたのが最初となる。1999 年からはスギとベイマツの組み合わせで企業による開発研究が林野庁の補助事業として始まり、2002 年には 2 つの集成材メーカーが集成材の日本農林規格（以下 JAS 規格）に基づく認定を取得した。しかしながら、当時の JAS 規格の体系の中では、曲げ性能の向上を主目的とする異樹種集成材のメリットが十分活かされず、また、認定のための試験には、多大な労力・費用・時間を要するなどの問題点がわかった。

森林総合研究所では、2005 年から実施した交付金プロジェクトの中で異樹種集成材の製造と性能評価に取り組み、カラマツ・スギ、カラマツ・トドマツ及びエゾマツ、スギ・ヒノキ、スギ・ベイマツ、スギ・北洋カラマツを複合した異樹種集成材の曲げ、圧縮、引張、せん断、めり込み等の強度性能を始めとして、異樹種複合部の接着性能評価、異樹種複合による耐久性への影響評価、金物接合の強度性能評価などを行った。

これらのデータも活用して、2007 年には集成材の JAS 規格が改正され、異樹種集成材の特徴を活かせる「特定対称異等級構成」が新設された。これによりヤング係数が大きく異なる異樹種を複合した集成材の JAS 認定にあたっては、集成材工場のひき板の強度等級区分の精度および異樹種を良好に接着する技術について十分検証することで、過大な労力を伴う実証試験を必要としない省力的な認証が行えることになった。

3. 今後の展開・展望（実用化の目処など）

現在、異樹種集成材で JAS 認定を受けているのは 2002 年当時から 1 社増えて計 3 社である。新たに増えた 1 社はスギとヒノキの国産樹種の組み合わせで取得している。また、このところの国産材利用への追い風を受けて、異樹種集成材の検討を進めるメーカーも徐々に増えているようである。

表 1 に川上から川下までの平成 19 年度の統計量を地域別に示す。川上として樹種別原木生産量、川中として製材・構造用集成材 JAS 認定工場・構造用単板積層材 JAS 認定工場、川下として木造住宅着工数を代表として選んだ。

原木生産を樹種別にみると、全国的にはスギ、カラマツ、ヒノキ、エゾマツ・トドマツ、アカマツの順であるが、この順序や組み合わせは地域による違いがある。強度的にはスギ、エゾマツ・トドマツが集成材の内層用、カラマツ、ヒノキ、アカマツが外層用と分けられるが、アカマツは輪生節を切り落としてたて継ぎするのが条件となるので歩止まりや生産性は若干落ちる。地域別の樹種の組み合わせを考えると、北海道はカラマツ・エゾ・トド、東北と信州甲州がカラマツ・スギ、それ以外の地域ではヒノキ・スギとなろう。

表 1 川上、川中、川下の代表的統計量（木材需給と木材工業の現況平成 19 年版より）

地域	原木生産量(千m3)						工場数			住宅
	アカマツ	スギ	ヒノキ	カラマツ	エゾ・トド	計	製材	集成材	LVL	着工数
北海道		41		1,815	1,010	2,866	218	9		25,061
東北	460	2,518	31	296	2	3,307	1,148	22	1	38,169
関東	25	690	189	23		927	843	5	1	177,491
北陸	16	328	6	1		351	810	7		27,237
信州甲州	42	69	65	138		314	291	4		14,438
中部	19	477	437	7		940	1,313	12		69,973
近畿	20	414	208			642	913	12		66,534
中国	152	444	279			875	584	6	2	25,449
四国	21	734	353			1,108	492	4	1	15,314
九州	39	3,133	418		3	3,593	1,195	10	1	44,696
計	794	8,848	1,986	2,280	1,015	14,923	7,807	91	6	504,362

次に供給と需要のマッチングという面からこの表をみると、全国の 2/3 を占める主たる原木供給地域は九州、東北、北海道であるのに対して、最終的な消費先の約 6 割は関東、中部、近畿であり、供給地と需要先とは全く一致していない。しかしながら、川中のメインである製材工場は、主原木供給地である九州と東北及び主たる消費先である中部、近畿に多い。前者には原木産地の地元で国産材を製材に挽いて都市圏に供給する体制があると考えられるので、後者においても同様の体制を確立することが国産材利用を増やすことにつながると考えられる。

近年では原木の大径化が進んでおり、住宅向けの柱取りを主とした製材木取りには歩止まり向上のための板取りが欠かせない。集成材工場は製材工場と同じような地域的分布をしていることから、この様なひき板を集成材工場に供給することは比較的容易である。さらに、集成材用のひき板だけではなく、ツーバイフォー材やクロスミナパネルなどひき板を用いた製品開発も今後の重要な方向になろう。

最近では単板積層材（LVL）を集成材の最外層に複合する材料にも目が向けられている。LVL の原料は合板と同じロータリーレースで剥いた単板で、これらを繊維方向に平行に積層接着して製造する。厚物合板に代表されるように国産材需要増への合板への期待は高いものがあるが、同じ原料を利用できる LVL も注目されている。バラツキの少ない安定した強度性能を持つ構造用材料であるが、若干コストが高い。異樹種集成材の製造上のキーポイントは最外層に複合するひき板の品質確保であるが、LVL を利用することでその問題から解放される可能性が十分にある。ただし、この製品は集成材の JAS 規格で認められていないため、構造用料として使用するためには建築基準法 37 条に基づく国土交通省大臣による認定を受ける必要がある。認定には各種強度試験、強度に影響を与える各種因子の調整係数、接着耐久性等の多くの性能評価が必要で多大な労力が必要となる。LVL を用いる集成材を含めて JAS 規格で認定できない新しい製品については、国土交通省大臣による認定で求められる項目等に関する研究データの蓄積を図るとともに、JAS 規格へ提案する取り組みを今後も続けていきたい。

4. 参考文献・資料など

- 1) 交付金プロジェクト研究成果集 23、スギ等地域材を用いた構造用新材料の開発と評価 (2009)

オープンラボ セミナー 要旨

厚物合板の床・壁等への利用

構造利用研究領域 木質構造居住環境研究室長 杉本健一

1. はじめに

合板（ごうはん）は、丸太を「かつらむき」して切り出した薄板（「ベニヤ」または「単板（たんぱん）」という）を、木材の繊維方向が互いに直交するように接着剤で貼り合わせた面材料である。

合板にはいろいろな種類がある。例えば、原料となる樹種の違いによって、広葉樹合板、針葉樹合板、広葉樹と針葉樹を混合使用した複合合板に分類され、接着耐久性能の違いによっても特類、1 類、2 類に区分される。さらに最終的な用途によって、普通合板、コンクリート型枠用合板、構造用合板、天然木化粧合板、特殊加工化粧合板に区分される。

合板はかつて、通称「ラワン」材と呼ばれる東南アジア産広葉樹の大径丸太から製造されたものが主流であった。しかし、資源の供給問題のみならず、生物多様性の保全に至るまで数多くの問題が生じたこともあって、原材料を「ラワン」材から持続可能な針葉樹材へ転換させる技術開発が行われた。国内では、1990 年から合板メーカーが「ラワン」材より小径で節の多い針葉樹材を原材料に使い始め、その後、「かつらむき」する技術が進歩したことから、2003 年頃から国内の合板は針葉樹合板が主流となってきた。

構造用合板は、建築物の構造耐力上主要な部分に使用する合板である。とくに森林総合研究所の全面的協力によって開発された「厚物合板（あつものごうはん）」（従来の合板と比較して厚い合板という意味）と呼ばれる厚さ 24mm 以上の構造用合板は、床や屋根の下地材、耐力壁（地震や風により受ける水平方向の力に抵抗する壁）の面材等に多用されている。

本セミナーでは、厚物構造用合板を床下地材や耐力壁の下地等に利用する際の特徴と注意点について解説する。

2. 厚物合板の床下地への利用

従来の木造軸組工法では通常、910mm 間隔で配置された梁の上に、根太（ねだ）を 303mm 間隔や 455mm 間隔で設け、その上に厚さ 12mm 程度の製材の板や構造用合板などをくぎ打ちするのが一般的であった。しかし、この方法では根太の施工に労力と時間を要するため、根太を省略して厚さ 24mm や 28mm の構造用合板を直接くぎ打ちする工法が開発された。根太を省略する工法で用いる

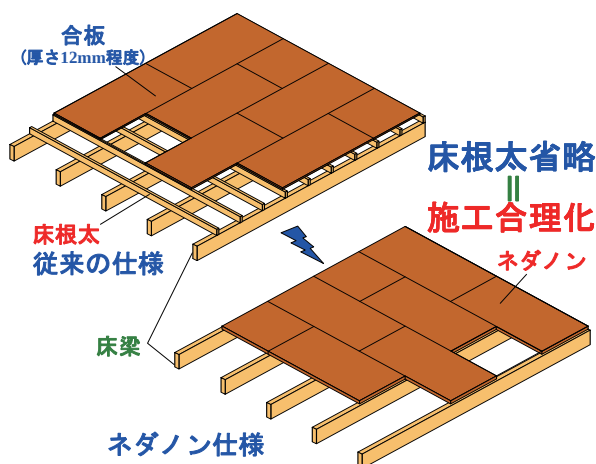


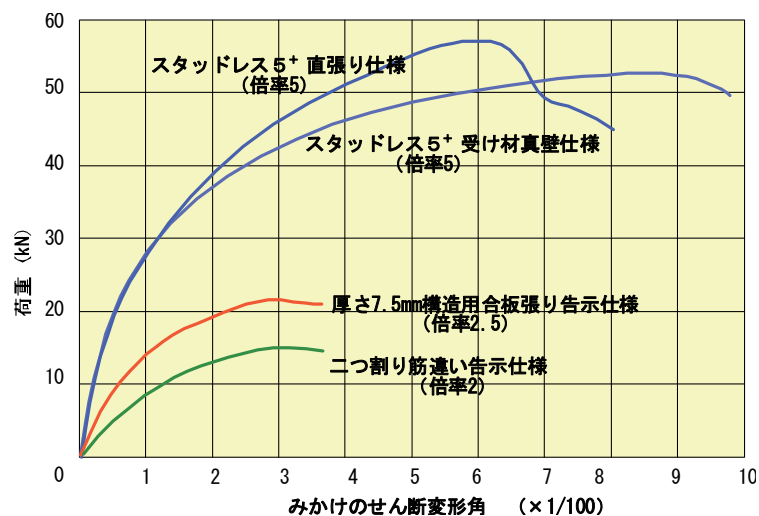
図1 根太を施工して床下地を張る従来の仕様と厚物合板（ネダノン）を張った仕様

図 2 剛性の低い水平構面が水平力を受けた場合の変形²⁾

3. 厚物合板の耐力壁への利用

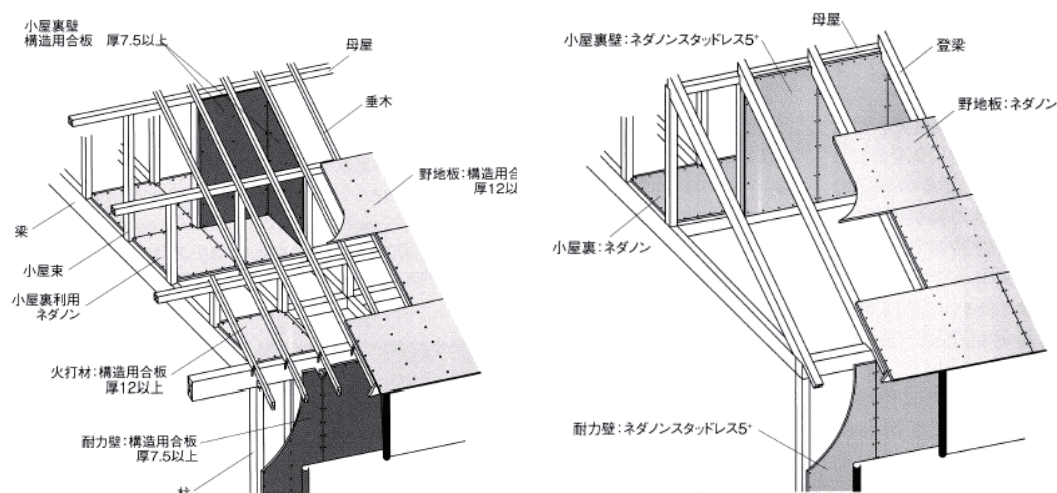
厚物合板は元々、床下地用として開発されたものであるが、その後、耐力壁の下地として利用する方法も開発された。厚さ 24mm の構造用合板を太め鉄丸くぎ CN75 により 100mm 間隔で留めつけた壁（外壁用の大壁・真壁使用と間仕切り壁用（床勝ち仕様）の大壁・真壁仕様の計 4 仕様）に対し、東京合板工業組合・東北合板工業組合は国土交通大臣の耐力壁の認定を取得し、これらの 4 仕様の耐力壁はいずれも倍率 5 と認められた。「倍率」とは壁の強さの尺度で、建築基準法の「壁量計算」と呼ばれる設計法では、耐力壁の（倍率）×（壁長さ）を足し合わせた数値（＝壁量）が定められた数値（＝必要壁量）以上にならない。倍率 5 は壁量計算で扱う耐力壁としては最大である。耐力壁用の厚物構造用合板は「ネダノンスタッドレス 5 +」の商品名で生産および販売されており、耐力壁用にはこれしか使えない（床用の 24mm 厚ネダノンは使用不可である）ことに注意を要する。また、建築確認時に耐力壁の倍率認定書の写しが必要なので、東京合板工業組合・東北合板工業組合より認定書を取り寄せる必要がある。

ネダノンスタッドレス 5+ を張った耐力壁の特徴は、高倍率の壁であることと、図 3 に示すように、最大耐力到達後もなかなか耐力が低下しないことである。高倍率の壁を用いると、少ない壁長さでも所定の量の壁量が確保しやすいので開口が設けやすくなる。また、基準法で定められた必要壁量は、必要最小限の数値であるので、高倍率の耐力壁を多数用いて、必要壁量を上回る壁量を確保すれば、より耐震性の高い建物をつくることができる。

図 3 各種耐力壁の荷重－変形関係⁴⁾

4. 厚物合板の屋根への利用

屋根の野地板には製材板張りや通常の構造用合板などがよく用いられるが、ネダノンを用いることも可能である。図 4 に、小屋組に構造用合板を使用する場合の使用例を示す。ネダノンを用いる場合は、登り梁を桁から棟木に掛け渡し、これにネダノンをくぎ打ちすることによって、垂木・母屋が省略可能になるとともに、高い存在床倍率を有する耐震性の高い屋根構面が得られる。また、ネダノンを小屋組の水平構面、小屋筋かい、雲筋かい等に利用すれば、より耐力の高い屋根構面を構成することが可能である。

図 4 小屋組に構造用合板を使用する場合の使用例²⁾

5. 実大実験住宅による性能の検証

森林総合研究所では平成 20 年度に「近未来の木造住宅」設計コンペを実施した。このコンペでは、厚さ 24mm の構造用合板を主要な耐力壁に用いることを設計条件の一つとした。最優秀賞を受賞した作品は、耐力壁として厚物合板を張った壁を用い、調湿機能など快適性に寄与する壁として土塗り壁を利用するというものである。

現在、当所の敷地内に最優秀賞作品をベースとした実験住宅を建設するプロジェクトが進行中で、平成 22 年度内に完成の予定である（図 5）。実験住宅を用いて建物の建設段階や完成時の構造安全性、快適性等を明らかにするとともに、完成後も継続的に、

使用されている厚物合板をはじめとする部材の耐久性等のデータを取得していく予定である。

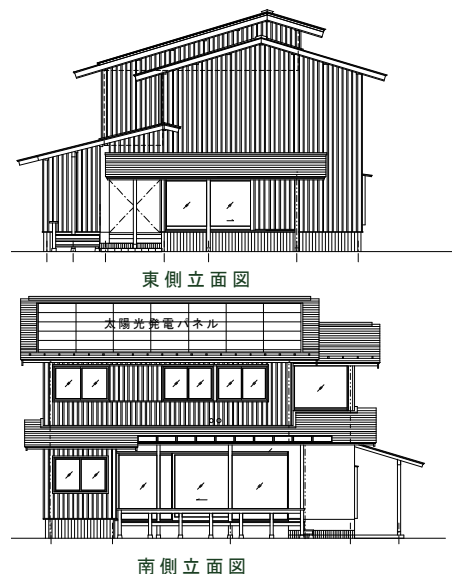


図 5 建設中の実験住宅の立面図
(東面および南面)

6. 今後の展開・展望

森林総合研究所では、厚物合板を構成する単板の樹種と断面構成から製品性能をシミュレーションする手法の開発、JAS 規格への適合性などの性能検証、くぎ接合性能や集中荷重抵抗性試験等による床面の性能実証、床構面で 45 分準耐火構造の開発などを行った⁴⁾。それらの実験データの一部は、東京合板工業組合・東北合板工業組合が発行する『ネダノンマニュアル』³⁾に掲載されている。このマニュアルは、厚物合板を木造住宅の設計に用いる際に参考になる。『ネダノンマニュアル』は、技術情報の充実に伴い適宜バージョンアップされているので、最新のものを参照されたい。

7. 参考文献・資料など

- 1) 日本合板工業組合連合会、(財) 日本合板検査会：合板のはなし、
<http://www.jpma.jp/data/index.html>
- 2) 日本合板工業組合連合会、(財) 日本合板検査会：構造用合板の手引き、
<http://www.jpma.jp/data/index.html>
- 3) 東京合板工業組合、東北合板工業組合：ネダノンマニュアル、
<http://www.ply-wood.net/nedanon/index.html>
- 4) 森林総合研究所 交付金プロジェクト研究 成果集 23、『スギ等地域材を用いた構造用新材料の開発と評価』、2009. 3

オープンラボ セミナー 要旨

木質系廃棄物を利用した軽量な屋上緑化法

複合材料研究領域 複合化研究室 主任研究員 高麗秀昭

1. はじめに

ヒートアイランド現象の緩和などのために屋上緑化が推進されている。しかし、既存建築物への屋上緑化は、屋根の耐荷重に制限があるため困難である。また、新築の建物でも屋根の耐荷重を高めるために建築費の上昇につながる。今後、屋上緑化の普及のためには建物への重量的な負担軽減が必要となり、軽量な屋上緑化法が求められている。屋上緑化の軽量化のためには土壌の使用量を削減することが重要である。しかし、土壌の削減は、植物への十分な水の供給を考えれば困難である。そこで、軽量な保水資材を開発し、それに吸水させ、保水資材から植物へ水を供給できるようにすれば土壌を大幅に削減できる。その結果、軽量な屋上緑化が実現できると考えられる。

2. 木質系廃棄物を利用した軽量な屋上緑化法

2. 1 高吸水性保水資材の開発

本研究では、木質系廃棄物を原料とすることにより環境に優しい材料開発を目指した(図1)。保水資材の吸水量を増加させる方法には界面活性剤の添加を採用した。これは非常に簡便で経済的な方法であり、界面活性剤の添加により吸水量を約5倍に増加できた(図2)。1平方メートル(10mm厚)の保水資材に9.4リットルの吸水が可能となった。さらに、開発した保水資材の価格は石油由来の保水資材に比べて1/4に大きく下げることができた。



図1 木質系廃棄物より開発した保水資材

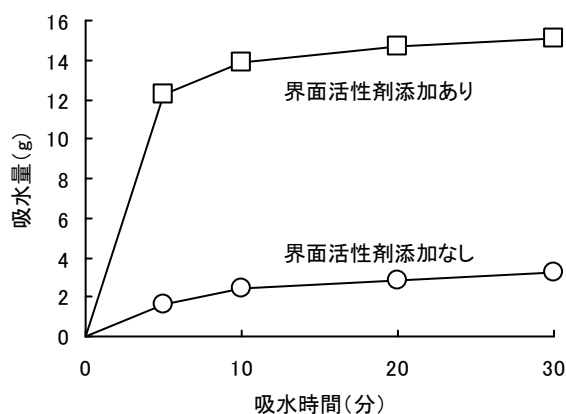


図2 開発した保水資材の吸水時間と吸水量の関係

2. 2 軽量な緑化法の開発

屋上緑化を普及させるためには緑化法の軽量化が重要であるが、従来の緑化法は、土壌を多量に使用するために重く、例えば、芝生を植栽した場合、 $140\sim 180\text{kg/m}^2$ の重量が屋

根にかかり、これが大きな問題であった(図3)。しかし、本緑化法では約 50kg/m² となり、大幅な軽量化が実現できた。本緑化法の仕組みを図4に示すが、開発した保水資材を屋根に設置し、その上に厚さ 4 cm 程度の少量の土壌を敷き詰め植物を植栽する。雨水などを保水資材が吸水し、ここから植物に水を供給する仕組みである。保水資材が土壌より効率的に吸水するため使用する土壌を大幅に削減することが可能となった。また、図5に保水資材が植物の生長に与える効果を示すが、毎日灌水した場合、および、3日に1回灌水した場合の両方においてコントロールに比べて植物の生長が良好であった。さらに市販の保水資材より良好であった。

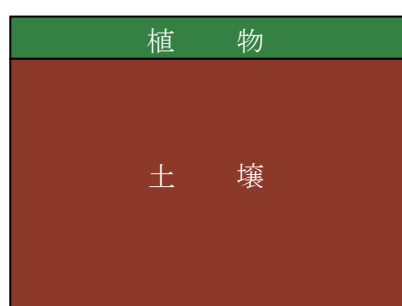


図3 従来の緑化法
(土壌が多く重い)

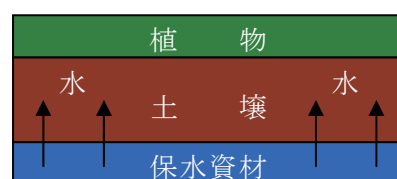


図4 開発した軽量な緑化法
(土壌が少なく軽い)

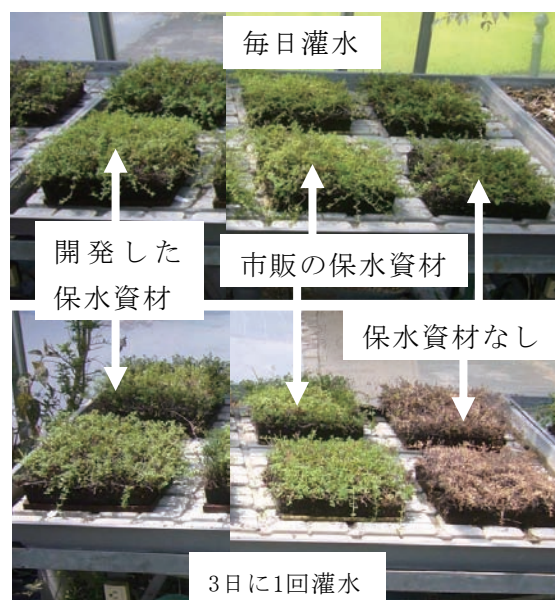


図5 灌水間隔を変えた場合に開発した保水資材が植物の生長へ与える効果

2.3 軽量な緑化法の実施例

保水資材の量産化技術は大建工業(株)が開発した。そして、大量生産した保水資材を使用して、千葉県立市川八幡高校の屋上を本緑化法で緑化した。その様子を図6～13に示す。図6に示す屋上は緑化用に屋根の耐荷重を高めた屋根ではなく、一般的なコンクリート屋

根である。そこに、まず防水シートや根がらみシートを敷き（図 7）、その上に開発した保水資材を設置した（図 8）。軽量の保水資材であるため持ち運びも容易であり、また、図 9 に示すように、簡単にカッターで切断でき、長さ調整なども容易である。保水資材を緑化したい場所に設置し（図 10）、その上に少量の土壌を敷き詰め（図 11）、植物を植えれば緑化は終了である（図 12）。図 11 より使用する土壌が非常に少ないことがわかるが、これにより施工の大幅な簡便化や施工期間の短縮化も達成された。今回の土壌厚はわずか約 4 cm であった。図 13 に 1 年後の緑化地の様子を示すが、緑化が見事に成功したことがわかる。

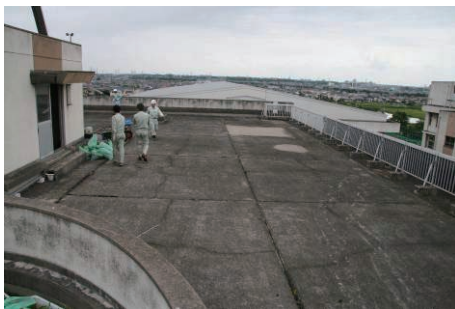


図 6 緑化のために耐荷重を高めていない屋根



図 7 防水シートおよび根がらみシートの設置



図 8 開発した緑化資材
(軽量であるため設置も簡単)



図 9 保水資材の設置
(カッターで簡単に切断可能)



図 10 保水資材を全面に設置



図 11 土壌の設置
(土壌が少ない、簡便な施工)



図 12 植え込み終了後の屋上



図 13 1 年後の様子

(見事に緑化に成功)

最後に屋上緑化が屋根温度の低減に及ぼす効果を図 14 示す。図より、緑化をしていないコンクリート屋根の温度が 45℃ 以上になり、屋根温度が気温より非常に高く上昇するが、緑化によりその上昇が抑制された。

5. 今後の展開・展望（実用化の目処など）

保水資材の量産化も達成しており、軽量な本緑化法はいつでも実施できる。様々な啓蒙活動を通じて、本緑化法を普及させていくことが今後の課題である。

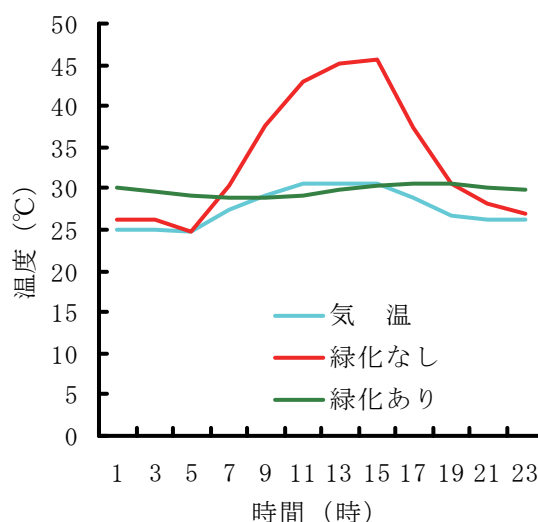


図 14 夏季のコンクリート屋根の温度変化

6. 参考文献・資料など

- 1) 高麗秀昭、小林正彦、凌楠、秦野恭典、柴田忠裕、鳥羽亨二、中谷盛仁、澤田幸伸：木材工業 64(4)、166-171(2009)
- 2) 高麗秀昭、小林正彦、凌楠、秦野恭典、柴田忠裕、鳥羽亨二、中谷盛仁、澤田幸伸：木材工業 65(9)、403-409(2010)
- 3) 高麗秀昭、秦野恭典、柴田忠裕、鳥羽亨二、中谷盛仁、澤田幸伸：創立 60 周年記念第 26 回日本木材加工技術協会年次大会(東京)、57-58(2008)
- 4) 高麗秀昭、小林正彦、凌楠、秦野恭典、柴田忠裕、鳥羽亨二、中谷盛仁、澤田幸伸：森林総合研究所平成 21 年版研究成果選集、42-43(2009)
- 5) 高麗秀昭：生物資源 3(4)、12-19(2010)
- 6) 高麗秀昭：森林と林業 7 月、12-13(2010)

なお、本研究は、農林水産省の「先端技術を活用した農林水産高度化事業（2006 年～2008 年）」により、千葉県農林総合研究センター、大建工業(株)の共同研究で実施されたものである。

オープンラボ セミナー 要旨

木質バイオマスからの新規成型材料の開発

1. 木製単層トレイの製造技術の開発

複合材料研究領域長	秦野 恭典
木材改質研究領域 機能化研究室長	木口 実
加工技術研究領域 木材乾燥研究室	高野 勉

1. はじめに

経木や折り箱など多くの木製包装用品が用いられていたが、近年ではそのほとんどがプラスチック容器に替わってしまった。プラスチック容器は成型の容易さなど便利な点も多いが、大量に生産、消費、廃棄されており、これにより生ずる環境に対する負荷が大きな問題となっている。

そこで、再生可能で、カーボンニュートラルな木材、特に林地残材等を原料として、プラスチック系トレイを代替する環境負荷の少ない木製単層トレイの製造技術を開発した。これまで、木質トレイの製造実績は既にいくつかあるが、その多くは接着剤を使用した多層成型品であり、コストが高いこと、深絞りのトレイが製造できていないことなどの問題があった。本開発では、接着剤を使用しない単層の木製トレイを水熱等の作用によって製造し、深絞り（30mm 深さ、折り曲げ角度最大 60°）ができる低コスト製造技術を開発した¹⁾。

2. 木製単層トレイの製造方法、形状、性能、利用例

2. 1 木製単層トレイの製造方法

スギ材をスライスして得られる 1～2mm 厚さの単板を、熱と水分で可塑化し、金型付きのホットプレスにより成型する。このとき、単板中の水分が水蒸気となり、解圧時にこの水蒸気が一気に解放されるために、いわゆるパンク現象が生じて木製トレイが破裂するが、これを回避する技術を開発した。最後に 10 秒間程度プレスを行い、形状を固定する。なお、本製造技術については特許出願中（特願 2009-252039）である（図 1）。

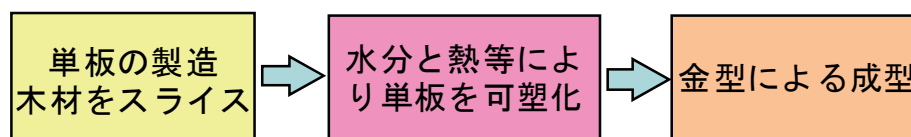


図 1 木製単層トレイの製造工程



図 2. トレイの原料、単板、成型装置と製造された木製単層トレイ

2. 2 木製単層トレイの形状と特性

図 2 に示すように、現在スギ材、ヒノキ材等を原料とした数種類の形の木製単層トレイを製造している。最も深くて、曲げ角度の大きいものは、最大深さは30mm、最大曲げ角度 60° である。この深さ、角度は、市販されている一般的な発泡ポリスチレントレイのそれらとほぼ同等である。

強度性能に関して、図 3 に示すように横圧縮試験を行った。形状が異なるが、ほぼ同程度の大きさの市販発泡ポリスチレントレイと比較行ったら、同レベルの強度を有していることが分かった。また、同図に示すように、2 / 3 程度まで圧縮しても、荷重を取り除けば、ほぼ元の形まで回復する。

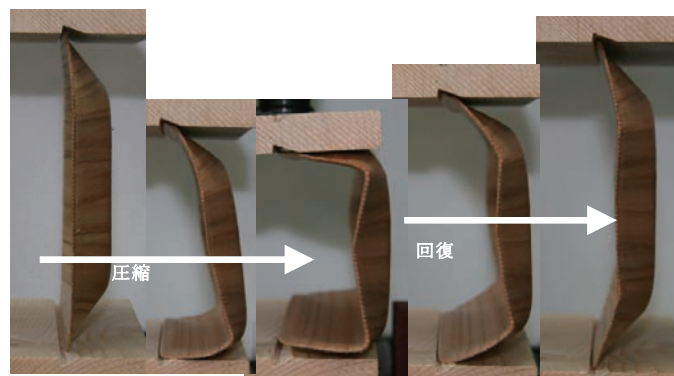


図 3 木製単層トレイの圧縮試験と変形回復の様子

木製トレイに水を張って、水漏れ（浸透）試験を行ったところ、製造条件にも依るが、26時間以上水漏れしないものも製造することができた。どうしても、水漏れが心配な場合には表面に高分子フィルムをオーバーレイすることも可能であり、また、水分を通さないポリエチレンフィルム等で2枚の薄いトレイを積層成型したものも製造できる。これらは基本的には水漏れの心配はない。

木製トレイを70℃程度のお湯に長時間浸けると変形するが、食器のように水洗いすることは可能であり、乾かせば繰り返し使用することができる。また、電子レンジの使用も可能で、トレイは暖くなるが、発泡ポリスチレントレイのように大きく変形することはない。

木製トレイは木材のみを原料としており、燃やしても有毒なガスがでないので、焼却処分が可能である。また、万が一自然界に廃棄されることがあっても、いずれ腐朽する。プラスチック系ゴミのように、自然界でなかなか腐朽せず、問題になることはない。

木製単層トレイは容器包装リサイクル法（容リ法）の対象外であるため、回収の必要がなく、そのためのコストも必要ない。また、一度使用したものを洗って、次節（2. 3）に示すような再利用法も考えられる。

2. 3 木製単層トレイの利用例

図4に木製単層トレイの利用例をいくつか紹介する。如何でしょうか？



図4 木製単層トレイの利用法の一例

前述のように、一度利用された木製単層トレイを洗って、乾かして、再利用することが可能である。たとえば、キャンディーやお菓子用のお盆や筆箱のような再利用法もある（図 5）。



図 5 木製単層トレイの再利用法の一例

2. 3 木製単層トレイの社会的・経済的意義

プラスチック容器は成型の容易さなど便利な点も多いが、それらは化石資源を原料としているため、地球温暖化の原因物質である二酸化炭素を大量に排出している。たとえば、発泡食品トレイの成型前の材料である発泡ポリスチレンシート 1 kg を製造するのに、2.99kg もの二酸化炭素を排出している²⁾。その点、木材は二酸化炭素を吸収して生育しているのでカーボンニュートラルであり、木製単層トレイがプラスチック食品容器の一部を代替することができれば、地球温暖化軽減に貢献することになる。

原料としての材料は、需要が低迷しているスギの中目材の他、建築用材等には用いられない根本に近い部分（数十センチメートル：通称タンコロ：この部分は節が少ない）を有効に利用することが可能である。現時点ではこの部分はほとんど利用されていないために低価格で入手できるとともに、未利用木材を有効に利用できるため、地域産木材の及び木質バイオマスの新需要の創造に寄与する。

3. 今後の展開・展望（実用化の目処など）

現在、上記のような木製単層トレイの製造が可能になった。しかし、これを実用化するためには量産化技術および販売システムの構築などが不可欠である。今年度から開始した「平成 22 年度新たな農林水産政策を推進する実用技術開発事業－木製単層トレイの量産化技術の開発」プロジェクトにより、量産化機械と原料供給システムの開発、市場における使用モニタリング調査などを進め、3 年後には 5000 枚/日程度の量産化を目指している。

4. 参考文献・資料など

- 1) 秦野恭典、木口実、高野勉、庄内豊；「環境負荷の少ない木製トレイ製造の技術開発」、第 60 回日本木材学会大会研究発表要旨集、PI016(2010)。
- 2) 出典：エコリーフ環境ラベル BV-06-002（社）産業環境管理協会
(<http://www.jemai.or.jp/ecoleaf/>)

オープンラボ セミナー 要旨

木質バイオマスからの新規成型材料の開発 2. 木材・プラスチック複合材（混練型 WPC）の高性能化

木材改質研究領域	機能化研究室長	木口 実
	同 研究員	小林 正彦
	同 主任研究員	川元スミレ
木材改質研究領域	チーム長	片岡 厚

1. はじめに

木粉とポリエチレンやポリプロピレンなどのオレフィン系熱可塑性プラスチックを加熱下で混練し成型させた「木材・プラスチック複合材（Wood-plastic Composite; 混練型 WPC）」は、建築廃木材や林地残材などの廃棄物や未利用の木材と廃棄されたプラスチックを原料にできることから、環境型資材として近年注目されている材料である。WPC の用途は、デッキ材などの屋外製品と玩具や文具、日用品などの汎用プラスチック製品の代替を目指した製品に大別される。森林総合研究所では、①屋外でも長期間性能が保持できるエクステリア用 WPC の耐久性向上技術の開発、②木質含有率が高く射出成型が可能な木質高充填 WPC の製造技術を確認し、汎用石油系プラスチックに代わって CO₂ 排出を低減させる新しい成型材料の開発、に関する研究を行っている(図 1)。

これらの研究は、農林水産省農林水産技術会議事務局委託プロジェクト「バイオマス・マテリアル製造技術」（平成 19～）の一環として、千葉県産業支援技術研究所、(株)倭和テクノス、エア・ウォーター(株)、東京農工大学と共同で行われている。

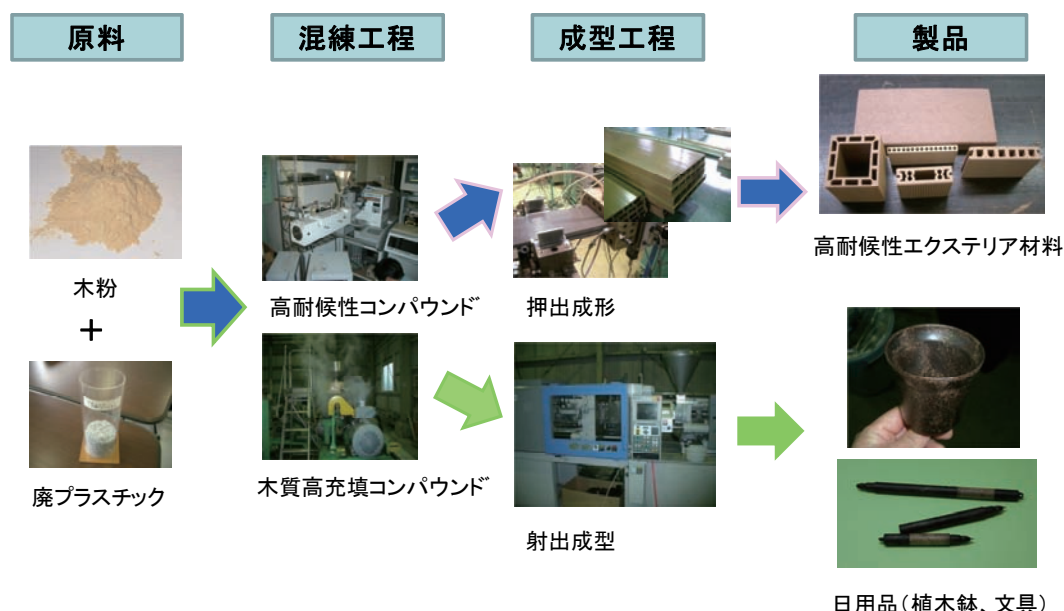


図 1 混練型 WPC の製造方法
(押出成型による高耐候性エクステリア材料と射出成型による木質高充填成型品)

2. WPC の性能向上技術

2. 1 エクステリア用 WPC の耐久性

木粉とポリプロピレン(PP)等、熱可塑性プラスチックをほぼ等量で混合させた WPC は、疎水性のプラスチックが木粉を包み込むカプセル効果によって高い耐水性や耐久性を示し、デッキ材等エクステリア分野で期待される材料である(図 2)。しかし、屋外での使用において変色や粉ふき(チョーキング)等の問題が生じることが報告され、最近では腐朽などの生物劣化例も報告される等、耐久性に問題が生じている。

木粉含有率を 26%から 56%の間で変えたエクステリア用 WPC について、土中埋設試験によって耐朽性を評価した結果、腐朽によるとと思われる質量減少は木粉含有率と共に増大することが示された。つくばでの試験 3 年後では木粉含有率 40%以上の試験片において 12~20%の減少率を示したが、木粉含有率 30%以下ではほとんど質量減少は生じなかった(図 3)。木粉含有率 40%以上の WPC では、地面に接する接地環境のような過酷な使用条件では表層部の耐朽性に留意する必要があることが明らかとなった。



図 2 WPC デッキ(新宿駅周辺)

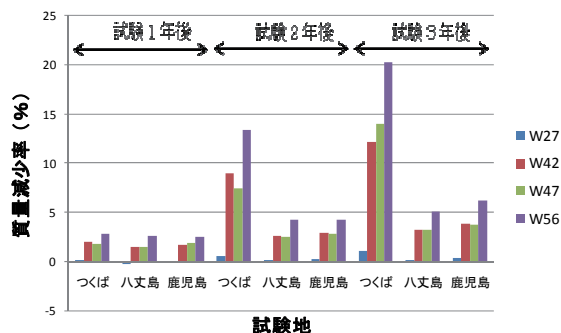


図 3 土中埋設試験による質量減少率(3年間)
(W27~W56 は木粉含有率)

2. 2 エクステリア用 WPC の耐候性向上

森林総合研究所では、複合化する木粉の耐光性の向上を図り、撥水剤や光安定化剤、塗装処理等により高い耐候性を持つエクステリア用の WPC の製造技術を開発するとともに、リサイクル性や LCA、コスト評価等を行い低環境負荷型の複合材の開発を目指している。

(1) 紫外線吸収剤及び光安定化剤による耐候性の向上

屋外で WPC を使用すると表面に変色や粉をふいたようなチョーキング現象が発生する(図 4)。木粉含有率をみると、木粉が多い程耐候性試験においてチョーキングが増加する傾向を示し、逆に木粉含有率を 30%程度に低下させることでチョーキングを大幅に抑制できることが分かった。また、数種の紫外線吸収剤(UVA)及びヒンダートアミン系光安定化剤(HALS)の効果を検討した結果、UVA は種類によってチョーキング抑制効果が異なる結果が選られた(図 5)。一方、HALS はオレフィン用の製品を用いることで抑制効果が認められた。更に、UVA と HALS とを組み合わせることによって相乗的にチョーキングの発生が抑制できた。現在、更なる組合せの検討により最高の性能を発現するシステムを検討している。

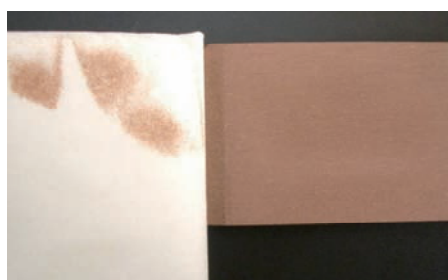


図 4 促進暴露試験後に発生した
チョーキング

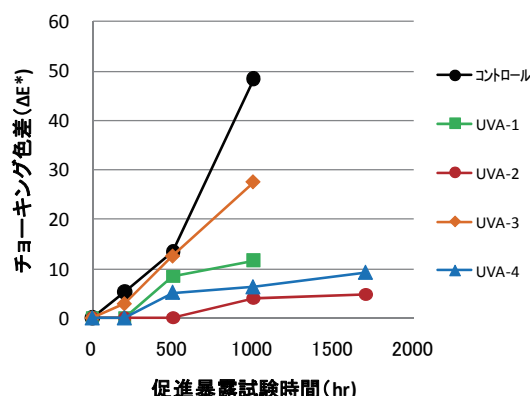


図 5 紫外線吸収剤の添加によるチョーキング
抑制効果 (UVA 4 種類)

(2) 木質プラスチック複合材の環境影響評価

実際にエクステリア用 WPC デッキを製造している工場を調査して LCA 評価を行った。木粉とプラスチックとがほぼ等量のエクステリア用 WPC デッキの社会コストを算出したところ、その暫定値は PVC デッキ材に比べて約 10% 程度環境負荷が少ない結果となった。

2. 3 木質高充填 WPC の製造と性能向上

世界中で年間約 1 億トン以上生産されているプラスチックは、その原料のほとんどが石油に由来する化石資源である。WPC は含有する木材の量に応じて化石資源の使用を低減できる。しかし、木粉量の増加と共に木粉とプラスチックとの混合物であるコンパウンドの熱流動性が低下し、成型性が著しく低くなるという問題点がある。森林総合研究所では、木粉の湿熱処理あるいは膨潤処理によって熱可塑性を向上させ、木粉含有量が 80% 以上のコンパウンドによる射出成型可能な WPC を製造し、木質バイオマスから石油系汎用プラスチックを代替できる天然物系素材の開発を目指している (図 6)。



図 6 木質高充填複合プラスチックによる石油系プラスチックの代替

(1) 熱流動性の高いコンパウンド製造技術

木粉含有率が 75%を超えるとコンパウンドの熱流動性が急激に低下する。コンパウンドの熱流動性は木材の熱可塑性に依存するため、木粉の熱流動性向上のための前処理技術を検討した。その結果、湿熱処理として混練時での水分添加や高温高压下の湿熱処理、あるいは木粉の膨潤処理により、木粉の熱流動性が向上することが明らかとなった（図 7）。このような前処理技術により、射出成型が可能な木質含有率が 80%以上の高木質充填コンパウンドの製造が可能となった。

木粉以外にも竹粉、スギ樹皮等とポリプロピレンとの複合化を検討した結果、特にスギ樹皮の熱流動性が高いことが明らかとなり、樹皮単体あるいは樹皮と木粉との混合により高い熱流動性を持つ高木質充填コンパウンドが製造できた。

(2) 木質高充填 WPC の性能向上技術

木質含有量 80%のコンパウンドに相溶化剤（例えば、無水マレイン酸変性ポリプロピレン）を数%添加することで、曲げ強度及び引張強度が 2 倍（図 8）、アイゾット衝撃強度は 1.7 倍向上した。射出成形により作製した試料の吸水率を比較した結果、酸変性の相溶化剤の添加で WPC の吸水率が 50%程度低減し、耐水性も向上することが明らかとなった。

木質高充填 WPC の安全性確認のため急性経口毒性試験（雌ラット）では、全ての試料で観察期間中に異常及び死亡は認められず、ラットへの経口投与における LD50 値（半致死量）は食品なみの 2000mg/kg 以上であった⁴⁾。

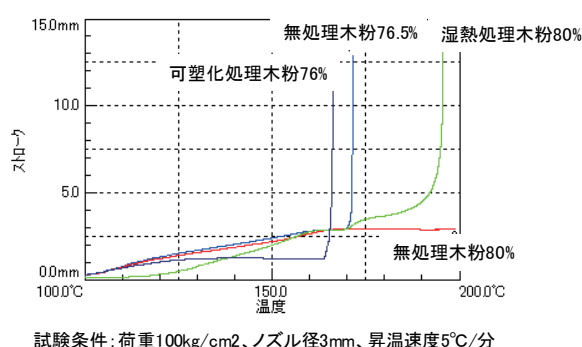


図 7 湿熱処理による熱流動性向上
(木粉 80%でも熱流動(緑色))
湿熱処理条件：250℃、60 分

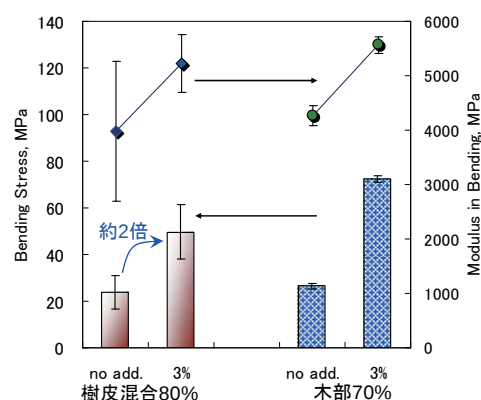


図 8 相溶化剤添加による曲げ強度の向上
(棒は曲げ強さ、線は曲げヤング率)

3. 今後の展開・展望（実用化の目処など）

現在、エクステリア分野での木質材料の市場はプラスチックやコンクリート、金属材料に押されて非常に小さい状況であるが、木質バイオマスを利用した WPC により高い耐候性、耐久性が得られれば、本市場において今後需要の増大が見込まれ、木質バイオマスの安定的な市場が確保できると期待される。

木質含有率が 80%を超えるコンパウンドによる射出成型は現在のところ難しい状況にあ

るが、新たな前処理技術の開発によりに射出成型が可能と考えている。

WPC は様々な添加物の混合が容易であり、木粉あるいはプラスチック自体の改質も可能であるため、耐久性、耐候性の他に VOC 分解機能、消臭機能、発光、抗菌、クッション性などの機能を持つ高機能性材料への展開も今後の開発方向の一つである。

4. 参考文献・資料など

- 1) 木口実、片岡厚、松永浩史、桃原郁夫、川元スミレ、小林正彦、大友祐晋：木粉・プラスチック複合材（混練型 WPC）の耐久性（2）土中埋設試験による耐朽性評価、木材保存、36(4)、150-157（2010）
- 2) 木口実：木材・プラスチック複合材（WPC）の現状と問題点、接着の技術、27(1)、49-55（2007）
- 3) 木口実：木材・プラスチック複合材（混練型 WPC）の耐久性と耐候性、塗装工学、45(6)、223-230（2010）
- 4) 千葉県木質プラスチック部会：平成 20 年度木質プラスチック部会（中間）報告書、51（2009）

オープンラボ セミナー 要旨

木材成分からのマテリアル新素材の開発

1. 酵素加水分解でつくるセルロースナノファイバー

きのこ・微生物研究領域 微生物工学研究室 主任研究員 林徳子
主任研究員 渋谷源

1. はじめに

地球温暖化や石油資源枯渇が顕在化した今、CO₂ を吸収し再生可能資源であるバイオマスへの期待は大きい。現在、バイオマスからセルロース、リグニン、ヘミセルロースを利用して大規模な化成品やエネルギー生産を行う「バイオリファイナリー研究」が進行している。時期を同じくして1億分の1mという微小スケールで物質を制御するナノテクノロジーが台頭し、情報技術、健康・医療、環境など多くの分野において便利な上にも便利な世の中をつくろうとする流れが出来た。この一見矛盾する二つのテクノロジーは、生物を真似る、いわゆる「バイオミメティック」のさらなる発展に帰結する。植物などが生産するセルロースは生物由来の繊維であり、その他生体由来の絹、羊毛、クモの糸等の繊維も全て直鎖状の分子鎖が集合してナノサイズの繊維(ナノファイバー)となり、それらが集合して繊維となるという階層構造を持つ人工では成し得ない精緻な構造体であり、ナノ構造体としてのナノファイバーはナノテクノロジーの中で大きな位置を占めるからである。

繊維とは、長さ(L)と径(d)の比が100以上($L/d > 100$)と定義され、ナノファイバーは $100\text{nm} > d > 1\text{nm}$ と定義される。織物に使われる天然繊維は撚られて径が太く、人工で数十 nm レベルのナノファイバーをつくるのはなかなか困難である(表1)。

表1 繊維の太さの比較¹⁾

ナノファイバー化によるメリットとしては、①繊維間の小さな空隙の生成、②大きな比表面積、③軽量化等が挙げられる。空隙の微小化は、微小粒子を透過させない優れたフィルター機能を発揮し、比表面積の増加は、小さな隙間に多くの気体、液体、微粒子、微生物の吸着を可能にし、反応の場が増加する。さらに、ナノファイバーは集合化することにより引張や曲げに対して強い繊維をつくるので、軽くて強い構造物をつくることができる¹⁾。

繊維の種類	直径 (μm)
人間の髪の毛	53
羊毛	20-26
紙オムツ用ポリプロピレン (PP) スパンボンド	15-18
紳士Yシャツ用細番手ポリエチレンテレフタレート (PET)	15
絹糸	12-13
人工スエード用極細繊維	2-3
紙オムツ用 PP メルトブロー	2-3
実験室レベル PET 極細繊維	0.1

我々は、様々な結晶セルロースの酵素分解残渣の形態を詳細に観察する中から、セルロース結晶変態への酵素加水分解性の相違や、セルロース結晶内部の微細な非晶への酵素の選択的な作用を見出し、酵素加水分解作用をセルロースナノファイバー生産に応用できる

ことを見出した²⁾⁻⁵⁾。ここでは、その生産方法を解説する。

2. セルロースナノファイバーの生産について

2. 1 セルロースナノファイバー

セルロースは、樹木などの高等植物・海藻・微生物などが炭酸同化作用により水と二酸化炭素から生産する(図1)。セルロースは地球上でもっとも多量に生産される有機高分子で、地球上で毎年約 2,000 億トン光合成され、その約 43%は森林が生産するといわれている。セルロースは紙や繊維として人類の歴史に常に寄り添ってきた素材であるが、多くは未利用のまま廃棄されている。

セルロースはグルコース残基が(1→4)- β -グリコシド結合で結合して直鎖状高分子となる。セルロース分子鎖は水素結合などで互いに結合し、複雑で安定した高次構造を形成し、結晶性の微細繊維「セルロースミクロフィブリル」として生産される。セルロースミクロフィブリルは、単独あるいは数本束になり、植物細胞壁の基本骨格を成す。セルロースミクロフィブリルは、起源によってその径が異なり、例えば緑藻の一種バロニアは約 20nm、ホヤは約 10nm、樹木は 3-4nm、長さは約 1 μ m あるいはそれ以上である。従ってセルロースは天然のナノファイバーである。

セルロースナノファイバーは、鋼鉄の 1/5 の軽さでありながらその 5 倍の強度を持ち、また、ガラスの 1/50 の線熱膨張係数を有する⁶⁾。これは、結晶性などセルロースミクロフィブリルの微細構造に起因する。この特徴を生かして補強材、フィルター、被覆材等、医療、環境、電子機器等様々な新規市場の開拓が見込まれている。

2. 2 通常のセルロースナノファイバー生産法

通常ナノファイバーは、高分子溶液に高い電圧をかけてナノファイバーを噴出させる「電界紡糸法(エレクトロスピンニング法)」や熔融高分子をノズルから糸状に引き出し延伸する「ナノ熔融分散紡糸法」でつくられる。しかし、セルロースは溶媒に溶かすことが困難で上記の方法によるナノファイバー化は難しい。また、セルロースミクロフィブリルは細胞壁において束になり、さらにリグ

ニンやヘミセルロースという他の成分に充てんされて植物体を支えている(図1)。従って、酸加水分解等でリグニンやヘミセルロースを除去するなど様々な精製工程が必要で、その結果乾燥等を経て、セルロースミクロフィブリルは固く凝集する。セルロースのナノファイバー化は酸加水分解や物理的微細化処理が用いられるが⁷⁾、最近では、高圧ホモジナ

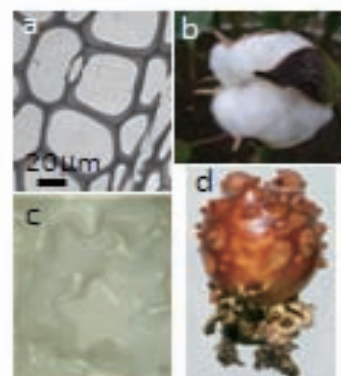


図1 セルロース資源；
a: 木材
b: ワタ
c: ナタデココ
(酢酸菌が生産)
d: 尾索動物ホヤの外皮

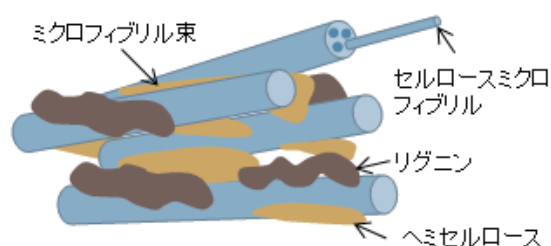


図2 植物体中のセルロース、ヘミセルロース、リグニンの分布模式図

イザー、ノズルからの噴出、硫酸分解と超音波処理の併用⁸⁻¹⁰⁾、TEMPO (2,2,6,6-テトラメチルピペリジン-1-オキシラジカル) 触媒酸化¹¹⁾等が開発されている。しかし、機械的破碎や酸分解によるセルロースナノファイバー生産法は、高熱下あるいは高圧下で行われ、多大なエネルギーを必要とするのみならず、ナノファイバーの収率の低下、結晶性の低下や著しい短繊維化を生じる。また、生成物からの酸の除去、使用後の廃液処理等の多くの問題点を抱えている。従って、セルロースナノファイバーを環境負荷の低い方法で生産する意義は大きい。我々が開発した酵素を用いる方法では、常温でセルロースを分解することができ、低環境負荷でセルロースナノファイバーが生産できる。

2. 3 セルラーゼ

セルラーゼはセルロースを分解する酵素である。セルラーゼは、植物、微生物界で広く生産されている。多くの微生物は2種以上のセルラーゼ成分を生産し、それらが相剌的に作用してセルロースミクロフィブリルを分解する^{12, 13)}。セルラーゼは、基質(セルロース)への作用機作の相違からセルロース分子鎖の末端から作用するセロビオハイドロラーゼ(CBH)、セルロース分子鎖にランダムに作用するエンドグルカナーゼ(EG)、さらに単糖であるグルコースへと分解する β -グルコシダーゼの3種類に大きく分類される。

2. 4 酵素加水分解と機械的処理の併用によるセルロースナノファイバーの生産

セルロースの酵素分解では、セルロースが水に溶けないために均一な酵素反応が望めない。しかし、我々は、セルロースの酵素加水分解において、セルラーゼがセルロース表面に作用してセロビオース等の可溶糖を産出するだけではなく、酵素が作用する際に、凝集しているセルロース試料を単繊維あるいは数本の繊維に解す段階があること²⁾、また、1本のミクロフィブリルに割れを入れてさらに細い繊維を生産する過程のあることを明らかにした^{3, 4)}。

この過程をセルロースナノファイバー化につなげることはできないかと考え、我々は、「機械的処理と酵素同時処理によるナノファイバー化」を提案した⁵⁾。これは、セルロース試料に攪拌子による攪拌、超音波処理、あるいはボールミル処理等の機械的処理を行いつつエンドグルカナーゼ(EG)を反応させるもので、それぞれの場合において収率は約

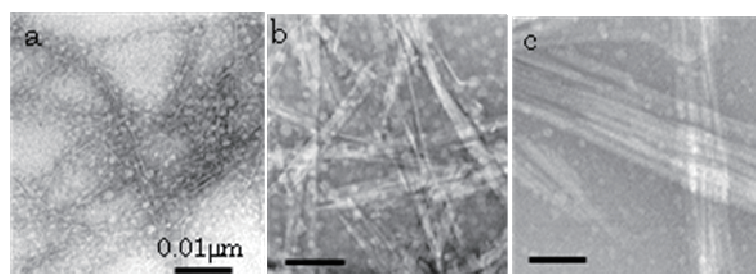


図3 酵素加水分解と機械的処理の併用により得られるセルロースナノファイバーの透過型電子顕微鏡写真。起源によって幅・長さが異なる；
a:木材由来、b:ナタデココ由来、c: ホヤ由来

80-85%でセルロースナノファイバーが得られた(図3)。本方法では、森林総合研究所で独自に開発したセンチウのFamily45のEGを用いた。このEGはセルロースに吸着しにくく、処理後、遠心分離によってセルロースナ

ノファイバーから簡単に取り除くことができた。EG はセルロースマイクロフィブリルの非晶のみに作用する。本手法を用いて、元のセルロースの結晶性を維持し、セルロースマイクロフィブリル 1 本あるいは数本分の径を持ち、 L/d 比の大きいセルロースナノファイバーの生産が可能になった。

3. 今後の展開・展望

本方法は、基本的に水と酵素のみを用いるため、環境にやさしいことが特徴である。また、得られるセルロースナノファイバーは、元の結晶性を維持するため、強度が高く、熱に安定という優れた性質を有する。この物性は素材形成に重要で、高強度・高靱性プラスチックに混ざるガラス繊維をセルロースナノファイバーに代替すると、ガラス繊維と同等の強度を示す。また、ゴムに混ざるシリカをセルロースに部分的に代替すると製造時のエネルギーを低下できる。今後、ポリ乳酸などバイオプラスチックの補強材やナノコーティング、フィルターなど高機能性の素材開発が見込まれる(図 4)。

セルロースナノファイバーは、起源によっても、また、ナノファイバー生産法によっても、径や長さ、形状等が異なる。溶媒への分散や配向化など各々の特徴を生かしたセルロースナノファイバー利用を考案することで、セルロースを無駄なく、きめ細かく利用することが可能になる。すなわち、セルロースナノファイバーの利用研究は、未だ端緒に着いたところなのである。

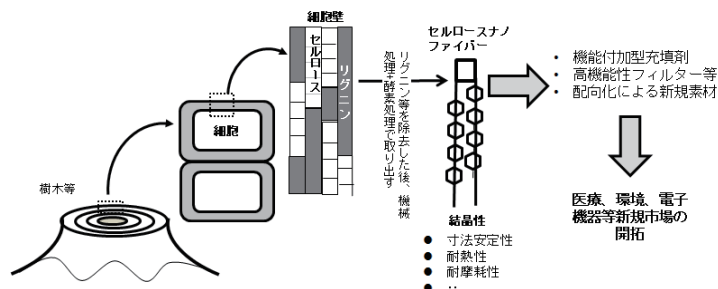


図 4 セルロースナノファイバーの今後の展望

4. 参考文献・資料など

- 1) 「ナノファイバーテクノロジーを用いた高度産業発掘戦略」本宮達也監修、シーエムシー出版、(2004)
- 2) 林徳子ら、木材学会誌、**41(12)**, 1132 (1995)
- 3) Hayashi N. *et al.*, *Carbohydrate Research*, **305(2)**, 216 (1997)
- 4) Hayashi N. *et al.*, *Carbohydrate Polymers*, **61**, 191 (2005)
- 5) 渋谷源, 林徳子, 特開 2008-150719
- 6) 矢野宏之ら、特開 2008-169497
- 7) 小野博文, *Cellulose Commun.* **12(3)** 142 (2005)
- 8) 例えば Turbak A. F. *et al.*, *J. Appl. Polym. Sci., Appl. Polym. Symp.*, **37**, 815 (1983)
- 9) 近藤哲男, *Cellulose Commun.*, **12(4)**, 189 (2005)
- 10) Favier V. *et al.*, *Macromolecules*, **28**, 6365 (1995)
- 11) 斉藤継之, 磯貝明, *Cellulose Commun.* **14(2)** 62 (2007)
- 12) Reese E. T. *et al.*, *J. Bacteriol.* **59**, 485 (1950)
- 13) Tomme P. *et al.*, *Adv. Microb. Physiol.* **37**, 1 (1995)

オープンラボ セミナー 要旨

木材成分からのマテリアル新素材の開発 2. 樹木精油を利用した空気質の改善

バイオマス化学研究領域 樹木抽出成分研究室長 大平辰朗

1. はじめに

地球上には、生物が生産する天然物質や人類が人工的に作り出した合成物質など様々な化学物質が存在している。特に人工的な合成物質は建築材料や家庭用品等の原料とし大量に使用されるようになり、我々の生活水準の向上に大きく貢献してきた。しかしその反面、人間に対するマイナス面も浮上している。例えば排気ガスによる公害問題、建材等による空気汚染など化学物質が原因と考えられる環境汚染問題が急激に増加している。これらの成分量は空気の組成の内、1%にも満たない割合であるが、ヒトが1日24時間に呼吸として体内に取り入れている空気の量を考慮すると決して無視するわけにいかない量になる。したがって、日常生活を通して様々な化学物質に暴露され続けている状態が継続されると人類存亡の危機にもなりかねないと危惧されている。そのため化学物質が関与する環境汚染の問題は重要視され、それらの改善策の開発が急務となっている。我々は樹木の精油成分の利用に関する研究を実施しているが、樹木精油には癒し効果（リラックス効果、免疫力増進効果等）、抗菌・抗カビ性、抗酸化作用などの他に悪臭・有害物質の除去作用が見出されている。このことは樹木精油が癒し効果を発揮しつつ、悪臭・有害物質の浄化に活用できることを意味しており、これらの利用により安全性が高い理想的な空気質への改善効果が期待できる。本セミナーでは、樹木精油を利用した空気質の改善技術について解説する（図1）。

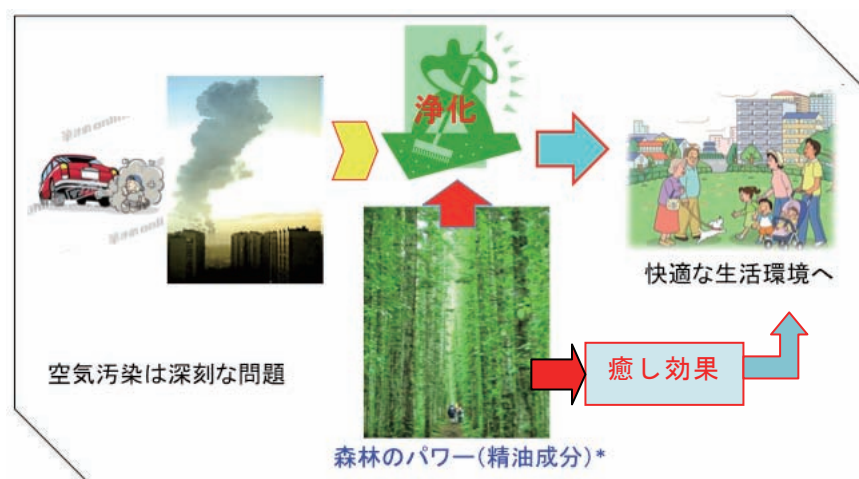


図1 森林のパワー（樹木精油）による空気質の改善

2. 樹木精油による空気質の改善機能

精油とは、植物体に対して水蒸気蒸留を施した結果得られる物質の総称である。樹木の各部位から精油が採取できるが、中でも含有量の多い部位は葉部である。含有量の多い樹種としてはトドマツ、ネズコ、ヒノキ、スギなどが挙げられる。樹種や部位により含有物質の組成が異なっており、それらの機能にも多様性がある。

2. 1 悪臭・有害物質の除去作用^{1,2)}

針葉樹の精油は悪臭・有害物質の除去活性が高いことが知られている。針葉樹精油のアンモニア、二酸化硫黄に対する除去効果としては 60ppm のアンモニアガスに対してヒノキ葉油、トドマツ葉油、ヒバ材油が 90%以上の除去率を示すこと、二酸化硫黄に対しては、精油濃度 5%でも 100%の除去率を示すことがわかっている（表 1）。

表 1 樹木精油の有する有害・悪臭物質に対する除去作用

精油の種類/悪臭物質種類	アンモニア				二酸化硫黄
	5	10	50	100	
精油濃度(%、エタノール中)	5	10	50	100	5
ヒノキ葉油	26	57	74	97	100
トドマツ葉油	24	47	68	96	100
ヒノキ材油	14	—	—	—	100
ヒバ材油	—	34	63	94	—

2. 2 樹木精油によるホルムアルデヒドの除去作用¹⁾

室内空気汚染の代表的な有害物質であるホルムアルデヒドについて樹木精油類に対する除去能を調べた例がある。11 種類の樹木由来の葉油、材油及び代表的な精油構成物質(α -ピネン、1,8-シネオール)は、いずれもホルムアルデヒドを除去する機能を有している。また、葉油と材油を比較すると、葉油の方が相対的に除去率が高い傾向がある。検討した精油の中ではスギ葉油、モミ葉油の除去率は 80%を超えており、最も優れた除去効果を示していた。精油類による物質の除去機構については、不明な点が多いが、マスキング効果の他、精油成分との化学的な反応による捕集効果が考えられている。

2. 3 樹木精油及びテルペン類のヘッドスペースによる二酸化窒素濃度の除去作用²⁾

二酸化窒素は大気汚染防止法で規程されている環境汚染物質の代表的な物質である。二酸化窒素濃度とせき・たんの有症率との関連や、高濃度では急性呼吸器疾患罹患率が増加することなどが知られており、低減化の対策も重要である。液体状態にある精油を加温すると揮発しやすい物質が揮発し、ヘッドスペースとなる。精油の利用形態を考慮した時、ヘッドスペースでの活用は利用範囲が広がり極めて便利である。二酸化窒素(7ppm)に対して 40℃で揮発する代表的な樹木精油のヘッドスペースを反応させたところ、所定時間経過後の二酸化窒素濃度はいずれも低減しており、その傾向は葉油の方が材油に比べて総じて高いものであった。また除去率の特に高い精油としてはトドマツ葉油、ヒノキ葉油が見出され、最も活性の高かったトドマツ葉油では 30 分経過後で 90%の除去率を示した（図 2）。さらに活性の高かった精油の構成成分の中から活性の高い物質として γ -テルピネン、ミルセンなど分子内に二重結合を 2 個以上有するモノテルペン類が同定されている。

このように樹木精油の有する悪臭・有害物質除去能には選択性があり、精油の嗜好性を考慮した適材適所の活用が望ましい。

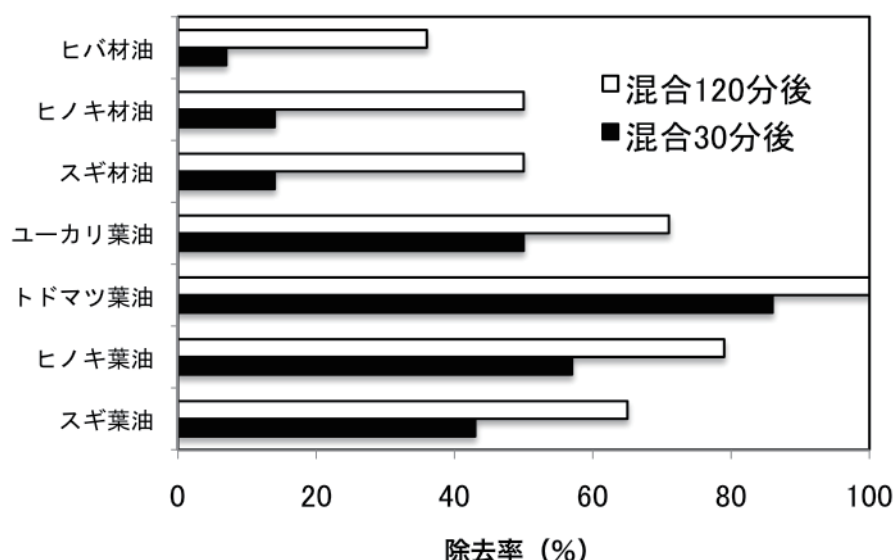


図2 樹木精油のヘッドスペースによる二酸化窒素(7ppm)の除去活性

除去率 (%) = (ブランクの濃度-精油成分接触後の濃度) / (ブランクの濃度) × 100

2. 4 樹木精油による癒し効果

ハーブの香りや森林内を散策している時に感じられるほのかな木々の香りを嗅ぐと気分が晴れやかになる。このように香りは我々人間の生理面や心理面に影響を及ぼし、癒し効果を発揮することが知られている²⁾。このような香り物質は最近ではアロマセラピーとしても注目を集めており、また企業のイメージ戦略の一環として環境デザインの一部として香りが活用されたりもしている。最近では、商業施設での香りが消費者行動に影響するとか香りの発散により体感温度を下げ、空調電力の省力化を行うというアイデアも公表されており、香りの利用範囲は今後ますます増加するであろう。このような場面で活用される香り物質には効果、価格、嗜好性など様々な面から選抜された精油が用いられているが、最近では森林資源から採取した樹木精油を活用する機会も増えている。以下に樹木精油による癒し効果に関する研究例を紹介する。

自律神経活動の変化は生体の生理機能の変化（血糖、血圧、体温、エネルギー代謝など）と密接な関係にあることが知られている。これらの調節ができなくなると肥満や高血圧などの生活習慣病を生じる原因になる。そのため自律神経系を調節する方法の開発が期待されている。このような視点でラットにおける各臓器の自律神経活動を電気生理学的手法で解明する研究が行われている。その結果、スギ葉油、タイワンヒノキ材油などには腎臓の交感神経活動を低下させる効果が強いことが判明した。腎臓の交感神経活動が低下すると生理機能としては血圧が下降する効果（鎮静効果）が期待できる。また、スギ葉油、タイワンヒノキ材油には胃の副交感神経活動を上昇させる効果が強いことが明らかになった。胃の副交感神経活動が上昇すると消化吸収能の向上が期待できる。

一方、ヤクスギ材油、ヒバ材油、ベイヒバ材油などには腎臓の交感神経活動を上昇させる効果が強かった。腎臓の交感神経活動が上昇すると血圧が上昇する効果（元気回復）が期待できる（表 2）³⁾。

表 2 各種樹木精油の交感神経活動に及ぼす効果

	腎臓	胃(副交感神経)		
スギ葉油	↓	↑	}	血圧下降(鎮静効果)
台湾ヒノキ材油	↓	↑		
ヒノキ葉油	変化なし	—	}	血圧上昇(元気回復)
ヤクスギ材油	↑	—		
ヒバ材油	↑	—		
ベイヒバ材油	↑	—		
▲: 対照に比べて上昇	▼: 対照に比べて下降			
注: 矢印の長さは効果の強さを示す。				
対照とは空気のみ吸引させた時の結果を示す。				

これらの動物実験の成果は、人間の日常生活において樹木精油を健康増進の一助として有効利用するための基礎データとして活用できる。これら以外にも癒し効果に関連した研究例は多数ある。参考文献 1、2 を参照されたい。

3. 今後の展開・展望（実用化の目処など）

機能性が見出された樹木精油は居住空間や公共の建物など空気質対策、汚染物質の排出源対策の場面で活用できる。しかし実用化のためにはいくつかの問題点がある。その一つに効率的な精油の抽出法の開発もあるだろう。樹木精油の収率は多くても数%程度と極めて微量であり、そのため短時間で効率よく抽出可能な装置の開発が望まれている。また大量供給を目指すためには抽出後の廃液や残渣の処理も重要である。それらの処理が容易にできるシステムが理想的な方法であろう。このようなコンセプトの抽出装置として、減圧式マイクロ波水蒸気蒸留装置が開発されている⁴⁾。

さらには原料となる枝葉部の安定供給システムの構築も重要である。樹木精油の原料としては伐採後の端材や枝葉が利用可能である。現状これらは伐採現場に林地残材として放置されることがほとんどである。それらの有効利用が推進できれば新しい森林ビジネスとして大きな収入源となるが、現在林地残材を収集・運搬する効率的なシステムが構築されていない。枝葉などの林地残材の利用を目的とした安定供給システムが構築されることを期待する。

4. 参考文献・資料など

- 1) 谷田貝光克，川崎通昭：香りと環境，フレグランスジャーナル社，東京，323pp(2003)
- 2) 大平辰朗：森林の香り・木材の香り，八十一出版，東京，62pp(2007)
- 3) 大平辰朗，松井直之，永井克也：樹木精油が持つ自律神経系調節作用が明らかに，森林総合研究所平成 20 年版研究成果選集，52-53(2008)
- 4) 大平辰朗，松井直之，金子俊彦，田中雄一：減圧式マイクロ波水蒸気蒸留法による樹木精油の効率的抽出，アロマリサーチ，11(2)，148-155(2010)

オープンラボ セミナー 要旨

木質バイオマスエネルギー

1. 高性能木質ペレットの製造と利用

加工技術研究領域 木材乾燥研究室 主任研究員 吉田貴紘

1. はじめに

我が国では現在、石油相当で 6 億キロリットルのエネルギーを消費し、その 8 割以上を石油、石炭、天然ガスなどの化石資源に依存している。化石資源は太古の植動物の死骸が地中で長い年月をかけて変化して得られたもので、無限には存在しない。諸説あるが、この消費ペースでは石油は約 40 年で枯渇すると言われている。また化石資源は地中に埋められた「炭素」であり、従前通りに使い続けることは、大気中の二酸化炭素をますます増加させ、地球温暖化を加速させることになる。

そこで化石資源に替わるエネルギー源として「自然エネルギー（再生可能エネルギー）」が注目されている。中でもバイオマスは、化石資源と同様に有機物であり、カーボンニュートラルにより、燃焼で生じる二酸化炭素をゼロとできる。我が国は面積の約 3 分の 2 を森林が占め、まさに木質バイオマスのエネルギー利用が強く求められている。

木質バイオマスをエネルギー源として利用しやすくするために、「木質ペレット」（図 1）に加工する方法がある。木質ペレットは粉碎した木材を円柱状に圧縮・成型した固形物で、灯油や重油の代替燃料として期待が高まっている。その特徴として、①取扱が容易（直径 6～10mm、長さは 10～25mm 程度と小さく、触っても痛くなく、子供でも簡単に取扱可能）、②エネルギーが一定（水分が 10%前後と少なく発熱量が一定）、③燃焼の安定化、自動化が可能、④輸送効率の向上（かさ密度が木材チップの約 4 倍に向上）、などがある。以上の特徴から、寒冷地を中心に、ストーブ（図 3）、ボイラーの燃料として広まり、生産量はこの 5 年で 10 倍以上、昨年は約 5 万トン程度生産されている（図 2）。さらに、品質・供給の安定化のため、品質規格も策定されている。

しかし、木質ペレットにもいくつかの欠点を有することから、さらなる性能向上が求められている。本項目では、この欠点を克服し高性能なペレットを製造する研究を紹介する。



図 1 木質ペレット

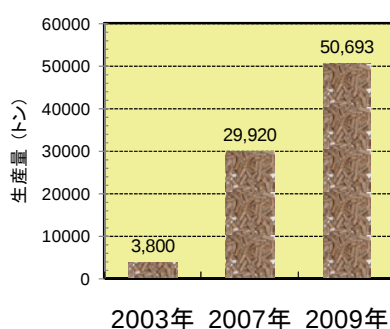


図 2 木質ペレット生産量の推移（平成 22 年度林業白書より）



図 3 ペレットストーブ（右上、左上：多摩森林科学園 下：四国支所）

2. 高性能木質ペレット「ハイパー木質ペレット」つくる！

(1)「ほうじ茶」ならぬ「ほうじペレット」？！

木質ペレットの欠点として、まず、エネルギー（発熱量）が、灯油の半分程度と低いことが挙げられる。より効率的な利用にはペレットのエネルギーをさらに向上させることが求められる。さらに、別の欠点として水に弱い性質を有する。水を含むとペレットがたちまち膨れ、形がくずれて使えなくなることから、特に雪の多い地方では保管時の問題になっている。そうした欠点を克服するために、当研究所では福井県と共同で、熱処理（炭化）技術の導入による、高性能な木質ペレットをつくる研究に取り組んでいる。

木材のエネルギーを向上させる方法として、古くから「木炭」（炭化）にする方法がある（図 4 a）。通常、木炭は 800～1000℃の高温で製造され、エネルギー（重量基準）は木材の 1.7 倍程度と高くなる。しかし、この製造過程で木材の大部分は熱で分解されて失われてしまうため、実際には、木炭はもともと木材の持つエネルギーの 3 割程度しか利用できない。そこで我々は、お茶やコーヒー豆を「ほうじる」程度に「ほどほどに熱をかける」ことにし、熱で失われるエネルギーを極力少なくしつつ、木炭に近いエネルギーが得られないかを考えた（図 4 b）。本研究では温度を 300℃前後と、木材が熱で激しく分解しはじめる温度域に設定して取り組むことにした。この方法により、エネルギーは木材の 1.2 倍程度に増加しつつ、木材の持つエネルギーの 9 割が利用可能となる。ここで得られた高性能な「ほうじペレット」を「ハイパー木質ペレット」と名付けることにした。

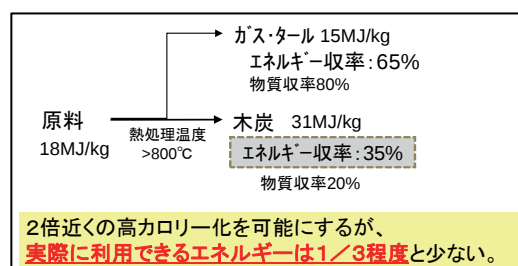


図 4a 従来の木炭製造（炭化）

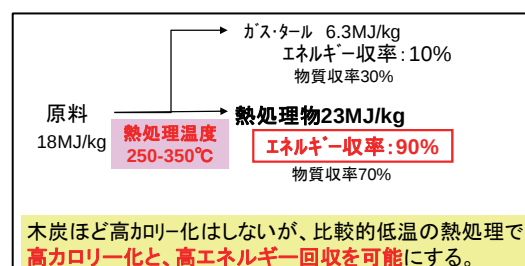


図 4b 今回の熱処理

(2) ハイパー木質ペレットをつくる

ハイパー木質ペレットの製造は、図 5 のように、2 通りの方法で検討することにした。一つは原料の木材チップ（スギ、コナラ）を熱処理してからペレットにする方法、もう一つは順番を逆にし、先にペレットにして、後から熱処理をする方法である。

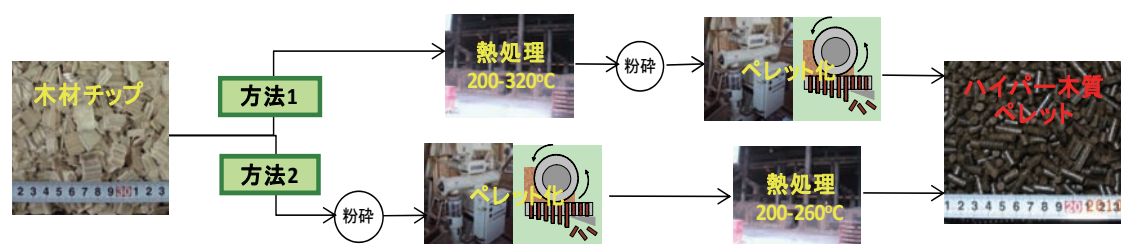


図 5 ハイパー木質ペレットの 2 通りの製法

熱処理はイナータガスオーブンとよばれる特殊な炉を使い、空気中の酸素を十分に逃がした条件（窒素雰囲気）で、炉内で試料が燃えてしまわないよう、注意して実施した。ペレット化は、製造能力 30kg/時のフラットダイ型と呼ばれる成形機（ペレタイザ）を用いた。（図 6）

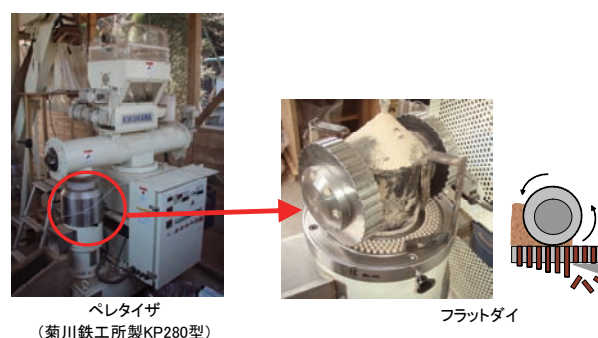


図 6 ペレタイザ

（３）ハイパー木質ペレットの性能

ここでは発熱量（エネルギー）と耐水性能を紹介する。

【発熱量（エネルギー）】図 7 に方法 1 でスギチップを熱処理したときの、温度と発熱量の関係を示す。熱処理温度の上昇につれて発熱量が増加し、320℃で約 2 割向上した。表 1 に方法 2 での結果を示す。方法 1 と同様に、温度が高くなるにつれ発熱量が増加した。例えば 240℃の処理ではエネルギーを 2 割向上させながら、元々木材の持つエネルギーの 97%を有していることがわかる。さらに、温度上昇につれて、試料の色がだんだんと濃くなっていくこともわかる。

【耐水性】図 8 に、従来の木質ペレットとハイパー木質ペレットを水に漬ける前後の様子を示す。従来のペレットは大きく膨らんで、元の形が失われる一方、ハイパー木質ペレットはほぼ形を保っており、水に強いことがわかる。このほかに、性能評価として、強度（図 9）、燃焼性（図 10）、燃焼灰成分の評価を進めている。燃焼灰の評価は、図 11 に示す装置を用いて燃焼灰中の無機成分量を解析し、灰の安全性や肥料成分の解明を進めている。

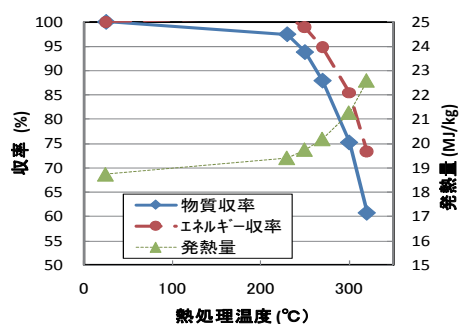


図 7 方法 1 の結果

表 1 方法 2 の結果

熱処理温度(°C)	25	170	200	220	240	260
発熱量 (MJ/kg)	18.0	20.9	21.0	21.2	23.0	22.9
物質収率 (%)	100	99.0	97.8	81.5	76.1	63.8
エネルギー収率 (%)	100	-	-	96.0	97.2	81.1

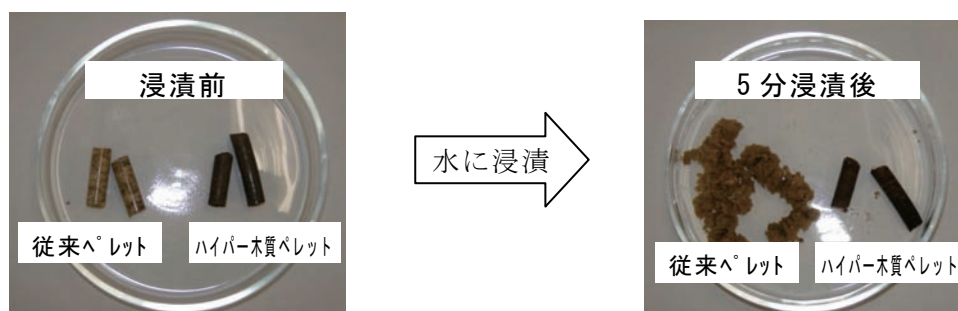


図 8 水に浸漬前後の木質ペレット、ハイパー木質ペレットの様子

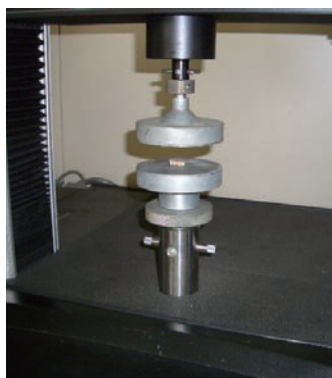


図 9 圧縮強度試験



図 10 コーンカロリーメーターによる燃焼評価



図 11 燃焼灰の評価装置 (ICP-AES)

3. 今後の展開・展望（実用化の目処など）

現在、最適な熱処理条件の絞り込みを行いながら、連続的に熱処理が可能な実用機的设计を行っている。また、ペレットストーブ（図 3）、ペレットボイラー（図 13）への燃焼試験を行い、実用レベルでの性能を検証中である。さらに燃焼灰の評価結果をもとに、燃焼灰を林地・農地の肥料として還元することの可能性を明らかにする予定である。当面の製造コストは 50 円/kg としているものの、従来の木質ペレットと同等（ストーブ用は 40 円前後）にできるよう、さらなるコスト低減の可能性を検討中である。製造に要するエネルギーは、粉碎のエネルギーが大幅に低減されることから、従来のペレット製造と同程度とすることを目標に解析を進めている。

なお、本研究は新たな農林水産政策を推進する実用技術開発事業（21056）「次世代高カロリー木質ペレット燃料『ハイパー木質ペレット』の製造・利用技術の開発」により行われた。

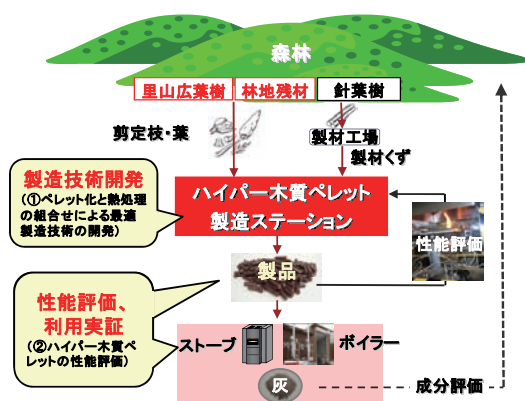


図 12 研究全体のフロー



図 13 ペレットボイラー
(福井県総合グリーンセンター)

4. 参考文献・資料など

財団法人 日本住宅・木材技術センター <http://www.howtec.or.jp/pellet/index.html>
 一般社団法人 日本木質ペレット協会 <http://www.mokushin.com/jpa/index2.html>

オープンラボ セミナー要旨

木質バイオマスエネルギー

2. 木質バイオエタノールの製造技術の開発

バイオマス化学研究領域 木材化学研究室長 真柄謙吾
きのこ・微生物研究領域 微生物工学研究室長 野尻昌信

1. はじめに

平成 18 年に世間で大きな話題となったバイオエタノールは、自動車エンジンのハイブリッド化やガソリンエンジンの燃費向上および電気自動車の上市によって、その必要性が薄れてしまったかのような印象を与えている。しかし、昨年政府が国際公言した条件付き二酸化炭素 25%削減が現実のものとなったときには、大きな役割を担うことは間違いない。また、現在そのバイオエタノールはブラジルから 70 円/L で輸入され、車の燃料としてではなくむしろ化学原料として化成品の製造に使用されている。このように、バイオエタノールは単に燃料として燃やしてしまうだけでなく、形ある製品となって長く二酸化炭素を



図1 ブラジルのサトウキビ畑

留めておくことも可能となりつつある。そのブラジルから輸入されるバイオエタノールは、サトウキビ（図1）の絞り汁を直接発酵させて製造している。一方我が国では、サトウキビを広範囲に栽培できるような気候ではない。米やイモ（図2）などのデンプンを使うこともできるが、食べ物から燃料を製造するのは日本人として受け入れがたいものがあるのではないか。そこで、有望と考えられているのがスギやヒノキなど蓄積量の多い針葉樹の間伐材や林地残材である。これらの原料を用いてエタノール 1 L 製造のためのランニングコストを 100 円以下にするというのが、現在の目標である。これまで木材からバイオエタノールを製造する技術を開発する場合、

たいものがある



図2 サツマイモ：これもエタノールの原料になる



図3 木材：この堅い木材からエタノールを作る

循環利用されて最後に排出

される廃材を対象とすることがあったが、それでは 70 円/L のサトウキビバイオエタノールと競争するだけになり、堅い木材（図3）を原料とする短所を補うことはできない。そこで、敢えて間伐材や林地残材を原料として林業の活性化を促すことによって、今現在は少々高くとも、将来には原料コストが安くなり、サトウキビに対抗できるようになることを期待する。

では、次章に具体的な製造技術について説明する。

2. 木材からバイオエタノールを製造する技術のキーポイント

2. 1 木材からセルロースを取り出す

木材を原料にしてバイオエタノールを製造する技術の開発は、木材重量の 50%を占めるセルロース（図 4）という糖分を如何に効率よくブドウ糖に分解できるか、というところに懸っている。この分野では硫酸を使う方法が先行しているが、世界の開発の流れは、カビの出すセルラーゼという酵素を使う方法へと転換している。しかし、木材、特にスギやヒノキは腐りにくいことが特徴で、それは 35%ほどを占めるリグニンという物質がセルロースをしっかりとガードしているからで、カビの酵素が特に働きにくくなっている。つまり、酵素を使う場合には、前もってリグニンを除く処理が必要になるということである（図 5）。これまで、水熱処理や微粉碎など、リグニンを分解する処理が多く考案されてきたが、世の中にはすでに毎日大量の木材からリグニンを取り除いてセルロースを取り出している工場が沢山ある。それは皆さんもご存じの紙・パルプ工場である。平均的な紙パルプ工場では 1 日二千トンの木材から

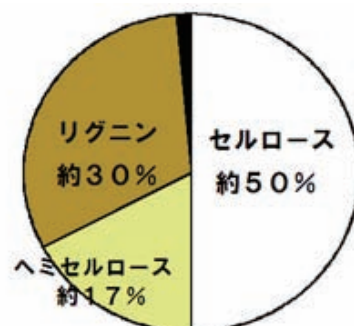


図 4 木材の構成成分（樹皮は除く）

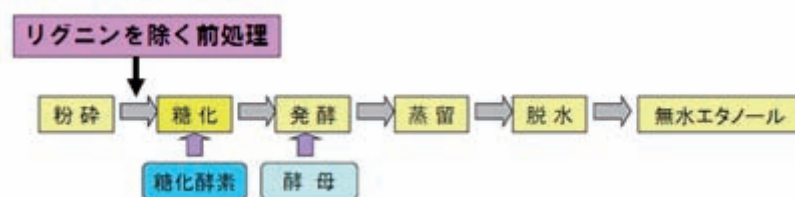


図 5 木材からエタノールを作る工程

アルカリ系薬剤とイオウを用いて一千トンのパルプを製造し、残りの一千トンは排液になるが、これを燃やしてその製造に

必要な量以上のエネルギーを回収し、同時にアルカリ薬剤の回収再生も行っている（図 6）。つまり、木材を酵素で分解するための前処理のモデルが紙パルプ工場に存在していたのである。そこで、我々は使用する薬剤を変更して少量の触媒を加えた水酸化ナトリウム水溶液のみとし、悪臭や有害物質の出ないプロセスへ変更した。この方法では、製造したパルプ中の残留リグニン量が 10%以下になると、ほぼ完全に酵素での分解が可能になる。さらに、アルカリ酸素漂白という方法でリグニン量を 4%まで減らすと、酵素糖化効率は格段に上昇し、糖化・発酵後の残さも少なくなる（図 7）。

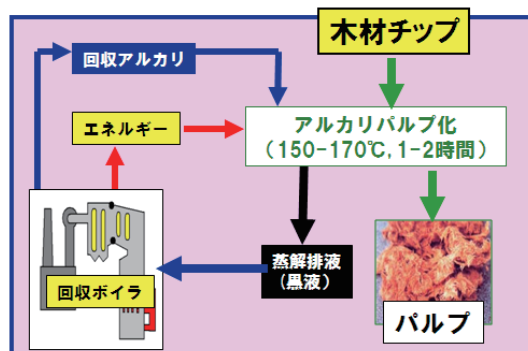


図 6 パルプ工場の製造フロー

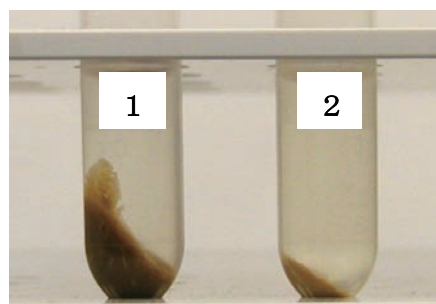


図 7 アルカリ処理のみのパルプの糖化残さ（1）と、酵素漂白したパルプの糖化残さ（2）

2. 2 セルロース分解酵素を自前で生産する

また、もう一つ重要な点は、糖化に使う酵素コストをどう克服するかということである。これまで、木材の酵素糖化がほとんど実用化されてこなかった大きな要因は、この酵素が高価でエタノール生産コストを引き上げていたからである。しかし、木質バイオマスを分解する酵素群(セルラーゼ[図 8]、ヘミセルラーゼ、 β -グルコシダーゼなどの複合酵素)は、トリコデルマというカビを培養することで酵素を購入するよりも数段安価に生産できる。しかもバイオエタノール原料の木材パルプを培養時に使用するとそのパルプを分解する

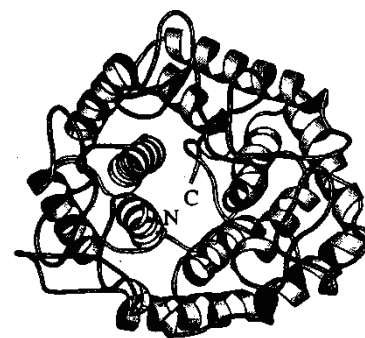


図 8 セルラーゼはこんな形をしている

るのに適した酵素を作ってくることが分かってきた(図 9)。また、酵素の使用量を削減することも酵素コストを引き下げるために重要である。前述したようにアルカリ酸素漂白で原料パルプのリグニン量を大きく減らすと酵素をあまり使わなくても糖化できるようになる。酵素生産のコストダウンと酵素使用量の削減がバイオエタノールの目標価格実現に重要なテーマとなっている。



図 9 木材パルプを原料にして酵素を生産中

2. 3 エタノール蒸留のエネルギー節約

酵素により木材パルプ中のセルロースはブドウ糖に分解される。このブドウ糖を酵母により発酵させバイオエタノールを生産する。できたエタノールは蒸留、脱水を経て 99.5%まで濃縮を行うが、そのためには発酵段階でできるだけ高濃度のエタノールを得ておくことが、蒸留時のエネルギー削減に重要となる。我々は、酵素糖化反応によって高濃度のブドウ糖溶液を得ようとする反応性が極端に低下する木材

パルプの特徴を回避するため、酵素糖化反応では低濃度のブドウ糖溶液を生産し、逆浸透膜を使ってその液を濃縮するプロセスを検討している。

3. 製造技術実証プラント事業

2 章に説明した技術を実証するために、平成 20 年に秋田県北秋田市に木質バイオエタノール製造プラントを建設し、21 年の 6 月から実証運転を開始した(図 10)。このプラントではスギチップを原



図 10 木質バイオエタノール製造実証プラント



図 1 1 アルカリ処理装置



図 1 2 酵素と酵母菌の自家生産用タンク

料に 2 章に説明したアルカリ法でパルプを製造し（図 1 1）、これを同じくプラント内で生産した酵素（図 1 2）で糖化し、逆浸透膜で濃縮（図 1 3）したのち発酵させてエタノールを生産する。前処理装置は 1 時間あたり 62.5kg（乾燥重量換算）のスギチップを処理



図 1 3 プラントに設置された
糖液濃縮装置

する能力を持っており、平成 24 年を目途にスギ材からエタノールを 100 円/L で製造する技術の実証を行う予定になっている。ところで、このプラントには本来備えるべきリグニンからのエネルギー回収システムがない。それは、プラント敷地の問題によるのだが、よってエネルギーや薬剤の回収はパルプ工場のデータを基に計算することになる。その代わりに前処理で排出されるリグニンは全量回収し、グリーンマテリアル開発の原料として活用している。将来的に、リグニンの良い活用方法が確立されれば、現在の考え方

ある「リグニンは全量エネルギー回収」ではなく、一部をその原料として供給することも可能になると思われる。尚、林地残材の収集については、現在森林総合研究所の別プロジェクトにより精力的に研究が進められている。

4. 資料など

本要旨の 2 章に紹介したバイオエタノール製造技術の開発は、農林水産技術会議事務局委託プロジェクト「地域活性化のためのバイオマス利用技術の開発」の中で行った。その成果は紙パルプ技術協会誌 2007 年 9 月号、2009 年 5 月号、日本エネルギー学会誌 2008 年 1 月号に掲載されている。また、実証プラントは、林野庁 H20 森林資源活用型ニュービジネス創造対策事業および森林整備効率化支援機械開発事業により建設した。その概要は、紙パルプ技術協会誌 2010 年 5 月号に発表している。

なお、このプラントの見学は、秋田県北秋田市総務部総合政策課バイオマス推進室で受け付けている。

オープンラボ セミナー 要旨

林業の低コスト化に役立つ林木育種 -第 2 世代精英樹の選抜と活用-

林木育種センター 育種部育種第一課長 藤澤義武

1. はじめに

図 1 のスギは植栽 2 年目で人や周囲の灌木、雑草の背丈を超えており、図 2 のスギは植栽 5 年目（満 4 年）で樹高 7 m に達している。林業に関係している者であれば、少なからず興味をひかれる写真ではなかろうか。これら格段に優れた成長量を示すスギは、普通の山行苗を植えたものではない。50 年以上にわたる林木育種の労苦が今まさに実を結びつつある大きな成果品なのである。

林木育種センターは都道府県や国有林と共同で全国の山から成長や通直性に特に優れた林木を「精英樹」として選抜した（昭和 29 年開始、最盛期は昭和 32 年から 33 年）。それらは、つぎ木やさし木で殖やして採種園（種を生産するための林分）や採穂園（さし穂を生産するための林分）を造成して山行苗のもとになる種子や穂木を生産するとともに、検定林と呼ばれる試験林を全国各地に造成し、精英樹の成長や材質を評価してきた。その中で、優れた成績を示した精英樹同士を交配して育成した F_1 が図 1 及び 2 のスギである。



図 1 2 年生で樹高 3 m 以上
(福岡県英彦山)



図 2 5 年生で樹高 7 m
(茨城県城里町)

こうした F_1 で造成した検定林（育種集団林）が全国に 88 箇所あり、これらから成長や材質により優れた第 2 世代精英樹の選抜が進められている。

成長の良さは林業経営上大変重要であり、写真に示したスギは下刈り期間の短縮等に効果的であり、伐期を短縮できるなど様々な場面で収益改善への寄与が期待できる。

林木育種における重要な一里塚となる第 2 世代精英樹の選抜と、それらの期待される利用場面を紹介する。

2. 第 2 世代精英樹の選抜と利用

2. 1 第 2 世代精英樹の選抜に至るまで

精英樹（第 1 世代精英樹）は戦後増大した木材需要を満たすため、用材の増産を目的として始まったものであり、成長が早いこと、単位面積当たりの収穫量が多いこと、幹が真っ直ぐであること、病気や虫の害がないこと等为目标として、全国から総数約 9 千本を選抜した。図 3 に示したのはスギ精英樹の岩手 5 号であり、このように突出した個体を精英樹として選抜した。内訳はスギ 3,567 本、ヒノキ 943 本、カラマツ 574 本他であり、スギ、ヒノキで精英樹全体の半数を占める。

昭和 39 年からはこれらの精英樹の苗木により検定林を造成し、成長、材質等を評価する作業を開始した。さらに、昭和 55 年からは、成績の優れた精英樹同士を交配して F_1 を育成するための技術開発に着手し、平成 2 年からはその成果に基づいて第 2 世代の精英樹を選抜するための F_1 検定林（育種集団林）の造成を本格化し、現在に至っている。

2. 2 画期的な成長が期待できる第 2 世代精英樹

では、このようにして育成した F_1 のポテンシャルはどれ程か。精英樹（第 1 世代）を選抜する以前の苗木、地スギを対象にして、精英樹及び F_1 の成長を、関東地方と九州地方で比較した結果を図 4 に示した。関東地方では、北部地域に造成した 5 箇所の F_1 検定林とそれと同じ地域にある精英樹の検定林で、10 年生の林分材積を比較した。その結果、 F_1 林分の全平均値は $85\text{m}^3/\text{ha}$ であったのに対し、精英樹検定林の全平均値は $36\text{m}^3/\text{ha}$ であった。また、精英樹検定林の中に対照として植栽されている地スギは $24\text{m}^3/\text{ha}$ にしか過ぎず、これを 100% として比較すると精英樹が 151%、 F_1 が 355% となった。また、九州地方の 6 箇所の検定林を用いた同様の比較では、 F_1 の 10 年生の林分材積の平均値が $106\text{m}^3/\text{ha}$ 、精英樹の同様の値が $75\text{m}^3/\text{ha}$ であった。九州では古くからのさし木林業地帯



比較の対照として立つ調査員

図 3 スギ精英樹岩手 5 号

なので、評価の基準としてさし木の在来品種が植えられており、これを基準にしても、精英樹が 112%、 F_1 が 159%、であった。なお、さし木の在来品種は古くからの育種苗とでも言うべきもので、一般の地スギに比べて成長等に優れている。

一方、これらの結果は精英樹同士の交配によって F_1 に成長に関する優れた遺伝子を集積できることを示すものであり、優れた F_1 (第 2 世代精英樹) 同士を交配し F_2 を養成することで、 F_1 より優れた精英樹を選抜できることを示唆するものでもある。

2. 3 トレーサビリティーシステム

このように画期的に優れた成長が期待される第 2 世代精英樹であり、これらが実用化された際のトレーサビリティーを確保するためのシステムについても開発を進めている (図 5)。親である第 1 世代の精英樹の DNA 型による同定技術の開発が進んでおり、現在は、鑑定システムの構築を目指して親木の DNA 型等のデータベースの作成を進めているところである。これらと IC タグ等の表示技術と組み合わせることによってトレーサビリティーを確保することを計画しており、これによって偽物の流通を防ぎ、エンドユーザーが第 2 世代精英樹の性能を安心して利用できるようにすることを目指している。

3. 今後の展開・展望 (実用化の目処など)

現在は F_1 検定林 (育種集団林) を対象として第 2 世代精英樹の選抜を進めているところであり、平成 22 年度からはこれまでに選抜した第 2 世代精英樹の原種の育成に着手し、実用化への道を歩み始めた。早ければ、スギの採種園で生産された実用種子の供給が平成 27 年度に始まる見込みである。さらには、これらと並行してさらに優れた第 3 世代の精英樹を選抜するため、第 2 世代精英樹同士の交配にも着手した。

また、前述した優れた初期成長は下刈り回数の省略化、育苗コストの低減に加え、早い時期にシカを目線、いわゆる「ディアライン」を越えることから、シカの食害を低減でき

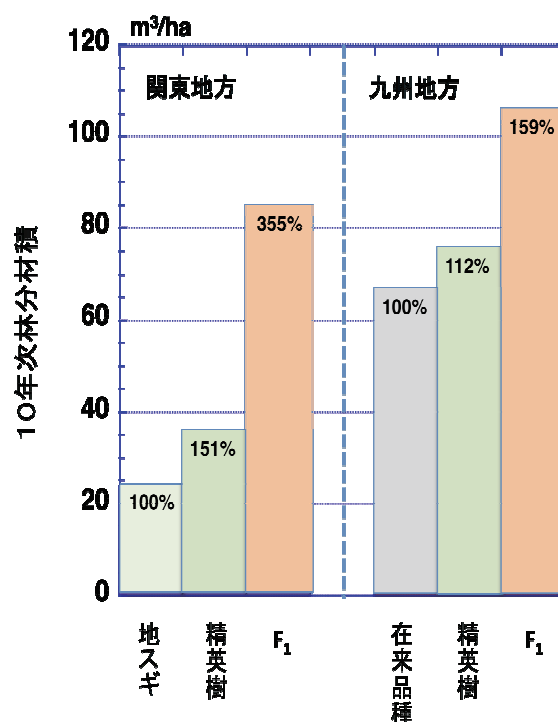


図 4 スギ林分材積の比較

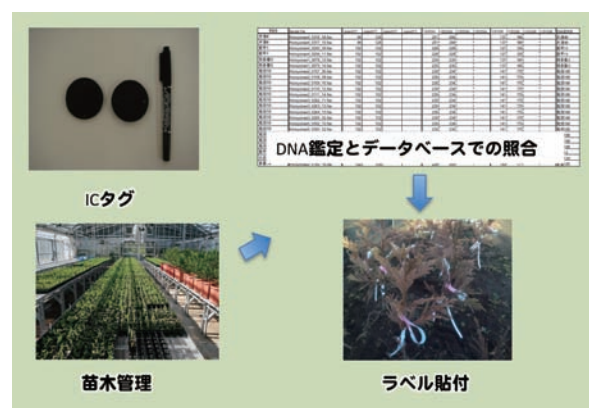


図 5 トレーサビリティーシステムの概要

る可能性もある。これらの活用技術についても他機関等との連携や共同で進めており、初期成長の良い第 1 世代の精英樹を利用して技術開発を進めている。第 2 世代精英樹の実用が進むと、これらを使ってさらに技術開発を進めることとなる。

一方、育苗コストの低減をより効果的にするためにコンテナ苗との組み合わせも考えられており、精英樹同士の交配で得た種子、すなわち F1 種子を利用した共同研究に着手している。この面では、育苗標準の検討等、技術的課題以外にも考慮すべき項目が多く、各分野間の連携も重要な課題である。

このように、エポックメイキングと呼ぶべき第 2 世代精英樹であり、その利点を造林技術や経営の改善に活用していただき、しいては林業の活性化につなげることを期待している。

4. 参考文献・資料など

- 1) 富永茂（2010）林木育種の高速化—5 年で 10m の苗木をめざす—、森林技術 No.820 : 2-8
- 2) 三浦真弘・福田友之・河崎久男（2009）第 1 世代と第 2 世代精英樹候補木の成長比較、第 120 回日本森林学会大会講演要旨集 P2c07
- 3) 星比呂志他 12 名（2009）精英樹自然交配苗から造成された 31 年生スギ実生造林地における成長、材質形質の変異と次世代優良木の選抜、九州森林研究 No.62 ; 142-145
- 4) 平岡裕一郎・藤澤義武・松永孝治・下村治雄（2009）ニホンジカ被害地における森林造成技術の確立—下刈り省力化施業による被害軽減とそれに適したスギ品種の開発—、森林防疫 Vol.58(6) : 229-238
- 5) 倉本哲嗣・佐藤新一（2008）次世代のスギクローン品種の選抜に向けた基礎解析—九州育種基本区におけるスギ検定林調査結果から—、林木の育種「特別号」: 5-7
- 6) 三浦真弘・福田友之・河崎久男（2008）第 2 世代精英樹選抜のための育州集団林データの解析、第 119 回日本森林学会大会講演要旨集 P2c07

オープンラボ セミナー 要旨

木材の土木分野での利用

木材改質研究領域 チーム長 桃原郁夫

1. はじめに

“聖人が出て、民のために土を盛り材木を組んで屋を作り、棟木を高くし軒を低くして雨風をしのぎ、寒暑を避け得た。かくして人びとは安心して暮らせるようになった”

この中国の書物「淮南子（えなんじ）」にある一節にある、“土を盛り材木を組んで”の部分に相当する「築土構木」という言葉から抜き取ったものが「土木」の由来である¹⁾。今日、この「土木」から「建築」部分を除いたものが土木分野の対象とされている。

これまで国産材の主要供給先は「土木」から分かれた「建築」の分野であった。しかし、長期優良住宅の普及による住宅の長寿命化、人口減少による住宅着工戸数の漸減などに伴い、今後の建築用材の需要は漸減していくと考えられる。

このような状況の中、我々はこれまで久しく木材を使用していなかった土木分野を木材利用のフロンティアと位置づけ、そこに巨大な木材需要を顕現させることを目的に研究をおこなっている。以下、我々の研究を含め木材の土木分野での利活用の可能性について述べてみたい。

2. 研究および開発の現状

2. 1 河川での木材利用

河川での木材の利用としては、傾斜のきつい山間部の河川で土砂が下流に流されるのを防ぐ目的で設置される谷止工や、川の蛇行防止や川底の保護を目的とする床固工（図 1）、川岸が水流によって削られるのを防ぐ護岸工（図 2）、河床の変動やそれに伴う法面の崩壊を防ぐための沈床工などがある。

沈床工のように木材を完全に淡水中に没した状態で使用した場合、数十年使用後でも曲げ強度や圧縮強度などの諸性能は未使用の丸太と遜色ないことが認められている²⁾。一方、完全に水中に没していない谷止工や床固工などの場合には、腐朽の進行が認められるものの、保存処理を施すことでその進行速度を大幅に低減できることが報告されている³⁾。こ



図 1 床固工



図 2 護岸工

これらの例が示すように、間伐材を使用した工作物を河川で適切に使用することにより、その機能を長期に亘って発揮でき、二酸化炭素の長期貯蔵が可能となる。

なお、先ほど沈没工は腐朽しないと書いたが、河川の海に近い箇所での使用にはフナクイムシやキクイムシ対策が必要である。

2. 2 海洋・海岸等での木材利用

海洋等での木材の利用先としては栈橋が考えられる。栈橋の場合、海底から支柱から床板まで全てを木製で構成する方法と、支柱のように海水に触れる部分は木材以外の材料を使用し、海上部分のみに木材を使用する方法とが考えられる。海上部での使用例としては、横浜港大さん橋国際客船ターミナルが挙げられる（図 3）。大さ

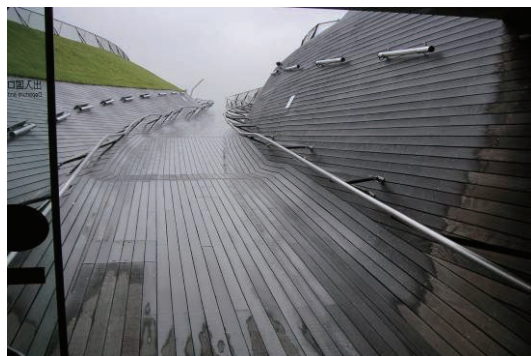


図 3 横浜港大さん橋の木製デッキ

ん橋ではブラジルより輸入されたイペ材を大量に使用したが、今後は地球環境への配慮から、適切に管理されていると認証された森林から出てくる国産材等の認証材に保存処理を施して使用すべきであろう。

一方、海中での利用として木材を魚礁に活用する試みが始まっている。木材を使用した魚礁は、通常のコンクリートや鋼製の魚礁に比べ、フナクイムシやキクイムシが棲み着く分だけ餌生物の増殖が速く、結果として魚の収穫量が増すことが期待されている。水産庁では平成 18 年に「魚礁への間伐材利用の手引き」を作成すると共に⁴⁾、木材を使用した魚礁の効果を確認するための事業を実施している。

2. 3 地盤での木材利用

地盤での木材利用としては、法面保護のための擁壁や軟弱地盤対策等に使用する基礎杭としての利用が考えられている。ここでは、地上部で使用する場合と地中部で使用する場合とに分けて説明する。

法面の保護といった地上部で使用する場合は、その耐用年数の設定が重要となる。国産針葉樹間伐材を地面に接する環境で使用情况の場合、素材では 7-8 年程度で耐用年数となることが多い。一方、保存処理を施すことにより、それを 2-3 倍延ばすことが可能となる⁵⁾。なお、コンクリート擁壁と木製擁壁のライフサイクル CO₂ (LCC02) を計算した結果、木製擁壁の耐用年数が 9 年以上であれば LCC02 の点で木製擁壁の方が環境負荷低減に有利になると試算されている⁶⁾。

これに対し、地中部で使用する場合は、耐用年数を考慮した設計の重要性が低下する。なぜなら、使用する深度において若干の差はあるものの、地中には酸素がほとんど無いため腐朽の進行が非常に遅くなるからである。特に地下水面近傍以下に埋められた木材は、長期に亘り腐朽しないことが認められている⁷⁾。また、木杭を使用した際の環境的側面についても検討が加えられ、木材の輸送距離によって差はあるものの、伐採時や土木工事の際に排出される二酸化炭素量よりも、木杭として貯蔵される二酸化炭素量の方が大きくなることが明らかになっている⁸⁾。



図 4 掘り出された木杭⁹⁾

木杭を地中部で活用するコンセプトが、耐久性や環境的な側面から考えて非常に合理的であるため、河川堤防、道路、住宅、ボックスカルバート（地下水路等を構成する中空の構造物）等、様々な工作物の地盤対策への適用が考えられ、中でも住宅の基礎杭に保存処理木材を使用する工法が公的認証を取得し住宅の地盤改良に使用さ

れ始めている¹⁰⁾。森林総合研究所では、農林水産省実用開発事業予算を活用し、基礎杭を土木分野で実用化するための研究を実施している。

2. 4 交通での木材利用

交通に関わる利用としては、鉄道および道路設備での利用が主な物である。まず鉄道での利用先としては、木まくらぎが挙げられる。以前の使用量よりは大幅に低下したものの、現在でも 1 万立米程度の木まくらぎが製造されている。また、木材を大胆に使用した木造駅舎なども建設されている。

一方、道路設備での利用としては、木製防護柵、転落防止柵、木製遮音壁、デリニエータ（視線誘導標）等の利用が考えられている。木製防護柵（木製ガードレール）を例にとると、フランスでの総設置延長が 2000km と¹¹⁾日本での状況と大きく異なっている。このことは日本の木製防護柵の潜在的なポテンシャルが非常に高いことを意味している。日本における普及の遅れの一因はコスト高によるものであったが¹²⁾、近年低コスト化を図った防護柵も開発されてきていることから^{12, 13)}、今後は観光地等を中心に木製防護柵が徐々に普及していくと考えられる。一方、木製遮音壁については、カラマツ材で作製した遮音壁が設置 20 年後でも強度的には問題がなく、若干の補修で遮音壁としての機能を十分果たすことができることが示されている¹⁴⁾。

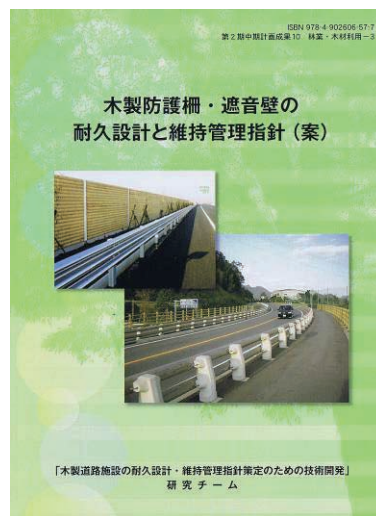


図 5 木製道路施設指針案

なお、これらの木製道路施設については、森林総合研究所が中心となり 2004 年度から 5 年間「先端技術を活用した農林水産省研究高度化事業」で研究をおこない、その成果を取りまとめている（図 5）¹⁵⁾。

また、今回は紙数の関係で触れなかったが、木橋についても様々な取り組みがある¹⁶⁾。

2. 5 その他での木材利用

木材の見た目の優しさや触感の良さを活かし、景観資材としても木材が使われている。図 6 は金沢駅前にある「鼓門」であるが、木材の持つボリューム感と特徴的な色が活かされた例である。また、木材を展望デッキに使用することで、触れた際や歩いた際に適度な

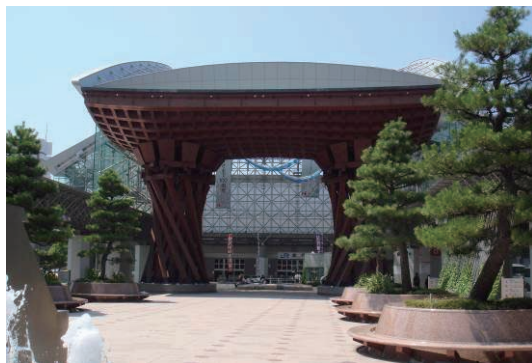


図 6 鼓門（金沢）



図 7 木製展望台

柔らかさのある空間を構成することが可能となる（図 7）。このような柔らかさは、侵入防止柵に木材を使用しても演出することが可能である（図 8）。

3. 参考文献・資料など

- 1) 藤井 聡：土木の「意味」を考える，土木学会誌，193:57（2008）
- 2) 川上敬介，大原明伸：土木用材として 40 年近く水中に設置されていたマツ丸太の強度性能，木材工業，55:165-169（2000）
- 3) 石川芳治ら：木製校倉式構造物（防腐処理）の腐朽速度調査，木材利用研究論文報告集 9，pp.36-40（2010）
- 4) 水産庁漁港漁場整備部：魚礁への間伐材利用の手引き，pp.2-18（2006.3）
- 5) 桃原郁夫：保存処理をした材を屋外で使う場合，何年くらい保つか？ 木材工業，65(11) 印刷中（2010）
- 6) 枝澤啓司ら：コンクリート及び木製小規模擁壁の CO2 排出量に関する基礎的研究，環境システム研究論文集，28:39-45（2000）
- 7) 沼田淳紀ら：1964 年新潟地震における木材による液状化対策事例。木材学会誌，55:305-315（2009）
- 8) 本山寛ら：丸太打設による軟弱地盤改良における二酸化炭素削減効果の検証，第 4 回木質科学シンポジウム講演要旨集，pp.40-41（2009）
- 9) 林野庁：木材による地中カーボンストック，林業白書，p.29（2009）
- 10) 兼松日産農林株式会社：環境パイル工法－防腐・防蟻処理木材による地盤補強工法－，日本建築総合試験所 性能証明 第 09-07 号（2009）
- 11) 張日紅：木製車両用防護柵の開発状況と普及への課題，第 4 回木質科学シンポジウム講演要旨集，pp.9-12（2009）
- 12) 長尾博文：木製道路施設の開発と現状，木材工業，65:58-62（2010）
- 13) 神奈川県小田原土木事務所：神奈川県型木製ガードレール，木材工業，633-636（2009）
- 14) 柴田直明ら：置後 20 年経過のカラマツ製遮音壁の現状と音響性能，公立林業試験研究機関研究成果選集，5:75-76（2008）
- 15) 「木製道路施設の耐久設計・維持管理指針策定のための技術開発」研究チーム：木製防護柵・遮音壁の耐久設計と維持管理指針（案），第 2 期中期計画成果選集 10，森林総合研究所（2010）
- 16) 佐々木貴信：ここまで来た近代木橋，第 4 回木質科学シンポジウム講演要旨集，pp.13-17（2009）

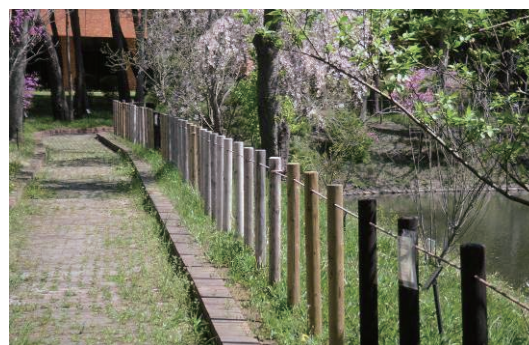


図 8 木製侵入防止柵

オープンラボ セミナー 要旨

水源林造成事業等における木材利用

1. 水源林造成事業における丸太組工法による作業道作設

森林農地整備センター 森林業務部 森林事業課主任 山崎一

1. はじめに

森林総合研究所森林農地整備センター（以下「センター」という。）が実施している水源林造成事業は、森林所有者による整備が困難な奥地水源地域の無立木地などを対象に分収造林方式により実施している。昭和 36 年度より現在まで全国に造成した造林地は 46 万 ha（植栽本数で 10 億本以上）に達しており、本格的な収穫時期を迎えつつある。その対象地は急峻な箇所が多く、従来から間伐材等を利用した丸太組工法による崩れにくい路網整備を推進してきた。以下にその取り組みを紹介する。

2. 路網整備の経過

センターでは、平成 2 年度より丸太組工法を導入し、従来工法（切り盛りだけの工法）では開設が困難であった急傾斜地においても路網の整備が可能になり、かつ維持管理費の低減にも寄与してきた。

その結果、奥地水源地域に位置する水源林造成事業地の路網密度は、林道・公道のみを比較すると民有林全体の半分程度（7m/ha）に過ぎないものの、林道・公道に作業道を加えると、民有林平均 20m/ha を上回る 22m/ha となっている。

さらに、丸太組工法は自然と調和した丸太を構造物の部材に使用するため、環境負荷が小さく間伐材等の木材利用促進にも寄与するものであり、平成 21 年度の丸太組工法による間伐材等の利用量は約 122 千 m^3 となっている。

3. 現在の取り組み

3. 1 のり留工導入による施工技術の高度化

丸太組工法には積上工とりのり留工があるが、これまでは盛土部分の強度の向上に着目した工法として、路肩に丸太を数段積み上げた**積上工**（図 1、図 2）が主体であった。積上工は、路肩に積む丸太組の段数を増やすことにより、切取法面の高さを容易に抑制できる。しかし、豪雨時には丸太組した盛土部分の崩壊や、丸太の腐朽によって路肩の安全性が低下するなど危惧される課題もある。また、近年、長伐期化による針広混交林施業や複層林施業の導入に伴い、間伐材等の搬

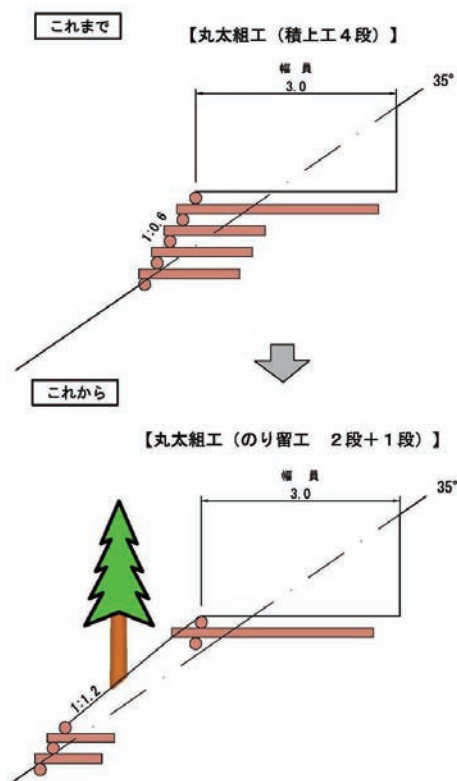


図 1 積上工からのりのり留工への転換

出基盤として、耐久性と安全性が高くより崩れにくい作業道の整備が一層重要となっていることから、平成 21 年度末より、**のり留工**（図 1、図 3）を積極的に導入してきている。

のり留工は、積上工に比べて床掘り、埋戻しに伴う土砂移動量が少なく済むとともに、盛土のり尻に設置するのり留構造物によって斜面を支えることから、道の耐久性と安全性を高めるメリットがある。また、地形に応じて柔軟な施工が可能であり、かつ、資材費が安価である等のメリットもある。



図 2 従来の積上工による施工例



図 3 のり留工による施工例

3. 2 地域との連携及び普及活動の推進

センターの事業地は、概して既設道から離れた箇所にあることから、搬出コスト削減に向けて計画的・効果的な路網の整備を実現するため、周辺の民有林・国有林と森林整備にかかる協定を締結し、既設道と有機的に連結する路網の整備にも積極的に取り組んでいる。

また、丸太組工法の普及を進めるために、林業関係者も交えた計画・施工に関する研修会を開くなど、技術の普及にも積極的に取り組んでいる（図 4）。



図 4 研修会の実施状況

4. おわりに

丸太組工法による作業道は、自然との調和や急傾斜地における崩れにくい作業道の施工法として極めて大きなポテンシャルを有していることから、施工技術の一層の深化を図るとともに、低コストで効率的な収穫による林業経営や木材利用による地球温暖化対策等に資するためにも、丸太組工法の技術等の普及や PR にも努めて参りたい。

5. 参考文献

酒井秀夫(2009)『作業道ゼミナール(基本技術とプロの技)』. 全国林業改良普及協会, 東京.

オープンラボ セミナー 要旨

水源林造成事業等における木材利用 2. 特定中山間保全整備事業等における木材利用の取組み

森林農地整備センター 農用地業務部 設計課長 清水修

1. はじめに

森林農地整備センター（以下「センター」という。）では、生産条件の不利な中山間地域の農林業の振興、水源かん養等森林と農地が有する公益的機能の維持増進のため総合的な森林及び農地の保全整備を行う特定中山間保全整備事業並びに農業生産基盤の整備が必要な農業地域内で、農用地及び土地改良施設の整備を行う農用地総合整備事業を実施している。事業実施にあたっては、地域資源の活用の一環として間伐材を農林業用道路の土砂流出防止柵などに積極的に利用している。

事業への木材利用は、以前は小規模な仮設構造物（土留め柵等）程度であったが、平成 11 年に農林水産省農村振興局及び林野庁からの「農業農村整備事業における木材利用促進について」の通知をきっかけに、木材利用の取組みが本格的に始まっており、その後、農林水産省で「地球温暖化防止森林吸収源 10 カ年対策」や「農林水産省木材利用拡大行動計画」が策定され、公共事業への木材利用が一層積極的に取り組まれることになった。センターとしても事業を実施する上で多様な工種に木材利用をしているため、その取組を紹介する。

2. 実績

2. 1 木製水路工による湧水の効果的処理

水田の区画整理工事で設置した水路について、山側からの湧水により水路の埋め戻し土が浸食されたり、水路法面の崩壊が懸念されていた。そこで湧水の水压を逃がすことが難しいコンクリート水路ではなく、木製の水路を設置することで水路の側面に隙間が生じ、そこから湧水が水路にしみ出すことで崩壊を防ぐことができた。また、その隙間が小動物の住み家となり、良好な生育環境が維持されている。

2. 2 木製土砂流出防止柵による道路の浸食防止

降雨や湧水により法尻が浸食され、道路法面の崩壊と下流側への土砂流出を防ぐため、コンクリートに代わる木製土砂流出防止柵を設置している。木製の利点は、隙間から水だけ排除し、法面と柵の間に土砂を効率的に堆積させることができ、周囲の景観にもマッチしたものとなっている（図 1）。



図 1 木製土砂流出防止柵
（安房南部区域（千葉県））

2. 3 地域住民による転落防止柵の設置

人が転落する可能性がある箇所については転落防止柵を設置しているが、車が侵入しない箇所においては木製の転落防止柵を設置している。

木製は金属製に比べて軽く容易に施工することができるため、地域住民による直営施工ができるのも一つのポイントである。

2. 4 長大法面の維持管理のための木製階段

法面管理のため、法面に沿って階段を設置する。通常は金属製もしくは擬木による階段が一般的であるが、間伐材を利用した木製階段を使用している。木製階段は、現地の地形に併せて柔軟な施工が可能であり、他の素材に比べ軽量であることから施工性にも優れている。

2. 5 丸太を利用した法面保護工

農林業用道路の法面については、法面の保護のため植生基材吹付工や種子吹付工を施工していたが、雨水による種子の流亡や逆に草が繁茂し過ぎて道路の見通しが悪くなるという問題があった。そこで今回施工した法面保護工は、法面下部を間伐材で覆うことで雨水による表面浸食を防止しながら、植生の回復を図ることができる。また、道路の見通しが良くなるとともに草刈りの手間がなくなり、維持管理費が軽減されている（図 2）。



図 2 法面保護工
(阿蘇小国郷区域 (熊本県))

2. 6 鹿や熊から農業等の被害を防ぐ鳥獣害防止柵

中山間地域で区画整理したほ場周辺には、鹿や熊による、農作物への被害が問題となっている。そこでこれらの動物が団地内に侵入しないように、山とほ場の境目に鳥獣害防止柵を設置している。鳥獣害防止柵の支柱には間伐材を利用し、間伐材の利用拡大と被害の防止に効果が得られている。

2. 7 木製の工事看板を設置

地域の間伐材利用の一環として、工事で設置する看板は木製看板を利用している。木製看板は威圧感がなく、周囲の景観にもマッチしている。

2. 8 間伐材を利用した木製視線誘導標

通常、視線誘導標は金属製のものが使われるが、安房南部区域では間伐材を利用した視線誘導標を用いている。地域の間伐材を利用することで、地元からも喜ばれている（図 3）。



図 3 視線誘導標
(安房南部区域 (千葉県))

3. おわりに

木材を利用することは、自然に優しく、自然との調和を保つことが可能となり、また、地域資源を活用することで地産地消にもなっている。今回紹介したのは施工した一部であるが、今後も地域住民の理解を得ながら地域と連携し、積極的に木材利用を進めていきたい。

お問い合わせ窓口

産学官連携

- 産学官連携推進調整監が皆様との連携、マッチング等を行います
- 産学官連携推進室 (sangaku@ffpri.affrc.go.jp, Tel:029-829-8137, Fax:029-873-1541) へ

工業所有権(特許)

- HPに特許権一覧を掲載しています (<http://www.ffpri.affrc.go.jp/patent/index.html>)。
- 研究協力科知財管理専門職 (chizai@ffpri.affrc.go.jp, Tel:029-829-8140, Fax:029-873-1541) へ

技術指導・講演など

- 技術指導や講演、研修、委員会などのため研究者を派遣します。
- 研究管理科連絡係 (Tel:029-829-8125, Fax:029-874-8507) へ

受託研修生受入

- 研修生を受入れ、研究所の施設を利用して、関連する試験研究の指導を行います。
- 研究企画科研修係 (Tel:029-829-8116, Fax:029-874-8507) へ

分析・鑑定

- 木材の樹種鑑定や強度試験、材質試験、木質材料の品質試験などを行います。
- 研究管理科連絡係 (Tel:029-829-8125, Fax:029-874-8507) へ

図書館利用・文献複写

- 資料課 (Tel:029-829-8146, Fax:029-873-3471) へ

取材・見学・プレスリリース

- 研究情報科広報係 (kouho@ffpri.affrc.go.jp, Tel:029-829-8134, Fax:029-873-0844) へ

その他 お問い合わせ一般

- 研究情報科相談窓口 (QandA@ffpri.affrc.go.jp, TEL:029-829-8377, Fax:029-873-0844) へ

詳細はホームページ

<http://www.ffpri.affrc.go.jp/index-g.html> をご覧ください。
お問い合わせフォームもありますので、ご利用ください。



平成 22 年度

独立行政法人 森林総合研究所
公開講演会＋オープンラボ 要旨集

平成 22 年 10 月 12 日 発行

編集・発行

独立行政法人 森林総合研究所
企画部 研究情報科 広報係
〒305-8687 茨城県つくば市松の里 1 番地
Tel 029-829-8134 Fax 029-873-0844
E-mail : kouho@ffpri.affrc.go.jp
URL : <http://www.ffpri.affrc.go.jp/>

リサイクル適性の表示：紙へリサイクル可